

Enregistré à la présidence de l'Assemblée nationale
le 9 novembre 2015

Enregistré à la présidence du Sénat
le 9 novembre 2015

RAPPORT

au nom de

**L'OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION
DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES**

sur

**INNOVATION ET CHANGEMENT CLIMATIQUE :
L'APPORT DE L'ÉVALUATION SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE**

*Compte rendu de l'audition publique du 24 septembre 2015
et considérations issues des débats en vue d'une transmission aux négociateurs
de la COP21*

PAR

M. Jean-Yves LE DÉAUT, député, et M. Bruno SIDO, sénateur

Déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale
par M. Jean-Yves LE DÉAUT,
Président de l'Office

Déposé sur le Bureau du Sénat
par M. Bruno SIDO,
Premier vice-président de l'Office

Composition de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

Président

M. Jean-Yves LE DÉAUT, député

Premier vice-président

M. Bruno SIDO, sénateur

Vice-présidents

M. Christian BATAILLE, député
Mme Anne-Yvonne LE DAIN, députée
M. Jean-Sébastien VIALATTE, député

M. Roland COURTEAU, sénateur
M. Christian NAMY, sénateur
Mme Catherine PROCACCIA, sénatrice

DÉPUTÉS

M. Gérard BAPT
M. Christian BATAILLE
M. Denis BAUPIN
M. Alain CLAEYS
M. Claude de GANAY
Mme Françoise GUÉGOT
M. Patrick HETZEL
M. Laurent KALINOWSKI
M. Jacques LAMBLIN
Mme Anne-Yvonne LE DAIN
M. Jean-Yves LE DÉAUT
M. Alain MARTY
M. Philippe NAUCHE
Mme Maud OLIVIER
Mme Dominique ORLIAC
M. Bertrand PANCHER
M. Jean-Louis TOURAINE
M. Jean-Sébastien VIALATTE

SÉNATEURS

M. Patrick ABATE
M. Gilbert BARBIER
Mme Delphine BATAILLE
M. Michel BERSON
Mme Marie-Christine BLANDIN
M. François COMMEINHES
M. Roland COURTEAU
Mme Dominique GILLOT
M. Alain HOUPERT
Mme Fabienne KELLER
M. Jean-Pierre LELEUX
M. Gérard LONGUET
M. Jean-Pierre MASSERET
M. Pierre MÉDEVIELLE
M. Christian NAMY
Mme Catherine PROCACCIA
M. Daniel RAOUL
M. Bruno SIDO

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE.....	9
CONSIDÉRATIONS ISSUES DES DÉBATS EN VUE D'UNE TRANSMISSION AUX NÉGOCIATEURS DE LA COP21	11
OUVERTURE DE L'AUDITION PUBLIQUE.....	15
M. Jean-Yves Le Déaut, député, président de l'OPECST, président de l'EPTA pour 2015.....	15
M. Bruno Sido, sénateur, premier vice-président de l'OPECST.	18
M. Jean Jouzel, membre du GIEC, médaille d'or du CNRS, prix Nobel de la paix 2007 au nom du GIEC.....	21
Mme Patricia Lips, présidente de la Commission pour l'éducation, la recherche et l'évaluation technologique du Bundestag.....	23
INTRODUCTION PROSPECTIVE	27
ÉVALUATION GLOBALE DU RÔLE DE L'INNOVATION POUR RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE CO ₂	27
M. Patrick Criqui, directeur de recherche au CNRS.....	27
PREMIÈRE TABLE RONDE : L'INNOVATION POUR PROMOUVOIR L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT	31
Présidence de M. Christian Bataille, député, vice-président de l'OPECST, et de Mme Ana Isabel Mariño Ortega, sénatrice, présidente de la Commission de l'environnement et du changement climatique du Sénat espagnol.....	31
EXPOSÉS DE CADRAGE.....	32
QUEL EST L'APPORT DE L'INNOVATION À LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS ?	32
COMMENT MIEUX VALORISER LES TECHNIQUES DE CONSTRUCTION QUI ONT UN FAIBLE IMPACT ENVIRONNEMENTAL ?.....	33
QUEL EST LE VÉRITABLE APPORT DES CONSTRUCTIONS À TRÈS BASSE CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR RÉPONDRE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?.....	34
LE RÔLE DES MÉCANISMES DE RÉGULATION DANS L'OBTENTION D'UN CONFORT COMPATIBLE AVEC UNE CONSOMMATION MINIMALE D'ÉNERGIE – LE CAS DU BÂTIMENT 22-26.....	36
COMMENT LES TECHNIQUES D'ÉVALUATION PERMETTENT-ELLES UN CHOIX ENTRE RÉNOVATION ET CONSTRUCTION ?.....	37
LES PERSPECTIVES OUVERTES POUR LA CONSTRUCTION PAR LA PHYSIQUE DES MATÉRIAUX.	38
DÉBAT AVEC LES PARTICIPANTS	39

NOUVELLES FRONTIÈRES.....	50
QUELLES PERSPECTIVES LES NOUVELLES TECHNIQUES PHOTOVOLTAÏQUES OFFRENT-ELLES ?.....	50
QUEL AVENIR POUR LE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE ?	52
DEUXIÈME TABLE RONDE : LES INNOVATIONS PERMETTANT DE NOURRIR L'HUMANITÉ TOUT EN RÉDUISANT LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE	55
Présidence de M. Bruno Sido, sénateur, premier vice-président de l'OPECST, et de M. Paul Rübig, membre du Parlement européen, président du <i>Science and Technology Options Assessment (STOA)</i>	55
EXPOSÉS DE CADRAGE.....	57
COMMENT INNOVER EN STOCKANT MASSIVEMENT DU CARBONE DANS LES SOLS (À LA CAMPAGNE), ET SUR LES MURS ET LES TOITS (DANS LES VILLES) ?.....	57
LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE AU SERVICE DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	59
QUELLES TECHNIQUES AGRONOMIQUES POUR RÉPONDRE CONJOINTEMENT AUX DÉFIS DÉMOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE ?.....	61
QUELLES CONDITIONS POUR LA MULTIPLICATION ET LE SUCCÈS DES INNOVATIONS FRUGALES ?	62
LA CONTRIBUTION DE LA POLITIQUE SPATIALE EUROPÉENNE À LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	64
QUEL APPORT DES DONNÉES SPATIALES ET DE LA MODÉLISATION DANS LA GESTION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?	65
DÉBAT AVEC LES PARTICIPANTS	66
NOUVELLES FRONTIÈRES.....	73
PEUT-ON STOCKER LE CARBONE EN CONVERTISSANT LE CO ₂ ?	74
LA CONVERSION DU CO ₂ PAR LA VOIE CHIMIQUE : ÉTAT D'AVANCEMENT.	74
30^E ANNIVERSAIRE DU PREMIER RAPPORT DE L'OPECST : LES PLUIES ACIDES, TRENTE ANS APRÈS.....	79
M. Jean-Yves Le Déaut, député, président de l'OPECST, président de l'EPTA pour 2015.....	79
M. Christer Ågren, directeur du Secrétariat de la pollution de l'air et du climat, AirClim (ONG suédoise).....	80
TROISIÈME TABLE RONDE : L'INNOVATION DANS LE DOMAINE DES TRANSPORTS ET DE LA MOBILITÉ DURABLE.....	83
Présidence de M. Jean-Paul Chanteguet, député, président de la Commission du développement durable et de l'aménagement du territoire de l'Assemblée nationale.	83
EXPOSÉS DE CADRAGE.....	84
QUELLES INNOVATIONS SONT NÉCESSAIRES POUR PROMOUVOIR DE NOUVELLES MOBILITÉS ?	84
QUELLES ÉNERGIES POUR QUELLES MOTORISATIONS ?	86
COMMENT ÉVALUER L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES DIFFÉRENTS TYPES DE CARBURANTS ?.....	87
COMMENT ÉVALUER LES MODIFICATIONS SOCIOLOGIQUES QUI MARQUENT LA MOBILITÉ AUJOURD'HUI ?	89
LE TRANSPORT ÉCO-EFFICACE AU SERVICE DE LA RÉDUCTION DE LA DÉPENDANCE VIS-À-VIS DES IMPORTATIONS DE PÉTROLE ET DE LA RECHERCHE DE SOLUTIONS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	90
EXPÉRIENCES NORVÉGIENNES DANS LE DOMAINE DES TRANSPORTS : ZÉRO ÉMISSION ET NOUVELLES SOLUTIONS POUR LE SECTEUR MARITIME.	92
LE VÉHICULE 2L/100KM POUR TOUS	93

DÉBAT AVEC LES PARTICIPANTS	95
NOUVELLES FRONTIÈRES.....	106
COMMENT PROMOUVOIR DE NOUVELLES MOBILITÉS ?	106
ASPECTS SOCIO-ÉCONOMIQUES DE LA MOBILITÉ DURABLE	108
QUATRIÈME TABLE RONDE : L'IMPLICATION DU CITOYEN DANS LA GESTION DES TECHNOLOGIES INTELLIGENTES.....	111
Présidence de Mme Dominique Gillot, sénatrice, membre de l'OPECST, et de Mme Matilda Ernkrans, présidente de la Commission de l'environnement et de l'agriculture du Parlement suédois.	111
EXPOSÉS DE CADRAGE.....	112
PEUT-ON MODIFIER LES COMPORTEMENTS PAR L'ÉDUCATION, LA FORMATION, L'INFORMATION ET LA SENSIBILISATION ?	112
FISCALITÉ ET RÉGLEMENTATION SONT-ELLES LES SEULES ARMES POUR LUTTER CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ?	114
COMMENT ASSOCIER LES UTILISATEURS À LA GESTION ACTIVE DE L'ÉNERGIE ET À LA PRATIQUE DES NOUVELLES MOBILITÉS ?	115
DANS QUELLE MESURE LA PARTICIPATION AU PROCESSUS DE DÉCISION EST- ELLE UN MOYEN DE CHANGER LES COMPORTEMENTS INDIVIDUELS ?.....	117
L'APPORT DE L'ÉCONOMIE CRÉATIVE.....	118
L'IMPLICATION DES CITOYENS	119
DÉLIBÉRATIONS CITOYENNES : PROMESSES ET RISQUES	120
LE RÔLE DES ONG DANS LA PRÉPARATION DE LA COP21.....	121
L'IMPLICATION DU PUBLIC DANS LA SCIENCE	123
LE RÔLE DES CHERCHEURS ET DE LA SOCIÉTÉ : DES CITOYENS AUX ACTEURS	124
L'ÉTAT DES TRAVAUX DE RECHERCHE SUR L'IMPLICATION CITOYENNE.....	126
RÉFLEXIONS DU COMITÉ CONSULTATIF NATIONAL D'ÉTHIQUE.....	127
RÉFLEXIONS DU DÉPARTEMENT D'ANALYSE DU CONSEIL DE LA FÉDÉRATION DE RUSSIE	129
DÉBAT AVEC LES PARTICIPANTS	129
NOUVELLES FRONTIÈRES.....	133
ÉVALUATION DES EXPÉRIENCES ASSOCIATIVES, TERRITORIALES OU NATIONALES D'IMPLICATION DES CITOYENS DANS LES APPROCHES INNOVANTES POUR LE BÂTIMENT, LA MOBILITÉ, L'AGRICULTURE	133
L'EXPÉRIENCE MOBIDIX : RETOURS SUR L'EFFICACITÉ DE DIFFÉRENTES MODALITÉS D'IMPLICATION CITOYENNE	134
PROPOS CONCLUSIFS ET PRÉSENTATION DU LIVRE VERT DE L'EPTA.....	137
REMARQUES CONCLUSIVES SUR LE RÔLE DE L'OPECST	137
M. Pierre Laffitte, ancien sénateur, ancien vice-président de l'OPECST.....	137
QUELLE CONTRIBUTION DE L'EPTA À L'AGENDA DES RÉOLUTIONS DE LA COP21 ? .	138
M. Jean-Yves Le Déaut, député, président de l'OPECST, président de l'EPTA pour 2015.....	138
ANNEXES	143
ANNEXE 1 : INTERVENTION DE M. JEAN-LOUP BERTEZ, PRÉSIDENT DE L'ALLIANCE POUR LA BIODIVERSITÉ, LE CLIMAT ET LA DURABILITÉ DANS LES ALPES.....	145
ANNEXE 2 : INTERVENTION DE M. PIERRE-RENÉ BAUQUIS, ANCIEN DIRECTEUR STRATÉGIE ET PLANIFICATION DE TOTAL	149

ANNEXE 3 : INTERVENTION DE LA COMMISSION NATIONALE DU DÉBAT PUBLIC	157
ANNEXE 4 : DOCUMENT PRÉSENTÉ PAR MME VALÉRIE MASSON-DELMOTTE, DIRECTRICE DE RECHERCHE AU LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT ET DE L'ENVIRONNEMENT (LSCE), CEA, MEMBRE DU CONSEIL SCIENTIFIQUE DE L'OPECST	159
ANNEXE 5 : DOCUMENTS PRÉSENTÉS PAR MME BRIGITTE VU, INGÉNIEUR EN EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS.....	161
LIVRE VERT DE L'EPTA	167

PRÉAMBULE

L'*European Parliamentary Technology Assessment (EPTA)* regroupe, depuis plus de vingt-cinq ans, le réseau des seize structures chargées de l'évaluation scientifique et technologique auprès des parlements d'Europe. La présidence tournante organise deux réunions régulières d'échanges annuels. En 2015, l'OPECST a eu l'honneur d'assumer cette présidence et la chance de pouvoir bénéficier ainsi du plein concours de ses homologues de l'*EPTA* pour préparer l'audition publique du 24 septembre 2015. Celle-ci visait à évaluer le rôle de l'innovation dans la lutte contre le changement climatique, dans la perspective d'un soutien au développement de systèmes technologiques intrinsèquement moins émetteurs de gaz à effet de serre.

Cette audition publique a reçu le label de la COP21, en signe de la reconnaissance d'une initiative concourant au succès de la Conférence des parties à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, qui se réunira à Paris du 30 novembre au 11 décembre 2015.

Grâce au concours de l'*EPTA* et des services scientifiques des ambassades étrangères en France, elle a revêtu la dimension d'une véritable conférence parlementaire européenne : vingt-sept élus nationaux venus de tous les pays d'Europe, dont treize présidents de commission permanente, y ont été délégués par leur assemblée.

La portée symbolique de la réunion était double : d'une part, illustrer, à l'occasion de la préparation d'un événement international majeur comme la COP21, la contribution de l'évaluation technologique au pilotage des politiques publiques ; d'autre part, célébrer le trentième anniversaire du premier des cent-quatre-vingt-trois rapports de l'OPECST. Celui-ci avait analysé, en 1985, le phénomène dit des « pluies acides ».

Le présent document retrace l'ensemble des trois volets des contributions des participants à cette manifestation d'envergure européenne.

Il s'ouvre par les « considérations » tirant les leçons des échanges d'expériences au cours des débats et de leurs préparations. Ces « considérations » marquent le souhait collectif des organismes de l'*EPTA* d'attirer l'attention des négociateurs de la COP21 sur le rôle de l'innovation dans l'enjeu de la lutte contre le changement climatique et dans les politiques d'adaptation à ce changement. Discutées le 23 septembre 2015, lors du conseil annuel de l'*EPTA*, elles ont été présentées dans leurs grandes lignes en conclusion de l'audition publique du 24 septembre 2015, avant d'être modifiées pour tenir compte des débats, puis adoptées par l'*EPTA*.

La deuxième partie de ce document reprend les actes de l'audition publique proprement dite qui a permis d'entendre près d'une centaine d'intervenants.

La troisième est constituée du « Livre vert » élaboré de manière collaborative par les organismes de l'*EPTA* en vue de dresser un bilan des évaluations technologiques déjà effectuées pour leurs pays respectifs, dans les domaines concernant les politiques publiques de lutte contre le changement climatique.

L'ensemble de ces textes constitue la contribution de l'*EPTA*, pleinement soutenue par l'OPECST, à la préparation de la COP21.



Jean-Yves LE DÉAUT
Député de Meurthe-et-Moselle
Président de l'OPECST
Président de l'EPTA pour 2015

CONSIDÉRATIONS ISSUES DES DÉBATS EN VUE D'UNE TRANSMISSION AUX NÉGOCIATEURS DE LA COP21

En s'appuyant sur un document collectif préalable et après une vaste consultation, les délégués présents sont parvenus à des conclusions sur la problématique de l'innovation et du changement climatique, notamment en ce qui concerne la consommation d'énergie.

Ils suggèrent de prendre en considération les points de vue suivants.

Recommandations de politiques générales

1. Placer le soutien à l'innovation au cœur de la stratégie de lutte contre le changement climatique, en vue de rendre les infrastructures techniques de la société définitivement moins émettrices de gaz à effet de serre. Cela suppose un couplage systématique des mesures contraignantes pour limiter l'utilisation de certaines technologies (par exemple, l'interdiction de circulation pour certains véhicules), avec une incitation à développer des solutions alternatives.
2. Promouvoir des mesures en faveur de la gestion de la transition pour lutter contre le changement climatique.
3. Allouer des moyens suffisants à la recherche relative aux politiques d'adaptation.
4. Maintenir un éventail large de pistes de recherche pour les techniques visant à réduire les émissions de CO₂, en vue d'explorer toutes les options technologiques possibles et ainsi augmenter la probabilité de faire émerger de nouvelles solutions.
5. Encourager les Parlements à évaluer les nouvelles opportunités technologiques sur tout le cycle de vie de manière à inciter à un recentrage des ressources financières sur les solutions les plus efficaces.
6. Veiller, à ce que le soutien financier public au développement des technologies permettant une réduction des émissions de CO₂ comprenne des subventions allouées à des études sur l'implication des citoyens.
7. Mener des politiques axées sur les résultats et non sur les moyens, et donner la priorité aux méthodes fondées sur la mesure *in situ* aussi bien de la consommation énergétique que des émissions de CO₂.
8. Organiser et promouvoir une coopération et des partenariats internationaux pour la recherche et la prévision sur les changements du climat et de l'environnement.

Recommandations techniques générales

9. Conduire une évaluation des actions déjà menées pour lutter contre les pollutions aériennes (pluies acides, gaz détruisant la couche d'ozone) afin d'en tirer de nouveaux enseignements pour la lutte contre les émissions de CO₂.
10. Donner la priorité, au niveau des soutiens publics, au développement de solutions peu coûteuses pour le stockage massif, inter-saisonnier, de l'énergie.
11. Développer les programmes publics de recherche destinés à l'exploration des techniques de conversion du CO₂ (comme la méthanation ou d'autres technologies de transformation du CO₂).

Recommandations techniques par secteur

Dans le secteur du bâtiment :

Afin d'obtenir des résultats concrets dans la diminution des émissions de CO₂ liées aux bâtiments :

12. Mettre en œuvre la recommandation 7 et en particulier :
13. Orienter la réglementation thermique de la construction sur des objectifs de résultats, plutôt que sur des objectifs de moyens techniques.
14. Étendre à tous les projets de construction passive, indépendamment de leur mode de conception, le soutien financier attribué sur la base d'une performance dûment vérifiée, afin notamment de couvrir de façon équitable les projets *Passivhaus* et *Minergie*.

Afin d'accélérer la rénovation des bâtiments anciens :

15. Établir un plan d'incitations à la rénovation des bâtiments anciens fondé sur l'attribution d'aides aux projets globaux de rénovation conçus suite à un diagnostic complet, en réduisant les aides aux produits installés sans une analyse préalable d'ensemble des défauts à corriger.
16. Introduire des mécanismes de financement de la rénovation fondés sur le remboursement des prêts au moment de la transmission des biens, permettant de gager ce remboursement sur l'augmentation de la valeur patrimoniale procurée par le supplément de performance énergétique obtenu.
17. Favoriser l'installation de systèmes de gestion active de l'énergie, avec des compteurs intelligents, permettant aux utilisateurs de prendre eux-mêmes en main le pilotage de la performance énergétique de leur bâtiment.

Afin d'accélérer la diffusion des innovations :

18. Faciliter l'expérimentation de nouvelles solutions techniques en établissant des mécanismes d'assurance spécifiques permettant la couverture des premières mises en œuvre des innovations.
19. Assurer le maximum de transparence sur les procédures d'évaluation technique des produits et sur l'élaboration des normes par l'ouverture des instances techniques et l'institution de nouveaux contrôles au niveau européen.

Dans le secteur de l'agriculture :

20. Développer à la fois l'effort de recherche et les évaluations de cycle de vie dans le domaine des biocarburants de deuxième et troisième génération, afin de cibler au mieux les progrès réalisés.
21. Veiller à conserver la maîtrise des conditions dans lesquelles les terrains agricoles peuvent être affectés de façon équilibrée aux cultures énergétiques et à l'alimentation.
22. Organiser le régime juridique au niveau européen de la récupération des données pour alimenter les systèmes de *Big Data* nécessaires au fonctionnement de l'agriculture de précision.
23. Prendre des mesures pour développer les compétences des futurs agriculteurs et leur accès à des mécanismes de conseil.
24. Encourager le maintien d'une agriculture à la fois traditionnelle et innovante, afin d'entretenir la possibilité de voir émerger des innovations « frugales ».
25. Préserver les océans et les forêts et essayer de développer leur capacité à stocker du CO₂.
26. Mettre en place des partenariats internationaux pour faire progresser la récupération et le traitement des eaux, ainsi que la désalinisation.

Dans le secteur du transport :

27. Accorder une priorité au soutien à la recherche et l'innovation pour atteindre rapidement l'objectif du véhicule consommant moins de 2L/100kms.
28. Fixer régulièrement des obligations plus contraignantes en matière de consommation, et d'émission de CO₂ ou de particules, tout en soutenant l'effort de développement de technologies toujours plus performantes à cet égard (en matière de motorisations, de carburants ou de batteries).

29. Fixer au niveau européen les modalités d'un contrôle régulier et transparent des performances réelles des véhicules en termes de consommation, d'émissions de CO₂ et de particules.
30. Mettre en place les infrastructures nécessaires pour la recharge des véhicules électriques, pour la distribution d'hydrogène, d'air comprimé et de gaz naturel.
31. Inciter à créer des plateformes multimodales permettant d'assurer la complémentarité entre les modes de transports.
32. Réduire le besoin de voyager en mettant en place des services de communication utilisant les nouvelles technologies.
33. Prévoir des avantages pour les véhicules écologiques sur la voie publique, les autoroutes, et dans les parkings (réduction des coûts, priorité d'accès...)
34. Consolider les fondements juridiques des nouveaux usages des véhicules à partir d'une information partagée sur Internet (auto-partage, covoiturage, utilisation plus intense des flottes d'entreprises).
35. Préparer le cadre juridique, en matière de responsabilité notamment, nécessaire au développement des véhicules sans conducteur.

Dans le domaine de l'implication citoyenne :

36. Soutenir les expérimentations visant à favoriser l'appropriation des nouvelles technologies.
37. Soutenir les moyens permettant de sensibiliser les citoyens et de les impliquer dans le processus de prise de décisions avant l'introduction d'une innovation.
38. Favoriser un débat public au niveau européen, national, régional et local sur l'ampleur des financements nécessaires, en particulier en direction de l'innovation, pour obtenir des résultats concrets, dès le milieu du siècle, en matière d'émission de CO₂.

Toutes les pistes évoquées impliquent l'évaluation des technologies concernées. Les initiatives prises pour faire face au changement climatique (qu'il s'agisse de sa prévention, de son atténuation, ou de l'adaptation à ce phénomène) pourront ainsi prendre en compte à leur juste mesure les besoins et les attentes de la société, ce qui favorisera la mise en place de politiques mieux adaptées.

OUVERTURE DE L'AUDITION PUBLIQUE

M. Jean-Yves Le Déaut, député, président de l'OPECST, président de l'EPTA pour 2015. Chers collègues, chers amis, je vous remercie d'être venus nombreux pour cette réunion de l'*European Parliamentary Office of Technology Assessment (EPTA)*.

Ce rassemblement d'offices parlementaires a été créé voici vingt-cinq ans, à l'initiative de Lord Kennet, dont l'énergie et la capacité de persuasion avaient alors permis de regrouper, au sein de cette instance, des parlementaires de tous les pays européens suivant les questions scientifiques et technologiques.

La France préside l'*EPTA* pour l'année 2015, puis cédera la place à l'Autriche en 2016.

Nous avons choisi de traiter aujourd'hui de l'innovation et du changement climatique. Il s'agit là d'un sujet majeur, qui va être introduit notamment par Jean Jouzel.

Claude Bartolone, président de l'Assemblée nationale, m'a demandé de bien vouloir l'excuser auprès de vous ; il nous rejoindra ultérieurement.

Nous fêtons également le trentième anniversaire de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques français (OPECST), et plus particulièrement celui de la publication, en 1985, de son premier rapport, consacré aux pluies acides et élaboré sous la conduite de notre collègue, malheureusement décédé, Georges Le Baill.

Nous sommes aujourd'hui particulièrement heureux d'accueillir à cette occasion vingt-sept parlementaires, venus de seize pays d'Europe, ainsi que des experts de l'évaluation technologique d'une trentaine de pays du monde, y compris les États-Unis d'Amérique, la Corée du Sud, la Russie, que nous remercions de leur présence.

L'*EPTA* regroupe traditionnellement une vingtaine de pays, mais nous avons fait le choix d'élargir cette réunion à l'ensemble des pays de l'Espace économique européen. Cela afin d'encourager les Parlements qui, en Europe, ne sont pas encore dotés d'une structure d'évaluation technologique, à franchir cette étape, pour rejoindre l'*European Parliamentary Office of Technology Assessment*, au sein duquel ils seront les bienvenus.

Nous voulons ainsi apporter concrètement notre concours à un programme communautaire allant dans ce sens, le programme PACITA (*Parliaments and Civil Society in Technology Assessment*). Je remercie à ce propos M. Paul Rübige, membre du Parlement européen et président du *Science and Technology Options Assessment (STOA)*, d'être présent aujourd'hui.

Nos échanges vont être d'autant plus intéressants que les orateurs représenteront largement l'ensemble de la communauté scientifique intéressée par la promotion et la diffusion de l'innovation en matière de changement climatique. Bien évidemment, l'innovation n'est pas le seul levier pour lutter contre le changement climatique ; elle peut toutefois y contribuer de façon majeure. Il arrive ainsi que l'on se focalise sur des dispositifs fiscaux ou réglementaires, sans montrer que la science et la recherche peuvent faire évoluer la situation. Nous allons, par conséquent, nous intéresser plus particulièrement aujourd'hui aux avancées en termes d'innovation, au service de la lutte contre les changements climatiques.

Cette conférence a été labellisée par la COP21, 21^{ème} Conférence des parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, qui se tiendra au Bourget, près de Paris, du 30 novembre au 11 décembre 2015.

Les quatre sous-thèmes que nous allons aborder aujourd'hui ont été choisis en concertation avec nos collègues de l'*EPTA*, lors d'une séance de travail tenue à la fin du mois d'avril 2015. Le thème de l'agriculture a notamment été introduit à cette occasion et confirmé lors d'une réunion avec notre Conseil scientifique, le 9 juin 2015. Ces thèmes mettent l'accent sur les différents types d'innovations qui visent à assurer une meilleure maîtrise de la demande énergétique, en lien avec les gestes humains élémentaires consistant à se nourrir, se loger, se déplacer. À ces trois volets, s'ajoute une évaluation des conditions permettant d'obtenir une implication personnelle des citoyens, au niveau de leurs gestes quotidiens, afin de minimiser les émissions de gaz à effet de serre.

Ce choix de privilégier les actions possibles du côté de la demande plutôt que de l'offre énergétique part du souci de proposer un sujet ouvert, couvrant une préoccupation commune à tous les pays et permettant un large échange d'expériences. En effet, à l'inverse, les adaptations de l'offre énergétique comportent une dimension stratégique, qui rend les choix en ce domaine très dépendants de l'histoire et de la géographie de chaque pays ainsi que de ses choix politiques fondamentaux. Dans ce domaine, les problèmes qu'auront à résoudre les pays du Sud ne seront pas les mêmes que ceux auxquels seront confrontés les pays du Nord.

Je précise que la présente conférence n'a pas vocation à débattre de la place de l'énergie nucléaire ou de la part des hydrocarbures dans la production d'électricité, bien qu'il s'agisse là d'enjeux importants.

En ce domaine, la France, au travers notamment de la récente loi du 17 août 2015 sur la transition énergétique, a décidé un repli partiel de sa capacité de production nucléaire de 75 % à 50 % de la production d'électricité avant la fin de la prochaine décennie, tout en poursuivant la construction de l'EPR et en maintenant l'effort de recherche pour la quatrième génération de réacteurs.

À cet égard, les préconisations de l'OPECST formulées en décembre 2011 dans le rapport de MM. Claude Birraux, Christian Bataille et Bruno Sido sur l'avenir de la filière nucléaire, à la suite de l'accident de Fukushima, confirmées dans celui que j'ai rédigé avec M. Bruno Sido, premier vice-président de l'OPECST et sénateur, sur la transition énergétique, ont été suivies.

Nous avons recommandé une baisse progressive de la capacité de production nucléaire, jusqu'à un socle de 30% à 40% vers la fin du siècle. Cette recommandation part du constat qu'un réseau électrique doit s'appuyer sur une part minimale de production électrique stable pour contrebalancer les productions intermittentes. La plupart des grands pays industrialisés s'en remettent pour ce socle d'électricité stable au charbon ou au gaz. La France s'en tient, à cet égard, au choix qu'elle a fait au début des années 1970 d'abandonner le charbon. Dans la mesure où les énergies renouvelables ont souvent pris part aux combinaisons de solutions locales pour la limitation des émissions des gaz à effet de serre, celles-ci auront pleinement leur place dans les échanges de la présente journée.

Chaque sous-thème fera l'objet d'une table ronde d'une heure et demie, lancée par des exposés de cadrage suivis d'un débat largement ouvert à tous les participants, selon une règle qui a fait ses preuves à l'OPECST, au Parlement européen ou au Conseil de l'Europe : chaque intervenant disposera pour s'exprimer, en dehors des exposés de cadrage initiaux, de deux minutes seulement, condition nécessaire à un débat vivant.

La conférence visant au premier chef à mettre en valeur l'apport des évaluations technologiques, les interventions feront pour l'essentiel état de retours d'expériences sur des innovations déjà mises en œuvre.

Il nous a semblé cependant que certains domaines de recherche revêtant une dimension stratégique particulière devaient également être évoqués au cours de cette journée de réflexion sur les innovations face aux changements climatiques. Ils feront ainsi l'objet d'exposés portant sur les nouvelles frontières, en conclusion de chacune des tables rondes. Cela concerne notamment des pistes de recherche que nous suivons depuis longtemps, telles que les nouvelles technologies photovoltaïques, le stockage de l'énergie ou la conversion du CO₂.

À ce propos, j'ai visité, en mars 2015, le centre de recherche du *Department of Energy (DOE)*, à Sandia, au Nouveau-Mexique, dans lequel, même si cela est expérimental, un petit réacteur de conversion du CO₂ produit en continu, à partir d'énergie solaire concentrée, plusieurs gallons de méthanol par jour.

Les autres exposés effectués au titre des nouvelles frontières permettront d'ouvrir des perspectives, d'une part, sur les futures formes de mobilité, d'autre part, sur les expérimentations réussies en matière d'implication des citoyens. En effet, gagner la lutte contre le réchauffement climatique suppose que nos concitoyens s'approprient cet enjeu.

Nous fêtons aussi, en 2015, comme je vous l'ai indiqué précédemment, le trentième anniversaire de l'OPECST. Deux exposés devraient nous permettre d'en savoir plus sur le sujet qui a fait l'objet de notre premier rapport, consacré aux pluies acides. Ce bilan sera d'autant plus intéressant que la pollution par les pluies acides apparaît, rétrospectivement, comme une transposition en modèle réduit du sujet planétaire qui nous préoccupe aujourd'hui.

Les actes de cette journée seront bien sûr publiés, en français et en anglais, et seront associés aux seize contributions rédigées sur le sujet des changements climatiques par les membres de l'EPTA.

Nous formulerons ce soir, en conclusion de ces débats, des recommandations générales, qui seront transmises aux organisateurs de la COP21, afin que nos travaux fassent partie des éléments pris en compte par la négociation internationale. Notre conférence aura donc des suites : il s'agira notamment de veiller à ce que la dimension de l'innovation ne soit pas oubliée et d'indiquer aux négociateurs que cette lutte contre les changements climatiques passe également par les Parlements, sans lesquels il n'y aura pas d'évolution possible.

Je compte donc sur vous pour que la qualité de nos travaux de ce jour nous aide à transmettre des messages forts, car solidement étayés par nos échanges.

Je vous remercie.

M. Bruno Sido, sénateur, premier vice-président de l'OPECST. Je voudrais saluer en cet instant Mesdames et Messieurs les présidents, les parlementaires, les membres du Conseil scientifique de notre Office, les directeurs de l'EPTA, ainsi que toutes celles et tous ceux qui nous font l'honneur d'être présents aujourd'hui.

Les riches heures de l'EPTA viennent d'être évoquées et illustrées par notre président, le député Jean-Yves Le Déaut. Il m'incombe à présent d'appeler votre attention sur l'autre événement justifiant la réunion de cette brillante assemblée, à savoir le trentième anniversaire de notre Office parlementaire, ou plutôt celui de la parution de son premier rapport consacré, en 1985, aux pluies acides.

L'OPECST est né en 1983, d'une ambition peu raisonnable – mais l'ambition l'est-elle jamais ? – visant à repérer les sujets scientifiques et technologiques posant des problèmes complexes pour en vulgariser la connaissance au profit des parlementaires des deux Assemblées avant qu'ils ne légifèrent sur ces thèmes. Cet objectif, pour clair et louable qu'il fût, risquait fort toutefois de ne jamais être atteint, tant il supposait de défis à relever.

Trente années plus tard, en 2015, j'ai le plaisir de vous assurer que l'Office a joué son rôle, car la magie de la méthodologie retenue pour ses études a opéré et que des parlementaires passionnés par la mission de cet Office ont émergé et s'y sont investis pleinement.

Voici, sommairement décrits, les atouts au service de l'Office :

Dix-huit parlementaires de chaque Assemblée, tous volontaires ;

- des contacts réguliers et approfondis avec la communauté scientifique : nous disposons ainsi d'un Conseil scientifique de vingt-quatre membres de très haut niveau et procédons à des entretiens et à des visites rapprochant l'Office des Académies, des organismes de recherche, des directeurs de recherche, des grandes entreprises ;

- un choix très attentif des thèmes scientifiques et technologiques à traiter, grâce à des saisines filtrées par les Commissions permanentes des Assemblées, voire par les Bureaux de celles-ci, puis par l'élaboration d'une étude de faisabilité pouvant éventuellement conduire à écarter un thème. Il faut préciser que l'Office se garde des thèmes d'actualité trop immédiate, sauf pour s'informer ponctuellement, au moyen d'auditions publiques ;

- l'audition, par les rapporteurs désignés, de près d'une centaine de personnes pour chaque étude ;

- les conseils d'un groupe de travail de spécialistes éventuellement constitué par les rapporteurs pour une étude précise et consulté à intervalles réguliers ;

- la constitution d'un double secrétariat, composé de fonctionnaires talentueux, en charge de la coordination des travaux, des comptes rendus et de la rédaction des avant-projets des rapports d'études.

Dans ses *Essais quasi politiques*, Paul Valéry s'est interrogé sur ce qu'aurait pu être la réaction des plus grands savants ayant existé jusqu'à la fin du XVIIIe siècle si, en quelque lieu des enfers, un messager de la Terre leur eût apporté une dynamo. Il estimait que, Archimède, Newton, Galilée et Descartes n'ayant connu ni le courant électrique ni l'induction, l'objet leur serait demeuré mystérieux. Placé dans une situation analogue lorsqu'il est saisi de sujets nouveaux, l'Office, lui, pourrait auditionner Volta, Ampère, Faraday et quelques autres, et, grâce à leurs lumières, éclairer les lecteurs de ses rapports.

En dépit des précautions méthodologiques propres à l'Office, tout cela aurait pu échouer dès le premier rapport, sur un thème qui laissait alors les scientifiques interdits ou divisés, puisqu'il s'agit des formes de pollution atmosphérique à longue distance connues sous le nom de « pluies acides », qui entraînaient alors le dépérissement des forêts situées dans l'Est de la France et l'Ouest de l'Allemagne. À l'époque, les journalistes – donc l'opinion publique – et les scientifiques étaient convaincus que la présence d'éléments acides dans les nuages, puis dans les pluies, détruisait les forêts. Quelques scientifiques supposaient que cela pouvait être différent et plus complexe, mais ils n'étaient pas les plus entendus.

Je dois donc rendre hommage au député Georges Le Baill, aujourd'hui décédé, qui a, sans faiblir, mis en œuvre les méthodes de travail propres aux études de l'Office et conclu – ce qui avait alors étonné – à la complexité du phénomène d'acidification des pluies, à l'influence de nombreux polluants, dont les carburants automobiles, tout en soulignant le rôle joué par les sols. L'Office avait alors préconisé un contrôle technique des automobiles à intervalles réguliers, ce qui apparaît aujourd'hui bien banal car entré dans les habitudes.

Depuis 1985, plus de cent quatre-vingts rapports de l'Office ont été publiés, incluant aussi bien des études de près de huit cents pages, que des comptes rendus d'auditions publiques, constituant ainsi un *corpus* assez impressionnant et, je le crois, de référence, du moins pour la quasi-totalité de ces rapports et d'après les échos fréquemment recueillis auprès de la communauté scientifique.

Comme les deux journées de l'*EPTA* s'articulent autour du thème de l'innovation au service de la lutte contre les changements climatiques, j'ai le plaisir d'appeler votre attention sur le fait que la méthode décrite précédemment a particulièrement bien fonctionné avec le sénateur Marcel Deneux – malheureusement absent aujourd'hui pour des raisons de santé – lorsque, en 2002, saisi par le Bureau de chacune des deux Assemblées d'une étude sur le cycle de l'eau, il a proposé à l'Office de traiter des changements climatiques à l'horizon 2100. Ses travaux ont constitué le premier rapport parlementaire sur les changements climatiques, dont un résumé et le rappel de sa centaine de recommandations sont d'ailleurs disponibles à l'entrée de cette salle.

Malheureusement, vous le verrez, toutes ces recommandations n'ont pas été suivies à ce jour et ce qui était urgent voici une douzaine d'années est devenu une criante priorité.

Cette évocation me rappelle d'ailleurs que j'ai omis d'insister sur un aspect essentiel de la méthodologie de l'Office, à savoir une attention particulière portée au choix des mots employés dans ses études. C'est l'une des raisons pour lesquelles l'intitulé du rapport de 2002 n'a pas retenu le terme de « changement global », traduit de l'anglais et jugé bien trop vague car n'évoquant pas directement le climat, ni celui de « réchauffement climatique » car, comme les réchauffements, les refroidissements et les modification des régimes de précipitations ou du rythme et de la violence des événements climatiques extrêmes sont également à redouter. A également été écartée l'expression « changement climatique », qui laisserait supposer une seule modification, donc un phénomène bien plus prévisible que la réalité complexe que nous devons affronter désormais. L'Office a finalement retenu l'expression de « changements climatiques », pour mentionner explicitement le climat, dépasser le seul réchauffement et suggérer la multiplicité et la variété des changements à attendre ou à redouter.

De même, plus récemment, dans le rapport sur la sécurité numérique des entreprises que j'ai cosigné avec Mme Anne-Yvonne Le Dain, députée, vice-

présidente de l'OPECST, nous avons pris soin de fournir aux lecteurs un glossaire très complet et d'employer des termes français et compréhensibles, en mentionnant toujours leur équivalent en anglais et en explicitant en détail les expressions les plus techniques.

Je terminerai mon propos introductif en vous souhaitant tout à la fois des travaux fructueux et un excellent séjour à Paris mais aussi en vous priant de nous tenir informés, aujourd'hui comme à l'avenir, des méthodologies originales expérimentées dans vos Parlements respectifs et susceptibles de contribuer à améliorer encore celle mise en œuvre par notre Office en France. Vous en aurez notamment l'occasion, au cours de la journée, lors de vos interventions et questions ou à la faveur de conversations impromptues.

M. Jean Jouzel, membre du GIEC, médaille d'or du CNRS, prix Nobel de la paix 2007 au nom du GIEC. Bonjour à tous. Je suis très heureux d'être ici et vous remercie de m'avoir invité.

Je souhaite tout d'abord féliciter l'OPECST pour ses trente ans. Je suis moi-même chercheur et il est très important que nous ayons, au Parlement français, des parlementaires qui s'intéressent à la recherche et à l'innovation. En effet, on ne peut, par exemple, imaginer atteindre l'objectif de limitation du réchauffement climatique à deux degrés, auquel nous adhérons certainement tous ici, sans recherche, y compris fondamentale, ni innovation. La poursuite de cet objectif nécessite la mise en œuvre d'un véritable changement de mode de développement, qui doit s'appuyer sur des innovations, dans de multiples domaines, techniques, technologiques, ainsi que dans les usages. Tout doit être orienté, dans notre approche, vers ces innovations, au service de la lutte contre le réchauffement climatique.

Je vais tenter de vous exposer brièvement la situation dans laquelle nous nous trouvons en termes de réchauffement climatique, puis de vous expliquer pourquoi il est indispensable de parvenir à limiter ce réchauffement à deux degrés et dans quelle mesure l'atteinte de cet objectif passe largement par l'innovation.

Si rien n'était fait pour lutter contre le réchauffement climatique, nous atteindrions un réchauffement de quatre à cinq degrés en moyenne à la fin de ce siècle, allant jusqu'à six à sept degrés à la fin du siècle prochain. Les conséquences en seraient essentiellement négatives, dans tous les domaines. Nous pourrions parler notamment de l'acidification des océans ou des événements extrêmes comme les cyclones ou les canicules, qui deviendraient plus intenses. À Paris, par exemple, les étés de la fin du siècle pourraient être de sept à huit degrés plus chauds que les étés moyens du XXe siècle.

À titre de comparaison, l'été 2003, qui ne nous a pas laissé un souvenir très agréable, n'était que de trois degrés plus chaud que la moyenne. Cela permet de mesurer le changement d'échelle auquel nous serions confrontés si rien n'était fait pour lutter contre le changement climatique. Tous les problèmes liés aux

populations seraient alors amplifiés, tant en termes de migrations que de ressources en eau, de sécurité – alimentaire, mais aussi au sens le plus large du terme – de santé et d’environnement, de perte de biodiversité et d’atteintes aux écosystèmes naturels. Nous devrions également faire face à des phénomènes irréversibles, que sont notamment l’élévation du niveau de la mer ou la fonte du permafrost.

Tous les voyants sont au rouge. L’idée de cet objectif de limitation à deux degrés du réchauffement climatique devrait permettre de nous y adapter, pour l’essentiel. Cela suppose la mise en œuvre d’un autre mode de développement.

Si l’on étudie la façon dont sont composées les émissions de gaz à effet de serre, on constate que les combustibles fossiles jouent, pour une proportion située entre les deux tiers et les trois quarts du phénomène chaque année. Les pratiques agricoles, dont nous allons débattre aujourd’hui, peuvent intervenir pour environ 20 %, la déforestation pour 10 %. Par rapport à la stabilisation du climat à long terme, c’est bien la quantité cumulée de gaz carbonique que nous allons émettre qui est au cœur du problème.

Si l’on veut rester sous la barre des deux degrés, il nous faut n’émettre que 800 milliards de tonnes de CO₂ ; or si nous avons accès aux réserves actuelles de combustibles fossiles – ce qui est tout à fait possible au regard des conditions techniques, technologiques et financières d’aujourd’hui – cela équivaldrait à l’émission de plus de 5 000 milliards de tonnes de gaz carbonique. Si nous voulons espérer atteindre l’objectif que nous nous sommes fixés, il nous faudra donc laisser plus de 80 % des combustibles fossiles là où ils sont. Pour dire les choses autrement, au rythme actuel des émissions, nous n’avons plus qu’une vingtaine d’années devant nous pour agir.

Il faut donc envisager un changement complet de mode de développement et mettre l’innovation, tant en termes d’usages que dans la mobilité, l’urbanisme ou le stockage de l’énergie, au service de la lutte contre le réchauffement climatique. Dans ce contexte, il est essentiel de partir de la recherche fondamentale et de l’innovation dans ces domaines.

Je suis convaincu que c’est l’innovation qui va nous permettre de parvenir à atteindre ce but de maintien du réchauffement sous le seuil des deux degrés.

Il me semble intéressant de garder présente à l’esprit la question des échelles de temps. Vous avez évoqué les pluies acides. Sans doute avez-vous de même suivi le problème de l’ozone, qui s’est d’ailleurs largement résorbé grâce à des innovations – principalement dans le domaine de la chimie, avec l’élaboration de composés nouveaux altérant moins l’ozone – et présente certaines similitudes avec le sujet qui nous réunit aujourd’hui, bien que ce dernier soit plus complexe. Les scientifiques avaient indiqué, avec raison, que l’arrêt d’utilisation des chlorofluocarbones permettrait un retour à la couche d’ozone normale, préindustrielle. Cela a été une réussite.

En matière de changements climatiques, les innovations, dans tous les domaines (transports, énergies, pratiques agricoles, *etc.*), vont aussi avoir un rôle majeur à jouer.

L'une des spécificités de la question climatique réside, par ailleurs, dans le fait qu'elle concerne chacun d'entre nous. En France, comme dans certainement beaucoup de pays européens représentés ici, la moitié des émissions de gaz à effet de serre est liée à la façon dont nous nous déplaçons, à notre consommation domestique et à nos pratiques alimentaires. Chacun peut ainsi, dans sa vie quotidienne, influencer sur une grande partie des émissions de gaz à effet de serre dont nos pays respectifs sont à l'origine.

Au-delà d'un appel à un accord ambitieux dans le cadre de la Conférence de Paris, il faut donc aussi appeler de nos vœux une mobilisation complète des collectivités locales, des ONG, du système éducatif comme des médias. Je suis très heureux que les parlementaires se mobilisent pour cette COP21 et vous en félicite. Le monde scientifique est également largement sensibilisé à cette problématique. L'élan collectif est au cœur de la réussite future de cette marche vers un climat dont le réchauffement serait limité à deux degrés. Dans cette démarche, je crois fermement que l'innovation aura un rôle crucial à jouer.

Mme Patricia Lips, présidente de la Commission pour l'éducation, la recherche et l'évaluation technologique du Bundestag. Monsieur le président Le Déaut, Monsieur le président Sido, Mesdames et Messieurs les parlementaires, scientifiques, membres de la communauté de l'*EPTA*, si nous nous retrouvons aujourd'hui, c'est pour au moins trois raisons, dont je ne sais laquelle mentionner en premier : la réunion annuelle de l'*EPTA*, qui se tient à Paris sous présidence française, le rôle de l'innovation dans la lutte contre le changement climatique, thème clé de la conférence d'aujourd'hui, ou le trentième anniversaire de l'OPECST ? Tout cela est vraiment très intéressant et, de surcroît, d'actualité. Peut-être commencerais-je toutefois par mentionner la célébration du trentième anniversaire de l'OPECST, à l'occasion duquel je souhaiterais transmettre toutes mes félicitations aux parlementaires membres de cet Office, ainsi qu'à tous ceux qui en sont à l'origine, y ont travaillé et continuent de le faire. J'aimerais également vous transmettre les bons vœux de mes collègues du Bundestag et de notre Commission d'évaluation technologique.

Il a été décidé d'établir l'Office pour conseiller les parlementaires sur les questions liées au développement technologique et scientifique. Vous avez, en 1985, publié votre premier rapport, consacré à la pollution atmosphérique.

À l'époque, le Bundestag, en Allemagne, évoquait depuis une dizaine d'années déjà la question de mettre en œuvre une instance de conseil technologique et scientifique pour les travaux du Parlement. Un accord existait entre les partis et les groupes parlementaires pour en reconnaître la nécessité. Un consensus était, en revanche, plus difficile à trouver sur la manière dont cela

devait s'organiser. Ce n'est ainsi qu'en 1989 que notre Parlement a adopté le principe de la création d'un tel Office.

L'OPECST est donc, en quelque sorte, notre grand frère, et il n'existe plus aujourd'hui, dans les différents Parlements, aucun doute quant à l'opportunité de l'existence de ces Offices.

Cela me conduit à évoquer la deuxième raison de notre réunion ici à Paris, à savoir la coopération au sein de l'*EPTA*. La coopération internationale s'est considérablement développée au cours des dernières années. La communauté de l'*EPTA* est ainsi passée de six membres en 1990 à trente aujourd'hui, auxquels s'ajoutent quelques membres associés. Les réunions de cet Office parlementaire européen sont devenues des réunions de travail à part entière.

Le projet européen *PACITA*, financé au titre du 7^{ème} programme cadre pour la recherche, s'est conclu à Berlin. J'espère que d'autres pays pourront suivre cet exemple. La France a toujours été le moteur de la coopération internationale dans ce domaine.

Je voudrais rappeler la déclaration finale des Offices parlementaires européens, exprimée voici quasiment sept ans, jour pour jour, en septembre 2008, à Paris. Elle avait souligné à l'époque l'importance du rôle des Parlements pour établir un lien entre les experts, les parlementaires et les citoyens en matière d'avancées scientifiques et technologiques. Les Parlements nationaux étaient encouragés à étendre leur coopération et à se tourner davantage vers l'expertise et les meilleures pratiques pour éclairer leurs travaux et consolider la dimension parlementaire de l'*EPTA*.

La présidence française de l'*EPTA* en 2015 devrait permettre de renforcer encore le réseau et la coopération des partenaires et de mettre en exergue les travaux de l'*EPTA*, au-delà même du cercle des initiés. Les résultats de l'audition d'aujourd'hui, sur un sujet très ambitieux, pourront ainsi, avec le Livre vert de l'*EPTA*, rayonner au-delà de cette conférence et éclairer je l'espère, avec les contributions de nos partenaires, les travaux de la COP21.

Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 % avant 2020, l'Allemagne table sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Ces questions de changement climatique sont, pour le Bundestag, très importantes.

Je souhaiterais vous faire part de quelques études demandées par notre Office et rejoignant les thèmes évoqués aujourd'hui. Ces rapports sont toujours débattus au Parlement. La plupart sont en lien avec les deuxième et troisième tables rondes de cette conférence. Les perspectives en termes de systèmes à faible niveau de carbone et d'électromobilité sont importantes pour le commerce, la société et l'environnement. Cela concerne par ailleurs le stockage et la capture du carbone, les systèmes de stockage d'énergie, la gestion du cycle du carbone, l'ingénierie climatique, l'agriculture de précision et les possibilités nouvelles en matière d'énergie.

L'efficacité énergétique des bâtiments et la participation des citoyens ont fait l'objet de trois rapports, notamment pour ce qui concerne la valorisation des matières premières dans le secteur du bâtiment, les possibilités d'action en termes de communication et les innovations en matière de réseaux de distribution électrique, autant de sujets que nous aborderons plus encore à l'avenir.

J'espère que la réunion d'aujourd'hui sera couronnée de succès et je saisis cette occasion pour vous dire que nous aussi aurons un anniversaire à célébrer puisque nous fêterons en décembre 2015 nos vingt-cinq ans d'existence. Je vous invite donc à nous rejoindre à Berlin, au Bundestag, le 2 décembre, et espère que vous pourrez être des nôtres. Cet anniversaire sera placé sous le thème de l'interaction entre l'homme et la machine.

Je vous souhaite à nouveau une excellente réunion.

M. Jean-Yves Le Déaut. Merci Madame la présidente. Nous viendrons d'autant plus volontiers à Berlin que se tiendra ici même, le 10 décembre 2015, une audition consacrée à une thématique très voisine de celle choisie pour votre célébration, puisqu'elle aura pour sujet « Les robots et la loi » et s'attachera à envisager dans quelle mesure la robotisation va conduire à modifier la loi.

INTRODUCTION PROSPECTIVE

ÉVALUATION GLOBALE DU RÔLE DE L'INNOVATION POUR RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE CO₂.

M. Patrick Criqui, directeur de recherche au CNRS. Monsieur le président, Monsieur le vice-président, Mesdames et Messieurs, je vous remercie de m'avoir invité à donner une perspective globale au scénario permettant d'analyser le rôle des technologies dans le processus de décarbonisation.

Je vais tenter de vous présenter brièvement les principales conclusions d'une étude qui se trouve à la convergence de deux programmes de recherche.

Le premier, international, a été lancé en 2013 par M. Jeffrey Sachs, conseiller économique de Ban Ki-Moon, et Mme Laurence Tubiana, aujourd'hui ambassadrice climat du président Hollande. Il porte le nom de « *Deep decarbonization pathways* », c'est-à-dire, en français, « Trajectoires de décarbonisation profonde des systèmes énergétiques ». Ce projet avait pour objectif de stimuler la fabrication, dans les plus grands pays émetteurs de gaz à effet de serre, de scénarios bas carbone, compatibles avec la recherche de l'objectif de limitation du réchauffement climatique à deux degrés, comme évoqué par M. Jean Jouzel. Quinze équipes ont ainsi produit, pour leurs pays respectifs, des scénarios de décarbonisation de leurs systèmes énergétiques.

Le second projet de recherche, qui utilise les résultats du premier, a été développé dans le cadre de l'ANCRE (Alliance Nationale de Coordination pour la Recherche en Énergie, créée en France), qui permet de favoriser les échanges, les interactions entre des chercheurs des grands établissements publics (universités, Commissariat à l'énergie atomique, Institut français du pétrole et des énergies nouvelles, CNRS – que je représente au sein de l'un des groupes de travail de l'ANCRE –, etc.). L'idée développée dans le groupe de travail de l'ANCRE sur la prospective est d'utiliser les scénarios proposés dans le cadre du projet international « *Deep decarbonization pathways* » pour essayer de mesurer le rôle de l'innovation technologique et des différentes technologies dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre à long terme. Nous avons appelé cette étude « *Decarbonization wedges* ». Les « *wedges* » sont ce qui permet de passer d'une situation qui, si l'on ne fait rien, se caractériserait par une grande quantité d'émissions de gaz à effet de serre, à une situation dans laquelle on serait au contraire, grâce à la mobilisation de différents leviers (« *wedges* »), en capacité de limiter de manière très significative ces émissions à long terme.

Dès le début de l'étude, en 2012, notre collègue Jim Williams, conseiller du gouverneur de Californie Jerry Brown pour les scénarios de décarbonisation, avait indiqué qu'il existait trois piliers pour la décarbonisation des systèmes : l'efficacité énergétique, la décarbonisation des vecteurs énergétiques, en particulier du système électrique, et le développement de vecteurs énergétiques

bas carbone, au premier rang desquels l'électricité, dans les usages finaux de l'énergie et principalement dans le secteur des transports dont on sait qu'il est finalement le plus dépendant techniquement des énergies fossiles, notamment du pétrole.

Il est important de bien considérer le déroulement de cette séquence, afin de respecter sa logique. En effet, si l'on procède, par exemple, à l'électrification des transports avant d'avoir décarbonisé le système électrique, on ne parviendra pas au résultat recherché. Cette séquence « efficacité énergétique – décarbonisation des vecteurs – nouveaux vecteurs bas carbone dans la consommation finale » structure l'ensemble des scénarios du projet « *Deep decarbonization* ».

Nous avons ainsi, dans nos travaux au sein de l'ANCRE, tenté d'identifier, à partir des différents scénarios de décarbonisation, dix-sept technologies clés (ou *decarbonization wedges*) :

- six d'entre elles se situent au niveau de la demande dans les trois grands secteurs (bâtiment, transports, industrie) : il s'agit, d'une part, de leviers en termes d'efficacité énergétique voire de sobriété énergétique dans certains cas consistant à réduire la consommation d'énergie pour un service donné, si possible identique ou de meilleure qualité ; d'autre part de leviers de décarbonisation visant, par exemple, à remplacer l'essence par l'électricité dans le secteur des transports ou à introduire du biogaz dans les réseaux de gaz naturel ;

- onze options sont relatives à la production d'électricité : cela concerne notamment la capture et la séquestration sur des centrales utilisant des énergies fossiles, le remplacement du charbon par le gaz – cette option est discutable, mais il faut savoir que 1 kWh produit à partir d'une turbine à gaz conduit à des émissions de CO₂ deux fois moindres que 1kWh produit dans une centrale à charbon – le gaz avec séquestration, l'énergie nucléaire, hydraulique, éolienne *onshore* et *offshore*, le solaire photovoltaïque, les centrales solaires à concentration, l'utilisation de la biomasse et quelques autres applications comme la géothermie.

Nous avons ainsi essayé d'identifier et de quantifier ces dix-sept options afin de considérer leur importance relative dans les scénarios du projet « *Deep decarbonization* ».

Je ne peux pas, en quelques minutes, vous présenter les résultats détaillés de ces travaux. Nous avons, par exemple, représenté dans des graphiques la manière dont, à partir d'une projection de référence, contrefactuelle, dans quatre grands types de régions (pays émergents, industrialisés, à forte intensité carbone et à moindre intensité carbone), on peut mesurer la contribution de chacune des dix-sept grandes technologies à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Cela montre que les enjeux peuvent être différenciés selon les régions : dans les pays émergents, faibles émetteurs de carbone aujourd'hui, on doit noter, par exemple, que la réduction des consommations n'est pas le vecteur essentiel. Ce sont en effet souvent des pays dans lesquels le niveau de consommation et de satisfaction des besoins énergétiques est actuellement assez faible ; il y a donc peu à gagner dans ces secteurs. Il faut simplement éviter que ces pays ne s'engagent dans des voies de forte consommation.

Ce type d'étude permet, en outre, de mettre en évidence le fait que, globalement, les vecteurs de demande sont aussi importants que les vecteurs d'offre. Il s'agit là d'un message très important en matière d'efficacité énergétique : les innovations à mettre en œuvre au niveau de la maîtrise de la consommation d'énergie et de la décarbonisation des vecteurs ont un poids globalement aussi important que les options d'offre, c'est-à-dire notamment le développement des moyens de production d'électricité bas carbone. Cela a de nombreuses implications.

Ce type d'étude permet d'aboutir à deux conclusions essentielles.

Il apparaît ainsi que les gains au niveau de la demande supposent des innovations technologiques mais aussi sociales, comportementales et institutionnelles. Nous avons en particulier déjà évoqué le rôle des territoires dans la mise en œuvre des stratégies de décarbonisation et de transition énergétique. Il s'agit d'un élément extrêmement important.

Ces travaux montrent également que le rôle des énergies renouvelables variables (éolienne et solaire) dans la plupart des pays et régions conduit à repenser l'architecture des grands systèmes énergétiques, en particulier électriques, avec probablement la nécessité de mettre en œuvre progressivement des réseaux de transport d'électricité à l'échelle continentale ou *super grids*, pour équilibrer l'offre et la demande d'électricité sur de grandes plaques et des réseaux de distribution d'électricité intelligents ou *smart grids*, au niveau plus local, pour gérer la flexibilité de la demande, et, enfin, certainement, plus avant dans le temps, des systèmes de stockage d'électricité.

Dans notre étude, nous avons aussi demandé aux experts technologiques et aux groupes de travail de l'ANCRE (qui en compte dix, par grande catégorie de ressources : biomasse, capture et séquestration, nucléaire, solaire, éolien, transport, industrie) de nous indiquer quels étaient, selon eux, les principaux obstacles à lever. Il est intéressant de noter que ces experts ont évidemment pointé la nécessité de renforcer l'effort de recherche et développement dans le domaine, mais aussi souligné l'importance de disposer, à côté de « *Technology-push* » (la poussée des technologies par la recherche et le développement), des stratégies cohérentes de « *Demand-pull* » (ou « aspiration par la demande ») ou, à travers les bons signaux économiques et les bonnes régulations de marchés, de façon à favoriser la diffusion des nouvelles technologies.

Cela m'amène à la conclusion suivante : les scénarios de décarbonisation – qui constituent, nous l'espérons, une contribution à la préparation de COP21, dans la mesure où, grâce au projet « *Deep decarbonization* », les plus grands pays émetteurs disposant aujourd'hui de trajectoires de long terme – montrent que l'on a besoin d'un portefeuille technologique diversifié. Il n'existe pas de solution miracle permettant, à elle seule, de résoudre tous les problèmes de la transition énergétique. Chaque pays, chaque région, doit choisir et combiner son portefeuille technologique.

Chacune des dix-sept options que nous avons identifiées a donc un rôle important à jouer.

Les politiques publiques devraient combiner la poussée technologique, par les actions de recherche et développement et de diffusion des technologies, avec des actions d'aspiration par la demande, à travers des prix du carbone, des systèmes de quotas et éventuellement des normes d'émission, à l'image du « *Clean power plan* » du président Barack Obama.

Je crois, enfin, qu'il est important de souligner que la recherche doit aujourd'hui avoir comme objectif non seulement de développer des technologies de façon isolée (pour améliorer les panneaux photovoltaïques, les éoliennes, créer des bâtiments zéro énergie ou énergie positive, *etc.*) mais aussi se préoccuper de l'aspect systémique des innovations à mettre en œuvre, notamment *via* les notions de *super grids*, *smart grids*, *smart communities* (développement, au niveau local, de communautés à énergie positive). La recherche doit prendre en compte cette dimension plus complexe, qui constitue l'un des éléments majeurs de ce à quoi nous avons à faire face. C'est, je crois, pour nous tous chercheurs, un beau défi à relever.

M. Jean-Yves Le Déaut. Je remercie infiniment M. Patrick Criqui, qui a accepté de nous présenter, en avant-première, cette modélisation de l'apport des innovations qui sera exposée devant la communauté de la recherche le 16 octobre 2015.

**PREMIÈRE TABLE RONDE :
L'INNOVATION POUR PROMOUVOIR L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE
DANS LE BÂTIMENT**

Présidence de M. Christian Bataille, député, vice-président de l'OPECST, et de Mme Ana Isabel Mariño Ortega, sénatrice, présidente de la Commission de l'environnement et du changement climatique du Sénat espagnol.

Mme Ana Isabel Mariño Ortega. Bonjour à tous. C'est la première fois que je représente mon pays dans le cadre d'une réunion aussi importante, puisque je viens tout juste d'être nommée présidente de la Commission de l'environnement et du changement climatique du Sénat espagnol.

Nous sommes présents ici aujourd'hui pour écouter et essayer de voir si les objectifs que nous nous sommes fixés, en Espagne, par rapport au changement climatique coïncident avec ceux qui vont être exposés au fil de cette conférence.

Mme Anne-Yvonne Le Dain. Chers collègues, Mesdames et Messieurs les parlementaires, Mesdames et Messieurs les responsables, chers auditeurs, cette première table ronde va s'intéresser à l'innovation dans un domaine de l'activité humaine qui est, de loin, à l'origine de la part la plus importante de sa consommation totale d'énergie, soit environ 40 % en moyenne en Europe.

La construction et l'exploitation des bâtiments pour vivre et produire sont cruciales en la matière. Selon le *mix* énergétique plus ou moins carboné de chaque pays, les bâtiments contribuent ainsi pour une part d'environ 15 % à 25 % aux émissions de CO₂.

Il s'agit d'un domaine propice aux solutions de limitation des émissions de gaz carbonique utilisant massivement l'effet d'échelle, puisque, au niveau de la seule Europe, ainsi que l'a rappelé le projet « *Homes* », le parc installé représente 230 millions de bâtiments.

Les bâtiments sont aussi un support idéal pour l'exploitation très localisée, donc à chaque fois particulière, des énergies renouvelables : énergie solaire thermique ou photovoltaïque, inertie thermique du sol, géothermie, orientation par rapport au soleil et aux vents dominants, inertie thermique naturelle du bâtiment lui-même, et bien d'autres moyens qui restent encore à inventer ou à mettre en œuvre.

L'innovation a ainsi un rôle essentiel à jouer dans la conciliation de ces deux atouts que sont les effets d'échelle et les énergies renouvelables localement disponibles. Il s'agit de trouver des solutions techniques toujours moins onéreuses, à la fois génériques et adaptables à chaque situation locale. Cela implique notamment un effort particulier en termes de facilité de mise en œuvre, quitte à

accepter une moindre performance, si cela constitue le meilleur moyen de diminuer les émissions de CO₂ par rapport à l'ancien parc bâti.

Les progrès en matière d'isolation sont, dans tous les cas, incontournables pour gérer plus efficacement aussi bien le chauffage en hiver que le rafraîchissement en été.

Christian Bataille, que je supplée pour cette introduction, a eu l'occasion de souligner l'importance du pragmatisme des solutions techniques dans un rapport de l'OPECST sur la réglementation thermique des bâtiments, rédigé, en 2009, avec le député Claude Birraux. L'accent y était mis sur l'idée d'une obligation de résultat, fondée sur une mesure réelle *a posteriori*, contre la tendance naturelle des professionnels à préférer une obligation de moyens. La différence n'est pas anodine.

La récente loi sur la transition énergétique, adoptée cet été en France, a fini par intégrer notre point de vue, en mettant en place un plafond d'émission de CO₂ à partir de 2018.

Je compte sur les intervenants de cette table ronde pour consolider cette approche très pragmatique.

EXPOSÉS DE CADRAGE

QUEL EST L'APPORT DE L'INNOVATION À LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS ?

M. Jean-Yves Le Déaut, co-auteur, avec le sénateur Marcel Deneux, d'un rapport de l'OPECST sur « Les freins réglementaires à l'innovation en matière d'économies d'énergie dans le bâtiment : le besoin d'une thérapie de choc ». Le rapport que je viens de rédiger avec le sénateur Marcel Deneux pour le compte de l'Office parlementaire (consultable sur Internet) nous a conduit à nous rendre en Allemagne, en Autriche, en Suède, en Finlande et aux États-Unis d'Amérique, afin d'identifier les différents freins à la rénovation thermique dans le domaine du bâtiment.

Le secteur du bâtiment revêt, dans le cadre de la réflexion sur la lutte contre le changement climatique, une importance capitale, puisqu'il est, comme cela vient d'être rappelé, à l'origine d'environ 40 % des rejets de gaz à effet de serre dans les pays développés.

Parmi les freins à la rénovation thermique, figure le fait que le domaine du bâtiment rechigne à faire évoluer ses techniques. Les innovations ont ainsi des difficultés à s'imposer, dans la mesure où il leur faut convaincre les différents acteurs d'une longue chaîne, du promoteur aux artisans, en passant par l'architecte.

D'aucuns affirment que l'innovation concerne surtout la construction et, dans une moindre mesure, la rénovation. On pense notamment aux méthodes d'assemblage des bâtiments préfabriqués, à la qualité technique des composants du bâti (ciments, isolants), à l'optimisation des équipements (solaire thermique, pompes à chaleur). Pour autant, on ne gagnera la bataille de la rénovation qu'à la condition de favoriser l'innovation.

Le temps qui m'est imparti étant très bref, je ne vais pas détailler l'ensemble des freins identifiés, mais simplement vous les indiquer en quelques mots.

Dans la quasi-totalité de nos pays, à l'exception peut-être de la Suède, on mesure, par exemple, la performance théorique des bâtiments et non leur performance réelle. Or l'important est pourtant bien le résultat. J'ai ainsi vu, en Allemagne notamment, le cas de bâtiments dont les performances obtenues étaient deux fois inférieures à celles attendues. En France, cela n'est même pas mesuré. Il faut donc aller, conformément aux dispositions de la récente loi sur la transition énergétique, vers la mesure de la performance réelle.

Notre système d'aides est par ailleurs basé non sur le projet développé et mis en œuvre par l'architecte mais sur les produits. Or l'aide aux produits n'est pas vertueuse car elle profite surtout aux constructeurs qui adaptent le tarif de leurs produits au niveau des primes que les gouvernements accordent. Il reste donc des questions à résoudre, notamment en termes de prix. On estime ainsi que, pour un pays comme la France, la rénovation des bâtiments doit coûter quelque mille milliards, et davantage encore pour l'Allemagne. Il s'agit véritablement d'un grand marché. Or cela ne sera réalisable que si l'on trouve des solutions efficaces à moindre coût, ce qui passe indéniablement par la recherche et l'innovation.

Les normes constituent également un frein majeur à l'innovation. Si elles sont bien évidemment nécessaires, en matière de sécurité notamment, elles sont aussi un moyen de protection d'un certain nombre d'entreprises qui ont des produits à vendre. Il faut donc que le système des normes, et en particulier celui édicté par les organismes chargés de leur mise en place au niveau national et européen, soit plus rapide, sans négliger bien sûr le volet de la sécurité.

COMMENT MIEUX VALORISER LES TECHNIQUES DE CONSTRUCTION QUI ONT UN FAIBLE IMPACT ENVIRONNEMENTAL ?

M. Lucien Figuié, directeur des relations institutionnelles, Saint-Gobain. Lorsqu'on évalue l'impact d'une solution de construction sur l'environnement, il est très important d'adopter une approche globale, exhaustive. On doit en effet chercher à mesurer l'impact environnemental global, incluant évidemment l'impact CO₂, mais aussi, au-delà, d'autres impacts extrêmement importants, comme la consommation d'eau lors du processus de production ou l'utilisation efficiente des ressources naturelles. L'analyse devrait, en outre, porter

sur l'ensemble du cycle de vie du produit, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie du produit, en passant par sa fabrication.

Cette approche globale et exhaustive possède deux vertus essentielles : elle permet d'éviter, d'une part, de déplacer une source de pollution d'une phase à l'autre du cycle de vie du produit, d'autre part, de tronquer une source de pollution contre une autre.

Elle présente, en outre, une vertu opérationnelle, puisqu'elle permet d'identifier les éléments du produit mais également du procédé de fabrication, qui doivent être traités en vue de minimiser l'impact environnemental de la solution technique envisagée.

Cette évaluation doit s'articuler avec une démarche comportant d'autres volets, que sont la performance, le coût et l'appropriation des nouvelles techniques par les différents acteurs.

Le volet de la performance technique doit être examiné indépendamment de l'évaluation de la performance environnementale. Il s'agit, en effet, de deux aspects entre lesquels il faut arbitrer et qu'il convient de ne pas mélanger lorsque l'on mesure l'impact environnemental des solutions envisagées.

Le coût est également un élément important pour mesurer le positionnement de la nouvelle solution par rapport aux solutions existantes et la capacité de l'innovation à se valoriser sur le marché et à le pénétrer.

Il faut, enfin, tenir compte d'un élément souvent négligé bien qu'extrêmement important, à savoir la capacité effective des acteurs à mobiliser les solutions qui arrivent sur le marché, car c'est finalement ce qui garantit un impact effectif de réduction de l'empreinte environnementale de la technique de construction.

Dans le cadre de cette démarche d'éco-innovation, performance environnementale, performance technique, coût et appropriation par les acteurs doivent être constamment l'objet d'arbitrages, en vue d'identifier, de valoriser et de pousser vers le marché des solutions environnementalement respectueuses, mais aussi innovantes et techniquement solides.

QUEL EST LE VÉRITABLE APPORT DES CONSTRUCTIONS À TRÈS BASSE CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR RÉPONDRE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

M. Jean-Loup Bertez, administrateur de la Fédération française de la construction passive. Le temps qui m'est imparti étant très bref, je laisserai de côté la question essentielle de l'énergie grise, c'est-à-dire de l'énergie contenue dans le bâtiment à sa livraison et dont on sait qu'elle peut représenter cinquante ans de consommation du bâtiment occupé, ce qui est véritablement énorme.

Mon exposé se concentrera sur le bâtiment existant et occupé. Relativement à la question qui m'est posée, je dirais que, dans son énoncé même, la contrainte d'efficacité énergétique du bâtiment explicite son apport majeur, à savoir l'obligation de résultat. Cela est essentiel. Il s'agit d'une obligation radicalement nouvelle, dans un pays qui privilégie culturellement l'obligation de moyens, peu contraignante. L'obligation de résultat exige que tout soit anticipé, calculé, dessiné, mesuré, vérifié, justifié. Elle requiert rigueur et précision et s'avère tellement décapante que chacun s'ingénie encore aujourd'hui à s'en affranchir, à tel point que même le référentiel réglementaire (la RT 2012) incite plus ou moins, entre les lignes, à s'y soustraire.

Sans validation réelle, fiable et opposable, effectuée sur des critères objectifs, mesurables et vérifiables, une obligation de résultat n'est qu'un espoir ou une promesse, rien de plus. La véritable obligation de résultat induit donc une obligation contractualisée de mesure des résultats, sous le contrôle de tiers indépendants, afin d'en garantir la fiabilité.

Cette obligation de mesure en induit à son tour deux autres, également essentielles : d'abord se référer à une ou des grandeurs effectivement mesurables, ensuite quantifier ces grandeurs au moyen d'unités fiables, stables et significatives. Faute de cela, ce ne sera qu'un coup d'épée dans l'eau.

La première conséquence de cette obligation de résultat est l'élimination de la non-qualité, qui est une source de gaspillage durable et de dérive sur le plan climatique. La très haute efficacité énergétique d'un bâtiment est techniquement incompatible avec la non-qualité. Or la culture de moyens permet cette non-qualité, alors que la culture de résultat l'exclut, tout en extériorisant le coût, par contraste. Cela est à l'origine d'un mythe tenace, encore vivace aujourd'hui, alors que le surcoût imputé à la performance énergétique du bâtiment n'est, en réalité, rien d'autre que le coût caché de la non-qualité du bâtiment conventionnel. Cette imputation, encore courante, est l'ombre portée de la peur de l'obligation de résultat. Cela est fondamental.

La seconde conséquence de l'obligation de résultat est l'impératif d'optimisation fonctionnelle, consistant à concevoir en fonction des résultats à atteindre et pas d'autre chose. Ces résultats devront donc être vérifiés, et, certes, constituer une réponse pertinente à l'enjeu climatique mais pas uniquement. Avant d'« habiter » la planète, un bâtiment est habité par des humains, et la clé du bien-être de l'habitant est l'air, sa qualité, son intégrité, son renouvellement.

Je me vois ici dans l'obligation de dire que les lois de la physique et de la chimie sont impitoyables : la qualité de l'air se dégrade si celui-ci est soumis à une puissance de chauffe supérieure à seulement 10 watts par mètre carré, ce qui correspond au tiers de la puissance d'une bougie chauffe-plat. À ce niveau, on ne parle plus de chauffage, mais de simple maintien en température. Cette performance, la vraie très haute performance énergétique et climatique, exclut donc la présence d'installations techniques destinées au chauffage et à la

climatisation, dont la preuve est faite qu'elles ne sont pas indispensables. Ce sont précisément elles qui provoquent les émissions dans l'atmosphère. Les besoins de la planète sont exactement les mêmes que ceux de l'être humain.

Cette performance ne s'atteint qu'au moyen d'une qualité de conception et de réalisation maîtrisée, précise et rigoureuse. Elle résulte d'un vrai et solide travail d'optimisation fonctionnelle sur le bâtiment. Elle est tellement réaliste et opérante qu'on l'observe déjà dans une cinquantaine de pays, dont la France, sur plusieurs dizaines de milliers de bâtiments de toute sorte, soit plusieurs millions de mètres carrés.

Dû au professeur Wolfgang Feist et à son équipe scientifique germano-suédoise, ce développement novateur appliqué aux bâtiments porte un nom : « construction passive ».

Pourquoi ce terme ? Parce que, pour être thermiquement sain et équilibré, un bâtiment correctement conçu et réalisé n'a pas besoin d'être actif : dépourvu d'équipements conventionnels destinés au chauffage et à la climatisation, ses seules qualités constructives lui suffisent. Voilà pourquoi il est qualifié de « passif ».

LE RÔLE DES MÉCANISMES DE RÉGULATION DANS L'OBTENTION D'UN CONFORT COMPATIBLE AVEC UNE CONSOMMATION MINIMALE D'ÉNERGIE – LE CAS DU BÂTIMENT 22-26

M. Dietmar Eberle, architecte autrichien. Le bâtiment 22-26 est non seulement un immeuble, mais aussi une façon de penser assez radicale puisque ce bâtiment est dépourvu de climatisation, de chauffage et de ventilation. Il utilise les conditions et circonstances existantes, dans son lieu de construction. Lorsque l'on apprend à utiliser ces circonstances, il n'est pas nécessaire d'utiliser beaucoup de technologie.

Ce bâtiment est conçu selon trois axes, dont le confort et la relation de l'utilisateur au bâtiment. Ces aspects sont souvent envisagés sous l'angle des chiffres ; or je pense qu'il s'agit plutôt d'une question de comportement des gens par rapport aux circonstances données. Il convient, en outre, de ne pas se focaliser uniquement sur le coût des investissements mais aussi sur les coûts d'entretien, qui sont l'enjeu majeur pour les générations à venir et qu'il faut, à ce titre, veiller à réduire. Le troisième aspect concerne la réduction massive de la demande d'énergie.

Nous développons cette approche depuis deux ans maintenant. Ce bâtiment doit être soumis à la mesure en permanence, tous les jours, 24 heures sur 24, à quatre niveaux : température, dioxyde de carbone, humidité et qualité microbiologique de l'air. À l'avenir, il va, en effet, falloir tenir compte de la demande d'énergie mais aussi être en mesure de combiner cela avec ces quatre aspects.

En guise de conclusion, je voudrais insister sur la nécessité de disposer de davantage de connaissances sur ces questions. Il faut prendre conscience du fait que, dans de nombreux modèles actuels, une attention insuffisante est portée, dans le calcul, à ce qu'il advient réellement dans les bâtiments après la construction. Ainsi, l'apport principal, à l'avenir, ne résidera pas dans les circonstances techniques mais bien dans les comportements des habitants de ces immeubles.

COMMENT LES TECHNIQUES D'ÉVALUATION PERMETTENT-ELLES UN CHOIX ENTRE RÉNOVATION ET CONSTRUCTION ?

M. Linas Balsys, membre de la Commission de l'environnement du Parlement lituanien. Je tiens, tout d'abord, à vous remercier d'avoir organisé cette conférence qui nous donne l'occasion d'échanger des points de vue avant le Sommet de Paris.

Nous avons la chance, en Lituanie, grâce à une politique volontariste, d'être à 23 % d'énergies renouvelables dans le *mix* énergétique, dépassant ainsi déjà l'objectif fixé pour 2020. Il s'agit là d'une bonne nouvelle, dans la mesure où ce chiffre est dû principalement à l'usage de biomasse pour le chauffage. Mais la mauvaise nouvelle réside dans le fait que la moitié de la population lituanienne vit dans des maisons individuelles et l'autre moitié dans des tours, dont bon nombre d'appartements sont vieux de plus de quarante ans et nécessitent des travaux de rénovation voire de démolition.

Lors de la réalisation d'un audit d'énergie, il est tenu compte des attentes du client ; or, dans de nombreux cas, on arrive à la conclusion qu'il faudrait démolir. Pour autant, nous ne démolissons pas, pour des raisons politiques. En effet la majorité de ces tours d'habitation ont été privatisées et les propriétaires ne font pas partie de milieux aisés. Que faire de ces gens en cas de démolition ? Bien que la démolition soit souhaitable, elle n'a donc le plus souvent pas lieu et il est procédé plutôt à des travaux de remise en état. Il faut alors décider du type de remise en état, ce qui donne lieu à un jeu politique. Il faut pour cela des lois intelligentes, ce qui suppose une souplesse politique afin de permettre aux gens de choisir le type de travaux le plus adéquat, susceptible de produire un effet rapide et important, au moindre coût économique. Or il est difficile de combiner tous ces facteurs.

Nous avons néanmoins déjà mis en place des expériences qui fonctionnent bien. La plupart du temps, il ne s'agit pas d'une rénovation complète du bâtiment mais, par exemple, d'une amélioration du système de chauffage, d'un remplacement des fenêtres, ce qui peut permettre d'économiser jusqu'à 30 % du coût en énergie. Cela requiert souplesse et esprit d'innovation afin d'aller vers l'application des dernières technologies.

Dans des pays comme la Lituanie, dotés de très vieux immeubles qu'il est impossible de démolir pour les raisons que je vous ai exposées, ce type de démarche semble le plus approprié.

LES PERSPECTIVES OUVERTES POUR LA CONSTRUCTION PAR LA PHYSIQUE DES MATÉRIAUX.

M. Marcel van de Voorde, professeur à l'Université technologique de Delft, Pays-Bas, membre du Conseil scientifique de l'OPECST. L'industrie internationale du bâtiment représente une partie importante de la consommation mondiale d'énergie et des émissions de carbone.

Dans tout type d'environnement bâti, la modification des réactions chimiques et des structures matérielles au niveau nano présente un énorme potentiel pour les futurs matériaux de construction. La technologie est sans doute le seul moyen pour faire de véritables percées en matière de réduction massive de consommation d'énergie et de production de dioxyde de carbone dans l'industrie du bâtiment.

Il faut travailler à l'élaboration de nouvelles technologies révolutionnaires car celles existantes peuvent seulement être à l'origine de petites améliorations. Ainsi, les nanotechnologies seront utilisées dans la fabrication des matériaux mais aussi dans leur construction, ainsi que dans la production d'équipements pour la production et le stockage d'énergie. Il s'agit véritablement d'une technologie d'avenir. La maison de l'avenir sera une « nano maison ».

Permettez-moi de vous donner quelques exemples. Les ciments nano sont beaucoup plus faciles à fabriquer que les ciments classiques, avec des coûts de production moins importants et une moindre utilisation d'énergie. Les matériaux de construction ainsi produits peuvent être de dix à cent fois plus solides que les meilleurs matériaux sur le marché actuellement, pour un poids bien inférieur. Ils présentent, en outre, une plus grande flexibilité, ce qui les rend extrêmement utiles en cas de tremblements de terre ou de grosses tempêtes. Ils sont très stables face aux agressions environnementales.

Grâce aux nouvelles techniques l'entretien et le nettoyage des maisons ainsi construites appartiendront en outre à un passé révolu, puisque la technologie permettra aux matériaux de s'auto-nettoyer. Les dépôts de poussière se dégraderont sous l'effet du soleil et l'eau de pluie enlèvera la saleté de la surface des structures.

Cela conduira à une moindre consommation d'énergie, de chauffage et de rafraîchissement, donc à une réduction drastique des émissions de carbone.

Ces matériaux peuvent aussi être utilisés pour contrôler de façon optimale le caractère thermique du bâtiment. Ils sont très poreux et possèdent d'excellentes propriétés isolantes et antibactériennes, utiles pour filtrer et purifier l'air, afin de créer une qualité d'air optimale à l'intérieur des constructions. Il s'agit de matériaux intelligents.

Les objets eux-mêmes communiquent et s'adaptent à l'environnement externe. Cela se traduit, par exemple, par un contrôle automatique de l'électricité et de la consommation d'eau, une détection du monoxyde de carbone, un contrôle de la qualité de l'air et de la gestion de l'énergie. Les éventuelles fissures dans la structure seront détectées et se répareront automatiquement, grâce à des matériaux flexibles.

Au-delà des performances techniques des nanotechnologies, celles-ci constituent une promesse d'avenir, à faible coût.

Les principaux problèmes auxquels nous sommes confrontés, et dont il a été question lors de précédentes interventions, peuvent être résolus par ces technologies, les technologies existantes n'étant en mesure d'apporter que de faibles améliorations, de l'ordre de 22% à 23 % pour les cinq ans à venir.

Nous avons besoin d'un haut niveau de performance. Pourtant, la recherche de base n'existe pas et l'on ne peut que déplorer que nos ingénieurs et architectes n'étudient pas ces questions dans leurs cursus scolaires et ne soient pas informés de l'utilité des nanotechnologies.

DÉBAT AVEC LES PARTICIPANTS

M. Christian Bataille. Je remercie tout d'abord Mme Anne-Yvonne Le Dain d'avoir suppléé mon retard.

Je souhaite simplement préciser que j'ai, dans le cadre de l'Office, rédigé en 2009, avec M. Claude Birraux, député, un rapport sur la réglementation des bâtiments, et que la récente loi de transition énergétique a été la prolongation de tous ces travaux de fond réalisés préalablement.

Nous allons à présent prendre connaissance d'éventuelles questions venant de la salle.

M. Paul Rübiger, membre du Parlement européen, président du *Science and Technology Options Assessment (STOA)*. Je voudrais réagir aux propos de notre collègue autrichien qui a évoqué le stockage d'énergie dans un bâtiment. Comment mesurer cela ? Comment abordez-vous le problème ?

M. Dietmar Eberle. À ce stade, nous disposons de certains algorithmes et développons nos propres moyens de calcul. Il n'existe, en effet, que peu de connaissances sur ces systèmes de stockage. Pour l'instant, nous assurons le suivi des températures à la surface du bâtiment, vingt-quatre heures sur vingt-quatre.

Je voudrais soutenir l'appel qui a été lancé en faveur d'un développement des nanotechnologies. Je pense, en effet, que cela permettra de grandes avancées même s'il faut du temps pour y parvenir. D'ici là, il nous faut aujourd'hui nous

poser la question de savoir comment agir maintenant et au cours des cinq prochaines années.

Mme Matilda Ernkrans, présidente de la Commission de l'environnement et de l'agriculture du Parlement suédois. Je vous remercie pour vos très intéressantes contributions.

Je voudrais dire à mon tour que, en Suède, il est également très important de construire des maisons passives permettant davantage d'efficacité énergétique dans les foyers.

Les nanotechnologies offrent de multiples possibilités, ainsi que l'a fort bien expliqué M. Marcel van de Voorde. Mais il serait également intéressant de connaître leurs inconvénients et notamment leurs effets négatifs éventuels sur la santé et l'environnement.

M. Marcel van de Voorde. Il existe deux façons de considérer les nanotechnologies utilisées dans le cadre des matériaux de construction : on peut envisager soit les matériaux eux-mêmes, soit les équipements utilisés pour le stockage, comme les cellules photovoltaïques, par exemple. La partie nano intégrée aux matériaux est assez limitée. De plus, les nanoparticules utilisées, dans les parpaings notamment, ne peuvent pas s'échapper. Cela ne constitue donc pas un problème. Il en va de même pour les matériaux d'isolation. La situation est très différente de celle que l'on a connue pour l'amiante, par exemple.

Pour le bâtiment en lui-même, la nanotechnologie ne joue pas un rôle énorme. Il existe des systèmes de sécurité américains et européens ; mais dans le cas des nanotechnologies, cela ne pose pas vraiment problème.

Des études sur l'usage des nanotechnologies dans le bâtiment ont été menées à l'université du Sichuan, en Chine ; elles ont montré qu'il s'agissait de technologies sûres.

Une bonne coopération entre des architectes et certains instituts existant en Europe pourrait, par ailleurs, certainement nous fournir un modèle pour la construction de logements et de grands bâtiments.

La nanotechnologie ne pose pas de problèmes majeurs en matière de sécurité.

M. Huw Irranca-Davies, président du Comité d'audit environnemental du Parlement britannique. L'université de Cardiff, au Pays de Galle, a démarré un projet ambitieux sur les technologies à énergie positive, en s'assurant que cela était réalisable en utilisant des matériaux locaux. L'idée est de parvenir à créer un logement agréable et confortable à énergie positive avec des technologies de stockage, et ce pour un coût inférieur à 100 000 livres.

Notre collègue évoquait la question des nanotechnologies. Bill Gates s'est récemment exprimé devant notre Parlement, au nom de sa fondation ; il a indiqué que les technologies dont il était question n'existaient pas encore véritablement. Peut-être est-ce le cas également pour les nanotechnologies ?

Il est, par ailleurs, important de tenir compte du prix ainsi que de la réglementation. Lorsque les politiques existent et que l'innovation et les technologies sont en place, qu'en est-il de la cohérence des pratiques réglementaires et de leur stabilité, afin que l'industrie puisse vraiment se lancer dans la brèche ?

M. Christophe Morel, directeur adjoint aux partenariats techniques au CSTB. Je travaille au CSTB et voulais vous faire part en quelques mots de notre analyse, en tant que centre technique, des principaux défis du bâtiment pour les années à venir à propos de ces questions de lutte contre le changement climatique. Comme vous pourrez le constater, je vais aller largement dans le sens des propos de certains des précédents intervenants.

Le CSTB, Centre scientifique et technique du bâtiment, est un établissement public français sous tutelle du ministre en charge de la construction.

Il regroupe près de 200 chercheurs, pour imaginer le bâtiment durable de demain, c'est-à-dire un bâtiment sûr, sain, confortable pour l'utilisateur, économe en ressources et économiquement acceptable.

Pour ce qui concerne le bâtiment, il faut garder deux chiffres en tête : la France compte quelque 33 millions de logements, dont plus de la moitié construits avant 1975, à une époque où l'on ne parlait pas de performance thermique. Nous construisons, par ailleurs, chaque année environ 400 000 logements.

Le principal défi est donc bien celui de la rénovation, c'est-à-dire de la réduction drastique des besoins en énergie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire de ces logements et de la massification de la rénovation.

Nous n'en sommes qu'au début de l'aventure et l'innovation aura très clairement un rôle important à jouer pour parvenir à ces objectifs.

Pour ce qui concerne la construction neuve, l'histoire est déjà plus avancée. Aujourd'hui, avec les réglementations prises partout en Europe en application de la directive « performance énergétique des bâtiments », on peut dire que le plus gros du travail est fait. Il reste cependant, comme cela a fort bien été souligné, un défi à relever pour la recherche, qui consiste à passer d'approches portant sur une performance conventionnelle, calculée par un bureau d'études, à la mesure de la performance réelle, sur les bâtiments occupés.

Quelle est la principale évolution pour la construction neuve ? C'est bien entendu, ainsi qu'en témoigne cette journée, la lutte contre le changement climatique. Comme l'a rappelé Mme Anne-Yvonne Le Dain, le secteur du

bâtiment représente de l'ordre de 40 % des consommations énergétiques en France et une part très importante des émissions de CO₂. Tous les dispositifs actuels, centrés sur la consommation d'énergie, vont devoir muter et s'enrichir de nouvelles dimensions, pour prendre en compte les problématiques du changement climatique.

Il faudra, pour le dire en termes simples, passer du bâtiment basse consommation au bâtiment non seulement basse consommation, mais aussi bas carbone et, plus généralement, à faible impact environnemental.

C'est ainsi que nous travaillons, avec les pouvoirs publics et les professionnels, à la mise en œuvre de la récente loi relative à la transition énergétique, qui met l'accent non seulement sur l'énergie mais aussi sur le carbone.

Mme Mady Delvaux, membre du Parlement européen. Je vous remercie d'avoir organisé cette très intéressante journée d'échanges.

Nous sommes tous convaincus de la nécessité d'investir dans le bâtiment pour réduire la consommation d'énergie. La recherche dans ce domaine semble avancer. Lucien Figuiet a indiqué tout à l'heure qu'il fallait, par ailleurs, disposer des compétences nécessaires pour mettre en œuvre ce changement. Ma question concerne donc les stratégies visant à former les professionnels. Le secteur du bâtiment compte, en effet, bon nombre de petites entreprises. Comment les motiver et les sensibiliser afin de leur permettre de se familiariser avec les nouvelles technologies ?

M. Jean-Yves Le Déaut. Avant de vous répondre, je voudrais faire suite à l'interpellation de notre collègue britannique concernant la manière dont le politique peut mettre en place des normes durables, afin que les règles du jeu soient claires pour les industriels. Le Parlement français s'est également interrogé sur ce point, par l'intermédiaire du rapport que j'ai rédigé avec le sénateur Marcel Deneux.

Il nous semble tout d'abord que les règles doivent être claires au niveau européen, et, si possible, à l'échelle internationale ; on ne peut avoir des règles différentes d'un pays à l'autre. Il faut donc en discuter entre nous.

Il faut, en outre, vérifier en permanence qu'il n'existe pas de freins à l'innovation. Chaque nouvelle technologie soulève de nouvelles questions. Les freins à l'innovation existent. Je pense que le rôle des Parlements est majeur dans ce domaine.

Dans la loi française sur la transition énergétique, il a été donné plus de poids à notre Office parlementaire pour discuter en permanence avec les organismes chargés du contrôle, qui ne sauraient être des électrons libres. Il est important, dans ce cadre, que les Parlements soient à l'écoute des concitoyens, des industriels, des petites entreprises et en mesure de poser les questions lorsqu'elles

apparaissent. L'une des solutions mises en place dans notre récente loi consiste ainsi à accroître le rôle du Parlement dans le contrôle, et notamment le contrôle d'autorités administratives indépendantes chargées de la normalisation.

M. Lucien Figuié. La formation est effectivement un élément extrêmement important, notamment en interne pour préparer à la conduite de projets éco-innovants, identifier les verrous à lever et les travaux de recherche et d'innovation à mener pour minimiser l'impact environnemental.

La formation des acteurs est également essentielle et doit être intégrée non seulement lors de la conception du produit mais aussi dans le cadre de sa montée en puissance et de sa mise effective sur le marché.

Il est important que les acteurs soient formés dans des délais raisonnables afin de garantir que l'innovation technologique sera mise en œuvre de manière efficace et effective dans les bâtiments. C'est là tout l'enjeu.

Cela implique un aller-retour entre le concepteur de la solution technologique et l'acteur chargé de la mettre en œuvre. À partir des observations remontant des acteurs de terrain, le concepteur élabore de nouvelles solutions, créant ainsi un cercle vertueux. Cela nécessite, bien entendu, la mise en œuvre d'actions de formation adaptées aux besoins de chacun des acteurs.

M. Olivier Cottet, Stratégie et technologie, Schneider Electric. Je voudrais apporter aujourd'hui le témoignage des résultats du programme de recherche « *Homes* », cité précédemment par Mme Anne-Yvonne Le Dain.

L'objectif de ce programme était de permettre à chaque bâtiment du parc immobilier européen, qu'il soit neuf ou existant, passif ou passoire, résidentiel ou professionnel, d'atteindre sa meilleure performance énergétique, en déployant des solutions et des innovations, non seulement technologiques mais aussi organisationnelles, réglementaires et comportementales.

Le programme « *Homes* » a estimé que ces solutions de gestion active de l'énergie permettaient d'économiser entre 20 % et 60 % de la consommation globale, tous usages, d'un site, ce qui, appliqué aux 230 millions de bâtiments européens, conduirait à une diminution de 40 % du poste d'énergie des bâtiments, soit 16 % de la facture de l'Europe.

Sur le plan de l'efficacité, cela améliore significativement la qualité des services rendus aux occupants, en adaptant dynamiquement le fonctionnement des différents locaux et espaces du bâtiment à leurs besoins de confort physique, de sensation de bien-être et d'efficacité de leur activité.

Sur un plan économique, on aboutit à un retour sur investissement entre deux et sept ans dans le tertiaire et entre cinq et quinze ans dans le professionnel.

Au niveau local, ces solutions s'intègrent dans les politiques territoriales des quartiers et des villes, en mettant à disposition du territoire les flexibilités d'usage des bâtiments et leur éventuelle surproduction d'énergie non autoconsommée, pour optimiser la facture énergétique, réduire les émissions de CO₂ et augmenter la résilience des territoires.

À l'échelle environnementale, ce programme facilite l'introduction des productions en énergies renouvelables dans les réseaux électriques européens, en rendant les bâtiments prêts pour les réseaux intelligents, « *smart grids ready* », leur permettant de contribuer à l'effacement des pointes de consommation électrique très fortement carbonées et de participer, par ces effacements, au marché d'énergie ou de capacité.

Sur un plan sociétal, cela améliore l'indépendance énergétique de l'Europe, avec une soutenabilité économique forte.

Permettez-moi de vous livrer quelques images et maximes, susceptibles de vous aider, plus certainement qu'un long discours, à mieux appréhender certaines de ces innovations : « un bâtiment sans mesure réelle, globale, c'est comme une voiture sans compteur de vitesse », ou encore « il faut partir des besoins des gens et non pas du fonctionnement des machines ». De même, il faut gérer les bureaux en *open space*, la salle de classe et le salon, et sortir du paradigme de la gestion de l'éclairage, de la ventilation ou de la pompe à chaleur. Pour un *energy manager*, un capteur de confort et un capteur d'occupation dans la salle de réunion sont plus efficaces pour identifier les économies que le compteur général d'électricité ou de calories en sortie de chaudière. Enfin, l'information qui permet à un occupant de changer de comportement est la mesure des conséquences de ses actes.

Je terminerai, pour appuyer la présentation de M. Patrick Criqui, en indiquant que l'efficacité et la flexibilité sont aussi des innovations qui permettent le déploiement des réseaux intelligents et des villes intelligentes (*smart grids* et *smart cities*).

M. Jean-Loup Bertez. Je voudrais attirer votre attention sur le fait que les bâtiments que nous construisons ou rénovons déjà aujourd'hui seront encore là, à peu près dans le même état, en 2050. Nous n'aurons pas deux chances de bien faire. Dans notre esprit, il faut dès maintenant définir et ambitionner l'excellence même si nous ne sommes pas encore capables de la généraliser.

Concernant le bâtiment à bilan énergétique positif, dont il a été question précédemment, il faut avoir conscience du fait que la production et la consommation d'énergie ont toutes deux une empreinte. Pour être vraiment optimum, notamment à l'horizon 2050, il faut réduire cette empreinte globale, donc minimiser, autant que l'on peut, la consommation pour avoir besoin de produire aussi peu que possible sur le bâtiment. Cela signifie clairement, à notre sens, qu'il n'y a de bâtiment à énergie positive possible qu'en passant par la case « bâtiment passif ». À partir de là, on a besoin de très peu.

Vous avez pu voir brièvement tout à l'heure la photographie de quatre logements passifs récents, dont les résultats ne sont pas seulement calculés, mais aussi vérifiés. Le retour d'expérience de la part des habitants est extraordinaire, puisque tous font part de leur souhait de ne jamais retourner dans un bâtiment conventionnel.

M. Mikko Alatalo, membre du Parlement finlandais, membre du Comité pour le futur. Parlons un peu de la construction des maisons en bois, technique très couramment utilisée dans les pays d'Europe du Nord, notamment en Suède. Quel peut être l'apport des nanotechnologies dans ce contexte ? En a-t-on besoin ?

M. Marcel van de Voorde. Je pense que les nanotechnologies peuvent jouer un rôle essentiel dans la construction d'habitat en bois, afin non seulement d'améliorer la qualité de la fabrication du bois mais aussi de mettre en place des capteurs, des détecteurs, déjà utilisés par ailleurs pour d'autres matériaux de construction. Ces capteurs servent à effectuer de nombreux tests et calculs. L'avenir me semble donc très prometteur pour les nanotechnologies dans le champ des constructions en bois. Elles peuvent améliorer jusqu'à dix fois la qualité du bois et faciliter, grâce à certains enduits notamment, sa défense contre les bactéries. Le bois représente donc une opportunité pour le développement des nanotechnologies. Je pourrais d'ailleurs, si cela vous intéresse, vous faire parvenir un rapport ainsi que des articles que nous avons rédigés sur la question, en concertation avec des spécialistes de terrain.

M. Pierre-René Bauquis, ancien directeur Stratégie et planification de Total. Ma question est, je le crois, tout à fait politiquement incorrecte. J'aurais aimé mieux comprendre les liens entre les questions de décarbonisation affichée, les *mix* énergétiques et les décisions prises au plan politique.

Je ne vais pas illustrer mon propos avec l'exemple de la toute récente loi sur la transition énergétique, bien qu'elle soit à mes yeux plus une loi antinucléaire qu'une loi anticarbone, mais avec les mesures prises par la précédente majorité et résultant du Grenelle de l'environnement.

Les décisions prises alors concernant le bâtiment, dont la plus célèbre reste celle concernant les fameux 50kWh par mètre carré par an, l'ont été avec des formes telles qu'elles aient elles aussi un effet directement antinucléaire, au prix éventuel, pour ne pas dire certain, d'une augmentation du contenu en carbone du *mix* énergétique du logement neuf. En clair, on favorisait le gaz, au détriment de l'électricité décarbonée, dans un pays où 85 % de l'électricité l'est. Pourriez-vous m'expliquer le hiatus entre le discours et les mesures prises, tant par l'ancienne majorité que par la nouvelle ?

M. Jean-Yves Le Déaut. J'avais indiqué en introduction que nous ne souhaitions pas aborder cette question ce matin, dans la mesure notamment où il s'agit plus d'un débat national qu'europpéen.

M. Pierre-René Bauquis. Excusez-moi.

M. Jean-Yves Le Déaut. L'Office parlementaire a traité de cette question. Nous sommes favorables à une réduction de la part du nucléaire. MM. Christian Bataille et Bruno Sido ont, à ce propos, rédigé un rapport sur les leçons à tirer de l'accident nucléaire de Fukushima, dont les conséquences ont été très graves.

Nous estimions, en outre, que la transition énergétique était sans doute trop ambitieuse dans le temps et que nous avons besoin de davantage d'innovations et de technologies pour y parvenir. C'est précisément le thème de ce colloque.

Même si nous n'avons pas, par les lois auxquelles vous avez fait référence, pris les positions de nos amis allemands, nous nous sommes néanmoins engagés dans une démarche de réduction de la part du nucléaire. L'Office estime toutefois que l'on ira sans doute moins vite que ce qui est prévu, y compris dans la législation.

Tous les pays européens n'ont pas les mêmes stratégies en la matière. Nous nous accordons cependant, me semble-t-il, sur l'idée que l'efficacité et l'efficience énergétiques, la décarbonation, la sobriété énergétique, sont des moyens pour parvenir à la résolution des problèmes qui se posent à nous tous au niveau international.

M. Christian Bataille. Je vais apporter quelques nuances aux propos du président Jean-Yves Le Déaut. Il existe une volonté affichée, des phrases, des mots, une littérature abondante sur la réduction du nucléaire en France. Dans les faits, on n'a pas réduit grand-chose. Le discours se substitue aux actes.

M. Hugues Vérité, adjoint au délégué général Gimelec. Le Gimelec est un groupement d'industriels qui défendent l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables et l'intelligence énergétique partagée.

Je souhaite, dans une brève intervention, envisager la manière de passer de l'innovation au marché et les quelques clés de succès à faire partager dans un environnement européen qui ouvre des révisions avec la directive « performance énergétique », qui va évaluer une prochaine directive sur l'efficacité énergétique.

J'aimerais, dans ce contexte, vous faire partager trois réflexions de notre groupement d'industriels pour que cette Europe de l'énergie, que nous souhaitons tous, aille vers la lutte contre les changements climatiques.

Notre première réflexion est une interrogation : pourquoi ne rationaliserait-on pas le nombre de directives traitant de nos sujets ? Pourquoi existe-t-il d'un côté une directive « performance énergétique des bâtiments », de l'autre une directive « efficacité énergétique » ? Nous estimons qu'il faut, ainsi que l'a rappelé M. Patrick Criqui, adopter une démarche systémique. Décloisonner

les directives européennes pourrait peut-être constituer un accélérateur de réflexion systémique.

Le deuxième aspect concerne le nouveau paquet énergétique, que vous allez certainement examiner et potentiellement décider. Il s'agit sûrement de renforcer les moyens des autorités de régulation et d'accroître la transparence. Je sais que c'est un thème cher à l'OPECST, que je voulais vous faire partager.

Enfin, dans ces révisions de paquet de directives, nous pensons qu'il sera nécessaire d'insister sur la flexibilité du système énergétique européen, pour accroître l'intégration des énergies renouvelables, à un coût optimisé. Nous appelons ainsi à utiliser la numérisation de l'énergie et de l'économie, dont le Parlement européen s'est saisi, pour accroître notre compétitivité.

Je vous remercie de nous avoir associés à vos réflexions.

Mme Patricia Lips, présidente de la Commission pour l'éducation, la recherche et l'évaluation technologique du Bundestag. J'ai écouté très attentivement ces échanges et souhaiterais apporter quelques commentaires.

Il est tout d'abord très intéressant de vous entendre parler de technologies. Il existe ainsi certaines technologies dont nous tirons déjà parti, notamment pour les maisons passives, mais aussi d'autres auxquelles nous ne pensons pas encore et qui seront utiles dans vingt ou trente ans.

Je suis, par ailleurs, une femme politique et je pense que nous n'avons pas, aujourd'hui, suffisamment parlé des citoyens. On ne pourra rien changer sans nos concitoyens, qui doivent être mobilisés et mis en situation de pouvoir agir. Il faut pour cela non seulement les aider financièrement mais aussi et surtout les convaincre du bien-fondé de la démarche. Peut-être cette conférence n'est-elle pas le lieu idéal pour dire cela mais cet aspect me semble essentiel. En Allemagne par exemple, nous avons réussi à franchir bien des étapes parce que nos concitoyens étaient déjà convaincus. Mettre en place des normes ou débattre pendant des heures ne suffit pas : il faut être convaincant et donner aux citoyens l'envie de participer, d'agir.

M. Jean-Yves Le Déaut. Nous aurons l'occasion de revenir largement sur ce thème dans le cadre de la quatrième table ronde.

M. Pascal Laude, directeur des partenariats et de l'efficacité énergétique Grand Est, EDF. Nous avons beaucoup parlé ce matin des constructions neuves, des projets de bâtiments basse consommation et des nouvelles technologies.

Je souhaite préciser qu'il existe des normes qui permettent de gérer l'énergie. Je pense notamment à la norme ISO 50001, plutôt destinée aux bâtiments industriels, qui permet de structurer une démarche efficace voire d'aller jusqu'à l'efficacité énergétique, apportant ainsi une dimension économique au

service des gains en consommation. Elle offre la possibilité, à partir de l'analyse d'une consommation réelle de référence, de définir des indicateurs de performance énergétique et de mettre en place un plan d'action, avec des cibles d'économies d'énergie. Chaque engagement du plan d'action est ensuite vérifié, mesuré. L'intérêt de cette norme dans le bâtiment est que tout ce qui participe à la consommation de l'énergie, c'est-à-dire la structure du bâtiment, mais aussi l'ensemble des acteurs, est impliqué dans la démarche. Cela existe, mais est peu utilisé en France. Le dispositif mériterait d'être développé sur l'ensemble du patrimoine existant. Il a été dit précédemment que 40 % des consommations étaient le fruit du secteur résidentiel. Il faudra rénover dans le bâtiment le parc existant. Dans cette optique, diminuer les consommations permettra de diminuer non seulement les coûts mais aussi et surtout l'émission de gaz à effet de serre.

M. ReinhardGrünwald, Bureau de l'évaluation technologique du Bundestag. Ma question s'adresse à M. Marcel Van de Voorde qui a évoqué les nanomatériaux. Je voudrais qu'il nous explique l'échelle temps. Quand pense-t-il que les nanomatériaux dont il a été question auront un impact dans le monde réel, dans le marché réel, à une échelle de masse ?

Je soulève ce point pour deux raisons, la première étant qu'une équipe de l'Institut de technologie de Karlsruhe a développé un substitut au ciment, doté de très intéressantes propriétés. Toutefois, il lui a été extrêmement difficile de trouver une entreprise acceptant de commercialiser ce produit, car les pratiques sont telles que les utilisateurs n'acceptent pas d'employer un matériau dont ils ignorent comment il se comportera dans la durée.

La seconde raison tient à mon parcours personnel. Voici vingt ans environ, j'étais étudiant en thèse et travaillais sur les nanotechnologies et les cellules photovoltaïques. Tout le monde pensait que ces cellules seraient mises massivement sur le marché dans les cinq ou huit années suivants. Or il n'en est rien. Je vois très peu de cellules photovoltaïques sur les toits. J'imagine que cela est dû à l'émergence d'obstacles, d'entraves, qui surgissent chaque fois qu'il s'agit de mettre les savoirs scientifiques au service d'applications concrètes.

Mme Nicola Blackwood, présidente du Comité d'évaluation scientifique et technologique du Parlement britannique. Je tiens tout d'abord à remercier les organisateurs de cette conférence.

Il faut effectivement trouver des solutions en termes d'efficacité énergétique. Un certain nombre de facteurs contribuent au succès de cette démarche. Ainsi, le Royaume-Uni va, entre 2015 et 2020, développer l'accès universel à des compteurs intelligents. Cette initiative vient de l'industrie, et des projets pilotes sont déjà en cours. Il est toutefois trop tôt pour en évaluer les données. Il apparaît néanmoins que les problèmes ne sont pas du ressort de l'interopérabilité ou des coûts, mais proviennent plutôt du fait que les gens n'utilisent pas ces compteurs de façon efficace. Les données dont nous disposons déjà montrent, par exemple, qu'un tiers des usagers les éteignent.

Ma question est donc la suivante : comment stimuler par l'innovation l'évolution des pratiques culturelles ?

M. Marcel van de Voorde. Je souhaiterais répondre à notre collègue allemand, qui a évoqué l'expérience de l'Institut de Karlsruhe. Comme vous le savez sans doute, il existe de nombreux matériaux de construction intégrant les nanotechnologies. Ainsi, des ponts nano sont construits en Allemagne. Certains matériaux sont également utilisés pour le nettoyage des vitres. Ces produits sont déjà présents sur le marché. Le seul problème est que, pour qu'une invention soit commercialisée, architectes et ingénieurs doivent savoir précisément ce qu'il est possible d'en faire. Là se trouve le principal écueil auquel nous sommes confrontés.

Il apparaît, en outre, que les composés électroniques nano jouent déjà un rôle important dans les équipements des bâtiments en Allemagne. Dans de nombreux secteurs, le marché existe donc déjà, notamment pour ce qui est des matériaux intelligents.

Il faudra toutefois du temps avant que les nanotechnologies ne fassent de réelle percée. Matériaux et entreprises existent déjà ; encore faudra-t-il que l'opinion publique y soit favorable.

L'un des principaux avantages des nanotechnologies pour l'avenir est d'être utilisables dans tous les domaines.

Mme Melanie Peters, directrice du Rathenau Instituut, Pays-Bas. Aux Pays-Bas, les associations de consommateurs ont justement mené un travail sur les compteurs intelligents, conjointement avec le mouvement Vert et les entreprises d'électricité. Mais cela s'est arrêté pour des questions de confidentialité. C'est d'ailleurs précisément l'une des raisons pour lesquelles les consommateurs éteignent ces compteurs. Nous avons donc cherché une solution permettant de surmonter cette difficulté, c'est-à-dire ne collectant pas les données personnelles. Le problème réside toutefois dans le fait que ces compteurs intelligents sont souvent utilisés par les entreprises d'électricité, qui s'en servent pour appliquer différents niveaux tarifaires - élevés pendant les pics de consommation, plus bas à d'autres moments. Les usagers se sentent donc lésés ou piégés, dans la mesure où, alors qu'ils cherchent à réduire leur consommation d'énergie, l'énergie qu'ils consomment devient plus coûteuse.

L'enjeu est donc de parvenir à utiliser les données fournies par les compteurs, d'une part, en respectant la confidentialité, d'autre part, en ne les mettant pas à profit pour appliquer des tarifs plus élevés. L'Institut Rathenau travaille sur ce type de question.

NOUVELLES FRONTIÈRES

QUELLES PERSPECTIVES LES NOUVELLES TECHNIQUES PHOTOVOLTAÏQUES OFFRENT-ELLES ?

M. Daniel Lincot, directeur de recherche, CNRS, École nationale supérieure de chimie. Merci de votre invitation. Je suis très heureux de pouvoir intervenir au sein de ce débat.

Je suis chercheur, directeur de recherche au CNRS et, par ailleurs, directeur scientifique de l'Institut photovoltaïque Île-de-France.

Le premier élément permettant d'apprécier l'évolution des technologies du domaine photovoltaïque dans la transition énergétique est de comparer l'évolution de la part de ces technologies dans la production d'électricité aujourd'hui. On constate une croissance importante en quelques années : aujourd'hui, près de 1 % de la production électrique mondiale est d'origine photovoltaïque. De façon plus différenciée, certains pays apparaissent pionniers dans ce domaine : ainsi, ce chiffre atteint 7 % en Allemagne, en Italie et en Grèce. En France, il vient de dépasser 1,2 %, avec pratiquement 6 gigawatts installés.

La poursuite de cette progression fera que, de plus en plus, l'énergie solaire photovoltaïque sera considérée comme une réponse aux demandes formulées dans le cadre de la lutte contre le changement climatique.

Les projections à l'horizon 2020 font état de quasiment 500 GW. L'Agence mondiale de l'énergie prévoit, par ailleurs, que 16 % de l'électricité mondiale sera produite par ce biais en 2050, avec près de 4,5 TW. Ainsi, l'énergie photovoltaïque est entrée dans l'ère du térawatt.

Outre ces perspectives, il est intéressant de considérer la vitesse de progression de ce domaine. Cette progression s'est faite bien entendu pour des motifs de coût, mais aussi pour des raisons techniques. J'y reviendrai dans la deuxième partie de ma présentation.

En un an, la Chine a installé 10 GW, le Japon quasiment autant, les Etats-Unis 6,2 GW et la France pratiquement 1 GW. La vitesse d'installation de ces nouvelles technologies est donc considérable.

L'une des raisons profondes de ce développement est l'abaissement des coûts de production de l'électricité photovoltaïque. Voici cinq ou six ans, cela coûtait 0,6 euro du kWh. On se situe aujourd'hui dans des gammes voisines de 0,1 euro, parfois moins, et l'on estime que cela pourrait, à l'horizon 2050, baisser encore pour atteindre 4 centimes d'euro du kWh.

Cette évolution est le résultat d'effets d'échelle mais aussi d'effets technologiques. Il faut ainsi savoir que le rendement moyen des modules des cellules photovoltaïques est passé, en quelques années, de 11 % à 15 %.

Aujourd'hui, les rendements record des cellules au silicium cristallin sont de 25,6 %. Ces nouvelles architectures s'éloignent profondément des précédentes. Il s'agit de petits bijoux technologiques, installés sur des milliers ou des centaines de kilomètres carrés, à bas coût. C'est un point essentiel.

Outre le silicium, il convient de citer également le cas des couches minces, pour lesquelles nos collègues allemands obtiennent des rendements de 21,7 % maximum sur du verre et 20,4 % sur du flexible.

On voit donc se dégager aujourd'hui deux grandes tendances avec, d'un côté, de très hauts rendements, de l'autre, de nouvelles applications sur du flexible et des couches minces.

Ces progrès vont se poursuivre et l'un des objectifs pourrait être de se diriger, au-delà de 2020, vers des modules standard présentant un rendement de l'ordre de 20 %.

On dispose aujourd'hui, sur le plan technique, de moyens permettant d'aller au-delà de 30 % de rendement, à condition d'utiliser des concepts « multijonctions ». Les cellules d'aujourd'hui moyennent leur réponse sur tout le spectre solaire. L'idée de cette nouvelle technologie est de superposer des cellules qui travaillent très bien dans le bleu et d'autres qui font de même dans le rouge. En les faisant intervenir de façon combinée, on peut envisager des ruptures de rendement. Ainsi, des tandems, composés de deux jonctions, peuvent atteindre des rendements maximum de 40 %. On peut donc imaginer obtenir, dans quelques années et grâce à ces cellules tandems, des rendements moyens supérieurs à 30 %.

En outre, un cap supérieur pourra être franchi et de nouveaux points de rupture atteints grâce à des innovations dans le domaine des matériaux. Peut-être avez-vous entendu parler de cellules à colorant, de cellules organiques, *etc.* Une recherche se développe aujourd'hui sur l'abaissement des coûts de nouveaux matériaux permettant au photovoltaïque de franchir des étapes supplémentaires.

Des travaux sont également menés pour aller vers des concepts supérieurs à 50 % de rendement, théoriquement envisageables en utilisant de la plasmonique et de la photonique.

J'aimerais attirer ici votre attention sur la vitesse à laquelle une technologie nouvelle est apparue, même si elle reste non mature. Il est important de noter que cette technologie dite « perovskite », qui est un nouveau matériau pour le photovoltaïque, est passée, entre 2009 et 2015, de 3 % à 20,1 % de rendement. Il faut souligner que cette technologie bénéficie de tous les efforts de recherche menés préalablement sur d'autres matériaux et structures. Ainsi, les progrès ne surgissent pas d'un acte isolé mais sont le fruit de la mise en commun des savoirs accumulés.

Ces évolutions vont conduire à des multi-usages. On trouvera ainsi, bien entendu, du photovoltaïque intégré aux bâtiments mais aussi déployé, par exemple, dans l'agriculture. Tous ces nouveaux usages, en relation proche avec le citoyen, vont et doivent susciter des efforts de recherche, afin d'associer au plus près l'innovation technologique et le contact avec le développement et l'implémentation de ces technologies.

Parmi ces nouveaux usages, figure le couplage des systèmes photovoltaïques avec le stockage, qui est en plein développement expérimental.

Il me semble ainsi essentiel d'insister sur l'importance de la recherche fondamentale dans ce domaine mais aussi sur la nécessité d'accélérer les transferts industriels au bénéfice de la société, c'est-à-dire de ne pas mettre des décennies pour identifier et développer de nouvelles pistes technologiques.

Cela suppose, à l'avenir, une meilleure coordination entre les centres de recherche, en France, en Europe et dans le monde, ainsi qu'un approfondissement de leurs liens avec l'industrie.

Je terminerai en soulignant également l'importance des politiques publiques. En effet, tout cela n'aurait pas eu lieu si, à un moment donné, la décision n'avait pas été prise par les États – notamment en Allemagne, au Japon ou encore en France à l'occasion du Grenelle de l'environnement – de mener une politique en ce sens.

Il convient enfin d'insister sur le lien avec les citoyens, indispensable à l'acceptabilité de ces évolutions.

QUEL AVENIR POUR LE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE ?

M. Paul Lucchese, CEA, président de l'Association européenne de recherche sur l'hydrogène. La thématique du stockage de l'énergie n'est pas nouvelle, mais est renouvelée aujourd'hui par la problématique du stockage de l'énergie à partir des énergies renouvelables variables, qui émergent fortement depuis une dizaine d'années. De nombreux rapports, nationaux et internationaux, sont régulièrement produits sur ce sujet. Un rapport du Conseil économique, social et environnemental (CESE) a, par exemple, montré cette année tout l'intérêt du stockage de l'énergie. Dans les scénarios énergétiques de l'ANCRE et de l'Ademe, apparaît également la nécessité, dans les futurs systèmes énergétiques, de stocker l'énergie.

Pourquoi ? La première raison, évidente, est que la part croissante d'énergies renouvelables variables ou intermittentes dans le *mix* énergétique, avec un décalage flagrant entre l'offre et la demande, va conduire à trouver des solutions pour permettre une adéquation entre ces deux aspects. Une étude publiée par l'Ademe voici deux ans a, par exemple, montré que, à l'horizon 2030, on

pourrait avoir un excès d'énergies renouvelables intermittentes de l'ordre de 75 TWh.

J'aimerais également souligner une autre dimension, assez peu souvent mentionnée – bien que présente dans la loi sur la transition énergétique – qui est le transfert d'une partie de la gouvernance de l'énergie aux territoires. La maille géographique réduite dans laquelle va être géré, au moins en partie, le système énergétique impose plus nettement le recours au stockage et permet de créer des chaînes de valeur locales.

Le stockage de l'énergie n'est pas la seule voie pour optimiser le système énergétique, constitué d'une part importante d'énergies renouvelables. Il convient de citer également le développement des réseaux de transport, y compris au niveau européen, et bien sûr, à l'échelon local, les réseaux de distribution (« *smart grids* ») et l'apport des technologies numériques.

La loi sur la transition énergétique, parue en août 2015, reconnaît l'importance du stockage. Elle demande d'ailleurs à la Commission de régulation de l'énergie (CRE), au sein du Programme pluriannuel de l'énergie (PPE), de prévoir une place pour les opérateurs de stockage. Elle introduit en outre la notion d'interaction entre les réseaux d'électricité, de gaz et de chaleur. Elle encourage enfin la recherche sur le stockage.

J'aimerais mettre particulièrement l'accent sur l'article 121 de cette loi, qui donne spécifiquement un rôle au stockage des énergies renouvelables par l'hydrogène et demande notamment au Gouvernement de proposer un plan, avec un focus important sur les modèles économiques.

Dans ce domaine, la recherche et développement est essentielle, tant en recherche fondamentale qu'incrémentale. En matière de batteries, par exemple, ou de piles à combustible, il existe encore bien des progrès à accomplir pour réduire les coûts, diminuer les quantités de matériaux nobles et intégrer la notion de recyclage. Parallèlement, l'annonce, par Tesla ou par un constructeur chinois, d'usines géantes de production de batteries, va conduire, par effet de série, à en diminuer le coût. Une étude récente de la Deutsche Bank indiquait ainsi que l'on pourrait, à l'horizon 2020, passer d'un coût de quatorze centimes par kWh à un coût de deux centimes. Si ce chiffre était avéré, il changerait la donne du système énergétique, puisque l'ajout de deux centimes pour le stockage remettrait en cause les problématiques des réseaux de distribution et de transport.

J'aimerais également souligner combien, dans un contexte de complexification des systèmes énergétiques, les démonstrations sont importantes. Or elles sont encore, pour les îlots urbains et les villes, balbutiantes. Il faut donc soutenir leur développement.

Le troisième point, mentionné dans la loi ainsi que dans tous les rapports, concerne le manque criant de modèles économiques sur le stockage, visant à éclairer la décision publique et à établir un cadre de marché stable. Le système dit

« *power to power* » renvoie ainsi au stockage par batterie ou par tout autre système par lequel on stocke l'électricité pour la refournir au réseau. On a, dans ce cadre, spécifiquement pour l'hydrogène, une ouverture beaucoup plus grande, puisque la molécule d'hydrogène peut servir à bien d'autres choses qu'à refaire de l'électricité. Il y a donc, là aussi, grandement besoin de modèles économiques, inexistant à l'heure actuelle.

Il faut enfin adapter les cadres réglementaire, tarifaire et normatif, et intégrer l'aspect sociétal.

Tout cela doit s'inscrire dans un cadre européen, où il convient de s'interroger sur l'aspect industriel. Pour ce qui est des batteries par exemple, j'ai cité le cas de méga usines aux États-Unis d'Amérique et en Chine. Que fait l'Europe ? Cela doit-il passer par une alliance franco-allemande ? Ces questions méritent d'être soulevées.

M. Jean-Yves Le Déaut. Je souhaiterais, avant de passer la parole à nos collègues de la deuxième table ronde, remercier tout particulièrement Mme Ana Isabel Mariño Ortega, sénatrice et présidente de la Commission de l'environnement et du changement climatique du Sénat espagnol, et M. Christian Bataille, qui est l'un des piliers de l'Office parlementaire, aux travaux duquel il contribue depuis 1988, notamment dans le domaine des questions énergétiques.

DEUXIÈME TABLE RONDE : LES INNOVATIONS PERMETTANT DE NOURRIR L'HUMANITÉ TOUT EN RÉDUISANT LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Présidence de M. Bruno Sido, sénateur, premier vice-président de l'OPECST, et de M. Paul Rübig, membre du Parlement européen, président du *Science and Technology Options Assessment (STOA)*

M. Jean-Yves Le Déaut, député, président de l'OPECST, président de l'EPTA pour 2015. En guise de brève introduction, je rappellerai que des gigatonnes de carbone sont présentes partout dans la biosphère, dans les océans principalement, mais aussi dans les sols, les forêts, la biomasse.

Cette table ronde a pour objet de s'interroger sur la question de savoir si l'on est capable de réguler cette biomasse, dans des endroits où elle peut être stockée.

M. Paul Rübig. Cette réunion est très importante à nos yeux. Nous constatons en effet que le monde avance et que nous sommes à la pointe des technologies ; reste à trouver la manière de développer les meilleures solutions pour l'avenir. De toute évidence, la question de savoir comment nourrir le monde est cruciale.

Le Parlement européen dispose de plus de vingt comités, dont le *STOA*, composé de vingt-cinq parlementaires issus de différentes disciplines. Notre activité première consiste à voir comment envisager l'ensemble des questions liées à la mobilité, pour les générations à venir, jusqu'aux années 2050.

Nous avons tous entendu parler des progrès dans l'éclairage urbain, du programme Galilée ou des projets de voitures sans chauffeur, qui pourraient rouler très vite tout en réduisant la consommation de carburant de plus de 20 %. Nous disposons ainsi d'une gamme considérable de technologies permettant d'envisager des avancées intéressantes.

Il est important, dans ce contexte, de considérer les ressources de façon durable, à la lumière des énergies renouvelables. De quoi avons-nous besoin pour produire suffisamment d'aliments ? Qu'en est-il de la ressource en eau ?

Les ressources des forêts sont largement utilisées, parfois à outrance. Des récoltes autrefois destinées aux animaux sont aujourd'hui employées pour produire de l'énergie. Cela soulève de nombreux questionnements. Ces récoltes doivent-elles se retrouver dans nos assiettes ou dans le réservoir de nos voitures ? Tout cela joue un rôle important pour le public.

L'activité du *STOA* concerne en outre les technologies de l'information et de la communication. Comment faire en sorte que notre réseau soit résistant aux cyber-attaques ? Ces questions émergent et je pense qu'il convient en la matière de se demander s'il est vrai que ces technologies sont en train de fusionner avec l'infrastructure énergétique (de transport, de stockage, *etc.*). Que pouvons-nous faire en termes de modes de stockage ?

La production d'énergie relève, par ailleurs, du niveau national. Les bonnes pratiques peuvent être instillées par l'Europe, mais cela dépend essentiellement des différents États. Dans ce contexte, l'Union européenne doit procéder à des vérifications objectives et voir comment le stockage peut être organisé, d'une petite batterie issue des nanotechnologies jusqu'aux plus grands moyens de stockage. L'algorithme utilisé actuellement permet de passer du monde du réel à une réalité virtuelle. Tout est construit dans un espace virtuel, entraînant de nouveaux modes de communication et de nouveaux comportements. Cela pose évidemment la question de ce que nous considérons comme « la vie parfaite ».

L'industrie pharmaceutique utilise, par exemple, le CO₂ pour faire pousser les plantes plus rapidement. Mais il existe aussi des aspects négatifs. Il convient donc d'appréhender précisément les impacts de ces différentes démarches et utilisations.

À partir de 2020, il faudra une Europe efficace en ressources. La question se posera aussi à l'échelle internationale. Tout cela m'évoque la prochaine Conférence de Paris, qui nous semble essentielle dans la mesure où elle abordera ces questions sous un angle mondial.

Je vous remercie encore d'avoir organisé cette rencontre, dont les thématiques font très largement écho à nos activités.

M. Bruno Sido. L'équation posée par cette deuxième table ronde est simple : sera-t-il possible de nourrir une humanité toujours plus nombreuse en émettant moins de gaz à effet de serre pour produire la nourriture nécessaire ?

Une telle équation ne décrit toutefois pas le problème posé dans toute son ampleur, car si l'on donnait la priorité à la production de nourriture en laissant croître l'émission des gaz à effet de serre, alors cette augmentation mettrait en péril la production elle-même.

Je vous rappelle que l'agriculture est actuellement à l'origine de 10 % à 15 % des émissions de gaz à effet de serre.

Étant moi-même exploitant agricole, je suis bien placé pour savoir qu'il s'agit là d'un domaine dans lequel on sait s'adapter en innovant. L'augmentation de la production agricole reposait jusqu'à présent sur l'accroissement des intrants. Il faudra dorénavant continuer à produire toujours plus, tout en réduisant les apports externes d'origine industrielle, cette tension devant être surmontée en accordant une large place à l'innovation.

Permettez-moi d'illustrer mon propos par l'exemple de l'extension des rizières. Le riz pourrait constituer une part extrêmement importante de la production agricole future, mais il se trouve que les rizières dégagent du méthane, puissant gaz à effet de serre. En réalité, ce gaz est soixante fois plus émissif que le dioxyde de carbone, qui accapare pourtant l'attention. Les émissions de gaz à effet de serre s'emballeraient, ainsi que l'aggravation des phénomènes climatiques associés. La ressource en eau en pâtirait. L'océan, principal puits de carbone, en serait affecté.

Je regrette à ce propos que le rôle de l'océan et sa contribution essentielle à la nourriture de l'humanité ne figure pas en meilleure place au programme de cette table ronde, les ressources halieutiques qu'il recèle étant plus que précieuses et déjà en raréfaction du fait de la surpêche, comme l'a fort bien mis en évidence le rapport, en 2008, de notre ancien collègue, le sénateur Marcel-Pierre Cléach, sur « *L'apport de la recherche à l'évaluation des ressources halieutiques et à la gestion des pêches* ».

Ces ressources ne doivent, en outre, pas pâtir d'un océan à l'équilibre perturbé non seulement par les changements climatiques, mais aussi par la pollution, ainsi que l'a rappelé le sénateur Roland Courteau, vice-président de l'Office, dans son rapport de 2011 sur « *La pollution en Méditerranée* ».

Ces problématiques ont, par ailleurs, été abordées récemment par l'OPECST *via* des auditions publiques sur les recherches dans le domaine de l'environnement, en juillet 2014, la filière semencière en janvier 2015, et les données massives (ou « *big data* ») dans l'agriculture, en juillet 2015.

Pour autant, il ne s'agit pas là pour l'OPECST d'un sujet de préoccupation récent. Ainsi, des analyses fort pertinentes figuraient déjà, en 2006, dans le rapport produit au nom de l'Office par les sénateurs Pierre Laffitte et Claude Saunier sur « *Les apports de la science et de la technologie au développement durable* », mais aussi dans le rapport, en 2003, du sénateur Gérard Miquel sur « *La qualité de l'eau et de l'assainissement* » et surtout dans l'étude réalisée en 2002 par le sénateur Marcel Deneux sur « *L'évaluation de l'ampleur des changements climatiques à l'horizon 2025, 2050 et 2100* ».

EXPOSÉS DE CADRAGE

COMMENT INNOVER EN STOCKANT MASSIVEMENT DU CARBONE DANS LES SOLS (À LA CAMPAGNE), ET SUR LES MURS ET LES TOITS (DANS LES VILLES) ?

Mme Anne-Yvonne Le Dain, députée, docteur en sciences de la Terre. Le titre de cet exposé est, j'en conviens, quelque peu provocateur. Mais cette petite provocation n'en est, en fait, pas complètement une puisqu'il s'agit à mon sens, en matière d'innovation, de la grande question.

La poursuite des objectifs affirmés à l'occasion du Protocole de Kyoto s'est effectivement mise en route en 1997. Puis est arrivé 2013, et les choses se sont compliquées.

Ainsi, si l'on ressent une ambition et une prise de conscience mondiale, le décrochage des institutions, des pays, et même du citoyen qui estime tout cela très éloigné de lui et lui échappant quelque peu, n'en est pas moins perceptible. S'installe alors une sorte de culpabilité collective, sans forme, une espèce d'ectoplasme politique, institutionnel, administratif voire scientifique.

La question de l'innovation est donc centrale, dans la mesure où l'innovation ne peut, par nature et par fonction, être globale. Elle est forcément locale, relève de quelques personnes seulement et de la capacité de ces intelligences à trouver les capitaux nécessaires pour investir.

Une angoisse collective s'est ainsi peu à peu développée et cristallisée autour de la question du carbone. Il s'agit d'un sujet fondamental, dans lequel chacun a sa part de culpabilité. On pense tout d'abord aux mégapoles, qui regroupent environ 300 millions d'habitants de par le monde. On songe également aux déserts, dont le sous-sol recèle généralement du pétrole, et au monde agricole. M. Jean Jouzel expliquait précédemment qu'un changement dans les pratiques agricoles pourrait améliorer de 20 % la situation au regard du gaz carbonique. Dans ces conditions, faut-il interdire l'exploitation des forêts et les transformer en grands musées de la biodiversité et du carbone ? Il faut savoir que le carbone est déjà stocké dans les forêts et qu'il ne sera pas possible de faire mieux.

Faut-il ne pas utiliser le bois comme matériau de construction, de manière massive, sans jamais de destruction ?

On se situe vraiment là au cœur de questions économiques, sociales, et financières cruciales. Peuvent-elles être résolues à une échelle mondiale ?

Cela renvoie à la question, évoquée dans l'intitulé de mon exposé, de la possibilité d'un enfouissement du carbone dans les sols par les lombrics, dont je rappelle que la masse totale sur la planète est supérieure à celle de toutes les autres populations animales. Est-ce une solution ? Rien n'est moins sûr. J'ai lu, en effet, récemment dans une publication que les lombrics, loin de stocker massivement le carbone pour obtenir de belles terres grasses et noires partout dans les zones calcaires, contribueraient au bout du compte à un tiers de la production du carbone mondial, dans la mesure où les trous creusés dans le sol par leurs soins l'aèrent et provoquent finalement le dégazement.

On se situe à un tel niveau d'inquiétude et d'angoisse que l'on dit et entend tout et son contraire en l'espace de quelques décennies, de quelques années, voire de quelques semaines.

La question de l'innovation est fondamentale car elle nous ramène au local et à ce qui est possible, constructible et souhaitable.

Le carbone est aujourd'hui un problème essentiel, tout comme la question, moderne et nouvelle, posée dans le monde entier et notamment au Sud, de l'utilisation des murs et des toits des immeubles pour produire du végétal, et ainsi stocker du carbone et nourrir les gens.

LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE AU SERVICE DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Mme Valérie Masson-Delmotte, paléoclimatologue, membre du Conseil scientifique de l'OPECST. Je vais vous donner lecture d'une intervention rédigée par M. Alexandre Magnan, chercheur à l'Institut du développement durable et des relations internationales, autour de la science et de la technologie au service d'un point peu abordé jusqu'à aujourd'hui, à savoir l'adaptation aux changements climatiques.

L'essence de l'adaptation est de permettre aux sociétés humaines de réduire leur vulnérabilité aux changements climatiques, actuels ou futurs, soudains (cyclone, sécheresse) ou plus graduels (dus aux conséquences de l'acidification et du réchauffement des océans ou aux changements à long terme dans les régimes des pluies). Il s'agit donc, pour les sociétés des pays en développement comme des pays développés, d'être suffisamment flexibles pour réajuster leurs choix de développement au fur et à mesure que de nouveaux éléments surviennent et que de nouvelles connaissances sont mises en lumière mais aussi d'être assez solides pour projeter ces choix dans le temps.

L'enjeu fondamental de l'adaptation pour une société donnée est d'être capable de maintenir ce qui fait sa cohérence, son unité au moment présent, tout en évoluant pour répondre à des conditions changeantes, ce qui renvoie à deux dimensions, distinctes mais fondamentales : la résilience et l'anticipation ⁽¹⁾.

La résilience est l'aptitude à accroître la réactivité du territoire, face à des perturbations (les événements extrêmes) qui sont par nature relativement imprévisibles.

L'anticipation est l'aptitude à se projeter dans le temps, par exemple sur les changements plus graduels.

Ces deux dimensions (répondre et se projeter) sont complémentaires, et science et technologie peuvent servir ce double objectif.

M. Alexandre Magnan souligne, bien sûr, la difficulté à ce que l'adaptation devienne une réalité sur le terrain ainsi que dans les politiques publiques. Bien d'autres dimensions entrent en effet en jeu, comme la perception de la réalité du risque par les populations, l'efficacité des systèmes de gouvernance locale ou l'importance relative de cette question par rapport à d'autres enjeux.

(1) Cf. *Annexe 4*.

Dans ce contexte il entend mettre l'accent sur l'importance de l'expertise scientifique pour l'adaptation, la science permettant une meilleure compréhension des facteurs environnementaux et humains à l'œuvre. Cette compréhension est nécessaire pour identifier des stratégies d'adaptation qui soient ambitieuses dans leurs objectifs et réalistes en termes de mise en œuvre, c'est-à-dire tenant compte des contraintes et des opportunités locales.

Les progrès récents en matière de modélisation du climat et des impacts ont imposé une situation inédite dans l'histoire de l'humanité, puisque que l'on dispose désormais d'images de futurs possibles. Bien que ces images soient imparfaites, c'est-à-dire recèlent des incertitudes, cela n'enlève rien au fait que les avancées scientifiques permettent une réflexion prospective qui est indispensable.

L'adaptation n'est pas simplement une option, puisqu'une partie des changements climatiques est inévitable. Il s'agit bien d'une stratégie à part entière.

Les sciences humaines apportent, en outre, de l'eau à notre moulin, notamment sur la question de la vulnérabilité et du risque. Les approches se multiplient. L'une d'entre elles s'intéresse aux trajectoires de vulnérabilité. On ne peut comprendre la vulnérabilité actuelle, donc se projeter vers la vulnérabilité future, qu'en appréhendant les facteurs qui ont fait que se sont progressivement mises en place, au fil des dernières décennies au moins, les conditions de la vulnérabilité actuelle. Le développement des digues côtières en constitue un bon exemple. Ces digues ont été, au gré des tempêtes, rehaussées puis étendues, ce qui a souvent eu pour effet pervers d'accroître l'urbanisation littorale. C'est là l'un des caractères explicatifs des catastrophes Xynthia en France, en 2010, et Katrina aux États-Unis, en 2005.

Cette approche éclaire les facteurs humains de la vulnérabilité et du risque, les tendances lourdes, et montre que commencer par régler les problèmes actuels est une étape fondamentale pour l'adaptation de plus long terme. Les sciences humaines, ici aussi, aident à dépasser le problème de l'incertitude climatique : dès lors que l'on comprend que la vulnérabilité et le risque n'ont pas que des origines physiques – c'est-à-dire l'ampleur des aléas naturels – mais aussi des sources anthropiques – que sont les modalités d'aménagement du territoire des dernières cinquante années – alors la position intuitive du « je ne peux rien décider maintenant car je n'en sais pas assez sur le futur, donc je déciderai quand j'en saurai davantage » ne tient plus la route.

La science dans son ensemble a réussi à faire passer la question de l'adaptation dans l'agenda, ainsi que le message selon lequel l'incertitude sur le futur ne constituait pas un alibi à l'inaction.

M. Alexandre Magnan mentionne également la technologie, qui joue un rôle clé pour apporter une partie des réponses aux changements identifiés. C'est le cas, par exemple, en matière de système d'alerte, avec les nouvelles technologies de l'information et de la communication, ou encore lorsque la technologie se met

au service de la science pour développer des espèces de corail plus résistantes aux pics de température responsables des épisodes de blanchiment.

L'adaptation est donc une stratégie incontournable. Si l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre vise à éviter l'ingérable, l'adaptation vise à gérer l'inévitable. Il s'agit donc d'une urgence, pour les pays en développement comme pour les pays développés. Or cela ne peut se faire sans l'appui de la science et de la technologie.

QUELLES TECHNIQUES AGRONOMIQUES POUR RÉPONDRE CONJOINTEMENT AUX DÉFIS DÉMOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE ?

M. Michel Griffon, ancien directeur scientifique du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), président de l'Association internationale pour une agriculture écologiquement intensive. Le défi lancé à l'agriculture par la démographie réside dans le fait que la biosphère soit capable d'alimenter quelque neuf milliards de personnes à l'horizon 2050 et dix à onze milliards à la fin du siècle.

L'équation technologique est la suivante : produire plus, en limitant l'extension géographique de la production, donc la déforestation, en accroissant les rendements par hectare – qui plafonnent actuellement – en réduisant les pollutions dues aux excès d'engrais et de certains produits phytosanitaires, en optimisant l'irrigation – dans la mesure où l'eau est susceptible de manquer ponctuellement – et en favorisant la biodiversité, cela avec des techniques à faible coût, car l'essentiel de la production se fait dans de très petites exploitations pauvres du monde.

Quant au défi climatique, il s'agit, pour l'agriculture, de mieux résister aux sécheresses, aux hautes températures, aux excès de pluie, et de lutter contre la baisse actuelle des rendements.

L'équation est la suivante : accroître la production pour compenser les baisses de rendements, adapter les écosystèmes productifs pour conserver l'eau, faire migrer plus rapidement, en altitude et en latitude, les espèces cultivées, limiter les émissions de gaz à effet de serre, moins utiliser les carburants fossiles et les engrais azotés, émetteurs de gaz à effet de serre, et, enfin, limiter les rejets de gaz émis par la digestion des bovins principalement.

Pour cela, l'une des voies les plus prometteuses est l'agro-écologie, et plus précisément ce que l'on peut qualifier d'« intensivité écologique », d'« agriculture écologiquement intensive » ou d'« intensification soutenable ». Cette nouvelle technologie utilise les fonctionnalités naturelles des écosystèmes comme base productive. Elle consiste à utiliser intensivement les écosystèmes mais pas les intrants chimiques susceptibles de poser des problèmes. Elle emploie, par ailleurs, en complément, des techniques conventionnelles, à condition qu'elles soient compatibles.

Les techniques en jeu dans cette démarche sont très nombreuses. J'en citerai quelques-unes, à titre d'exemple : les cultures associées, qui ont des effets synergiques, les cultures assurant une couverture permanente du sol, de façon à conserver l'eau et à lutter contre l'érosion ou l'utilisation de légumineuses – comme la luzerne ou le trèfle – pour apporter gratuitement de l'azote, en substitution de l'engrais chimique. On peut aussi, sauf exception, renoncer le plus possible au labour afin de favoriser les fonctions biologiques du sol, utiliser la lutte biologique intégrée, consistant, par exemple, à employer les ennemis des ennemis des cultures, diversifier les productions et mettre à profit les vertus des successions de cultures sur les mêmes sols afin de lutter, par exemple, contre les mauvaises herbes.

À cela s'ajoutent les promesses de nouvelles molécules obtenues par bio-inspiration, c'est-à-dire en imitant les molécules naturelles, plus facilement intégrables et métabolisables dans les écosystèmes productifs que des molécules obtenues *ex-nihilo*.

Il convient également de citer les nouvelles cultures destinées à la production d'énergie et de biomatériaux, en substitution des molécules issues du pétrole, l'aménagement écologique des bassins versants, des bassins hydrauliques et des paysages, selon des principes d'écologie scientifique et, enfin, le retour aux nouvelles biotechnologies végétales, pour faire face à la nécessité de disposer très rapidement des plantes adaptées aux nouveaux climats.

QUELLES CONDITIONS POUR LA MULTIPLICATION ET LE SUCCÈS DES INNOVATIONS FRUGALES ?

M. Jean-Marc Bournigal, président de l'Irstea, vice-président de l'Alliance nationale de recherche pour l'environnement (AllEnvi). L'innovation frugale, c'est, par exemple, l'alimentation en énergie solaire des foyers en zones rurales en Inde, la production d'eau potable à partir d'humidité récupérée sur des panneaux au Pérou mais aussi le service de paiement par téléphone mobile sans carte bancaire au Kenya ou encore l'utilisation de la technologie suffisante, comme dans le cas de la mesure du rythme cardiaque des fœtus avec un microphone plutôt qu'un ultrason.

Innover frugal, c'est d'abord innover véritablement, mais en mobilisant des solutions bon marché et durables, à partir de ressources limitées, sous contraintes fortes.

Cette démarche, consistant à faire mieux avec moins, est partie de l'ingéniosité de petits entrepreneurs des pays du Sud, capables de créer des solutions abordables et durables avec très peu de ressources.

Elle arrive aujourd'hui dans nos pays confrontés à la crise économique, où son succès est favorisé par des consommateurs en quête de valeurs, de plus en plus sensibles aux coûts, conscients des enjeux écologiques et souhaitant des biens et

services respectueux de l'environnement. Or la frugalité se traduit précisément par le juste service dans la consommation, le moins de matières premières utilisées et le plus de recyclage dans la production.

Beaucoup considèrent aujourd'hui que les pays en voie de développement sont et seront plus à même que les autres d'innover en allant vers des solutions respectueuses de l'environnement, notamment parce qu'ils sont les premiers à être confrontés aux effets du changement climatique et à les subir.

Face à ces contraintes, émerge un nouveau système de création de valeur, moins consommateur de ressources et proposant des solutions innovantes, qui privilégient l'usage, en partant toujours des besoins de base à satisfaire et en tenant systématiquement compte de l'utilité sociale et environnementale.

Cette nouvelle stratégie d'innovation s'appuie sur cinq grandes tendances : l'économie collaborative, en pleine expansion ; l'économie circulaire, en lien avec la notion de bioéconomie ; l'économie dite des *makers*, caractérisée par l'implication des gens, le « faire soi-même », le système D ; la notion de développement durable, qui commence à traverser toutes les strates de notre société ; le numérique.

La base de l'innovation est avant tout la créativité, l'imagination et la connexion. Il s'agit d'un modèle en réseau assez éloigné du modèle linéaire habituel. Ce dernier, caractérisé par une recherche en amont supposée générer automatiquement des innovations en aval, a souvent induit une économie de promesses, faisant bien souvent se succéder enthousiasme sur le potentiel technologique et désillusion sur leur transformation en innovations.

L'innovation frugale suppose de l'agilité, l'utilisation de sous-traitance, la création de nouveaux modèles économiques, la réutilisation de technologies existantes, la recherche d'économies d'échelle. Or cela suppose de changer les comportements et de cesser de penser que plus un produit est complexe, plus il est innovant. En réalité, plus un produit est complexe, plus son développement nécessite de ressources et plus il est fragile et exposé aux pannes.

Favoriser le modèle en réseaux est un préalable pour innover. Pour la recherche, ces réseaux doivent s'étendre au-delà des partenariats industriels classiques et intégrer les utilisateurs, les apporteurs d'idées, y compris dans des secteurs différents de ceux que nous connaissons aujourd'hui. Il nous faut imaginer de plus en plus d'objets de connexion, d'attracteurs, et les faire connaître au-delà de nos partenariats habituels. Ces objets peuvent être des technologies, des compétences, des plateformes, des équipements, des prototypes, des démonstrateurs ou encore des données. Chacun peut devenir créateur, en ayant accès à des outils, en partageant ses connaissances avec d'autres, ce qui apparaît assez innovant.

Pour les organismes de recherche, l'enjeu de l'innovation frugale est à l'évidence important, car il est révélateur d'un changement culturel assez profond, y compris dans la façon de faire de la recherche.

Les grands mouvements auxquels nous assistons aujourd'hui, en provenance du Sud, marquent une évolution importante du paysage mondial de l'innovation. Le défi réside dans notre capacité à conjuguer ingéniosité, savoirs et compétences des innovateurs du Sud et du Nord, pour créer ensemble des solutions frugales et révolutionnaires, qu'aucune région n'aurait été capable d'élaborer seule.

Les évolutions des grandes entreprises de la recherche aujourd'hui montrent que cette démarche est en cours.

LA CONTRIBUTION DE LA POLITIQUE SPATIALE EUROPÉENNE À LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE.

M. Jean-Yves Le Gall, président du CNES, co-président du conseil de l'ESA. Comme vous le savez, nous sommes actuellement dans la phase de préparation de la COP21. Le moment semble donc opportun pour faire le point sur la contribution de la politique spatiale à la lutte contre le changement climatique.

La semaine dernière, nous avons réuni à Mexico, sous les auspices de l'Académie internationale de l'astronautique, vingt-quatre chefs d'agences spatiales en provenance du monde entier. Nous avons, à cette occasion, adopté à l'unanimité une déclaration insistant sur l'importance de l'apport des satellites, indispensables à l'observation du climat, à la compréhension du changement climatique et surtout aux moyens d'en atténuer les effets. Cette déclaration a été transmise aux gouvernements des États représentés, dans la perspective de la COP21.

Nous avons, dans ce texte, insisté sur les trois points suivants, qui illustrent assez bien, me semble-t-il, l'apport du spatial à la problématique du changement climatique.

Le premier point concerne le fait que, sur les cinquante variables climatiques essentielles définies par le *Global Climate Observing System (GCOS)*, vingt-six ne peuvent être observées globalement que depuis l'espace. Les satellites sont donc sans équivalent pour comprendre le climat et ses dérèglements et contrôler les engagements internationaux pris pour maîtriser son évolution.

Les satellites sont aussi les garants d'une observation globale, précise et multicritère de la Terre, qui permet de mesurer l'augmentation moyenne du niveau des océans et le réchauffement global de l'atmosphère, ainsi que les émissions globales et régionales des gaz à effet de serre, notamment le gaz carbonique et le méthane.

Les satellites permettent enfin de gérer les catastrophes naturelles, en donnant aux pays concernés un accès prioritaire aux informations disponibles provenant des satellites du monde entier. À l'avenir, ils apporteront aussi leur aide en amont de tels événements, avec probablement à terme la détection précoce des tsunamis et des tremblements de terre.

Sur tous ces sujets, le programme spatial français et européen est particulièrement exemplaire puisque ce sont les satellites franco-américains Topex-Poséidon, Jason-1, Jason-2 et bientôt Jason-3, qui ont mis en évidence l'augmentation moyenne de 3,2 mm par an du niveau des océans.

A également été souligné, lors de cette réunion internationale de Mexico, notre engagement dans la mesure régionale des émissions de gaz à effet de serre, avec les projets Merlin pour le méthane et MicroCarb pour le gaz carbonique, qui contribueront à contrôler la tenue des engagements internationaux.

Au total, l'implication de la France et de l'Europe dans la lutte contre le changement climatique est clairement apparue, les participants au Sommet de Mexico ayant indiqué à de nombreuses reprises à quel point ils étaient impressionnés, d'une part, par les moyens mis en œuvre pour assurer le succès de la COP21, d'autre part par la pertinence de notre programme spatial, dont les projets en cours ou à venir sont autant d'atouts pour gagner ce combat aux enjeux planétaires.

QUEL APPORT DES DONNÉES SPATIALES ET DE LA MODÉLISATION DANS LA GESTION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

M. Pascal Lecomte, chef du Bureau Climat de l'ESA. La capacité de notre société à s'adapter au changement climatique dépend largement de notre faculté à surveiller, comprendre et prédire l'impact des sociétés humaines sur l'évolution de notre environnement.

Alors que les impacts sur le climat, l'eau, l'alimentation et les ressources en énergie ont souvent été étudiés séparément en termes de gestion de risque, ils représentent en fait des facettes diverses mais inextricablement liées du risque induit pour notre société.

Il s'agit donc de développer un nouveau type de pensée, intégrant ces risques multiples et interdépendants, dans un système unifié de gestion des risques.

Les données d'observation de la Terre sont essentielles au développement d'un tel système. Les satellites d'observation jouent en particulier un rôle clé car ils permettent d'obtenir une vision générale du système climatique, aussi bien à l'échelle locale que globale. Ces jeux de données globaux, uniformes – c'est-à-dire acquis par des instruments comparables entre eux – et répétitifs – avec une

fréquence d'acquisition relativement élevée – permettent de dériver les variables climatiques essentielles, nécessaires pour mieux cerner ces risques.

Ces variables, telles que les niveaux d'ozone, de CO₂ ou d'autres gaz à effet de serre, mais aussi le niveau de la mer ou la température des océans, ont été proposées par le *GCOS (Global Climate Observing System)*, organisme commandité par les Nations-Unies pour fournir une vision du système climatique global à partir d'une approche multidisciplinaire des propriétés physiques, chimiques et biologiques des processus atmosphériques, océaniques, hydrologiques, terrestres et de la cryosphère.

Cet apport unique des satellites à l'observation de la Terre va croître de manière significative avec la nouvelle génération de missions satellitaires opérationnelles, au premier rang desquelles la série des Sentinelles du programme de la Commission européenne Copernicus.

Grâce aux progrès rapides dans les technologies d'observation, mais aussi dans les modèles climatiques couplés (océan, atmosphère et terrestre), dans les techniques d'assimilation et les systèmes informatiques, les climatologues sont capables de prévoir les variations du climat, aussi bien à l'échelle des saisons que sur des dizaines d'années, avec une précision qui s'améliore de jour en jour.

Ils utilisent également des simulations pour développer des projections sur le plus long terme. Dans ce contexte, les observations satellitaires deviennent indispensables pour initialiser, valider et contraindre ces simulations de plus en plus complexes, car intégrant de multiples processus géophysiques et opérant à des résolutions de plus en plus élevées.

Un aspect essentiel de la gestion des risques est enfin la conversion de ces variables climatiques essentielles en un ensemble d'informations exploitables par les utilisateurs en charge des décisions. Cette conversion de la donnée vers l'information nécessite l'intégration de ces données satellitaires avec d'autres types de données, venant en particulier des modèles mais aussi des capteurs *in-situ*, des indicateurs socio-économiques et des connaissances locales.

Les données spatiales et la modélisation des processus climatiques forment donc la base d'un système unifié de la gestion des risques dus aux changements climatiques et sont indispensables à l'étude de toute action d'adaptation et d'atténuation de ces changements.

DÉBAT AVEC LES PARTICIPANTS

M. Jean-François Minster, directeur scientifique de Total. Je souhaiterais rebondir sur le passage de l'introduction concernant les ressources de la biomasse, en relation avec les enjeux de l'énergie.

Selon les publications, on trouve un facteur 100 d'écart en matière de disponibilité de la biomasse pour l'énergie. Nous ne pouvons continuer à nous projeter avec des estimations aussi incertaines. En réalité, selon les estimations, les gens travaillent sur les « ressources potentielles », c'est-à-dire ce que les surfaces disponibles permettent potentiellement de produire, avec des hypothèses de rendement généralement optimistes, sans forcément bien cadrer ce qu'il convient de préserver pour l'alimentation et la protection de la biodiversité.

Derrière cela, se trouve la réalité de terrain, que nous qualifions de « ressource techniquement accessible », variable en fonction des pratiques agricoles, de la propriété du terrain, des besoins d'alimentation des populations locales et d'autres dimensions encore, qui font que, en réalité, selon les pays, cette ressource est généralement deux à dix fois plus faible que la ressource potentiellement accessible.

Il faut, enfin, travailler sur la perspective d'utilisation pour l'énergie. Selon les pays, le besoin peut être en chaleur, en électricité ou en biocarburant. Cela suppose d'agir avec des acteurs de terrain, et pas seulement au moyen d'actions décidées depuis « en haut », à partir de données satellites. Nous envoyons ainsi régulièrement des équipes sur le terrain, pays par pays, en nous appuyant sur des équipes académiques. Nous avons ainsi amassé des informations que nous publions et mettons à la disposition de tous. Nous pensons, en effet, qu'il est important d'obtenir des estimations partagées et respectueuses des besoins des populations afin de pouvoir tous ensemble nous projeter dans cette utilisation.

Pr. Lord Julian Hunt of Chesterton, membre de la Chambre des Lords du Royaume-Uni. J'ai trouvé les deux dernières présentations sur le rôle des satellites très importantes. Je dirigeais auparavant le Bureau du Climat au Royaume-Uni et ai eu connaissance de travaux sur des réseaux autour de l'Équateur, dans une zone qui possède certaines caractéristiques très spécifiques, en termes notamment d'ensoleillement et de précipitations. Une participation accrue des acteurs scientifiques dans les pays bordant l'Équateur est donc nécessaire.

Mme Matilda Ernkrans, présidente de la Commission de l'environnement et de l'agriculture du Parlement suédois. Mon pays, la Suède, participe activement à la production de biocarburant à partir de fumier, ce qui constitue une solution très intéressante, permettant de réduire l'utilisation des carburants fossiles et d'utiliser moins d'engrais chimiques.

Même si les progrès en matière d'agriculture sont prometteurs, je pense que nous avons besoin d'une meilleure évaluation technologique de l'agriculture durable, prenant en compte la durabilité sociale, économique et environnementale. Nous ne pourrions alimenter toutes les populations de la planète, dans un contexte de changement climatique, sans tenir compte d'une répartition équitable.

Or cette perspective relative à l'évaluation technologique de la distribution équitable des ressources n'a pas été évoquée dans les présentations qui viennent de nous être proposées. Cela constitue pourtant, selon moi, un aspect essentiel lorsqu'il est question d'innovations visant à alimenter les êtres humains dans un contexte de changement climatique.

M. Chris Taylor, Bureau d'évaluation scientifique et technologique du Parlement britannique. Ces sujets soulèvent de nombreuses questions, technologiques et politiques, et je crois que l'Europe éprouve des difficultés à aborder certaines d'entre elles. Je pense notamment à la modification génétique, technologie dans laquelle nous n'avons pas investi pour des raisons politiques et en lien avec l'opinion publique. Les investissements dans des technologies comme l'agriculture de précision ont été faibles en Europe ; or ce domaine pourrait pourtant être à l'origine de développements intéressants pour accroître la production sans augmenter les émissions de gaz carbonique. Je crois qu'il serait utile de débattre de tels sujets dans un forum comme celui-ci.

Même si elle revêt aussi des aspects technologiques, ma remarque suivante concerne davantage le domaine politique, et notamment les différents types d'agriculture. La question, par exemple, d'exploitations plus grandes et d'un nombre réduit d'agriculteurs se pose. Il serait à mon sens vraiment dommage de ne pas aborder ces points dans une rencontre comme celle qui nous rassemble aujourd'hui.

M. Ola Elvestuen, président de la Commission de l'énergie et de l'environnement du Parlement norvégien. Je voudrais attirer votre attention sur nos forêts bleues (mangroves et autres) et le potentiel de stockage de carbone et de production d'alimentation qu'elles recèlent.

Une mangrove peut, par exemple, stocker cinq fois plus qu'une forêt tropicale. En zone tropicale, 50 % des sédiments de l'océan sont stockés dans les mangroves et d'autres sites similaires, alors même qu'ils ne recouvrent que 5 % de la surface des océans. Cela constitue donc un énorme potentiel, non seulement pour la production des aliments et la défense de la biodiversité mais aussi pour l'adaptation à l'élévation du niveau des mers.

Bien souvent pourtant, ces espaces sont dans des états préoccupants. Je pense que ce sujet mériterait d'être examiné en détail dans le cadre des préparatifs de la COP21.

En Norvège, nos instituts scientifiques ont créé un réseau de forêts bleues, pour attirer l'attention sur cette question importante et trouver des solutions de travail efficaces au niveau national, mais aussi à l'échelle internationale. Il serait intéressant, à la veille de la grande conférence sur le climat, de parvenir à intégrer cette dimension dans les processus REDD et REDD+ (*Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation*) de l'ONU. Se préoccuper de ces espaces

spécifiques est en effet potentiellement intéressant, non seulement pour la défense de la biodiversité mais aussi pour la protection de la production des aliments.

M. Jean-Yves Le Gall. Je souhaiterais, en complément à ce qui a été dit sur les questions de satellites, insister sur l'évolution à laquelle nous assistons, compte tenu des progrès de la technologie. Au cours des années écoulées, les satellites ont largement permis une observation globale des changements climatiques. Ce sont eux, par exemple, qui ont mis en évidence l'augmentation moyenne du niveau des océans et l'élévation de la température moyenne de la Terre.

Aujourd'hui, les progrès de la technologie sont tels que les satellites vont permettre d'observer les émissions régionales de gaz à effet de serre, gaz carbonique et méthane notamment. Cela permettra aux pays qui vont s'engager à réduire leurs émissions de s'assurer que leurs industriels et les systèmes créant des gaz à effet de serre produisent bien les efforts nécessaires à la poursuite de leurs objectifs. Cela permettra également, sur une base plus globale, de s'assurer que les engagements pris lors des conférences internationales, dont la COP21, seront effectivement tenus.

Cette nouvelle étape dans l'utilisation des satellites pour l'observation du climat et du changement climatique me semble devoir être soulignée car on va enfin pouvoir disposer d'un instrument de mesure globale, fiable, permettant d'examiner la progression des émissions au niveau local, ce qui n'existait pas auparavant.

M. Bruno Revellin-Falcoz, Académie des technologies, membre du conseil scientifique de l'OPECST. Je souhaiterais prolonger le commentaire de M. Jean-François Minster à propos de la grande fourchette d'estimations existant actuellement et profiter du fait que nous soyons tous réunis ici aujourd'hui pour poser la question suivante : quels sont les acteurs qui se saisissent aujourd'hui de ce sujet et ont un programme visant à parvenir relativement rapidement à un resserrement de cette fourchette d'évaluations, qui pollue considérablement les différents scénarios possibles et offre la liberté à des scénarios tellement variés qu'il est difficile de s'y retrouver ? Existe-t-il actuellement, au plan international, un groupe réfléchissant très précisément à ce sujet ?

Mme Mady Delvaux, membre du Parlement européen, membre du Conseil d'administration du STOA. Ma question vient en complément de la précédente : existe-t-il un organisme susceptible de regrouper les données et d'arbitrer des conflits potentiels ? Quel est le niveau de collaboration internationale dans ce domaine ? Quels sont les pays, les continents impliqués ?

M. Michel Griffon. Il n'existe pas, actuellement, de coordination effective entre les différentes initiatives.

Différents modèles coexistent ainsi : celui de la FAO, centré sur l'agroalimentaire, celui de l'*IFPRI (International Food Policy Research Institute)*, approche strictement économique focalisée sur les problèmes de production alimentaire et peu sur la biomasse, celui de l'*IASA (Initiative de l'Aquila pour la sécurité alimentaire)*, qui fait appel à des techniques satellitaires et est certainement celui qui approche le mieux la réalité, et, en France, l'initiative conjointe de l'*INRA* et du *Cirad*, avec un modèle intitulé *Agrimonde*. S'ajoutent à cela quelques initiatives universitaires, çà et là dans le monde.

À ce jour, il n'existe pas d'instrument permettant à la fois de disposer d'une structure de modèle satisfaisante et de paramétrages plus proches de la réalité.

Mme Anne-Yvonne Le Dain. Cet instrument, que nous appelons de nos vœux, permettrait de prendre des décisions, de proposer des protocoles et des chemins, de se fixer des objectifs accessibles, de segmenter les questions afin d'obtenir des réponses localement performantes et pertinentes, technologiquement et en termes d'efficacité à l'égard des populations et de la réalité concrète.

Mme Lieve Van Woensel, membre du Parlement européen et du *STOA*. Depuis trois ans, nous effectuons une série d'études très intéressantes sur l'alimentation, l'agriculture et la question de savoir comment nourrir le monde en 2050. À leurs débuts, ces travaux faisaient état d'un manque criant de données sur l'agriculture de précision. Or la situation évolue rapidement et deux comités parlementaires européens ont demandé au *STOA* d'effectuer une nouvelle étude à ce propos. Nous allons ainsi bientôt débiter de nouveaux travaux prospectifs sur l'agriculture en Europe et dans le monde ainsi que sur l'impact de l'agriculture de précision sur la production alimentaire et sur l'agriculture en tant que telle en Europe. Il s'agit donc d'un sujet que nous allons bientôt aborder.

M. Jean-Marc Bournigal. Je précise, en complément des propos de M. Michel Griffon, qu'il existe également un programme intitulé *GEOGLAM*, faisant suite à une décision du G20, placé sous l'égide de l'ONU, et utilisant les technologies satellitaires pour suivre non la biomasse au sens général du terme, mais plutôt la production alimentaire sur la totalité de la planète.

M. Pascal Lecomte. Il existe, au moins au niveau de l'activité de la cinquantaine d'agences spatiales de par le monde et des quelque cent cinquante satellites qui observent la planète en ce moment, une coordination mise en œuvre par le *CEOS (Comité des satellites d'observation de la Terre)*, dont font notamment partie le *CNES* et l'*ESA*. Nous travaillons ensemble et menons des activités coordonnées. Il existe, par exemple, entre l'*ESA* et la *NASA*, un projet commun autour de l'évaluation de la fonte des glaces en Antarctique et en Arctique. Je suis moi-même président, au sein du *CEOS*, du groupe de travail sur le climat.

M. Lars Klüver, directeur de l'Institut d'évaluation technologique danois. S'il est intéressant de débattre de l'aspect technologique de l'innovation, je pense que la réflexion sur l'innovation politique et sa diffusion devrait être tout aussi importante.

En 2009, notre ministère de l'agriculture a produit un rapport sur quinze mesures visant à réduire les émissions agricoles de CO₂. Quatre de ces mesures, couvrant 75 % de ces réductions de CO₂, concernaient les engrais utilisés aux fins de biogaz, l'utilisation des sols pauvres, ou encore l'électricité et le chauffage. Ce sont finalement des éléments assez simples, s'agissant de réduire les émissions de gaz carbonique.

Cela me conduit à penser qu'il faudrait peut-être s'attacher davantage à l'innovation au moyen de politiques efficaces. Cela peut s'accompagner par exemple, d'incitations pour les agriculteurs, de la mise en place d'un marché pour la biomasse au plan national et local, voire de réformes en matière d'occupation des sols et de répartition des terres. Il ne s'agit donc pas de considérer seulement les innovations technologiques mais aussi l'innovation politique.

M. Bruno Sido. Le Parlement français est, de ce point de vue, très créatif et n'a pas manqué, à l'occasion, par exemple, du Grenelle de l'environnement, de proposer et de voter des mesures allant dans le sens que vous venez d'indiquer.

M. Huw Irranca-Davies, président du Comité d'audit environnemental du Royaume-Uni. En 2008-2009, me semble-t-il, le Parlement a demandé un rapport à l'organisation de la prospective sur ces questions d'utilisation des sols afin d'essayer de mieux mettre à profit les données alors disponibles pour développer un argumentaire en faveur d'une meilleure répartition de l'utilisation des sols entre bâtiments, production alimentaire et production énergétique. Cette démarche était très innovante à l'époque. Il s'agissait d'un véritable défi au plan politique, sur la question très controversée de savoir où se trouvait le point d'équilibre entre biodiversité et production de biomasse ou production à des fins alimentaires.

Nous disposons, depuis cinq ou six ans, d'un corpus de données beaucoup plus important. Je pense que le moment est venu de remettre cela sur le métier au niveau européen et de prendre des décisions hardies, sur la base de ces données, en matière d'utilisation des terres, de stockage, de biodiversité, de développement. Il s'agit, certes, d'un défi pour les scientifiques mais peut-être plus encore pour les décideurs politiques.

M. Pascal Lecomte. Voici quelques années, le CEOS et le *CGMS* (*Coordination Group for Meteorological Satellites*), avaient élaboré, en collaboration avec l'Organisation mondiale de la météorologie, un document décrivant une architecture pour le climat.

Lorsqu'on parle aujourd'hui de météorologie, on sait aller de l'observation (au sol ou satellitaire) jusqu'à la prédiction, à destination de la personne qui souhaite aller pique-niquer dimanche prochain. Or on ignore comment faire de même pour le climat. Cela nécessiterait de développer l'acquisition de données, leur traitement et leur conversion en variables climatiques essentielles, de savoir les transformer en une information assimilable par la société et d'aller jusqu'à une dimension de décision, de choix.

Le document que nous avons produit semble couvrir les deux premiers aspects. Nous parvenons, en effet, à acquérir des données et à les convertir en variables climatiques essentielles. En revanche, nous éprouvons les plus grandes difficultés à transformer cette information fondamentale en un élément intégrable par le public.

M. Jean-Yves Le Déaut. Je souhaiterais réagir à l'intervention de M. Lars Klüver. Nous sommes évidemment d'accord sur le fait que l'innovation technologique ne saurait être le seul élément à considérer. Nos Parlements doivent être mobilisés, parce que nous sommes les représentants des citoyens de nos pays respectifs. Les demandes de nos concitoyens doivent être relayées au niveau parlementaire.

L'innovation politique est, dans ce cadre, nécessaire mais se traduit bien souvent par de l'innovation fiscale ou réglementaire, avec beaucoup de « géologie politique », par ajout de nouvelles couches de textes.

On ne travaille, en outre, certainement pas suffisamment sur le volet de l'innovation sociale et de l'innovation technologique au service de l'innovation politique.

J'ai été élu voici de nombreuses années et étais précédemment professeur d'université. Lorsque je suis arrivé à l'Assemblée nationale française, j'ai eu un premier choc en constatant que mes collègues étaient persuadés qu'un professeur d'université en sciences savait tout de ces questions. Dès que surgissait un sujet en lien avec les sciences ou les technologies, j'étais automatiquement sollicité pour y répondre et l'on acceptait mal que je déclare, sur certains aspects, mon incompétence.

Nos collègues pensaient, en outre, que la technologie était, certes importante pour résoudre certains problèmes politiques, mais, du fait de leur méconnaissance de ces sujets, ils n'exploraient pas la totalité des champs technologiques susceptibles de les aider à y répondre.

Je ne peux donc que me féliciter du développement de liens étroits entre les parlementaires et des responsables d'organismes nationaux ou européens, comme l'ESA.

C'est, à mon avis, par le truchement de réunions comme celle qui nous rassemble aujourd'hui que l'on pourra faire progresser ce lien nécessaire entre innovation politique, technologique et sociale.

Mme Anne-Yvonne Le Dain. L'un des intervenants a insisté précédemment sur la difficulté, pour les scientifiques, de diffuser l'information auprès de la société. Or les scientifiques ne sauraient résoudre les angoisses du monde. Il est important que le secteur politique en prenne conscience et que les administrations ne multiplient pas les interdits à l'infini, afin d'ouvrir grand le champ des possibles. Le local est, de ce point de vue, un espace infini d'innovation.

M. Jean-Yves Le Gall. J'aimerais, Monsieur le président, faire écho en miroir à vos propos. Vous avez remercié les dirigeants des établissements de recherche ; je souhaiterais, pour ma part, remercier les politiques et, en particulier, l'Office parlementaire, sans le soutien desquels nous ne pouvons rien.

Je trouve absolument extraordinaire l'alchimie qui est en train de naître autour des enjeux du climat, à la faveur probablement de la COP21 qui, par l'intérêt qu'elle suscite autour de ces questions, est, d'ores et déjà, un succès. Je crois ainsi qu'il faut rendre hommage aux travaux effectués par l'Office en ce sens. Votre soutien et, plus largement, le fait que vous contribuiez à une prise de conscience de ces enjeux, est un élément absolument fondamental.

NOUVELLES FRONTIÈRES

M. Jean-Yves Le Déaut. Nous allons, au titre des « nouvelles frontières », aborder la question de la conversion du CO₂.

Certains pensent qu'il peut exister des voies alternatives au stockage du CO₂ par la création, à côté de sites naturels permettant le stockage du carbone dans les forêts ou dans d'autres éléments de la biosphère, d'une seconde série de sites, artificiels. La conversion du CO₂ présenterait un avantage alors très important : comme elle transformerait le CO₂ en matière première, son stockage au sein de sites artificiels pourrait s'effectuer par des mécanismes de marché, l'entreprise chargée de la conversion achetant le gaz carbonique aux émetteurs.

Je sais, pour m'être rendu en mars 2015 dans les laboratoires de Sandia au Nouveau-Mexique, que nos amis américains travaillent sur cette piste. Ainsi, des chercheurs du *DOE (Department of Environment)* oeuvrent, dans le cadre du projet « *Sunshine to petrol* », à l'élaboration d'un réacteur alimenté continûment en CO₂ et qui, grâce à un apport d'énergie solaire concentrée, produit plusieurs gallons de méthanol par jour.

Je laisse la parole aux deux intervenants, qui vont nous faire part des dernières informations disponibles, en termes notamment de cycle de vie de ce genre de solution.

PEUT-ON STOCKER LE CARBONE EN CONVERTISSANT LE CO₂ ?

Mme Christine Mansilla, CEA, I-tésé. Je suis ravie d'être présente à cette conférence pour vous parler de la valorisation du CO₂ et de ses implications.

Il s'agit de capturer le CO₂ de sources diffuses afin de l'utiliser, avec ou sans transformation. Cette valorisation est l'un des leviers permettant de limiter les émissions de gaz carbonique.

Le potentiel est *a priori* considérable puisque la valorisation du CO₂ ne porte aujourd'hui que sur 0,5 % des émissions.

Il existe différentes façons de procéder à cette valorisation, avec des potentiels variables selon la consommation et la durée de séquestration du CO₂. La consommation varie, en effet, au niveau mondial, de plusieurs dizaines de millions de tonnes à quelques milliards de tonnes par an, ce qui correspond à plusieurs points de pourcentage des émissions mondiales. De même, en termes de séquestration du CO₂, il existe des variations, selon la voie choisie en termes de réémission, à la combustion des produits énergétiques et au processus de minéralisation à l'autre bout du spectre.

Il est important d'évaluer l'empreinte carbone. Les questions soulevées sont notamment celle de la consommation d'énergie : certaines voies nécessitent, en effet, beaucoup d'électricité bas carbone. Tout dépend également du produit final impliqué dans la substitution.

Parmi les solutions les plus prometteuses, figurent notamment les processus thermochimiques, évoqués précédemment avec l'exemple du procédé Sandia et du programme « *Sunshine to petrol* ».

Il existe également des perspectives prometteuses par le biais de l'hydrogénation du CO₂, dans la mesure où l'on a identifié le procédé technique à mettre en œuvre. Il reste toutefois à consolider l'aspect chimique, les volets politiques et réglementaires, ainsi que la question du prix du CO₂.

LA CONVERSION DU CO₂ PAR LA VOIE CHIMIQUE : ÉTAT D'AVANCEMENT.

M. Jean-Yves Le Déaut. Je souhaiterais, avant de laisser la parole à M. Vincent César, présenter brièvement une action lancée par le Parlement français, sous l'impulsion du professeur Dominique Meyer, de l'Académie des sciences : il s'agissait de mettre en place des trinômes réunissant un parlementaire, un scientifique de renom et un jeune chercheur.

Cette expérience, qui existe depuis plusieurs années maintenant, est un réel succès. Je tiens ici à remercier l'Académie des sciences d'avoir imaginé ce dispositif.

Il nous a semblé intéressant, à l'occasion de cette conférence, d'entendre l'un de ces jeunes chercheurs qui a travaillé avec le Parlement : Vincent César. Il fait justement partie de l'un des trinômes et va nous parler de la conversion du CO₂ par voie chimique.

M. Vincent César, chercheur au CNRS. Je tiens tout d'abord à remercier l'OPECST de m'avoir invité à m'exprimer aujourd'hui devant vous.

Ma collègue a fort bien résumé les aspects économiques et les enjeux politico-économiques de la conversion du CO₂. Mon intervention concernera un volet plus technique.

Je souhaiterais commencer cette présentation en vous citant quelques chiffres mettant en lumière l'importance de la conversion du CO₂. Actuellement, les émissions de CO₂ dans l'atmosphère s'élèvent à environ 30 Gt par an et sont en constante évolution. Par ailleurs, les ressources fossiles, très utilisées en tant que carburant et actuellement à la base de la production de 95 % des biens chimiques, sont amenées à se raréfier.

Dans ce contexte, la transformation du CO₂ prend tout son sens, car cette molécule, stable, non toxique, peu coûteuse - cet aspect restant à discuter - et très abondante, permettrait de remplacer *in fine* les hydrocarbures en synthèse chimique.

À l'heure actuelle, il n'existe toutefois que très peu de procédés industriels utilisant le CO₂. Je ne citerai que le plus important, qui représente à lui seul plus de 98 % de l'utilisation actuelle industrielle du CO₂ : il s'agit de la synthèse de l'urée par le procédé Bosch-Meiser à partir de CO₂ et d'ammoniac ; l'urée étant utilisée à 95 % dans le domaine des engrais. 0,5 % des émissions de CO₂ sont employés par ces méthodes industrielles. Il est à noter, par ailleurs, que le CO₂ est ici simplement fonctionnalisé, sans réduction formelle de son atome de carbone.

Cela m'amène au point crucial de la conversion du CO₂. Dans le cycle du carbone, la molécule de CO₂ est l'état ultime de l'élément carbone, le produit final des combustions et oxydations des matières organiques. On parle alors d'état le plus oxydé du carbone. Le recyclage chimique du CO₂ en matière organique passe alors nécessairement par un processus de réduction et doit faire face à deux défis énergétiques majeurs.

Tout d'abord, la molécule de CO₂, très stable, impose un apport d'énergie pour sa transformation.

Ensuite, sa transformation passe généralement par des intermédiaires hauts en énergie, très difficilement accessibles. L'utilisation de catalyseurs est ainsi requise pour obtenir des chemins réactionnels nécessitant moins d'énergie. Ce point peut, pour les non chimistes, être expliqué par une analogie avec les cartes topographiques : pour aller d'un point A à un point B, il est plus facile d'emprunter quelques cols de 200 mètres qu'un col de 5 000 mètres. Il en va de

même pour les chemins réactionnels, les catalyseurs permettant d'abaisser les intermédiaires réactionnels.

La nature effectue très bien tout cela lors de la photosynthèse, qui permet la transformation, à l'aide de l'énergie solaire, du CO₂ et de l'eau en matière organique telle que les sucres par exemple.

Tout le défi, pour les chimistes, est de trouver les conditions et systèmes catalytiques permettant de réaliser ces réactions dans des conditions douces de température et de pression afin de rendre le procédé économiquement viable.

Ces dernières années ont connu des avancées majeures dans la réduction du CO₂ et la compréhension des mécanismes en jeu.

La recherche s'est jusqu'à présent largement focalisée sur les produits de réduction directe du dioxyde de carbone, à savoir l'acide formique, le monoxyde de carbone, le formaldéhyde, le méthanol et le méthane. Tous ces composés sont des produits de départ très importants dans l'industrie chimique et/ou les carburants alternatifs. L'efficacité du système mis au point est appréciée en considérant les conditions de température et de pression, la sélectivité en produit désiré, l'impact environnemental et l'intérêt économique du procédé. Il est notamment très important de considérer la source primaire d'énergie utilisée. En cela, les réactions d'hydrogénation occupent une place à part puisque le dihydrogène peut maintenant être obtenu de manière durable par électrolyse de l'eau et que sa réaction avec le CO₂ redonne justement de l'eau.

Un procédé économiquement viable a vu le jour en Islande. Il est développé par la société « *Carbon Recycling International* », fondée par Georges Olah, prix Nobel de chimie en 1994. Ce procédé utilise l'énergie géothermique, très disponible en Islande, comme source primaire d'énergie pour transformer le CO₂.

D'autres systèmes catalytiques d'hydrogénation, très efficaces pour la production sélective d'acide formique, de méthanol et de méthane, ont par ailleurs été développés, mais ne sont pas encore industrialisés.

L'électrocatalyse arrive également à maturité, pour générer, par exemple, du monoxyde de carbone. Dans ce cas, l'énergie de base est l'énergie électrique.

Enfin, bien que restant au niveau académique, la photocatalyse, qui permet la réduction directe du CO₂ à l'aide de l'irradiation lumineuse, est très prometteuse mais, *a priori*, pour des applications à plus long terme.

Pour conclure, il apparaît que le domaine de la conversion chimique du CO₂ connaît un essor considérable depuis la dernière décennie. Nous voyons ainsi surgir de nouvelles avancées très intéressantes, grâce à un intense effort de recherche, tant au niveau académique qu'industriel.

Il reste cependant encore de nombreux verrous scientifiques à lever. Le champ des produits directement accessibles à partir du CO₂ reste par exemple très étroit par rapport à l'état de l'art de la pétrochimie et il est encore très difficile de coupler correctement et sélectivement plusieurs molécules de CO₂ ensemble par des liaisons carbone-carbone.

M. Mikko Alatalo, membre du Parlement finlandais, membre du Comité pour le futur. L'important me semble être avant tout l'innovation dans le secteur des transports. En Finlande, nous utilisons des biocarburants fabriqués à partir de déchets, de graisses, de biomasse solide. Je pense qu'il faut continuer à creuser cette idée de convertir les déchets humains et animaux en biocarburants si l'on veut vraiment réduire les émissions de gaz à effet de serre.

M. Jean-Yves Le Déaut. J'aimerais vous remercier toutes et tous. Nous étions ici ce matin plus de deux cents personnes, en provenance de trente pays du monde.

Je remercie le sénateur Bruno Sido, premier vice-président, qui était mon prédécesseur à la présidence, ainsi que l'ensemble du Conseil scientifique de l'Office et plus particulièrement l'une de ses membres, Mme Claudie Haigneré, ancienne spationaute, ancienne ministre de la recherche française, très assidue dans nos travaux.

30^E ANNIVERSAIRE DU PREMIER RAPPORT DE L'OPECST : LES PLUIES ACIDES, TRENTE ANS APRÈS

M. Jean-Yves Le Déaut, député, président de l'OPECST, président de l'EPTA pour 2015. Cette année marque, comme cela a été souligné à plusieurs reprises aujourd'hui, les trente ans du premier rapport de l'OPECST, et aussi le 25^{ème} anniversaire de la création de l'EPTA.

Plusieurs anciens présidents de l'OPECST nous font le plaisir et l'amitié d'être présents aujourd'hui : MM. Claude Birraux, Henri Revol et Philippe Bassinet. Certains sont malheureusement décédés, d'autres dans l'impossibilité de se joindre à nous, comme MM. Jean-Marie Rausch ou Jacques Valade.

La création juridique de l'OPECST date d'une loi du 8 juillet 1983 et son premier rapport, dont nous célébrons le trentième anniversaire, a été déposé précisément le 3 décembre 1985. Ce document portait sur la question des pluies acides, phénomène d'environnement à l'époque très médiatisé. D'emblée, l'OPECST avait témoigné de son souci de travailler de manière précise et objective, en choisissant pour ce rapport un titre quasi scientifique, faisant mention des « formes de pollution atmosphérique à longue distance, dites pluies acides ». La rédaction de ce rapport avait été confiée à un député des Hauts-de-Seine, Georges Le Baill, ingénieur de formation. Nous aurions été heureux qu'il puisse participer avec nous à cette célébration, mais il est malheureusement décédé voici neuf ans. Nous avons donc une pensée pour lui.

L'intérêt d'évoquer ce rapport est double. Il s'agit tout d'abord d'une manière de rappeler que la lutte contre l'intensification de l'effet de serre n'est pas le premier cas dans l'histoire d'une mobilisation internationale pour éliminer une source de pollution atmosphérique. C'est aussi une façon de célébrer l'évaluation scientifique et technologique, car les conclusions de ce rapport étaient, je le crois, étonnamment pertinentes. Permettez-moi de vous faire brièvement lecture de leur résumé : « *Concernant le problème particulier du dépérissement de certaines forêts, attribué hâtivement aux seules pluies acides, le rapporteur souligne que de nombreuses incertitudes scientifiques entourent ce phénomène, qui pourrait avoir bien d'autres explications. Il conclut qu'il faudrait développer les recherches dans ce domaine et, sans attendre leurs résultats, prendre des mesures énergiques pour réduire le plus rapidement possible les émissions de polluants* ».

Dans le prolongement de ce travail et pour lui faire écho, nous avons demandé à un premier intervenant, M. Christer Ågren, qui représente l'ONG suédoise AirClim, spécialisée dans le suivi des questions de pollution atmosphérique, de bien vouloir nous présenter ce qu'il est advenu à l'échelle internationale depuis trente ans, pour que l'on en arrive aujourd'hui à ce que ce problème des pluies acides soit quasiment oublié.

M. Christer Ågren, directeur du Secrétariat de la pollution de l'air et du climat, AirClim (ONG suédoise). Je vais tenter de vous présenter en quelques minutes le résumé de trente ans d'histoire des pluies acides.

L'évolution des émissions de polluants acidifiants de l'air se caractérise, notamment pour le dioxyde de soufre et le NOx, par un pic dans les années 1980.

Pourquoi constate-t-on ensuite une chute de ces émissions ? Cela est dû à la combinaison de différents facteurs : on pense notamment aux débats qui ont eu lieu sur le sujet et à la protection de l'environnement qui en a découlé alors, principalement dans les pays d'Europe du Nord. Cette baisse s'explique aussi par le changement des bouquets énergétiques au cours des années 1980 - 1990, à la suite de la crise pétrolière.

Pour ce qui est des pays de l'Union européenne, les dernières données datent de 2013. Comparées aux chiffres du pic de 1980, elles montrent, là aussi, une chute très importante des émissions, de l'ordre de 90 % pour le dioxyde de soufre, d'au moins 50 % pour le NOx et le VOC et de 27 % environ pour l'ammoniac.

Quel a été l'impact de cette évolution sur la nature ? Il semble évident que moins il y a d'émissions, plus la concentration et les dépôts diminuent. Cette question était d'ailleurs au cœur des débats brûlants des années 1980 - 1990. L'impact a été considérable et positif en termes de baisse de l'eutrophisation et de l'acidification. Des études ont été menées et des graphiques établis, qui montrent l'évolution de l'acidification et de l'eutrophisation en Europe depuis les années 1980 jusqu'à des projections pour 2020. On constate ainsi une disparition progressive et quasiment complète des excès d'acide. L'évolution en termes de baisse de l'eutrophisation est également importante, bien que moins spectaculaire.

Intéressons-nous plus particulièrement à présent au cas de la Suède. La Suède et la Norvège ont été les deux premiers pays à lancer le débat sur l'acidification, suite à des données collectées dès les années 1970. Les graphiques représentant l'évolution des dépôts de soufre mettent là aussi en évidence une baisse considérable, après un pic dans les années 1980. Cela est particulièrement sensible dans les régions les plus proches du continent, qui sont aussi les plus polluées. Il faut savoir que 90 % de la pollution de l'air suédois provient de l'étranger et du transport maritime. Les excédents de dépôt de polluants observés dans certaines zones ont chuté petit à petit.

Cela a néanmoins un impact sur l'environnement, puisqu'il faut beaucoup de temps pour que les écosystèmes se remettent de ces pics. Il est important de garder cela bien présent à l'esprit : il faut longtemps à la nature pour se régénérer, se réparer. Parfois, les dommages causés sont irréversibles.

Dans les zones où étaient observés des excès de dépôts, on constate une chute de ces dépôts d'environ 60 % si l'on compare les données les plus récentes, de 2010, aux chiffres les plus alarmants de 1980. En revanche, le nombre de lacs

acidifiés n'a pas autant diminué, même s'il a été divisé par deux. On en comptait, en effet, environ 20 000 dans les années 1980, contre quelque 10 000 actuellement. Nombre d'entre eux font encore l'objet d'interventions : on y installe des lignes pour neutraliser le phénomène et réparer les dommages causés voici une trentaine d'années, ce qui coûte plusieurs dizaines de milliers d'euros.

Cela m'inspire la maxime suivante : il est plus facile et rapide de polluer que de réparer ses erreurs. Cela est d'autant plus vrai que, comme je vous l'indiquais précédemment, certains des dommages sont irréversibles.

Quel avenir pour tout cela ? Il y a trente ou quarante ans, l'accent avait été mis sur la préservation de l'environnement et de la nature. Depuis une vingtaine d'années, notre position en matière de protection de l'atmosphère a changé. Nous insistons davantage sur la santé publique et sommes plus inquiets pour nous-mêmes que pour l'environnement et la nature qui nous entourent.

La législation européenne la plus importante dans ce domaine est la directive de 2001. À la fin de 2013, la Commission a proposé de mettre à jour cette directive, avec un objectif qui, de notre point de vue, n'est guère ambitieux. Le coût estimé de cette nouvelle directive pour les vingt-huit États membres s'élèverait à 2,2 milliards d'euros. De prime abord, cette somme semble importante, mais revient en fait à 4 euros par citoyen européen, soit le prix d'une ou deux tasses de café. Cela fait l'objet de nombreux débats, au Parlement et ailleurs. Certains pays membres osent dire que ces directives sont trop ambitieuses : il faut pourtant savoir que des millions de gens souffrent voire meurent à cause de la pollution de l'air et des problèmes d'acidification des lacs et des océans.

Il est important, à mon sens, de souligner le lien entre les politiques énergétiques et la pollution de l'air. Dépolluer l'air est évidemment un moyen de lutter contre le changement climatique. Il faut remplacer les anciennes mesures politiques, qui n'ont pas fait leurs preuves, et se tourner davantage vers les énergies renouvelables. L'équation est simple : moins on rejette de polluants, moins l'atmosphère est polluée.

Certains secteurs sont des sources de pollution plus importantes que d'autres. On pense notamment au chauffage domestique, aux voitures diesel, à l'agriculture et au transport maritime. Il faut savoir que les émissions de NOx sont en train de baisser alors que les émissions d'ammoniac restent stables.

Je terminerai en vous remerciant et en vous invitant à consulter le site internet de AirClim.

TROISIÈME TABLE RONDE : L'INNOVATION DANS LE DOMAINE DES TRANSPORTS ET DE LA MOBILITÉ DURABLE.

Présidence de M. Jean-Paul Chanteguet, député, président de la Commission du développement durable et de l'aménagement du territoire de l'Assemblée nationale.

M. Jean-Paul Chanteguet. Mesdames, Messieurs, je souhaiterais tout d'abord vous dire le plaisir qui est le mien à me trouver à vos côtés pour présider cette table ronde en tant que président de la Commission du développement durable et de l'aménagement du territoire de l'Assemblée nationale.

Le secteur des transports sera sans doute celui dans lequel le rôle des innovations dans la lutte contre les effets du changement climatique sera le plus visible car les évolutions technologiques y sont extrêmement importantes et très rapides. On songe, par exemple, à la voiture qui ne consommera bientôt que 2 litres de carburant aux 100 kilomètres, à la voiture électrique, à celle qui se gare seule ou, si l'on se projette davantage dans l'avenir, à la voiture sans conducteur.

Certaines de ces évolutions s'effectueront progressivement, comme dans le cas des voitures hybrides, qui fonctionnent soit à l'essence, soit à l'électricité, et qui permettent d'émettre moins de CO₂ tout en assurant une autonomie supérieure à celle découlant des batteries actuelles, encore insuffisamment efficaces. D'autres seront sans doute inattendues, tant les options technologiques parvenues à une quasi-maturité apparaissent nombreuses. Que l'on raisonne en termes de motorisation ou de carburant, il est bien difficile de prévoir si les véhicules de demain seront surtout propulsés par l'hydrogène, l'air comprimé, l'électricité, le gaz, le pétrole ou par des combinaisons hybrides de diverses sources d'énergie.

Toutefois, il est certain que la lutte contre la pollution due aux transports devra prendre une nouvelle dimension. La lutte contre les particules fines sera sans doute aussi importante que celle contre les émissions de CO₂. Leur impact sur la santé étant maintenant largement démontré, il va, en effet, falloir en tirer les conséquences, notamment pour les moteurs diesel. Ceux-ci ont déjà commencé à s'adapter mais cette évolution doit être poursuivie à un rythme accéléré. Les normes sont déjà devenues plus strictes, mais l'actualité des derniers jours montre combien il va être nécessaire de veiller à leur stricte application.

Une attention particulière va devoir être portée aux aspects sociaux et sociétaux de la mobilité. L'impact des transports sur la pollution ne dépend pas, en effet, seulement des évolutions des motorisations ou des carburants. Une grande partie des innovations nécessaires va concerner la manière dont la mobilité va évoluer dans les prochaines années. Des évolutions fondamentales sont en cours dans ce domaine : que l'on songe à l'autopartage, au covoiturage, à la désaffectation

d'une partie des jeunes pour la possession d'une automobile, à l'attrait grandissant des formules de location ou au rôle que devrait jouer l'intermodalité.

Tous ces points seront évoqués au cours de cette table ronde. Nous allons pour ce faire donner la parole à des personnalités très différentes, à commencer par M. Denis Baupin, vice-président de l'Assemblée nationale, auteur d'un récent rapport de l'OPECST sur les mobilités, dont les recommandations ont été largement débattues au cours de l'examen de la loi sur la transition énergétique. Nous entendrons aussi des industriels, des sociologues, des urbanistes, des représentants des constructeurs et des producteurs de carburants, ainsi que des parlementaires de plusieurs pays européens.

Nous nous projeterons également dans l'avenir, en donnant la parole à M. Georges Amar, qui nous parlera de sa vision de la mobilité, particulièrement stimulante pour l'esprit. Nous terminerons cette table ronde en accueillant le représentant autrichien de l'EPTA, la fédération européenne des organismes d'évaluation scientifiques et technologiques, qui traitera des aspects socio-économiques de la mobilité durable.

EXPOSÉS DE CADRAGE

QUELLES INNOVATIONS SONT NÉCESSAIRES POUR PROMOUVOIR DE NOUVELLES MOBILITÉS ?

M. Denis Baupin, député, co-auteur, avec la sénatrice Fabienne Keller, d'un rapport de l'OPECST sur « *Les nouvelles mobilités sereines et durables : concevoir des véhicules écologiques* ». Je tiens tout d'abord à remercier le président Le Déaut d'avoir organisé cette table ronde.

La sénatrice Fabienne Keller et moi-même avons élaboré ce rapport car nous avons le sentiment que la question de la mobilité se trouve aujourd'hui face à deux défis simultanés.

Le premier est environnemental. L'actualité des derniers jours, avec l'affaire Volkswagen, en témoigne : l'industrie automobile est aujourd'hui tellement dépassée par la nécessité de s'adapter aux contraintes environnementales qu'elle se retrouve de contourner, par des trucages, les tests dont elle a pourtant elle-même veillé à amoindrir le plus possible les contraintes.

Le deuxième défi est numérique, avec tout ce que cela peut entraîner comme modifications, dans l'organisation de la mobilité et sur les véhicules. Il suffit pour s'en convaincre de considérer le développement de BlaBlaCar, la question de Uber et nombre de sujets similaires aujourd'hui en débat. Au-delà des véhicules individuels, l'ensemble de la mobilité est bouleversé par ces évolutions.

En tant qu'élu écologiste, je tenais, ayant été pendant des années, lorsque j'étais maire-adjoint de Paris, considéré comme une sorte d'« ayatollah anti-voiture », à produire un rapport sur ce que pourrait être la voiture écologique, afin de voir si cette question était de l'ordre de l'oxymore ou du dépassable. Il s'agissait notamment de vérifier la pertinence de certaines démarches en vigueur. Faut-il continuer, par exemple, à construire systématiquement des véhicules à quatre places : lorsque l'on est célibataire ou couple sans enfant, a-t-on forcément besoin de ce type de véhicule ? Est-il, de même, nécessaire de produire des véhicules capables de rouler jusqu'à 180 km/h, alors que les réglementations interdisent de circuler à une telle vitesse et que beaucoup de gens n'utilisent quotidiennement leur voiture qu'en ville ?

L'idée de ce rapport était d'envisager également les apports possibles des technologies dans ce domaine. L'objectif d'une consommation de 2 litres aux 100 kilomètres, évoqué précédemment, est aujourd'hui dans l'espace public en France et conduit les constructeurs à essayer de définir des briques technologiques permettant de faire du *downsizing*, c'est-à-dire de produire des voitures aussi performantes, tout en réduisant les émissions et les consommations.

Notre objectif était également de voir si de nouveaux concepts ne pouvaient pas être avancés, partant par exemple de l'idée d'un *continuum* entre le deux-roues et le quatre roues, autour de projets de véhicules moins puissants, moins volumétriques, *etc.*

Pour notre rapport, nous avons rencontré l'ensemble des constructeurs et leur avons posé trois questions :

- « êtes-vous capables de construire ces nouveaux véhicules ? » : tous ont répondu par l'affirmative et évoqué des projets de *concept cars* susceptibles de répondre à ces nouveaux impératifs ;

- « pourquoi, dans ce cas, ne le faites-vous pas ? » : l'argument avancé était celui d'une incertitude quant au potentiel en termes de clientèle pour ces véhicules. La mise en œuvre d'une chaîne de production nécessitant un investissement de l'ordre d'un milliard d'euros, les constructeurs ont déclaré ne pas être prêts à prendre ce risque sans être sûrs de pouvoir vendre ces modèles ;

- « et si les pouvoirs publics envoyaient des signaux, en termes d'avantages de circulation, avec, par exemple, des voies dédiées à la circulation de ces véhicules, des tarifs de péage ou de stationnement préférentiels, cela changerait-il le *business model* ? » : tous ont répondu favorablement, d'où notre responsabilité de politiques. Il faut, à ce titre, souligner la volonté, exprimée dans la loi de transition énergétique, de traduire cela par de nouvelles dispositions, qu'il reste maintenant à décliner avec les collectivités locales par des négociations avec les compagnies d'autoroutes. Cela permettra d'envoyer ces signaux nécessaires pour que les constructeurs automobiles s'engagent enfin dans la production de véhicules adaptés aux besoins de notre siècle.

QUELLES ÉNERGIES POUR QUELLES MOTORISATIONS ?

M. Pierre-René Bauquis, ancien directeur Stratégie et planification de Total. Face aux problèmes climatiques, la question-clé est de savoir quelle énergie est consommée dans les véhicules, le type de motorisation étant presque un sujet annexe.

La question énergétique renvoie à deux aspects économiques : d'une part, l'économie au sens traditionnel (le prix de revient), d'autre part, le coût des émissions, notamment de CO₂.

Jusqu'en 1990, la réponse à la question de savoir quelle énergie et quelle motorisation utiliser était simple et sans appel : il s'agissait du pétrole et du moteur à combustion.

Depuis qu'est apparue la nécessité de réduire les émissions nocives, le problème a complètement changé de nature. L'objectif devenu prioritaire aujourd'hui est la réduction des émissions de CO₂ et d'autres polluants tels que le NOx, les particules, *etc.*

Il existe pour ce faire deux démarches, dont le *downsizing*, dont il vient d'être question, qui permettra à terme de diviser par deux les émissions des nouveaux véhicules, donc du parc automobile, à l'échéance de vingt ans.

Si l'on veut aller plus loin, il faut, par ailleurs, en plus substituer aux énergies actuelles des énergies non carbonées. Il existe pour cela deux candidats crédibles : l'électricité non carbonée et l'hydrogène.

De ce point de vue, je suis frappé par l'extraordinaire survie, depuis plus d'un siècle, de l'hydrogène énergie, constamment remis au goût du jour. Ce fut le cas, il y a une vingtaine d'années, avec BMW – Mercedes et leurs véhicules à hydrogène sous pression et piles à combustible, et, plus récemment, avec la vedette technologique de cette industrie, Toyota, qui vient de sortir le modèle Mirai, disponible au prix de 75 000 euros – le prix de revient de Toyota étant d'un peu plus du double. C'est Toyota qui a, en 1997, ouvert une nouvelle ère de l'automobile, avec un véhicule certes mono-énergie pétrole (la Prius) mais qui était hybride, donc capable de passer à une motorisation qui stockait l'électricité à bord, ancêtre de ce qui sera probablement la solution dans ce domaine.

Ce mythe du véhicule à hydrogène est porté par des groupes de premier plan. En France, Air Liquide dispose ainsi d'un programme hydrogène énergie très important et Total construit des stations hydrogène.

Pourquoi est-ce une fausse bonne solution ?

Je citerai ici, sans les détailler, les quatre facteurs principaux : un coût de production élevé ; un coût de transport élevé (dix fois supérieur à celui des hydrocarbures liquides) ; un coût de stockage dans les véhicules élevé ⁽¹⁾ ; un coût de conversion en électricité élevé.

Or, contrairement à ce que l'on entend parfois et qui constitue, à mon sens, une erreur d'analyse, cela ne peut être compensé par les avantages spécifiques de rendement.

J'ajouterai que les véhicules à hydrogène sont des bombes en puissance pour peu que des individus mal intentionnés décident d'y mettre le feu ; ils n'auront donc à ce titre jamais l'autorisation de rouler en masse. Le bon sens l'exclut.

Concernant l'électricité, il existe deux sous-voies complémentaires : le tout-électrique, pour les véhicules urbains et péri-urbains (en France, cette voie a été largement ouverte par le groupe Bolloré), et l'hybride rechargeable, qui constitue à mon avis la solution d'avenir à grande échelle et représentera certainement 80 % du parc automobile dans trente ans, dans les pays développés. Étant *dual fuel* (c'est-à-dire alimentés par électricité sur le réseau et par des hydrocarbures), ces véhicules offrent une extraordinaire souplesse et permettent la régulation des réseaux. Le gestionnaire de réseau peut, par exemple, couper l'alimentation d'un véhicule hybride rechargeable, ce qui est impossible pour un véhicule tout-électrique.

Pour les personnes particulièrement intéressées par ce sujet, je dispose d'une présentation écrite plus détaillée que je me ferai un plaisir de leur transmettre si elles m'en font la demande ⁽²⁾.

COMMENT ÉVALUER L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES DIFFÉRENTS TYPES DE CARBURANTS ?

M. Linas Balsys, député, membre de la Commission de l'environnement du Parlement lituanien. Il est très difficile de répondre à la question qui m'est soumise aujourd'hui concernant les modalités d'évaluation de l'impact environnemental et de l'efficacité énergétique des différents types de carburants.

Une réponse brève pourrait être : « Je ne sais pas ! ». Il s'agit en effet d'un sujet extrêmement complexe et recouvrant de nombreuses questions autres que celle du type de carburant.

Une autre réponse pourrait consister à dire que le meilleur carburant est celui qui n'est jamais utilisé. C'est en effet en diminuant le recours aux carburants fossiles que nous pourrions véritablement parler d'efficacité énergétique. Quel que

(1) Avec un rapport de poids de 5 % d'hydrogène pour 95 % de réservoir.

(2) Cf. Annexe 2.

soit le carburant, la meilleure solution, en termes d'efficacité énergétique, sera toujours d'en limiter l'utilisation. Qu'il s'agisse du charbon, du pétrole ou du gaz, il est clair que tous ces carburants sont mauvais, car ils n'offrent pas de compromis satisfaisant pour la préservation de l'environnement.

Notre civilisation est malheureusement fondée sur le pétrole, ce qui signifie que, même si nous réduisons notre dépendance à ce carburant, nous continuerons à l'utiliser. S'agissant des impacts environnementaux, le charbon est assurément le pire, suivi du pétrole et du carburant utilisé pour l'aéronautique. En tant que parlementaires et citoyens, il nous faut ainsi réfléchir à deux fois avant de nous rendre à la grande Conférence de Paris sur le climat en avion !

Le gaz est censé être le carburant fossile le moins nocif ; or il n'est pas vraiment propre, dans la mesure où il contribue puissamment à l'effet de serre. Songez au gaz de schiste et aux problèmes de pollution au méthane liés à sa production. Ce n'est pas une solution acceptable.

Qu'en est-il du nucléaire ? Certes, il ne produit pas de CO₂ mais peut entraîner des catastrophes. Il ne s'agit donc pas non plus d'une solution idéale. Il est difficile de trouver des investisseurs intéressés par les nouveaux réacteurs nucléaires et des assureurs acceptant d'assurer les centrales. C'est ainsi toujours aux contribuables qu'il incombe de financer ces installations. Ce n'est donc pas un type de carburant acceptable.

Que nous reste-t-il ? Les énergies renouvelables. Je pense que tout le monde s'accordera à reconnaître qu'il s'agit là de la marche à suivre pour l'avenir.

Le choix de l'utilisation des biocarburants mérite toutefois réflexion, dans la mesure où ces derniers produisent des effets secondaires, en termes de modification d'utilisation des sols et de réduction de la production d'aliments. Peut-être émergera-t-il de nouvelles générations de biocarburants acceptables ? Ce n'est pas encore le cas.

Nous avons, selon moi, besoin sur ces questions d'une approche plus homogène au niveau de l'Union européenne. Il existe, en effet, à l'heure actuelle, d'un pays membre à l'autre, des lois et réglementations très différentes en matière de carburants. Pourtant, tous ces pays appartiennent à l'Espace économique européen et font partie d'un marché unique. Si nous n'appliquons pas des règles universelles, il sera difficile de réaliser des objectifs communs à l'échelle de l'Europe dans le domaine de l'écologie et d'une moindre nocivité de nos activités pour l'environnement. Il serait donc opportun qu'une coopération plus active s'instaure entre les Parlements nationaux, le Parlement européen et la Commission européenne. Des rencontres comme celle qui nous réunit aujourd'hui me semblent très utiles et je suis ravi de pouvoir échanger autour de ces questions avec vous.

Tout le monde parle actuellement de voiture électrique ; mais n'oublions pas que si l'on construit ce type de véhicule avec de l'énergie nucléaire ou issue du charbon, alors il ne s'agira pas en fin de compte d'un moyen de locomotion

« vert ». Il faudrait pour cela produire des voitures électriques en se servant d'énergies renouvelables.

COMMENT ÉVALUER LES MODIFICATIONS SOCIOLOGIQUES QUI MARQUENT LA MOBILITÉ AUJOURD'HUI ?

M. Jean-Pierre Orfeuil, urbaniste, Institut pour la ville en mouvement. La mobilité n'est pas qu'une question de transports : telle est la conviction qui nous a animés lors de la création de l'Institut pour la ville en mouvement en 2000 ; elle nous anime encore aujourd'hui et je souhaiterais vous la faire partager.

Il est difficile de parler de mobilité sans parler de modes de vie, de territoires et de mobilité pour tous. Je voudrais, à travers quatre illustrations, mettre en lumière les apports de cette conviction à la question de la transition énergétique.

J'ai connu une époque au cours de laquelle la transition énergétique dans la mobilité passait par toujours davantage de péages, de taxes, *etc.* Cela pose évidemment le problème des populations vulnérables, précarisées et autres. L'un de nos premiers axes de travail a ainsi été d'inventer des dispositifs, baptisés « plateformes mobilité pour l'insertion », s'inscrivant parfaitement dans le concept d'innovation frugale évoqué lors d'une précédente table ronde. J'aimerais rappeler ici que c'est en essayant de résoudre les problèmes rencontrés par des personnes en situation de précarité que l'on a commencé à développer des systèmes de mise en commun, de partage de véhicules, bien avant les dispositifs prévus pour les populations générales.

Je souhaiterais également aborder avec vous un deuxième thème, celui des nouvelles attentes et valeurs qui émergent et peuvent constituer des points d'appui clés pour la conduite de la transition énergétique.

Le premier aspect que nous avons exploré dans ce domaine, en 2006, et pour lequel nous avons alors éprouvé quelques difficultés à trouver des intervenants, est celui du partage – de véhicules, de trajets, de places, *etc.* Depuis, la situation a considérablement évolué, avec l'avènement des Vélo'v, Vélib, BlaBlacar et autres Autolib. Force est ainsi de constater que ce à quoi nous n'étions pas prêts dans les années 1990, à savoir sortir le véhicule de la sphère de l'intime, est advenu très rapidement et est en train de s'imposer, tout du moins dans les nouvelles générations.

Le deuxième sujet de réflexion autour des valeurs portées par la société est l'explosion de la valeur légèreté, mise en évidence par le développement des téléphones cellulaires et parfaitement analysée par Gilles Lipovetsky. On lui doit bien évidemment le retour du vélo et l'arrivée d'un éventail de moyens de locomotion encore considérés comme quelque peu exotiques.

Le problème central de la voiture en ville et de la transition dans la mobilité urbaine réside principalement, comme l'a souligné M. Denis Baupin, dans le fait que des véhicules de quatre ou cinq places soient principalement utilisés pour ne transporter qu'une seule personne ou encore que des voitures soient conçues pour rouler à 150 km/h alors que leur vitesse effective en ville ne dépassera pas les 30 km/h.

La principale difficulté est ainsi de parvenir à trouver les formes de pénétration de l'usage de petits véhicules plus ou moins dédiés aux déplacements urbains, propres, sûrs et surtout peu encombrants. Force est de constater que certains pays, comme l'Allemagne ou les Pays-Bas, sont en avance sur nous pour ce qui représente une forme possible de ces véhicules, les vélos à assistance électrique.

Nous avons, dans le cadre des auditions du rapport Baupin-Keller, formulé des propositions dans ce domaine, qui supposent la collaboration d'autorités locales sur ces questions, à l'échelle européenne, puisqu'il semble évident que l'on ne construira pas un petit véhicule spécifiquement pour la France, le Luxembourg ou la Belgique.

Enfin, s'il est positif d'envisager la mise en œuvre de petits véhicules, peut-être serait-il encore mieux qu'ils puissent disposer de réseaux sur lesquels circuler d'une façon à la fois sûre et indépendante. Or nous héritons du passé des réseaux lourds, conçus pour des vitesses élevées et qui conduisent à provoquer en ville des effets de barrière, de fragmentation. Nous avons ainsi développé un programme intitulé « Passage », qui consiste justement à essayer d'amoindrir les effets de ces barrières.

À partir de différentes interventions, conduites à petite échelle, nous avons été surpris de constater, à travers notamment des concours d'architecture organisés dans plusieurs villes du monde, en Amérique latine et du Nord, mais aussi en Europe, l'intérêt des urbanistes et des concepteurs pour cette préoccupation d'inventer non seulement le véhicule du XXI^e siècle mais aussi les réseaux qui l'accompagnent.

N'oublions pas que la question de la transition énergétique concerne les pays mais aussi les villes, sans lesquelles il sera difficile d'atteindre les objectifs fixés.

LE TRANSPORT ÉCO-EFFICACE AU SERVICE DE LA RÉDUCTION DE LA DÉPENDANCE VIS-À-VIS DES IMPORTATIONS DE PÉTROLE ET DE LA RECHERCHE DE SOLUTIONS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

M. Theodoros Karapiperis, chef d'Unité, Unité de prospective scientifique (STOA), Service de recherche du Parlement européen (EPRS). Je voudrais en préambule remercier le président et les organisateurs de cette journée de me donner la possibilité d'effectuer cette présentation.

Je vais vous exposer brièvement ce qui se fait au niveau de l'Union européenne et du *STOA* dans le domaine de la mobilité durable.

Du point de vue législatif, nous disposons d'une directive dite « ITS », de 2010, qui est à la base du déploiement coordonné de systèmes de transports intelligents à l'échelle de l'Europe. La mise en œuvre de cette directive est un vrai succès à de nombreux égards, même si elle a parfois été contestée.

Cela est important, notamment pour les régions où il n'existe pas de gestion de trafic en temps réel ou de système multimodal, dans un contexte de raréfaction des carburants fossiles et d'impact alarmant des émissions de gaz à effet de serre. Il est crucial d'envisager des alternatives pour les technologies et les carburants.

Le *STOA* a défini des domaines prioritaires, en matière notamment d'éco-transports et de mobilité. Cela a vocation à se traduire en priorités et initiatives politiques visant à créer des transports éco-efficaces et à réduire la dépendance des États membres vis-à-vis du pétrole.

Une étude de 2013 montre que la croissance économique tire profit de transports plus efficaces et propose une approche élargie et systémique tenant compte du carburant, des technologies de l'information mais aussi de facteurs non techniques, comme le coût de la technologie ou de l'infrastructure, le manque de coordination, les préférences et habitudes des usagers.

D'autres travaux, consacrés aux transports urbains, concluent que les systèmes de transport peuvent évoluer sous l'effet de stratégies visant à réduire le recours au carbone, à développer l'utilisation de carburants plus propres, à optimiser la circulation, à encourager des modes de transport plus respectueux de l'environnement, à en garantir l'accessibilité et à favoriser le développement d'alternatives au transport, comme les visioconférences par exemple.

S'il existe un accord général quant à la nécessité de décarboner le système de transport, les performances relatives des différentes technologies restent toutefois à évaluer.

Une étude de 2014, a envisagé l'usage de méthanol comme carburant à l'avenir. Elle conclut que la transformation du CO₂ en méthanol est une piste très intéressante et elle recommande d'éviter les processus d'hydrogénation, qui consomment beaucoup d'énergie.

Je citerai pour terminer une étude sur les cellules photovoltaïques et les éoliennes, qui souligne qu'il faut veiller à la disponibilité des matériaux rares nécessaires notamment à la construction des éoliennes.

Nous allons, en outre, lancer prochainement une étude, dont nous ferons rapport, sur les ressources et moyens permettant de financer de nouvelles infrastructures de transport et nous pencher dans ce cadre sur la question de la durabilité.

EXPÉRIENCES NORVÉGIENNES DANS LE DOMAINE DES TRANSPORTS : ZÉRO ÉMISSION ET NOUVELLES SOLUTIONS POUR LE SECTEUR MARITIME.

M. Ola Elvestuen, président de la Commission de l'énergie et de l'environnement du Parlement norvégien. En matière de transport, l'essentiel est, me semble-t-il, de bien fixer les priorités. Cela englobe notamment les questions d'utilisation de l'espace, des sols, de l'urbanisme, *etc.* Il faut mettre en place de bons systèmes de transport, en particulier des réseaux ferroviaires.

Mais quoi que l'on fasse, on ne fera pas disparaître la voiture. Partant de ce constat, il faut travailler au développement de voitures zéro émission. Je suis, pour ma part, plutôt favorable aux solutions à base d'hydrogène et de piles à combustible.

De plus en plus de gens pourraient se tourner vers les voitures électriques. Il faut donc créer un marché pour ces véhicules. Nous en sommes encore au début. Durant les six premiers mois de cette année, les voitures zéro émission ont représenté 18,4 % des nouvelles immatriculations de voitures en Norvège. Cela s'explique sans doute par la mise en œuvre d'un système d'incitations, caractérisé par une absence de fiscalité et de TVA, la gratuité de circulation sur les voies payantes, la gratuité de stationnement et l'autorisation de circuler sur les voies réservées aux autobus. On estime que la voiture électrique permettra de réduire de 40 % les émissions de gaz à effet de serre en Norvège avant 2030.

Une grande partie de notre puissance électrique est hydraulique. Si le secteur des transports, responsable d'une grande partie des émissions, parvient à zéro émission avant 2025, cela changera la donne.

De nombreux défis se rattachent à cet ambitieux objectif, en termes notamment de réseau de distribution. Il faut aussi envisager la meilleure manière d'utiliser les véhicules électriques, même lorsqu'ils sont à l'arrêt.

Pour ce qui est des biocarburants, leur usage est surtout envisagé pour le transport de marchandises lourdes ou pour les transports publics.

Le gaz naturel est déjà employé par le transport maritime. Nous utilisons par ailleurs déjà de premiers *ferries* 100 % électriques, donc à zéro émission, capables de transporter cent quatre-vingts voitures. Parmi les perspectives, nous espérons disposer prochainement du premier *ferry* de transport rapide de passagers et des premiers caboteurs à piles à combustible.

Il faut envisager l'ensemble de la chaîne de valeur. L'Institut norvégien de technologie met ainsi en œuvre des études de faisabilité, prenant notamment en compte le prix de l'électricité. Il faut savoir qu'il existe, en Norvège, un surplus d'énergies renouvelables. Le prix de l'électricité est donc relativement bas. Si l'on considère l'hydrogène produit par électrolyse de l'eau, il apparaît ainsi que son prix pourrait être compétitif par rapport au gaz naturel d'ici trois ou quatre ans. Si nous pouvons arriver à ce résultat de sorte que ces deux sources soient en concurrence, cela ouvrira de grandes possibilités pour l'avenir. Nous pourrions ainsi réduire sérieusement les émissions provenant du transport international, qui représentent aujourd'hui 8 % des émissions totales dans le monde.

LE VÉHICULE 2L/100KM POUR TOUS

M. Didier Houssin, président de IFP Énergies nouvelles. IFP Énergies nouvelles est pleinement associé au programme consistant à mettre au point un véhicule écologique, consommant moins de deux litres aux 100km.

Il s'agit tout d'abord d'un enjeu de compétitivité important pour l'industrie automobile. C'est aussi un enjeu d'efficacité en termes de réduction des émissions de CO₂. En effet, compte tenu de l'accroissement de la demande de mobilité dans les pays émergents, dans un contexte où les études montrent que le moteur à combustion interne restera, à horizon 2050, dominant, la manière la plus efficace de réduire les émissions de CO₂ est d'améliorer l'efficacité énergétique des véhicules.

L'objectif de ce programme est de mettre au point un véhicule pour tous, c'est-à-dire proposé à un prix abordable ; il ne s'agit absolument pas d'imaginer un *concept car* réservé aux plus aisés. Pour y parvenir, nous développons avec nos partenaires un ensemble de briques technologiques qui pourront servir à toutes les gammes de véhicules, des véhicules pour particuliers aux poids lourds.

Quatre voies principales sont étudiées :

- poursuivre l'optimisation énergétique des motorisations diesel et des moteurs à essence. Nous estimons ainsi qu'un gain de 40 % à 50 % sur la consommation des véhicules est encore possible par rapport aux technologies actuelles, particulièrement en diminuant et en récupérant les pertes thermiques, notamment à l'échappement ;

- intégrer progressivement les technologies d'électrification du véhicule, par l'électrification hybride, seule capable d'atteindre les deux litres aux 100km pour un véhicule de segment B. Les technologies hybrides permettent une grande autonomie, un mode de fonctionnement optimisé selon les trajets et offrent un excellent compromis entre le coût d'achat et d'usage, d'une part, et les émissions de CO₂, d'autre part ;

- optimiser l'énergie à bord : nous avons, par exemple, expérimenté en région lyonnaise un véhicule hybride de livraison urbaine doté d'un outil permettant d'optimiser l'utilisation de la batterie et du moteur thermique selon les situations de transport. L'objectif est de permettre au véhicule d'avoir une consommation réduite au minimum tout au long de ses parcours ainsi qu'un niveau de nuisances sonores limité ;

- améliorer l'utilisation du véhicule grâce à l'éco-conduite, sachant qu'un comportement inadéquat des conducteurs peut dégrader significativement les performances énergétiques des véhicules. IFP Énergies nouvelles a ainsi développé des outils d'aide à la conduite (dont le logiciel GECO, disponible gratuitement sur notre site) permettant de réduire la consommation de carburant et les émissions de polluants.

Ce programme comporte bien évidemment d'autres pistes d'amélioration, qui relèvent plus de l'industrie automobile, comme le *downsizing* et le travail sur le *design* des véhicules.

Pour limiter l'impact environnemental, nous travaillons également sur l'utilisation des carburants verts, tels que les biocarburants de deuxième génération n'entrant pas en concurrence avec les productions alimentaires, et sommes proches de disposer dans ce domaine de technologies compétitives.

Je voudrais, pour conclure, insister sur l'importance du travail collaboratif dans le cadre de ce programme entre les différents acteurs du secteur. Il permet de mutualiser les efforts et d'accélérer les innovations, dans la mesure où l'amélioration des technologies des moteurs revêt aujourd'hui un caractère d'urgence.

IFP Énergies nouvelles est notamment labellisé Institut Carnot pour son activité transport et énergies. Il contribue par ce biais à fédérer les acteurs, notamment les PME et PMI, où de nombreuses initiatives fleurissent.

Nous participons également à la plateforme de la filière automobile, ainsi qu'à plusieurs pôles de compétitivité.

Enfin nous sommes associés à des partenaires à l'échelle européenne, à travers plusieurs projets H2020, qui contribuent, eux aussi, à accélérer l'innovation dans ce domaine important tant pour la compétitivité de l'industrie européenne que pour l'efficacité en matière de réduction des émissions de CO₂ du secteur des transports.

DÉBAT AVEC LES PARTICIPANTS

M. Joseph Beretta, président de AVERE-France, association nationale de promotion de la mobilité électrique. Pour nous, la mobilité électrique ne concerne pas seulement le véhicule à batterie, mais aussi le véhicule hybride, hybride rechargeable et la pile à combustible.

Nous pensons que le couple « moteur - énergie » est très important et qu'il faut essayer de choisir le meilleur couple en fonction de l'usage majoritaire. Or ce volet d'usage est, à notre sens, trop souvent occulté. Ainsi, le véhicule électrique est le plus pertinent pour les courtes distances en ville mais aussi pour le monde rural. Le véhicule hybride est une évolution permettant d'améliorer l'efficacité d'un moteur à combustion interne. L'hybride rechargeable, souvent présenté comme le meilleur des mondes entre le moteur à combustion interne et l'électrique, relève en fait également d'un choix selon l'usage : si l'on souhaite par exemple traverser des villes en grande autonomie, il faudra utiliser beaucoup de batterie.

La mobilité électrique est utile pour favoriser la transition énergétique dans le domaine des transports, tout en garantissant un niveau de pollution minimum, dans la mesure où un véhicule électrique n'émet aucun polluant sur le lieu d'utilisation.

J'aimerais, avant de conclure, revenir sur quelques idées qui me semblent fausses et rétablir certaines vérités.

Les véhicules à hydrogène ont été comparés à des bombes : or, un véhicule à hydrogène enflammé brûle comme un véhicule à combustion interne, comme un véhicule à batterie. J'ai déjà eu l'occasion de voir des voitures à hydrogène prendre feu ; grâce aux systèmes de sécurité, elles n'explosent pas.

Par ailleurs il a été dit que le véhicule hybride rechargeable allait sauver le réseau : cela est faux. En effet, le véhicule électrique à batterie, avec sa capacité de stockage, peut aussi servir à stabiliser le réseau demain, à condition de réaliser les investissements suffisants.

M. Henri Revol, sénateur honoraire, ancien président de l'OPECST. Ma question concernait justement la sécurité des futurs véhicules à hydrogène, partant du constat que du fait de la délinquance, chaque année, en France, sont incendiées une dizaine de milliers de voitures. Je viens d'obtenir une réponse à l'instant.

M. Marc Teyssier d'Orfeuil, Club des voitures écologiques. Il ressort de ces échanges qu'il n'existe visiblement pas de solution miracle : c'est le consommateur, et surtout l'usager, qui vont décider. C'est, en effet, en fonction de l'usage que l'on décidera d'opter pour le GPL, le bioéthanol, l'hybride, de petits véhicules, *etc.*

Nous souhaitons insister, dans le cadre de cette assemblée qui réunit nombre de parlementaires européens, sur la question de l'engagement et de l'implication des collectivités locales.

Dans l'usage des véhicules, la discrimination positive pour le stationnement est, par exemple, aujourd'hui du ressort des maires, qui peuvent décider de pratiquer des tarifs préférentiels ou de réserver des places pour les véhicules écologiques. C'est un levier majeur pour l'acquisition de ces véhicules. Nous avons lancé le « disque vert » et menons des actions de *lobbying* pour que des avantages tarifaires soient consentis aux véhicules écologiques sur les autoroutes. Si l'on parvient à additionner ces discriminations positives, les consommateurs achèteront plus volontiers ces véhicules écologiques.

Je profite donc de cette tribune pour demander aux parlementaires des différents pays représentés d'interpeller leurs collectivités locales, afin de les mettre face à leurs responsabilités. Elles disposent, en effet, par le biais du stationnement, d'un levier considérable pour favoriser le développement des véhicules écologiques.

Des études ont ainsi montré que l'octroi aux petits véhicules d'une réduction de 50 % sur le prix du stationnement dans les aires de stationnement de centre-ville permettait aux usagers d'obtenir un gain équivalent à la moitié du prix du véhicule. Le rôle des collectivités est donc essentiel. Ce maillage doit faire partie des dynamiques à créer au niveau européen.

Les innovations sont importantes. Ne privilégions pas *a priori* une solution plutôt qu'une autre. Il faut, au contraire, promouvoir un *mix* énergétique. Les villes et les consommateurs sont prêts à effectuer des tests. Je suis pour ma part persuadé qu'il est essentiel de favoriser cette mixité énergétique pour des véhicules plus durables et pour améliorer demain la qualité de l'air dans nos villes.

M. Denis Baupin. En complément de ces derniers propos, je dirais que notre rôle aujourd'hui est d'ouvrir les voies et non de préempter par avance telle ou telle option, en en éliminant d'autres. C'est tout du moins l'optique que nous avons adoptée dans notre rapport.

Du point de vue des technologies, notamment des motorisations, nous pensons qu'il faut laisser les pistes ouvertes, à partir du moment où se font jour par ailleurs des capacités à produire des énergies de façon renouvelable : de l'électricité, du gaz, des agrocarburants de deuxième ou troisième génération. Cela laisse entrevoir de nombreuses options en matière de technologies.

De la même façon, pour ce qui est du véhicule lui-même, nous n'opposons pas les briques technologiques sur lesquelles nous travaillons aujourd'hui pour aller vers l'objectif de deux litres aux 100km à l'idée de développer de nouveaux modèles de véhicules. Il faut aller dans les deux directions et tenter de les combiner, afin de disposer d'options encore plus intéressantes en termes de réduction des consommations et des pollutions.

J'aimerais enfin insister sur le sujet, peu présent dans le débat, de la révolution numérique et de ce qu'elle va entraîner comme modifications dans l'organisation de la mobilité. Il faut, là aussi, être à la fois ouvert et extrêmement attentif sur la question des données. Qui sera, demain, l'agrégateur de la mobilité ? Sera-ce Google ? Renault ? La RATP ? La SNCF ? D'autres, dans d'autres pays ? C'est une question-clé, à laquelle nous devons, en tant que parlementaires, porter la plus grande attention.

D'un point de vue industriel, je pense qu'un constructeur finira forcément par fabriquer l'« iPhone de la mobilité », c'est-à-dire un véhicule à la fois attractif, ludique, peu consommateur d'espace et de carburant. Celui-ci risque fort alors d'emporter le marché. Cela peut constituer un bon *stimulus* pour les constructeurs automobiles.

M. Ola Elvestuen. Je souscris tout à fait aux propos concernant le rôle des collectivités locales. Les villes notamment ont une grande responsabilité dans le processus de transition vers les véhicules électriques.

C'est le cas en Norvège, où les villes mettent chaque année en place quelque deux cents points de recharge publics supplémentaires. Les véhicules écologiques ont, en outre, l'autorisation de circuler dans les voies normalement réservées aux bus. Cette incitation a très bien fonctionné, car les conducteurs qui se rendent, par exemple, sur leur lieu de travail sont très satisfaits de pouvoir emprunter ces voies interdites aux autres véhicules. Quant aux autres conducteurs, cela leur donne envie de suivre le même chemin et d'acquérir un véhicule leur donnant accès à ces voies de circulation. Cela commence toutefois à poser problème, car ces véhicules sont de plus en plus nombreux : c'est le prix du succès.

Il est également important de suivre les nouvelles idées qui se font jour, notamment dans les grandes villes, autour de l'économie du partage. Cela concerne aujourd'hui les vélos, les voitures. Toutes ces solutions se conjuguent. C'est vraiment, de mon point de vue, la voie de l'avenir.

Lorsque nous sommes au volant, les téléphones mobiles sont, pour nous, une forme de distraction. Les jeunes voient les choses différemment : pour eux, la distraction ne réside pas dans le fait d'être en ligne, mais plutôt de devoir conduire en même temps ! Il s'agit vraiment de deux manières différentes de concevoir la voiture.

M. Lars Klüver, directeur, Institut d'évaluation technologique danois. J'aimerais vous faire part d'un projet que nous avons achevé en 2012. Nous avons invité tous les grands acteurs du secteur des transports du Danemark à travailler avec nous pour essayer de voir comment imaginer pour le pays, à l'horizon 2050, un système de transport 100 % durable. Différentes solutions ont été proposées, sur la base desquelles nous avons mis au point un modèle énergétique susceptible de se conjuguer avec le système des transports.

Il en est ressorti des résultats tout à fait intéressants. L'accent a, par exemple, été mis sur la nécessité de développer les solutions à base d'électricité, car le moteur électrique est très efficace. Il nous est également apparu qu'un grand avenir était promis aux véhicules électriques à deux roues. On pense notamment aux vélos à assistance électrique, mais cela peut tout à fait, à l'avenir, être étendu aux motos et aux autres véhicules à deux roues.

En revanche, le modèle élaboré dans le cadre de cette réflexion n'accordait que très peu de place à l'hydrogène, la raison en étant principalement le coût énergétique énorme de sa fabrication.

Par ailleurs, dans le scénario que nous avons construit, la biomasse ne serait pas utilisée comme biocarburant pour les véhicules individuels : elle serait surtout employée pour les transports en commun dont les avions.

Il convient enfin de noter que la contribution des moyens techniques concernant les véhicules eux-mêmes, à la durabilité n'a atteint qu'environ 80 %. Il a donc fallu, pour les 20 % restants, imaginer de nouvelles solutions, en termes, par exemple, de localisation des lieux de travail afin que les gens utilisent davantage les transports en commun au quotidien. Ce type de planification doit être pris en compte.

Mme Amélie Séguret, BlaBlaCar. BlaBlacar est une communauté de covoitureurs, c'est-à-dire une plateforme de mise en relation entre des conducteurs voyageant pour leur propre compte et des passagers allant dans la même direction, qui partagent des trajets de ville à ville (sur des distances moyennes de 300 kilomètres) ainsi que les frais associés. Il est important de noter que les conducteurs n'en tirent pas de profit.

Cette aventure a démarré en France en 2006. Aujourd'hui, BlaBlaCar est présent dans dix-neuf pays et compte vingt millions de membres. Chaque trimestre, dix millions de voyageurs partagent leurs trajets sur notre plateforme.

BlaBlaCar permet d'optimiser l'usage de la voiture, en remédiant au gaspillage massif de ressources que représentent les millions de sièges vides à bord des voitures en circulation.

Pour rappel, multiplier par deux le taux de remplissage des véhicules équivaut à gagner 50 % d'efficacité sur les moteurs. Bien évidemment, ces deux options ne s'opposent pas : il est vraiment nécessaire d'avancer dans les deux directions pour espérer obtenir le facteur 4 dans les transports avant 2050.

Aujourd'hui, le taux de remplissage moyen des véhicules inscrits sur BlaBlaCar est de 2,8 personnes par véhicule, alors qu'il est de 1,7 en moyenne en Europe. Ce taux augmente, par ailleurs, au fil des améliorations et des innovations que nous apportons constamment à notre produit.

Ces innovations sont principalement de deux ordres. D'un point de vue technologique, il s'agit d'apporter de nouvelles fonctionnalités facilitant la mise en contact entre passagers et conducteurs. Le deuxième aspect se joue au niveau de la confiance et vise à libérer ce potentiel de partage à grande échelle. La confiance est un élément-clé du dispositif. Nous inventons donc des outils offrant aux covoitureurs la possibilité de choisir avec qui ils voyagent et de faire ce choix en toute confiance, en se fondant sur les profils et les avis laissés par la communauté. Un avis sur une personne avec laquelle on a passé plusieurs heures en voiture a plus de valeur qu'un avis déposé sur un autre site marchand, par exemple.

J'aimerais insister sur le fait que, en plus d'optimiser l'usage de la voiture, nous créons aussi une nouvelle offre de déplacement, accessible, agréable et conviviale, qui permet de répondre à la demande croissante de mobilité, tout en réduisant l'empreinte environnementale du transport.

M. Laurent Taupin, chef de projet Eolab à la direction de la recherche de Renault. Dévoilé voici un an au Salon de l'automobile de Paris, Eolab est un prototype de recherche qui consomme un litre aux 100km, soit environ 1/5^{ème} de la consommation d'une Clio actuelle.

Ce progrès s'appuie sur trois piliers technologiques fondamentaux : l'allègement : Eolab a été allégé de quelque 400kg par rapport à une voiture équivalente ordinaire ; l'aérodynamique : Eolab pénètre 30 % mieux dans l'air qu'une voiture actuelle ; une motorisation hybride rechargeable, très innovante et ingénieuse, fondée sur l'expérience de Renault en motorisations électriques.

Eolab n'est pas un futur modèle de Renault, mais la déclinaison du plan deux litres aux 100km évoqué précédemment par M. Didier Houssin. Il s'agit pour nous d'une expérience fédératrice d'innovations, une centaine au total qui seront progressivement introduites dans les modèles Renault du futur.

Là n'est toutefois pas la véritable nouveauté d'Eolab. Nous savons, en effet, depuis longtemps concevoir des véhicules sobres, grâce à la maîtrise de ces piliers techniques. La véritable originalité de ce prototype est non seulement de prouver qu'un tel véhicule est possible mais surtout de montrer qu'il peut être économiquement viable, c'est-à-dire permettre le maintien d'un minimum de marge bénéficiaire, même sur un marché de masse, celui des constructeurs généralistes. Autrement dit, la nouveauté d'Eolab est de préfigurer des voitures pour tous.

Tout cela crée de nouvelles contraintes extrêmement structurantes et très différentes par rapport à tous les projets développés dans le passé. Tout d'abord, pour trouver des acquéreurs, la voiture doit être séduisante. Or il est difficile de faire en sorte qu'une voiture reste belle lorsqu'on « l'aérodynamise » à ce point. En outre, les prestations doivent demeurer aussi constantes que possible, ce qu'il n'est pas facile d'obtenir lorsqu'on enlève à la voiture 1 kg sur 3. Enfin, son coût

– c’est d’ailleurs certainement là le point central – doit rester celui d’une voiture populaire, faute de quoi elle risque de devenir une voiture de niche, donc peu achetée et avec un impact CO₂ marginal.

Tous les travaux qui se sont matérialisés dans cette voiture valent aussi par le cheminement qui a conduit à ce résultat. Eolab a été avant tout pour Renault l’occasion d’un immense débat technico-économique, en interne et avec tous ses partenaires fournisseurs de la filière automobile française.

Aujourd’hui, il serait difficile de fabriquer ce prototype dans une usine. Sa production reste lointaine et tributaire du dépassement d’un grand nombre d’obstacles technico-économiques qui font l’objet de réflexions actuellement.

En revanche, ce projet a d’ores et déjà permis la construction d’une première feuille de route d’applications, avec de nombreuses innovations élaborées au cours du processus de création d’Eolab et que l’on retrouvera dans des voitures du futur moins émissives et plus respectueuses de l’environnement.

M. Marcel van de Voorde, professeur à l’Université technologique de Delft, Pays-Bas, membre du Conseil scientifique de l’OPECST. Il existe actuellement, dans le monde entier, de nombreux travaux de recherche sur la transformation des gaz d’échappement, notamment le CO₂, en méthanol et en autres produits susceptibles d’être valorisés.

Des expériences de ce type sont menées, par exemple, par BMW qui travaille à la récupération des gaz d’échappement et à leur transformation en nouveaux carburants. De telles recherches sont également effectuées au Japon et aux Etats-Unis.

Le principal problème réside dans l’efficacité des catalyseurs, encore insuffisante. Il conduit à s’intéresser aux possibilités offertes par les nanotechnologies. Cela pose la question des terres rares, dont on se demande lesquelles seront utilisables à l’avenir avec une bonne efficacité.

Je suis convaincu qu’il s’agit d’une perspective intéressante pour le futur, une fois résolus les problèmes techniques liés à la nécessité d’intégrer dans une voiture l’équivalent d’une petite usine chimique.

M. Maxime Pasquier, en charge des sujets d’électromobilité à l’Agence de l’environnement et de la maîtrise de l’énergie (Ademe). J’aimerais vous exposer les réponses apportées par le véhicule électrique face aux enjeux environnementaux, en France et aussi en Allemagne.

Nous nous appuyerons pour ce faire sur les résultats d’analyses de cycles de vie, dans lesquelles les trois étapes de la vie d’un véhicule (fabrication, utilisation et fin de vie) sont prises en compte. Ces travaux ont montré que, en fin de vie, le véhicule électrique apportait des solutions intéressantes à plusieurs problèmes, notamment au niveau global, à l’échelle de la planète. Ces véhicules

permettent en effet de limiter le réchauffement climatique. Ce gain est très significatif en France et plus faible en Allemagne, en raison des différences dans le mode de production de l'électricité.

Le véhicule électrique apporte, en outre, une solution à l'épuisement des ressources fossiles comme le charbon ou le pétrole. Il permettrait une réduction très importante de la consommation de ces ressources en France et une diminution importante, voire très significative, en Allemagne.

Si nous considérons enfin un indicateur de qualité de l'air, comme le potentiel de création d'ozone photochimique, nous pouvons constater que la contribution d'un véhicule électrique au taux d'ozone, toxique pour l'homme au niveau du sol est fortement réduite, aussi bien en France qu'en Allemagne.

La comparaison entre la France et l'Allemagne, montre que les modes de production de l'électricité ont principalement un impact lors de la phase d'utilisation des véhicules électriques et non lors de leur production où ils sont plus neutres. Cela n'ôte pas l'avantage indéniable du véhicule électrique en matière de pollution locale, dans la mesure où ce dernier n'émet aucun polluant à l'échappement sur le lieu d'utilisation, comme cela a été rappelé précédemment.

En effet, il faut préciser que dans les analyses de cycle de vie, lorsqu'on observe la fabrication, l'utilisation et la fin de vie, c'est la phase de production de ces véhicules qui entraîne le plus d'impacts environnementaux, avec notamment une forte contribution négative lors de la fabrication de la batterie.

Les recommandations de l'Ademe dans ce contexte sont diverses. Il nous semble bien entendu nécessaire de veiller au mode de production de l'électricité, en développant les énergies renouvelables et en mettant également en place des réseaux intelligents et des systèmes de recharge pilotés intelligemment, avec la possibilité de faire du véhicule « tout *grid* », c'est-à-dire contribuant au réseau, ainsi que M. Joseph Beretta l'a rappelé dans son intervention.

Il est également important de mettre en place des politiques publiques incitatives, comme, par exemple, la création de zones dédiées à l'amélioration de la qualité de l'air afin de bénéficier de manière plus significative des atouts du véhicule électrique, notamment en ville.

Il est enfin nécessaire, pour diminuer l'impact de la fabrication des véhicules électriques, de poursuivre les efforts de recherche et développement sur les batteries et aussi d'étudier les possibilités de réutilisation de ces batteries en seconde vie, par exemple dans des applications stationnaires de stockage de l'électricité. Il s'agit là d'une éventualité qui mérite d'être explorée.

Au niveau des usages, nous préconisons une utilisation intensive des véhicules électriques afin d'amortir plus rapidement leur fabrication. Les sphères de déploiement privilégiées peuvent être, par exemple, des flottes partagées de véhicules d'entreprise, des flottes de véhicules électriques en autopartage, des

véhicules de livraison de marchandises en ville ou, simplement, lorsque le véhicule individuel est nécessaire en l'absence de transports en commun, pour des trajets domicile - travail quotidiens. Il s'agit donc d'usages spécifiques. Alors que nous sommes culturellement habitués à considérer l'automobile comme un véhicule universel, adapté à tous les usages, il nous semble nécessaire d'encourager le développement de services de mobilité, en s'appuyant sur l'évolution numérique, de façon à permettre une meilleure adaptation du véhicule à l'usage.

Les enjeux environnementaux actuels sont tels qu'une réponse technologique ne suffit pas. Une bonne adéquation entre le véhicule et l'usage qui en est fait nous semble désormais absolument nécessaire.

M. Sébastien Grellier, directeur Communication et affaires publiques, Toyota France. Je souhaiterais revenir sur certains éléments, présents dans le rapport de M. Denis Baupin et Mme Fabienne Keller, mais dont il a été peu question aujourd'hui. Cela concerne notamment les aspects en lien avec le cycle de vie.

On parle, en effet, beaucoup des différentes énergies ou du couple « moteur-électricité », qui sont évidemment importants ; mais, si l'on veut diminuer significativement l'impact des véhicules sur l'environnement, il convient de prendre en compte l'ensemble de leur cycle de vie, depuis leur conception jusqu'à leur recyclage.

Cette démarche existe au sein du groupe Toyota depuis très longtemps, tant au niveau de la conception que des usines elles-mêmes, avec trois objectifs : préserver les ressources, limiter les déchets et, bien sûr, traiter au maximum le recyclage des différents éléments utilisés pour la fabrication des véhicules.

Nous avons ainsi mis au point un système d'évaluation quantitatif, intitulé « Eco-VAS » (pour « *Ecological Vehicle Assessment System* »), prenant en compte l'ensemble des éléments du cycle de développement d'une voiture.

Depuis 1997, le groupe Toyota a vendu huit millions de voitures hybrides. Il est parfaitement possible aujourd'hui de fabriquer des véhicules à émission nulle consommant 1 litre au 100 km : mais sans démocratisation de ces nouvelles technologies, cela ne sert à rien. Il faut que les gens puissent acquérir ces modèles. Il nous a fallu dix ans pour atteindre le premier million de véhicules vendus ; il nous faut aujourd'hui dix mois pour passer d'un million à l'autre. L'effet de démocratisation et de prix, en fonction des usages, est donc primordial.

Cela fait une vingtaine d'années que Toyota défend le fait qu'une seule réponse aux problèmes posés est illusoire. Or, en France, il est de coutume d'opposer les différentes technologies au lieu d'essayer d'en tirer le meilleur parti. L'usage sera, comme cela a été souligné à plusieurs reprises, très important : il ne faut, en effet, pas oublier que ce sont les consommateurs qui choisissent les voitures. Il existe, pour répondre aux divers usages possibles, des technologies

correspondant à chacun : ainsi l'électrique est, par exemple, particulièrement adapté à la circulation en zone urbaine. L'hybride, et demain l'hybride rechargeable, apparaissent comme les technologies les plus faciles à démocratiser. À titre d'exemple, une Prius coûtait, en 1997, en France, plus de 30 000 euros ; aujourd'hui, une Yaris hybride fabriquée et vendue en France coûte deux fois moins cher.

Sans revenir sur l'image de la bombe et l'aspect sécuritaire, aujourd'hui totalement maîtrisé pour la technologie hydrogène, je pense que si demain – c'est en tout cas notre souhait et nous y travaillons – nous parvenons à commercialiser notre modèle Mirai – qui coûte actuellement en France 75 000 euros – au prix de 30 000 euros, ce qui sera certainement le cas, alors ce sera une bombe, mais cette fois-ci dans le bon sens du terme.

M. Claude Couderc, service Affaires publiques, PSA. Je travaille chez PSA et souhaiterais témoigner de l'expérience d'autopartage que nous proposons à Berlin depuis quatre ans.

Ce produit, dénommé « *Multicity* », consiste à mettre à disposition des berlinois trois cent cinquante voitures en « *free floating* » en usage libre, c'est-à-dire des voitures que l'on peut utiliser moyennant un enregistrement et une carte et laisser, après usage, à n'importe quel endroit de Berlin.

Cette ville est un peu pilote et pionnière en la matière puisque l'on y compte pas moins de neuf opérateurs de mobilité, dont certains disposent de stations de base où les voitures doivent être ramenées. La spécificité de *Multicity*, qui est aussi celle de nos concurrents directs *Car to go* et *Drive now*, est de pouvoir, après utilisation, laisser la voiture où on le souhaite.

Ces quatre ans d'expérimentation nous ont permis d'appréhender les critères de choix des utilisateurs. Il faut souligner que cette expérience n'est pas, aujourd'hui, financièrement rentable : il s'agit davantage d'un coût, d'un investissement.

L'un des enseignements majeurs que nous en tirons est que l'utilisation de ces véhicules, et plus généralement des nouvelles solutions de mobilité, doit, pour parvenir à s'imposer, être source de plaisir pour les usagers.

M. Pierre René Bauquis. J'imaginai évidemment que mes propos, quelque peu provocants, sur les véhicules à hydrogène, allaient susciter des contestations.

Il existe deux façons de disposer d'hydrogène à bord d'une voiture :

- sous forme liquide, à - 253°C, ce que BMW a essayé de développer pendant dix ans : cela ne crée pas de problème majeur en cas d'incendie du véhicule mais rend le stationnement impossible en milieu fermé, en raison du risque de « *boil off* », ce qui constitue malgré tout une contrainte ;

- sous forme hyperbar (350 bars dans la HY Kangoo, 700 bars dans la Mirai). Je vous assure que si un terroriste un peu informé entreprend de chauffer un réservoir de ce type, par des moyens un peu énergiques, c'est l'immeuble entier qui explosera. Plusieurs intervenants ont indiqué que cela n'était pas dangereux : j'attends qu'ils m'en apportent la preuve.

Certains propos de M. Ola Elvestuen m'ont, en outre, troublé. Il a expliqué qu'il existait, en Norvège, des voitures à PAC (pile à combustible) hydrogène, ce que j'ignorais. Je pensais que 99 % des véhicules non pétroliers étaient électriques.

Il serait, par ailleurs, intéressant de connaître le coût, pour la collectivité norvégienne. Je sais que les voitures électriques les plus couramment vendues là-bas sont essentiellement des modèles américains Tesla, et, dans une moindre mesure, des Leaf. Si vous calculez dans ce contexte le coût de la tonne de CO₂ évitée, on aboutit à une somme de plusieurs centaines de dollars, ce qui n'est pas négligeable.

Le président de l'Association des véhicules électriques a indiqué, me semble-t-il, qu'il ne voyait pas de différence entre une voiture hybride rechargeable et une voiture tout électrique en matière d'effet de régulation sur les réseaux. Je trouve cela très surprenant. Pourriez-vous nous fournir quelques explications complémentaires ?

M. Ola Elvestuen. Vous avez raison : 99 % des véhicules zéro émission en Norvège sont des véhicules électriques. Nous prévoyons également le développement du marché des voitures à hydrogène mais il faudra un peu de temps pour cela. Il s'agit d'une politique à long terme.

Nous mettons, en outre, l'accent sur le secteur maritime dans lequel on utilise de l'hydrogène liquéfié.

M. Claude Birraux, ancien député, ancien président de l'OPECST. Je vois que l'hydrogène suscite beaucoup de passions. Le gouverneur Schwarzenegger avait lancé en Californie un projet de « route de l'hydrogène ». Quelqu'un dispose-t-il d'informations à ce sujet ? Où en est ce projet ?

M. Laurent Gouzènes, directeur scientifique au sein de la société d'informatique Pacte Novation, membre du conseil scientifique de l'OPECST. Ma première remarque concerne la pollution, qu'il me semble préférable de mesurer en « homme-an » plutôt qu'en homme tout court. En effet, un nombre absolu de décès n'est, à mon sens, pas très parlant : mourir à deux ans ou à quatre-vingt-dix ans est différent. Il faudrait prendre cet aspect en considération.

En outre, il a été peu question du profil de consommation. On a parlé du transport personnel en voiture mais quasiment pas du transport de marchandises, qui est pourtant extrêmement important et du même ordre de grandeur, en

tonnes/km, que celui des passagers. D'énormes progrès restent à accomplir dans ce domaine. Le train est, tout comme le bateau, un système absolument inefficace, car très lent.

Concernant le transport personnel, je m'interroge sur le fait que, entre l'inconfort du métro et le grand confort d'un gros 4x4 avec sièges en cuir, on éprouve quelque difficulté à trouver un intermédiaire. Le spectre de transport consiste à effectuer une multitude de petits trajets, ne nécessitant pas forcément un grand confort, ni un matériel très sophistiqué, et, de temps en temps, de plus longs voyages. Il est donc essentiel de pouvoir mieux partager l'infrastructure de transport, c'est-à-dire non seulement celle qui ne bouge pas, mais aussi les véhicules eux-mêmes, de façon à pouvoir optimiser leur usage. Si l'on parvient, en développant le partage, à utiliser davantage les petits véhicules sur la route au lieu de les laisser 95 % du temps stationnés, cela contribuera à diminuer le besoin en espace de stationnement et en nombre de véhicules à construire. Cela permettra ainsi de résoudre simultanément plusieurs problèmes : d'usage des villes, de construction, de pollution.

Les technologies de l'information sont, de ce point de vue, un élément clé dans les nouveaux systèmes de transport, une dimension qu'il convient absolument d'intégrer dans nos réflexions.

M. Jean-Yves Le Déaut. Nous arrivons au terme de cette très intéressante table ronde sur les transports, qui a notamment montré que l'on ne pouvait dissocier innovations technologique, sociale et politique ⁽¹⁾.

Cela introduit d'ailleurs parfaitement les propos des deux intervenants suivants qui vont, dans le cadre de réflexions sur les « nouvelles frontières », aborder les enjeux socio-économiques des nouvelles mobilités.

En outre l'accent a été mis sur les liens existant entre la politique climatique et la pollution de l'air, et la nécessité d'une approche intégrée au niveau européen. Dans ce contexte, le besoin en termes d'évaluation technologique est évident pour ce qui concerne l'efficacité de ces nouvelles techniques, leur complémentarité.

MM. Denis Baupin et Laurent Gouzènes ont, par ailleurs, insisté sur le point, qui m'apparaît très important, de la place croissante des technologies de l'information dans les véhicules. Ce type de politique ne peut faire l'économie d'un volet numérique. L'affaire qui secoue aujourd'hui le monde des constructeurs automobiles montre bien à quel point le numérique est entré, pas toujours pour le meilleur, dans ce secteur.

(1) En Annexe 1 figure l'intervention prévue de M. Jean-Loup Bertez, qui n'a pas pu être présentée du fait d'un quiproquo.

Plusieurs auditions vont être organisées prochainement sur ce thème par le Parlement français. Une réunion de l'OPECST a déjà été consacrée à la question de la collecte et de la transmission des données dans le domaine agricole ; cela est globalement valable dans tous les domaines. Une séance de travail est également prévue, au mois de décembre, sur l'incidence de la robotisation sur la loi ; cela concernera le secteur automobile, dans l'optique notamment du développement des voitures sans conducteur.

S'il est apparu que le numérique pouvait éventuellement être utilisé pour truquer des données, peut-être ne s'est-on pas suffisamment insurgé lorsque d'autres affaires ont été mises au jour, dans lesquelles on captait des données personnelles. Ces aspects, en lien avec la collecte, le traitement et l'éventuelle diffusion d'informations à caractère personnel, me semblent très importants.

NOUVELLES FRONTIÈRES

COMMENT PROMOUVOIR DE NOUVELLES MOBILITÉS ?

M. Georges Amar, prospectiviste et consultant en mobilité. Je vais vous proposer, en quelques minutes, un raccourci de réflexions prospectives, à partir de l'idée, certainement partagée, selon laquelle le développement de la mobilité sous ses formes actuelles est globalement insoutenable et appelle à l'innovation, voire à « l'innovation de rupture ». Quel sens donner à cette expression ? Peut-on en faire de la prospective ? Tel sera le contenu de mon propos.

Il peut sembler quelque peu paradoxal de prétendre faire de la prospective des ruptures. Cela est pourtant envisageable, à condition de s'intéresser à une manière particulière de procéder : il faut, en effet, adopter non pas une démarche prospective cherchant à prédire des faits, des événements, des dates, mais une prospective dont la tâche est d'essayer de repérer et formuler des changements de paradigme. Il s'agit ainsi de détecter simultanément les paradigmes dominants en voie d'obsolescence et les paradigmes émergents.

Je vous propose d'effectuer cet exercice, complexe, dans le domaine de la mobilité, en procédant graduellement et en s'attachant notamment à mettre en lumière quatre grands stades, en allant du plus facile à imaginer – qui n'est d'ailleurs pas nécessairement le plus aisé à mettre en œuvre – jusqu'à l'hypothèse d'innovations presque inconcevables ou appelant de nouveaux imaginaires de la mobilité.

Commençons par le premier de ces stades, que je qualifierai d'« innovation technologique à concept constant ». J'en citerai deux exemples : le métro automatique et la voiture électrique ou hybride. La ligne 1 du métro parisien est intégralement automatique depuis trois ans : cela vous trouble-t-il particulièrement d'emprunter cette ligne plutôt qu'une autre ? Cela change-t-il

quelque chose au concept de métro ? Pas vraiment. Il s'agit pourtant d'une innovation technologique extrêmement importante, avec des performances très intéressantes mais qui ne change pas le « concept ». Il en va de même pour ce qui est des voitures électriques ou hybrides.

Le second stade est celui de « l'innovation conceptuelle ». Assez souvent, la réalité précède la fiction : face à des innovations déjà effectives, réelles, qui fonctionnent, nous peinons à saisir le bond conceptuel qu'elles représentent. Or il est parfois problématique de ne pas prendre conscience de changements de paradigmes déjà à l'œuvre mais que l'on ne perçoit pas et que l'on ne sait pas nommer. Cela a des impacts en termes de politiques. L'exemple le plus typique de ce phénomène réside sans doute dans le développement d'innovations telles que Vélib, Autolib et autres BlaBlaCar. Le concept sous-jacent commun à ces innovations et porteur d'avenir n'est pas forcément évident à percevoir et à formuler. J'ai toutefois fini, après moult réflexions, par lui trouver une dénomination qui, certes, n'est pas très élégante, mais qui vaut pour le paradoxe qu'elle recèle : il s'agit du « TPI », pour « transport public individuel ». Ces systèmes sont, en effet, à la fois publics et individuels, ou ni publics, ni individuels. Ils sont simultanément l'un et l'autre, et ni l'un ni l'autre. Il ne s'agit pas réellement là de prospective, dans la mesure où le TPI existe déjà, mais plutôt d'une prise de conscience. Ce concept recèle un paradoxe apparent qui est intéressant : nous croyons en effet, traditionnellement, que transport public et transport individuel sont deux éléments différents et, en bonne logique du tiers exclu, qu'ils rendent impossible toute autre forme de transport. Dans cette optique, le TPI n'existe pas tant il relève de l'oxymore. Il fait figure aujourd'hui de concept impossible. Pourtant, ce type de mobilité se développe et m'apparaît comme un paradigme émergent plein d'avenir. Si vous croyez, comme moi, que le TPI est un concept d'avenir, alors cela a une conséquence à la fois intellectuelle et pratique, qui est que le transport public et le transport individuel sont, de fait, des paradigmes dominants en voie d'obsolescence. Transports public et individuel sont des concepts du passé. Autrement dit, le transport public sera de plus en plus individuel, dans le traitement de l'utilisateur, par exemple ; quant au transport individuel, il va devenir de plus en plus public. Lorsque j'entends des propositions politiques visant à favoriser le transport public, je trouve cela, en tant qu'ancien salarié de la RATP, très sympathique, à ceci près qu'il s'agit bel et bien d'un concept du passé s'il est entendu au sens strict, c'est-à-dire caractérisé par une homogénéité du service. Cette catégorie conceptuelle n'est plus d'actualité et ne préfigure pas le futur.

Le troisième stade concerne les « changements de signification profonds », liés à l'émergence de la vie mobile, qui englobe et dépasse largement le transport. Le transport occupe une heure par jour ; la vie mobile potentiellement toute la vie, dans la mesure où tous les aspects de l'existence peuvent se faire de manière mobile. Je souhaite lever ici un possible malentendu : la vie mobile ne signifie pas l'agitation permanente, l'hystérie dans le mouvement. C'est même presque l'inverse, puisqu'il s'agit au contraire de domestiquer la mobilité, de la civiliser. Nous sommes en ce sens au tout début d'une civilisation de la mobilité, dans

laquelle la règle sera le calme dans la mobilité. Permettez-moi de vous citer quelques exemples illustrant ce phénomène. Voici quelques années, le voyageur français Nouvelles frontières a mené une campagne de communication très intéressante : il a accolé à son nom la mention « nouvelles rencontres », signifiant ainsi implicitement que le vrai voyage ne consistait pas à additionner les kilomètres, à aller le plus loin possible, mais à nouer de nouvelles relations. Il existe nombre d'autres exemples de ces mutations de significations. Lorsque la voiture sera automatique, on prendra ainsi conscience qu'elle est un lieu, un lieu mobile (de travail, de rencontre, de « blabla », *etc.*). Le nouveau paradigme de la mobilité n'est pas la domination de la mobilité, mais réside dans le fait que la distinction entre mobile et immobile s'estompe. On est mobile comme on respire. Cela devient naturel. Les lieux eux-mêmes deviennent mobiles. En un sens, la vie entière devient un système de mobilité.

Le quatrième et dernier stade est le plus prospectif et le plus paradoxal. Il correspond à des transmutations complètes de la mobilité. Je pense que l'on va par exemple, vers une forme d'esthétique, d'art de la mobilité. La mobilité va devenir belle et signifiante. Il s'agira d'une expérience sensorielle, qui nous permettra peut-être de faire de la restriction une valeur. L'économie de moyens est, en effet, un principe artistique. Lorsqu'elle deviendra une esthétique et cessera d'être perçue comme une contrainte économique ou morale, alors cela ouvrira la voie à une tout autre signification de la mobilité.

ASPECTS SOCIO-ÉCONOMIQUES DE LA MOBILITÉ DURABLE

M. Michael Nentwich, Institut d'évaluation technologique autrichien. Je vais vous présenter des études menées par l'Académie des sciences autrichienne, dont l'une des commissions s'intitule « mobilité durable ». Cette commission compte cinq groupes de travail, dont l'un, que je préside, est en charge des aspects socio-économiques de la mobilité.

Le sujet dont nous débattons aujourd'hui, la mobilité durable, relève selon moi, à 80 %, d'éléments technologiques et, à 20 % au moins, d'aspects sociaux et juridiques.

Voici quelques semaines, nous avons publié à ce propos un rapport d'une quarantaine de pages, malheureusement disponible pour l'instant uniquement en langue allemande, dont je vais vous présenter les principaux résultats. Il faut savoir que ces travaux concernent en premier lieu l'Autriche mais valent certainement pour l'essentiel des pays européens.

Il existe en Autriche un certain élan vers la mobilité durable. Il apparaît qu'elle ne sera vraisemblablement pas binaire mais plutôt composée d'un mélange de différents moyens de transport. La circulation automobile n'est pas une mauvaise chose en soi : tout dépend des circonstances, des technologies, des usages.

Cette étude a également montré que la e-mobilité jouera un rôle important à tous les niveaux, tout comme les concepts alternatifs de mobilité tels que l'autopartage.

Les technologies de l'information et de la communication occuperont dans ce schéma une place très importante. BlaBlaCar en est une parfaite illustration. On pense également au développement du télétravail, des visioconférences, *etc.*

Le potentiel des transports en commun, tout comme celui du vélo ou de la marche, n'est en outre pas encore complètement exploité en Autriche. On estime que la mobilité dans les villes se répartira à l'avenir de la manière suivante : 20 % en bicyclette, 30 % pour la marche, 40 % en transports publics et 10 % seulement en voitures particulières.

Nous nous sommes par ailleurs attachés à identifier les principaux obstacles, parmi lesquels les différentes réglementations en matière d'occupation des sols, avec l'extension des zones urbaines qui augmente les besoins de transport. Ils se font ressentir avec une acuité accrue avec des distances qui augmentent. Il n'existe aucun mécanisme permettant d'internaliser les coûts externes du système de transport conventionnel. Il se crée ainsi un malaise entre les moyens de transport traditionnels et les nouvelles formes de mobilité.

Il apparaît, en outre, que la population n'est pas très au fait des différentes possibilités alternatives qui lui sont offertes.

Enfin, la régulation des flux de circulation a tendance à privilégier les voitures, au détriment des cyclistes, des piétons et des transports en commun.

Sont également mentionnées dans ce rapport des recommandations préliminaires formulées par la commission à l'issue de ses travaux ; d'autres suivront. Citons notamment une meilleure sensibilisation du public à l'existence des modes de déplacement alternatifs et, pour résoudre un problème d'information, la proposition de création d'une chambre de compensation pour la gestion des données en matière de mobilité. Nous avons également préconisé de faire en sorte que l'ensemble de la planification se fasse de manière plus inclusive, plus participative. Nous appelons, par ailleurs, de nos vœux le développement de travaux interdisciplinaires sur toutes ces questions. Les recommandations mettent également l'accent sur l'importance des réformes réglementaires et sur la question des coûts et de la fiscalité.

QUATRIÈME TABLE RONDE : L'IMPLICATION DU CITOYEN DANS LA GESTION DES TECHNOLOGIES INTELLIGENTES

Présidence de Mme Dominique Gillot, sénatrice, membre de l'OPECST, et de Mme Matilda Ernkrans, présidente de la Commission de l'environnement et de l'agriculture du Parlement suédois.

Mme Dominique Gillot. Cette quatrième table ronde est consacrée à une manière moins conventionnelle d'aborder la lutte contre les changements climatiques.

On évoque en effet généralement cette question par le biais des solutions technologiques, en termes, par exemple, d'économies d'énergie ou d'énergies renouvelables et des conditions, notamment financières, de leur mise en œuvre.

Avec cette table ronde, nous souhaitons aborder la question des changements climatiques sous l'angle des comportements individuels, qui doivent donner toute leur efficacité aux solutions technologiques et aux innovations qui leur sont associées. Il s'agira ainsi d'identifier ces comportements et de les analyser de manière transversale, dans une logique d'interdisciplinarité, notamment au niveau des principes psychologiques qui les orientent. En effet, nous n'ignorons pas, domaine par domaine, que l'adhésion, la compréhension, l'appropriation des utilisateurs sont fondamentales pour atteindre les objectifs à moyen et long terme, de façon durable.

Ainsi, les professionnels du bâtiment connaissent bien l'effet dit « rebond », cette attitude consistant à profiter d'un environnement énergétique plus efficace pour prendre ses aises ou à mettre à profit une baisse de sa facture énergétique pour chauffer davantage, contrecarrant ainsi les effets attendus d'une réglementation qui se voulait contraignante.

Une politique publique dispose, pour infléchir les comportements, des moyens classiques que sont les obligations réglementaires et les aides fiscales ; mais on sait que l'information, l'éducation, la participation permettent d'obtenir une adhésion spontanée des individus, moins certaine, peut-être plus aléatoire, mais aussi moins coûteuse pour l'administration quoique difficilement quantifiable.

Le rôle conféré aux intervenants de cette table ronde sera soit d'évaluer les dispositifs d'implication déjà connus, soit d'en signaler d'autres, en fournissant, chaque fois que possible, des éléments d'analyse objectifs. Il s'agira notamment d'examiner l'implication des citoyens, par le truchement des technologies qualifiées d'intelligentes ou leur détournement.

Face au défi bien concret des changements climatiques, il ne s'agit plus, en effet, désormais d'échanger sur des intuitions ou des croyances mais de parvenir à savoir ce qui fonctionne, de l'encourager, de susciter de nouvelles démarches en s'appuyant sur la créativité de la société civile, des citoyens, qui sont le matériau vivant capable de démultiplier les efforts pour limiter les effets des changements climatiques.

Mme Matilda Ernkrans. Le moment est venu de parler de l'implication des citoyens dans les nouvelles technologies. Il a été dit, lors de la première table ronde, qu'il nous fallait adopter cette perspective citoyenne, considérer l'être humain, qui mérite au quotidien un cadre de vie praticable, au sein d'un monde touché par le changement climatique.

Lorsqu'il a été question précédemment des voitures et de l'évolution des systèmes de transport, j'ai pensé qu'il nous fallait adapter notre approche et notre regard. Nous savons, en effet, que l'automobile, qui utilise largement les énergies fossiles, est destinée aux humains, et notamment à ceux disposant des moyens financiers suffisants. Il faut espérer que les systèmes du futur concerneront tout autant les moins nantis et les femmes, sinon nous nous serons fourvoyés.

J'espère que les échanges qui vont suivre nous conduiront à voir plus clairement comment faire participer les citoyens à l'utilisation de ces nouvelles technologies.

EXPOSÉS DE CADRAGE

PEUT-ON MODIFIER LES COMPORTEMENTS PAR L'ÉDUCATION, LA FORMATION, L'INFORMATION ET LA SENSIBILISATION ?

M. Didier Mulnet, université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, Laboratoire Acté. Je tiens tout d'abord à vous signaler que j'ai choisi de ne pas répondre à la question posée exactement dans l'ordre suggéré par l'intitulé.

Par ailleurs j'ai tenté de médiatiser les concepts scientifiques qui sous-tendent mes réponses, au risque de dénaturer ces dernières, de les rendre caricaturales, voire provocatrices.

Sans vouloir nier l'importance des connaissances, qui plus est des savoirs, je voudrais attirer votre attention sur le fait que les connaissances ne représentent qu'une toute petite partie d'un ensemble beaucoup plus vaste. Ainsi, informer ne permet absolument pas de modifier les comportements, ou tout du moins très rarement. Les exemples relatifs au tabac, à la sécurité, à la consommation sont suffisamment parlants à cet égard pour nous en convaincre.

Pourquoi ? Parce que la connaissance n'est qu'un élément parmi d'autres. Métaphoriquement, apporter une connaissance reviendrait à mettre une boule de neige sur un iceberg ; or l'important se situe dans la partie immergée. C'est là

toute la question de l'implicite, celle des représentations sociales. Quand on ne s'intéresse qu'à la partie superficielle, cela n'a évidemment pas grand effet. Prendre en compte les différentes formes de climatoscepticisme, les nouveaux modes de vie, nécessite d'autres approches.

Est-ce en sensibilisant que l'on modifie les comportements ? Sensibiliser revient à s'intéresser aux deux premières étapes d'un cycle qui en compte six. Cela permet de passer de la pré-contemplation à la contemplation, de se faire plaisir en convainquant des convaincus ; mais cela demeure à un niveau basique et la personne sensibilisée n'est pas encore prête à s'engager.

Pour atteindre le niveau de la préparation – dans lequel la personne est prête à s'engager – puis de l'action, il faut mobiliser d'autres méthodes et théories, comme les théories de l'engagement ou les techniques de manipulation telles que celles développées par Joule et Beauvois. Cela peut également conduire à utiliser des techniques comme les modèles (« *frames* ») de modification, directement issus des modèles de dépendance. On traite une dépendance au pétrole comme on traiterait une dépendance à certaines drogues.

Les étapes les plus difficiles à franchir dans la démarche de sensibilisation sont assurément les deux dernières. En effet, maintenir des comportements, les stabiliser, signifie s'ancrer dans la société et avec le politique. Cela suppose que la personne qui forme change de statut et de stratégie et renvoie au danger du comportementalisme : si l'on se trompe dès le départ, on fait n'importe quoi.

Qu'est-ce qu'éduquer ? Cela consiste fondamentalement à adopter une vision systémique. Il n'est plus possible aujourd'hui d'aborder la question de l'énergie en envisageant les seuls aspects de production ou de consommation. Il faut élargir la réflexion aux problèmes d'énergie grise, aux liens entre les divers éléments en jeu.

Il convient également de développer une vision non seulement prospective, tenant compte des changements de rythme, de l'imprévisibilité, mais aussi collective, visant à articuler compétences individuelles et collectives.

La responsabilité et l'éthique ont, par ailleurs, un rôle majeur à jouer dans ce cadre, l'idée étant d'exercer sa responsabilité dans les différents champs du développement durable, à son niveau. Il ne faut pas nier l'importance des petits gestes.

Le problème des changements est plus ardu à aborder car cela nécessite l'identification et la prise en compte des différents types de changements (subis ou choisis, perceptibles ou non, réversibles ou non, *etc.*) et pose la question de la nature des changements (amélioration, atténuation, adaptation ou transformation).

Former, c'est entrer dans une spirale d'évolution. Cela nécessite du temps et mobilise des savoirs nécessaires pour en gérer simultanément toutes les dimensions.

À quoi cela sert-il d'éduquer ? Cela sert à ouvrir et reformuler des sujets, à gagner du temps dans cette spirale dans laquelle l'évolution de la société va plus vite que l'éducation.

S'oppose toutefois à ce mouvement la contrainte majeure de l'innovation pédagogique : les vieux outils, les vieilles méthodes ne sauraient permettre de s'adapter aux enjeux éducatifs actuels et à venir.

FISCALITÉ ET RÉGLEMENTATION SONT-ELLES LES SEULES ARMES POUR LUTTER CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

M. Bernard Tardieu, membre de l'Académie des technologies, président de la Commission Energie et changement climatique. Non seulement la fiscalité et la réglementation ne sont pas les seules armes pour lutter contre le changement climatique mais elles sont assez maladroites.

Dans bien des cas, en effet, elles manquent de vision systémique, globale, explicite, avec des objectifs fixés en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Elles sont, en outre, très rarement l'objet de simulations anticipatoires. Finalement, les citoyens les comprennent mal.

Prenons deux exemples. Le premier est celui de l'efficacité, ou de l'efficience, énergétique, dont nous avons tous compris qu'il s'agissait de rendre le même service avec moins d'émissions. C'est là le rôle des règlements, des lois, des bonus, et c'est le bonheur des ingénieurs qui jubilent d'y parvenir aussi bien. Or nous avons évoqué précédemment le cas de BlaBlaCar : voilà un phénomène qui, de façon totalement fortuite, sans l'avoir voulu, augmente de façon radicale le taux de remplissage des voitures et donne, en termes d'émissions de gaz à effet de serre, des résultats bien plus rapides que toute réglementation.

Là se situe à mon sens le point d'efficacité future : les modes de vie vont changer. Mais comme l'énergie est un système très complexe, difficile à appréhender et à partager, on peut se demander comment il sera possible de déceler, provoquer, encourager cette mutation des comportements et comment on pourra la mettre en mots afin de pouvoir la partager, entre citoyens français et citoyens du monde.

J'aimerais également revenir sur la question des énergies renouvelables. Il faut se projeter à long terme, dans un monde « 100 % renouvelable », dans lequel les énergies fossiles ne seront plus disponibles. Or, pays et territoires sont très inégalement dotés en termes de soleil, d'hydraulique, de vent, *etc.* Il existera, bien sûr, des énergies intermittentes, à prendre lorsqu'elles passent : ce sont d'ailleurs elles qui tiennent le haut du pavé en termes de communication et de recherche. Mais nous savons qu'elles requièrent du stockage, de la gestion de la demande et surtout d'autres énergies pour les adosser. Il faudra bien, un jour, se faire à l'idée selon laquelle il est nécessaire de disposer d'un socle énergétique, avec une vision

globale en termes d'énergie renouvelable stockée, disponible, transportable, permettant la flexibilité et diminuant la vulnérabilité du système.

Ces concepts globaux ne sont traités ni par les subventions, françaises ou européennes, ni par les prix garantis de l'énergie. Il est essentiel d'adopter une vision globale, de la partager et de se projeter très loin.

COMMENT ASSOCIER LES UTILISATEURS À LA GESTION ACTIVE DE L'ÉNERGIE ET À LA PRATIQUE DES NOUVELLES MOBILITÉS ?

M. Etienne Klein, directeur du laboratoire sur les sciences de la matière du CEA, membre du conseil scientifique de l'OPECST. Une partie de la difficulté à changer les comportements me semble venir du fait que nous développons toute sorte de stratagèmes intellectuels pour ne pas croire ce que nous savons.

Un exemple en est donné aujourd'hui dans un article publié dans le journal *Le Figaro* par un grand philosophe, qui explique à l'avance que la conférence dite COP21 sera un échec, avec des arguments qui montrent que, dès que ce que nous savons ne nous fait pas plaisir, alors nous sommes prompts à mimer le scepticisme et à faire semblant de douter, ce qui permet de retarder les décisions ou de critiquer celles qui sont prises.

Outre ce phénomène, il existe une généralisation de ce que Gérard Bronner appelle « le sentiment de savoir » : chacun se croit compétent, à partir de son expérience, de ses connaissances, de ses intuitions, d'un certain bon sens parfois, ce qui peut évidemment compliquer les débats.

Dans son ouvrage intitulé *Vérité et véracité*, le philosophe anglais Bernard Williams montre, de façon très convaincante, que nos sociétés modernes ou postmodernes sont parcourues par deux courants de pensée qui devraient s'annihiler mutuellement mais se fécondent en fait l'un l'autre. Le premier, qu'il qualifie de « désir de véracité », renvoie au fait que nos sociétés sont matures et que les citoyens ne veulent pas être dupes. Dès lors qu'un discours devient trop consensuel, ils veulent savoir si ce qui est dit l'est parce que cela est vrai ou parce que ceux qui le disent y ont intérêt. Ce désir de véracité, parfaitement sain en fait, vise à déterminer comment crever les apparences, pour accéder aux motivations réelles des locuteurs.

À côté de ce refus d'être dupe, il existe, selon Bernard Williams, une défiance tout aussi grande à l'égard de la vérité elle-même. Ainsi, dès que l'on a accès à une vérité dite, on se demande si elle est subjective, relative, contextuelle, culturelle, historique. Ce faisant, le désir de véracité aboutit à une sorte de déni de vérité. Ces deux éléments sont liés, dans la mesure où le désir de véracité enclenche dans la société un processus critique généralisé, qui vient défaire l'idée qu'il existerait des vérités.

Une importante partie du débat climatique a, selon moi, été polluée par ce double mouvement dans la société. Les scientifiques se sont ainsi vus reprocher de parler tous de la même façon.

Nous pourrions évoquer ici la question des méthodes pédagogiques. Certains appellent à une rénovation complète. Je suis, pour ma part, partisan du tableau noir. Toutes les techniques trop encombrées, numériques ou autres, font à mon sens que les concepts fondamentaux ne sont jamais bien saisis.

Si je pouvais proposer un élément de réponse à la question posée aujourd'hui, je dirais que notre façon de parler de l'énergie ne nous permet pas de prendre conscience de ce qu'est l'énergie. Nous avons ainsi parlé aujourd'hui, cela est récurrent dans les débats de ce type, de production et de consommation d'énergie. Or ces expressions n'ont, pour un physicien, aucun sens. Personne n'a jamais produit ni consommé d'énergie, pour la simple et bonne raison que l'énergie se définit par le fait même qu'elle se conserve. L'énergie qu'un système isolé possède au départ est exactement la même que celle dont il dispose à la fin. Autrement dit, ce que l'on appelle par exemple « consommer un kilojoule d'énergie » consiste en fait à prendre un kilo d'énergie sous une forme de faible entropie (de l'électricité par exemple) pour la convertir en une quantité exactement égale d'énergie sous une autre forme, possédant en général une entropie beaucoup plus élevée (air chaud ou eau chaude par exemple). Ainsi, on ne consomme pas de l'énergie, on produit de l'entropie. De la même façon, on ne peut produire d'énergie, car cela reviendrait à considérer que l'on pourrait, à partir de rien, fabriquer de l'énergie ce qui n'est pas possible. La seule chose que l'on puisse faire est de prendre de l'énergie telle qu'elle est pour la transférer à un autre système ou changer sa forme. C'est tout. Or, votre façon de parler laisse entendre que tant qu'il y aura des ingénieurs dont le métier sera de produire de l'énergie, nous pourrons le faire, ce qui est faux.

Comme l'indiquait le prix Nobel de physique Richard Feynman, « la nature ne peut pas être dupée ». Si nos discours violent les lois physiques, le réel se vengera.

Peut-être existe-t-il toutefois une méthode susceptible d'améliorer la situation : il s'agit d'utiliser la notion d'« esclave énergétique ». Il n'est bien évidemment pas question de faire une quelconque promotion de l'esclavage mais de défendre l'idée que l'on peut prendre comme référentiel le corps humain, qui consomme pour son métabolisme une puissance de cent watts, soit, pour une journée complète, une énergie de 2,4 kWh. Il est intéressant de calculer chaque soir sa « consommation d'énergie » pour se déplacer, se chauffer, s'alimenter, *etc.*, puis de diviser le résultat obtenu par l'énergie d'un corps humain (c'est-à-dire 2,4 kWh par jour). Le résultat de ce calcul correspondra au nombre d'esclaves énergétiques fictifs – ce sont en fait des machines – qui ont travaillé pour nous au cours de cette journée. Pour un Français moyen, ce chiffre est estimé à environ deux cents ; il est de quatre cents pour un Américain. Bien évidemment, cette donnée varie beaucoup d'un individu à l'autre mais peut donner lieu à de petits

calculs très intéressants et instructifs. Ainsi, une ampoule de 40W qui reste allumée toute une journée correspond quasiment à un demi esclave. Sachant par ailleurs qu'un litre d'essence libère 7 kWh, une voiture qui consomme 8l/100km et parcourt 50 km quotidiens représente dix-sept esclaves énergétiques. Cette notion permet de disposer d'une image plus concrète de ce que représente l'énergie.

DANS QUELLE MESURE LA PARTICIPATION AU PROCESSUS DE DÉCISION EST-ELLE UN MOYEN DE CHANGER LES COMPORTEMENTS INDIVIDUELS ?

M. Thierry Touchais, directeur général, Fondation *Good Planet*. La lutte contre les dérèglements climatiques ne peut pas, aujourd'hui, demeurer exclusivement liée à une approche technologique ou à l'avènement de nouvelles solutions fondées sur les sciences dures. Nous considérons, au sein de la Fondation que je dirige, que les sciences sociales et comportementales se situent réellement au même niveau. En effet, l'implication des citoyens dans les solutions proposées est liée à leur niveau de connaissance. Pour ce qui est du changement climatique, le dernier rapport du GIEC en est le socle. L'un de nos rôles d'ONG et de Fondation est, avec d'autres, de disséminer ces savoirs pour aller vers l'action, et ce, même si la connaissance à elle seule n'est, dans cette optique, pas suffisante.

Quid des solutions au niveau du processus de décision ? Excepté en cas de contrainte réglementaire, les citoyens décident eux-mêmes d'agir ou de ne pas agir, à leur façon. Je crois qu'un bel exemple à méditer est celui de l'économie participative et de la manière dont les innovations numériques (terminaux intelligents, nuage numérique ou *cloud, web*) ont permis l'émergence d'une économie de partage, en matière de transport, d'outils, de services. Tous ces éléments témoignent d'une appropriation créative par les citoyens plutôt que d'une poussée technologique et contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Il convient, par ailleurs, de noter que l'aspect législatif est, dans ce cas, quelque peu à la traîne. Il lui faut aujourd'hui suivre et s'adapter à ce nouveau cadre offert aux citoyens par les nouvelles technologies qu'ils s'approprient.

Nous sommes, au sein de la Fondation *Good Planet*, persuadés que le débat participatif constitue un élément fondateur, constructif, de l'appropriation et de l'avancée vers ces solutions. Les programmes que nous mettons en œuvre comportent ainsi de très larges aspects participatifs. Nous avons, par exemple, pris l'initiative d'une conférence de citoyens qui rendra fin octobre 2015 sa charte sur le thème de l'alimentation, autour de la question : « Comment concilier plaisir, santé et climat ? ». Il faut, en effet, savoir que l'alimentation est à l'origine, pour la France, de 27 % des émissions de gaz à effet de serre, soit plus que les transports ou l'habitat.

Il s'agit là d'un élément de nature à changer les comportements individuels mais aussi susceptible d'influer sur les comportements de l'ensemble des acteurs des filières industrielles et institutionnelles dans le domaine alimentaire, afin d'aller vers une consommation plus responsable et de conduire les gens vers l'action. En effet, comme l'indique notre président, M. Yann Arthus-Bertrand, « agir rend heureux ».

L'APPORT DE L'ÉCONOMIE CRÉATIVE.

M. Mikko Alatalo, membre du Parlement finlandais, membre du comité pour le futur. Lorsqu'il est question de la participation des citoyens, il est essentiel d'évoquer les systèmes intelligents, nécessaires pour suivre l'utilisation qui est faite de l'énergie.

En Finlande, notre commission s'intéresse à la production d'énergie à petite échelle, qui doit être mieux subventionnée pour les citoyens. Comme je l'ai indiqué auparavant, nous avons, afin de ne plus dépendre du carbone, largement utilisé le bois dans la construction de bâtiments d'habitation.

Le comité finlandais pour le futur a élaboré un rapport sur ces sujets. Lorsqu'on produit de la musique, des films, des jeux ou de la littérature, cela n'a pas d'impact à très grande échelle, contrairement aux voitures par exemple. Quand on fabrique une nouvelle voiture, c'est tout un nouveau marché qui s'ouvre. Aujourd'hui, les artistes doivent d'ailleurs aussi être des entrepreneurs.

Évidemment, il faut soutenir les secteurs industriels qui reposent sur la technologie, puisque le contenu va, à l'avenir, prendre une place croissante dans le monde des affaires. Nous avons besoin de technologies intelligentes. Dans un monde connecté, il est de moins en moins nécessaire de voyager. Le télétravail se développe et le concept même de travail évolue. Tout s'automatise, petit à petit, ce qui libère des ressources et du temps, pour s'adonner, par exemple, davantage à l'art ou aux loisirs.

Le système scolaire a su se montrer très créatif en Finlande. Il me semble opportun de poursuivre dans cette direction et de réfléchir davantage dans les établissements comme on le fait dans les entreprises. Il est important de penser à l'image de marque d'une école.

Pour conclure, j'ajouterai que le secteur industriel est responsable et contribue à améliorer le bien-être de la population, tout comme bien d'autres technologies d'ailleurs.

L'IMPLICATION DES CITOYENS

Pr. Lord Julian Hunt of Chesterton, membre de la Chambre des Lords du Royaume-Uni. Nous avons entendu parler précédemment de la situation en Norvège et de la question liée à l'élimination des voitures des zones piétonnes. Or il se trouve que j'ai commencé ma carrière dans la politique locale et je me souviens qu'une telle mesure avait été mise en place à Cambridge, en 1971, ce qui était tout à fait révolutionnaire pour l'époque. Nous avons, dans ce cadre, fait procéder à un vote, dont les résultats avaient été quasi staliniens, puisque le projet avait été approuvé à 99 %.

Pour revenir plus précisément à l'objet de cet exposé, je voulais aborder ici avec vous la manière dont les technologies intelligentes sont utilisées dans de nombreux pays européens. L'un des développements les plus révolutionnaires à cet égard, que même le gouvernement britannique a approuvé, est sans doute un programme de participation populaire à la diffusion de l'information sur l'environnement développé en Italie.

Je souhaiterais évoquer le rôle du citoyen pour réduire l'impact des catastrophes liées aux évolutions climatiques en m'appuyant sur l'exemple de Manille aux Philippines, et notamment des zones urbaines caractérisées par une forte croissance démographique et particulièrement sensibles aux changements climatiques. Les pronostics de risques extrêmes permettent aujourd'hui d'envisager les répercussions physiques, sociales, les effondrements de bâtiments, la mortalité, les maladies. Grâce aux technologies satellitaires, nous disposons de prévisions beaucoup plus exactes et précises en matière de risques liés aux changements climatiques, qu'il s'agisse de pluies extrêmes, de feux de forêts, de canicules.

Le fait de disposer, en complément, d'informations fournies en temps réel par les citoyens constituerait un progrès indéniable. Cela existe déjà en Italie et se développe en Asie. À Manille, par exemple, des *smartphones* intelligents spéciaux sont distribués aux citoyens et transmettent en temps réel au centre de contrôle des risques et des catastrophes les informations relatives à la hauteur du niveau d'eau – jusqu'à la cheville, jusqu'au genou, jusqu'à la poitrine. Des calculs peuvent ainsi être effectués en temps réel sur la progression des inondations et les informations qui en découlent être diffusées rapidement en retour aux localités concernées. Ce système a déjà été mis en œuvre concrètement et a sauvé de nombreuses vies. Les gens en comprennent facilement le fonctionnement et l'intérêt. Des informations sur cette initiative, qui a véritablement pris son essor après la réunion organisée à Sendai en mars 2015, sont disponibles sur le site de *l'Asian Network on Climate Science and Technology (ANCST)*.

J'aimerais en outre faire écho aux propos de notre collègue suédoise, qui a mis l'accent sur l'importance de la participation des femmes.

Je conclurai mon propos en rejoignant l'intervention précédente : les comportements des gens peuvent effectivement évoluer pour faire face aux défis climatiques.

DÉLIBÉRATIONS CITOYENNES : PROMESSES ET RISQUES

M. Gérald Bronner, professeur de sociologie à l'université Paris Diderot, membre du conseil scientifique de l'OPECST, membre de l'Académie des technologies. La question de l'implication citoyenne est centrale pour le sujet qui nous préoccupe, puisqu'elle concerne un bien commun qui peut être servi par l'effort individuel.

Or on se heurte – situation classique en théorie de la décision – au fait que les individus, tout en désirant ce bien commun, ont tendance à vouloir en bénéficier sans concéder les efforts individuels qui pourraient le faire advenir. Cela renvoie à la logique du « passager clandestin », appelée aussi « paradoxe d'Olson », dont les effets négatifs peuvent être levés de plusieurs façons. L'une d'entre elles, particulièrement explorée par la pensée politique contemporaine, est celle des nouveaux processus démocratiques, impliquant la participation directe des citoyens, que ces démarches se nomment « démocratie participative », « démocratie délibérative », « sondage délibératif », « conférence de riverains », *etc.*

Je profite de ce temps qui m'est accordé pour souligner que ces processus suscitent des espoirs, mais aussi des craintes, inconditionnelles parfois, qui, parce qu'elles revêtent un aspect idéologique, méritent d'être mises à distance par une approche dépassionnée et technique. Les enjeux sont suffisamment importants pour être abordés avec une forme d'ingénierie sociale tenant compte de la très abondante littérature scientifique existant sur la logique des décisions de groupe.

Parmi les thèmes qui devront, par exemple, être éclairés, avant de nous abandonner à l'aveugle à ces processus, figure celui de la représentativité des citoyens impliqués.

Comment sélectionner les citoyens impliqués dans ces commissions ? Faut-il que cela se fonde sur le volontariat et laisse ainsi les acteurs sociaux les plus motivés par certains sujets s'exprimer et représenter la population ? Faut-il puiser ces volontaires parmi les ONG, comme elles le souhaitent parfois, ou procéder à des tirages au sort ?

Quelle taille pour ces groupes de délibération ? Il s'agit d'une question fondamentale. En effet, vous comprenez aisément que si une personne sur deux-cents prend la parole dans une assemblée délibérative, cette dernière ne peut plus réellement être qualifiée de « délibérative ». Une taille optimale serait peut-être celle permettant d'espérer que, en toute probabilité, au moins une personne sur deux prenne la parole. Il s'agit apparemment d'une question technique simple ; pour autant, elle demeure, à ma connaissance, sans réponse à l'heure actuelle.

Comment éviter les effets d'influence résultant de la différence de capital culturel entre les différents participants ? Ces différences culturelles peuvent s'exprimer par des différences de puissance argumentative, qui vont avoir tendance à désaxer le centre de gravité de la conversation et des échanges. Comment éviter, par exemple, les effets de polarisation, fort bien renseignés par la littérature scientifique qui montre que, assez souvent, un groupe a tendance à conclure de façon outrée par rapport aux points de vue individuels, ce qui pose évidemment un problème en termes de décision collective ? Mais surtout, est-on bien certain que, dans tous les cas, un groupe aboutira à une conclusion raisonnable et non pas suboptimale ?

Une autre question fondamentale réside dans le fait que les problèmes proposés à la délibération ne sont pas tous adossés au même socle cognitif. Dès lors, les réponses attendues ne sont absolument pas de même nature. Certains questionnements suscitent, par exemple, des réponses équiréparties autour d'une valeur de centralité. Si l'on considère cette valeur comme réponse du groupe, on arrive à une approximation assez raisonnable. En revanche, dans d'autres situations, on observe non une équirépartition des réponses individuelles, mais une polarisation vers des points paradoxaux qui, je vous prie de le croire, s'éloignent assez souvent de ce qu'il est convenu d'appeler la norme rationnelle de décision.

En conclusion, si aucun des défauts de ces processus démocratiques ne me paraît rédhibitoire par rapport aux vertus collectives que l'on en attend, il me semble fondamental d'y apporter des solutions techniques.

LE RÔLE DES ONG DANS LA PRÉPARATION DE LA COP21

Mme Alissa Scholl, juriste, membre de l'ONG *Islands First*. Je vous remercie de me permettre de m'exprimer aujourd'hui.

Ayant participé, aux côtés de *Islands First*, aux négociations de préparation de la COP21, en juin dernier à Bonn, c'est à ce titre, mais aussi en tant que citoyenne engagée, que je prends la parole aujourd'hui.

Islands First est une ONG new-yorkaise qui aide les petits Etats insulaires à lutter contre le changement climatique, en leur permettant notamment de se faire entendre dans l'enceinte des Nations-Unies.

Le premier point de mon intervention concerne les ONG face aux citoyens, puisque l'un des grands enjeux de la COP21 est précisément la mobilisation citoyenne. Face à l'inertie de certains décideurs, il est vraiment essentiel que naissent une mobilisation, un mouvement citoyen, comme facteurs de pression pour faire avancer les difficiles négociations onusiennes. On peut, par exemple, citer, parmi les initiatives allant en ce sens, la création de la coalition « Climat 21 », qui regroupe des ONG et crée ainsi un réel réseau militant, ou bien la « marche pour le climat », organisée en septembre 2014.

Il faut, par ailleurs, informer correctement les négociateurs des solutions concrètes déjà mises en œuvre sur le terrain. Je pense, par exemple, au *Livre des soixante solutions*, élaboré par la Fondation *Good Planet*, dont le directeur général s'est exprimé plus tôt dans la journée. Des actions de ce type sont très pertinentes.

Pour mobiliser, il faut bien sûr sensibiliser et informer les citoyens. Cela passe, par exemple, par la mise en œuvre de grandes campagnes d'affichage, menées par des ONG comme WWF, ou par l'organisation de *happenings* tels que ceux proposés notamment par *Greenpeace*.

Même si ces initiatives concernent un nombre croissant de citoyens, elles touchent surtout en général un public déjà averti et peinent à toucher un public moins engagé et un nombre plus important de personnes.

La société civile doit ainsi s'interroger aujourd'hui sur la manière de faire en sorte que les questions relatives au changement climatique entrent réellement dans la conscience collective de tous les citoyens.

Je pense qu'un travail plus intensif en amont de la COP21 aurait peut-être été nécessaire. Cela aurait pu se traduire, par exemple, par des campagnes d'affichage des ONG dans les lieux publics, dans les transports en commun, afin que chacun puisse prendre conscience du fait qu'il s'agit bel et bien d'un problème quotidien, qui concerne tout le monde, même si certains effets du changement climatique semblent encore éloignés. La sécheresse en Afrique ou la situation des petits pays insulaires nous concernent en effet directement.

J'aimerais enfin évoquer, pour ce qui est des négociations mêmes de la COP, la place occupée dans ce cadre par les technologies et l'innovation. Les négociateurs sont-ils vraiment en mesure de trouver une réponse adaptée à l'enjeu ? Il s'agit en effet de négociations très difficiles, extrêmement techniques et utilisant un vocabulaire spécifique. Qui connaît par exemple ici la signification de ADP, SBTSA, SBI ou même tout simplement de COP ? Le changement climatique étant un sujet éminemment technique, il est logique que le vocabulaire reflète cette technicité. Pour autant, cette complexité nuit parfois à l'examen de certaines questions essentielles, comme celles des pertes et dommages ou encore des sources de financements plus importants. La lutte pour les mots est parfois malheureusement plus importante que celle pour le climat. Ainsi, à quelque quatre-vingts jours de la COP21, on se retrouve avec un texte illisible et non adoptable en l'état. Les ONG se font donc peu d'illusions sur l'accord de Paris.

On peut néanmoins être optimiste, puisque des solutions existent et se déploient sur le terrain. On pense notamment au développement des énergies renouvelables et à l'amélioration de l'efficacité énergétique. Technologies et innovations ont toute leur place dans ces problématiques, ce que la COP commence à comprendre et à intégrer, par l'intermédiaire notamment du volet « *Workstream 2* », qui vise à amplifier les engagements pré-2020 relatifs à l'atténuation, grâce à l'examen de politiques et de technologies à fort potentiel de

réduction de gaz à effet de serre. Cet aspect intéresse particulièrement les ONG, dont *Islands First*, dans la mesure où ce forum doit permettre de discuter des initiatives concrètes. Il s'agit d'une opportunité, pour la société civile et le secteur privé, de participer plus activement aux négociations, en faisant des soumissions au Secrétariat ou en contribuant aux réunions d'experts organisées à l'occasion des négociations. Ainsi, la réunion de juin 2015, à laquelle j'ai fait allusion en introduction, portait, par exemple, sur l'ensemble des sujets (transports, bâtiment) abordés aujourd'hui.

Même si l'innovation et les technologies ont toute leur place au sein des négociations de la COP21, il ne faudrait pas pour autant que cela soit l'occasion de promouvoir de fausses bonnes idées. Il est donc important de pouvoir bénéficier de réels indicateurs permettant de considérer une technologie comme « verte ». La prise en compte de l'apport des ONG, qui portent sur bon nombre de ces sujets un regard différent, est donc nécessaire afin de permettre une confrontation fructueuse des points de vue.

L'IMPLICATION DU PUBLIC DANS LA SCIENCE

Mme Melanie Peters, directrice du Rathenau Instituut, Pays-Bas. Je vous remercie de m'avoir invitée.

Faire participer les citoyens conduit à une meilleure prise de décision. Il ne s'agit bien évidemment pas de mener un débat sur le savoir – les citoyens ne pouvant pas être au même niveau de connaissances que les experts – mais d'échanger autour de nos craintes et de nos espoirs pour l'avenir. Or, sur ce terrain, nous sommes tous égaux.

En tant qu'institut d'évaluation technologique, nous reformulons des questions qui semblent être de nature scientifique mais qui, en réalité, nous concernent tous.

Je suis toxicologue de formation. Dans les années 1990, nous nous sommes dits que nous ne serions pas capables de protéger le public autant que nous le voudrions et qu'il fallait aller à la rencontre des citoyens, trouver des solutions avec la population afin de réduire les risques et de déterminer les substances dont on avait besoin et celles qu'il était possible d'interdire. Ces échanges visaient aussi à définir les risques que nous pouvions accepter pour notre propre bien-être.

Nous avons ensuite besoin du processus politique pour prendre les décisions là où l'action collective, publique, s'impose, par exemple pour interdire l'utilisation de certaines substances, protéger les travailleurs ou les consommateurs, tout en soulignant qu'il n'est pas possible de vivre sans risque.

À l'Institut Rathenau, une récente étude a été réalisée pour examiner la question du gaz de schiste. L'État a refusé de faire participer le public à cette réflexion, ce qui a suscité une véritable méfiance de la part de la population.

Concernant les déchets nucléaires, il est très difficile d'appréhender les effets à long terme. Les citoyens sont néanmoins demandeurs d'échanges et d'informations à ce sujet. Ils savent qu'ils ne sont pas experts mais souhaitent entendre des scientifiques sur ces questions, les interroger, débattre avec eux et être consultés dans la mesure où cela les concerne.

Je tire pour ma part quelque espoir de ce que je vis auprès de mes étudiants. Ils travaillent, par exemple, sur un projet de « futur vert » et prennent conscience ce faisant que les citoyens et les générations à venir ont des droits. Cela est également l'occasion d'une réflexion sur l'éthique. Le philosophe Kant estimait, par exemple, qu'il n'était pas possible d'accorder des droits aux générations futures, considérant qu'il ne serait plus vivant alors et que les générations suivantes ne seraient par conséquent pas en mesure de lui rendre en retour le service que, lui, leur aurait rendu. Nous avons besoin de ce genre de réflexion intergénérationnelle, ce que les scientifiques ne comprennent pas toujours. Le public, en revanche, peut attirer notre attention sur cette question et nous inciter à considérer ces éléments de réflexion.

Il faut créer un pont entre la science, la vie politique et le public, notamment en ce qui concerne le changement climatique. Nous avons besoin des citoyens pour concevoir et bâtir le futur, notre « futur commun » pour reprendre le titre du rapport Brundtland.

Il faut faire participer les citoyens, car cela contribue selon moi à de meilleures prises de décisions.

LE RÔLE DES CHERCHEURS ET DE LA SOCIÉTÉ : DES CITOYENS AUX ACTEURS

M. Patrick Monfort, secrétaire général du Syndicat national des chercheurs scientifiques (SNCS-FSU). Je suis chercheur au CNRS et travaille sur des questions environnementales ainsi que sur les pathogènes humains.

Il est clair aujourd'hui que la surexploitation de la planète par une économie linéaire qui se résume à extraire, fabriquer, consommer et jeter, a conduit les humains à affronter des problèmes environnementaux majeurs et inédits, de dimension globale.

Nous sommes bien dans l'ère de l'anthropocène, celle au cours de laquelle les humains ont été capables de changer le système Terre.

De par leurs connaissances et leur rôle dans l'accroissement des connaissances, les chercheurs contribuent aux innovations, technologiques certes, mais également sociales, économiques, d'ingénierie écologique, *etc.*

Ils participent aussi à l'expertise sur les grandes questions environnementales. Ces expertises peuvent parfois remettre en cause des décisions politiques ou des intérêts industriels, sur des sujets tels que l'exploitation des gaz de schiste, l'*agrobusiness*, la toxicité des contaminants émergents ou encore l'exploitation des nouvelles terres accessibles de l'Arctique.

Les scientifiques peuvent ainsi être perçus par les décideurs et la société comme des acteurs bénéfiques ou gênants, voire responsables des maux technologiques. Il s'agit là d'une position contradictoire. Il est évident que la contribution des chercheurs et de la recherche publique à la résolution de la crise environnementale est majeure et indispensable.

Les modes de fonctionnement de la recherche ne permettent toutefois pas, dans la plupart des pays, de réelle participation des citoyens et des travailleurs, y compris des scientifiques, aux décisions relatives aux grands enjeux de société, et orientent souvent la recherche scientifique vers des intérêts à court terme, qui ne sont pas ceux de la durabilité globale.

De plus, orienter la recherche dans des directions censées résoudre la crise économique et environnementale créée par le système économique actuel sans remettre en question ce modèle, ni s'engager dans un autre mode de développement, ne peut qu'engendrer les mêmes conséquences que celles déjà constatées.

Afin de contribuer aux réponses indispensables aux problèmes environnementaux, économiques et sociaux, la recherche doit bénéficier de programmes publics à la hauteur des enjeux, accordant pleine liberté aux chercheurs, reposant sur des coopérations internationales associant l'ensemble des pays et des organisations syndicales et citoyennes, ainsi que les différents acteurs politiques et économiques.

Cette question du mode de financement, entre financement sur projet et financement de base des laboratoires, est primordiale. En effet, si la recherche doit s'attacher à répondre à des demandes précises, comme l'innovation, il est aussi nécessaire de laisser libres des travaux sur des sujets qui ne constitueront peut-être pas les réponses immédiates aux questions posées mais pourront contribuer à résoudre d'autres problèmes. L'histoire des sciences est largement démonstrative de cela.

La recherche doit être libre, ce qui suppose une liberté d'initiative mais aussi une liberté quant aux conséquences des innovations susceptibles de poser problème en termes, par exemple, de santé humaine ou environnementale. De tels travaux ne doivent pas être bloqués car cela renvoie à la crédibilité et à l'acceptabilité par la société de ces innovations.

En tant que scientifiques, nous devons aussi interagir avec les organisations syndicales des salariés, les organisations de citoyens, les entreprises, les administrations de l'État et territoriales, les politiques, dans le but de

co-construire des décisions sur des politiques durables, en matière de climat, d'écosystèmes, d'urbanisation et autres.

Il faut, en outre, s'appuyer sur la démocratie scientifique, c'est-à-dire l'organisation de débats citoyens, présidant au choix des priorités scientifiques et associant les différentes parties prenantes. L'exigence démocratique fait des connaissances scientifiques des biens publics mondiaux.

Tout en ouvrant à une démocratie scientifique favorisant débat et co-élaboration de savoirs entre chercheurs et acteurs citoyens, l'État doit assurer la liberté intellectuelle de la recherche et l'autonomie professionnelle du champ scientifique, garant de la scientificité des savoirs, en amont de décisions visant la construction de politiques publiques.

L'ÉTAT DES TRAVAUX DE RECHERCHE SUR L'IMPLICATION CITOYENNE

M. Alain Fuchs, président du CNRS, président de l'Alliance Athena. Le mouvement visant à impliquer les citoyens dans les questions de science et de technologie s'est accéléré, notamment ces derniers temps en Europe, à partir du sixième programme cadre de recherche et développement. Conférences de citoyens, débats publics : tout ce qui va dans le sens d'une responsabilité publique et éthique de la science est encouragé et financé, entre autres par la Commission européenne.

Sur ces questions, la communauté scientifique dispose d'atouts qu'il faut mobiliser, mais qui ne le sont pas toujours, ou en tout cas pas suffisamment : je pense à l'interdisciplinarité et, en particulier, à la capacité à impliquer des chercheurs en sciences sociales pour analyser les enjeux, formes et conséquences de la participation politique des citoyens et de la socialisation de la science, au-delà du concept un peu dépassé d'acceptabilité des technologies.

Dans toutes les actions interdisciplinaires que l'on cherche à lancer et que l'on voit poindre aujourd'hui, les problématiques de sciences humaines et sociales (SHS) n'interviennent plus seulement en conclusion du processus de la connaissance, au moment où l'on s'interroge sur ses conséquences et ses impacts, mais à la source et dans la conceptualisation même des défis sociétaux à relever. J'en veux pour exemple un appel à projets que nous mettons en place autour du thème « énergie, nature, ressources et société », conçu selon ces principes et impliquant des chercheurs en sciences humaines et sociales dans la plupart des actions soutenues.

Cette interdisciplinarité permet de proposer des solutions plus soutenables et de récuser le rôle classiquement dévolu aux SHS d'éduquer le public rétif ou mal informé, afin de favoriser l'adaptation des sociétés aux nouvelles technologies de l'énergie ou à de nouveaux modes de consommation. Cantonner les sciences humaines et sociales à ce rôle d'accompagnement est non seulement désinvolte mais surtout inefficace. Cela revient à négliger le formidable réservoir de

connaissances acquises et en devenir qui, imbriquées dans la science tout entière, dessinent une pratique de la recherche scientifique moderne, audacieuse et très utile, dans nos pays, au renouveau technologique que nous espérons.

Les dynamiques complexes de l'innovation et des changements sociaux ne sauraient être dissociées de l'étude des sociétés : telle est la conviction que nous portons au sein de l'Alliance Athena. Cela passe par des pratiques sociales, des effets de partage des connaissances, des dispositifs de participation et la mobilisation de nouveaux acteurs et comportements.

RÉFLEXIONS DU COMITÉ CONSULTATIF NATIONAL D'ÉTHIQUE.

M. Jean-Claude Ameisen, président du Comité consultatif national d'éthique. Depuis près de soixante-dix ans et le Code de Nuremberg, la démarche éthique biomédicale est fondée sur le « choix libre et informé », dans lequel la connaissance, indispensable, est mise au service du choix de la personne.

Cela est intéressant d'un point de vue rétrospectif : en effet, ce processus avait été qualifié alors, de manière quelque peu paternaliste, de « consentement libre et informé ». Or, il ne s'agissait pourtant pas uniquement de consentir, mais bien d'avoir aussi la possibilité de refuser. Si ce processus avait été intitulé en miroir « refus libre et informé », il se serait trouvé des voix pour s'interroger sur la raison pour laquelle on supposait que la personne allait refuser, alors qu'il ne semblait pas choquant de présumer qu'elle allait consentir.

Aujourd'hui, il ne s'agit pas de consentir, mais bien d'avoir les moyens d'élaborer un choix libre et informé. Cela ne renvoie ni à l'acceptabilité, ni à l'assentiment mais à la participation dans l'élaboration des choix.

Je pense que la mission du Comité consultatif national d'éthique est justement d'aider la société à élaborer ses choix, en essayant de mettre en lumière la complexité des problèmes, les enjeux, et en présentant différentes options.

Tant au niveau individuel que collectif, ce processus de choix est au cœur de la vie démocratique, y compris avec les imperfections qui peuvent s'y rattacher.

Par la loi du 7 juillet 2011 portant révision de la loi relative à la bioéthique, le Parlement nous a confié la mission d'organiser des conférences de citoyens, dans des cas particuliers impliquant une modification de la loi. Cela a constitué pour nous une expérience très intéressante, dans la mesure où le principe même du Comité consultatif national d'éthique, et de tous les comités de ce type dans le monde, réside dans le croisement des regards, au-delà même des champs disciplinaires. Or la conférence de citoyens permet précisément ce croisement des regards.

Je crois que toutes les formes de débat permettant de croiser les approches offrent la plus grande probabilité de trouver les solutions les plus originales et potentiellement les plus utiles. Cela présente aussi l'avantage de diminuer le risque d'oublier ceux que l'exclusion ou la précarité a rendus invisibles.

La démultiplication de ces formes de réflexion informées, fondées sur le croisement des regards, est extrêmement importante pour qu'une société puisse s'approprier ses choix.

Un mot sur le climat : là encore, le rôle de la réflexion publique et éthique est d'essayer de prendre du recul. Le changement climatique représente une menace grave mais n'est que l'un des symptômes des dégradations que nous causons à l'environnement. Ainsi, l'utilisation d'énergies fossiles, indépendamment de la libération de gaz à effet de serre, entraîne de la pollution atmosphérique, responsable aujourd'hui, selon les chiffres de l'OMS, de huit millions de morts chaque année dans le monde et à l'origine de dépenses exorbitantes.

En médecine, on estime toujours préférable de traiter la cause, plutôt que de s'attaquer aux symptômes un par un. Selon une logique similaire, devons-nous traiter le changement climatique comme un problème à part entière, et les autres conséquences de nos dégradations de l'environnement une par une, ou saisir l'occasion d'une réflexion sur le changement climatique comme un levier pour agir plus globalement sur les conséquences néfastes de l'activité humaine sur l'environnement ?

Je pense que la santé, préoccupation individuelle et collective, peut constituer une grille de lecture qui dépasse la focalisation sur tel ou tel symptôme. Il serait ainsi intéressant d'inclure, dans le cadre des réflexions sur les indicateurs de l'efficacité des mesures de transition qui seront prises, des indicateurs en termes de santé. Le recours à telle énergie plutôt qu'à telle autre a-t-il un effet positif, indifférent ou négatif sur la santé ?

Réfléchir dans des termes susceptibles d'impliquer les citoyens, individuellement et collectivement, au-delà d'un objectif particulier, est indéniablement une façon de rendre le débat participatif et l'écoute de la société plus larges.

Mme Dominique Gillot. Ainsi que vous le soulignez, nous sommes passés du « consentement libre et informé » à une aide apportée à la société dans l'élaboration de ses choix, de manière éclairée. Je pense qu'il nous faut maintenant arriver à permettre aux citoyens d'agir en connaissance de cause, pour prendre en considération l'ensemble des paramètres liés aux changements climatiques, afin d'envisager le meilleur pour l'avenir de notre société.

RÉFLEXIONS DU DÉPARTEMENT D'ANALYSE DU CONSEIL DE LA FÉDÉRATION DE RUSSIE

M. Timur Semenov, département d'analyse du Conseil de la Fédération de Russie. Merci de votre invitation et de cette occasion qui m'est donnée de participer à une conférence si intéressante et si bien organisée.

Nous approuvons les conclusions proposées pour cette conférence. Ce document comporte plusieurs points sur la promotion du débat public et la participation des citoyens, sous différentes formes. Cette démarche est aujourd'hui soutenue par tous.

Je fais partie du département d'analyse du Conseil de la Fédération de Russie. Nous travaillons sur la promotion des technologies intelligentes et la promotion de manifestations dans les régions de la Fédération de Russie. Nous espérons ainsi développer des systèmes d'évaluation complexes, incluant une participation du public. Je pense, par exemple, au congrès écologique que nous organisons régulièrement à Saint Pétersbourg.

Beaucoup d'intervenants ici ont attiré l'attention sur l'importance du partage des connaissances et, des informations équilibrées et objectives sur ces technologies. À un certain niveau de compétence, le débat public devient hautement efficace. La question du changement climatique en est un très bon exemple.

Cela me permet d'insister sur le rôle important qui incombe dans ce cadre aux Parlements, qui sont, par définition, les lieux mêmes où trouver le point d'équilibre entre les différents points de vue. Nous pouvons y forger des avis nuancés, prendre des décisions équilibrées : le Parlement doit faire sienne la mission de partage des informations sur les nouvelles technologies, y compris pour ce qui est de la participation des citoyens.

Parmi les différentes possibilités offertes aux citoyens, il nous semble, en outre, intéressant de favoriser la participation directe, par une implication personnelle, et pas uniquement celle s'effectuant par l'intermédiaire des réseaux sociaux.

DÉBAT AVEC LES PARTICIPANTS

Mme Brigitte Vu, ingénieur en efficacité énergétique des bâtiments et enseignant-chercheur à l'université de technologie de Belfort-Montbéliard (ECC UTBM). Mon propos concerne l'implication du citoyen dans la gestion des technologies intelligentes et s'appuie notamment sur l'exemple des bâtiments ⁽¹⁾.

(1) Cf. Annexe 5.

Aujourd'hui, le citoyen doit devenir acteur de la gestion de ces technologies, que ce soit dans sa vie quotidienne ou professionnelle, dans l'industrie, le bâtiment tertiaire, le logement ou l'habitat collectif.

Je ne reviendrai pas sur les enjeux, que chacun connaît aujourd'hui. Un constat a été fait au regard d'études menées en Europe et en Amérique du Nord, qui évaluent les gains en termes de consommation d'énergie entre 5 % et 15 % si le système de comptage fournit à l'utilisateur une information directe, c'est-à-dire si ce dernier est en mesure d'accéder à un affichage sur module ou par l'intermédiaire d'un portail de consultation. Si le consommateur dispose d'une information indirecte, c'est-à-dire au travers d'une facture, ces gains sont limités entre 0 % et 10 %. Ainsi, un foyer équipé d'un compteur communicant électrique a une consommation moyenne de 6 000 kWh par an, alors qu'un foyer fonctionnant avec un système de compteur traditionnel et une facture aura une consommation moyenne de l'ordre de 6 762 kWh par an. La mise à disposition de compteurs intelligents permet donc un gain substantiel d'environ 10 %.

Le magazine *National Geographic* et l'institut de sondage *Globescan* ont évalué quelque 17 000 consommateurs dans dix-sept pays et abouti à un constat édifiant : 80 % de ces usagers réduisent leur consommation pour des raisons financières. La mise en place de compteurs intelligents indiquant les économies d'énergie en euros a un impact très important sur le comportement des usagers, surtout dans les logements sociaux, où l'on atteint des économies de l'ordre de 15 % à 20 %.

Il est aujourd'hui impératif de développer les outils permettant de favoriser et d'accroître ce processus. La mise en place de mesures comme le comptage est devenue incontournable, tant pour engendrer des économies d'énergie que pour assurer le confort des occupants.

La notion de « consomm'acteur » apparaît majeure dans ce contexte.

Il semble également nécessaire de mettre en place des applications permettant de convertir, pour le commun des mortels, les économies de kWh enregistrées en euros. L'ensemble des analyses effectuées en Europe et dans le monde montre qu'il s'agit là de l'une des dispositions les plus probantes.

M. Patrice Noailles, Forum des politiques d'innovation. M. Jean Jouzel a souligné, en introduction à cette journée, la nécessité d'encourager et de poursuivre des efforts d'innovation.

Il serait de ce point de vue nécessaire d'ouvrir des chemins nouveaux dans la société afin que l'innovation ait véritablement le droit de vivre et ne soit pas simplement tolérée, ce qui est, sauf cas particulier, l'exacte réalité du système actuel.

Des discussions se sont tenues ici-même, voici un an, sur le principe d'innovation. Depuis lors, tout cela n'a guère évolué. Je pense donc qu'une journée comme celle d'aujourd'hui pourrait être l'occasion d'affirmer la nécessité d'entreprendre un changement susceptible de permettre aux innovateurs de trouver une libre expression, dans notre pays comme dans l'ensemble des pays du monde. On n'effectuera pas 80 % d'économies sur les produits pétroliers simplement par des mesures politiques.

M. François Moisan, directeur exécutif à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). Mme Brigitte Vu a cité des études internationales permettant d'apprécier la manière dont le consommateur peut être impliqué dans la maîtrise de ses consommations.

En France, des expérimentations ont eu lieu dans ce domaine, dans le cadre notamment du Programme d'Investissements d'Avenir (PIA). L'Ademe a ainsi soutenu dix-sept démonstrateurs engagés dans des projets de plusieurs millions d'euros. Ces expérimentations, en termes de réseaux électriques intelligents, portent, d'une part, sur les énergies renouvelables, d'autre part, sur l'usager et sa capacité à maîtriser sa consommation, c'est-à-dire notamment à s'effacer lors des pics de consommation. Les résultats dont nous disposons actuellement concernent plus de 15 000 ménages et montrent qu'un consommateur peut s'effacer en moyenne à hauteur de 0,8 à 1 kW. Pour vous donner un ordre d'idée, l'abonnement d'un consommateur moyen est d'environ 6 kW. Cela laisse entrevoir des perspectives intéressantes en termes de limitation d'appel de puissance pour réduire les émissions de CO₂.

De telles mesures supposent différents types de matériels, actuellement en phase de test. L'expérimentation sur le terrain est, en effet, une étape très importante de l'appréciation et de l'implication des consommateurs.

Mme Françoise Lavarde, secrétaire générale de la Commission nationale du débat public (CNDP). Les intervenants de cette table ronde ont montré la nécessité d'impliquer toujours davantage les citoyens dans la gestion des technologies, mais ont été aussi soulignées les difficultés méthodologiques que rencontrent ces formes de participation.

Je vous remercie de me donner la possibilité de vous faire partager une expérience conduite récemment par la Commission nationale du débat public dans le cadre d'un débat citoyen planétaire. Cette manifestation s'est déroulée le 6 juin 2015 et a été organisée en collaboration avec le secrétariat de la Conférence des Nations-Unies pour le changement climatique, le *Danish Board of Technology* et la société Mission publique. L'objectif en était de réussir, une seule journée, à faire participer 10 000 citoyens du monde entier, représentant toute la diversité de la société mondiale, à une réflexion commune dans le cadre de quatre-vingt-dix-sept débats, organisés dans soixante-seize pays.

Ces citoyens ont été invités à débattre des cinq grands axes qui seront inscrits à l'ordre du jour des négociations de la COP21, en décembre 2015 à Paris. Ils ont échangé avec l'aide d'animateurs, après avoir reçu une documentation pédagogique sur support papier et vidéo spécialement conçue pour cet événement par les organisateurs ⁽¹⁾.

Les résultats apportés à travers les réponses formulées permettent de battre en brèche un certain nombre d'idées préconçues. Vous pouvez en prendre connaissance à la fois sur le site du *World Wide Views on Climate and Energy* et sur celui de la CNDP.

Cette méthodologie me semble vraiment très intéressante à expertiser et à approfondir pour améliorer la participation des citoyens.

M. Laurent Gouzènes, membre du Conseil scientifique auprès de l'OPECST, directeur scientifique au sein de la société d'informatique Pacte Novation. Je dispose d'une certaine expérience du débat citoyen, puisque l'opportunité m'a été offerte, lorsque j'étais président du réseau « Nanotechnologies-Nanosciences » en France, de participer dans ce cadre à plusieurs conférences de citoyens.

Je puis vous assurer que cela n'a pas été de tout repos. Ces manifestations regroupaient schématiquement trois types de populations : des citoyens « de base », des scientifiques issus des milieux de la recherche et des industriels. Parmi les citoyens n'étant ni scientifiques ni industriels, figuraient des membres d'ONG qui venaient non pour débattre du sujet mais pour faire état de leurs convictions. Cette situation s'est avérée très difficile à gérer et a donné lieu en permanence à de faux débats, avec des discours étayés par de faux raisonnements scientifiques ou technologiques.

À cela, s'est ajoutée la difficulté de former les citoyens à ce débat scientifique sur un sujet qu'ils ignoraient pour la plupart totalement et sur lequel il est extrêmement complexe d'avoir un discours élaboré.

Le débat scientifique est très complexe et parfois sujet à des déformations du raisonnement et à des raccourcis saisissants. Pour faire une analogie avec le sujet du jour, c'est comme si, constatant une augmentation simultanée de la durée de vie, de la température atmosphérique et des émissions de CO₂, on imputait la responsabilité de la pollution aux personnes âgées !

(1) Cf. Annexe 3.

NOUVELLES FRONTIÈRES

ÉVALUATION DES EXPÉRIENCES ASSOCIATIVES, TERRITORIALES OU NATIONALES D'IMPLICATION DES CITOYENS DANS LES APPROCHES INNOVANTES POUR LE BÂTIMENT, LA MOBILITÉ, L'AGRICULTURE

M. Lars Klüver, Directeur Institut d'évaluation technologique danois.
Je vous remercie infiniment de me donner l'opportunité de m'exprimer ici.

Je pense qu'il existe un consensus général sur le fait que la transition énergétique, en lien avec les économies d'énergie et les changements de comportements, ne pourra voir le jour sans la participation des citoyens. C'est aux citoyens qu'il appartient de prendre leurs responsabilités et de choisir les bonnes solutions.

Je souhaiterais vous exposer brièvement une manière d'y parvenir. Je parle avec trente ans d'expérience en matière de participation citoyenne.

Quel rôle les citoyens peuvent-ils jouer ? Dispose-t-on véritablement de méthodes permettant de les impliquer dans ce débat ?

Il faut tout d'abord que les citoyens reçoivent davantage d'informations. Si l'on attend d'eux qu'ils fassent évoluer leurs comportements, alors il faut leur communiquer les éléments leur permettant de le faire. Il est, dans ce contexte, important de clairement identifier les contraintes et obstacles auxquels ils sont confrontés et de trouver ensuite un moyen de lever ces obstacles. Il s'agit là d'un point essentiel, qui passe nécessairement par la diffusion de l'information auprès de la population.

Pour être efficaces, les décisions et mécanismes que nous promouvons doivent placer les citoyens en leur centre. Je pense notamment à la planification participative. Si nous voulons, par exemple, que nos villes soient durables, celles-ci doivent être conçues avec cette idée à l'esprit. Seuls les citoyens connaissent l'utilisation qu'ils vont faire de leur ville ; c'est pourquoi il faut les placer au cœur de la planification territoriale. Cela me paraît essentiel pour parvenir à la construction de cités durables.

Les citoyens sont aussi les premières victimes des nuisances, ne l'oublions pas. Ils sont, par exemple, exposés au bruit des éoliennes : il faut prendre cela en considération et travailler main dans la main avec eux pour trouver une solution, qui peut passer par un système d'indemnisation.

La question de l'appropriation des technologies est également un point important. Plusieurs intervenants ont évoqué aujourd'hui les expériences de compteurs intelligents et souligné que certains usagers s'y opposaient, craignant la divulgation de données privées. Or on peut éviter ce genre d'écueil si l'on communique davantage en amont.

Il en va de même pour les mesures politiques, dont certaines ne peuvent fonctionner sans une adhésion de la part des citoyens. Elles peuvent être améliorées et rendues plus robustes simplement en communiquant avec la population.

Au Danemark, nous avons, par exemple, mis en place une politique visant à installer des panneaux solaires sur les maisons. Cela n'a pas fonctionné car les incitations n'étaient pas suffisamment intéressantes pour les particuliers, qui ont estimé qu'il ne leur incombait pas de produire de l'énergie, mais que cela relevait plutôt des grandes entreprises. Les exemples de ce type sont légion.

Je pense, au regard de mon expérience de trois décennies, que la participation citoyenne peut fonctionner si l'on met en place les conditions adéquates. Nous savons, par exemple, comment faire participer les citoyens qui sont un peu à la marge. Il existe pléthore de méthodes sur lesquelles s'appuyer, référencées dans des rapports et expérimentées avec succès dans de nombreux pays, dans des contextes culturels différents.

Si nous possédons les méthodes, nous ne disposons toutefois pas forcément des ressources nécessaires. Si nous voulons vraiment récolter les fruits de cette participation citoyenne, cela requiert, en effet, tout à la fois du temps et de l'argent. Je pense qu'il est essentiel de se poser la question suivante : veut-on vraiment impliquer les citoyens et obtenir leur appui ? Si la réponse à cette double question est positive, alors il va falloir mettre la main à la poche. Il s'agit, à mon sens, d'un élément très important de la décision politique à l'avenir. Si nous décidons de nous engager dans cette voie, il faudra s'en donner les moyens.

L'EXPÉRIENCE MOBIDIX : RETOURS SUR L'EFFICACITÉ DE DIFFÉRENTES MODALITÉS D'IMPLICATION CITOYENNE

M. Alain Rallet, économiste, professeur émérite de sciences économiques, université Paris-Sud. Je vais vous présenter une expérimentation que nous avons menée sur les transformations des comportements de mobilité sur le plateau de Saclay.

Ce plateau, situé à une trentaine de kilomètres au sud de Paris, est une zone *high tech* qui connaît actuellement d'importants problèmes de congestion. L'offre de transports y est, en effet, particulièrement déficiente, sans espoir d'amélioration dans un proche avenir, alors que 25 000 personnes y travaillent déjà, rejointes dans les prochaines années par 50 000 autres.

La situation semblant bloquée et le mécontentement augmentant, il est apparu nécessaire de trouver des alternatives aux solutions classiques.

Nous avons ainsi essayé de tester sur cette zone la capacité de construire des solutions et des services collectifs, d'améliorer la qualité des déplacements, et de diminuer les problèmes de congestion et de pollution à partir d'interactions

individuelles. Il s'agissait, en fait, de voir dans quelle mesure l'agrégation de petits gestes individuels pouvait se transformer en une solution collective.

Il est tout d'abord apparu nécessaire de changer nos représentations. Cet aspect est extrêmement important. Dans le discours actuel sur les villes intelligentes ou *smart cities*, la ville est proposée comme un système de flux qu'il s'agit d'optimiser, grâce à la technologie numérique : des capteurs sont ainsi disposés un peu partout dans les zones urbaines et permettent, par l'intermédiaire d'une capacité de traitement de *big data*, d'adresser aux individus des prescriptions de navigation, dans une vision quelque peu orwellienne. Dans ce discours, les individus n'ont qu'un rôle passif. Ils sont avant tout considérés comme des sources de problèmes, des créateurs d'externalités négatives qu'il s'agit de discipliner par des systèmes de taxes ou des règlementations.

Nous proposons de passer de cette vision à une autre, qui est celle des citoyens intelligents ou « *smart citizens* ». L'idée n'est plus alors de rendre intelligents les systèmes d'informations mais bien les individus, c'est-à-dire de leur donner la capacité d'interagir de façon à améliorer la qualité des déplacements, grâce à leur coordination. La technologie le permet, notamment par l'intermédiaire des plateformes numériques. Le principal problème rencontré alors est celui de l'impuissance collective : les individus aimeraient améliorer la qualité de leurs déplacements et contribuer à la réduction de la congestion et de la pollution mais, ne sachant pas comment faire, ils se résignent individuellement et apparaissent comme des êtres passifs alors même qu'ils ne le sont pas.

Le nœud de la question est donc de parvenir à surmonter ce sentiment d'impuissance collective. Nous avons, pour ce faire, décidé de tester différents dispositifs, grâce à une application que nous avons développée sur *smartphones* et sur ordinateurs afin d'éviter les biais technologiques.

Nous avons recruté cent cinquante participants et leur avons demandé de nous indiquer pendant un mois les gestes individuels qu'ils effectuaient au quotidien, parmi ces trois propositions : être pris en voiture par quelqu'un ou prendre quelqu'un en voiture, décaler ses horaires de quinze minutes dans un sens ou dans l'autre, changer de mode de transport. Ils devaient en outre, grâce à des *smileys*, indiquer pour chaque geste la qualité de leur déplacement telle qu'ils la ressentent sur une échelle de 1 à 5.

Grâce à cette application, nous avons pu mesurer l'efficacité de certaines incitations sur l'activité de déclaration. Nous avons notamment testé l'impact de la capacité à mesurer la valeur collective dégagée par ces gestes individuels. Sur de courts trajets, chaque geste n'a que peu de valeur : prendre quelqu'un dans sa voiture correspond à un gain de deux ou trois euros. Mais, l'agrégation de ces petits gestes dégage pourtant une grande valeur collective qui, si l'on est capable de la mesurer et de l'adresser en retour aux individus, peut les inciter à développer leurs gestes individuels. Il s'agit en fait d'une sorte de quantification du collectif ou « *quantified commons* » - par opposition à la quantification de soi ou

« *quantified self* ». Nous avons testé cela à travers deux indicateurs : un concernant l'économie de CO₂ réalisée, l'autre la qualité des déplacements ressentie collectivement sur le plateau de Saclay. Cela s'est avéré très efficace : chaque fois que nous avons introduit ce genre d'incitation, nous avons constaté une augmentation immédiate de l'activité sur la plateforme.

Nous avons également testé des incitations individuelles, sous forme, par exemple, d'un nombre de points gagnés par la déclaration de tel ou tel geste : cela n'a eu aucune efficacité.

Nous avons, en outre, introduit la compétition interindividuelle : « vous êtes cette semaine 31^{ème} en termes de déclaration de gestes individuels sur le plateau de Saclay ». L'effet de cette mesure a été catastrophique puisque cela a fait diminuer l'activité de façon extrêmement importante.

Nous avons, par ailleurs, introduit des effets de groupe, en donnant des résultats par entreprise, par exemple, ce qui s'est traduit par une augmentation très importante de l'activité.

Nous avons enfin testé des incitations monétaires (les premiers gagnant 150 euros, les autres 50 euros, *etc.*), qui ont eu un effet très délétère.

Il s'agissait là, pour certains, d'effets attendus. Ainsi, il a été largement montré, à de nombreuses reprises, que le fait d'introduire dans un cadre coopératif des éléments de compétition interindividuelle ou des incitations monétaires diminuait très fortement l'implication des individus.

Nous avons, en outre, constaté que les dispositifs ayant le mieux fonctionné concernaient la capacité donnée aux individus de mesurer la valeur collective produite par leurs gestes individuels et les effets de groupe, dans une logique de petite communauté reposant sur la confiance et rendant possible les interactions individuelles.

Cet aspect est souvent négligé par les *start-ups* qui développent des applications dans ce domaine et qui, soumises à des contraintes de levées de fonds, visent immédiatement l'audience maximale, noyant ce faisant le cadre de la confiance dans une échelle beaucoup trop large. C'est, selon nous, l'une des raisons fondamentales pour lesquelles ces expériences échouent les unes après les autres.

PROPOS CONCLUSIFS ET PRÉSENTATION DU LIVRE VERT DE L'EPTA

REMARQUES CONCLUSIVES SUR LE RÔLE DE L'OPECST

M. Pierre Laffitte, ancien sénateur, ancien vice-président de l'OPECST. Je tiens tout d'abord à souligner l'organisation remarquable de cette manifestation des trente ans du premier rapport de l'OPECST.

J'en suis d'autant plus heureux que c'est moi qui, le premier, avais évoqué, avec le député Julia, l'expérience de l'*Office of technology assessment*, rapportée de l'un de mes voyages aux États-Unis d'Amérique, à Stanford, Berkeley et Washington. Trois ans plus tard, le député Julia parvenait à mettre cela en œuvre dans notre pays.

Je crois que les travaux menés aujourd'hui constituent un signe évident de la maturité de cette institution. Cela est dû sans aucun doute à la qualité des membres successifs de l'Office parlementaire qui ont, grâce à l'existence de cette instance et au dévouement des personnels mis à leur disposition par le Sénat et l'Assemblée nationale, contribué à développer un dispositif unique, atypique et anarchique (au sens étymologique du terme) dans le système français, autour d'un projet commun, centré sur l'innovation et ses effets sur la société.

Il faut savoir que ces effets ne sont pas, *a priori*, considérés comme positifs. La meilleure preuve en est sans doute que l'innovation n'apparaît pas dans l'évaluation des entreprises et des territoires, où elle est perçue comme diminuant la rentabilité directe, qui est au cœur de l'évaluation.

La prise de pouvoir par la finance à court terme constitue d'ailleurs une catastrophe pour l'économie mondiale et est probablement l'une des causes majeures de nos difficultés, non seulement en 2008 lors de la grande crise des *subprimes*, mais aussi dans le contexte actuel de désaveu des citoyens vis-à-vis de la politique. On estime ainsi que moins de 10 % des jeunes de dix-huit à vingt-huit ans vont aller voter dans deux mois, lors des élections régionales, témoignant d'un recul de la démocratie en France.

Seul l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques peut, à mon sens, remédier à cette situation. La plupart des parlementaires n'ayant pas eu l'occasion de participer aux travaux de l'Office ignorent tout de ce que l'innovation représente et des risques actuels auxquels nous sommes confrontés. Nous disposons pourtant de toutes les possibilités permettant de remédier à ces dangers et l'innovation a, à cet égard, un rôle majeur à jouer.

Pourquoi, par exemple, ne pas faire étudier la possibilité d'un téléphérique allant de Saclay au quartier latin ? Pourquoi cantonne-t-on l'usage des téléphériques urbains aux favelas d'Amérique du Sud, à Medellin notamment, où cela a permis de réduire considérablement l'influence des narcotrafiquants, ou encore à Rio de Janeiro, où cela rapproche les favelas du centre ? Cette possibilité mériterait d'être étudiée. Or, seul un groupe de personnes comme celles réunies au sein de l'Office parlementaire peut lancer une réflexion de ce type.

Je pense de même au danger représenté par le groupe Daech en termes notamment de cybercriminalité. Le réseau électrique et électronique est, en effet, extrêmement sensible à l'attaque cybernétique. La cybercriminalité est actuellement l'un des objets majeurs de préoccupation, aussi bien de la France que de l'Allemagne, qui mènent une opération commune dans le domaine des sociétés d'électronique et d'électricité, visant à développer une recherche conjointe. Il faut pour cela mobiliser largement les personnels scientifiques et technologiques. Un Livre blanc extrêmement détaillé a ainsi été publié sur ce thème dans la *Revue de l'électricité et de l'électronique*. Ce sujet est tellement complexe qu'il est important de fédérer et d'impliquer toutes les compétences disponibles, et en particulier celles de l'Office parlementaire.

Ce ne sont là que deux exemples parmi bien d'autres auxquels nous pourrions penser.

QUELLE CONTRIBUTION DE L'EPTA À L'AGENDA DES RÉOLUTIONS DE LA COP21 ?

M. Jean-Yves Le Déaut, député, président de l'OPECST, président de l'EPTA pour 2015. Nous arrivons au terme de cette réunion, qu'il m'appartient de conclure.

Ce n'était pas un pari facile que d'organiser cet événement, mêlant la célébration d'un anniversaire de l'Office, dont je salue les anciens présidents ici présents, avec une réunion ordinaire de l'EPTA. Je remercie d'ailleurs ici nos collègues, puisque sans le réseau de *l'European Parliamentary Technology Assessment*, nous n'aurions pu rassembler des intervenants de la qualité de ceux que nous avons eu le plaisir d'accueillir aujourd'hui.

Grâce à *PACITA*, et notamment à Lars Klüver, que je remercie très chaleureusement au nom de tous les dirigeants de ces Offices européens, nous avons réussi à inviter des pays européens qui ne participaient pas jusqu'alors à ce réseau et nous ont fait l'honneur d'accepter notre invitation. Je pense notamment à la Bulgarie, l'Estonie, la Lituanie et la Roumanie

Nous étions donc aujourd'hui face à un double défi, qui, me semble-t-il, a été relevé, avec les moyens propres du Parlement et sans appel à des sociétés extérieures.

Grâce à vous toutes et à vous tous, cette réunion a, je le crois, tenu toutes ses promesses et été le siège d'échanges de grande qualité.

Deux cent trente-cinq personnes étaient présentes dans cette enceinte aujourd'hui, dont quatre-vingt-dix-sept se sont exprimées, ce qui constitue une proportion satisfaisante.

Je remercie l'ensemble des participants, et notamment les présidents de Commissions, venus du Parlement européen, du Bundestag, des parlements espagnol, estonien, suédois, britannique ou encore finlandais.

Comme je l'ai indiqué en introduction, cette conférence doit aboutir à des propositions, que nous transmettrons aux négociateurs de la COP21, sous la forme d'un document qui comportera trois parties :

- le Livre vert de l'*EPTA* : seize contributions, en provenance de plusieurs pays, nous sont déjà parvenues dans ce cadre ;

- les actes de ce colloque, qui vont être intégralement retranscrits, en français et en anglais ;

- nous avons enfin travaillé hier sur les bases d'une conclusion, qui vont vous être transmises afin que vous puissiez les enrichir de vos remarques, que nous pourrions joindre à ce document.

Il serait fastidieux de vous exposer ici l'ensemble des points de ce document. Aussi vais-je simplement commenter certains d'entre eux, qui nous semblent particulièrement importants.

Les premières observations sont fondées sur une remarque formulée par M. Jean Jouzel au regard des enseignements tirés du rapport sur les pluies acides. Je crois que nous sommes tous d'accord sur le fait que l'innovation doit être au cœur de la politique de lutte contre les changements climatiques. Il n'est bien évidemment pas question de prétendre que l'innovation et la technologie sont, à elles seules, susceptibles de résoudre l'ensemble des problèmes qui se posent à nous. Il y faut également de l'innovation sociale et de l'innovation politique. Pour autant, il faut se méfier d'une déviance du monde politique qui, à un moment donné, traite mal les sujets qu'il ne connaît pas.

Il peut exister certains risques liés aux technologies. C'est précisément le rôle de l'évaluation technologique que de les souligner, tout comme il lui appartient de mettre en lumière les technologies qu'il est possible d'utiliser efficacement.

La présence de CO₂ dans l'atmosphère est un phénomène à constante de temps longue. Il s'agit donc d'ancrer l'objectif de réduction des émissions de CO₂ dans le fonctionnement même de nos infrastructures techniques fondamentales. Il faut faire évoluer notre environnement technologique, pour le remplacer par un

environnement moins émetteur de dioxyde de carbone. En effet, tout l'effort de lutte contre l'intensification de l'effet de serre ne saurait dépendre uniquement des politiques directes de contrôle, auquel cas il risquerait fort de se retrouver mis en cause par le moindre relâchement, toujours possible dans l'avenir, sur un modèle similaire à celui de l'« effet rebond » pour la consommation énergétique du secteur du bâtiment.

Bien évidemment, la question des relations entre pays du Nord et du Sud est majeure dans ce contexte. Il n'existe pas de solution universelle, applicable indistinctement à tous les pays.

En conséquence, notre première recommandation sera de réserver à l'innovation, dans la politique de lutte contre le changement climatique, une place de premier rang, et non pas celle d'une variable d'ajustement.

L'exemple des pluies acides le montre fort bien, dans lequel la prise de conscience a permis une lutte efficace contre ce phénomène.

Permettez-moi de revenir partiellement sur le détail, notamment rédactionnel, des premières propositions que nous entendons formuler et joindre au Livre vert de l'*EPTA* et aux actes de ce colloque.

Nous avons ainsi retenu d'une part l'intitulé *Considérations issues des débats de la conférence*, d'autre part le terme « options » pour les sous-titres, afin d'éviter le caractère impératif du mot « recommandations », dans la mesure où nous n'avons pas ici pouvoir de nos Parlements pour émettre des recommandations.

Nous avons également insisté dans l'intitulé sur le fait que ces considérations étaient issues des débats de cette journée, afin de ne pas mettre nos collègues en porte-à-faux et de les exonérer d'un engagement personnel pour lequel ils n'auraient été mandatés.

À partir de là, nos propositions pourraient se regrouper en trois catégories :

- les options de politique générale ;
- les options techniques générales ;
- les options techniques sectorielles.

Concernant les options de politique générale, nous souhaitons placer le soutien à l'innovation technologique au cœur de la stratégie de lutte contre les changements climatiques, en parallèle, bien évidemment, avec les autres formes d'innovation, en vue de rendre définitivement les infrastructures techniques de la société moins émettrices de gaz à effet de serre. Cela suppose un couplage systématique de mesures contraignantes – par exemple, l'interdiction de circulation – avec des dispositions procurant des avantages, et une incitation à développer des solutions de substitution.

Il convient également de promouvoir des mesures visant à changer certaines pratiques de gestion, afin de lutter contre les changements climatiques.

Le troisième élément consiste à maintenir un large éventail de pistes de recherche pour les techniques permettant de progresser dans la lutte contre les émissions de CO₂, ainsi que l'ont souligné lors de nos débats les différents présidents d'organismes de recherche français et étrangers, que je remercie de leur présence et de leurs contributions. Cela doit permettre d'explorer l'ensemble des possibilités et d'augmenter ainsi la probabilité de faire émerger de nouvelles solutions.

Il convient, en outre, d'encourager les Parlements à évaluer les pistes technologiques, *via* l'évaluation technologique, aujourd'hui parvenu à maturité, en prenant en compte les émissions de CO₂ sur l'ensemble du cycle de vie, de manière à utiliser les ressources allouées de la façon la plus efficace possible.

Il faut, par ailleurs, veiller, à travers les conditions du soutien public, à ce que tout effort pour développer une technologie contribuant à la diminution des émissions de CO₂ soit associé d'emblée à une meilleure implication des utilisateurs. Cela renvoie évidemment au thème de notre quatrième table ronde.

Il importe également d'allouer un minimum de moyens aux politiques d'adaptation et, enfin, d'accorder une priorité à la mise au point de méthodes de mesure de la performance, à la fois pour la consommation énergétique et pour les émissions de CO₂, dans la lutte contre la pollution.

À cela, s'ajoutent des options techniques générales, que vous retrouverez détaillées dans le document qui vous a été distribué. J'insiste sur le fait qu'il ne s'agit pas là du document définitif. L'idée est que ce texte fasse l'objet d'allers-retours entre nous, pour parvenir à un document final.

Nous avons, enfin, défini des options techniques par secteur (bâtiment, agriculture, transport) ainsi que dans le domaine de l'implication citoyenne.

Ce texte reproduit globalement ce qui a été dit aujourd'hui et proposé dans le cadre des différentes contributions. Bien que perfectible, il présente déjà à nos yeux l'énorme mérite d'exister. C'est par conséquent ce document que je vous demande d'adopter globalement, dans les conditions que j'ai indiquées, pour clôturer cette conférence, en vous remerciant une nouvelle fois, toutes et tous, d'y avoir participé.

ANNEXES

**ANNEXE 1 :
INTERVENTION DE M. JEAN-LOUP BERTEZ,
PRÉSIDENT DE L'ALLIANCE POUR LA BIODIVERSITÉ, LE CLIMAT
ET LA DURABILITÉ DANS LES ALPES**



Jeudi 24 septembre 2015

Jean-Loup BERTEZ (contact@abcd-alpes.com)

*Innovation & changement cli-
matique : l'apport de l'évaluation scientifique
& technologique*

Mobilités de Proximité, l'option Personal Rapid Transit

S'il a besoin d'être « en site propre » pour s'imposer avec succès comme alternative efficace à la voiture individuelle, le « transport public partagé » n'a pas forcément besoin d'être « en commun ».

Si les solutions conventionnelles de ramassage collectif indifférencié (métro, tramway, bus) concurrencent avec succès l'automobile dans beaucoup de configurations territoriales, dans certains cas elles laissent des « vides d'offre » béants ... aucune solution ne peut prétendre à l'universalité.

Peu connu en France bien qu'imaginé chez nous (c'est un lointain héritier de l'Aramis de Matra, qui l'a développé dans les années 1960 à 1980), le Personal Rapid Transit (PRT) est une réponse de choix à ces deux enjeux.

Il s'agit d'une solution de transport public partagé en site propre, relevant de l'approche dite « Transport à la Demande » (c'est son originalité et son apport majeurs), techniquement fondée sur la mise en œuvre de véhicules électriques légers, de petit-gabarit, automatiques & guidés.

Au plan mondial, on en compte seulement une demi-douzaine de réalisations ... c'est un marché en phase d'émergence, sur lequel il n'y a encore aucun acteur industriel dominant ni important : les quelques acteurs du métier sont des PME (Suède, Royaume-Uni, Pays-Bas, Corée du Sud, Autriche). Au plan institutionnel, le seul pays un peu actif est la Suède : on y recense actuellement plusieurs projets, dont un réseau de 470 km dans la région de Stockholm.

Métro, tramway, bus : les offres de ramassage collectif indifférencié sont cadencées par l'exploitant ... inversement, offre de « Transport à la Demande », le PRT est cadencé par l'utilisateur.

Cette originalité le rend viable là où les solutions plus conventionnelles ne le sont pas : les territoires où la demande de déplacements n'est pas assez continue et élevée dans le temps pour justifier des moyens lourds circulant en permanence.

Le terrain d'élection du PRT est un marché d'avenir, encore peu défriché : les agglomérations moyennes, les périphéries peu denses ou discontinues, les territoires contraints (exigus, accidentés, *etc.*), voire même les lignes de chemin de fer secondaires, menacées d'abandon, en raison du coût de moyens lourds trop peu utilisés ... le PRT complète idéalement les solutions conventionnelles.

En regard de cette opportunité d'avenir, la France a des atouts et des compétences à faire valoir, notamment, et sans prétention à l'exhaustivité :

- Pour développer cette réponse innovante de mobilité durable, nous avons le « Programme d'Investissements d'Avenir (PIA) », doté dans son volet « Ville de Demain » d'une enveloppe substantielle, encore largement inutilisée, dédiée aux « mobilités durables » ;

- Pour l'intelligence de pilotage du réseau, un leader technologique mondial, THALÈS, avec sa technologie CBTC, en cours de déploiement sur le plus ancien PRT du monde (1975) ;

- Pour les batteries et les véhicules, BOLLORÉ et LIGIER ... le second a développé son VIPA (« Véhicule Individuel Public Autonome ») à la faveur du PIA précité ;

- Pour créer l'infrastructure du réseau, les compétences à mobiliser (génie civil et charpente métallique) sont standard : l'infrastructure peut se réaliser avec de l'emploi local

- Pour conduire les projets, il ne manque qu'un ensemblier, à la façon de Pomagalski pour le câble ... pourquoi pas la SNCF, dont le président vient de marquer son intérêt pour les « systèmes de métro léger » et qui a beaucoup de lignes secondaires en quête d'avenir ?

Nous avons même un territoire test, la Cluse du Lac d'Annecy, pour laquelle une pré-étude assortie d'une simulation fonctionnelle encourageante est disponible (un réseau de 65 km).

Pouvons-nous nous permettre de ne pas explorer cette opportunité d'avenir ?



Le Personal Rapid Transit (PRT) est une solution de transport public partagé en site propre, relevant de l'approche dite « Transport à la Demande » (c'est son originalité et son apport majeurs).

Concrètement :

- En apparence, le PRT se présente un peu comme un micro métro : de petits véhicules (4 à 8 places), électriques, automatiques et guidés, circulant sur une infrastructure légère dédiée (en général hors sol)

- Mais fonctionnellement, le PRT s'inspire de l'ascenseur ... à la station, vous appelez un véhicule, il s'approche, vous charge sur une voie latérale, puis vous conduit directement à votre destination, sans arrêt, même en cas de changement de ligne : c'est ce qui fait sa rapidité.

- Et pour vous assurer des temps d'attente très courts à la station, moins d'une minute, des véhicules libres stationnent dans une série de dépôts répartis sur le réseau.

ANNEXE 2 : INTERVENTION DE M. PIERRE-RENÉ BAUQUIS, ANCIEN DIRECTEUR STRATÉGIE ET PLANIFICATION DE TOTAL

Transports et mobilité durable : quelles énergies pour quelles motorisations ?

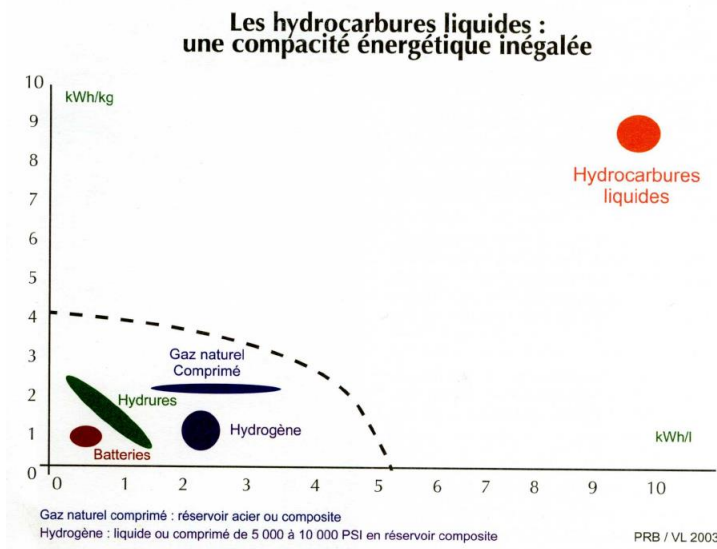
Notre exposé portera sur les seuls transports automobiles. Les transports maritimes et aériens ne seront évoqués que dans la conclusion.

La question clef concernant l'avenir des transports routiers est celle du choix de la source d'énergie embarquée à bord, le choix de la motorisation en découlant.

La question est donc avant tout une question d'économie énergétique, et de façon plus annexe une question de motoriste.

Cette question d'économie énergétique possède deux aspects : l'économie au sens traditionnel, c'est-à-dire le coût de la solution retenue, et son aspect environnemental : quelles émissions de CO₂ et quelles émissions polluantes (NOx, particules, etc.)

Avant de vous donner mes conclusions concernant cette question, conclusions qui n'ont pas changé depuis que j'ai publié à l'Institut Français du Pétrole un long article sur ce sujet en 2004 – article republié dans une plaquette de l'OVE (Observatoire du Véhicule d'Entreprise) en Juillet 2008 ⁽¹⁾ – je vous montrerai un seul graphique, car il est à mes yeux fondamental.



(1) Pierre-René Bauquis – Observatoire du Véhicule d'Entreprise – Les cahiers verts de l'OVE – Quelles énergies pour les transports au XXI^e siècle ?⁽¹⁾

La réponse à la question « Quelles « énergies pour quelles motorisations », jusqu'en 1990, date symbolique de l'émergence de la question du changement climatique anthropique dans la sphère publique, était simple et sans appel. Le couple des carburants pétroliers liquides marié au moteur à combustion (essence ou diesel) l'emportait de loin sur toutes les autres solutions, qui n'avaient d'intérêt éventuel que pour quelques micro-niches.

Depuis 1990, la question se trouve profondément modifiée. L'objectif prioritaire devient de diminuer le plus rapidement possible les émissions de CO₂ du transport routier (et des autres modes de transport) et de diminuer les pollutions de proximité (NOx, particules, *etc.*) surtout en zones urbaines.

La réduction maximum des consommations des véhicules traditionnels (allègement des véhicules, efficacité accrue des motorisations, limitation des performances, *etc.*) permettra de résoudre la moitié de la question en divisant par deux les consommations moyennes. Pour faire simple, un véhicule moyen qui en l'an 2000 consommait 6 litres aux 100 kilomètres consommera sans doute trois litres aux cent kilomètres en 2020-2030.

Mais face à la croissance des parcs en Chine, Inde, Afrique ou autres, cette division par deux est insuffisante, et il nous faudra aller beaucoup plus loin, en substituant d'autres énergies aux carburants pétroliers. Dans ce processus de substitution, il n'y a que deux concurrents sérieux : l'électricité et l'hydrogène.

Après beaucoup de temps passé à les comparer, ma conclusion est que l'un de ces deux concurrents n'est en fait pas sérieux. Il s'agit de l'hydrogène, alors que l'autre, l'électricité, nous offre la seule voie d'avenir à grande échelle.

Nous allons donc dire quelques mots de chacun, en commençant par celui qui n'offre à notre avis que peu d'intérêt, même à long terme, pour un développement à grande échelle. Il pourrait offrir un intérêt à très long terme, si nous disposions de quantités stables et massives d'électricité non carbonée très bon marché.

L'hydrogène

C'est le type même de la « fausse bonne solution », bien que le premier brevet de moteur à combustion interne (de Rivaz-Genève-1804) ait été celui d'un moteur à hydrogène.

Depuis une trentaine d'années, le mythe a été remis au goût du jour par de grands producteurs d'automobiles (BMW et Mercedes dans les années 1990) et aujourd'hui, avec la combinaison H2 haute pression + PAC (Pile à combustible) du véhicule Mirai de Toyota (prix moyen : 75 000 euros, prix de revient de l'ordre du double).

Or Toyota est le groupe qui a fait le plus progresser l'industrie automobile vers les « solutions vertes » avec le lancement en 1997 de la PRIUS, ce qui donne une très forte crédibilité à leurs capacités technologiques.

On peut citer à titre anecdotique la petite Hy Kangoo de Renault.

On peut également citer les groupes prestigieux accompagnant cette solution en se faisant les promoteurs de l'hydrogène Energie (Air Liquide en France) ou en construisant les stations de chargement d'hydrogène, liquide ou hyperbare (dont Total).

⇒ Pourquoi l'hydrogène est-il une « fausse bonne solution » ? Ceci est lié à quatre facteurs essentiels :

1. **Très cher à produire** : ... sauf si on part d'hydrocarbures ! ce qui est un cycle absurde au plan des émissions de CO₂, sauf à supposer que la capture et le stockage du CO₂ puissent déboucher au plan économique à grande échelle. Or ce cas suppose que le problème de l'effet de serre anthropique est déjà résolu....

De plus, l'hydrogène produit par reformage (à partir d'hydrocarbures) n'a pas la pureté nécessaire pour être utilisée dans des PAC. Il faudra donc produire l'hydrogène véhicule par électrolyse de l'eau, procédé beaucoup plus cher.

2. **Très cher à transporter** : son coût de transport est d'environ dix fois celui du transport de carburants pétroliers, qu'il s'agisse de transport massif ou capillaire. Ceci est vrai aujourd'hui, mais l'était aussi en 1900 et le sera encore en 2100 : les lois de la thermodynamique ne se modifient pas par le progrès technique.
3. **Très cher à stocker dans les véhicules** : la masse d'hydrogène par rapport à celle du « système réservoir » est de l'ordre de 4 à 5 %. La « Toyota » Mirai vient de légèrement dépasser ce chiffre avec 5,5 % au prix d'un effort technologique considérable.
4. **Très cher à convertir en électricité** : malgré de remarquable progrès (là aussi illustrés par la Mirai), les piles à combustibles resteront des systèmes complexes et chers. Il faudrait pouvoir diviser par un facteur 10 les coûts actuels pour produire des véhicules à un prix acceptable par les consommateurs.

Face à ces quatre facteurs négatifs, un seul facteur positif : le rendement d'une motorisation électrique, qui est bien supérieur à une motorisation type moteur à combustion. Cette différence ne suffit malheureusement pas à compenser au plan économique les quatre facteurs précédents.

Enfin les véhicules à hydrogène posent de redoutables questions de sécurité, que l'hydrogène soit à l'état liquide cryogénique ou à l'état gazeux hyperbare. Disant cela je ne fais pas allusion au fait qu'étant la plus petite des molécules, l'hydrogène a une fâcheuse tendance à se faufiler dans les plus petits interstices.

Je fais allusion à des choses plus pratiques, qui seraient liées à une éventuelle utilisation à grande échelle de véhicules à hydrogène. Si celui-ci est liquide, se pose la question de son boil off, c'est-à-dire du maintien obligatoire de l'évaporation d'une faible quantité du contenu du réservoir pour le maintenir à la température de liquéfaction (-253°C). Cette contrainte exclut les véhicules à hydrogène liquide de tous les parkings publics ou privés, sauf s'ils ont été spécialement conçus pour ces véhicules, ce qui n'est pas réaliste.

Quant aux véhicules à hydrogène sous haute pression (de 350 bars pour L'Hy Kangoo à 700 bars pour la Mirai), ce seraient des « bombes potentielles » face aux fâcheuses habitudes de certains manifestants d'incendier des voitures pour marquer leur mécontentement.

Alors, y-a-t-il une bonne solution pour assurer une substitution efficace des carburants pétroliers en réduisant fortement les émissions de CO₂ des véhicules ? Oui, et c'est l'électricité, mais à la condition fondamentale que celle-ci soit très peu ou pas du tout « carbonée ».

L'électricité

On oublie parfois que ce n'est qu'à partir de 1895-1900 que les voitures à pétrole sont devenues dominantes par rapport aux voitures électriques. De 1900 à nos jours, ces dernières ont été cantonnées à quelques niches étroites. La pénétration à grande échelle de l'électricité dans le secteur automobile semble actuellement opposer deux écoles : les partisans du véhicule tout électrique, et les partisans des véhicules mixtes électricité-pétrole.

Curieusement c'est un véhicule hybride, mais mono-énergie pétrole, la TOYOTA Prius déjà mentionnée, qui en 1997 a rouvert le champ des possibilités d'introduction de l'électricité dans les automobiles. L'idée de l'hybridation est ancienne, mais c'est sa réalisation à un coût abordable et avec une excellente fiabilité qui constitua la véritable révolution apportée par la Prius. Avant 1997, un véhicule était soit à pétrole soit électrique ; depuis cette date s'ouvre une troisième voie : celle de la mixité ou hybridation véritable. Avant de donner notre point de vue sur la compétition ou la complémentarité entre les voitures électriques et les hybrides rechargeables, rappelons la supériorité de ces deux solutions par rapport aux véhicules à hydrogène et piles à combustible.

Cette supériorité peut se résumer simplement. Pour un véhicule à hydrogène produit par électrolyse, il faut environ 35 Kwh pour 100 km (ce qui correspond à 1 kg d'hydrogène aux 100 km). Pour un véhicule électrique de taille

et masse identique, il faut moins de 15 Kwh pour 100 km, soit 2 à 3 fois moins d'électricité.

Le rendement énergétique de la filière « électricité → hydrogène → Pile à Combustible », est deux à trois fois inférieur à celui d'un véhicule électrique.

Ceci sans compter tous les handicaps durables de l'hydrogène liquéfié ou hyperbare déjà mentionnés.

Il nous reste à comparer les deux voies de pénétration de l'électricité dans l'automobile.

Le résultat de cette comparaison se résume simplement : ce n'est pas l'une ou l'autre mais l'une et l'autre.

Les véhicules tout-électriques devraient occuper les marchés spécifiques de flotte dédiées aux zones urbaines et périurbaines pour les voitures particulières) ou les véhicules utilitaires légers avec une autonomie de 150 à 200 km. En France, cette voie est désormais ouverte à une large échelle par le groupe Bolloré avec les AUTOLIB. Des centaines de modèles de véhicules tout-électriques existent de par le monde. Leurs avantages sont clairs : d'une part un très bon rendement énergétique, d'autre part zéro pétrole et donc zéro émissions de CO₂ si l'électricité utilisée est non carbonée.

Vouloir étendre ce domaine d'utilisation est à notre avis un contre-sens économique, sauf en ce qui concerne des véhicules haut de gamme pour clientèle fortunée. Sur le plan technique, on peut en effet étendre l'autonomie des véhicules tout-électriques à 500 km et pourquoi pas demain à 1 000 km : cette niche a été ouverte par TESLA aux États-Unis ; Porsche et Audi vont y entrer avec des véhicules de 400 à 600 chevaux de puissance. Ce marché des voitures grandes routières électriques doit rester de petite taille (le marché des Ferrari ou Rolls Royce) pour fonctionner : la question de la recharge lors des grandes migrations routières deviendrait très problématique si cette solution devenait dominante, même si un rechargement des batteries en dix minutes était possible.

L'hybride rechargeable devrait par contre offrir un marché très large, couvrant en fait l'ensemble des véhicules particuliers et véhicules utilitaires légers en dehors des marchés pour lesquels les véhicules tout-électriques sont bien adaptés. Ces hybrides ont l'inconvénient d'émettre du CO₂, mais peu. Ainsi une berline familiale tout pétrole consommant en 2020 4 litres aux 100 km pourrait voir sa consommation passer à 3 litres aux 100 km en 2030 par simple progrès technologiques incrémentaux. Par contre, avec des voitures hybrides rechargeables ayant une autonomie électrique de 150 à 200 km, on verrait la consommation moyenne de ces mêmes berlines passer à 1,5 ou même 1 litre aux 100 km. C'est à nouveau Toyota qui aura ouvert cette voie à l'échelle industrielle, avec l'introduction en 2010 de sa Prius rechargeable. Début septembre 2015, BMW a

annoncé au salon de Francfort qu'il proposerait cette solution sur l'ensemble de sa gamme dès 2016-2017.

La très forte baisse des consommations apportée par les hybrides rechargeables constituerait déjà à elle seule un progrès considérable. De plus, la production en masse de ce type de véhicule pourrait offrir des avantages majeurs dans le cadre des systèmes énergétiques et électriques du futur.

En effet, étant biénergies ils peuvent aider à faire face aux crises touchant soit le pétrole soit l'électricité. Mais surtout, les gestionnaires des réseaux électriques disposeraient ainsi d'un outil puissant de régulation de la demande électrique, et accessoirement de l'offre. Ces hybrides rechargeables pourraient en effet être effacées (on interrompt l'alimentation électrique des bornes de rechargement) en période de pointe de consommation électrique, qui sont tout à la fois des pointes de coûts, de prix, et d'émission de CO₂ pour la génération électrique.

Cette possibilité n'est naturellement pas applicable aux flottes de véhicules tout électriques : on voit mal comment interrompre le rechargement des AUTOLIB ou des VU légers de livraison alimentant en bout de chaîne des magasins. De plus, en période de pénurie temporaire les gestionnaires de réseaux pourraient même « tirer » une partie de l'électricité stockée dans les batteries des véhicules hybrides rechargeables sans que ceux-ci se retrouvent immobilisés. Ces avantages constituent à nos yeux la clé pour l'introduction d'un stockage massif et économique de l'électricité en bout des réseaux, que ceux-ci soient centralisés ou décentralisés.

Le parallèle avec les « cumulus » pour le stockage d'électricité en bout de réseau dans le logement, sous forme de chaleur, montre bien l'avantage d'un stockage en batterie : celui-ci est réversible, alors qu'un cumulus ne peut restituer de l'électricité.

Le potentiel de régulation apporté aux systèmes électriques par les véhicules hybrides rechargeables nous paraît très supérieur, tant au plan quantitatif qu'au plan économique, aux solutions visant à stocker des excédents passagers d'électricité sous forme d'hydrogène ou de gaz à synthèse pour les restituer ensuite sous forme électrique pour faire face à des pointes de demande. Il s'agit là de cycles techniquement tout à fait réalisables mais qui constituent un non-sens au plan économique.

Conclusion

La révolution d'une mobilité durable, c'est-à-dire assurée en émettant peu ou pas de gaz à effet de serre, passe essentiellement par une pénétration massive d'électricité non carbonée comme source d'énergie dans les transports routiers.

Cependant cette révolution affectera essentiellement les voitures particulières et les utilitaires légers.

En ce qui concerne les transports routiers par camions, la pénétration de l'électricité devrait y rester beaucoup plus limitée sauf avancées majeures dans le domaine des batteries.

Pour ces véhicules, le gaz naturel pourrait apporter une contribution à la baisse de leurs émissions, tant de leurs GES que de particules. Cette pénétration du gaz se ferait soit sous forme de GNV (Gaz Naturel Véhicule comprimé) pour certains marchés. Le GNL (Gaz Naturel Liquéfié) pourrait quant à lui avoir un impact important sur l'économie des flottes de camions routiers. Le GNL trouvera aussi de larges débouchés dans les transports maritimes.

Quant aux transports aériens, la question du recours à des carburants non pétroliers ne se posera probablement pas avant les dernières décennies du XXI^e siècle. Quand ce problème deviendra une réalité et seulement alors, il conviendra de choisir entre kérosènes de synthèse d'origines différentes) (BTK ⁽¹⁾, CTK ⁽²⁾, GTK ⁽³⁾ et HTK ⁽⁴⁾), hydrogène liquide, GNL... ou même électricité stockée à bord.

Ce n'est pas parce qu'on a déjà fait voler des avions à l'hydrogène liquide, au gaz naturel liquéfié, au bio-kérosène (BTK), à l'électricité (Turbofan d'Airbus) que le problème se pose aujourd'hui.

Toutes ces possibilités existent mais elles demeureront hors du champ de la compétitivité économique face au kérosène pétrolier pour une cinquantaine d'années au moins. Ceci resterait vrai même en affectant un coût très élevé aux émissions de CO₂, se chiffrant en centaine de dollars par tonne.

(1) *Biomass to Kerosene.*

(2) *Coal to Kerosene.*

(3) *Gas to Kerosene.*

(4) *Hydrogen to Kerosene.*

ANNEXE 3 : INTERVENTION DE LA COMMISSION NATIONALE DU DÉBAT PUBLIC

Le débat citoyen planétaire : une méthode participative innovante pour favoriser l'implication des citoyens dans la gestion des technologies intelligentes. (Intervention de Madame Françoise Lavarde, Secrétaire générale de la CNDP).

Plusieurs participants à la table ronde, notamment Madame Peters et Monsieur Touchais, ont rappelé l'importance de la participation des citoyens dans l'élaboration et la mise en œuvre des technologies intelligentes susceptibles d'apporter des réponses efficaces aux enjeux du changement climatique. On ne peut toutefois pas sous-estimer les difficultés méthodologiques, soulignées par Messieurs Bronner et Klein dans leurs interventions.

En charge, depuis plus de dix ans, d'organiser des débats publics sur des grands projets d'infrastructure ou sur des options générales, la Commission nationale du débat public (CNDP) expérimente régulièrement de nouvelles méthodes.

En préparation à la COP21, elle a souhaité, en partenariat avec le secrétariat de la convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC), le Danish Board of Technology et la société Missions Publiques, consulter les citoyens du monde sur les cinq thématiques de la COP21 :

- L'importance de lutter contre le changement climatique
- Les outils pour lutter contre le changement climatique
- Les négociations des Nations unies et les engagements nationaux
- L'équité et le partage des efforts
- Faire des promesses en faveur du climat et les tenir

C'est ainsi que le 6 juin 2015, dans le cadre du World Wide Views on Climate and Energy, 10 000 citoyens ont participé simultanément à 97 débats organisés dans 76 pays, la plus grande consultation citoyenne jamais organisée. Les citoyens ont émis leur avis après une phase de débat animé par des professionnels et en se fondant sur une documentation pédagogique, papier et vidéos, spécialement élaborée pour cet événement en mobilisant les experts mondiaux du changement climatique. Tous les détails méthodologiques et les résultats peuvent être obtenus sur le site de l'événement (climateandenergy.wvviews.org) ou sur le portail de la CNDP (www.debatpublic.fr).

Les résultats obtenus, synthétisés ci-après, sont remarquables à plus d'un titre, notamment parce qu'ils battent en brèche certaines idées préconçues.

1. Deux citoyens sur trois considèrent que les mesures pour lutter contre le changement climatique sont une opportunité pour améliorer notre qualité de vie. Ce résultat vient contester l'idée, répandue dans de nombreux pays, selon laquelle les citoyens ne seraient pas prêts à prendre des mesures ambitieuses, ce qui fait hésiter les gouvernements au moment de devoir prendre de telles mesures.

2. 88 % des citoyens sont favorables à une taxe carbone dont la majorité souhaite que celle-ci soit appliquée à tous les pays, mais avec des coûts plus élevés pour les pays qui ne réduisent pas leurs émissions.

3. Les programmes éducatifs sont pour 78 % des citoyens, l'outil privilégié pour lutter contre le changement climatique.

4. 79 % des citoyens considèrent que leur pays devrait prendre des mesures afin de réduire ses émissions de gaz même si les autres pays n'en prennent pas.

5. Un accord à Paris devrait comporter un objectif mondial à long terme, pour arriver à zéro émission de gaz à effet de serre à la fin du siècle, juridiquement contraignant pour tous les pays pour 68 % des citoyens du monde ; les pays en développement et les pays développés étant au même niveau.

Par ailleurs, 78 % des citoyens se sentent très concernés par le changement climatique. Ils sont 87 % dans les pays insulaires et 82 % en Afrique. Même si la volonté d'agir est parfois plus prononcée dans les pays où les effets du changement climatique sont plus lourds, il est en effet intéressant de remarquer que sur l'ensemble des questions, on observe très peu de différences entre les réponses données par les participants des pays en développement et ceux des pays développés.

Cette méthodologie a fait la preuve de son efficacité dans la mobilisation de tous les publics, y compris les femmes, les publics défavorisés ou maîtrisant mal l'écrit et elle apporte également des réponses à certains biais méthodologiques rencontrés dans les processus participatifs plus classiques. Moyennant certaines évolutions, elle pourrait valablement être utilisée dans les processus participatifs nationaux portant sur les controverses sociotechniques pour lesquelles les débats sont souvent difficiles à conduire.

ANNEXE 4 :
DOCUMENT PRÉSENTÉ PAR MME VALÉRIE MASSON-DELMOTTE,
DIRECTRICE DE RECHERCHE AU LABORATOIRE DES SCIENCES
DU CLIMAT ET DE L'ENVIRONNEMENT (LSCE), CEA,
MEMBRE DU CONSEIL SCIENTIFIQUE DE L'OPECST

*Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques
(OPECST) – 24 septembre 2015*

IDDRI

**La Science et la Technologie au service de
l'adaptation au changement climatique**

Alexandre Magnan *(avec mes remerciements à Valérie Masson-Delmotte)*

Adaptation = Résilience + Anticipation

au changement
climatique

aux événements
extrêmes

aux changements
environnementaux graduels

**ANNEXE 5 :
DOCUMENTS PRÉSENTÉS PAR MME BRIGITTE VU,
INGÉNIEUR EN EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS**

30 ans OPECST

L'implication du citoyen dans la gestion des technologies intelligentes

Brigitte VU
Ingénieur en efficacité énergétique des bâtiments et ECC UTBM
4, Impasse du Saule
90160 BESSONCOURT
0671263782
batirecort2012@gmail.com

Constats

- Des études réalisées en Europe et en Amérique du nord évaluent les gains en termes de consommation d'énergie entre
 - 5% et 15% si le système de comptage fournit une information directe (affichage sur module ou un portail de consultation)
 - entre 0% et 10% pour des systèmes d'information indirecte (au travers de la facturation)

	Qualité du réseau (temps d'intervention moyen selon ERDF)	Consommation moyenne électrique annuelle
Foyer équipé de compteur communicant électrique	Moins de 24h	6 086 kWh*
Foyer avec un compteur traditionnel	5 jours	6 762 kWh**

Conséquences des Smart grids pour un foyer moyen français (analyse EY)

*Source Planetscope.com, pour la moyenne des foyers français
**Chiffre prévisionnel en estimant une diminution de 10 % de la consommation électrique (EY)

- Le magazine National Geographic et l'institut de sondage Globescan ont évalué 17 000 consommateurs dans 17 pays, 80% des consommateurs réduisent leur consommation pour des raisons financières.
- La mise en place de compteurs indiquant les économies d'énergie générés en Euros ont un impact encore plus importants sur le comportement des usagers surtout dans les logements sociaux (15 à 20% d'économies générées)

Dans l'enquête du CRÉDOC « Conditions de vie et aspirations des Français » menée en juin 2010 (citée en [2]), une question a permis de mesurer les déclarations d'usagers en matière d'économie du chauffage.

Au cours des douze derniers mois, avez-vous volontairement cherché à limiter votre consommation de chauffage dans votre logement?



Dans quel but l'avez-vous fait principalement ?

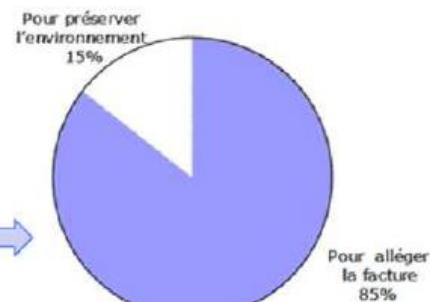


Figure 1 Extrait de l'étude du CREDOC [2]

Comment ?

Obligation de mise en place d'outils

- La mesure comme le comptage sont incontournables tant pour générer des économies d'énergie qu'assurer le confort des occupants.
- La notion de consomm'acteur est devenu incontournable.
- Mise en place d'applications convertissant la consommation réelle en Euros

LIVRE VERT DE L'EPTA

OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Innovation et changement climatique: L'apport de l'évaluation scientifique et technologique

Livre vert présenté par

M. Jean-Yves Le Déaut

Député de Meurthe et Moselle

Président de l'OPECST

Président de l'EPTA pour l'année 2015

Table des matières

Introduction	8
France	10
Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments	10
1. Sur quelle analyse reposent ces rapports ?	10
2. Que propose l'OPECST ?	10
Innovation, transports, mobilité	11
1. Sur quelle analyse repose ce rapport ?	11
2. Que propose l'OPECST ?	12
L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre	13
1. Sur quelle analyse reposent ces rapports ?	13
2. Que propose l'OPECST ?	13
L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes	14
1. Comment analyser l'implication des citoyens dans l'innovation en faveur du changement climatique ?	14
2. Que pourrait proposer l'OPECST ?	15
Allemagne	17
Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments	17
Innovation, transports, mobilité	18
L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre	20
L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes	21
Autriche	23
Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments	23
Innovation, transports, mobilité	24
L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre	26
L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes	27
Catalogne	30
La politique catalane en matière de climat	30
Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments	30
Innovation, transports, mobilité	31
L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre	32

L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes.....	32
Conclusion.....	33
Danemark.....	34
Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments	35
Innovation, transports, mobilité.....	37
L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre	39
L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes.....	41
États-Unis d'Amérique	43
Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments	43
Innovation, transports, mobilité.....	44
L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre	45
L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes.....	47
Finlande.....	48
Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments	48
Innovation, transports, mobilité.....	49
L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre	50
L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes.....	52
Grèce.....	54
Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments	54
1. Le programme « d'économie d'énergie chez soi ».....	54
2. Le programme « Exoikonomo (Save) ».....	54
3. Le programme « Exoikonomo II (Save II) ».....	54
Innovation, transports, mobilité.....	54
L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre	55
L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes.....	55
Conclusion.....	55
Norvège.....	57
Contexte: L'accord norvégien sur le climat	57
Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments	57
1. Une entreprise publique pour l'énergie verte.....	58
2. Maisons passives et zéro émission.....	58
Innovation, transports, mobilité.....	59
1. La Norvège comme un marché précoce pour les véhicules électriques	59

2. « Les villes du futur »: Vers zéro émission.....	60
L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre	60
1. Tracer l'empreinte carbone	60
2. Une stratégie nationale pour la bioéconomie	61
3. Le potentiel des océans	62
Pays-Bas	63
Introduction	63
Les initiatives politiques et les tendances sociétales	63
Les défis.....	64
Les projets actuels d'assistance technique (projets d'évaluation technologique)	64
1. L'innovation pour l'efficacité énergétique des bâtiments.....	64
2. L'innovation pour les transports et les mobilités	65
3. L'innovation pour nourrir le monde avec un minimum de gaz à effet de serre.....	67
4. L'implication des citoyens dans l'utilisation des technologies intelligentes	67
Conclusion	68
Pologne	69
Contexte général	69
Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments	70
Innovation, transports, mobilité.....	70
L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre	71
L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes.....	71
Royaume-Uni	73
Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments	73
1. Construction.....	73
2. Rénovation	74
3. Matériaux et composants	74
Innovation, transports, mobilité.....	74
1. Carburants alternatifs	75
2. Modèles d'utilisation de la voiture	76
3. Sécurité en vélo.....	76
4. Planification et données	76
5. Ticket unique	76
6. Matériaux plus légers	76

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre	77
L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes.....	79
1. Les compteurs intelligents	79
2. Applications Internet pour le transport intelligent	80
Russie.....	81
Innovation, transports, mobilité.....	81
L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre	82
1. La lutte contre le changement climatique mondial: de nouvelles technologies pour l'utilisation des gaz effet de serre	82
2. La production d'hydrocarbures en utilisant les gaz à effet de serre (projet « Synthèse »).....	83
Suède.....	85
Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments	85
1. Rénovation et efficacité énergétique.....	85
2. Une ville intelligente et écologique – l'aménagement du Royal Seaport.....	85
3. Les incitations à l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments.	86
4. Un vaste programmes de recherche dans le domaine du rendement énergétique des bâtiments et au quotidien.	86
Innovation, transports, mobilité.....	86
1. Les initiatives gouvernementales pour réduire l'impact écologique du secteur du transport	87
2. Des programmes stratégiques d'innovation dans le secteur du transport.....	87
L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre	88
1. L'agriculture de demain – un projet de recherche interdisciplinaire	88
2. Pour un meilleur rendement, et un recyclage des aliments – les aspects cruciaux.....	88
L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes.....	89
1. Les villes durables intelligentes – la solution des TIC doit être étudiée attentivement.	89
2. Développement de solutions neuves et innovantes, en collaboration avec les citoyens	89
Suisse	90
La politique climatique suisse	90
Innovation, transports, mobilité : les biocarburants	90
Innovation, transports, mobilité : la mobilité électrique.....	91
Conclusion	93

Union Européenne.....	94
Introduction	94
Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments	94
Innovation, transports, mobilité.....	95
1. L'état d'avancement de la législation européenne.....	95
2. Les études pertinentes du STOA :	96
L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre	97
1. L'état d'avancement de la législation européenne.....	97
2. Les études pertinentes du STOA.....	98
L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes.....	99
1. L'état d'avancement de la législation européenne.....	99
2. Les études pertinentes du STOA.....	99
Conclusion.....	101
Annexe : Contributeurs au rapport.....	104

Introduction

Ce rapport résulte d'un travail commun des organisations membres de l'EPTA (*European Parliamentary Technology Assessment*), association européenne regroupant les structures en charge de l'évaluation scientifique et technologique auprès de leurs parlements nationaux, auquel s'ajoute le STOA (*Science and Technology Options Assessment*), organisme homologue du Parlement européen. Y ont également participé deux organismes des Etats Unis et de Russie, rattachés à l'EPTA comme observateurs.

Il est constitué de seize monographies dont la réalisation a été coordonnée par l'OPECST (Office parlementaire français d'évaluation des choix scientifiques et technologiques), qui assure la présidence de l'EPTA pour l'année 2015.

Il est centré sur le thème choisi cette année par l'EPTA pour ses échanges, thème en lien avec la 21e conférence des Nations unies sur les changements climatiques (dite « COP 21 »), qui se tiendra près de Paris, au Bourget, du 30 novembre au 11 décembre prochains : il s'agit d'évaluer l'apport de l'innovation aux politiques de lutte contre le changement climatique.

L'objectif consiste, d'une part, à rassembler des évaluations pour les trois domaines qui contribuent le plus à l'émission de gaz à effet de serre, l'habitat, le transport, l'agriculture, et d'autre part, dans une approche plus originale, à faire un bilan des études relatives aux manières d'inciter les citoyens à contribuer individuellement à ces politiques de lutte contre le changement climatique, notamment en adaptant leurs comportements.

Ainsi, ce rapport retrace les travaux correspondants menés depuis plusieurs années dans les domaines concernés par les membres de l'EPTA. Basés sur la constatation d'évolutions passées, ils dressent un bilan des difficultés encore à surmonter, et présentent des solutions possibles ou envisageables, ainsi que des solutions acceptées et acceptables dans chaque pays, souvent à partir d'une approche comparative.

Tous ces travaux cités en référence ont visé à apporter, aux membres du parlement, un éclairage nouveau et rigoureux sur des questions lourdes d'enjeux dont certains aspects paraissaient ardues, et qui n'étaient généralement pas présentées par les médias d'une manière adaptée à la décision politique.

C'est en effet l'objectif même des organismes de l'EPTA d'identifier clairement ces enjeux, et de s'efforcer d'en restituer la complexité, par une analyse poussée jusqu'au niveau de détails nécessaires à la compréhension, en faisant œuvre de pédagogie. Leur mission consiste précisément à se réapproprié à cette fin la matière première technique apportées par des analyses d'experts, soit consignée par écrit à travers des ouvrages ou des articles, soit recueillies de vive voix lors d'auditions privées ou publiques.

Les structures, et par voie de conséquence, les cultures des différents membres de l'EPTA sont très variées, qu'il s'agisse d'un département universitaire, d'un service intégré au parlement, ou d'un organisme public autonome intervenant sur commande; leurs méthodes de travail diffèrent, faisant une place plus ou moins importante aux procédures écrites ou orales. Mais tous se retrouvent sur l'objectif de fournir, en les justifiant de la manière la plus rigoureuse possible, des recommandations opérationnelles à destination des membres de leur parlement.

Les deux réunions annuelles d'échanges au sein de l'EPTA sont l'occasion d'une fructueuse mise en commun d'expériences. La présidence norvégienne en 2014 a pris l'excellente initiative d'en garder une trace par la publication d'un document de synthèse. C'est en reprenant cette idée pertinente que nous avons tenu à mettre en valeur les contributions de nos collègues européens sur notre thème commun de 2015, pour mieux faire ressortir la richesse qui résulte de ces travaux croisés ancrés dans des contextes nationaux différents.

Les conclusions de ce travail commun seront présentées lors de la conférence parlementaire européenne organisée sur ce même thème par l'OPECST et l'EPTA à l'Assemblée nationale française le 24 septembre 2015, conférence labellisée au titre de la COP21. Ce rapport, les actes de la Conférence ainsi que les propositions qui résulteront des débats seront remis aux négociateurs de la COP21.

Jean-Yves Le Déaut
Député de Meurthe et Moselle
Président de l'OPECST
Président de l'EPTA pour l'année 2015

France

Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments

L'OPECST s'est penché au moins à quatre reprises sur ce domaine : un rapport Birraux – Le Déaut de 2001 sur les perspectives techniques des énergies renouvelables, qui comportait déjà des éléments sur l'architecture bioclimatique ; un rapport Birraux – Bataille de 2009 sur la modulation de la réglementation thermique, qui a suggéré de compléter les règles imposées à la construction par l'établissement d'un plafond d'émission de CO₂, à côté de la norme de consommation énergétique; un rapport Le Déaut – Sido de septembre 2013 sur la transition énergétique qui comportait des analyses sur les coûts de la rénovation des bâtiments ; enfin un rapport Le Déaut – Deneux de juillet 2014 sur les freins réglementaires à la construction en matière d'économie d'énergie dans le bâtiment qui a proposé des réformes pour encourager l'innovation dont la plupart ont été directement transcrites dans la loi sur la transition énergétique de juillet 2015. Ces rapports dressent des constats et proposent des solutions.

1. Sur quelle analyse reposent ces rapports ?

L'innovation dans le bâtiment est une clef importante de la lutte contre les émissions de CO₂ puisque le bâtiment consomme en moyenne 40% de l'énergie primaire en Europe. Les améliorations dans la conception, puis la réalisation des bâtis, ainsi que les équipements de chauffage, de climatisation ou de ventilation intéressent aussi bien la construction que la rénovation. Le but est de minimiser les consommations d'énergie, en récupérant au maximum les calories accumulées dans les matériaux du bâti ou dans le sol, dans les eaux sales, ou en jouant sur les différences naturelles de température pour faire circuler l'air.

En Europe du Nord, où les progrès dans ces techniques ont permis de construire des bâtiments dits « passifs » consommant moins de 15 kWh de chaleur par mètre carré et par an, et moins de 120 kWh au total par mètre carré et par an, l'objectif principal est la protection contre le froid de l'hiver. Mais ces progrès doivent aussi pourvoir symétriquement dans le Sud à la protection contre la chaleur.

D'une façon générale, il s'agit d'utiliser les atouts locaux en termes d'énergie renouvelable pour éviter autant que possible une consommation d'énergie alimentée, via les réseaux, par des grands centres de production centralisés, qui recourent encore majoritairement en Europe, pour la production d'électricité, à un peu moins de 50% en moyenne, aux hydrocarbures fossiles : charbon, gaz, pétrole. En moyenne, la production d'électricité décarbonnée est constituée à moins de 25% d'énergie nucléaire, à 15% d'hydroélectricité et à plus de 15% d'énergies renouvelables.

2. Que propose l'OPECST ?

À l'horizon 2020, la directive 2010/31/CE du 19 mai 2010 fixe l'objectif du bâtiment à énergie « presque nulle », c'est-à-dire du bâtiment minimisant les déperditions d'énergie, et utilisant au maximum les possibilités locales en ressources d'énergie renouvelable pour en produire.

En matière de construction, les innovations peuvent concerner des matériaux à changement de phase, qui accroissent l'inertie du bâti, et permettent donc d'amortir à l'intérieur, sur des

périodes plus longues, les variations de température extérieures. Elles peuvent aussi concerner des méthodes d'assemblage à partir d'éléments préfabriqués qui permettent de minimiser les problèmes de coordination entre corps de métier qui sont souvent la cause de défauts d'étanchéité, car dès qu'on creuse une paroi pour rattraper un oubli on risque de créer un point de fuite thermique.

En matière de rénovation, l'innovation peut concerner des méthodes d'application des produits qui concilient performance et facilité de mise en œuvre. En matière d'isolation, on peut citer les solutions des multi-couches minces, dont l'efficacité en termes de barrière thermique résulte de ce qu'ils apportent un complément d'étanchéité du fait de leur souplesse, et de leur adaptabilité à des volumes imparfaits. On peut aussi citer un enduit extérieur (Parex-IT) en test à l'INES au Bourget du Lac, qui incorpore un aérogel et peut être appliqué avec un canon à projection, qui assure une protection thermique externe supérieure à celle du polystyrène.

L'innovation peut aussi concerner des techniques de ventilation et de climatisation, et par exemple, l'université de Phoenix en Arizona, a aidé à la mise au point de dispositifs inspirés des traditions indiennes, qui, après avoir été optimisées grâce à la simulation numérique, fonctionnent parfaitement sans beaucoup d'énergie pour de grands bâtiments tertiaires dans un climat désertique aride.

Innovation, transports, mobilité

En 2011 et 2012, M. Denis Baupin, député et Mme Fabienne Keller, sénatrice ont rédigé un rapport pour l'OPECST sur les nouvelles mobilités sereines et durables et la conception de véhicules écologiques.

Ce rapport traite de l'ensemble des questions liées à la mobilité et aux nouveaux types de véhicules et débouche sur une centaine de propositions.

1. Sur quelle analyse repose ce rapport ?

Pour les deux rapporteurs, la priorité doit être accordée à la mobilité plutôt qu'au transport, aux usages des véhicules plutôt qu'à leur motorisation. La diversité des évolutions techniques possibles en matière de moteurs et de carburants doit être reconnue. Il faut tenir compte des besoins réels des divers types d'utilisateurs des transports privés et publics, qui diffèrent non seulement en fonction de critères traditionnels (sexe, âge, catégorie socio-professionnelle) mais aussi en fonction des lieux d'habitat et de travail, et de plus en plus de l'attitude des individus face au « tout automobile ».

Le développement du covoiturage et de l'auto-partage rendent nécessaires de nouveaux types de raisonnement sur l'organisation des transports, et questionnent les autorités publiques comme les constructeurs automobiles sur l'évolution de l'utilisation de la voirie et des parkings. L'apparition de véhicules électriques, ou de véhicules pouvant fonctionner à l'hydrogène ou à l'air comprimé conduit par ailleurs à réfléchir à la mise en place de nouveaux réseaux de recharge de batteries ou d'approvisionnement.

La croissance des émissions de carbone liées aux véhicules et au transport n'est plus une fatalité. L'émission de particules fines par les véhicules diesel peut être considérablement réduite, grâce à l'évolution technique. Cette réduction hautement souhaitable implique néanmoins un contrôle régulier des véhicules diesel, et la mise en place d'incitations au renouvellement des véhicules les plus anciens, qui ne sont pas dotés des pots catalytiques permettant de respecter les critères actuels d'émissions.

2. Que propose l'OPECST ?

Les propositions du rapport portent sur la manière de mettre en place ou d'accompagner des schémas de mobilité durables qui permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Elles traitent de neuf sujets : l'organisation d'une mobilité sobre, interactive, intermodale et sereine ; l'évolution du modèle automobile vers plus de sobriété, de plaisir, de modernité, de convivialité, de modularité, et un nouvel imaginaire ; une contractualisation avec les constructeurs dans une optique de renouvellement du modèle automobile et de pérennisation des emplois ; les avantages à donner dès maintenant aux pionniers, en termes de stationnement, de fiscalité, de bonus, et l'orientation des utilisateurs vers les véhicules sobres, peu polluants, de petite taille ; les mesures permettant de favoriser l'usage partagé des véhicules ; la mise en place d'une gouvernance partenariale, dans le cadre d'un Etat stratège ; l'organisation de la veille sur les innovations technologiques et sociales de la mobilité ; la promotion d'une politique européenne en faveur de la mobilité sobre.

Ces propositions ont été présentées lors du débat sur la loi de transition énergétique qui vient d'être adoptée le 22 juillet 2015. Plusieurs d'entre elles ont été reprises. Cette loi définit en effet le véhicule à faibles émissions, prévoit le pourcentage de ces véhicules dans les flottes publiques ainsi que la mise en place par les sociétés concessionnaires d'autoroutes de tarifs préférentiels pour ce type de véhicules. Elle envisage un système d'identification des véhicules habilités à circuler en zone de circulation restreinte dès 2016 et prévoit un rapport sur l'opportunité de réserver sur les autoroutes une voie aux transports en commun, aux taxis et aux véhicules à très faibles émissions.

Elle définit une stratégie pour le développement de la mobilité propre et fixe un objectif pour 2030 de 7 millions de points de charge électrique publics et privés. Elle crée une prime à la conversion des véhicules anciens polluants qui seront remplacés par des véhicules à faibles émissions neufs ou d'occasion. Elle met en place un plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques d'ici le 30 juin 2016, et renforce le contrôle technique des émissions de pollution atmosphérique et de particules fines.

Certaines des propositions du rapport de l'OPECST ont donc été reprises dans cette loi. D'autres propositions de l'OPECST qui doivent encore faire l'objet de décisions, nécessitent souvent une action de longue haleine d'acteurs extrêmement divers. Les collectivités territoriales auront dans ce domaine un rôle important à jouer. Plusieurs d'entre elles prennent actuellement des initiatives pour limiter la pollution en ville, mais aussi pour rationaliser l'usage des voitures. Les autorités organisatrices de transport réfléchissent pour leur part à la mise en place de l'intermodalité des transports, qui est grandement facilitée par le réaménagement des gares ou la construction de nouvelles gares qui intègrent dès leur conception la nécessité de prévoir des plateformes multimodales.

La mise en œuvre de certaines propositions relève des constructeurs. Mais il est frappant de constater que les constructeurs eux-mêmes prennent graduellement conscience du changement de comportement des consommateurs-usagers des modes de transport et proposent de nouveaux véhicules à une, deux, trois ou quatre roues. Leur gamme s'élargit à des véhicules plus petits, moins lourds, occupant moins de place sur la voie publique et les aires de parkings. La multiplication rapide des équipements informatiques et de communication dans les véhicules ouvre de nouvelles perspectives dont la plus originale est l'apparition de la voiture sans conducteur, qui obligera probablement les pouvoirs publics à établir de nouvelles recommandations dans les prochaines années.

Le rapport de l'OPECST, basé sur de nombreuses auditions a été sans aucun doute précurseur.

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre

L'OPECST a abordé récemment ces questions à travers plusieurs auditions publiques, sur les recherches dans le domaine de l'environnement en juillet 2014, sur la filière semencière en janvier 2015, sur le Big Data dans l'agriculture en juillet 2015. Des rapports plus anciens les ont aussi abordés : le rapport de MM. Pierre Laffitte et Claude Saunier en 2006 sur les apports de la science et de la technologie au développement durable, le rapport de M. Gérard Miquel sur la qualité de l'eau et l'assainissement en 2003, et surtout le rapport fondateur de M. Marcel Deneux sur l'évaluation de l'ampleur des changements climatiques à l'horizon 2025, 2050 et 2100 en février 2002.

1. Sur quelle analyse reposent ces rapports ?

Les techniques de production agricole sont soumises à l'échelle mondiale à un gigantesque effet de ciseau entre l'immense élan démographique impulsé par l'amélioration des conditions de vie d'après-guerre, qui multiplie encore pour plusieurs décennies les bouches à nourrir, et l'exigence accrue de faire face à cette demande démultipliée par des méthodes toujours moins émettrices de gaz à effet de serre.

Jusqu'au tournant des années quatre-vingt, l'augmentation de la production agricole a reposé sur l'augmentation des intrants, dont l'utilisation conduisait directement ou indirectement à une augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Il faut désormais que l'agriculture continue à produire toujours plus en réduisant les apports externes d'origine industrielle. Cette tension ne pourra donc être surmontée que par de nombreuses innovations, et même des innovations de rupture, car c'est la conception même de l'agriculture comme processus de production qui doit ainsi être révolutionnée pour démultiplier sa capacité.

Le saut technologique à accomplir sera d'autant plus exigeant que trois évolutions majeures vont encore relever la tension entre production et demande de nourriture :

- la hausse du niveau de vie dans les pays en développement va conduire à une demande d'enrichissement qualitatif de la ration alimentaire se traduisant par une consommation accrue de viande et de laitage, qui nécessite plus de ressources agricoles ;
- le développement économique et démographique va tendre mécaniquement à réduire les surfaces disponibles pour l'agriculture ;
- le changement climatique va lui aussi réduire le potentiel de production en favorisant la remontée du niveau des mers, et en multipliant les destructions liées aux événements météorologiques extrêmes.

2. Que propose l'OPECST ?

Pour faire face à ce besoin de surmonter l'écart croissant entre la production et la demande de nourriture, trois voies d'innovation paraissent incontournables :

- celle permettant de faire une place plus grande à des plantes dont les caractéristiques propres en termes d'adaptation à l'environnement permettront de minimiser les besoins d'intrants, sous forme d'engrais ou de pesticides ; cela suppose d'une part des progrès dans la sélection ou dans la recherche génétique, mais aussi des innovations au niveau des

combinaisons de plantation ; les équipements d'exploitation devront aussi être adaptés pour maintenir la productivité face aux nouvelles configurations des champs ;

- les techniques de valorisation des sols, par dépollution ou par conquête sur le désert, devront permettre, à tout le moins, de contrebalancer la perte des terres agricoles due aux avancées de l'urbanisation ; cela passera inmanquablement par des progrès dans la récupération et le traitement des eaux, en particulier en matière de désalinisation;
- le traitement massif des données (Big Data) s'imposera comme un moyen incontournable d'optimiser en permanence les conditions d'exploitation par un pilotage beaucoup plus précis, à la fois temporel et spatial, des séquences clef de la production ; cela deviendra indispensable afin notamment d'utiliser les intrants de la manière la plus efficiente.

Tous les continents ne seront pas soumis avec une égale intensité à l'effet de ciseau sur la production agricole, car la pression démographique épargnera les pays occidentaux tandis que le sous-continent indien sera confronté d'ici 2050 à des densités de population extrêmes, dépassant 500 habitants au kilomètre carré. Si la densité de la population doublera en Afrique, celle-ci pourra disposer d'immenses surfaces à reconquérir sur le désert, qui occupe 96% du territoire en Egypte, par exemple. Le rééquilibrage entre ces situations différentes passera par des échanges internationaux, lesquels donneront un peu de souplesse aux processus d'adaptation.

L'Europe continuera un temps à faire commerce de ses excédents, mais ne sera pas éternellement en position avantageuse dans cette bataille mondiale conjointe contre la faim et l'effet de serre. Car elle-même est responsable, via son empreinte écologique par tête, d'une ponction sur les ressources en sol et eau bien au-dessus de la moyenne mondiale (4,9 hectares dits « globaux » pour une moyenne de 1,8). Il est donc de son propre intérêt de prendre une part importante à cette nouvelle révolution en direction d'une production agricole à la fois plus intensive et plus sobre.

Il faudra donc distinguer d'une part, les solutions technologiques qui pourraient être mises au point dans les pays développés, pour ensuite diffuser classiquement dans le monde, et d'autre part, les innovations dites « frugales », nées dans les pays en développement du génie nécessaire auquel oblige la pression des circonstances, et qui iront ensuite s'imposer irrésistiblement comme solutions alternatives dans le monde développé.

L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes

C'est un domaine nouveau que l'OPECST souhaite explorer.

1. Comment analyser l'implication des citoyens dans l'innovation en faveur du changement climatique ?

La maîtrise des émissions de CO₂ liées à la demande d'énergie dépend crucialement des comportements d'appropriation par les agents économiques des modalités innovantes de consommation d'énergie, qui doivent faire une place croissante, d'une part, aux économies d'énergie, d'autre part, à l'utilisation des énergies renouvelables.

Cette appropriation suppose d'inventer des manières autres de mobiliser la population que les deux méthodes classiques de la carotte (la fiscalité) et du bâton (la réglementation).

À cet égard, on peut observer que les grandes catégories d'agents économiques que sont les administrations publiques, les entreprises et les ménages ont des comportements très différents.

De fait, les administrations ne peuvent qu'obtempérer aux instructions de leur tutelle, pour autant que celle-ci leur en octroie les moyens financiers ; les entreprises se laissent plus facilement entraîner, et même deviennent pour certaines proactives, parce qu'elles y voient le moyen d'adapter leur communication et leur image à l'air du temps ; de toute façon, elles ont un intérêt direct à investir dans les économies d'énergie.

La réaction des ménages soulève souvent plus de problèmes.

Il n'y a plus de doute quant à la prise de conscience par les populations du changement climatique, en France comme partout dans les pays développés, mais les actes la traduisant ne suivent que pour autant qu'ils soient gratuits et occasionnels. Suivre les consignes de tri des déchets, prendre son vélo ou aller à pied quand il fait beau, c'est déjà un progrès. De là à modifier ses arbitrages d'investissement et de consommation en privilégiant, à chaque fois, la dimension du développement durable sur le coût, il y a un fossé.

On peut observer que même les ménages les plus aisés, c'est-à-dire ceux qui auraient la possibilité matérielle de jouer ce rôle d'avant-garde dans la réorientation des arbitrages individuels, réagissent encore essentiellement selon les schémas traditionnels. Typiquement, les acquéreurs de grosses cylindrées continuent à valoriser l'image de puissance et de prestige associée à leur investissement, et les avancées écologiques du véhicule ne comptent pour eux que par surcroît ; il faudrait pouvoir compter sur ces clients aisés pour mettre leur pouvoir d'achat au service d'un déploiement, sans subvention, des nouvelles motorisations plus écologiques.

2. Que pourrait proposer l'OPECST ?

Dans la mesure où les effets d'entraînement et les mécanismes d'imitation des classes supérieures vont peu jouer, les classes moyennes ne vont-elles aussi modifier leur consommation et leurs investissements en faveur de la lutte contre l'effet de serre que pour autant qu'elles y seront incitées financièrement ou contraintes ? Ainsi, ce n'est pas du tout par hasard qu'une partie du débat national français sur la transition énergétique de 2013 a porté, d'un côté, sur les avantages relatifs du renforcement des subventions, et, de l'autre, sur la formulation d'obligations.

De fait, du point de vue des flux économiques, les deux dispositifs apparaissent assez équivalents. En effet, il faut tenir compte de ce que toutes les formes d'aides sont financées par des prélèvements. D'un côté, un régime d'obligations contraint les ménages à affecter une part de leur revenu à une dépense qui n'est pas dans leurs priorités ; de l'autre, un régime d'aides confisque via l'impôt la même somme, pour la restituer aux ménages lorsqu'ils agissent comme souhaité. Dans les deux cas, le résultat pour les ménages est une allocation forcée de ressources.

Or toute allocation forcée se fait au détriment des autres secteurs de l'économie, car elle opère une ponction sur le pouvoir d'achat. Avec les politiques d'obligations ou d'aides, il faut craindre qu'une ponction trop violente, c'est-à-dire très forte sur un temps trop court, n'ait des effets contreproductifs.

À cet égard, le rapport de MM. Jean-Yves Le Déaut et Bruno Sido de septembre 2013 sur la transition énergétique a rappelé les ordres de grandeur des masses financières à mobiliser pour diminuer en France les émissions de CO2 d'un facteur 4 à l'horizon 2050 : il s'agit de près de mille milliards d'euros sur trois ou quatre décennies. Ce sont des montants considérables, parfaitement en ligne avec ceux annoncés en Allemagne pour la réussite de l'*Energiewende*.

Il paraît donc raisonnable, d'un côté, de réserver les aides aux ménages les moins favorisés, et, de l'autre, d'étaler l'effort demandé aux ménages des classes moyennes en assouplissant le calendrier, de manière à ce que celui-ci empiète sur la seconde partie du siècle.

En outre, il est essentiel d'avancer sur le terrain de l'incitation par l'adhésion : « faire comprendre pour faire agir », et limiter ainsi d'autant l'allocation forcée de ressources. Cela passe par une forme d'éducation et une forme de participation aux décisions. Le problème, c'est que toutes les activités ne se prêtent pas facilement à cette démarche du fait de la complexité des sujets, et du fait de la dispersion des intéressés.

Par exemple, comment faire adhérer la population à la rénovation des habitations ? Le domaine est complexe, lorsqu'on pense simplement au fait que la réglementation thermique est calée sur des consommations (chauffage, eau chaude, ventilation, climatisation, éclairage) non pas directement mesurables par les factures, mais conventionnelles, fondues dans la masse des consommations réelles, donc difficiles à appréhender.

Quant à la participation aux décisions, elle est rendu difficile par la centralisation de l'élaboration des politiques. Ainsi, comment peut-on se sentir personnellement et directement concerné si la participation se limite à l'implication des représentants d'associations dans les processus de décision ? La vraie participation suppose une décentralisation extrême, atteignant chaque citoyen.

Allemagne

Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments

L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments est un des piliers essentiels de la stratégie allemande en vue d'atteindre une consommation d'énergie durable. Environ 40% de la consommation d'énergie primaire provient du secteur du bâtiment. L'objectif officiel est de réduire la demande de chauffage de 20% en 2020 et la consommation en énergie primaire non renouvelable de 80% en 2050 (dans les deux cas par rapport au niveau de 2008) (BMW 2010, p. 22). Cela implique que les habitations doivent devenir climatiquement neutres d'ici 2050 !

Le potentiel en économie d'énergie dans le bâtiment est important ; ces économies peuvent donc devenir financièrement rentables dans de nombreux cas. Mais il existe de nombreux obstacles qui gênent l'exploitation de ce potentiel. Pour n'en nommer que deux qui sont importants, les durées d'amortissement de l'investissement dans les mesures d'efficacité énergétique sont en règle générale relativement longues. D'autre part, les bénéfices générés par l'investissement, grâce à la diminution des coûts de la consommation énergétique, ne sont pas suffisants par rapport au niveau d'investissement requis initialement : c'est le fameux dilemme « investisseur-utilisateur ».

De nombreuses mesures ont déjà été mises en oeuvre par le gouvernement allemand pour atteindre les objectifs cités ci-dessus : par exemple, l'exigence des normes en termes d'efficacité énergétique pour les anciens et les nouveaux bâtiments n'a fait qu'augmenter, et cela de façon continue (avec le dernier amendement de l'EnEV, l'Energy Saving Directive, en 2013). Ou la Banque de Développement appartenant au gouvernement allemand, la Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) qui mène un programme de financement pour rénover des bâtiments, avec une enveloppe de 1,8 milliards d'euros chaque année.

Cependant, l'évaluation de la commission d'experts sur les avancées de la transition énergétique est quelque peu décevante. Afin d'atteindre les objectifs fixés, il y a un besoin urgent de mesures supplémentaires. Il faut agir vite, en prenant en compte l'immobilisation du capital : « premièrement, le gouvernement allemand doit décider rapidement des mesures de soutien financier en vue de moderniser des bâtiments, en s'assurant qu'elles sont compatibles avec les objectifs fixés et deuxièmement, un décret plus strict sur les économies d'énergie est nécessaire – valable aussi pour les nouveaux bâtiments. En parallèle, il devrait être examiné si les exigences en matière d'efficacité énergétique pour les bâtiments existants devraient aussi être revues à la hausse » (Loschel et al. 2014, S. 11).

La recherche et l'innovation jouent un rôle clé pour atteindre ces objectifs. L'Allemagne a donc mis en place un vaste programme de recherche, « Les bâtiments de demain », en vue de développer des bâtiments optimisés d'un point de vue énergétique. Le programme soutient autant les petites améliorations graduelles, comme la rénovation des fenêtres et du vitrage, que des concepts innovants comme les « bâtiments à bilan positif », qui ont un bilan énergétique annuel positif, c'est-à-dire, qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment.

NB : Pour les références citées, contacter le TAB.

Selon nous, le secteur du bâtiment est un secteur assez négligé. Il y a moins d'études d'évaluation technologique sur ce secteur que, par exemple, sur le secteur de l'électricité. La dernière étude sur ce sujet remonte aux années 1999 et traitait de l'utilisation de matières premières renouvelables comme matériau de construction (TAB 1999). Il reste certainement des opportunités à exploiter.

Innovation, transports, mobilité

Le secteur du transport est une des sources majeures d'émission de CO₂. Son importance s'est même accrue au cours des dernières années, la part d'émission de CO₂ due au transport en Allemagne atteignant aujourd'hui 17%, contre 11% en 1990.

Après une importante augmentation d'émission de CO₂ due au secteur du transport (en prenant aussi en compte les émissions dues à la production de carburants), ces émissions ont cessé d'augmenter entre 1960 et 2000, et ont très récemment commencé à diminuer – certes, lentement – d'environ 2% sur les 10 dernières années. Cette situation contraste avec la majeure partie des autres secteurs (les foyers, l'industrie, l'industrie de l'énergie) pour lesquels la baisse en CO₂ atteint 20-35% par rapport aux valeurs des années 1990. La raison principale de cette récente baisse des émissions de CO₂ dans le domaine des transports est l'apparition des biocarburants. D'après un scénario tendanciel prenant en compte l'évolution prospective du volume des transports, les tendances attendues, et les prises de décisions politiques, le taux d'émission devrait rester à peu près constant jusqu'en 2030.

D'autre part, l'objectif officiel est de réduire de 40% la consommation en énergie finale dans le secteur de la mobilité d'ici 2050, par rapport à la consommation de 2005, ce qui réduirait en

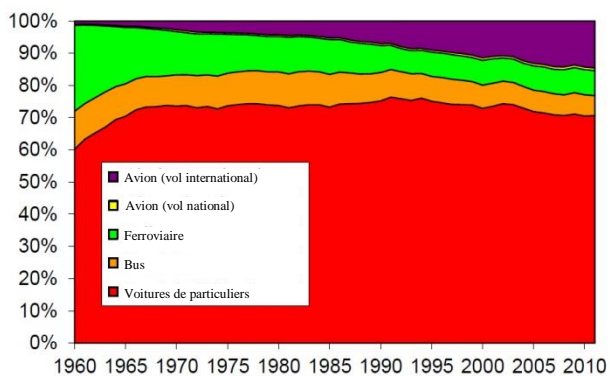


Fig. 1a: Volume du trafic des passagers
(IFEU 2012, p.16)

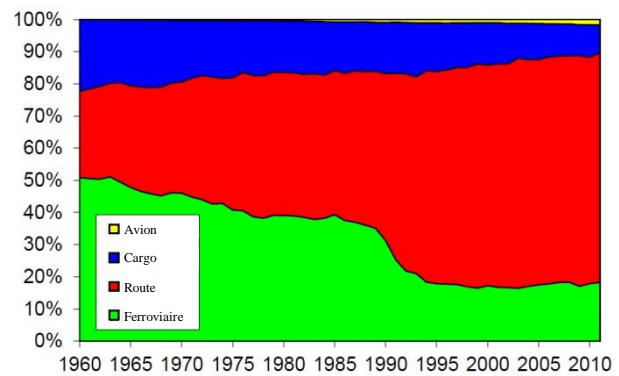


Fig. 1b: Volume du trafic du transport de marchandises
(IFEU 2012, p.17)

même temps, et de façon considérable, les émissions de gaz à effet de serre. Pour atteindre cet objectif, le gouvernement a publié en 2013 une stratégie détaillée sur les carburants et la mobilité, qui souligne que « les conditions essentielles pour atteindre nos objectifs sont la diversification des ressources énergétiques pour le transport à travers des carburants alternatifs, utilisés conjointement avec des technologies de navigation innovantes, de nouvelles améliorations dans l'efficacité énergétique des machines à combustion et l'optimisation des processus de transport » (BMVBS 2013, p.6).

Il y a de nombreux défis à surmonter dans l'avenir avant d'atteindre nos objectifs. Un exemple parmi d'autres: il est largement reconnu que favoriser les moyens de transport sans moteur, en repensant le partage modal, permettrait de réduire très efficacement les émissions de CO₂. Cependant, la tendance actuelle va dans la direction opposée, autant pour les particuliers que pour le transport de marchandises. Chez les premiers, le transport aérien s'intensifie considérablement (Cf. Fig. 1a) ; dans le cas du transport de marchandises, le transport routier est aujourd'hui largement plus utilisé que les transports maritime et ferroviaire.

En matière d'innovations technologiques dans le domaine du transport routier, les véhicules électriques ont particulièrement attiré l'attention ces dernières années. Le TAB a publié un rapport exhaustif à ce propos en 2012 : « Les concepts de mobilité électrique et leur importance pour l'économie, la société et l'environnement » (TAB 2012a).

L'objectif officiel fixé en accord avec les industries est d'avoir au moins 1 million de véhicules électriques en Allemagne d'ici 2020 et plus de 5 millions d'ici 2050 (Gouvernement Fédéral, 2009). Le terme « véhicule électrique » fait ici référence à un véhicule à quatre roues qui peut être chargé par un opérateur extérieur en le branchant au réseau électrique. Il s'agit des véhicules électriques à batterie (VEB) et des véhicules hybrides pouvant être rechargés en les branchant au réseau, appelés véhicules électriques hybrides rechargeables (VEHR). Le défi environnemental et la volonté de maintenir une industrie automobile allemande compétitive sont deux des raisons essentielles pour soutenir le développement et la diffusion de ces véhicules électriques.

La route est encore longue avant de pouvoir atteindre ces objectifs : en janvier 2014, il y avait 21 324 VEB, 1 374 VEHR et 151 véhicules équipés de piles à combustible sur les routes allemandes.

D'un point de vue industriel, la batterie est d'une importance capitale pour la qualité d'un véhicule électrique. Le marché de la batterie est actuellement dominé par des compagnies asiatiques, et dans ce domaine l'Allemagne ne joue pratiquement aucun rôle à l'international. Il semble donc beaucoup plus prometteur d'investir dans les futures générations de batteries que dans la technologie lithium-ion utilisée aujourd'hui. En deuxième position après la batterie, les systèmes d'électronique de puissance sont eux aussi très importants. Cette technologie est cruciale non seulement pour les véhicules électriques, mais aussi pour d'autres technologies du futur, par exemple dans le domaine de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, ou pour le contrôle des réseaux électriques. Il est essentiel de préserver la forte position concurrentielle qu'a aujourd'hui l'Allemagne dans ce secteur.

Les véhicules électriques peuvent jouer un rôle important pour changer les tendances dans la mobilité : l'utilisation de véhicules électriques pour le co-voiturage, ou dans les parcs automobiles commerciaux et les services de mobilité multimodale est très intéressante. De cette façon, la mobilité électrique peut être un pilier majeur d'un système de transport durable.

Le transport et la mobilité étaient deux axes thématiques importants des travaux du TAB ces dernières années : dix ans avant le rapport précédemment cité sur la mobilité électrique (TAB 2012a) nous avons publié un rapport qui présentait un ensemble d'instruments et de mesures politiques pour orienter l'approvisionnement en énergie dans le secteur de la mobilité vers un modèle plus viable (TAB 2002). En 2006 un autre rapport détaillé d'évaluation technologique fut publié, donnant un aperçu des innovations technologiques dans le domaine des groupes motopropulseurs, ainsi que de leur capacité à réduire la consommation en énergie et les émissions. Tout ceci fut analysé avec une vision globale « du puits à la roue » (TAB 2006).

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre

L'agriculture est l'une des principales causes d'émission de gaz à effet de serre d'origine humaine à travers le monde. En plus du CO₂, d'importantes émissions de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O) sont générées à cause de l'agriculture. En Allemagne, l'agriculture est responsable d'environ 7% de l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre. La diversité des facteurs et des sources d'émission complexifie le problème. Conjointement, il y a de nombreux obstacles et des défis supplémentaires à surmonter afin de réduire ces émissions. Par exemple, il n'est pas facile de convaincre les fermiers d'abandonner leurs pratiques agricoles traditionnelles, utilisées parfois depuis des siècles, au motif que d'autres pratiques promettent une meilleure empreinte écologique.

Il y a également un certain nombre de conflits relatifs à l'exploitation des terres : les techniques agricoles plus écologiques ayant un rendement plus faible, une surface plus vaste est donc nécessaire pour produire davantage et compenser cette perte de rendement. De plus, la culture des terres arables est une ressource limitée et il y a de nombreuses utilisations conflictuelles du territoire (le logement, les infrastructures, les réserves naturelles, les loisirs...). Enfin, la biomasse produite sur un territoire donné est susceptible d'être à l'origine de conflits : denrées alimentaires et aliments pour animaux, énergie et carburants, matières premières industrielles (bois, matière première pour procédés chimiques et pharmaceutiques...).

Trois rapports du TAB furent récemment publiés au sujet de ces usages conflictuels : le premier (TAB 2005a) propose une évaluation critique d'un certain nombre d'instruments et de mesures qui avaient l'intention de réduire l'usage des terres en Allemagne. Le second rapport (TAB 2010) apporte une analyse systématique des « Opportunités et des défis face aux nouvelles cultures énergétiques ». Ce rapport fournissait un aperçu des possibilités techniques et agricoles des cultures énergétiques, et traitait en détail les éventuels problèmes de compétition d'usage des terres, d'un point de vue national et international, en proposant des solutions pour améliorer la production écologique, dans la perspective de mesures de certifications durables. En prenant en compte les nombreuses interdépendances entre la recherche, l'économie et la politique, quatre directions essentielles d'action gouvernementale sur les objectifs de croissance et sur les politiques de financement pour les cultures énergétiques ont été explicitées. Le troisième rapport posait une question très concrète : pour atteindre les objectifs allemands en matière de développement durable, faut-il plutôt utiliser le reste du territoire disponible pour faire de l'agriculture biologique ou de la culture d'énergie ? Différentes options stratégiques sont détaillées dans ce rapport (TAB 2010b).

Il est difficile de trouver des solutions dans ce domaine complexe. Au cours de ces dernières années, le TAB a entrepris un certain nombre de projets pertinents : en 2005, le rapport « Agriculture de précision » a été publié (TAB 2005b). L'agriculture de précision est une technique innovante (digitale) permettant une meilleure gestion de la production agricole, grâce à différentes nouvelles technologies de pointe, comme les systèmes de localisation assistée par satellite, les technologies de capteurs pour la collection de données et les systèmes de géo-information. Cela promet une amélioration de la productivité agricole tout en réduisant son empreinte écologique, en particulier parce que les pesticides et les engrais peuvent désormais être appliqués de façon plus précise et être mieux adaptés aux besoins spécifiques de chaque plante. En somme, l'agriculture de précision est très prometteuse en vue d'un futur système agricole plus durable.

Enfin, un rapport du TAB de 2011 conclut que la recherche est d'importance dans le combat contre la sous-alimentation et la malnutrition qui prédomine à l'échelle mondiale. Les stratégies de recherche participative orientées vers les utilisateurs promettent notamment d'être très utiles pour surmonter les difficultés liées à l'application des résultats de la recherche à la pratique quotidienne de gestion des terres.

Les options technologiques pour réduire le CO₂ atmosphérique par une gestion active du cycle du CO₂ lié à l'utilisation des terres ont été évaluées dans deux récents rapports du TAB (TAB 2012c, TAB 2014b). La culture d'algues microscopiques pour produire de l'énergie ou des matières premières pour l'industrie chimique et pharmaceutique semble offrir de bonnes perspectives pour une application à grande échelle à moyen terme (après 2020). Une autre option intéressante est de convertir la biomasse en substance similaire au charbon (le « biochar », grâce un procédé chimique appelé carbonisation hydrothermale). Ce matériau peut à la fois être employé comme source d'énergie, ou pulvérisé et utilisé comme conditionneur de terre. Dans des conditions favorables, cela permet de fixer le CO₂ atmosphérique dans le sol tout en augmentant le rendement de la récolte des sols pauvres.

L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes

Les grands espoirs des années 1970 et 1980, selon lesquels l'information et l'éducation peuvent rapidement et profondément changer le comportement des individus vers un mode de vie plus écoresponsable sont désormais brisés. D'autres facteurs que la connaissance des enjeux écologiques jouent un rôle dans le comportement des individus.

Un exemple dans le secteur de l'électricité : si vous fournissez à des personnes des « compteurs intelligents » qui mesurent leur consommation électrique et qui affichent cette information de façon à ce qu'elle soit facilement interprétable (écrans, applications pour smartphones...) elles changeront leurs habitudes de consommation et utiliseront moins d'électricité. Ce changement de comportement, bien notable au début, tend toutefois à disparaître avec le temps, avec le retour des mauvaises habitudes. La quantité d'énergie économisée de cette façon peut atteindre environ 5% de la consommation totale en électricité d'un ménage (TAB 2015). Cette façon d'afficher l'information peut être vue comme une légère incitation à opter pour une manière plus durable et responsable de consommer l'énergie, sans enlever aux individus leur autonomie et leur liberté d'action. Ce concept attire beaucoup l'attention depuis quelques temps, et certains chercheurs pensent qu'il pourrait apporter une contribution positive à la planète, au-delà de la législation et de la réglementation (Thaler/Sunstein 2009).

D'autre part, il est clair que l'Allemagne et d'autres démocraties occidentales veulent participer à la prise de décision sur des enjeux qui touchent le quotidien des individus, et qui ne sont pas prêts à simplement accepter des décisions prises par les autorités. Des projets d'infrastructures décidés au niveau fédéral allemand et installés au niveau local (communes rurales et municipalités) sont très souvent l'origine de débats virulents ou la source de divers conflits. Les élus locaux sont plus directement concernés par cette situation. La situation actuelle est particulièrement tendue en raison du déploiement du réseau électrique, prévu par le gouvernement allemand, afin d'utiliser les énergies renouvelables comme source d'électricité. Certains signes montrent qu'une participation bien organisée des citoyens peut permettre au processus de planification d'être mieux accepté et peut faire ainsi surgir de

meilleures solutions générales. Mais il n'y a pas de formule magique : seuls des débats sérieux peuvent mener à une discussion productive et à la confiance. Ceci fut le thème d'un récent rapport du TAB (2015).

Une tendance récente en Allemagne, avec un impact non-négligeable sur le paysage énergétique, est la prolifération rapide de coopératives énergétiques, exemple direct de participation citoyenne. Les citoyens s'unissent pour construire et faire fonctionner des centrales électriques, pour la plupart photovoltaïques ou éoliennes, afin de produire leur propre électricité. En général, cette volonté est celle de personnes voulant contribuer activement à la mise en place d'un système d'énergie décentralisé, écologique, et fonctionnant grâce aux énergies renouvelables.

Autriche

Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments

L'Autriche est indéniablement un des leaders européens en matière de développement de bâtiments économes. Il y a de nombreux programmes de recherche et de diffusion, des plans de financement pour soutenir les technologies vertes, un réseau industriel dynamique, un large éventail de fournisseurs technologiques, ainsi qu'une forte conscience écologique au sein de la population. Au cours de ces 15 dernières années, l'innovation durable dans le secteur autrichien du bâtiment s'est faite de façon étonnante et fructueuse.

Les premières expériences sur les technologies utilisées dans les bâtiments économes remontent aux années 1970 quand des groupes d'individus s'organisaient de façon privée afin de développer des projets alternatifs d'hébergements collectifs (Rohracher et Ornetzeder 2002). C'est dans les années 1980 que les technologies solaires passives et actives sont devenues populaires, et la première habitation passive fut construite en 1996. Depuis, le marché du bâtiment à faible consommation énergétique a explosé. Certaines statistiques montrent qu'il y avait, fin 2010, plus de 10000 habitations conformes aux normes des maisons passives (Lang 2010, 33). Par habitant, cette statistique place l'Autriche en tant que leader mondial. La plupart de ces habitations sont des maisons privées pouvant contenir un foyer. Si les normes des habitations passives ont été largement adoptées dans le secteur des habitations privés, d'autres types de bâtiments, comme les grandes résidences, les bureaux, les écoles, les maternelles, et d'autres bâtiments publics, ainsi que certaines imposantes infrastructures industrielles ont été construits selon ces normes au cours de ces 10 dernières années (Innovative gebäude 2015). Comme suite logique à ces développements, ces normes d'habitations à faible consommation sont aussi utilisées aujourd'hui pour des projets de rénovations.

En 1999 le Ministère autrichien du Transport, de l'Innovation et de la Technologie (MTIT) a lancé un nouveau programme de recherche et de démonstration appelé « les bâtiments de demain » (www.hausderzukunft.at). Ce programme est rapidement devenu le principal moteur d'innovation dans le secteur du bâtiment autrichien. Il soutenait de façon considérable l'amélioration de certains concepts architecturaux cités précédemment (tel que l'approche dynamique des normes des maisons passives de faible consommation en énergie solaire) et permit le développement d'un large éventail de nouvelles technologies dans le domaine du bâtiment, tels que les panneaux solaires installés en façade, les fenêtres super-isolantes, les matériaux isolants écologiques, les systèmes de ventilation à haute efficacité énergétique ou encore les systèmes de refroidissement à énergie solaire. Jusqu'à aujourd'hui plus de 60 bâtiments ont été construits et évalués au sein de ce programme de recherche (MTITa 2012). En plus de cet axe de recherche orienté sur la technologie, le programme soutenait aussi le développement de solutions sociales et administratives (telles que des mesures et des recommandations planifiées, le développement de modèles commerciaux pour développer des solutions à haute efficacité énergétique, des réflexions sur la manière de rapprocher davantage

NB : Pour les références citées, contacter l'ITA.

l'utilisateur de l'innovation) et finançait aussi des recherches en sciences sociales (telles que des recherches après l'occupation des bâtiments ainsi que des études d'évaluation technologique et des études portant sur les sciences et les technologies.

En 2004, le Ministère de l'Environnement lança l'Initiative Autrichienne pour le Climat (Klimaaktiv), qui se concentrait aussi sur l'efficacité énergétique et l'utilisation des énergies renouvelables dans le secteur du bâtiment (www.klimaaktiv.at). Finalement, avec la mise en place du Fond pour le Climat et l'Energie en 2007, les conditions pour le développement et pour la diffusion des technologies du bâtiment à haute efficacité énergétique furent une nouvelle fois fortement améliorées (www.kimafonds.at).

Des études montrent que les démonstrateurs pédagogiques de bâtiments dans le secteur résidentiel, dans la plupart des cas, arrivent à respecter les critères de basse consommation d'énergie, et les évaluations, après l'occupation de ces bâtiments, nous montrent que leurs habitants en sont très satisfaits (Lechner et al. 2015 ; Suschek-Berger et al. 2014). Jusqu'à un certain point, les réussites technologiques dans le domaine du bâtiment peuvent se mesurer aussi par des données statistiques. La consommation d'énergie finale pour le chauffage d'un ménage privé a diminué de 21.7%/m² entre 1995 et 2012. Des baisses similaires pourraient être réalisées dans les bureaux ainsi que dans les infrastructures publiques (BMWWF 2014, 90ff).

La participation des usagers est d'une importance majeure dans un grand projet de rénovation. Plusieurs études se sont penchées sur ce thème, et ont formulé des recommandations pour impliquer davantage les occupants (Tappeiner et al. 2005 ; Hüttler et al. 2006 ; Suschek-Berger et Ornetzeder 2006). Des recherches empiriques montrent que d'importantes associations de logements en Autriche bénéficient d'une longue expérience dans ces projets de rénovation, y compris en matière de communication et de participation (Suschek-Berger et Ornetzeder 2010). Certains droits fondamentaux sont même garantis par la loi. Cependant, des recherches ont aussi montré qu'il faut continuer d'améliorer et d'étendre certaines pratiques existantes afin que les normes écologiques soient convenablement respectées à l'avenir.

Divers projets au cours de ces dernières années nous montrent que les efforts en termes d'innovation dans le secteur du bâtiment sont passés de l'échelle du ménage privé à celle de la collectivité locale. Un signe illustrant cette transition est l'importance croissante du concept de « ville intelligente ». Aujourd'hui, la recherche, les projets et les programmes appliqués s'intéressent généralement au développement de villes durables (BMVITa 2012). Or comme les projets de développement à l'échelle d'une ville sont de nature plus politique, la participation citoyenne devra jouer un rôle plus important dans les années à venir.

Innovation, transports, mobilité

L'Autriche est un lieu d'importance pour l'industrie de la sous-traitance automobile. Les constructeurs automobiles sont implantés dans trois régions (Graz, Vienne et le nord de l'Autriche) et emploient plus de 170 000 personnes. Le principal client industriel des produits et des services autrichiens est l'industrie automobile allemande. Grâce à une main-d'œuvre hautement qualifiée, l'industrie automobile autrichienne se spécialise en recherche et développement dans de nombreux domaines tels que : le développement de moteurs et de groupes motopropulseurs, les systèmes de combustions avancées, les véhicules hybrides et électriques, les piles à combustible, la production d'hydrogène, etc. En outre, certaines

compagnies s'intéressent aussi aux simulations et aux tests de nouveaux moteurs et de groupes motopropulseurs (Agence du Commerce Autrichienne 2008).

Pour une meilleure gestion de l'innovation dans le domaine des systèmes de propulsion avancés et des sources énergétiques, le Ministère Autrichien du Transport, de l'Innovation et des Technologies, (MATIT) a mis en place l'Association Autrichienne des Systèmes de Propulsion Avancés (AASPA) en 2006 (www.a3ps.at). Ce même ministère finance le développement de technologies pour véhicules à basse consommation (avec comme priorité le développement de systèmes de productions alternatifs, les carburants alternatifs, les systèmes électroniques innovants et les matériaux légers) dans le cadre d'un vaste programme national de recherche sur la mobilité (BMVITb 2012). De plus, le Fonds Autrichien pour le Climat et l'Energie finance les technologies émergentes de l'e-mobilité. Il y a aujourd'hui sept régions modèles pour l'e-mobilité, comprenant 1500 véhicules électriques, et plus de 1000 stations de recharge (Klima und Energiefonds 2015).

Cependant, les véhicules avec des systèmes de propulsions alternatifs (pile à combustible, véhicules hybrides ou véhicules électriques) sont encore très rares en Autriche. La part de marché de ces véhicules était seulement de 1,2% en 2013 et de 1,5% en 2014 de l'ensemble des nouveaux véhicules homologués (Statistik Austria 2014). En revanche, le marché intérieur pour les vélos et les scooters électriques est en train d'exploser. Avec environ 40000 vélos électriques importés en 2012 et une croissance importante observée pendant ces dernières années, l'Autriche est un des marchés les plus dynamiques en Europe (Eurostat). Le covoiturage est aussi populaire dans les grandes villes. Selon des données de 2009, l'Autriche est un des pays européens utilisant le plus cette pratique (Bundesverband Carsharing). Il reste à voir si ces services réduisent le volume de transport ainsi que le nombre de propriétaires de voitures ou si, en parallèle du covoiturage, ces personnes utilisent aussi les transports publics et ont leur voiture personnelle.

L'Académie des Sciences autrichienne a une commission spécialisée sur la mobilité durable, qui a récemment publié un article sur l'aspect socio-économique de la transition vers des systèmes de mobilité plus durable (Chaloupka et al. 2015). Cet article expose un certain nombre d'obstacles qui compliquent notre façon d'appréhender le changement vers une mobilité plus durable. Par exemple, l'article souligne la mauvaise utilisation du territoire qui favorise l'expansion urbaine et qui prolonge ainsi les trajets quotidiens ; le manque de transparence dans les coûts et les mécanismes pour internaliser les coûts externes des modes de transports conventionnels ; la discrimination des vélos, des piétons et des transports publics au sein même de la régulation du trafic ; etc. Pour avoir une influence sur notre façon de nous déplacer, le groupe d'experts recommande des stratégies, comme par exemple, un travail de sensibilisation bien ciblé, via des relations publiques ou des séminaires sur la mobilité. De plus, un indice de développement sur la mobilité durable, une chambre de compensation pour la gestion des données de la mobilité, des processus de planification participatifs, et une recherche interdisciplinaire pour promouvoir l'innovation sociale sont nécessaires.

L'article de l'Académie explique que l'avenir de la mobilité durable sera fait de nombreux modes de transport différents, tel que le transport public et semi-public, le transport privé motorisé, les véhicules non motorisés, les diverses formes de covoiturage, la marche à pied, etc. Du point de vue de la durabilité, le trafic automobile n'est pas mauvais en soi ; tout dépend des circonstances, des technologies, et du mode d'utilisation. Alors qu'en zone urbaine, le trafic automobile ne peut représenter que seulement 10-20% du volume total du transport (par exemple, les taxis et les ambulances), fonctionnant ainsi en parallèle avec d'autres modes de transport, la situation est bien différente en zone rurale. En effet, le taux du transport par automobile en zone rurale peut être optimisé afin de ne plus atteindre que 55%

du volume du transport (ce chiffre est aujourd'hui de 90% à la campagne). Il est donc difficile de mettre en place un futur portefeuille de transport optimal. La mobilité électrique y jouera un rôle essentiel, ainsi que les services de mobilité alternatifs (covoiturage, etc.) et les NTIC seront aussi essentielles pour trouver une solution.

Même si l'Autriche fait partie des pays utilisant au mieux les transports publics (Eurostat 2015), des experts disent que des progrès peuvent encore être accomplis quant à l'utilisation de ces transports. Ceci est d'autant plus vrai concernant le vélo et la marche. Dans des villes comme Vienne, une répartition en 20% de cyclistes, 30% de piétons, 40% de transports publics et 10% de voitures doit-être voulue et réalisable à l'avenir (Magistrat der Stadt Wien 2009).

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre

L'Autriche est réputée pour son rôle prépondérant en termes d'agriculture biologique. Alors qu'en Europe, la part moyenne de terres utilisées pour une agriculture biologique n'est que de 2,5%, l'Autriche atteint la seconde place, derrière le Liechtenstein, avec son taux de 20% (Willer and Lernoud 2015, 23). Cela est dû au travail pionnier des agriculteurs indépendants, aux chaînes de supermarché très engagées qui ont commencé la vente de produits organiques dès 1990, ainsi qu'à un véritable programme d'action pour l'agriculture biologique lancé par le Ministère de l'agriculture, qui soutient l'écologisation de l'agriculture à petite échelle en Autriche depuis 2001 (Eder 2006).

Cependant, un taux important d'agriculture biologique ne signifie pas systématiquement une réduction des émissions de gaz à effet de serre. Mais selon une méta-analyse récemment publiée, les pratiques agricoles biologiques ont quand même un effet globalement positif sur l'environnement de façon générale (Tuomisto et al. 2012). De plus, de récentes recherches suggèrent que l'agriculture bio pourrait même avoir un rôle important contre la famine dans le monde (Ponisio et al. 2014). Selon cette étude, l'agriculture bio pourrait facilement atteindre le même niveau de production que l'agriculture conventionnelle en utilisant des méthodes de diversification telles que la multiculture ou la rotation des cultures.

En se fondant sur ce type d'information et d'expertise, une grande partie des recherches en Autriche se concentre sur la possibilité de combattre la famine mondiale et le changement climatique grâce à l'agriculture biologique. Une des institutions phares dans ce milieu est le Centre pour la Recherche en Développement (CRD) de l'Université des Ressources Naturelles et des Sciences de la Vie (BOKU) à Vienne. Les recherches du CDR sont typiquement menées au sein de réseaux internationaux et visent en même temps à des résultats scientifiques applicables. Les projets actuels du CDR traitent de sujets tels que le stockage du carbone, la biodiversité des terres, la sécurité alimentaire et l'adaptation au climat par la conservation des terres et de l'eau, des moyens d'existence ruraux robustes et avantageux en Afrique ou des systèmes adaptatifs d'agriculture à petite échelle au Bangladesh, en Inde et au Népal. La participation locale de la population de ces pays cibles est partie intégrante dans presque chacune de ces activités de recherche.

L'innovation en termes de rendement de la chaîne alimentaire est aussi un sujet important dans ce domaine. Selon un rapport fait pour le STOA (Science and Technology Options Assessment) du Parlement européen, l'Institut d'Evaluation Technologique d'Autriche (ITA) a récemment publié un document de politique générale sur la réduction du gaspillage

alimentaire en Autriche (Gudowsky et Torgersen 2015) – qui devrait pouvoir contribuer à réduire la production ainsi que les émissions de gaz à effet de serre qui y sont associées. Environ un tiers de la nourriture produite pour la consommation humaine est gâché à un moment dans la chaîne alimentaire autrichienne. Les fermiers, les producteurs, les distributeurs ainsi que les services alimentaires (hôtels, restaurants, hôpitaux) contribuent tous à l'ampleur du gaspillage en Autriche : plus de 260kg par habitant et par année. Au moins la moitié de ce gâché pourrait être évité en repensant un certain nombre de facteurs tels que la surproduction, le stockage et l'emballage inadaptés ou les dates de péremption trop souvent trompeuses. En Europe, chaque tonne de nourriture gaspillée génère environ l'équivalent de deux tonnes d'émission de gaz à effet de serre. Mais il existe de nombreuses options prometteuses pour innover tant sur le plan social que réglementaire et technologique qui pourrait réduire le gaspillage alimentaire, sauver des ressources, et ainsi diminuer les émissions de gaz à effet de serre produites par l'industrie agricole.

Relire les réglementations alimentaires actuelles pourrait nous permettre d'identifier certaines dispositions légales qui ne sont pas indispensables en ce qui concerne la santé humaine, mais qui contribuent aujourd'hui à l'ampleur du gaspillage alimentaire en Autriche. Une autre mesure serait de modifier le style du marketing habituel qui se concentre trop aujourd'hui sur l'apparence du produit plutôt que sur sa qualité : son goût, sa pureté naturelle, sa valeur nutritive ainsi que ses conditions de développement. De plus, favoriser ce type de marketing alternatif pour les fruits et les légumes qui ne remplissent pas les critères habituels de commercialisation pourrait réduire le gaspillage alimentaire ainsi que réduire les distances de transport en développant les marchés locaux de fermiers, les coopératives de producteurs, les groupes d'acheteurs solidaires ainsi que l'agriculture soutenue par les communautés. Améliorer la lisibilité de la date d'expiration pourrait permettre d'éviter toute confusion entre « la date limite d'utilisation optimale (DLUO) » et « la date limite de consommation (DLC) », la DLC étant la réelle date limite de vente d'un produit. La possibilité de supprimer les dates de péremption pour les produits ne se périssant pas est aussi envisageable.

D'un point de vue technologique, la plupart des mesures vise à améliorer l'efficacité énergétique, par exemple grâce à des systèmes de tri intelligent ou via la technologie RFID, qui est utilisée, entre autres, pour recueillir des données de température pendant le transport. D'autres technologies « intelligentes » promettent de réduire le gaspillage alimentaire à différents niveaux de la chaîne alimentaire. Elles portent sur l'étiquetage, les réfrigérateurs, les caddies de supermarché, ou les poubelles. Cependant ces technologies ne sont qu'au stade de développement. Nous ne savons pas encore comment elles peuvent contribuer à résoudre ces problèmes. Nous ne savons pas s'il pourrait y avoir des effets indésirables ou de rebond.

L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes

L'engagement des citoyens dans des projets de recherche et de démonstration, dans le domaine des technologies intelligentes, est devenu assez populaire ces quelques dernières années. Un rapport périodique de 2010 sur les réseaux électriques intelligents en Autriche fit la liste de onze projets qui visaient clairement à impliquer leurs utilisateurs finaux dans leurs activités de recherche (Schauer 2010). Alors que dans ces premiers projets participatifs, les usagers étaient impliqués de façon ciblée en utilisant les formes classiques de participation (tels que les groupes de discussion, les interviews, les séminaires), les citoyens d'aujourd'hui y jouent un rôle encore plus important. Les essais à grande échelle de compteurs intelligents

en sont un exemple (Seebauer et al. 2013). Les réseaux électriques intelligents intégrés aux villages en sont un autre (Salzburg AG 2013).

Pendant l'un de ces essais à grande échelle de compteurs électriques intelligents, il était examiné comment, et dans quelles conditions, ces compteurs intelligents pourraient réduire la consommation globale d'électricité d'un ménage privé. 250 ménages autrichiens eurent un retour d'expérience grâce à ces compteurs intelligents sur un essai d'un an. En moyenne, ces foyers ont pu réduire leur consommation en électricité d'environ 5%. Les résultats furent conformes à d'autres essais comparables à l'échelle internationale, qui avaient identifié un potentiel de réduction de consommation de 3 à 10%. Les compteurs intelligents n'ont pu réduire la consommation en énergie que lorsqu'ils étaient utilisés en parallèle à un système d'information et de visualisation détaillée (Ornetzeder 2014).

Dans le village de Köstendorf, le fournisseur local en électricité (Salzburg AG) a mis en place un programme pédagogique pour apprendre davantage sur les interactions entre les systèmes photovoltaïques (PV), les voitures électriques et la consommation dynamique des ménages, ainsi que sur la façon de gérer un réseau basse tension dans des conditions réelles. Des systèmes PV branchés à 40 bâtiments et 36 véhicules électriques sont impliqués dans cet essai (Salzburg AG 2013). Un projet similaire fut aussi lancé dans le nord de l'Autriche, impliquant 37 systèmes PV de particuliers (Abart 2012). Cependant, les résultats de ces projets ne sont pas encore disponibles.

Un autre axe de recherche s'intéresse à l'utilisation de dispositifs intelligents en vue de sensibiliser la population et d'inciter à une modification de notre comportement face aux défis du changement climatique. Comme expliqué dans un récent rapport autrichien, le besoin d'une prise de mesures est particulièrement important en Autriche : « La réalisation des objectifs de 2050 paraît faisable seulement avec un changement de paradigme dans nos habitudes de consommation actuelles ainsi que dans la vision traditionnelle à court terme des stratégies politiques et du processus de décision [...] » (APCC 2014, 53). Le projet de recherche international « e2democracy » a étudié un ensemble de sept méthodes d'e-participation, organisées de façons similaires, au niveau local en Autriche, en Allemagne et en Espagne (Aichholzer et al. 2013). L'observation à long terme de combinaisons de plusieurs approches d'intervention (informationnelle, collaborative, d'apprentissage, et fondée sur la communauté) ainsi que la prise en compte des émissions directes et indirectes tant à l'échelle individuelle que collective ont donné des résultats exceptionnels. Des groupes de citoyen collaborèrent avec les élus locaux pendant presque deux ans (entre 2010 et 2012) afin de réduire les émissions de CO₂ d'au moins 2% chaque année. Les participants utilisaient un calculateur d'émission bimensuelle et individuelle de CO₂, leur permettant d'avoir un retour sur leur empreinte écologique avec le libre choix sur leur mode de participation, via les moyens traditionnels de participation ou via une interface d'e-participation. L'étude permit de montrer que l'approche participative à l'échelle locale, combinée avec un retour individuel sur son empreinte écologique, peut inciter la population à avoir un comportement plus responsable envers la planète et peut encourager la protection du climat au niveau local. La majorité des participants ont pu réduire leurs émissions de CO₂ de 2% chaque année. Cependant, pour proposer des choix appropriés au niveau individuel, il est crucial de mettre en place des conditions permettant la réalisation d'autres mesures envisageables, dans les différents domaines de la vie. Ceci pouvant aller de mesures encourageant l'utilisation des transports écologiques jusqu'au choix de son approvisionnement en énergie ou de son alimentation en respect avec la nature. L'option d'e-participation augmente clairement la disponibilité des uns à s'engager (environ un tiers des participants le font en ligne). Ainsi, l'effet principal de l'e-participation est d'augmenter le taux de participation. L'e-participation

n'est pas une panacée, dans la mesure où les participants en ligne ne diffèrent pas des participants usuels en termes d'effet produit. Cependant, vis-à-vis de ce besoin urgent de réduire les émissions de gaz à effet de serre en Autriche, ces approches intégrées s'appuyant sur les technologies intelligentes sont indispensables.

Catalogne

La politique catalane en matière de climat

La Catalogne est pleinement consciente que le pourtour méditerranéen est l'une des régions de l'Union européenne où l'impact climatique promet d'être le plus élevé. Le gouvernement catalan s'est donc assigné une feuille de route, le Plan pour l'Énergie et le Changement Climatique 2012-2020, pour répondre à ces défis et atteindre les objectifs de l'UE dans les domaines de l'énergie et du changement climatique. Le but est d'instaurer une économie et une société de faible intensité énergétique et qui émettent peu de carbone, tout en étant innovantes, compétitives et durables à moyen et long terme. C'est la première fois que la Catalogne traite conjointement et de façon coordonnée des politiques énergétiques et climatiques. Le plan établit ainsi des axes de travail et des priorités afin de réduire de 20% la consommation d'énergie, d'augmenter de 20% la proportion des énergies renouvelables et de réduire de 25% les émissions de CO₂ du cycle énergétique, en accord avec le paquet climat-énergie de l'Union européenne et l'objectif 20-20-20.

Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments

Les bâtiments sont des points d'intense consommation énergétique en raison de leur usage du chauffage, de la climatisation et de l'éclairage. En Catalogne, seuls 7% du parc immobilier ont été construits après l'entrée en vigueur des normes sectorielles sur l'efficacité énergétique et les économies d'énergie, et plus de 60% des immeubles datent d'avant 1980. Pris ensemble, ces facteurs indiquent que la construction immobilière est un domaine de grand potentiel pour les économies d'énergie, et que les efforts doivent se concentrer sur la réhabilitation énergétique des bâtiments existants.

Les nouveaux bâtiments doivent respecter des critères d'optimisation énergétique dans leur conception et leur choix des matériaux. D'autre part, l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments existants peut être atteinte grâce à la mise en place de systèmes intégrés de gestion via les nouvelles technologies de l'information, à un travail sur l'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments, ou des mesures non contraignantes telles que le remplacement des anciens systèmes. Le gouvernement catalan propose une série de subventions pour la réhabilitation et le contrôle des bâtiments : aides à la réhabilitation des bâtiments inoccupés, Inspection Technique des Bâtiments (ITB) pour l'obtention du Certificat de Conformité des Bâtiments, subventions pour la rénovation des immeubles résidentiels ou des logements pour personnes âgées, subventions pour l'amélioration de l'accessibilité des logements sociaux.

Les énergies renouvelables seront un point déterminant pour augmenter l'autoproduction d'électricité par les consommateurs, en vue du « solde net » : les usagers génèrent l'électricité qu'ils consomment, utilisent le réseau pour stocker le surplus et l'extraire au besoin, jusqu'à atteindre l'équilibre, au terme d'une longue période. Les estimations suggèrent d'ailleurs que le coût de l'énergie autoproduite sera, dans quelques années, égal à celui de l'énergie importée du réseau de distribution (soit la parité de réseau).

Un tel scénario exige l'installation à grande échelle de systèmes d'énergie renouvelable dans les habitations (principalement des panneaux photovoltaïques, mais aussi de petites turbines éoliennes, etc). Le gouvernement catalan œuvre déjà à la mise en place d'un cadre juridique pour réglementer dans l'Etat espagnol ce nouveau modèle d'alimentation électrique ; en effet, à l'heure actuelle, l'autoconsommation n'est pas compatible avec l'alimentation du réseau. Outre le « solde net », il existe d'autres façons d'introduire les énergies renouvelables dans la sphère domestique. La biomasse, par exemple, est une source de chauffage renouvelable et autonome, avec une durée d'amortissement de moins de cinq ans si elle remplace une chaudière au fioul ou à gaz âgée de plus de dix ans. L'énergie thermo-solaire est une autre source renouvelable de chauffage mais nécessite généralement le renfort d'une chaudière classique. Bien que toutes ces technologies s'appliquent autant aux habitations individuelles qu'aux logements multifamiliaux, la durée d'amortissement est moindre pour ces derniers, en raison de l'importance des installations. L'objectif est que les bâtiments catalans atteignent à long-terme l'autosuffisance énergétique - les réseaux gaziers et électriques offrant seulement une solution de repli.

L'Institut catalan des Technologies de Construction (ITeC), qui fait partie de l'Organisation Européenne d'Evaluation technique dans le domaine des produits de construction (EOTA), est une agence du gouvernement catalan autorisée à évaluer les produits non normés et les produits innovants, en tant qu'organisme d'évaluation technique, dans le cadre de la réglementation européenne 305/2011.

Innovation, transports, mobilité

Le transport est le premier consommateur d'énergie en Catalogne : il absorbe près de 40% de la consommation totale. De surcroît, près de 97% de l'énergie consommée dans ce secteur provient du pétrole et de ses dérivés, ce qui implique un niveau élevé d'émissions polluantes. C'est donc un domaine prioritaire pour l'instauration de mesures d'économie et d'efficacité.

Le secteur du transport présente plusieurs axes pour l'économie d'énergie. L'un d'eux consiste à diversifier l'énergie employée en encourageant le remplacement des moteurs à combustion interne par d'autres formes de propulsion, notamment électrique, ou en promouvant des combustibles renouvelables ou plus efficaces, comme le biocarburant et le GPL.

Il faut également rationaliser la demande de mobilité, en minimisant le nombre de trajets, en utilisant les moyens de transport adéquats, et en exploitant l'intermodalité entre les différents modes de transport. L'efficacité de la flotte de véhicules actuelle présente également une importante marge de progression: optimisation des itinéraires grâce à des systèmes de gestion de flotte, et réforme des méthodes de conduite (permettant d'économiser jusqu'à 20% de carburant).

Les biocarburants sont la première façon d'introduire les énergies renouvelables dans le secteur des transports. En plus des biocarburants actuellement utilisés, le Plan Énergétique insiste sur la nécessité de la recherche sur des biocarburants de deuxième génération – donc fabriqués à partir de matière non alimentaire. Ces nouveaux biocarburants éviteraient les effets indésirables tels que les problèmes de viabilité environnementale, la rivalité avec les usages alimentaires et la hausse du prix des denrées. L'objectif est de permettre l'utilisation de ces biocarburants d'ici 2020. En Catalogne, un groupe de l'Institut Catalan pour la Recherche Énergétique (IREC) se consacre à ce domaine dans un laboratoire de Tarragone.

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre

La productivité des champs cultivés dans la région méditerranéenne est limitée par les conditions environnementales. Elle est optimisée grâce à des méthodes agronomiques et des systèmes fondés sur la connaissance génétique et écophysiological des espèces cultivées et du lieu où elles poussent (sol, climat, structure sociale, etc). Le changement climatique et la variabilité croissante dans le secteur agricole entraînent toutefois une augmentation des problèmes et des risques. Il est intéressant de noter que le secteur contribuait à 8,1% des émissions totales de gaz à effet de serre en Catalogne, pourcentage comparable à celui du secteur industriel.

Les mesures suivantes ont été proposées pour adapter les champs à la phase actuelle du changement climatique et à en faire des puits de carbone :

(a) adapter le matériel végétal à sa destination et à son usage, en prenant en considération ses caractéristiques écophysiological (résistance à la sécheresse, aux températures extrêmes, à la salinité et à la pollution, relations avec les autres organismes, etc). (b) augmenter la biodiversité agricole. (c) améliorer le stockage de l'eau et la fertilité des sols. (d) optimiser l'usage de l'eau grâce à des méthodes et des systèmes qui intègrent les besoins de l'utilisateur, la disponibilité du matériel végétal et de l'eau : par exemple, des capteurs qui accompagnent la décision agricole (agriculture de précision) et favorisent l'usage des eaux de récupération. (e) valoriser les pratiques agricoles en tant qu'élément du paysage, et en conséquence accepter que toute action a un impact positif ou négatif sur les réseaux trophiques. (f) concilier le niveau régional de la demande agricole avec les enjeux globaux de la mondialisation et de l'augmentation de la population. Ces problèmes appellent une réponse politique, par le développement de normes sociales (assurances, subventions, tarification garantie pour la production, eau et énergie, etc) et la régulation des prix et de la possession de la terre et de l'eau. Des incitations fiscales doivent encourager l'usage des champs comme régulateurs des ressources en eau et puits de carbone.

En juin 2015 le parlement catalan a voté une résolution exhortant le gouvernement catalan à « Promouvoir et financer l'agriculture biologique pour réduire les émissions du secteur agricole et les atténuer par un impact positif ».

L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes

La Catalogne prépare une loi sur le changement climatique et a sollicité la participation publique via un sondage en ligne.

En plus de cette expérience, la société civile démontre un haut niveau d'engagement en ce qui concerne le changement climatique. De nombreuses municipalités catalanes font partie de la Convention Européenne des Maires et plus de 180 municipalités catalanes (7% du total européen) ont déjà instauré des plans d'efficacité énergétique.

Le Bureau Catalan sur le Changement Climatique promeut et soutient la mise en place d'accords volontaires avec des groupes, organismes et associations catalanes pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Plus de 60 organismes ont adhéré à ce programme d'accord volontaire en à peine un an et demi. La plupart des mesures instaurées par ces

organismes implique la réduction de la consommation d'énergie. Il s'agit d'améliorer l'éclairage, le chauffage et la climatisation, de remplacer les voitures par des véhicules plus efficaces, d'acheter des véhicules hybrides (qui représentent à présent, dans certains cas, près de 17% de la flotte), d'inculquer des méthodes de conduites plus économes, d'encourager le covoiturage entre employés, et de réduire la mobilité par des mesures innovantes telles que le télétravail et la rationalisation des horaires actifs. Les organismes participants démontrent clairement qu'un bon niveau de vie est compatible avec une baisse de la consommation d'énergie.

Enfin, il faut rappeler qu'en juin 2015 le Parlement catalan a voté une résolution encourageant le gouvernement à « continuer d'introduire l'éducation au changement climatique à l'école et au grand public, et mettre en œuvre une campagne d'information sur le changement climatique, ses causes et conséquences, ses fondements scientifiques et les mesures à instaurer pour l'atténuer. »

Conclusion

Les politiques d'économie d'énergie et d'amélioration de l'efficacité énergétique sont la clé pour assurer la mise en place d'un système énergétique durable.

Les énergies renouvelables sont une option stratégique pour le présent et pour l'avenir.

Il est possible de découpler le PIB et la consommation d'énergie, tant que l'énergie est utilisée intelligemment et raisonnablement.

L'effort de la R&D en faveur de nouvelles technologies énergétiques doit être augmenté.

Le secteur de l'énergie doit être renforcé car il présente l'opportunité d'une importante croissance économique et peut permettre la création d'emplois qualifiés. La mobilité électrique et la construction sont deux des principaux domaines qui appellent de nouvelles initiatives commerciales.

Il est nécessaire d'impliquer la société civile dans la création du nouveau modèle énergétique catalan, par l'éducation, la participation et l'inclusion des classes sociales économiquement défavorisées.

Danemark

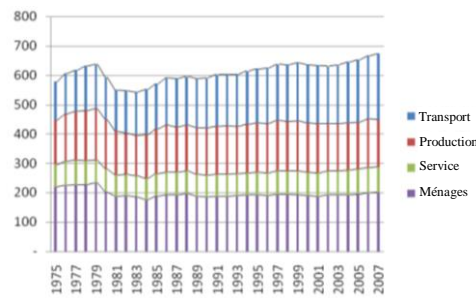
Avant la première crise énergétique dans les années 1970, le Danemark avait un système énergétique très peu efficace. Les innovations dans les domaines du bâtiment, des transports, de la production alimentaire ou dans tout autre secteur lié à la production et à la consommation énergétique, ne se concentraient absolument pas sur la dimension énergétique des problèmes. Les deux crises énergétiques des années 70 ont radicalement changé notre vision dans ce domaine. Pour le Danemark, la première crise fut un choc conséquent. Le Danemark était presque intégralement dépendant de l'importation pour l'énergie, surtout concernant sa production de chauffage pendant l'hiver, étant donné son climat tempéré. La population, les industries et les commerces ont été lourdement touchés par des restrictions pendant la crise. De nombreuses décisions politiques ont dû être prises pour mettre fin à cette crise ainsi que pour éviter un nouveau choc énergétique.

Les différentes politiques élaborées après la crise traitent des différents points énoncés dans ce livre vert, plus un certain nombre d'autres idées, dont certaines très importantes :

- le Danemark a investi dans des infrastructures de gaz au fil du temps, couvrant ainsi toutes les villes du Danemark. Ces infrastructures comprennent des tubes sur 19000 km ;
- le Danemark est devenu grâce au gaz de la mer du Nord un exportateur net de gaz et de pétrole ;
- la production énergétique exploite désormais des centrales combinées électricité-chaaleur au gaz, ainsi que des installations à plus petite échelle pour les petites communautés ;
- un système de distribution de chauffage urbain a été installé, couvrant les villes les plus importantes ;
- des programmes incitatifs pour isoler les maisons ont été lancés conduisant à un mouvement massif de réhabilitation des maisons et à l'augmentation des standards ;
- des accords ont été volontairement passés entre les producteurs d'appareil ménagers et les revendeurs pour mettre en place un système de label pour l'efficacité énergétique.
- une taxe verte sur l'essence, les voitures et d'autres biens de consommation ayant une forte empreinte énergétique a été introduite augmentant ainsi les prix par rapport aux autres pays européens ;
- l'innovation dans le domaine des systèmes énergétiques est fortement encouragée, notamment grâce à des subventions dans le domaine de l'éolien.

Ces politiques ont permis au Danemark de rendre indépendante sa croissance économique de sa consommation énergétique. La consommation énergétique danoise, est devenue stable, et cela même pendant des périodes de forte croissance économique. Ces politiques énergétiques ont donné lieu à des recettes nettes de 50 milliards de DKK par an (soit 1300 euros par personne et par année). Comme le dirait Henrik Lund, économiste de l'énergie à l'Université d'Aalborg, « ceci a pu financer le système éducatif danois ».

Consommation d'énergie finale par secteur au Danemark



Le graphique ci dessus montre la consommation finale en énergie (c'est à dire, sans prendre en compte les pertes dans la production d'énergie) de 1975 à 2007. Nous pouvons voir une consommation stable dans tous les secteurs, sauf dans celui du transport où il y a eu une légère croissance de la consommation en énergie. La baisse en 1979 est due aux décisions politiques après la seconde crise pétrolière de 1979. Malgré un PIB qui a doublé pendant cette période, la consommation énergétique a pu rester stable en général.

La politique énergétique danoise actuelle est dans la continuité des mesures prises après la première et la seconde crise énergétique. Le Danemark a pour objectif d'utiliser 35% d'énergies renouvelables en 2020 dont 50% d'éolien, et ces objectifs seront atteints. L'objectif en termes d'émissions de CO₂ est une réduction des émissions de 40% d'ici 2020 et de 100% d'ici 2050. D'importants débats ont eu lieu au cours de ces dernières années à propos de ces questions, en vue d'atteindre les objectifs annoncés.

La production d'énergie fossile dans la mer du Nord a fortement augmenté, et les recettes en exportation d'essence et de gaz ont diminué. Les politiques énergétiques danoises ont pour objectif d'éviter des importations nettes de produits énergétiques, de diminuer l'empreinte carbone et de permettre la poursuite du succès industriel danois dans le secteur de l'énergie et dans les autres secteurs industriels.

Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments

Poursuivant l'objectif de limiter sa consommation énergétique tout en augmentant sa production, le Danemark a su innover dans le domaine de l'efficacité énergétique des bâtiments. La réhabilitation énergétique des bâtiments a été fortement encouragée dans les années 1970, ce qui a donné lieu à un grand mouvement de réhabilitation qui fait que les bâtiments danois sont actuellement très efficaces énergétiquement. Ces incitations politiques ont aussi aidé à innover dans ce secteur. C'était l'époque où les compagnies comme Velux (produisant des fenêtres flexibles intégrées aux toîts et très bien isolées), Rockwool (fabriquant des matériaux d'isolation à base de pierre), Dulfoss (faisant des pompes high-tech très efficaces énergétiquement) et Danfoss (fabriquant des systèmes de contrôle pour chauffage de maisons) avaient leur plus grosse croissance et s'étaient imposées comme d'importantes entreprises internationales grâce à leurs produits très innovants.

Les batiments danois avaient certes une bonne efficacité énergétique à l'époque, mais aujourd'hui, elle n'est plus suffisamment bonne, surtout pour atteindre l'objectif de réduction de 100% des émissions de CO₂. L'efficacité énergétique des bâtiments représente donc un objectif important des politiques énergétiques.

De nouveaux bâtiments sont en train d'être construits avec les nouvelles normes nécessaires pour atteindre les objectifs annoncés. Les concepts des « maisons à zero énergie » existent et investir dans ce secteur s'avère être bénéfique. Le développement dans ce secteur au Danemark est assez comparable à celui expliqué dans la contribution autrichienne. Seulement, les incitations danoises ont été moins nombreuses et plus tardives qu'en Autriche. Il y a un sérieux développement du secteur des « maisons à zéro énergie » mais les nouveaux bâtiments représentent seulement une petite fraction du volume total des bâtiments. Ainsi, il s'agit d'un développement nécessaire à long terme, mais dans 20 à 30 ans, cet effort ne permettra pas de changer radicalement les normes énergétiques des bâtiments danois.

Le défi est donc d'améliorer l'efficacité énergétique des anciens bâtiments. Et cela représente un immense chantier. Des études montrent qu'une grande partie des bâtiments danois vont perdre de la valeur et seront invendables s'ils ne sont pas réhabilités énergétiquement. Ceci est un problème majeur pour les propriétaires mais aussi pour l'économie danoise. En effet, le financement danois des maisons est fondé sur un système d'émission d'obligations, ce qui signifie que l'économie danoise peut être profondément touchée par la perte de valeur du secteur du bâtiment.

Il y a de nombreuses façons pour atteindre un niveau d'efficacité énergétique plus important pour les vieux bâtiments, et pour cela il faut être innovant. Les innovations sociales et politiques peuvent apporter davantage de solutions au problème que ne le feraient les innovations technologiques.

Beaucoup de vieux bâtiments sont protégés par des lois visant à leur conservation, et il n'est pas possible de les réhabiliter énergétiquement car cela réduirait leur valeur historique, ce qui n'est pas autorisé. Ces bâtiments vont être de plus en plus difficiles à chauffer, ce qui ne les rend pas intéressants pour les acheteurs potentiels. Ils deviendront aussi un problème majeur pour les mesures de conservation d'énergie mises en place. L'étiquetage énergétique de ces maisons montre bien le problème, et des innovations peuvent être faites pour améliorer l'étiquetage sans pour autant toucher à l'architecture de ces maisons. Une solution serait de relier au numéro d'enregistrement de la maison, des investissements locaux ou privés faits dans les énergies renouvelables. Ainsi, la consommation énergétique nette de la maison serait diminuée. En d'autres termes, les propriétaires de ces maisons pourraient volontairement financer la production d'énergie renouvelable, ce qui compenserait la consommation énergétique de leur maison. Pour cela, de nouvelles lois doivent être mises en place au Danemark, qui favoriseraient cette production privée d'énergie, par rapport à la production commerciale d'énergie à grande échelle, car l'énergie utilisée de cette manière privée ne serait pas taxée (elle aurait un statut de conservation d'énergie et pas de production d'énergie). C'est sûrement pour ces raisons que ce genre d'innovation n'a pas encore vu le jour.

Pour les immeubles individuels construits il y a 30 ou 50 ans – c'est à dire les bâtiments construits pendant ou après la crise – le problème est que leur isolation thermique est bien trop faible, et il coûte souvent plus cher de refaire entièrement l'isolation thermique que de démolir entièrement le bâtiment et d'en reconstruire un nouveau – sauf pour un petit nombre de maisons qui ont une valeur architecturale importante. Ceci est un problème pour plusieurs raisons. L'une d'elles est que les maisons qui perdent de la valeur sont achetées par des gens à faible revenu. Ainsi le statut social de grandes zones - parfois des banlieues toutes entières voire des villes – chute brusquement, pouvant mener au développement de ghettos. Il faut donc lutter de façon proactive contre cet effet de ghettoïsation par des mesures politiques dans le domaine du bâtiment ou de l'énergie, mais pas seulement.

Un exemple de ce phénomène de ghettoïsation est celui de Stenlille, une ville à côté de Copenhague. Stenlille s'est fortement étendue entre les années 70 et 80, et les normes énergétiques des maisons et les éléments architectoniques ne répondent pas à la demande d'aujourd'hui. Le statut social de Stenlille s'est dégradé, le quotidien des résidents a été dérangé par l'apparition de gangs de jeunes. Ceux qui en avaient les moyens ont déménagé. La municipalité a alors lancé un processus de revalorisation de la ville de Stenlille, en investissant dans des activités de participation du public, dans la vie de quartier, en rénovant les services de soins pour personnes âgées et les infrastructures publiques en général. Les résultats furent encourageants car Stenlille est maintenant en train de devenir une ville de plus en plus attirante. Des personnes aisées s'y installent. Elles ont les moyens pour rénover les anciens bâtiments ou pour construire de nouvelles maisons. Stenlille nous montre des exemples de problèmes auxquels font face de nombreuses municipalités. Pour surmonter ces difficultés, des innovations politiques et sociales sont nécessaires, et ont un impact fort sur l'avenir de la consommation énergétique.

Pour la plupart des villes au Danemark, la réhabilitation classique en énergie est possible, et peut souvent être faite en rendant la maison plus esthétique et plus fonctionnelle. Ce type de rénovation comprend généralement un toit très bien isolé, des nouvelles fenêtres, une isolation thermique des murs extérieurs, ainsi qu'une remise à neuf du système de chauffage. Dans une grande partie des cas, ces travaux de rénovation permettent de réhabiliter les maisons au niveau des exigences qui seront demandées à l'avenir. Les difficultés rencontrées au cours d'un tel processus ont généralement à voir avec: a) les incitations économiques, qui est un problème politique, et b) la nécessité de reformer les ingénieurs, les architectes, les ouvriers, les investisseurs et les propriétaires. En d'autres termes, il est reconnu que les techniques pour mener des rénovations efficaces existent, sans mentionner qu'elles peuvent même être améliorées. Il est fortement nécessaire de mettre en place d'autres mesures.

En 2008, le Conseil Danois pour la Technologie (Teknologirådet) a rassemblé des acteurs du secteur du bâtiment pour évaluer les politiques publiques danoises ainsi que pour suggérer des mesures pouvant améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Le rapport explique qu'un remplacement annuel de 1% des anciens bâtiments par des nouveaux, une rénovation totale de 2% des bâtiments et une rénovation partielle pour 1%, devrait pouvoir réduire la consommation énergétique des bâtiments de l'ordre de 80% après 25 ans. Ceci pourrait permettre une économie de 50 milliards de DKK par an (soit 8000 DKK par habitant, soit 1000 euros par habitant et par an), ainsi qu'une économie de 10 millions de tonnes de CO₂ (soit une autre « façon de financer le système éducatif danois »). Mais plus sérieusement, cela pourrait surtout permettre de maintenir, voire d'augmenter, la valeur financière des bâtiments. L'éducation, de nouvelles normes de construction, le développement des bâtiments publics, sont les secteurs où le plus d'efforts sont nécessaires.

Innovation, transports, mobilité

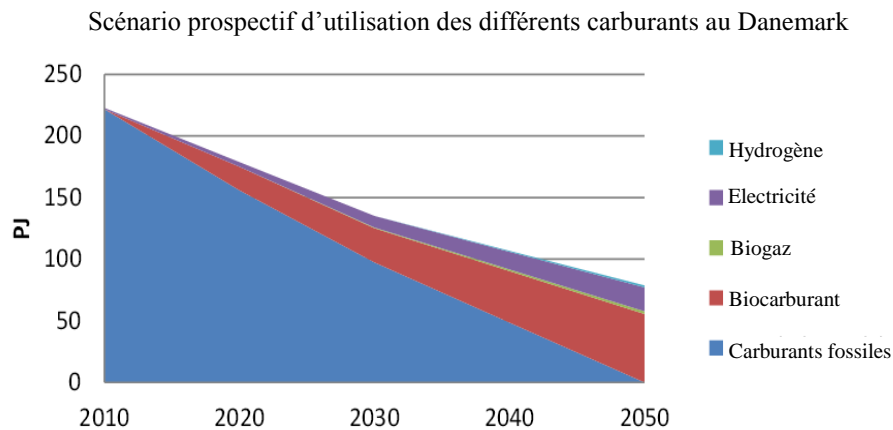
Bien que le Danemark possède une importante capacité de production industrielle *business to business* de pièces pour l'industrie automobile, ce chapitre se concentre sur les domaines d'innovation dans lesquels le Danemark joue un rôle industriel essentiel (sauf pour l'industrie automobile qui relève des pays producteurs de voiture).

Il n'y a pas de doute que le secteur du transport sera un domaine important – voire peut-être le domaine le plus important – dans lequel il faudra innover pour atteindre les objectifs nationaux et mondiaux de réduction de CO₂. En effet, dans les autres secteurs, les

technologies permettant d'exploiter des sources d'énergies durables pour produire de l'électricité (plutôt que des énergies fossiles) sont disponibles. Ce n'est pas encore le cas pour une grande partie du secteur des transports.

La production des technologies de biocarburants est le domaine majeur dans lequel le Danemark pourrait innover et se développer industriellement. La production industrielle danoise d'enzymes est techniquement à la pointe, et la recherche danoise dans ce domaine est une des meilleures au monde.

En 2012, Le Conseil Danois pour la Technologie a publié un rapport sur les scénarios pouvant transformer le système du transport en un système n'émettant plus de CO₂. L'étude conclut très clairement que les biocarburants jouent un rôle crucial, car ils sont la source majeure de carburants non-fossiles pour les transports de longue distance tels que l'aviation, le transport maritime, ou le transport de marchandises. Les autres formes de transport devront utiliser exclusivement l'électricité dans les 25 ans à venir et un système de production d'énergie 100% renouvelable doit être développé.



Cependant, la disponibilité de la biomasse est un facteur limitant. Il est généralement admis au sein des groupes d'expertise que la récolte danoise en biomasse pourrait être doublée, pour atteindre 200 PJ au cours des 20 prochaines années. Il faut 75 PJ pour couvrir la demande d'énergie dans le secteur du transport (en prenant seulement en compte l'aviation, le transport maritime et le transport de marchandises), ce qui signifie qu'il ne reste que très peu de biomasse disponible pour les autres secteurs car une autre grande partie est utilisée par le secteur agricole. Ainsi, il est crucial d'innover pour développer des processus de transformation et de production efficaces de la biomasse. Le graphique ci-dessus montre le bouquet énergétique pour un système de transport fonctionnant seulement aux énergies renouvelables. Même si la plupart des transports fonctionneront à électricité (violet), l'efficacité des moteurs permet d'avoir une consommation énergétique assez faible. Les biocarburants (rouge), ont eux, au contraire, une efficacité assez faible, due aux pertes énergétiques lors de la transformation des biomasses en biocarburants, ainsi qu'à cause de l'inefficacité du moteur à combustion. Les biocarburants doivent, par conséquent, être considéré comme un domaine où il est nécessaire d'innover pour améliorer l'efficacité de « la récolte à la roue ».

La biomasse danoise pour la production de biocarburant est actuellement produite grâce aux pailles issues de la production de céréales. Ceci n'est pas optimal dans la mesure où la disponibilité de ces pailles est déterminée par d'autres facteurs de la production de céréales, et

aussi parce que les céréales ont une courte période de récolte. Une avancée majeure serait de parvenir à passer de l'utilisation des pailles de céréale à l'utilisation d'une combinaison d'herbes et de plantes pouvant capter l'azote. Ce sont des plantes qui grandissent toute l'année, appelées « plantes de champs verts », qui peuvent être récoltées plusieurs fois dans l'année, qui peuvent produire leur propre engrais, et qui peuvent être utilisées pour de nombreuses applications industrielles avant de finir dans la raffinerie de biocarburants, voire même être utilisables après.

Un rapport du Conseil Danois pour la Technologie a été fait pour le ministère du Commerce en 2009 sur la production de biocarburant au Danemark. Ce rapport montre que l'économie des biocarburants dépendra de la rentabilité de produits connexes tels que les fibres de grande valeur, les enzymes, les produits chimiques et les nutriments, car le prix de production des biocarburants, à lui seul, ne peut pas être compétitif avec celui de l'électricité ou, dans un marché libéralisé, avec celui des carburants fossiles. A l'avenir, nous n'aurons donc pas seulement des raffineries de biocarburants mais des « bioraffineries » à multifonctions, qui, il faut le dire, s'intègrent bien dans les actuelles visions de l'avenir de la « bioéconomie ».

D'autres secteurs qui ont été soulignés, dans lesquels le Danemark pourrait jouer un rôle important en termes d'innovation et d'amélioration de l'efficacité énergétique du transport sont :

- les peintures pour bateau réduisant les frottements : la compagnie danoise Hempel est devenue un acteur important dans le secteur de la peinture pour bateau ;
- la logistique : le commerce maritime danois est un des plus importants et des plus innovants au monde ;
- de l'asphalte réduisant les frottements : le Danemark est à la pointe dans ce domaine ;
- des systèmes de trafic intelligent : le domaine des TIC et la recherche dans le secteur du trafic sont très développés au Danemark.

D'autres secteurs innovants mentionnés dans le rapport sont :

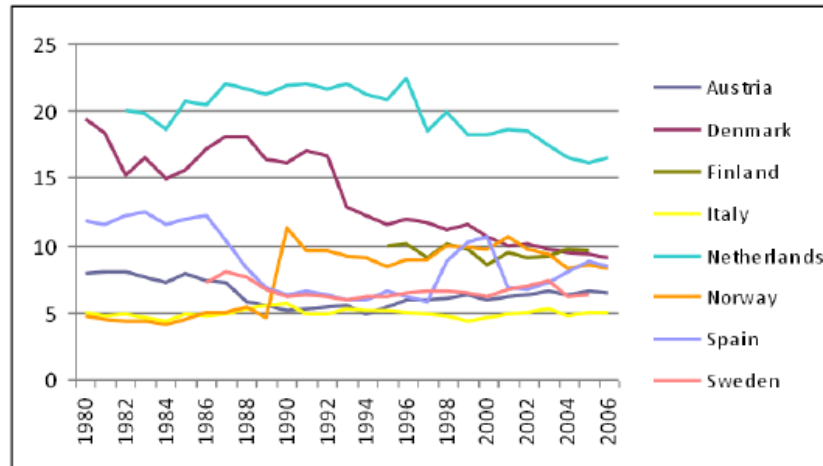
- le développement des systèmes collaboratifs des TIC tel que la vidéo-conférence afin de réduire les transports routiers professionnels ;
- un aménagement urbain intelligent pour améliorer la mobilité et pour « se déplacer dans les deux directions » aux heures de pointe, permettant ainsi une meilleure utilisation des transports publics ;
- une innovation plus importante dans le secteur des véhicules à deux ou trois roues pour diminuer l'utilisation des véhicules lourds.

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre

L'agriculture danoise est hautement intensive et fondée sur une solide recherche agricole, mais elle est une grande consommatrice d'énergie. Le Danemark ne peut donc montrer la voie aux autres pays en ce qui concerne les émissions basses de CO₂ émanant du domaine agricole. Les chiffres suivants montrent l'évolution de l'intensité énergétique pour l'agriculture de huit pays européens, entre 1980 et 2006. Exception faite des Pays-Bas, qui a une

importante production serricole, le Danemark est le plus grand consommateur d'énergie par euro produit dans le domaine agricole.

Intensité énergétique dans l'agriculture (MJ/euro, aux prix de 2000)



Ces résultats laissent toutefois une grande marge de progression. Le ministère du Climat, de l'Environnement et des Biens alimentaires danois a publié en 2009 un rapport proposant 15 mesures pour réduire les émissions en CO₂ de la production agricole. Les quatre mesures les plus efficaces, représentant 75% de l'effet total du rapport, étaient les suivantes:

- Utilisation du fumier pour la production de biogaz
- Production de copeaux de bois de saule sur les sols pauvres ou peu fertiles
- Combustion de paille pour la cogénération de chaleur et de carburant
- Fin de la production agricole sur les terres humides

La plupart de ces 15 mesures pourraient être améliorées. Le biogaz n'est pas encore une technologie infaillible; les rendements énergétiques des cultures ne sont pas énormes; la combustion de paille pour la production combinée de chaleur et d'électricité est encore un usage peu rentable du matériau, et la bioraffinerie lui permettrait sans doute d'atteindre une plus haute valeur de production; la mise au point de systèmes de production sur terre humide à faible impact environnemental aiderait les agriculteurs au Danemark et dans de nombreuses autres régions du monde.

Le rapport consacré à une mobilité intégralement durable s'est également intéressé à la consommation énergétique des machines agricoles. Près de 10% de l'énergie consacrée au transport danois sont employés par l'agriculture, et le potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique de ces machines est grand, tout comme la possibilité de réduire le traitement mécanique des sols.

Il est communément pensé que l'agriculture biologique a une empreinte environnementale moindre que celle de l'agriculture industrielle. Cette vision n'est pas nécessairement avérée en ce qui concerne l'émission des gaz à effet de serre en raison de la dépendance de l'agriculture biologique au bétail pour la production d'engrais. Le méthane produit par les animaux génère un important effet de serre, tandis qu'en principe les engrais industriels peuvent être produits à partir de sources d'énergie durables. La marge de progression de l'agriculture biologique

demeure assez grande, et l'une des améliorations possibles les plus évidentes, au point de vue de l'empreinte carbone, réside dans un système durable de production d'engrais.

Le paysage danois est soumis à de nombreuses pressions. Plusieurs politiques d'usage des terres sont en vigueur au Danemark; prises ensemble, elles occupent 140% du territoire danois. Les principales raisons de cette surestimation des ressources territoriales danoises sont les suivantes: les plans d'aménagement des forêts; les stratégies d'adaptation climatique; la perte de terres viables en raison du changement climatique; l'expansion constante des villes. Cette évolution appelle des façons neuves et innovantes d'utiliser la terre: l'agroforesterie, l'agriculture urbaine, et le déplacement des fermes d'élevage vers des zones industrielles – tous domaines qui suscitent de nombreuses recherches et innovations partout dans le monde. La recherche agricole danoise n'a pas encore relevé ce défi, mais aurait sans doute un rôle important à jouer dans ce domaine.

L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes

La tradition danoise d'engagement des citoyens dans l'innovation est assez forte. Depuis l'essor d'internet, un grand nombre de projets de développement de TICs ont fait usage de diverses technologies et méthodes pour évaluer les réactions du consommateur, l'opérabilité, le comportement des usagers, etc. Il semble toutefois que cette tradition ne soit pas ancrée dans la mise en œuvre de la transition énergétique.

C'est un fait bien connu des spécialistes: au Danemark, la transition énergétique nécessaire est rendue possible par l'essor des technologies dont nous disposons aujourd'hui – le secteur du transport faisant exception. Le défi que présente la mise en œuvre de cette transition ne réside donc pas dans une lacune des technologies, mais bien dans l'utilisation qui en est faite.

Les problématiques importantes pour la recherche et l'innovation sont donc de cet ordre:

- Comment inciter les consommateurs à investir dans des produits de meilleure efficacité énergétique ?
- Comment encourager les citoyens à consommer moins de viande ?
- Quelles incitations pourraient engager les propriétaires à investir dans la production décentralisée d'énergies renouvelables ?
- Comment amener une large part de la population à un haut niveau de compétence en ce qui concerne les comportements de consommation énergétique, l'investissement pour l'économie d'énergie, *etc.* ?

Les réponses "intelligentes" à ces questions doivent être entendues différemment des "technologies intelligentes". Il s'agit de parvenir à un engagement profond des citoyens, de sorte que les décideurs politiques puissent être assurés de l'effet positif de telles solutions.

Le cas de Stenlille, décrit plus haut, est un autre exemple de l'importance de l'implication citoyenne dans le processus de transformation de l'infrastructure, en vue de meilleures normes énergétiques. De nombreuses villes d'Europe sont en crise en raison de trop faibles investissements dans le logement et dans la performance énergétique du bâtiment. Un renforcement des pouvoirs locaux et de l'éducation semble un moyen essentiel – sinon unique – pour résoudre ces problèmes. Les innovations sociales nécessaires à une transition à grande

échelle n'ont pas encore été expérimentées à grande échelle, mais auraient certainement un impact conséquent.

Dans le secteur du transport, un autre problème important ne pourra être résolu que par une interaction avec les citoyens. Nous savons tous que l'augmentation du transport privé au détriment des transports en commun entraînera une augmentation des émissions de CO₂; mais cela n'affecte pas notre comportement, ni en tant qu'usagers et électeurs, ni en tant que décideurs politiques. Ce qui pourrait réellement faire la différence, dans le secteur du transport, c'est donc probablement des innovations sociales et politiques qui faciliteraient le changement de nos comportements. Par exemple, un système commun pour les taxes sur les véhicules privés et le paiement des transports publics, de sorte que le coût supplémentaire du transport soit réduit pour les usagers qui paient déjà pour leur propre voiture. Toutefois, sans connaître avec certitude la réaction des citoyens à des telles mesures, les décideurs politiques ne se risqueront pas à les mettre en œuvre. La participation publique est donc essentielle pour apprendre à anticiper la réception de diverses mesures.

En règle générale, un autre consensus existe parmi les spécialistes de l'énergie: la participation des citoyens à la transition énergétique n'est pas suffisante pour résoudre les défis qui se présentent à nous. Ces défis ne pourront être résolus sans la participation des citoyens.

États-Unis d'Amérique

Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments

En 2014, les bâtiments américains ont consommé 41 % de l'énergie de la nation et émis environ 39 % de son dioxyde de carbone. Les pratiques de construction écologiques peuvent créer des bâtiments plus économes en ressources, baisser les coûts d'exploitation, réduire la pollution et améliorer la qualité de l'air intérieur. Bien qu'il n'y ait pas de définition généralement acceptée de la construction écologique, l'analyse des différentes normes, comme le système de notation largement utilisé « *Leadership in Energy and Environmental Design* » (LEED), montre qu'un bâtiment écologique incorpore un ou plusieurs des six éléments généralement reconnus suivants : (1) des mesures de conservation d'énergie ou d'efficacité, permettant de réduire la consommation d'énergie dans un bâtiment ou d'utiliser des sources d'énergie renouvelables ; (2) des mesures de qualité de l'environnement intérieur, pour améliorer la qualité de l'environnement intérieur grâce à la ventilation et l'utilisation de matériaux à faibles émissions polluantes ; (3) des mesures de conservation et d'efficacité de l'eau, pour réduire la consommation d'eau à l'intérieur et l'extérieur du bâtiment ; (4) des principes de conception intégrés, pour planifier et concevoir en utilisant une équipe de projet avec une variété de parties prenantes, tels que des architectes, des constructeurs et des ingénieurs du bâtiment ; (5) des mesures de localisation ou d'emplacement durables : il s'agit de situer le bâtiment de façon à minimiser l'impact sur l'écosystème de proximité ; et (6) des mesures visant à réduire l'impact environnemental des matériaux : pour réduire l'impact environnemental des matériaux, telle que l'utilisation de matériaux et de produits développés de manière durable avec une haute teneur en matières recyclées, entre autres.

Les lois fédérales des États-Unis ont demandé aux agences gouvernementales de favoriser des pratiques de construction écologiques dans le « secteur non fédéral ». Cela vaut pour la plupart des bâtiments de la nation et comprend les bâtiments de l'État et des collectivités locales, ainsi que du secteur privé. Il existe un grand nombre d'initiatives fédérales à travers plusieurs agences du gouvernement américain visant à promouvoir des pratiques de construction écologiques dans le secteur non fédéral. Le gouvernement américain prend également des mesures pour mettre en œuvre les obligations en matière d'efficacité énergétique dans les bâtiments fédéraux, souvent en utilisant des « contrats de performance en matière d'économies d'énergie » (ESPC), où des entrepreneurs privés financent les coûts initiaux d'amélioration énergétique. Les agences remboursent ensuite les entrepreneurs à partir des économies réalisées, telles que celles résultant des factures moins élevées des services publics (*utilities*). Les économies de coûts et d'énergie que les entrepreneurs ont déclaré aux agences pour la plupart des ESPC ont atteint ou dépassé les prévisions, mais certaines de ces économies peuvent être surestimées.

L'utilisation des énergies renouvelables est, dans le bâtiment, une autre façon d'aider à atténuer les effets des gaz à effet de serre sur le changement climatique. Les politiques de l'État imposant l'utilisation des énergies renouvelables dans la production d'électricité, ainsi que les financements et les crédits d'impôt du gouvernement américain pour les producteurs d'énergies renouvelables, ont été les principaux facteurs qui ont abouti à une multiplication par trente de la production et une multiplication par dix-neuf de la consommation d'électricité à partir d'énergie éolienne et solaire aux États-Unis, entre les années 2000 et 2013. En particulier, l'énergie solaire peut être utilisée pour chauffer, refroidir et faire marcher les

maisons et les entreprises, avec une variété de technologies qui convertissent la lumière solaire en énergie utilisable. Des exemples de technologies de l'énergie solaire incluent le photovoltaïque, l'énergie solaire concentrée et l'eau chaude solaire. Les activités de promotion de la technologie de l'énergie solaire sont financées par l'investissement public et privé. La majorité des initiatives financées par six agences américaines ont soutenu des technologies photovoltaïques. Ces initiatives gouvernementales incluent de multiples activités de promotion de la technologie, allant de la recherche fondamentale à la commercialisation, en fournissant des fonds aux différents types de bénéficiaires, y compris les universités, l'industrie et les laboratoires et chercheurs fédéraux, principalement par le biais de subventions et de contrats.

En outre, depuis que les centrales électriques sont la plus grande source d'émissions de gaz à effet de serre aux États-Unis, le président Obama et l'Agence de protection de l'environnement ont récemment mis en place le *Clean Power Plan*, qui établit des normes pour les centrales existantes pour réduire les émissions de dioxyde de carbone de 32 % à partir des niveaux de 2005 d'ici 2030. En cas de succès, ce plan conduirait à 30 % de plus de production d'énergie renouvelable aux États-Unis.

Innovation, transports, mobilité

Les transports représentent 71 % de la consommation de pétrole des États-Unis et 33 % des émissions de carbone de la nation. La croissance de la population va déclencher une plus grande demande de carburant pour alimenter les véhicules. Les stratégies de transport économes en énergie pourraient réduire la consommation de pétrole et les émissions de gaz à effet de serre (GES). En utilisant moins de mobilité motorisée, en augmentant l'efficacité des véhicules et en utilisant des carburants contenant moins de pétrole et de charbon, on peut réduire les émissions de GES et la consommation de pétrole, tout en répondant aux besoins de transport. Aux États-Unis, deux réglementations principales – les normes d'émission des véhicules de gaz à effet de serre et d'économie de carburant, ainsi que la « norme de carburant renouvelable » – ont contribué à diminuer la consommation de carburant à base de pétrole.

Une autre loi exige que, d'ici 2022, les carburants de transport des États-Unis contiennent 36 milliards de gallons de carburants renouvelables, dont 15 milliards de gallons de carburant renouvelable pourraient venir de l'éthanol de maïs, mais le reste devrait provenir de biocarburants avancés, tels que l'éthanol à base de sources celluloses, comme le panic raide (*panicum virgatum*), et les résidus forestiers et agricoles, comme la sciure et la canne à sucre. Il reste plusieurs défis clés pour répondre à ces exigences, y compris le manque de biocarburant cellulosique suffisamment disponible dans le commerce pour atteindre les objectifs. Néanmoins, les biocarburants issus de la biomasse durablement récoltée pourraient fournir une part importante des marchés du kérosène, de l'essence et du diesel, si les objectifs technologiques sur les biocarburants du gouvernement américain sont atteints ; ces marchés sont matures, et les conditions de marché projetées existent. Le gouvernement américain soutient également le développement et l'utilisation de « carburants-aviation » (ou « carburéacteur ») de remplacement à partir de matières premières non-pétrolières, y compris la biomasse renouvelable (comme les résidus de cultures et d'arbres, les algues ou les déchets solides municipaux triés). Atteindre la compétitivité des prix pour les carburants-aviation de remplacement est le défi primordial du développement d'un marché viable. En tant que tel, aucun carburant-aviation de remplacement n'est actuellement disponible dans le commerce à des prix compétitifs avec des carburéacteurs classiques.

Une possibilité de réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant du transport est l'adoption de véhicules électriques ou à l'hydrogène. Cependant, l'adoption plus large de ces véhicules dépend du développement simultané et généralisé des infrastructures de production de distribution et d'alimentation d'hydrogène, ainsi que de recharge des véhicules électriques. Alors que le développement de cette infrastructure de distribution de détail serait plus coûteux que le maintien de l'infrastructure actuelle, les coûts d'infrastructure ne sont qu'une petite partie des coûts totaux de carburant. Des politiques et des incitations fortes peuvent être nécessaires pour surmonter les coûts pour le consommateur et pour répondre aux préoccupations en matière d'autonomie, pour s'attaquer aux problèmes de production et de déploiement des constructeurs automobiles, et pour encourager les fournisseurs d'énergie à construire rapidement les infrastructures. Reconnaissant que les incertitudes sur l'acceptation des consommateurs et le développement de l'infrastructure de ravitaillement peuvent créer des risques significatifs pour les investisseurs, la transition complète de véhicules conventionnels pourrait facilement prendre 35-50 ans.

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre

Le secteur agricole est une partie importante de l'économie américaine et il émet environ 6 % des émissions totales de gaz à effet de serre des États-Unis, mais les terres américaines (principalement des terres forestières) séquestrent assez de carbone pour compenser 12 % des émissions totales de gaz à effet de serre. Les sources de ces émissions comprennent la consommation de carburant, les engrais qui peut émettre de l'oxyde nitreux et les émissions de méthane provenant du bétail. Les agriculteurs peuvent prendre certaines mesures d'atténuation (*mitigation*) pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et séquestrer du carbone. Par exemple, les agriculteurs peuvent utiliser des bâtiments économes en énergie, des véhicules ou du matériel agricole qui fonctionnent avec des énergies renouvelables plutôt qu'avec des combustibles fossiles. En outre, les agriculteurs peuvent mettre en œuvre des mesures d'atténuation, telles que l'agriculture sans labour et l'agriculture de précision. L'adoption de l'agriculture de précision peut réduire les méfaits sur l'environnement de l'utilisation excessive d'intrants tels que les engrais et les pesticides, ce qui peut réduire les émissions d'oxyde nitreux. Au cours du processus digestif, le bétail émet une quantité considérable de méthane, un gaz à effet de serre ; la réduction de ces émissions est une autre stratégie d'atténuation. Des travaux sont en cours pour modifier le régime alimentaire des bovins et améliorer les pratiques de gestion du fumier, dans un effort pour réduire les émissions de méthane.

L'agriculture des États-Unis a été et continuera d'être affectée par le changement climatique, qui probablement provoquera une augmentation de la température, de l'intensité des précipitations et des événements extrêmes dans certaines régions, et des conditions climatiques extrêmes, comme les sécheresses durables et les vagues de chaleur. Le tableau 1 résume l'impact potentiel du changement climatique sur l'agriculture aux États-Unis.

Impacts prévus du changement climatique sur l'agriculture aux États-Unis

Catégorie	Changements prévus	Exemples d'impacts sur l'agriculture
Température	Augmentation des températures américaines moyennes entre 1,6 °C et 5,5° C d'ici à la fin du siècle.	Pertes de rendement des cultures ; saison de croissance plus longue ; augmentation des besoins d'irrigation dans certaines régions ; augmentation du stress des animaux.
Dioxyde de carbone	Niveau accru de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.	Accroissement de la croissance des plantes pour certaines espèces.
Eau	Changement du rythme, de l'intensité et de la quantité du mélange pluie – neige ; augmentation de la pluie ainsi que des conditions de sécheresse.	Augmentation de l'utilisation de l'eau en raison de températures plus élevées ; moindre croissance et baisse des rendements ; défis pour apporter de l'eau aux cultures au bon moment ; augmentation des inondations et de l'érosion.
Conditions extrêmes	Augmentation des sécheresses et des épisodes de précipitations extrêmes.	Augmentation de l'érosion des sols ; altération de la disponibilité de l'eau ; perte de matière organique dans le sol.
Mauvaises herbes, insectes et maladies	Augmentation des mauvaises herbes, des niveaux des populations d'insectes et des maladies ; changement dans la distribution géographique des parasites.	Changement dans les rendements et la qualité des cultures. Utilisation potentiellement accrue d'herbicides et de pesticides.

Les priorités en matière de changement climatique du gouvernement américain pour l'agriculture comprennent, entre autres choses, une meilleure information des agriculteurs sur les conditions climatiques futures. Ces priorités sont généralement en phase avec les priorités nationales, qui incluent la promotion des actions qui réduisent les émissions de gaz à effet de serre, la progression de la science du climat, le développement d'outils pour les décideurs et le développement de meilleures projections des conditions climatiques futures. Le gouvernement est engagé dans des efforts de recherche visant à mieux comprendre les impacts du changement climatique sur l'agriculture et à fournir une assistance technique aux agriculteurs. Grâce à l'utilisation des programmes existants de conservation et d'énergie, l'objectif est de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de séquestrer le carbone de sorte qu'il ne soit pas relâché, ou qu'il soit activement retiré de l'atmosphère.

L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes

Les enquêtes nationales de l'opinion publique des États-Unis ont montré un large soutien public pour une variété de mesures visant à accroître l'efficacité énergétique et la diversification de l'approvisionnement énergétique. Des enquêtes montrent qu'environ les trois quarts de la population des États-Unis soutiennent – « fortement » ou « plutôt » – le développement de voitures et des centrales électriques plus économes en carburant, ainsi que d'autres technologies similaires ; encouragent les entreprises à réduire leurs émissions de dioxyde de carbone ; soutiennent le recours croissant à l'énergie éolienne et solaire. Environ 65 % du public soutiennent – « fortement » ou « plutôt » – les actions pour encourager les gens à réduire les émissions de dioxyde de carbone – par exemple en conduisant moins ou en rénovant leur maison. Environ 45 % soutiennent – « fortement » ou « plutôt » – le recours croissant à l'énergie nucléaire, car elle réduit les émissions de gaz à effet de serre.

La recherche montre que les citoyens sont plus enclins à prendre des mesures pour lutter contre le changement climatique s'ils voient les avantages de ces actions pour eux-mêmes et pour la société ; et s'ils ressentent des émotions comme la peur et la colère sur la réalité actuelle et les dangers futurs. Leurs jugements et émotions varient selon qu'ils donnent ou non la priorité à des résultats moraux. Pour cette raison, des messages sur les conséquences du changement climatique doivent être cadrés dans le contexte des valeurs qui sont au cœur des publics particuliers. Fournir seulement des informations aux citoyens sur les dangers du changement climatique est peu propice, en soi, à stimuler une action efficace. Avant que l'information mène à l'action, les citoyens doivent reconnaître une responsabilité personnelle vis-à-vis de ces problèmes et doivent avoir des informations sur les actions spécifiques qu'ils peuvent entreprendre pour lutter contre le changement climatique.

Le gouvernement américain diffuse de tels renseignements utiles aux citoyens par le biais des sites web des agences. Par exemple, un site souligne comment conduire une voiture, éclairer et chauffer sa maison à l'aide d'électricité et jeter les ordures entraîne des émissions de gaz à effet de serre et comment les citoyens peuvent réduire ces émissions grâce à des mesures simples comme le changement de vieux appareils et ampoules avec des produits « ENERGY STAR », la mise hors tension de l'électronique, une moindre consommation d'eau et le recyclage. Ces mesures d'efficacité énergétique dans les maisons et les bâtiments pourraient aider à contrer les effets du changement climatique, car une grande partie de la consommation totale d'énergie des États-Unis se situe dans les maisons et les bâtiments. Cependant, les gens ont tendance à sous-estimer les économies d'énergie en raison d'une perception erronée du prix de l'énergie, d'une information imparfaite sur l'efficacité énergétique et des raisonnements biaisés sur les économies d'énergie. Des voies permettant de contrer les idées fausses des gens seraient : de refléter les coûts sociaux de la consommation d'énergie dans le prix de l'énergie ; de fournir des incitations financières pour réduire l'utilisation d'énergie ; d'améliorer les normes d'efficacité énergétique ; et de fournir une meilleure information sur l'efficacité énergétique. Beaucoup de ces voies sont pratiquées aujourd'hui aux États-Unis.

Finlande

Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments

Plusieurs politiques visent à accroître l'efficacité énergétique dans les bâtiments en Finlande. Elles comprennent le code de la construction pour les bâtiments neufs et existants ; l'étiquetage énergétique ; un soutien financier pour les sociétés de logement et des ménages ; la R&D&D (recherche, développement et démonstration) ; des informations et des formations ; des taxes sur l'énergie. Ces mesures facilitent également l'innovation grâce à une demande croissante ; par exemple, le renforcement du code de la construction a poussé les entreprises de construction à trouver des moyens commercialement attrayants pour construire des maisons passives.

Plusieurs programmes de R&D&D sur les bâtiments à faible émission de carbone ont vu le jour, parmi lesquels on peut citer quelques exemples intervenus au cours des dernières années :

- FInZEB : construction d'un consensus national avec les parties prenantes sur des maisons proches de l'énergie zéro pour mettre en œuvre la directive sur le performance énergétique des bâtiments dans le contexte finlandais (<http://finzeb.fi/>) ;
- GUGLE : augmentation de la performance énergétique d'un quartier à population vieillissante à proximité du centre-ville de Tampere (<http://eu-gugle.eu/fi/pilot-cities-4/tampere>) ;
- SubUrbanLab : s'engager auprès des résidents pour réduire la consommation d'énergie dans les immeubles d'appartements locatifs (<http://suburbanlab.eu/living-labs>) ;
- Renzero : pilotage de la rénovation énergétique d'une vieille maison unifamiliale (<http://renzero.fi>) ;
- MECOREN : développer des méthodes et des concepts pour la rénovation durable (<http://vtt.fi/sites/mecoren/en>) ;
- FRAME : assurer le contrôle de l'humidité dans les constructions éconergétiques (<http://tut.fi/en/about-tut/departments/civil-engineering/research/structural-engineering/building-physics/frame/index.htm>).

Le forum le plus important pour la vitrine de l'innovation a été la foire annuelle du logement (<http://asuntomessut.fi/en/english-home>), attirant des milliers de visiteurs et obtenant l'attention des médias. Des solutions innovantes démontrées au cours de ce type de foires comprennent :

- des maisons à énergie zéro ;
- un bloc de maisons construites en bois ;
- la récupération de la chaleur perdue des poêles à bois ;
- des matériaux de construction recyclés ;
- des systèmes automatisés de collecte de déchets ;
- la récupération de chaleur à partir des sédiments du lit des lacs ;

- la cogénération (CHP) à partir de biogaz avec des piles à combustible ;
- des systèmes intelligents pour surveiller et gérer la consommation d'énergie.

La Commission pour le Futur a préconisé l'introduction de la facturation nette. Avec la facturation nette, la production d'énergie renouvelable distribuée à petite échelle serait mieux compensée, ce qui encouragerait la transition vers les maisons à énergie zéro, voire même positive.

Un élément clé sur la réduction de l'empreinte carbone de la construction a été l'utilisation accrue du bois. Un programme national a favorisé la construction en bois et une norme a été développée pour les éléments de bois (RunkoPES). Quelques exemples finlandais de la construction en bois peuvent être trouvés sur : <http://woodarchitecture.fi>.

Rudus (<http://rudus.fi>) a développé un béton vert pour lequel il assure pouvoir réduire l'empreinte carbone de 20-50 %. Une innovation intéressante est un robot de tri des déchets de construction par Zen Robotique (<http://zenrobotics.com>).

Il y a bien sûr une activité d'innovation dans des domaines connexes, en particulier l'énergie. Par exemple, un groupe de recherche de l'Université Aalto a obtenu le record du monde de l'efficacité des cellules solaires en silicium noir.

Innovation, transports, mobilité

La Finlande n'a jamais été un pôle majeur de l'industrie automobile. L'innovation a mis l'accent sur d'autres domaines que la technologie des moteurs. Les points forts incluent par exemple les biocarburants avancés et les systèmes de transport intelligents (STI).

La Finlande est le pays du grand producteur mondial de biodiesel à partir de déchets et de résidus, Neste, société majoritairement à capitaux publics (<http://neste.com>). Le « NEXBTL » de cette compagnie est un biodiesel *drop-in* avancé qui peut être utilisé jusqu'à 100% dans les voitures normales diesel sans modification. Neste produit également du carburant renouvelable d'aviation qui a été démontré sur des vols commerciaux de passagers.

Pour ses biocarburants, Neste utilise diverses matières premières, y compris les graisses et les huiles usées. Il y a eu beaucoup de controverse sur l'utilisation de l'huile de palme et d'autres produits dérivés qui contribuent à la disparition des forêts tropicales à travers le « changement d'utilisation indirecte des sols » (*ILUC* en anglais). Neste explore de nouvelles matières premières telles que les algues et les microbes, mais celles-ci restent à des phases pré-commerciales.

Diverses entreprises finlandaises sont impliquées dans le développement de biocarburants à partir de déchets, des sous-produits de l'industrie ou de la biomasse solide. Par exemple, UPM (<http://upmbiofuels.com>) produit du biodiesel à partir d'huile de *tall* (jeune pin) brute, un sous-produit de l'industrie de la pâte. St1 (<http://st1biofuels.com>) utilise différents flux de déchets, y compris les déchets de boulangerie et de la poussière de scie, pour produire du bioéthanol.

Il y a eu de nombreux programmes de R & D sur les transports bas-carbone, les biocarburants et les systèmes de transport intelligents (ITS), et notamment :

- Transeco, quant au développement, la démonstration et la commercialisation de la technologie pour améliorer l'efficacité énergétique et la réduction des émissions dans le transport routier (<http://transeco.fi/en~~number=plural>)

- Liikennelabra : « Transport Lab », démontrant ses solutions en matière de systèmes de transport intelligents (ITS) (<http://liikennelabra.fi>)
- EVE : création d'une communauté de véhicules électriques (EV) et développement d'environnements de test (<http://tekes.fi/en/programmes-and-services/tekes-programmes/eve~~number=plural>)

Les ITS sont réunis au sein d'ITS Finlande (<http://its-finland.fi/index.php/en>). Le Comité a suggéré la mise en place de plateformes régionales d'essais et l'utilisation de la fiscalité pour soutenir ces solutions.

Le pilote le plus renommé internationalement est KutsuPlus (<http://kutsuplus.fi/home>), un hybride entre les transports publics et les taxis. Les utilisateurs enregistrés peuvent héler un bus KutsuPlus mini-ligne et payer 3,5 euros par trajet + 0,45 euros par kilomètre. Le bus prend les passagers depuis l'un des arrêts désignés et les dépose à l'un des mêmes arrêts en utilisant des algorithmes pour combiner les différents itinéraires des passagers.

Un troisième domaine d'activité tourne autour de véhicules électriques. Keliber (<http://keliber.fi/lang/en>) envisage d'ouvrir la plus grande mine de lithium en Europe (<http://europeanbatteries.com>) pour fabriquer des batteries au lithium, si elle peut se remettre de son dépôt de bilan. Diverses entreprises sont impliquées dans la construction de systèmes de tarification intelligente (voir par exemple <http://Ensto>, <http://ensto.com> et Liikennevirta, <http://virta.fi>). Le Comité a souhaité la création de réductions d'impôt pour accélérer l'introduction de véhicules électriques (IVs).

Le rôle des différents combustibles dans les voies de faibles émissions de carbone a été traité par un groupe de travail ministériel sur la propulsion alternative et par le rapport de prospective gouvernementale sur le climat à long terme et la politique énergétique (<http://bit.ly/1NGMuvs>). Une leçon à retenir de ce dernier est que les voies de décarbonisation profonde sont susceptibles de nécessiter l'électrification du parc automobile. Techniquement, les voitures pourraient être alimentés par des biocarburants, mais comme les ressources de la biomasse durable sont limitées, elles doivent être réservées pour des utilisations où aucune des alternatives viables n'existent – en particulier pour le trafic aérien, le transport maritime et le transport routier lourd.

Certains signaux encore faibles indiquent que la Finlande, aussi, pourrait atteindre un pic automobile, à savoir un pic dans l'utilisation des voitures privées. Cependant, il n'y a pas suffisamment de données pour étayer ces allégations. En outre, les tendances sous-jacentes possibles sont assombries par la récession longue et profonde dans l'économie finlandaise.

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre

Diverses études suggèrent que la réduction des émissions dans l'agriculture peut se révéler difficile et peut-être coûteuse. La plupart des mesures prometteuses et rentables comprennent : la préservation des sols organiques ; la conversion des déchets animaux et végétaux en biogaz ; l'amélioration de la gestion du fumier ; la sélection végétale ; la réduction de l'utilisation d'engrais azotés ; l'accroissement de l'efficacité énergétique ; le remplacement des combustibles fossiles par des énergies renouvelables ; la réduction du gaspillage alimentaire ; et le passage à des régimes alimentaires plus à base de légumes. Le programme sur le climat

pour l'agriculture, coordonné par le ministère de l'Agriculture, répertorie 76 mesures visant à atténuer les changements climatiques ou à s'y adapter.

Il y a beaucoup de travaux de R & D sur le développement des moyens commercialement viables pour produire des engrais à partir du fumier dans un pays relativement peu peuplé comme la Finlande. Par exemple, le projet Palopuro Agroecological Symbiose (<http://blogs.helsinki.fi/palopuronsymbioosi/english>) vise à une production auto-suffisante en énergie et en éléments nutritifs. Sybimar (<http://sybimar.fi/en>) utilise l'écologie industrielle pour combiner l'aquaculture, l'effet de serre, les biocarburants et l'énergie éolienne, en réalisant des boucles fermées. Le Comité a demandé au gouvernement de fixer comme objectif que la Finlande soit le pays leader dans le recyclage des nutriments.

Il y a des travaux en cours dans le développement de nouvelles façons d'augmenter la teneur en carbone des sols agricoles. Humuspehtoori (<http://humuspehtoori.fi>) vend un produit contenant des fibres de bois provenant de l'industrie du papier. Il y a aussi des essais de l'utilisation de carbone du bois dans les sols agricoles, par exemple à la ferme Knehtilä.

Comme les solutions à portée de main sont peu susceptibles de suffire pour atteindre les voies bas-carbone dans le moyen et long terme, des solutions plus innovantes et radicales doivent être explorées. Celles-ci peuvent inclure la recherche de sources alternatives de nourriture, des changements structurels tels que le remplacement de produits d'origine animale par des options à base de légumes dans la production et la consommation, et la modification des plantes et des animaux.

Il y a une recherche académique et industrielle pour trouver les moyens de remplacer le soja dans l'alimentation animale par des protéines produites localement. L'utilisation de lupin bleu et de féverole est étudiée à l'Université d'Helsinki. Une société finlandaise de produits laitiers Valio (<http://valio.com>) développe un procédé de production d'aliment liquide riche en protéines à partir de l'ensilage.

Plusieurs sociétés travaillent sur des alternatives à la viande et aux produits laitiers à base de légumes produits localement. Par exemple, Bioferme (<http://bioferme.fi/en>) utilise l'avoine pour produire des alternatives aux produits laitiers (par exemple le yaourt) et Raisio (<http://raisio.com/en/en~~number=plural>) fabrique des boissons à base d'avoine. Oy Soja Ab (<http://jalotofu.fi>) utilise le chanvre pour remplacer le soja dans le tofu, Verso Food (<http://versofood.fi/en>) fabrique des produits riches en protéines à base de féverole et Palkuainen (<http://tempe.fi>) développe du tempeh à base de pois et le lupin. Entocube (<http://entocube.com>) travaille sur la commercialisation de grillons comme une source de protéines à faible carbone.

Il y a une tradition relativement longue de recherche en Finlande sur l'empreinte carbone de la nourriture, menée par ce qui s'appelle maintenant le Natural Resources Institute Finland (<http://luke.fi/en>). Ces projets ont inclus la recherche sur l'empreinte carbone des différentes denrées alimentaires et des options de repas, ainsi que l'étiquetage de l'empreinte carbone. Raisio a introduit des étiquettes d'empreinte carbone sur certains de ses produits.

Les innovations sociales sur la réduction des déchets alimentaires se propagent d'une municipalité à l'autre, les seniors sont ainsi invités à manger ce qui reste des repas scolaires pour un prix marginal (<http://sitra.fi/en/blog/industrial-symbiosis/sidestreams-food-money>). Les médias sociaux sont également utilisés pour le partage de la nourriture.

Plus précisément, sur la question de la conversion de l'excès d'énergie renouvelable aux carburants, il y a un programme de recherche important concernant la faisabilité de transformer l'électricité en méthane (<http://neocarbonenergy.fi>).

L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes

Dans la plupart des cas, le rôle de l'information et de l'éducation pour changer le comportement des gens est susceptible d'être limité et temporaire. Cela est d'autant plus vrai que d'autres facteurs vont à l'encontre des objectifs. Par exemple, il est peu utile de lancer une campagne pour inciter les gens à passer de la voiture particulière vers les transports publics si les services de transports publics sont limités, de mauvaise qualité ou coûteux.

Les mesures « douces » peuvent être plus efficaces si elles sont combinées avec d'autres mesures et si elles sont soigneusement conçues. Demos Helsinki (<http://demoshelsinki.fi/en>), un *think tank* finlandais, a travaillé sur les protecteurs des solutions à faible émission de carbone, à savoir les personnes clés qui peuvent influencer les consommateurs pour qu'ils choisissent des options à faible carbone. S'adresser à ces protecteurs – par exemple aux vendeurs d'appareils ménagers en matière d'efficacité énergétique – peut être plus efficace que les campagnes destinées au grand public.

Sur la base de travaux de recherche, nous savons que la communication par les pairs et les modèles tend à avoir un impact significativement plus grand. L'information peut également jouer un rôle plus important si elle implique un élément social. Par exemple, être le premier dans un quartier à installer un panneau solaire peut entraîner un facteur de multiplication, car d'autres personnes peuvent voir la solution de leurs propres yeux.

Une partie du travail pour fournir des informations sur les choix bas-carbone est financé publiquement. Motiva (<http://motiva.fi/en>), une société appartenant à l'État, sert de centre national d'information. Les bureaux régionaux de l'énergie fournissent information et formation localement dans certaines régions, avec des objectifs différents. Toutefois, le financement tend à être rare et basé sur les projets, ce qui réduit l'efficacité et l'impact à long terme des activités.

Il y a différentes façons de faire participer les collectivités et les citoyens aux solutions à bas-carbone. Lumituuli (<http://lumituuli.fi>) est la première société d'énergie éolienne citoyenne en Finlande. Joukon Voima (<http://joukonvoima.fi>) utilise le financement participatif (*crowdfunding*) pour financer des projets d'énergies renouvelables. De nouveaux modèles économiques peuvent également faciliter le changement vers une faible émission de carbone, c'est le cas de financements qui permettent au client de payer l'investissement progressivement, à partir des économies générées.

Le précédent Comité du Futur a travaillé sur deux outils généraux qui peuvent être appliqués également pour lutter contre le changement climatique. Le Comité a commandé un rapport et a réalisé un projet pilote sur le financement participatif (*crowdsourcing*). Les leçons sont très prometteuses, suggérant que le financement participatif peut réussir en impliquant les citoyens et en fournissant de multiples avantages. Le Comité préconise l'édiction de règles transparentes et favorables pour rendre le financement participatif attrayant.

Le Comité a également commandé un rapport sur ce qu'on appelle « kokeiluyhteiskunta » en finnois. Le terme, parfois traduit comme Etat « favorable » ou « expérimentateur », signifie une société ouverte et promouvant activement des projets pilotes et de démonstration comme un moyen de tester des idées et d'apprendre d'eux rapidement.

La production participative et une plus grande utilisation du pilotage peuvent jouer un rôle dans la mobilisation des citoyens face au changement climatique en général et promouvoir l'innovation en matière de faible émission de carbone en particulier. Par exemple, la

production participative peut être utilisée pour fournir des contributions et pour accroître l'acceptabilité de certaines mesures de politique climatique. De même, le pilotage peut être un outil pour tester de nouvelles technologies à faible carbone ou politiques climatiques et acquérir de l'expérience pour les développer avant une extension à plus grande échelle.

Grèce

Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments

1. Le programme « d'économie d'énergie chez soi »

Ce programme fournit des financements en vue d'encourager les mesures d'économie d'énergie dans le secteur des immeubles résidentiels. Ce programme couvre les vieux bâtiments homologués, qui ont été construits avant l'introduction de la réglementation sur l'isolation thermique, qui sont situés dans des régions avec une certaine gamme de prix et qui sont utilisés comme résidence principale ou secondaire. De plus, les propriétaires doivent avoir un salaire correspondant à certains seuils.

2. Le programme « Exoikonomo (Save) »

L'objectif de ce programme est de mettre en place des actions et des pratiques exemplaires éprouvées afin de réduire la consommation énergétique en zone urbaine. Une attention particulière sera apportée au secteur du bâtiment (bâtiments municipaux) et à la rénovation d'espaces publics. Le secteur du transport (public ou privé) et les infrastructures municipales énergivores seront aussi pris en charge avec la mise en place d'interventions techniques et de certaines actions pour sensibiliser et mobiliser le citoyen, les collectivités locales, les entreprises et les institutions.

3. Le programme « Exoikonomo II (Save II) »

Cette mesure est une continuité du programme « Exoikonomo » et prévoit la rénovation de bâtiments municipaux et d'infrastructures, ainsi qu'une installation d'appareils « intelligents » de mesure d'énergie. Ces appareils permettraient de mesurer sur une base horaire la consommation en énergie afin de pouvoir regrouper de façon judicieuse toutes les informations nécessaires concernant la consommation des industries, des commerces et des consommateurs. Ceci participerait à mettre en place des mesures financières et incitatives, en vue de promouvoir une vision plus rationnelle de notre consommation énergétique.

Innovation, transports, mobilité

Réduire l'empreinte écologique du secteur de la demande peut être réalisé en se concentrant sur le domaine du transport. Par exemple en favorisant les navires GNL en mer, les trains et les camions, en utilisant les positions géographiquement stratégiques des terminaux GNL existant sur l'île de Revithoussa. Les initiatives stratégiques de l'UE comme le projet « Corridor bleu » devrait contribuer à la promotion de telles initiatives grecques. Nous prônons aussi l'utilisation de voitures et de bus électriques ou fonctionnant au gaz naturel, tout comme l'électrification des axes ferroviaires et du réseau du transport public, ainsi que l'utilisation d'appareils de mesure et d'un réseau électrique «intelligents».

La politique de remplacement des vieux véhicules vise à remplacer les véhicules de tourisme EURO III par de nouveaux véhicules homologués EURO V par le biais d'une exonération fiscale, partielle ou totale, de la taxe d'immatriculation des véhicules de tourisme.

L'agrandissement du métro d'Athènes et le projet de développement du métro de Thessaloniki a pour objectif d'augmenter l'utilisation des transports en commun dans ces villes, ce qui devrait réduire l'utilisation privée de voitures et faire des économies d'énergie considérables.

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre

L'attrait de compagnies internationales de premier rang sur le sol grec, peut permettre d'assurer une exploration et une extraction d'hydrocarbures de façon sûre, en coopération étroite avec des entreprises grecques et maximisera les profits dus aux explorations des ressources naturelles nationales. La façon la plus efficace pour y arriver - dans ce marché international fortement concurrentiel de l'hydrocarbure - est de mettre en place un cadre réglementaire stable et propice au monde des affaires en Grèce. Par ailleurs, cela demanderait d'organiser une campagne dynamique et précise d'information pour les compagnies internationales, en parallèle d'une initiative pour informer la société grecque d'un programme réalisable et des réelles opportunités pour notre pays dans ce secteur.

L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes

La participation des citoyens dans les décisions administratives concernant la protection de l'environnement trouve sa légitimité dans : (a) une démocratie accomplie, (b) les droits sociaux de l'individu, de l'environnement et donc de sa protection, (c) le besoin croissant d'un meilleur équilibre entre les pouvoirs publics et la société civile, pour en faire une dynamique permettant d'absorber les chocs (d) à l'article 24, paragraphes 1 et 2 ainsi qu'à l'article 25 paragraphe 1 de la Constitution de 1975. Cependant, aucune mesure concernant l'engagement des citoyens n'a été prise jusqu'à présent.

Conclusion

La Grèce a besoin d'un cadre réglementaire moderne pour les activités des Sociétés de Services Energétiques (SSE) ainsi que pour le développement de projets concernant l'économie d'énergie et l'efficacité énergétique. Des interventions législatives ciblées peuvent lever certains obstacles tels que : l'absence d'un cadre spécifique lié aux échanges en énergie thermique, ainsi qu'à une gestion active des sources d'énergies renouvelables ; l'absence d'incitations pour améliorer le rendement énergétique de certaines installations dans le secteur privé, et l'absence d'un marché équilibré du gaz et de l'électricité. La question des outils financiers comme les obligations « vertes » faites par les autorités locales (fondées sur le modèle américain PACE) pourraient être très utiles en la matière ainsi que la fourniture de garanties de la part des institutions européennes.

Cet objectif doit être considéré comme une des priorités majeures de la Grèce. Aujourd'hui, le marché de l'énergie grec souffre d'un manque d'aide publique suffisante et n'est pas dans les conditions adéquates pour développer un environnement compétitif. Le gouvernement grec peut promouvoir des réformes structurelles du marché de l'énergie. Par exemple, nous pensons à une application plus large du concept de la « sélection de clients » pour les gaz naturels, à une modification du contrat d'appel d'offre pour les gaz naturels entrepris par la Compagnie de Gaz Publique Grecque (DEPA), à l'élaboration de règles autorisant les échanges commerciaux de quantités importantes de gaz naturel liquéfié (GNL) en réservoirs, à la libéralisation de contrats bilatéraux pour l'approvisionnement en électricité, à l'accès par des tiers aux gisements de lignite et à la possibilité d'utiliser des infrastructures facilitant le commerce d'énergies renouvelables.

La réglementation hellénique des énergies renouvelables devrait être harmonisée avec celle visée par l'UE pour 2030, et devrait utiliser plus particulièrement les mécanismes de coopération énoncés par la directive européenne 2009/29/EU, prônant l'utilisation des sources d'énergies renouvelables ainsi que les transactions transfrontières. En particulier, le gouvernement grec peut promouvoir un nouveau modèle concurrentiel fondé sur les mécanismes de marché et motivé par des objectifs fixés avec prudence et s'appuyant sur des technologies et certaines zones géographiques. Le modèle de marketing direct, actuellement utilisé en Allemagne, pourrait servir d'exemple. Un tel modèle pourrait considérablement réduire le fardeau financier actuel de l'économie grecque.

Norvège

Contexte: L'accord norvégien sur le climat

Le pétrole et le gaz sont les produits les plus exportés et le moteur économique de la Norvège. C'est aussi ce secteur qui émet le plus de gaz polluants. Le gouvernement norvégien a donc fixé la transition verte comme priorité afin de promouvoir une économie et un environnement durables.

La politique climatique norvégienne est fondée sur un large accord politique obtenu en 2012. En plus de l'objectif principal de réduction des émissions, l'accord décrit une série de mesures qui seront mises en œuvre en Norvège. Cela comprend :

- la suppression progressive du chauffage par énergies fossiles ;
- des normes plus strictes pour le secteur du bâtiment ;
- une contribution au développement des biogaz en Norvège ;
- l'utilisation des taxes automobiles pour obtenir une flotte plus respectueuse de l'environnement et du climat ;
- le renforcement du rôle du rail dans le système de transports.¹

Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments

L'énergie utilisée dans les foyers privés s'est stabilisée autour de 44-46 Twh dans le milieu des années 1990, après une période de croissance de 2% par an à partir des années 1970.² Cependant, les décideurs politiques considèrent qu'une réduction de 1,4-3 Twh dans ce secteur est réaliste.³

Les foyers norvégiens sont en grande partie chauffés par l'utilisation d'électricité ce qui correspond à environ 70% de la dépense énergétique. Cependant, il faut signaler que puisque l'électricité du réseau électrique norvégien vient de l'énergie hydroélectrique, la quantité de gaz à effet de serre émise est relativement faible.

En 2012 le gouvernement norvégien a proposé trois objectifs pour l'utilisation d'énergies durables dans les bâtiments :

- la consommation d'énergie devrait être considérablement réduite d'ici 2020 ;
- les réglementations devraient assurer que les nouveaux bâtiments soient construits de manière à ce qu'ils nécessitent moins d'énergie que les seuils prévus par la loi ;

¹ <https://www.regjeringen.no/en/topics/climate-and-environment/climate/innsiktsartikler-klima/agreement-on-climate-policy/id2076645/>

² Norwegian Water Resources and Energy Directorate (2011).

³ Meld. St. 28 (2011–2012) Gode bygg for eit betre samfunn, white paper on buildings for a better future, p 76.

- L'information et des dispositifs de soutien devraient aider à rendre les bâtiments existants plus efficaces en énergie.⁴

1. Une entreprise publique pour l'énergie verte

Enova est une entreprise publique appartenant au Ministère du Pétrole et de l'Énergie, créée en 2001 dans le but de faire avancer le passage à une consommation et une production d'énergie plus respectueuse de l'environnement en Norvège. Pour atteindre cet objectif, Enova travaille de près avec des entreprises publiques et privées pour réduire la consommation d'énergie et, dans le même temps, augmenter la production d'énergie issue de sources renouvelables.

Selon son rapport annuel, en 2014, Enova a rejoint 1400 nouveaux projets dans les secteurs privé et public et a soutenu 4500 nouvelles mesures énergétiques dans les bâtiments résidentiels. Ce fut la première année où elle a accordé plus de soutien au développement de l'innovation et la technologie qu'à la diffusion de technologies connues des marchés. Cela est un changement intéressant à la lumière des défis énergétique et climatique auxquels nous faisons face. Nous ne pouvons pas répondre à ces défis sans le développement de l'innovation et de la technologie.

Enova fournit des financements pour des projets qui mènent à une consommation d'énergies renouvelables plus importante. Par exemple, un projet soutenu par Enova est l'installation par Statkraft Varme's d'une ligne de chauffage de quartier entre deux voisinages dans la municipalité de Trondheim. Pendant la période 2009-2014, le projet a reçu un soutien de 19,1 millions de couronnes norvégiennes. Le chauffage renouvelable est l'un des marchés dans lequel ENOVA est engagé car il présente le potentiel d'être une forme d'énergie plus fiable et plus durable pour l'avenir.⁵

2. Maisons passives et zéro émission

En 2015 et 2020 la réglementation norvégienne sur l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments deviendra plus stricte. La réglementation de 2015 est relative aux maisons passives alors que celle de 2020 visera zéro émission. Les acteurs concernés du secteur de la construction ont été informés des changements quelques années en avance afin de donner à l'industrie de la construction assez de temps pour s'adapter et qu'elle soit encouragée à innover avant que la réglementation ne rentre en vigueur.

De plus, l'accord politique relatif à la politique climatique dit que le chauffage par combustibles fossiles doit être interdit d'ici 2020. En plus de réduire les gaz à effet de serre, la pollution locale sera réduite et le risque de fuites éliminé. Les biocombustibles resteront disponibles comme alternative aux combustibles fossiles.

En juillet 2010, de nouvelles réglementations ont été introduites en Norvège. Elles comprennent des exigences en matière d'efficacité énergétique dans les bâtiments (Tek 10).⁶ Elles fixent les exigences minimales que doivent remplir les bâtiments en termes d'utilisation des matériaux et des alternatives pour le chauffage. Par exemple, Tek 10 dit que plus de 60% du chauffage des bâtiments de plus de 500 m² doivent provenir d'autres sources que de

⁴ Meld. St. 28 (2011–2012) Gode bygg for eit betre samfunn, white paper on buildings for a better future, p 73.

⁵ ENOVA (2015), pp. 60–73.

⁶ <http://www.innovabygg.no/energi-og-varme/tek-10>

l'action directe de l'électricité ou de combustibles fossiles. Pour les bâtiments plus petits, la limite est fixée à 40%.

Innovation, transports, mobilité

Au cours de ces 15 dernières années, le Conseil norvégien de la Technologie (Norwegian Board of Technology, NBT) a conduit différents projets qui sont soit directement soit indirectement liés à un trafic routier plus propre et plus vert. L'hydrogène et les biocarburants ont été discutés. Bien que ces derniers aient des potentiels intéressants, le NBT a affirmé en 2009 que les véhicules électriques et les voitures hybrides étaient les technologies les plus prometteuses et qu'elles devraient être rendues disponibles le plus largement possible. Cela a été suggéré comme une partie du projet pour réduire les émissions de CO₂ combinées de la Norvège d'ici 2020.⁷

1. La Norvège comme un marché précoce pour les véhicules électriques

Dans le but d'atteindre l'objectif de réduire les émissions de CO₂ dans le secteur des transports, le gouvernement a mis en œuvre d'importantes réductions d'impôts et des avantages pour encourager les consommateurs à choisir des voitures électriques (EVs) plutôt que d'utiliser des carburants fossiles. En plus de rajouter une taxe carbone dans la TVA relative aux voitures, cela rend moins cher l'achat de voitures qui produisent moins d'émissions. Le Conseil norvégien pour la Technologie a suggéré cette solution depuis 2006. Des mesures additionnelles fiscales et non fiscales ont été mises en place spécifiquement pour les voitures électriques :

- politique de TVA nulle pour l'achat de voitures électriques ;
- des taxes annuelles sur les voitures sévèrement réduites (435 NOK par an par rapport aux taux normaux allant de 3060 à 3565 NOK)⁸ ;
- pas de frais sur les routes à péages ;
- parking public gratuit ;
- utilisation gratuite des ferries ;
- chargement gratuit à des stations de recharge publiques ;
- accès aux couloirs de bus.

Les conditions favorables pour les voitures électriques ont fait de la Norvège un des plus grands marchés mondiaux pour les voitures électriques, le deuxième après la Californie, et la Norvège est maintenant dans une position favorable pour tester et développer de nouvelles technologies et de nouvelles solutions pour une conduite plus verte.

Pour l'instant les incitations ont eu un fort impact pour amener les Norvégiens à acheter des voitures électriques et elles seront peut-être même victimes de leur succès. Les mesures ont été établies pour durer jusqu'en 2017 ou jusqu'à la vente de 50000 voitures électriques au total. Pendant les premiers mois de 2015 les voitures électriques représentaient 19% de toutes

⁷ Norwegian Board of Technology (2009).

⁸ Meld. St. (2014–2015): p. 78–79.

les nouvelles voitures vendues et l'objectif de 50000 ventes a été atteint en avril 2015. Cela a mené à un débat public sur les avantages donnés aux voitures électriques. Par exemple, le nombre élevé de voitures électriques dans la région d'Oslo a encombré les couloirs de bus pendant les heures de pointe, et sur certains ferries 20 à 25% des voitures sont des voitures électriques voyageant gratuitement. Malgré tout le programme a été prolongé jusqu'en 2017.⁹

2. « Les villes du futur »: Vers zéro émission

En 2012, le gouvernement norvégien a dit que la croissance du transport de passagers dans les zones urbaines devrait être absorbée par les transports publics, le vélo et la marche.¹⁰ Cela a été appelé « l'objectif de croissance zéro » et cadre le débat sur l'innovation dans ce secteur.

Pour atteindre cela, un nombre croissant de bus en zones urbaines roulent avec des carburants non fossiles. Ruter, la société d'administration pour les transports publics à Oslo et ses environs, met en circulation des bus qui roulent à l'hydrogène, aux biocarburants et au bioéthanol. Le but est d'utiliser uniquement des sources renouvelables d'ici 2020. Jusqu'à présent, les biocarburants ont été préférés car ils réduisent significativement les émissions et peuvent être utilisés sur des machines diesel ajustées.

Le programme les « villes du futur » est une collaboration entre l'Etat et 13 villes principales norvégiennes. Le programme facilite l'option marche ou vélo, une alternative à d'autres formes de transport. Certaines des mesures sont :

- les programmes de récompense pour l'augmentation des transports publics et une baisse du trafic routier ;
- un nombre plus important de stations de recharge pour les voitures électriques ;
- des meilleures installations pour le vélo.

Le programme comprend une option pour l'Etat et les différentes villes de s'engager sur des accords environnementaux holistiques. Ces accords doivent contenir des objectifs concrets pour réduire l'utilisation de la voiture et renforcer les transports respectueux de l'environnement.¹¹

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre

1. Tracer l'empreinte carbone

⁹ Meld. St. (2014–2015): p. 92.

http://www.statsbudsjettet.no/upload/Revidert_2015/dokumenter/pdf/stm2_2015.pdf

¹⁰ Meld. ST. 21 (2011-2012): pp. 9–10.

¹¹ <https://www.regjeringen.no/no/tema/kommuner-og-regioner/by--og-stedsutvikling/framtidensbyer/test-artikkel/id547993/>

En 2008, le Conseil norvégien pour la Technologie a publié un rapport sur l'alimentation et le climat qui identifiait le double défi de créer une offre stable de nourriture alors que les émissions de gaz doivent être réduites.

Le NBT a suggéré d'introduire « l'empreinte carbone » comme une méthodologie commune pour calculer et documenter l'impact à différentes étapes. De plus, il a souligné le besoin d'avoir une méthode commune internationale qui puisse fournir l'empreinte carbone pour l'ensemble du cycle de vie d'un produit.¹²

S'il est mis en œuvre, un label carbone destiné aux consommateurs peut avoir trois fonctions:

- donner aux autorités des outils pour cartographier les émissions dans le temps ;
- fournir un guide au secteur de l'alimentation pour réduire les coûts ;
- informer les consommateurs sur les émissions carbone des produits qu'ils achètent.

Un standard pour l'empreinte carbone des fruits de mer a été lancé en 2013 par Standards Norway, organisme de standardisation. Comme de plus en plus d'acteurs du marché ainsi que les consommateurs demandent de la documentation relative à l'empreinte carbone, ce standard donne un avantage à des produits respectueux de l'environnement.¹³

2. Une stratégie nationale pour la bioéconomie

Le gouvernement norvégien est en train d'initier un groupe de travail qui développe une stratégie nationale pour la bioéconomie qui devrait être présentée à la fin 2015. Le but de cette nouvelle stratégie est de faciliter le « tournant vert » pour rendre la Norvège moins dépendante à la production et la consommation de carburants fossiles, ainsi que de rendre les entreprises vertes plus innovantes.

La bioéconomie est une économie circulaire ce qui signifie qu'un sous-produit d'un cycle de valeur est une matière première pour un autre cycle de valeur. L'économie est basée sur le potentiel de transformer la biomasse, entre autres, en nourriture, carburants, produits chimiques et matériaux.

Le Conseil de Recherche de Norvège a initié un programme en 2012, BIONÆR, qui se focalise sur le développement plus poussé de la bioéconomie en Norvège. C'est le programme le plus spécialisé pour le développement de la bioéconomie norvégienne et il a soutenu plus de 330 projets. Parmi eux il y a « la création d'une trajectoire durable pour des chaînes de valeur innovantes pour des produits de déchets organiques », un programme de recherche pluridisciplinaire sur la transition vers la bioéconomie.¹⁴

De plus, un nouvel Institut Norvégien de la Recherche en Bioéconomie (NIBIO) a été créé en août 2015.¹⁵ NIBIO sera une agence ministérielle avec des pouvoirs séparés et une direction indépendante. Avec plus de 650 employés à plein temps, c'est maintenant l'une des plus grandes institutions de recherche en Norvège.

¹² Norwegian Board of Technology (2008b).

¹³ Standards Norway (2014):*Årsrapport 2013*.

¹⁴ <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#!/project/244249/no>

¹⁵ <https://www.regjeringen.no/en/aktuelt/Norwegian-Institute-of-Bioeconomy-Research-has-been-established/id2426068/>

3. Le potentiel des océans

L'eau salée couvre 70% de la surface de la terre. 50% de la production biologique a lieu dans l'eau salée, mais sans aucune culture comme il y a en agriculture. Cependant, seulement 2% de l'ensemble de la nourriture prise par l'homme proviennent des océans, les parties les plus productives sont les zones peu profondes des côtes et la région des fjords.

La Norvège a été le premier pays à commencer la pisciculture en eau salée. Après environ 45 ans de croissance, elle a une position mondiale de premier plan. Le potentiel de croissance de la Norvège ainsi que celui d'autres nations est très élevé et cela sera l'un des futurs systèmes de production de nourriture faible en émissions. Cependant, pour obtenir ce nombre plus important de ressources, les fjords et les zones côtières doivent être utilisés.

Ocean Forest est un exemple d'entreprise norvégienne qui se focalise dans la recherche de moyens de production de biomasse et de bioénergie durable le long des côtes norvégiennes. Fondée en partie par l'organisation environnementale Bellona, elle a pour objectif principal de combattre le changement climatique. Il s'agit notamment de trouver des méthodes de production qui éliminent plus de CO₂ qu'elles n'en émettent. L'idée est d'utiliser les algues, l'eau salée et le CO₂ pour produire de la nourriture et des carburants. L'entreprise a pour but de commercialiser ses solutions dans les cinq ans qui suivent son démarrage.¹⁶

¹⁶ <http://bellona.no/prosjekter/ocean-forest>

Pays-Bas

Introduction

Le changement climatique suscite des opportunités pour l'innovation et ouvre des portes pour de nouvelles entreprises.

Les entrepreneurs cherchent des nouvelles techniques pour vivre, consommer et transporter les personnes d'une manière moins nuisible pour le climat que les moyens conventionnels. L'innovation peut contribuer soit à atténuer soit à s'adapter aux conséquences du changement climatique. Les innovations qui se concentrent sur l'atténuation réduisent l'ampleur du changement climatique en soi (comme la géo-ingénierie ou des mesures qui réduisent directement les émissions de dioxyde de carbone). Les innovations qui se concentrent sur l'adaptation limitent la vulnérabilité de la société face aux impacts du changement climatique et rendent la société plus solide face au changement climatique (comme par exemple des modes de vie durables et la protection contre les inondations).

Les initiatives politiques et les tendances sociétales

L'énergie durable est évidemment l'un des domaines dans lequel les innovations relatives au changement climatique ont lieu. La plupart des innovations mènent à l'atténuation puisqu'elles visent à moins d'émissions de dioxyde de carbone. Les chiffres provenant du secteur de l'énergie, qui est présenté comme principal et est un des secteurs dans lequel les Pays-Bas excellent mondialement et qui est considéré comme une priorité par le gouvernement, montrent que la plus grande partie des ressources financières disponibles de ce secteur a été investie dans la bioéconomie. (ECN, 2014). Dans le même temps, le nombre de brevets relatifs à des technologies pour l'énergie durable a considérablement augmenté, en particulier les brevets pour l'énergie solaire, la biomasse et l'énergie éolienne. Néanmoins, de manière générale, les dépenses publiques pour l'innovation dans les technologies relatives à l'énergie ont diminué depuis 2010.

L'eau, l'agroalimentaire et la logistique sont des exemples d'autres domaines dans lesquels on trouve de l'innovation en ce qui concerne l'adaptation et l'atténuation des conséquences du changement climatique. Par exemple, l'innovation dans la gestion de l'eau mène principalement à l'adaptation. Le programme néerlandais Delta est l'un des exemples mondiaux les plus connus ; il a pour objectif de protéger contre les inondations et de garantir les ressources en eau douce. Ce programme vise à rendre le pays « résistant au climat » conjointement avec le programme Connaissance pour le Climat (Knowledge for Climate) qui est établi pour renforcer la création commune entre universités, instituts de recherche et

gouvernement pour rendre les Pays-Bas plus solides face au changement climatique¹⁷.

Les défis

En 2013, le Ministère norvégien de l'Infrastructure et l'Environnement a publié son agenda climat (Ministry of Infrastructure and the Environment, 2013) qui dresse une approche qui combine l'adaptation et l'atténuation. L'agenda climat souligne l'importance de stimuler de manière plus poussée les opportunités d'innovation en créant les conditions nécessaires pour l'innovation et en éliminant les obstacles non financiers.

Les défis du gouvernement néerlandais en ce qui concerne l'adaptation et l'atténuation sont les suivants : créer des secteurs primordiaux solides (comme la nature, l'énergie, les TIC, les transports et la santé publique) ; étendre les mesure pour atteindre l'atténuation (comme renforcer le système d'échange d'émissions de l'Union européenne et les normes relatives au dioxyde de carbone) ; faciliter les énergies renouvelables et les économies d'énergie (comme dans les transports et dans le stockage de l'énergie) ; stimuler la mobilité durable (par le développement des voitures neutres en carbone) ; approfondir le développement d'une économie circulaire et une utilisation durable des matières premières ; et stimuler des innovations agroalimentaires durables (Ministry of Infrastructure and Environment, 2013).

Les projets actuels d'assistance technique (projets d'évaluation technologique)

L'Institut Rathenau conduit des recherches sur les effets sociaux et politiques des nouvelles technologies. En ce qui concerne les technologies qui contribuent à l'adaptation ou l'atténuation des conséquences du changement climatique, l'Institut Rathenau conduit actuellement les projets suivants :

1. L'innovation pour l'efficacité énergétique des bâtiments

Construire des maisons efficacement, par l'utilisation durable des ressources ou en construisant des maisons d'une manière à ce qu'y vivre requiert moins d'énergie, sont des exemples d'innovations qui contribuent à réduire la demande d'énergie. Les réseaux intelligents permettent, par exemple, une alimentation des maisons en énergie intelligente et améliore l'habitation durable. Un des exemples d'une telle initiative dans les Pays-Bas est le projet Stroomversnelling, une initiative de Platform 31 (une plateforme pour l'aménagement des espaces et des villes). Le projet Stroomversnelling a pour objectif de construire un total de 111 000 maisons neutres en carbone sans changer les dépenses relatives au logement de ses occupants. Quatre agences de construction et six sociétés de logement se sont mises d'accord pour construire les premières 11 000 maisons durant les prochaines années.

¹⁷ En 2013, l'Institut Rathenau a publié un rapport (<http://www.rathenau.nl/publicaties/publicatie/kenniscopproductie-voor-de-grote-maatschappelijke-vraagstukken.html>) sur la co-création de connaissances sur les changements sociétaux. Le programme Connaissance pour le Climat (Knowledge for Climate) est vu comme un bon exemple de co-création dans lequel la société et la science travaillent ensemble pour définir un futur agenda de recherches (Boon and Horlings, 2013).

En plus de construire des maisons et bâtiments efficaces en énergie, l'utilisation de matériaux durables et le recyclage de déchets ménagers contribuent aussi à des modes de vie durables. Stimuler et faciliter une économie circulaire et l'utilisation de matériaux durables (pas seulement au niveau des consommateurs mais aussi aux niveaux géopolitique et national) sont des sujets traités dans le rapport Rathenau « Resource Hunger » (<http://www.rathenau.nl/publicaties/publicatie/sustainable-alleviation-of-resource-hunger-management-summary.html>) (Krom & Van Waes, 2014). L'Institut Rathenau analyse les stratégies (géopolitiques) qui sont à la disposition des Pays-Bas et de l'Union européenne pour sécuriser des ressources essentielles d'une manière durable. Une transition vers une économie circulaire peut y jouer un rôle important, à condition que le recyclage de matières premières soit rendu économiquement viable et que les ressources qui auront encore besoin d'être importées comme apport pour l'économie circulaire respectent au moins un minimum d'exigences de durabilité (Krom & Van Waes, 2014).

2. L'innovation pour les transports et les mobilités

En septembre 2013, plus de 40 organisations (des pouvoirs exécutifs – au niveau national et régional –, des organisations syndicales, des organisations non gouvernementales et des organisations financières) se sont engagées en faveur de l'Accord national sur l'Énergie pour une Croissance Durable ('Energieakkoord') (SER, 2013). L'essence de cet accord est que les actions visées doivent mener à une offre en énergie durable et abordable, à l'emploi et à l'innovation dans les technologies relatives à la durabilité. La mobilité intelligente et le transport intelligent sont des points centraux.

Un projet de l'Institut Rathenau de 2015 s'est concentré sur la mobilité intelligente et les voitures autonomes (<http://www.rathenau.nl/publicaties/publicatie/converging-roads.html>) (Timmer et al. 2015). Les voitures sans conducteur sont considérées par le gouvernement néerlandais comme un moyen de réduire les congestions et d'améliorer les flux de trafic, de réduire la consommation de carburant et d'améliorer la sécurité routière. Les Pays-Bas veulent participer activement au développement des voitures autonomes (Parliamentary Documents II, 2013/14, 31305, No. 210), par exemple en autorisant les tests et les expérimentations avec des réglementations plus flexibles. Les entreprises néerlandaises jouent un rôle important comme fournisseurs de systèmes et de composants pour l'industrie automobile, et le pays est aussi fort dans les technologies de communication et les systèmes de gestion du trafic intelligents. En plus de réduire les coûts environnementaux et les coûts liés aux congestions, développer les voitures sans conducteur peut être un stimulateur important pour le secteur de la mobilité aux Pays-Bas et dans l'Union européenne.

Les Pays-Bas ont mis l'accent sur l'amélioration de la communication entre les voitures et entre les voitures et les infrastructures routières. L'objectif final est d'avoir une voiture autonome qui se connecte facilement à un peloton de voitures sur une autoroute et qui réponde aux alertes transmises par des infrastructures intelligentes, par exemple sur le verglas, le brouillard ou des obstacles inattendus. Cette approche dépend fortement d'une coopération et d'investissements des secteurs privé et public.

Mais maintenant les voitures autonomes sont aussi développées dans la Silicon Valley. Ces véhicules innovants ont aussi suscité de l'intérêt aux Pays-Bas. Mais le projet de Rathenau a trouvé que leurs avancées rapides risquent d'interférer avec l'approche néerlandaise. Ces voitures robotisées autonomes ont des capteurs embarqués qui permettent de les guider en sécurité. Mais ces voitures ne communiquent pas entre elles ou avec les infrastructures routières, et ne sont donc pas équipées pour un peloton routier. Et c'est justement le peloton

qui apporte le plus de bénéfices pour une conduite efficace, par exemple en ce qui concerne les économies d'énergie et la réduction des congestions.

Les voitures robotisées sont intéressantes pour l'industrie automobile car elles peuvent fonctionner indépendamment des autres voitures et d'infrastructures routières particulières. Il y a un risque que le secteur privé se concentre sur le développement de voitures robotisées autonomes aux dépens de systèmes coopératifs comme ceux qui sont développés par les Pays-Bas.

L'institut Rathenau considère que le développement efficace des voitures autonomes requiert la convergence de deux approches – autonome et coopérative. Afin de profiter des avantages techniques des deux approches et pour atteindre les objectifs publics en matière de sécurité routière, de flux de trafic et d'environnement, il est important que la voiture robotisée soit compatible avec des systèmes coopératifs. Cela signifie qu'elle doit être capable de se connecter à d'autres voitures et à des systèmes de gestion du trafic. Le gouvernement néerlandais peut y jouer un rôle en imposant des exigences pour la communication entre véhicules et en influençant les standards internationaux.

Un autre projet actuel de l'Institut Rathenau se concentre sur la gouvernance des villes intelligentes. Non seulement la mobilité et les transports, mais aussi les plateformes digitales, les solutions TIC intelligentes, les robots et l'Internet des choses posent des défis à la gouvernance des villes.

L'un des nouveaux projets de l'Institut Rathenau (2015-2016) va se concentrer sur la gouvernance des villes intelligentes. Des citoyens et des entreprises du monde entier participent à la mise en place de plateformes digitales pour partager des biens et des services. Des exemples connus sont Airbnb (logement) et Ueber (mobilité). Ces plateformes ont un fort potentiel pour changer la manière d'utiliser des biens et la manière dont est organisée la livraison de services, impliquant une nouvelle dynamique entre décideurs politiques, citoyens et entreprises. Dans la même optique, des villes à travers le monde ont formulé des ambitions pour devenir des villes « intelligentes » voulant récolter tout le potentiel de l'Internet des choses, dans lequel tout est connecté à tout et tout le monde. Des applications potentielles incluent l'organisation même du gouvernement et l'emploi de la technologie intelligente pour gouverner la ville et pour organiser la livraison de services publics. Là aussi l'utilisation d'applications TIC intelligentes ont le potentiel de changer radicalement la manière dont sont organisées nos institutions. Cela pose la question, par exemple, de savoir si les pouvoirs publics locaux sont prêts à laisser les citoyens et les entreprises prendre en main des parties qui étaient avant considérées comme des tâches gouvernementales.

L'un des points centraux de ce nouveau projet de l'Institut Rathenau sera d'examiner – à travers des études de cas¹⁸ - la signification sociale et la portée des développements pour rendre les villes intelligentes. Une attention particulière sera portée aux éléments suivants : (a) cartographier ceux qui (ne) sont (pas) impliqués dans des initiatives spécifiques, (b) voir dans quelle mesure ces initiatives (pourraient) changer la relation entre les décideurs politiques, les villes et les entreprises, et (c) quelles structures de gouvernance sont nécessaires pour sauvegarder des valeurs primordiales de la société comme la prise de décision démocratique, la transparence, l'intégration, la durabilité, le bien-être et l'habitabilité des villes.

¹⁸ Les études de cas vont se concentrer sur l'énergie, la mobilité, les ressources et l'économie circulaire, l'économie de partage et la livraison de services publics.

Reconnaissant que les initiatives de villes intelligentes sont souvent initiées par les pouvoirs publics locaux (confrontés à d'importants défis sociaux) et les entreprises (développant des options techniques pour répondre à ces défis), l'Institut Rathenau va clairement répertorier les manières selon lesquelles les citoyens sont impliqués et peuvent être impliqués dans des initiatives concrètes de ville intelligente. Ainsi, l'objectif du projet est d'inclure les contributions des citoyens d'une manière à soutenir le fait que les villes intelligentes soient aussi des villes habitables, par exemple des endroits où les citoyens seront en mesure de mener une bonne vie, profiter d'un haut niveau de bien-être, et garderont une voix importante dans la gouvernance de la ville.

3. L'innovation pour nourrir le monde avec un minimum de gaz à effet de serre

Afin de pouvoir nourrir la population mondiale qui croît rapidement d'une manière écologiquement durable, respectueuse des animaux et viable économiquement, l'agriculture d'aujourd'hui utilise, toujours plus, toute sorte de technologies intelligentes. Les exploitations agricoles actuelles deviennent de plus en plus des composantes de « l'Internet des choses ». En utilisant des drones, des caméras intelligentes, des fertilisateurs innovants et des systèmes d'alimentation portables ainsi que des modèles informatiques sophistiqués, les conditions pour la production végétale et l'élevage animal peuvent être gérées, analysées et optimisées. En assistant ou même en remplaçant l'observation humaine par la gestion et l'analyse électronique, la production agricole peut devenir plus puissante, écologiquement durable et respectueuse des animaux. Du moins ce sont les promesses de l'agriculture intelligente.

Dans une étude exploratoire sur l'agriculture intelligente, l'Institut Rathenau a étudié dans quelle mesure les agriculteurs actuels aux Pays-Bas intégraient les technologies intelligentes dans leurs pratiques quotidiennes (Bos, 2015). Bien que le concept d'agriculture intelligente soit attrayant, la pratique de l'agriculture intelligente est multiforme. La manière dont sont mises en place les technologies intelligentes dans les pratiques agricoles dépend fortement de la finalité précise et du contexte. Cependant, ces problématiques peuvent être représentées comme méritant plus d'attention et de recherche : dans quelle mesure est-il possible de remplacer l'observation humaine par la gestion et l'analyse électroniques (par exemple, en ce qui concerne le traitement des animaux et les autres questions relatives au bien-être des animaux) ? Dans quelle mesure une large mise en œuvre de technologies intelligentes pourrait promouvoir une industrie à grande échelle comme l'agriculture ? Dans quelle mesure une large mise en œuvre de technologies intelligentes transformerait les agriculteurs en gestionnaires de données, perdant toutes les connotations de l'agriculture comme une pratique « naturelle » ?

L'Institut Rathenau continuera ses recherches sur l'agriculture intelligente pendant les prochaines années.

4. L'implication des citoyens dans l'utilisation des technologies intelligentes

Dans l'avenir, il est prévu que le système de mobilité et nos comportements vis-à-vis de la mobilité changent radicalement. Plus il y aura de véhicules et de routes équipées de technologies intelligentes, plus le flux de données qu'ils échangeront sera important. Les données peuvent être utilisées pour de nouvelles applications et de nouveaux modèles de revenus, mais cela pose aussi des questions en ce qui concerne la confidentialité, la propriété et la réutilisation. Qu'est-ce que les constructeurs automobiles devraient être autorisés à faire avec ces données ? Et les compagnies d'assurance ? Et les autorités devraient-elles être autorisées à utiliser ces données dans des enquêtes ?

Bien que des discussions publiques sur ce que l'utilisation possible des données digitales générées par les technologies intelligentes ne fassent que commencer, l'Institut Rathenau a conclu dans son projet sur les « voitures intelligentes » (<http://www.rathenau.nl/publicaties/publicatie/converging-roads.html>) que les organisations de la société civile et le public ne jouent actuellement aucun rôle significatif dans le développement des voitures intelligentes et autonomes (qu'il s'agisse de la voiture coopérative ou de la voiture robotisée). En effet, ils sont manifestement absents. Les utilisateurs ne sont pas inévitablement impliqués dans l'implantation des voitures autonomes. La nature fermée du processus d'innovation provient en partie du souhait d'éviter les conflits. Les questions controversées, comme les prix variables sur les routes et la confidentialité, sont souvent évitées, même si les fonctionnalités liées apparaissent presque d'elles-mêmes. Dans le programme politique actuel néerlandais (Mieux informés sur la Route, *Better Informed on the Road*) la procédure de développement stratégique n'a pas été fixée trop large car construire la confiance entre le marché et le gouvernement a été considéré comme une tâche primordiale. Mais le rythme des développements actuels nécessite la contribution et l'implication des utilisateurs, du public et des organisations de la société civile. La contribution de toutes ces parties est nécessaire, d'autant plus que maintenant les voitures autonomes sont en train de sortir des limites des circuits de test et commencent à rouler sur des routes publiques. C'est seulement en impliquant les citoyens qu'il sera possible d'atteindre les objectifs politiques comme les économies d'énergies, la réduction des congestions et l'amélioration de la sécurité routière.

L'une des parties du projet de l'Institut Rathenau sur les « villes intelligentes » (mentionné ci-dessus) est d'étudier comment les technologies intelligentes comme les capteurs, les smartphones et les applications, pourraient donner le pouvoir aux utilisateurs de participer à la détermination des économies d'énergie, des émissions carbone. Comment de telles données pourront-elles être utilisées par les citoyens, les entreprises et les gouvernements pour changer leur politique, leur espace d'habitation, leurs comportements (leur type de conduite). Les compagnies d'assurance commencent à expérimenter des appareils de mesure intelligents pour les voitures qui donnent aux utilisateurs un retour en temps réel sur leur style de conduite. Une réduction des primes pour un style de conduite « durable » et « sûr » pourrait être accordée.

Conclusion

L'Institut Rathenau surveille continuellement les développements relatifs aux innovations et les technologies innovantes qui renforcent la durabilité et qui réduisent les effets désastreux du changement climatique. L'un des thèmes principaux est la manière dont les technologies relatives aux TIC peuvent jouer un rôle dans la transition vers une société plus durable. Le développement de villes intelligentes, de voitures intelligentes et de l'agriculture intelligente sont des projets phares que nous menons actuellement. Ici, l'implication des citoyens dans la conception de ces technologies et dans la mesure des tendances et dans la collecte de données paraît essentielle.

Pologne

Contexte général

Le taux d'émission de CO₂ de la Pologne était estimé à 320 millions de tonnes en 2013. La principale source d'émission était la combustion de carburants, qui représentait 92% de la totalité des émissions de CO₂ (au sein de cette catégorie, les industries de l'énergie contribuaient à hauteur de 52%, la construction et la production à hauteur de 9% et le transport à hauteur de 14%). Le taux d'émission par habitant en Pologne (d'environ 8,3 tonnes de CO₂ par année) demeure dans la moyenne européenne.

La Pologne est l'un des pays les plus énergivores de l'Union Européenne. Le taux d'émissions en Pologne est relativement élevé en raison du secteur de l'énergie, qui fonctionne encore majoritairement au charbon. Près de 90% de l'électricité polonaise est produite grâce au charbon. L'industrie du charbon représente une part importante de l'économie polonaise, et l'Etat détient de nombreuses parts des centrales électriques. Ces deux facteurs expliquent qu'il n'y ait pas de véritable intérêt politique à réduire l'utilisation du charbon comme source d'énergie. Les dépôts nationaux de charbon sont également perçus comme un atout important pour la sécurité énergétique. La sécurité énergétique justifie que la Pologne n'emploie pas de gaz naturels plus propres, car ils devraient être importés.

La Pologne est souvent vue comme un pays qui s'oppose fortement aux politiques climatiques de l'UE. Cependant, il est important de souligner que la Pologne a réussi à réduire de façon considérable ses émissions de gaz à effet de serre au cours de sa transformation économique. Grâce à cette transition vers une utilisation moins intensive de l'énergie, le taux d'émission de gaz à effet de serre de la Pologne a diminué de 30% entre 1988 (année de référence pour la Pologne selon l'UNFCCC) et 2013. Depuis le début des années 2000, le taux annuel d'émissions de gaz à effet de serre est resté stable alors que le PIB de la Pologne a augmenté de façon significative. Ces chiffres démontrent l'effort déployé pour inclure plus d'énergie renouvelable dans le bouquet énergétique de la Pologne, et pour investir davantage dans des technologies avec une efficacité énergétique plus importante. Cependant, l'efficacité énergétique de l'économie polonaise, bien qu'en amélioration, reste bien en dessous de la moyenne européenne.

La Pologne n'a pas de politique climatique spécifique, au-delà du respect des engagements internationaux et de la législation européenne. La question du climat est traitée au sein d'autres secteurs, en particulier dans le domaine des politiques énergétiques. *La politique énergétique de la Pologne d'ici 2030* (adoptée en 2009) se concentre majoritairement sur l'amélioration de la sécurité énergétique, de l'efficacité, et de la compétitivité. Ce plan s'est progressivement adapté, et vise à présent la diversification du bouquet énergétique de la Pologne, en utilisant davantage de gaz et d'énergies nucléaires et renouvelables. De surcroît, un plan national en cours de déploiement ambitionne de réduire les émissions de gaz à effet de serre en Pologne. Il porte le titre de Plan National pour le Développement d'une Economie à Basses Emissions (ce document est actuellement dans sa phase finale d'approbation ministérielle). Jusqu'à présent, l'instrument principal de la politique climatique polonaise était le système communautaire d'échange de quotas d'émission (SCEQE) européen, qui concerne environ la moitié des émissions de gaz à effet de serre de la Pologne. Les émissions des

secteurs n'entrant pas dans le cadre du SCEQE (principalement le logement, les transports et l'agriculture) devraient augmenter de 14% d'ici 2020, relativement au taux de 2005.

Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments

La *politique énergétique de 2030* liste un certain nombre de mesures concernant la demande d'énergie, en particulier dans le secteur du bâtiment. Il est envisagé par exemple (i) de mettre en place des objectifs nationaux en termes d'efficacité énergétique et d'introduire un mécanisme de soutien systématique ; (ii) d'instaurer des certificats de performance énergétique pour les bâtiments en vente ou en location ; (iii) de déterminer l'intensité énergétique des appareils et la consommation en énergie de certains produits, pour établir un seuil de consommation énergétique ; (iv) d'engager la fonction publique à être exemplaire concernant la consommation d'énergie ; (v) d'encourager les investissements dans le domaine de l'économie d'énergie grâce à des prêts préférentiels ou à des subventions nationales ou européennes pour lever des fonds.

Améliorer l'efficacité énergétique est l'une des priorités de la politique climatique polonaise. De nombreuses actions dans ce domaine suivent les législations européennes. En avril 2011, avec la *loi sur l'efficacité énergétique*, la Pologne a mis en place les clauses de la Directive 2006/32/EC sur l'efficacité de l'utilisation finale des services énergétiques. Pour respecter les obligations établies par la Directive 2010/31/EC sur les performances énergétiques des bâtiments, le gouvernement polonais a préparé un Plan d'Action National pour l'Efficacité Énergétique (PANEE), qui concerne, entre autres, le secteur du bâtiment. Le PANEE, adopté en 2011, fixe comme objectif une économie d'énergie de 11% d'ici 2016, par rapport aux taux moyens mesurés entre 2001 et 2005. En accord avec la nouvelle législation européenne (2012/27/EU), le plan polonais de 2014 a comme objectif indicatif pour 2020 de stabiliser la consommation d'énergie primaire au même niveau que celui des années 2010. Ceci oblige à une meilleure efficacité énergétique dans tous les domaines. Selon de nombreuses études, il y a une grande marge de manœuvre pour améliorer l'efficacité énergétique dans le secteur du logement, des bâtiments publics et des systèmes de chauffage central.

Des aides publiques pour financer l'amélioration thermique des bâtiments déjà construits sont disponibles grâce au fonds de réhabilitation thermique, supervisé par le ministère des Infrastructures et du Développement, et géré par la banque d'Etat polonaise (Bank Gospodarstwa Krajowego). Ce fonds permet principalement aux municipalités et aux propriétaires d'emprunter afin de rénover leurs résidences. Il subventionne uniquement les « pratiques exemplaires » de réhabilitation, en se concentrant sur des projets de rénovation inintéressants dans des conditions habituelles de prêt. Ce programme a également contribué au développement de services d'audit énergétique.

Innovation, transports, mobilité

Le secteur du transport en Pologne a vu son taux d'émission exploser au cours de ces deux dernières décennies. Il a augmenté de 75% depuis le début de la transition économique polonaise. En 2013, le secteur du transport était responsable de 14% de la totalité des émissions de gaz à effet de serre en Pologne – et le volume de transport routier, encore relativement faible, devrait augmenter dans les années à venir. Ce problème est également dû à une utilisation importante de vieux véhicules, qui consomment généralement davantage de

carburant, de façon inefficace et polluante. Comme d'autres économies en transition, la Pologne a investi fortement dans la construction de routes, qui représentent 90% de l'investissement de ces dernières années dans des infrastructures de transport. Malgré ces investissements conséquents, le nombre d'autoroutes en Pologne reste l'un des plus faibles d'Europe, et le réseau ferroviaire reçoit très peu de subventions. Dans le cas des transports de passagers et de marchandises, le changement le plus notable est la forte augmentation du volume du transport routier: celui-ci représente 95% du volume de transport de passagers et 75% du transport de marchandises. Concernant le transport routier, la consommation de carburant et le nombre de voitures ont augmenté. La seule évolution positive est la diminution des indices d'intensité énergétique des moyens de transport.

Jusqu'à récemment, peu de progrès avaient été faits concernant l'impact environnemental du secteur du transport. Mais en 2013, le Conseil des ministres a adopté La *Stratégie de Développement du Transport*. Son principal objectif est « d'augmenter l'accessibilité territoriale et d'améliorer la sécurité routière ainsi que l'efficacité des transports en mettant en place un système de transport durable, facile à utiliser, à l'échelle locale, nationale et européenne ». L'un des objectifs détaillés est de « limiter l'impact négatif du transport sur l'environnement ». Le texte contient un renvoi direct au climat et à la réduction nécessaire des émissions de gaz à effet de serre: l'une des mesures propose d'augmenter de façon continue la part de biocarburants dans le domaine du transport. De plus, le texte introduit l'obligation de considérer les facteurs liés aux émissions et à la consommation énergétique pour tous les véhicules achetés via la procédure de passation des marchés publics.

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre

L'agriculture polonaise est caractérisée par de grandes ressources territoriales, avec de nombreuses terres pauvres et acidifiées, une fragmentation substantielle des fermes, et des méthodes de production traditionnelles toujours utilisées. La superficie totale des terres agricoles en Pologne était en 2012 de 18 millions d'hectares, soit 58% de la superficie de la Pologne. Depuis 2000, cette superficie a diminué de façon conséquente, tandis qu'ont augmenté les parts du logement, des services et des infrastructures.

Jusqu'à présent, la Pologne n'a pas adopté de mesures qui visaient directement à réduire les émissions de gaz à effet de serre dans le domaine de l'agriculture. Cependant, dans le cadre du projet climatique européen pour 2020, les émissions de gaz à effet de serre en Pologne, dans les secteurs qui ne sont pas pris en compte dans le SCEQE, ne pourront dépasser le niveau de 2005 que de 14%. Cet objectif n'a pas encore été confirmé par des mesures politiques spécifiques.

L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes

Entre 2007 et 2013, la dépense intérieure brute de la Pologne en R&D est passée de 0.57% du PIB à 0.9%, grâce à un budget national pour la recherche plus conséquent, et aux subventions européennes. Malgré cet effort, la Pologne demeure l'un des pays les moins performants en termes d'innovation en Europe, où la dépense moyenne intérieure brute en R&D avoisine

2.4% du PIB. Les entreprises polonaises dépensent très peu en R&D ou dans l'innovation, car presque toutes les dépenses se concentrent sur l'intégration des technologies. Pour faire face à ce défi, le gouvernement a réformé le système de coopération entre la sphère économique et le secteur de la science et de la recherche. Cette réforme comprenait la mise en place d'une agence pour la recherche appliquée ainsi que des systèmes de financement plus compétitifs. En 2013, le Conseil des ministres a adopté la *Stratégie pour une Economie Efficace et Innovante*, qui présente des mesures pour soutenir l'innovation en entreprise, et qui classe par ordre de priorité les domaines pouvant recevoir les bourses européennes. L'innovation dans le domaine de l'écologie illustre la tendance générale en Pologne en faveur de l'innovation. Malgré de faibles performances, des initiatives constructives de soutien peuvent être retenues, notamment le programme GreenEvo, qui soutient les exportations des technologies vertes, ou le programme GEKON, mis en œuvre par le Fonds National pour l'Environnement et le Centre National pour la Recherche et le Développement, qui encourage la coopération entre la science et l'industrie dans le domaine des technologies de l'environnement. Les financements européens ont permis de mettre en place des pôles d'innovation écologique tel que le Pôle Silésien des Technologies Environnementales, le Pôle Baltique d'Eco-Energie et Le Pôle d'Energie Propre du Sud de la Pologne. La CSI-Climat (Communauté pour le Savoir et l'Innovation) implanté à Wroclaw est le partenariat public privé le plus important de la Pologne. Elle se concentre sur le changement climatique et regroupe des compagnies privées, des institutions académiques et des représentants du secteur public. Son objectif est clairement fixé sur le développement des énergies renouvelables, des biocarburants et des technologies propres du charbon. Les recherches dans le domaine de l'efficacité énergétique des bâtiments (comprenant la norme d'émission zéro) sont effectuées par l'Université Technologique de Cracovie et par l'Institut de Recherche pour le Logement à Varsovie.

Royaume-Uni

Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments

En 2012, la consommation d'énergie dans les bâtiments du Royaume-Uni a représenté approximativement 37% des émissions carbone du Royaume-Uni, 24% pour les bâtiments résidentiels et 13% pour les bâtiments non résidentiels⁽¹⁹⁾. Des organisations du secteur public du Royaume-Uni estiment que les innovations relatives à l'efficacité énergétique ont le potentiel de réduire les émissions cumulatives jusqu'à 29 millions de tonnes de CO₂ (MtCO₂) d'ici 2020 et jusqu'à 159 MtCO₂ d'ici 2050⁽²⁰⁾⁽²¹⁾ et qu'elles aident le Royaume-Uni à atteindre son objectif fixé par la directive européenne relative à l'efficacité énergétique d'une réduction de 20% de sa prévision de consommation d'énergie d'ici 2020⁽²²⁾. Les innovations actuelles du Royaume-Uni portant sur l'efficacité énergétique des bâtiments peuvent être divisées en trois principaux domaines : la construction, la rénovation et le développement de nouveaux matériaux et composants.

1. Construction

Des méthodes améliorées pour la construction de nouveaux bâtiments peuvent aboutir à une meilleure efficacité énergétique que celle atteinte par les approches précédentes.

L'innovation pour les nouvelles constructions a pour objectif de réduire les émissions carbone depuis la construction et de réduire les coûts de constructions des bâtiments à faible intensité carbone. De telles innovations comprennent :

- la production et l'utilisation de matériaux plus durables pour les charpentes, comme le bois léger⁽²³⁾ ou des matériaux composites partiellement composés de matériaux de culture (par exemple la paille et le chanvre) qui ont un contenu carbonique négatif⁽²⁴⁾ ;
- le développement d'usines transportables pour la production de structures complètes, comme les murs et les poutres. Ces usines permettent que les structures soient construites près du site de construction ce qui réduit l'empreinte carbone pour les transporter. Elles réduisent aussi les émissions carbonées des projets de construction en accélérant la vitesse de réalisation de plus de 30%⁽²⁵⁾ et pourraient permettre l'utilisation de la robotique dans la construction ce qui accroîtrait encore l'efficacité⁽²⁶⁾.

(19) Committee on climate Change, 2013, *Meeting Carbon Budgets: 2013 Progress Report to Parliament – Chapter 3: Progress reducing emissions from buildings*.

(20) Technology Innovation Needs Assessment, 2012 *Domestic Buildings Summary Report*.

(21) Technology Innovation Needs Assessment, 2012 *Non-domestic Buildings Summary Report*.

(22) European Parliament, 2012. *Council Directive 2012/27/EU of 25/10/2012 on energy efficiency*.

(23) Innovate UK, *Innovative thinking to help deliver low carbon buildings* [Online] Available: https://interact.innovateuk.org/zh/press-release-display-page/-/asset_publisher/u5igfmj8gOAF/content/innovative-thinking-to-help-deliver-low-carbon-buildings [Accessed 25 August 2015].

(24) University of Bath Department of Architecture and Civil Engineering. *Low-carbon materials* [Online] Available: <http://www.bath.ac.uk/ace/research/cicm/low-carbon-materials/> [Accessed 3 September 2015].

(25) Skanska, 2013. *Skanska secures government grant to trial new construction method* [Online] Available: <http://www.skanska.co.uk/news--press/display-news/?nid=zvBcN758> [Accessed 3 September 2015]

(26) Skanska, 2015. *Skanska wins grant to develop construction robots* [Online] Available: <http://www.skanska.co.uk/news--press/display-news/?nid=1x1pU3JM> [Accessed 3 September 2015].

2. Rénovation

L'efficacité énergétique des bâtiments peut être améliorée grâce à des rénovations. Les techniques innovantes de rénovation développées au Royaume-Uni comprennent :

- l'utilisation de technologies laser pour mesurer les pièces et ajuster l'isolation interne des murs. Cela minimise le gaspillage dans la découpe de matériaux, assure que les pièces soient complètement isolées et accélère les projets de rénovation. Tout cela réduit les émissions de gaz à effet de serre ⁽²⁷⁾ ⁽²⁸⁾ ;
- deux nouveaux systèmes efficaces de régulation de la ventilation et de la température. Le premier permet à l'air frais de circuler autour du bâtiment sans avoir besoin d'un ventilateur en incorporant des pompes à air et de serpentins d'eau dans les poutres ⁽²⁹⁾. Le deuxième permet aussi à des fluides chauffés de passer à travers de petits tubes dans la structure d'un bâtiment pour permettre le chauffage et la climatisation ⁽³⁰⁾.

3. Matériaux et composants

Les nouveaux matériaux et composants peuvent permettre de rendre les bâtiments plus performants énergétiquement. Les technologies qui sont testées comprennent :

- des nouveaux matériaux de stockage de la chaleur connus comme des matériaux à changement de phase. La chaleur d'une pièce chaude est emmagasinée en subissant un changement d'état, généralement de solide à liquide, ce qui peut libérer de la chaleur quand la pièce se refroidit ;
- le développement de matériaux qui améliorent l'absorption de la chaleur solaire. Par exemple, Tata Steel est en train de développer un acier strié microperforé qui est traité pour absorber un niveau élevé de radiations solaires. Cet acier est attaché à des bâtiments et crée une couche d'air chaud entre l'acier et le mur du bâtiment. Cet air peut être pompé directement dans le bâtiment ⁽³¹⁾ ;
- des systèmes de récupération pour réutiliser l'eau (et la chaleur de l'eau) ⁽³²⁾.

Innovation, transports, mobilité

En 2013, les émissions de CO₂ dues au transport au Royaume-Uni ont atteint l'équivalent de 116.8 million tonnes de CO₂, ce qui représente plus de 20% du total des émissions ⁽³³⁾ du pays. Pour atteindre ses objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre, le

⁽²⁷⁾ Technology Strategy Board, 2013 *Retrofit Revealed: The Retrofit for the Future projects – data analysis reports*.

⁽²⁸⁾ Sustainable Homes, 2014. *Oxford whole house retrofit reduces CO2 by over 80%* [Online] Available; <http://www.sustainablehomes.co.uk/blog/bid/206447/Oxford-whole-house-retrofit-reduces-CO2-by-over-80> [Accessed 3 September 2015]

⁽²⁹⁾ ECA Energy Technology list, 2015. *Active chilled beams*.

⁽³⁰⁾ University of Reading School of Construction management and Engineering. Radiant heating and cooling system using capillary tubes. [Online] Available: <http://www.reading.ac.uk/CME/research/cme-Radiant-heatingand-cooling-system-using-capillary-tubes.aspx> [Accessed 3 September 2015].

⁽³¹⁾ TATA Steel, *Sustainable Building Envelope Centre* [Online] Available: <http://www.sbec.eu.com/> [Accessed 26 August 2015].

⁽³²⁾ Buildings Research Establishment, *BRE Innovation Parks* [Online] Available: <http://ipark.bre.co.uk/index.jsp> [Accessed 25 August 2015].

⁽³³⁾ Department of Energy and Climate Change, 2015. *2013 UK Greenhouse Gas Emissions, Final Figures*. London: Department of Energy and Climate Change.

Gouvernement du Royaume-Uni et le secteur de l'industrie explorent plusieurs options d'innovation. Cela comprend les carburants alternatifs, des nouveaux modèles d'utilisation de la voiture, l'amélioration de la sécurité des vélos, une meilleure planification des transports, le ticket unique et de nouveaux matériaux plus légers dans les transports.

1. Carburants alternatifs

Il y a eu quelques innovations et une utilisation accrue de carburants alternatifs potentiellement plus sobres. Cela comprend l'électricité, l'hydrogène et le gaz naturel.

L'électrification des transports est en progression. Une subvention du Gouvernement du Royaume-Uni, pouvant aller jusqu'à £5,000⁽³⁴⁾ semble avoir accéléré l'achat de véhicules privés électriques et hybrides avec un total de 35 705 véhicules éligibles depuis l'introduction de cette subvention en 2011⁽³⁵⁾. Actuellement, environ 40% du réseau ferré du Royaume-Uni est électrifié et il est prévu de l'étendre le long des voies principales⁽³⁶⁾. Le nombre de bus électriques est aussi en progression. Par exemple, à Londres il est prévu que le nombre de bus hybrides diesel-électrique passe de 800 en 2014 à 1700 (20% de la flotte) en 2016⁽³⁷⁾. Enfin, une nouvelle technologie de rechargement sans fil a été déployée à Milton Keynes pour une flotte de bus électriques, ce qui permet aux bus de se recharger pendant les arrêts⁽³⁸⁾.

L'acceptation des véhicules à hydrogène a été lente. Des bus à hydrogène à zéro émission sont opérationnels à Londres (8 bus) et à Aberdeen (10 bus)⁽³⁹⁾ et des technologies innovantes pour la production d'hydrogène et des stations de rechargement pour bus ont été développées conjointement par des entreprises britanniques de production de gaz et de distribution d'énergie⁽⁴⁰⁾⁽⁴¹⁾.

L'utilisation du gaz naturel a été testée dans environ 200 véhicules poids lourds (qui ne peuvent pas être électrifiés)⁽⁴²⁾. Les véhicules ont tendance à être rechargés dans les stations de recharge privées des entreprises dans la mesure où les infrastructures publiques de recharge pour le gaz naturel sont limitées. En comparaison avec le diesel, l'utilisation du gaz naturel produit 28% de moins d'émissions de gaz à effet de serre (jusqu'à 65% pour le bio méthane)⁽⁴³⁾.

(34) GOV.UK *Plug-in car and van grants*. [Online]. Available: <https://www.gov.uk/plug-in-car-van-grants/overview>. [Accessed 24 August 2015].

(35) 102 EV Registrations 2010-2015, SMMT <http://www.smmt.co.uk/category/news-registration-evs-afvs/>.

(36) Network Rail, 2013. *Technical Strategy*.

(37) Network rail, *Electrification* [Online]. Available: <http://www.networkrail.co.uk/aspx/12273.aspx>. [Accessed 20 August 2015].

(38) Transport for London, 2014 *New hybrid bus charging technology trial announced* [Online]. Available: <https://tfl.gov.uk/info-for/media/press-releases/2014/august/new-hybrid-bus-charging-technology-trial-announced>. [Accessed 20 August 2015].

(39) IEET and ITS-UK, 2014. *Local Authority Guide to Emerging Transport Technology*.

(40) Aberdeen Invest Live Visit Hydrogen Bus Project [Online]. Available: <http://aberdeeninvestlivevisit.co.uk/Invest/Aberdeens-Economy/City-Projects/H2-Aberdeen/Hydrogen-Bus/Hydrogen-Bus-Project.aspx> [Accessed 27 August 2015]

(41) Air Products, 2014. *Bringing Hydrogen to London's Streets*.

(42) Aberdeen Invest Live Visit *H2 Aberdeen: Who is involved?* [Online]. Available: <http://aberdeeninvestlivevisit.co.uk/Invest/Aberdeens-Economy/City-Projects/H2-Aberdeen/Hydrogen-Bus/Hydrogen-Bus-Who-is-involved.aspx> [Accessed 02 September 2015]

(43) C. L. Fevre, 2014. *The Prospects for Natural Gas as a Transport Fuel in Europe*. The Oxford Institute for Energy Studies.

2. Modèles d'utilisation de la voiture

Au Royaume-Uni, il y a eu une augmentation des modèles économiques qui utilisent des plateformes via internet et des applications pour permettre l'auto-partage⁽⁴⁴⁾. Cela pourrait réduire les émissions en encourageant les personnes à associer la location de voiture et les transports publics⁽⁴⁵⁾. D'autres schémas comme le « E-Car Club » encouragent l'utilisation de voitures électriques en prenant en charge pour les particuliers les coûts initiaux⁽⁴⁶⁾.

3. Sécurité en vélo

Pour inciter à l'utilisation du vélo à Londres, des innovations sont en train d'être testées. Par exemple, les grands véhicules sont en train d'être équipés de systèmes électroniques pour détecter les cyclistes dans des endroits sombres⁽⁴⁷⁾.

4. Planification et données

Le Royaume-Uni améliore sa planification des transports en collectant un nombre plus important de données et utilise des analyses de données plus performantes. Les données sur l'aviation sont utilisées pour améliorer la gestion du trafic aérien et pour l'intégrer avec d'autres services de transport. Pour les transports publics, des flux de données comme les réseaux sociaux peuvent être utilisés pour « cartographier le sentiment » afin d'établir en temps réel les besoins des usagers des transports et permettre des plannings dynamiques⁽⁴⁸⁾. Cela complète l'utilisation actuelle d'un large volume de données sur les trajets sur route et en train par les autorités des transports pour accroître l'efficacité des transports.

5. Ticket unique

On peut, par exemple, citer la « Oyster Card » de Londres et l'acceptation des cartes de débit/crédit sans contact, qui peuvent être utilisées dans plusieurs formes de transports publics. C'est de plus en plus répandu dans tout le Royaume-Uni. Ces démarches peuvent encourager l'utilisation des transports publics mais aussi réduire les temps d'arrêt des bus, ce qui rend les voyages plus efficaces et diminue les émissions polluantes⁽⁴⁹⁾.

6. Matériaux plus légers

Le Royaume-Uni vise à développer son expertise dans la conception et la recherche de matériaux plus légers qui permettent d'accroître l'efficacité en carburants des véhicules. Des financements ont été accordés à divers projets, y compris à des projets relatifs à la recherche

⁽⁴⁴⁾ C. Kluyver, 2014 *Foot on the gas?* National Grid [Online]. Available: <http://www.nationalgridconnecting.com/foot-on-the-gas/>. [Accessed 20 August 2015].

⁽⁴⁵⁾ Prakash, A. and Kar-Gupta, S., 2014 Rise of the car-sharing apps poses threat to auto sector Reuters [Online] Available: <http://uk.reuters.com/article/2014/12/18/uk-autos-apps-idUKKBN0JW1TJ20141218>. [Accessed 18 August 2015]

⁽⁴⁶⁾ POSTnote 496 Trends in Transport.

⁽⁴⁷⁾ GOV.UK, 2015 *Crowdfunding investors celebrate successful exit from E-Car Club* [Online]. Available: <https://www.gov.uk/government/news/crowdfunding-investors-celebrate-successful-exit-from-e-car-club>. [Accessed 20 August 2015].

⁽⁴⁸⁾ Transport Research Laboratory, *Cycle Detection using Intelligent Transport Systems* [Online] <http://www.trl.co.uk/solutions/sustainability/cycling/safer-cycling-innovations/cycle-detection-using-intelligent-transport-systems/> [Accessed 27 August 2015].

⁽⁴⁹⁾ Transport Systems Catapult, 2013. *Transport Systems Catapult: Five-Year Delivery Plan to March 2018 (abridged)*.

sur l'utilisation de composites à matrices d'aluminium léger pour renforcer les composants automobiles ⁽⁵⁰⁾.

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre

L'agriculture contribue à 9% des émissions de gaz à effet de serre au Royaume-Uni, contre 10 à 12 % au niveau mondial. Bien qu'il y ait une tendance à la baisse sur le long terme de l'agriculture au Royaume-Uni, ce secteur en Angleterre a un objectif de réduction de son budget carbone de 3 millions de tonnes d'équivalent dioxyde de carbone (millions de tonnes d'équivalent CO₂) par an fixé pour la période 2018-2022, conformément aux exigences de la loi sur le changement climatique qui impose une réduction de 11% par rapport aux niveaux de 2008. Des réductions similaires sont requises pour l'Ecosse (1,3), le Pays de Galles (0,6) et l'Irlande du Nord (0,276). L'oxyde d'azote contribue plus au réchauffement climatique que tous les autres gaz émis par l'agriculture (les émissions du Royaume-Uni sont de 30,3 millions de tonnes d'équivalent CO₂) et les sols sont la source principale des émissions (90%). Cela résulte de l'activité microbienne qui fait suite à l'application d'engrais azotés par l'homme, de fumier de ferme, de lisier et de re-déposition de la pollution atmosphérique due à l'azote sur les terres. La consommation d'énergie dans les exploitations et le stockage des récoltes sont les principales sources d'émissions de CO₂ dans l'agriculture (les émissions du Royaume-Uni sont de 6,6 millions de tonnes d'équivalent CO₂). La majorité du méthane émis vient de la fermentation produite par les processus digestifs du bétail et la décomposition anaérobie de fumier stocké et de lisier (les émissions du Royaume-Uni sont de 22,3 millions de tonnes d'équivalent CO₂) ⁽⁵¹⁾.

Cependant, avec ces exigences d'atténuation, les systèmes agricoles vont aussi devoir s'adapter radicalement pour répondre à la demande mondiale croissante en nourriture ⁽⁵²⁾, à la baisse de la disponibilité des ressources en eau ⁽⁵³⁾ et à l'accroissement de la résistance des parasites aux substances agrochimiques existantes, comme les herbicides ⁽⁵⁴⁾. La stratégie Agri-Tech du Royaume-Uni a été lancée en 2013 pour encourager l'innovation dans l'agriculture afin de répondre à ces défis. Associer les forces de la recherche britannique dans des domaines comme la science des sols et la science des cultures, la robotique et les TIC pourrait amener à des produits et services pour l'export.

Les principales approches qui émergent pour lutter contre les émissions de gaz à effet de serre concernent notamment les techniques agricoles de précision, les exploitations agricoles en environnement contrôlé, les fourrages alternatifs et les insectes comestibles :

⁽⁵⁰⁾ School of Engineering - University of Portsmouth, 2009 *How Oyster Cards reduce the environmental impact of the London bus network* [Online]. Available: <http://mosaic.cnfolio.com/B101CW2008B180>. [Accessed 24 August 2015].

⁽⁵¹⁾ Innovate UK, 2012 *Competition winners announced for £56 million investment into low carbon vehicles* [Online] Available: https://connect.innovateuk.org/web/energy-efficiency/article-view/-/blogs/competition-winners-announced-for-%C2%A356million-investment-into-low-carbon-vehicles?_33_redirect=https%3A%2F%2Fconnect.innovateuk.org%2Fweb%2Fenergy-efficiency%2Farticle-view%3Fp_id%3D33%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26p_r_p_564233524_tag%3Dlightweight%2Bsustainable%2Bbodyshells [Accessed 26 August 2015].

⁽⁵²⁾ POSTnote 486, Emissions from Crops.

⁽⁵³⁾ POSTnote 499, Novel Food Production.

⁽⁵⁴⁾ POSTnote 385, Water in Production and Products.

- L'agriculture de précision utilise la technologie, le génie agricole et les données pour aider les agriculteurs à appliquer les traitements efficacement à travers le « 4B » : « une bonne intervention, au bon moment, au bon endroit et en bonne quantité ». Par exemple, les agriculteurs peuvent cibler les fertilisateurs là où ils sont le plus nécessaires, plutôt que d'appliquer un taux uniforme à tout le champ, ce qui peut potentiellement réduire les coûts et la consommation globale. En 2012, 22% des exploitations agricoles anglaises utilisaient le Système de Positionnement Global (Global Positioning System) et 20% utilisaient la cartographie des sols pour optimiser les traitements. Une utilisation plus efficace des apports peut contribuer à intensifier la production de nourriture de manière durable, et à optimiser les rendements tout en réduisant l'impact environnemental y compris les émissions de gaz à effet de serre. Cependant, les coûts initiaux élevés vont probablement limiter l'adoption de ces mesures aux exploitations agricoles plus grandes ⁽⁵⁵⁾.
- Les avancées technologiques dans l'éclairage, la culture hydroponique et le contrôle climatique permettent à l'agriculture d'aller dans des environnements intérieurs contrôlés. L'agriculture en environnement contrôlé est un prolongement de l'horticulture sous serre qui permet un contrôle total de l'environnement de croissance avec des cultures cultivées toute l'année et protégées d'événements météorologiques extrêmes comme les tempêtes, mais aussi des attaques animales. L'agriculture en environnement contrôlé peut accroître le rendement de certaines cultures et diminuer l'utilisation des ressources mais elle n'est pas adaptée aux cultures principales telles que celles de maïs ou de blé ⁽⁵⁶⁾.
- Des sources durables d'alimentation animale comme les insectes pourraient réduire la dépendance à l'alimentation au soja provenant des zones de forêts tropicales humides. Des repas d'insectes sont riches en protéines et nutriments, et l'élevage industriel de certaines espèces dans des usines pourrait être réalisé sur le fumier et les déchets alimentaires organiques ; bien que le fumier ne puisse pas être utilisé légalement comme aliment selon les réglementations de l'Union européenne actuelles ⁽⁵⁷⁾. L'agence britannique de recherche pour la nourriture et l'environnement (UK Food and Environment Research Agency, FERA) coordonne un programme international de recherche – ProteINSECT – qui examine l'élevage d'insectes pour la production de nourriture avec des productions à grande échelle commercialisées par des entreprises comme Entomotech en Espagne ⁽⁵⁸⁾.
- Les protéines végétales provenant des noix, du soja, des pois, des pois chiches et du lupin pourraient fournir une alternative aux protéines du bétail ⁽⁵⁹⁾ mais on aura aussi peut-être besoin de plus de nouvelles sources de protéines. Au moins 1900 espèces d'insectes sont connues pour être comestibles pour les hommes ⁽⁶⁰⁾, et bien que le contenu nutritionnel varie selon les espèces, les caractéristiques en protéines et en nutriments des insectes ressemblent généralement à celles de la viande. L'élevage d'insectes produit moins de gaz à effet de serre et d'émissions d'ammoniac par kilo de protéine que la production de porc et bétail, mais il risque probablement d'avoir des problèmes d'acceptation par le public ⁽⁶¹⁾.

(55) POSTnote 501 Herbicide Resistance.

(56) POSTnote 505 Precision Farming.

(57) POSTnote 499 Novel Food Production.

(58) European Union, 2009. Regulation (EC) No 1069/2009 of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*, L 300: 1-33.

(59) POSTnote 499 Novel Food Production.

(60) Day, L., 2013. Trends in Food Science and Technology 32 : 25-42.

(61) Van Huis, A., 2013. *Annual review of Entomology*, 58:563-83.

L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes

Les technologies intelligentes permettent de relayer à un utilisateur une information exacte, détaillée et en temps réel. Cela peut aider à faciliter les changements de comportements qui mènent à diminuer les émissions de gaz à effet de serre ⁽⁶²⁾. Parmi les principales technologies intelligentes qui ont été introduites au Royaume-Uni, on retrouve les compteurs d'énergie et d'eau intelligents et ceux qui sont conçus pour faciliter des voyages plus efficaces.

1. Les compteurs intelligents

Les compteurs intelligents améliorent l'enregistrement de la consommation de l'énergie et de l'eau et communiquent cette information aux consommateurs et aux fournisseurs. Une meilleure communication envers les consommateurs leur permet d'identifier et de réduire les gaspillages et incite aussi à l'achat d'appareils plus performants ⁽⁶³⁾.

Suite aux lois énergétiques de 2008 et de 2011, les fournisseurs d'énergie britanniques sont obligés de prendre toutes les actions raisonnables pour installer des compteurs intelligents d'électricité et de gaz ainsi que des « affichages intérieurs domotiques » (AID) dans toutes les propriétés résidentielles et les petites propriétés non résidentielles d'ici 2020. L'objectif est d'arriver à une couverture proche de 100%, avec une estimation de 53 millions de compteurs intelligents à installer, afin de s'assurer que le Royaume-Uni respecte la directive européenne de 2012 relative à l'efficacité énergétique. En plus des économies d'argent pour les consommateurs, les fournisseurs et les opérateurs, les essais du Royaume-Uni sur les compteurs intelligents semblent indiquer qu'ils pourraient réduire la consommation d'électricité de 3 à 19% et de gaz de 3 à 5% ⁽⁶⁴⁾. Le déploiement des compteurs intelligents est aussi supposé fournir un bénéfice estimé à £1.3 billion dans tout le pays grâce à la réduction des émissions de CO₂ et à l'amélioration de la qualité de l'air ⁽⁶⁵⁾.

Réduire la consommation en eau contribue à des économies d'énergie (et ainsi réduit les émissions de gaz à effet de serre) en réduisant la quantité d'énergie utilisée pour distribuer, traiter et chauffer l'eau. Des recherches suggèrent que les compteurs intelligents d'eau avec AID peuvent réduire la consommation d'eau de 3 à 18% sur 18 mois. Cependant, la plupart des foyers au Royaume-Uni payent l'eau selon un taux annuel fixe et ne sont pas équipés d'un compteur. Si une propriété est neuve ou si elle se trouve dans une zone que la compagnie d'eau considère comme une zone de stress hydrique, un compteur d'eau sera installé dans la propriété si le consommateur le demande. Un déploiement à l'échelle nationale est peu probable en raison d'obstacles techniques et logistiques : les compteurs d'eau se trouvent souvent dehors et sous terre ; il est difficile de transmettre leurs données vers la maison ⁽⁶⁶⁾.

Les technologies intelligentes peuvent aussi être utilisées dans des propriétés non résidentielles de plus grande taille (comme par exemple des bureaux) pour faire des économies d'énergie de façon différente. Par exemple, des applications peuvent encourager les usagers à réduire leur consommation d'énergie à travers un système de points avec des avantages s'ils adoptent des comportements plus économes en énergie. Il est possible de

(62) POSTnote 499 Novel Food Production.

(63) POSTnote 417 Energy Use and Behaviour Change.

(64) POSTnote 417 Smart Metering of Energy and Water.

(65) POSTnote 417 Smart Metering of Energy and Water.

(66) National Audit Office, 2014. *Update on preparations for Smart Metering*.

comparer les données avec d'autres utilisateurs de l'immeuble et d'organiser des forums de discussions entre utilisateurs de l'immeuble et l'équipe de maintenance. Dans un projet présenté en 2012 ces méthodes ont facilité une économie dans la consommation de gaz de 20% ⁽⁶⁷⁾.

2. Applications Internet pour le transport intelligent

Ces applications réunissent des données en temps réel sur les horaires de transport, les congestions, les retards et la localisation de l'utilisateur de l'application afin de permettre aux utilisateurs de planifier l'itinéraire le plus rapide (ou celui qu'ils préfèrent) pour leur destination. Cette information permet d'améliorer l'équilibre entre l'offre et la demande en transport, en réduisant le besoin en nouveaux services, véhicules et infrastructures⁽⁶⁸⁾, ce qui à son tour réduit les émissions de gaz à effet de serre des transports. Une de ces applications, CityMapper a été développée et lancée à Londres en 2012. Les estimations suggèrent que CityMapper est installé sur environ la moitié des iPhones à Londres ⁽⁶⁹⁾. L'application a été pour l'instant déployée dans 28 autres villes à travers le monde ⁽⁷⁰⁾.

⁽⁶⁷⁾ POSTnote 417 Smart Metering of Energy and Water.

⁽⁶⁸⁾ The University of Warwick, EMPOWER: Empowering empathic energy efficiency design [Online] http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/research/experiential_engineering/projects/pastprojects/empower/ [Accessed 26 August 2015].

⁽⁶⁹⁾ *Catapult: Future Cities, 2014*. How can the UK innovate for the world's cities?

⁽⁷⁰⁾ CityMapper, 2015. *CityMapper* [Online]. Available: www.citymapper.com. [Accessed 25 August 2015].

Russie

Innovation, transports, mobilité

Le projet de système intégré de transport eurasien a pour objectif d'assurer une mobilité de transport transcontinental à travers un équilibre optimal de la consommation d'énergie et la sécurité de l'environnement

L'idée de construire un réseau de transport transcontinental entre l'Eurasie et l'Amérique du Nord remonte au début du XXème siècle, et demeure depuis une question de grand intérêt pour les scientifiques et les hommes politiques.

Dans les années 1990, un projet de réseau reliant les continents d'Asie et d'Amérique du Nord a été longuement discuté lors de conférences internationales.

Un projet de grande ampleur nommé « Système Intégré de Transport Eurasien » (SITE) ou « Ceinture de Développement Trans-Eurasien » récemment développé propose de construire un réseau de transport sur le territoire russe entre l'Europe occidentale et l'Extrême-Orient, l'Amérique du Nord et l'Asie du Sud-Est. Le concept du projet a été développé par le Centre de recherche et de mise en oeuvre du mégaprojet SITE à l'Institut d'études sociales et politiques de l'Académie des sciences de Russie (le rapport correspondant a été publié par le Dr. V. Yakounine et par les académiciens G. Osipov et V. Sadovnichy)⁷¹. Le projet implique l'établissement d'un réseau d'infrastructure comprenant des unités flexibles de transport (routes ferroviaires et autoroutes), des réseaux d'énergie et de télécommunication.

Les idées principales du projet ont été plusieurs fois discutées au sein du Conseil de la Fédération, ainsi qu'au Forum économique du Baïkal. Le 30 Novembre 2011, le Conseil de la Fédération a organisé des auditions parlementaires sur le thème : « Les couloirs de transport internationaux entre l'Europe, la Russie, la région d'Asie-Pacifique, un espace pour l'innovation » pour examiner le projet SITE présenté par le directeur de l'Institut d'études sociales et politiques, l'académicien Guennadi Osipov.

Les recommandations des auditions du débat parlementaire ont montré, en particulier, la nécessité « d'examiner, dans le cadre des sommets UE-Russie et Russie-APEC, la faisabilité de la construction et du développement de couloirs de transport internationaux Amérique du Nord-Russie-Asie du Sud-Est (Alaska-détroit de Béring-Iakoutie-Sibérie-Chine) ».

En mars 2014, le projet du « Système Intégré de Transport Eurasien » a été présenté par le Dr. V. Yakounine (ancien président de la SARL « Chemins de fer russes ») et approuvé par le Présidium de l'Académie des sciences de Russie.

Les éléments de l'infrastructure intégrée doivent comporter : la construction de 47000 km de voies ferrées, de 120000 km de routes principales, la pose de 23000 km de câbles à fibre optique⁷². Les volumes de trafic interagiraient avec les flux d'énergie et avec les capacités de connaissances et de technologies. Cela créera, dans la région, un environnement innovateur pour l'établissement d'un centre de développements scientifiques et de production basé sur les technologies avancées fournies par les pays concernés.

⁷¹ Yakounin V.I., Osipov G.V., Sadovnichy V.A. *Le réseau uniform d'infrastructure Eurasiatique.* – M.: ISPS de ASR, 2013.

⁷² <http://www.council.gov.ru/media/files/41d56050809b3f319188.pdf>

Selon l'évaluation des développeurs de ce projet, la mise en œuvre de ce mégaprojet pourrait diviser de 5 à 6 fois le temps de livraison des marchandises entre l'Europe occidentale et l'Extrême-Orient, l'Asie du Sud-Est et l'Amérique du Nord, et réduire les coûts de livraison de deux à trois fois⁷³. Les promoteurs du projet sont convaincus que le rôle fonctionnel des chemins de fer dans le monde va augmenter. Tout d'abord, les voies ferrées sont respectueuses de l'environnement par comparaison aux réseaux routiers, et leur développement est plus efficace en termes de réduction des émissions de CO₂. Deuxièmement, la plupart des chemins de fer sont considérés comme sûrs, et enfin, plus confortables pour l'individu.

Ce projet permettrait d'optimiser des flux de trafic au niveau mondial et d'équilibrer les intérêts entre les grandes régions économiques du monde et serait un outil important pour la sécurité géopolitique mondiale. Il n'est pas exclu que la mise en œuvre du projet russe SITE puisse être réalisée en coopération avec les plans de construction de la ceinture économique de la Route de la Soie en Chine et de la Route de la Soie maritime du XXI^{ème} siècle. L'initiative de la stratégie de développement est connue sous le nom « Une ceinture, une route ».

La construction de ces réseaux de transport permettra à la Russie d'augmenter sensiblement ses capacités de transit et d'unir les efforts d'un certain nombre de pays qui ont un potentiel fort de croissance économique.

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre

1. La lutte contre le changement climatique mondial: de nouvelles technologies pour l'utilisation des gaz effet de serre

La Doctrine climatique de la Fédération de Russie⁷⁴ stipule que « le changement climatique est l'un des problèmes cruciaux mondiaux du XXI^{ème} siècle, qui dépasse la portée des problèmes scientifiques et regroupe de nombreux problèmes interdisciplinaires, concernant les aspects environnementaux, économiques et sociaux du développement durable de la Fédération de Russie ».

Le Conseil de la Fédération de l'Assemblée Fédérale de la Fédération de Russie a toujours préconisé d'intensifier les efforts, conjointement avec la communauté internationale, pour lutter contre le changement climatique et pour en limiter les effets néfastes sur l'environnement⁷⁵.

Depuis 2008 le Conseil de la Fédération, en collaboration avec l'Assemblée interparlementaire de la Communauté des Etats Indépendants, a organisé le Congrès écologique international Nevsky⁷⁶ – le plus grand forum sur l'environnement en Russie.

⁷³ *Op. cit.*

⁷⁴ Approuvée par l'arrêté du 17 décembre 2009 du Président de la Fédération de Russie (#861-rp).

⁷⁵ Les Sénateurs russes ont abordé ces questions lors des sessions de l'APCE en septembre 2009 et janvier 2014, lors de la 22^{ème} session du Forum parlementaire Asie-Pacifique (FPAP) en janvier 2014, lors du deuxième Sommet des Organisation mondiale des législateurs pour un environnement équilibré (GLOBE) en juin 2014 et dans nombreuses réunions parlementaires.

⁷⁶ <http://ecocongress.info>

Le VII^{ème} Congrès Nevsky, qui s'est tenu en mai 2015, a été consacré à la stratégie de sécurité écologique. Une attention particulière a été accordée aux soutiens et à la mise en oeuvre des recherches scientifiques de pointe qui contribueront à la réduction de l'impact de l'industrie sur l'environnement. En particulier, le document final du Congrès se réfère au projet « Synthèse » portant sur la production d'hydrocarbures en utilisant les gaz à effet de serre⁷⁷.

Avant cela, le Conseil de la Fédération avait parrainé la discussion sur ce projet lors de diverses réunions : lors de la réunion du Conseil des experts scientifiques sous la présidence du Président du Conseil de la Fédération (avril 2012), lors du Congrès Nevsky et lors du Forum économique international du Baïkal (2012).

2. La production d'hydrocarbures en utilisant les gaz à effet de serre (projet « Synthèse »)

Aujourd'hui, la concentration de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère est deux fois plus élevée qu'au début de la révolution industrielle. Actuellement le monde est en quête de différents moyens pour atteindre la réduction des gaz à effet de serre, y compris en captant les émissions de dioxyde de carbone et en les enfouissant dans le sol dans des couches poreuses profondes ou saumurées, ainsi que dans les champs de pétrole et de gaz épuisés. Cependant, ces méthodes techniques sont en général très coûteuses et il est même possible qu'avec le temps, le dioxyde de carbone enterré se libère naturellement.

Les scientifiques de l'Académie des sciences de Russie ont développé une technologie permettant de recycler les émissions industrielles de dioxyde de carbone en produits organiques de synthèse (projet « Synthèse »), qui assure un renouvellement du carbone, similaire au renouvellement naturel. Le dioxyde de carbone sert alors de matière première pour la production de vecteurs énergétiques de synthèse liquides (qu'il s'agisse de carburant pour moteurs, de diméthyléther, d'essence d'octane élevé, de carburant riche en octane) ayant un impact environnemental amélioré.

Cette technologie en général est unique et a été introduite pour la première fois par la Fédération de Russie qui a breveté des méthodes pour produire des gaz de synthèse et des produits de synthèse organiques à partir d'eau et de dioxyde de carbone. Cette technologie pratique comprend les principales étapes suivantes:

- l'utilisation d'absorbants à base d'amine renouvelable pour extraire et concentrer le dioxyde de carbone des émissions industrielles de gaz dilué (ayant de 7% à 97% de teneur en CO₂) ;
- la réduction du dioxyde de carbone et de l'eau pour obtenir de l'hydrogène et du monoxyde de carbone, c'est-à-dire des gaz de synthèse, et dans des processus parallèles, l'électrolyse de l'eau et la réduction catalytique du dioxyde de carbone à l'aide de l'électrolyse de l'hydrogène. Ainsi, l'oxygène résultant de l'électrolyse est utilisé dans un processus parallèle d'oxydation partielle du méthane, qui produit du gaz de synthèse supplémentaire ainsi qu'un excédent (commercial) d'hydrogène ;
- la dernière étape comprend des procédés de synthèse organique basés sur la conversion du gaz de synthèse en méthanol et en produits contenant de l'oxygène ou, selon la méthode de synthèse de Fischer-Tropsch, en hydrocarbures liquides et en carburants synthétiques.

⁷⁷ Le projet *Synthesis* a été élaboré par le Conseil scientifique d'experts du Programme pour la recherche fondamentale au Présidium de l'Académie des sciences de Russie.

A l'avenir, une technologie sera développée pour extraire directement le dioxyde de carbone de l'atmosphère terrestre en utilisant des membranes sélectives de gaz.

Actuellement, une esquisse de projet d'usine de traitement de dioxyde de carbone⁷⁸ est en cours. Elle aurait la capacité de transformer jusqu'à 5000 tonnes d'hydrocarbures liquides par an et jusqu'à 20000 tonnes de produits de synthèse organique (intermédiaires) par an. Cela permettrait de développer la production de carburants écologiquement propres ainsi que du Diesel premium « Euro-3 » et « Euro 4 » ou de normes plus élevées, ainsi que du carburant à hydrogène.

⁷⁸ Project *Synthesis*. Esquisse de projet d'une usine de traitement de dioxyde de carbone avec la capacité de transformation jusqu'à 5.000 tonnes par an d'hydrocarbures liquides. – M.: ISPS of RAS, 2015. 124 p.

Suède

Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments

Le secteur du logement et du bâtiment est responsable de 40% de la consommation en électricité suédoise. La Suède s'est fixé l'objectif, d'ici 2020, d'une consommation d'énergie quasi nulle pour chaque nouveau bâtiment. Un plan d'action pour atteindre cet objectif a été développé. L'efficacité énergétique est primordiale dans tout le secteur, tant pour construire de nouveaux bâtiments que pour rénover les anciens, afin de rendre leur utilisation quotidienne moins énergivore. Mais construire des bâtiments de haute efficacité énergétique n'est pas l'unique priorité. Il est crucial d'en apprendre davantage sur le comportement des occupants, sur leur mode de vie ainsi que sur certains de leurs actes, qui peuvent jouer sur leur consommation d'énergie. L'un des défis majeurs est d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments existants. L'Agence Suédoise pour l'Energie insiste sur le fait que le secteur du bâtiment et de la construction est un secteur stratégique et prioritaire en termes de recherche et d'innovation pour les années à venir. Elle finance à hauteur de 20 millions de SEK (environ 2 millions d'euros) un nouveau programme de recherche et d'innovation dans ce domaine. Des fonds supplémentaires pour un plus large programme collaboratif avec l'industrie dans ce domaine seront également une priorité. Une évaluation gouvernementale sur les bâtiments à basse consommation énergétique montre que bien que ces bâtiments consomment moins d'énergie lorsqu'ils sont habités, les investissements supplémentaires dans l'enveloppe des bâtiments et des installations sont difficilement amortissables par la simple réduction du coût du chauffage pendant l'utilisation du bâtiment. Cependant, d'un point de vue environnemental, il est bénéfique de construire de nouveaux bâtiments avec une efficacité énergétique très élevée. Sur toute la durée de vie d'un bâtiment, y compris sa phase d'habitation, l'effet bénéfique d'une haute efficacité énergétique du bâtiment est indéniable pour l'environnement.

1. Rénovation et efficacité énergétique

Une grande partie des logements suédois ont été construits dans les années 1965-1975. Améliorer l'efficacité énergétique de ces bâtiments en les rénovant permettrait de réduire considérablement leur consommation d'énergie. Ceci est une priorité du gouvernement, qui aide les propriétaires à financer la rénovation de leurs habitations en vue d'améliorer leur efficacité énergétique et d'encourager l'innovation dans ce domaine. Le gouvernement compte également renforcer le rôle du citoyen dans la lutte contre le gaspillage d'énergie en mettant en place, à l'échelle municipale, des recommandations sur le climat et l'énergie. Une stratégie nationale pour rénover et améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments a été présentée, et encourage l'utilisation d'instruments efficaces au regard des coûts de rénovation. La stratégie expose aussi un certain nombre d'obstacles à contourner pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.

2. Une ville intelligente et écologique – l'aménagement du Royal Seaport

Un nouveau quartier de Stockholm est en train de développer un réseau électrique intelligent. L'énergie solaire et éolienne seront utilisées davantage et la demande d'électricité sera gérée de façon plus intelligente. Le quartier participera aussi au développement de la connaissance :

les résidents auront la possibilité de voir quel type d'énergie ils utilisent, quel en est l'impact sur l'environnement, et combien elle coûte. Enfin, et c'est peut-être le plus important, les résidents pourront avoir une consommation d'électricité écoresponsable grâce à des systèmes de communication, de prises, de thermostats et d'autres appareils intelligents.

3. Les incitations à l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments.

Une initiative pour réduire la consommation en énergie des bâtiments a été présentée en 2006 dans une loi appelée « loi de déclaration énergétique » qui oblige les propriétaires à déclarer la consommation énergétique ainsi que l'environnement intérieur de leur maison. Ces déclarations énergétiques prennent en compte, entre autres, l'information sur la superficie chauffée de la maison, l'énergie utilisée pour le chauffage, l'utilisation de la climatisation et de l'eau chaude, en vue de produire des propositions d'action pour réduire la consommation en énergie. Cette loi recommande aussi certaines mesures rentables pour améliorer l'efficacité énergétique des maisons.

Les baux écologiques ont été instaurés afin de diminuer l'impact écologique de certains locaux commerciaux. Les baux précisent les actions que les locataires et les propriétaires se sont engagés à suivre en vue de réduire leur impact écologique, tant au point de vue de leur consommation énergétique que des matériaux exploités et jetés. Ces baux écologiques invitent, dans l'intérêt commun, à mettre en place des mesures pour améliorer l'efficacité énergétique. Cependant, un retour d'expérience nous a montré qu'il peut être difficile de changer la structure de baux déjà existants, dans la mesure où ces modifications sont associées à des frais de transaction ainsi qu'à des accords entre divers groupes. Par ailleurs, un bail de courte durée ne laisse pas suffisamment de temps pour des travaux à long terme sur l'efficacité énergétique. En conclusion, la séparation de la propriété et de l'utilisation n'est donc pas optimale au point de vue de l'efficacité énergétique.

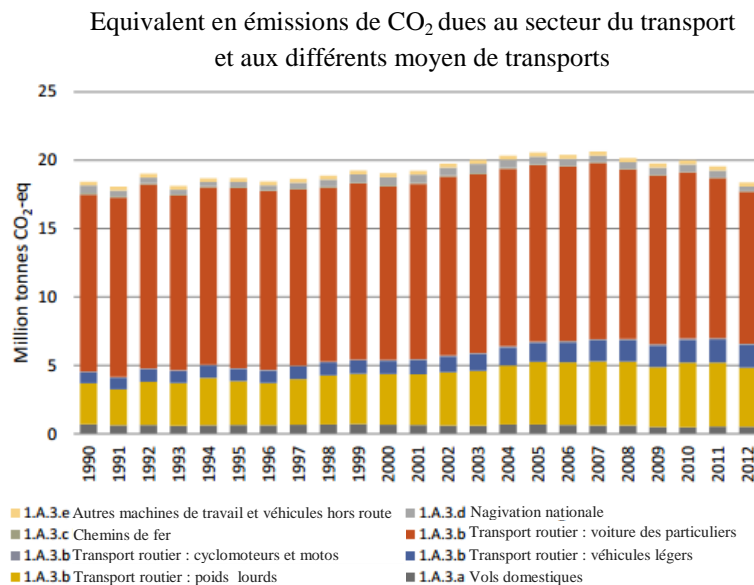
4. Un vaste programmes de recherche dans le domaine du rendement énergétique des bâtiments et au quotidien.

E2B2 est le programme de recherche suédois le plus important jamais lancé dans le domaine de l'efficacité énergétique des bâtiments et au quotidien. L'objectif en est d'améliorer le rendement énergétique d'un espace bâti par la recherche, le développement, l'innovation et la démonstration pédagogique. Il s'agit d'un vaste programme de recherche qui s'intéresse à la globalité du cycle de vie des bâtiments, depuis la planification du chantier jusqu'à la démolition, en passant par les étapes de production ou de rénovation. Le programme prend aussi en compte les recherches sur les choix, le comportement et le mode de vie des résidents, pour comprendre leurs habitudes de consommation énergétique.

Innovation, transports, mobilité

Environ 40% des émissions de gaz à effet de serre proviennent en Suède du secteur du transport (en incluant l'aviation). Après un pic en 2005, les émissions ont légèrement baissé. Le trafic routier est responsable de la plus grande part de ces émissions. La quantité de gaz à effet de serre émis a augmenté entre 1990 et 2005, avant d'atteindre un palier, et a depuis diminué, certainement en raison de la part accrue des carburants renouvelables, de la

meilleure efficacité énergétique des véhicules, et d'une consommation moindre en carburant conventionnel, parallèlement au ralentissement économique des années 2008 et 2009.



1. Les initiatives gouvernementales pour réduire l'impact écologique du secteur du transport

La taxe sur le carbone a joué depuis le début des années 1990 un rôle essentiel dans la réduction des émissions de carbone en Suède. D'autres mesures telle que l'évolution des technologies, des moyens d'information, des taxes différenciées sur les véhicules et les subventions d'investissement ont contribué à réduire les émissions de gaz à effet de serre. La stratégie suédoise pour le climat se concentre principalement sur des instruments financiers généraux tels que la taxe sur le carbone ou les échanges de quotas d'émission. Dans le secteur du transport, la réglementation des émissions de CO₂ des nouvelles voitures a aussi contribué à diminuer ces émissions en Suède. Le gouvernement actuel a désigné un chercheur pour qu'il soumette des propositions sur un système de malus et de bonus environnementaux. Les nouveaux véhicules avec un faible taux d'émission de carbone pourraient bénéficier d'un bonus écologique pour faciliter leur vente, alors que les véhicules avec un taux d'émission plus élevé seraient soumis à une fiscalité moins avantageuse.

2. Des programmes stratégiques d'innovation dans le secteur du transport

Infrasweden 2030 est un nouveau programme stratégique d'innovation afin de générer de nouvelles idées innovantes et de mettre ces innovations au service de la société. Il ne s'agit pas de s'intéresser uniquement à l'aspect technologique, mais aussi de prendre en considération les aspects sociaux et institutionnels. Une approche globale sera appliquée pour comprendre comment différentes technologies peuvent interagir, et comment les utilisateurs se servent de cette technologie. Ce programme réunira les dernières technologies dans le domaine des sciences des matériaux, de l'automobile, de l'information et de la communication, et des technologies des routes et des rails. L'homologation ainsi que des simulations de *business games* permettront de mettre au point des stratégies pour innover. Un autre programme stratégique appelé Système de Transport Automatisés examine le rôle du

conducteur dans le système du transport, et étudie les façons dont il pourrait être assisté ou remplacé par des TICs avancées qui concerneront tant les mouvements du véhicule que toute l'infrastructure.

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre

L'activité agricole produit en Suède l'équivalent de près de 10 millions de tonnes de CO₂ chaque année. Le dioxyde de carbone provenant de la culture des plantes et de l'élevage animal, le protoxyde d'azote dû à l'engrais et au fumier et le méthane dû à la fermentation entérique et à la gestion du fumier représentent la majeure partie des émissions. Ces émissions ont diminué de 16% depuis 1990. La production agricole suédoise est aussi responsable d'émissions de gaz à effet de serre dans d'autres pays, en raison de l'importation d'engrais minéraux et de fourrage. Le Comité Suédois de l'Agriculture a cartographié l'impact du dérèglement climatique sur l'industrie agricole suédoise sur les 25 ans à venir. Les scénarios du changement climatique annoncent une augmentation des capacités de production dans les pays nordiques, ce qui représente une opportunité pour l'agriculture suédoise, mais indique aussi des risques plus importants tels que de nouvelles maladies animales ou végétales, ou des conditions météorologiques extrêmes tels que vagues de chaleurs, inondations ou sécheresse.

1. L'agriculture de demain – un projet de recherche interdisciplinaire

L'Agriculture de Demain – Bétail, Récolte et Usage des Terres est une plateforme de recherche multidisciplinaire lancée par des chercheurs de l'Université Suédoise des Sciences Agricoles (SLU) en collaboration avec l'industrie, des groupes d'intérêt et des organismes gouvernementaux. Les travaux se concentrent majoritairement sur la Suède et les pays scandinaves, tout en essayant de garder une vision plus globale. Au sein de ce programme, les chercheurs du secteur agricole développent, avec des agences gouvernementales et des ONG, des projets de recherche sur l'utilisation durable des ressources naturelles, en portant une attention particulière à la production agricole et à l'utilisation des terres. Six défis majeurs pour la recherche agricole ont émergé de cinq scénarios prospectifs : réduire l'impact environnemental de l'agriculture et limiter le changement climatique; donner des réponses aux attentes sociétales et contribuer aux stratégies politiques ; adapter les pratiques agricoles au changement climatique ; gérer les risques d'aujourd'hui et prévoir ceux de demain ; l'agriculture et le développement rural ; résoudre les conflits relatifs à l'occupation des terres.

2. Pour un meilleur rendement, et un recyclage des aliments – les aspects cruciaux

Une meilleure efficacité est essentielle pour réduire l'impact de l'agriculture sur l'environnement. Les systèmes de haute productivité qui minimisent les pertes d'énergie et de matériaux sont nécessaires. Le recyclage des nutriments et autres matières à la ferme, ou entre les zones rurales et urbaines, est aussi une question cruciale. Un autre point essentiel est de savoir jusqu'où le rendement peut-être amélioré et comment l'impact écologique peut être limité par des systèmes de production intégrés (c'est à dire les cultures et le bétail, ou les cultures et les arbres), au niveau de la ferme, du paysage ou de la région – tout en prenant en compte les besoins en transport. Les avantages et les limites d'utilisation des nouvelles technologies au sein des systèmes de production devraient aussi être étudiées et évaluées. Cela nécessite une excellente compréhension de l'agriculture en tant que système écologique

ainsi que de la façon dont la technologie peut être utilisée pour renforcer des processus écologiques.

L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes

1. Les villes durables intelligentes – la solution des TIC doit être étudiée attentivement.

Plusieurs études ont montré que les TIC peuvent être utilisés pour atteindre des objectifs sur le climat des villes, en réduisant l'utilisation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre dans divers secteurs tels que l'énergie, le transport, l'agriculture, le bâtiment, la production et les services au consommateur. Une étude récente, s'intéressant au mode de vie fondé sur la consommation, a conclu que les « hotspots » (foyers utilisant beaucoup d'énergie et où l'implantation des TIC est envisageable) présentent le plus important potentiel de réduction d'énergie. Les TICs rendront possible l'utilisation des technologies dans de vastes systèmes socio-techniques, où d'autres facteurs que ceux purement techniques vont jouer un rôle. Sans une mise en place judicieuse de ces technologies, combinées avec d'autres mesures, les TICs risqueraient d'augmenter la consommation énergétique plutôt que de la réduire. Cette augmentation se ferait soit directement, soit indirectement, au sein des systèmes énergétiques ou de la société, ce qui est souvent appelé l'effet boomerang. Une étude suédoise démontre qu'un certain décalage existe entre les objectifs des villes en termes de climat et les opportunités offertes par les TICs. Les objectifs de la ville de Stockholm couvrent seulement 50 à 60% du total de l'énergie utilisée, selon des calculs fondés sur la consommation. Un tel objectif ne suggère pas seulement qu'il n'y a aucune observation sur une large proportion de la consommation énergétique, mais aussi la présence de risques dus au nombre trop important de mesures qui sont actuellement négligées. Afin de transformer ces opportunités en réelles économies d'énergie, les villes doivent examiner ces possibilités rigoureusement et étudier comment exploiter le mieux possible la mise en oeuvre des diverses solutions offertes par l'utilisation des TICs.

2. Développement de solutions neuves et innovantes, en collaboration avec les citoyens

Le West Harbor de Malmö, en Suède, présente un exemple d'implication des citoyens dans l'utilisation des technologies intelligentes. Sept logements de conception intelligente, gérés par l'entreprise énergétique E.ON, étudient de nouvelles façons de générer et d'utiliser l'énergie, en lien avec les résidents. Le quartier est alimenté grâce aux énergies solaire, éolienne et hydraulique et aux bioénergies. Les habitants produisent leur propre énergie, contrôlent son usage et testent les solutions énergétiques les plus efficaces, sans sacrifier leur confort. De surcroît, la majeure partie des résidents dispose d'un accès à l'électricité ou au biogaz, de façon à évaluer diverses options de transport durable. L'objectif est d'introduire ces "solutions intelligentes" dans d'autres domaines, à partir des expériences menées dans ces logements. Toutefois, il existe à la fois des obstacles organisationnels et législatifs à ce projet, identifiés à la suite d'une enquête auprès de l'entreprise, des habitants et des autres organismes impliqués. Les freins organisationnels sont liés à la complexité du modèle économique, et aux difficultés que rencontrent certaines entreprises pour coopérer au sein d'un modèle énergétique holistique. Les obstacles législatifs sont liés à la difficulté de revendre au réseau une énergie renouvelable produite localement.

Suisse

La politique climatique suisse

La Suisse poursuit une politique dynamique en vue de réduire les gaz à effet de serre et contribue à l'objectif international de limiter le réchauffement climatique à deux degrés. La loi sur le CO₂, noyau central de la politique climatique suisse, vise une réduction des émissions suisses intérieures d'environ 20% par rapport aux valeurs de 1990 d'ici 2020. La loi se préoccupe principalement des centrales thermiques à énergie fossile et des carburants automobiles, mais prend aussi en compte d'autres gaz à effet de serre, en plus du CO₂. Enfin, le gouvernement fédéral s'est vu attribuer le rôle de coordonner les actions d'adaptation au changement climatique (Office Fédéral pour l'Environnement, FOEN, 2015a).

En 2013, les gaz à effet de serre relâchés dans l'atmosphère en Suisse représentaient 52,6 millions de tonnes d'équivalent CO₂, soit 6,5 tonnes par habitant (FOEN, 2015b). C'est le secteur du transport qui est responsable de la plus grande proportion (31%) d'émission de gaz à effet de serre en Suisse. Ces émissions ont augmenté de 10% depuis 1990 et la circulation routière, responsable de 99% de ces émissions, en est la principale source (FOEN, 2015c). Etant donnée l'importante contribution de ce secteur, cet article s'intéresse au domaine du transport et de la mobilité. Deux études faites par la TA-SWISS sont-ici abordées : La première examine les possibilités et les défis de la technologie des biocarburants de seconde génération, la seconde traite du thème de la mobilité électrique.

Innovation, transports, mobilité : les biocarburants

Les biocarburants faits à partir de ressources renouvelables ont été sévèrement critiqués. Les cultures énergétiques sont en concurrence directe avec la production alimentaire et la conservation de la biodiversité. De plus, l'impact écologique de la production des biocarburants est souvent pire que celui des carburants fossiles. Un nouvel espoir apparaît sur la technologie des biocarburants de seconde génération. En plus des huiles, du sucre et de l'amidon, des composés ligno-cellulosiques peuvent aussi être transformés en carburant. Cela conduit à un rendement de conversion plus élevé et rend possible l'utilisation de matières premières alternatives comme le bois, l'herbe ou les biodéchets, qui servent alors de matières premières plus durables.

L'étude du TA-SWISS montre qu'au niveau de la chaîne de valeur, la viabilité de ces biocarburants de seconde génération dépend principalement du choix des matières premières. L'utilisation des déchets tels que le fumier, les biodéchets ou les résidus de bois permet d'aboutir à un fort potentiel de durabilité et à une importante économie d'émission de gaz à effet de serre. Cependant, si de la matière première de seconde génération doit être cultivée de façon agricole ou par sylviculture, comme c'est le cas pour les terres de pâturage ou les cultures de bois à courte rotation, l'exploitation des terres doit être substantielle pour aboutir à un volume pertinent de carburant. Cela augmente la pression exercée par la surexploitation des terres sur les zones naturelles, menaçant ainsi la biodiversité.

Bien qu'une production durable de biocarburant soit en principe réalisable, une production à grande échelle de biocarburants de seconde génération est limitée : soit par la rareté des terres exploitables, soit par un manque de déchets utilisables comme matière première, soit - dans le cas de carburants faits à partir d'algues – par des coûts trop élevés et une trop forte consommation en énergie.

Les biocarburants ainsi que la filière de la mobilité électrique n'étant pas encore considérés comme économiquement compétitifs, les politiques de réglementation auront un rôle clé quant au succès des biocarburants de seconde génération. Il est de la première importance d'augmenter l'efficacité énergétique du réservoir à la roue (tank-to-wheel efficiency) des moteurs à combustion interne. Diminuer la consommation moyenne du parc automobile de 7,9 l/100km à 4l/100km aux environs de 2030 permettrait de doubler le potentiel d'une mobilité plus biologique et plus durable, et de la porter à 15%, tout en augmentant aussi sa durabilité.

En résumé, les biocarburants de seconde génération permettent une mobilité plus durable que les carburants fossiles ou que les biocarburants de première génération qui reposent sur l'agriculture. Cependant, en raison des quantités limitées, à la fois en déchets utilisés en matière première et en surface de terres exploitables, la mobilité durable, produite par des bioénergies, ne peut alimenter, au grand maximum, que 8% du volume des transports de particuliers en Suisse, à efficacité énergétique constante. Néanmoins, les biocarburants de seconde génération peuvent jouer un rôle complémentaire et significatif dans le futur, en particulier dans les transports de longue distance ou dans le domaine de l'aviation, où la mobilité électrique est moins appropriée.

Cinq propositions pour exploiter le potentiel des biocarburants

- Des progrès dans l'efficacité énergétique des véhicules et dans l'utilisation plus durable des biocarburants de première génération doivent être faits simultanément. Cela vaut aussi pour l'utilisation hybride des biocarburants de seconde génération couplée avec des technologies de mobilité électrique.
- Des initiatives doivent être lancées pour rassembler tous les acteurs nécessaires à la gestion des ressources durables, tant à l'échelle nationale qu'internationale.
- Une attention particulière doit être mise sur l'approvisionnement en matières premières, et par conséquent, sur la promotion de l'utilisation des déchets et du bois comme matière première, ainsi que de la culture de plantes sur des terres qui n'étaient avant que de faible importance pour l'industrie agricole.
- Les méthodes largement adoptées et acceptées doivent être développées pour identifier et prévoir des effets secondaires indésirables et indirects des biocarburants.
- La vision des évaluations sur les biocarburants doit sortir d'une approche unilatérale trop focalisée sur l'équilibre en CO₂ et doit désormais aussi prendre en compte davantage l'aspect social et écologique.

Innovation, transports, mobilité : la mobilité électrique

Les voitures électriques représentent un grand espoir le transport durable, ou au moins, pour aboutir à un transport moins polluant. En règle générale, les véhicules électriques augmentent l'efficacité énergétique dans le secteur du transport et diminuent la dépendance par rapport

aux carburants conventionnels comme le pétrole et le diesel. Grâce à son bouquet énergétique diversifié, dans lequel l'énergie hydroélectrique prédomine, la Suisse dispose de bonnes conditions pour générer de l'énergie écologique en vue d'alimenter des véhicules électriques. De plus, le déploiement majeur d'énergies renouvelables peut-être justifié par l'arrivée des véhicules électriques, comme une source locale de stockage d'énergie.

Cependant, pour profiter au mieux des avantages écologiques de ces carburants alternatifs, un certain nombre de conditions doivent être réunies. Le marché de l'automobile devient de plus en plus exigeant puisque les véhicules fonctionnant aux carburants conventionnels s'améliorent continuellement en augmentant leur efficacité énergétique et en diminuant leurs émissions de CO₂. Une voiture compacte qui, aujourd'hui, consomme en moyenne 7,5l d'essence pour faire 100km, pourrait n'en utiliser plus que 4,8 d'ici 2035, ce qui représente une diminution de la consommation d'essence de plus d'un tiers. Ce même modèle de voiture qui, cette fois, fonctionne à l'électricité, pourrait diminuer sa consommation énergétique de 24kWh/100km à 16kWh/100km d'ici 2035, grâce à des améliorations sur des systèmes auxiliaires tels que le système de refroidissement ou le conditionnement de la batterie. Ceci correspondrait à une diminution des émissions de CO₂ d'environ 30%.

En faisant une évaluation sur le cycle de vie complet d'une voiture électrique, on observe que, du fait de la pollution émise lors de leur processus de fabrication, l'empreinte écologique globale des véhicules électriques est comparable à celle des voitures conventionnelles. En prenant en compte l'intégralité du cycle de vie d'une voiture électrique, 90% des émissions de gaz à effet de serre sont produites lors de la phase de fabrication. Ceci est à comparer avec 25% dans le cas des voitures de taille intermédiaire, pouvant aller jusqu'à 40% sur le long terme.

Pendant l'utilisation d'un véhicule, la pollution environnementale dépend de la consommation du véhicule. Dans le cas d'un véhicule électrique, celle-ci dépend du bouquet énergétique du pays dans lequel il roule. Par rapport à d'autres pays, la Suisse possède un des bouquets énergétiques émettant le moins de CO₂ car il fonctionne majoritairement à l'énergie hydroélectrique et nucléaire. Conduire une voiture électrique qui est rechargée en Suisse produit ainsi 70% de gaz à effet de serre en moins qu'une voiture similaire qui fonctionnerait aux carburants conventionnels. En revanche, si une voiture électrique est rechargée sur un bouquet énergétique équivalent au bouquet moyen européen, dans lequel 52% de l'énergie provient de carburants fossiles, alors cette dernière ne produirait que 20% de moins de gaz à effet de serre qu'une voiture conventionnelle.

Les auteurs estiment qu'en 2025, en moyenne, une voiture sur dix fonctionnera à l'électricité, et qu'en 2035, une voiture produite sur deux sera électrique. Malgré l'augmentation prévue de la circulation routière de 24%, compte tenu des précédentes observations, les émissions de gaz à effet de serre dues au transport devraient diminuer de 10% d'ici 2020 et de 20 à 35% d'ici 2035.

Plus les mesures politiques en matière d'énergie promouvront l'efficacité énergétique des nouvelles voitures, plus le secteur de la mobilité électrique se développera rapidement. Les voitures électriques ont une très bonne efficacité énergétique, et les véhicules de petite ou moyenne taille sont bien adaptés pour fonctionner à l'électricité – grâce aux avancées dans le domaine des batteries, qui faciliteront leur usage dans le futur. Par conséquent, un soutien ciblé aux véhicules électriques ne semble pas être nécessaire.

A l'avenir, l'efficacité énergétique des véhicules s'améliorera plus vite que le volume de transport n'augmentera. Cela signifie donc une baisse du taux d'émissions de CO₂ mais aussi une diminution des recettes publiques provenant des taxes sur les carburants. En effet,

l'électricité qui alimente les véhicules électriques n'est pas davantage taxée que l'électricité qu'on utilise aujourd'hui conventionnellement. Ainsi, la démocratisation des véhicules électriques pourrait s'accompagner d'une volonté politique de passer à un système fiscal prenant en compte les distances parcourues. L'étude du TA-SWISS recommande aussi de réfléchir à cette taxe sur les distances parcourues en prenant en compte l'efficacité énergétique des véhicules. Ceci éviterait le risque qu'un tel système fiscal ralentisse l'entrée sur le marché des véhicules électriques. Pour empêcher certaines conséquences négatives dues à l'apparition de ces véhicules plus écologiques et moins coûteux énergétiquement, une augmentation générale du coût de la mobilité est nécessaire afin de prévenir un accroissement global du volume du transport.

Recommandations essentielles pour une utilisation durable de la mobilité électrique :

- Introduire un nouveau modèle économique viable des transports en prenant en compte la diminution prévisible des taxes sur les carburants conventionnels.
- Les taxes sur la mobilité doivent être pensées en vue de favoriser les véhicules énergétiquement efficaces ainsi qu'une utilisation combinée des moyens de transport publics et privés.
- Certains avantages concernant l'homologation des véhicules doivent être accordés aux véhicules de haute efficacité énergétique. Ceci ne doit pas seulement prendre en compte la consommation énergétique du véhicule pendant son utilisation, mais aussi son empreinte écologique globale sur tout son cycle de vie.
- Afin d'éviter certaines conséquences négatives de l'introduction sur le marché de véhicules écologiques coûtant moins cher en carburant, comme par exemple l'augmentation du volume du transport routier, il est nécessaire d'augmenter de façon globale le coût de la mobilité.
- Des réglementations sur la fabrication et sur le recyclage doivent être instaurées afin de diminuer l'utilisation de matières premières brutes et d'assurer que les matériaux utilisés puissent être recyclés.

Conclusion

Ces deux études du TA-SWISS montrent que les biocarburants et la mobilité électrique pourraient aider à limiter les émissions nocives de CO₂ et à diminuer la dépendance de la Suisse aux énergies fossiles. Cependant, il faut bien prendre en compte les différentes sources énergétiques de ces deux technologies. Les biocarburants ne sont durables que s'ils sont produits à partir de déchets ; de même, la mobilité électrique n'est écologique que si les batteries sont rechargées par une électricité produite par des énergies renouvelables ou n'émettant que peu de CO₂.

Au total, la mobilité électrique semble être plus prometteuse que les biocarburants de seconde génération. Néanmoins, les biocarburants peuvent jouer un rôle complémentaire, en particulier pour les transports de longues distances ou dans le secteur de l'aviation. Ainsi, ces deux technologies doivent être considérées comme complémentaires et nous devons être capables de les promouvoir simultanément, tout en améliorant l'efficacité énergétique des véhicules.

Union Européenne

Introduction

En prenant en compte les caractères spécifiques du STOA (Science and Technology Options Assessment), qui, à la différence des autres membres de l'EPTA, fait des recommandations au parlement européen (PE), sans être rattaché à un pays en particulier, cette contribution se fera à l'échelle européenne. L'objectif est double :

- décrire de façon succincte, l'état d'avancement, au niveau législatif, de l'Union Européenne (UE), ainsi que les principaux défis, dans les quatre secteurs proposés par les organisateurs de la conférence ;
- donner des résultats (solutions politiques envisageables et évaluées) issus d'études sélectionnées récemment réalisées par le STOA, en adéquation avec les thèmes de la conférence.

Innovation et efficacité énergétique dans les bâtiments

Le secteur du bâtiment est considéré comme étant une des principales sources de consommation d'énergie à l'échelle européenne, ainsi que tenu responsable d'une partie majeure des émissions de CO₂ en Europe. Il faut ainsi prendre impérativement en compte le secteur du bâtiment pour réfléchir aux stratégies européennes visant à améliorer l'efficacité énergétique et à combattre le changement climatique. L'Union Européenne a adopté une grande variété de mesures énergétiques, tout en intégrant des clauses d'efficacité énergétique dans certains instruments politiques actuels (telle l'application de critères prenant en compte l'efficacité énergétique dans les procédures de fournitures). En plus de ces initiatives législatives, une série d'instruments financiers ont aussi été adoptés au niveau européen, afin de stimuler la mise en œuvre de ces mesures d'un point de vue social et financier.

Selon la Directive sur l'Efficacité Énergétique (2012/27/EU), les Etats membres de l'UE doivent :

- réhabiliter les principaux bâtiments gouvernementaux pour améliorer leur efficacité énergétique ;
- acheter des bâtiments seulement si une bonne efficacité énergétique a été garantie ;
- mettre en place une stratégie à long-terme pour la réhabilitation des bâtiments à l'échelle nationale.

Depuis 2010, l'objectif espéré d'une amélioration de 20% de l'efficacité énergétique devrait être réalisé, en partie grâce à la mise en œuvre de la Directive pour la Performance Énergétique des Bâtiments (2010/31/EU). Cette directive exige la délivrance d'un certificat de performance énergétique des bâtiments avant leur vente ou leur mise en location au sein de l'UE. La directive prescrit une inspection, ou des mesures équivalentes, pour le chauffage et l'air conditionné. Pour la première fois, un instrument juridique européen de ce genre fixe une date avant laquelle tous bâtiments devront avoir une consommation énergétique quasi nulle (avant le 31 décembre 2020, et le 31 décembre 2018 pour les bâtiments publics). La directive

introduit de plus un seuil minimum d'efficacité énergétique pour les nouveaux bâtiments ainsi que pour les travaux de réhabilitation, ou pour le remplacement de matériaux de construction. Les Etats membres doivent aussi introduire des mesures financières à l'échelle nationale, afin d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. La Commission européenne (CE) a récemment augmenté de 7% l'objectif fixé pour 2030 pour améliorer l'efficacité énergétique, par la Communication de 2014 sur l'Efficacité Energétique.

Même si certains Etats membres, comme la France ou l'Allemagne, mettent en place des prêts préférentiels et des déductions fiscales allant jusqu'à 30% du prix des réhabilitations en efficacité énergétique, pour atteindre les objectifs de la directive, la mise en œuvre globale de la directive n'a pas été satisfaisante. Un rapport d'avancement de la Commission Européenne de 2013 montre que les Etats membres doivent faire davantage d'efforts pour atteindre l'objectif des bâtiments à consommation quasi-nulle. Selon ce même rapport, le taux global d'augmentation de l'efficacité énergétique des bâtiments a été limité à 1,4% par an, avec 64 % de chauffages énergivores et 44 % de fenêtres ayant toujours un simple-vitrage.

Alors que des problèmes majeurs sont identifiés, un lent processus de mise en œuvre se met en place. La crise financière a réduit la capacité de certains Etats membres, ainsi que d'une partie de la société, à bénéficier des investissements d'amélioration de l'efficacité énergétique. De plus, il y a un manque de mesures incitant le consommateur à améliorer la performance énergétique de son logement, qui pourraient stimuler les processus de réhabilitation des bâtiments. L'introduction d'objectifs obligatoires pour la réhabilitation des bâtiments publics, l'introduction d'un critère de dépenses publiques en faveur de l'efficacité énergétique, ainsi que le déploiement d'Entreprises de Services Energétiques comme catalyseurs pour la réhabilitation, sont des mesures qui pourraient renforcer la mise en œuvre de la directive.

Innovation, transports, mobilité

1. L'état d'avancement de la législation européenne

La Directive pour les Systèmes de Transport Intelligents (STI) (2010/40/EU) établit les fondements pour le déploiement coordonné de l'utilisation des STI à travers l'Europe en indiquant quelques actions prioritaires :

- mettre en place dans l'ensemble de l'Europe un système d'information sur les services de transport multimodaux et (b) sur l'état de la circulation routière en temps réel ;
- générer des données et des mesures afin d'informer, si possible, sur la sécurité routière, de façon gratuite ;
- harmoniser le déploiement d'un système d'eCall paneuropéen ;
- mettre en place des services de réservation de places de parking sécurisées pour camions.

La mise en œuvre et la spécification (principalement par des actes d'application) de la Directive STI s'est avérée un succès en général, particulièrement après la toute récente adoption de la Règlement 2015/758 concernant les prescriptions pour l'homologation du déploiement du système embarqué de eCall, fondé sur le service 112. Néanmoins, le déploiement rapide des nouvelles technologies du transport a permis d'identifier de nouvelles priorités, par rapport à celles indiquées en Annexe 1 de la Directive.

Le défi majeur fut l'adoption des spécifications nécessaires - comprenant des prestations fonctionnelles, techniques, organisationnelle ou de services – afin de garantir que les STI sont déployés et utilisés en adéquation avec ces domaines prioritaires (informations en temps réel sur la circulation et les services de transports multimodaux), quand aucune législation de l'UE n'a été prise.

2. Les études pertinentes du STOA :

Face aux carburants fossiles qui se font de plus en plus rares ainsi qu'à l'impact inquiétant des émissions de gaz à effet de serre sur l'environnement, il est devenu crucial d'envisager des alternatives aux carburants actuellement utilisés dans le secteur du transport. En plus de rendre le transport plus efficace et moins nuisible à l'environnement, il est nécessaire que l'utilisateur devienne plus averti et écoresponsable en vue d'un système plus viable à l'avenir.

Les questions du transport sont traitées par le STOA au sein de l'axe prioritaire de réflexion : « l'efficacité énergétique du transport et de la mobilité ». Au cours de ces dernières années, le STOA a réalisé un certain nombre d'études examinant les options envisageables pour parvenir à un système de transport plus éco-efficace, comme par exemple réduire le besoin des Etats membres d'importer du pétrole, et aider l'Europe à faire face au changement climatique.

Les principales conclusions que tirent les études du STOA précédemment citées sont les suivantes :

- La transition vers un système de transport plus éco-efficace et moins nuisible à l'environnement sera bénéfique à la croissance économique. L'étude du STOA « *le futur du transport éco-efficace pour l'Europe* » (2013) a montré que pour optimiser l'éco-efficacité, une approche plus globale et une vision systématique doivent être adoptées. Les choix politiques comprennent des améliorations concernant les carburants et les technologies de l'information, l'attention portée à des facteurs non techniques (tels que le prix de certaines technologies, des questions d'infrastructures, le manque de coordination politique), et l'intérêt pour les préoccupations des utilisateurs finaux, leurs préférences et leurs habitudes.
- Les systèmes de transports pourraient changer radicalement grâce à l'utilisation de nouvelles technologies. Nous comprenons désormais que l'augmentation du transport urbain peut avoir un impact désastreux sur notre santé et sur la qualité de vie des populations urbaines ainsi que sur la qualité de l'environnement. C'est pour cela que l'étude de 2012 « *Les choix technologiques dans le domaine du transport urbain* » propose une stratégie pour encourager le développement et le déploiement de systèmes de transport plus efficaces fondée sur : (i) la réduction de l'utilisation du carbone (les carburants propres, et les technologies de propulsion, l'optimisation du flux des transports) ; (ii) un encouragement des usagers à se tourner vers des modes de transport plus écologiques, et (iii) le développement de « l'accessibilité virtuelle » grâce aux technologies, afin de faire des économies en termes de déplacement (par exemple, la vidéo-conférence).
- Il y a de nombreuses alternatives minimisant les émissions de carbone, par rapport au système de transport européen actuel et la nécessité d'aller dans cette direction fait l'objet d'un consensus. Le rendement relatif de ces alternatives doit être évalué. Dans ce contexte, le STOA a publié en 2014 une étude intitulée « *Le méthanol : un carburant futur fonctionnant à l'hydrogène et au dioxyde de carbone ?* ». Cette étude montre que le défi majeur pour utiliser le méthanol comme carburant est le développement du procédé

chimique pour capter le CO₂ et pour le convertir en méthanol tout en évitant de préférence l'addition d'hydrogène via l'hydrogénation, car cela pourrait augmenter la consommation énergétique.

- Les systèmes d'énergies renouvelables vont progressivement remplacer les carburants fossiles au sein des bouquets énergétiques des Etats membres de l'UE. L'étude du STOA de 2011 intitulée « *la demande future en métal des technologies photovoltaïques et éoliennes* » s'est penchée sur un type de difficulté que devra affronter le déploiement des énergies renouvelables : la nécessité de garantir un approvisionnement adéquat en matières premières utilisées dans les panneaux solaires et les éoliennes, face à l'éventuelle augmentation de la demande. Il est impératif d'éviter tout effet de goulot dans l'approvisionnement des matières premières, qui pourrait ralentir la transition vers une économie bas carbone dans le cadre d'une politique du changement climatique.

L'innovation pour nourrir le monde avec des émissions minimales de gaz à effet de serre

1. L'état d'avancement de la législation européenne

La viabilité sociale et environnementale des biocarburants est devenue une des questions majeures concernant le lien entre la production alimentaire et le changement climatique. La demande croissante à travers le monde pour des biocarburants et bioliquides, ainsi que les incitations européennes pour leurs utilisations, ont conduit l'UE à introduire un critère de viabilité pour les biocarburants et les bioliquides. Il manque cependant un système de certification paneuropéen pour des biocarburants durables. A la place, la législation européenne sur les biocarburants prévoit une mise en oeuvre via des accords volontaires ou nationaux.

La production de biocarburants est directement liée au changement d'utilisation des terres. Leur production peut en effet déplacer la culture et la production alimentaire sur des terres qui n'étaient précédemment pas utilisées pour l'agriculture, telles que les forêts, ce qui entrainerait ainsi une augmentation nette de l'émission de gaz à effet de serre. Pour combattre les changements indirects d'utilisation des terres, il a été proposé, sans succès, de modifier la législation actuelle européenne en termes de biocarburants (principalement avec la Directive pour les Energies Renouvelables et la Directive pour la Qualité des Carburants).

De plus, la stratégie européenne de 2020 pour une meilleure gestion des ressources en Europe, prône une utilisation plus efficace des ressources : il s'agit de « trouver des moyens pour réduire les intrants, minimiser le gaspillage, améliorer la gestion des stocks, changer nos façons de consommer, optimiser les procédés de production, améliorer nos méthodes de gestion et commerciales ainsi que la logistique ». Cependant, aucune approche n'est proposée et aucun objectif n'est fixé pour atteindre ce but.

Le plan d'action pour une meilleure gestion des ressources en Europe est dans la continuité de ce qui précède. Il souligne l'érosion des ressources naturelles européennes du fait de la demande mondiale qui ne cesse d'augmenter, particulièrement dans le domaine de la nourriture. Ce plan d'action prône « d'encourager une production et une consommation plus saine et plus durable » et de réduire de moitié le gaspillage alimentaire en Europe d'ici 2020. Parallèlement, la Commission Européenne a entrepris une étude pour limiter le gaspillage

alimentaire au sein des chaînes logistiques et réduire l'impact de la production et de la consommation alimentaire sur l'environnement.

Le rapport EP2011/2175(INI) sur « comment éviter le gaspillage alimentaire : les stratégies pour une chaîne alimentaire plus efficace en Europe » encourage aussi fortement les actions dans ce domaine. Le rapport demande à la Commission « de mettre en place des mesures pratiques pour réduire de moitié le gaspillage alimentaire d'ici 2025 tout en évitant la production de déchets biologiques ».

2. Les études pertinentes du STOA

a) « Les choix technologiques pour nourrir 10 milliards de personnes » (2013)

Les idées concernant l'avenir du système mondial alimentaire sont remarquablement diverses. L'augmentation de la productivité agricole ne suffira pas à elle seule pour faire face aux défis qui nous attendent. Les Etats membres de l'UE peuvent s'appuyer sur un système alimentaire et agricole productif, des terres relativement robustes, un grand nombre de systèmes agricoles efficaces, de bonnes infrastructures et des services de soutien, une main d'œuvre hautement qualifiée, des capacités d'investissement adéquates et des institutions de recherche de premier ordre. Un vaste projet du STOA, comprenant cinq études et un rapport de synthèse, a permis d'identifier les défis majeurs auxquels sera confrontée l'Europe dans un système agro-alimentaire globalisé et très compétitif et fournit un ensemble d'options politiques pour y faire face. Deux de ces défis, le changement climatique et la perte de la biodiversité, furent le sujet d'une des études.

Selon cette étude, « l'intensification durable » est un élément clé pour augmenter la productivité de terres agricoles et pour faire face au changement climatique. Des changements sur notre façon de consommer (en particulier diminuer la consommation de viande) et un effort supplémentaire, avec le temps, pour réduire le gaspillage alimentaire sont aussi nécessaires. Le choix énoncés dans cette étude comprennent : (i) encourager les pratiques agricoles qui sont respectueuses de l'environnement et de la biodiversité ; (ii) mettre en place des politiques et des régulations pour limiter les pratiques non durables ; (iii) innover dans le domaine de l'agriculture écologique, au service de la biodiversité tout en s'assurant que l'utilisation de nouvelles technologies n'est pas nocive à l'environnement ; (iv) dégager des financements pour soutenir la recherche ; (v) réduire l'impact négatif des pratiques agricoles et des biocarburants importés.

b) « Une gestion durable des ressources naturelles, tout particulièrement en ce qui concerne l'eau et l'agriculture » (2013)

Plus de 40% du territoire européen est utilisé à des fins agricoles. Ainsi, une bonne gestion des terres est particulièrement importante pour préserver nos ressources naturelles, y compris l'eau. Les ressources en eau sont essentielles pour tous les secteurs de l'économie européenne, et particulièrement pour le secteur agricole. A la fois la qualité et la quantité d'eau sont importantes pour une utilisation durable et efficace de l'eau. Le changement climatique va amplifier les pressions exercées sur les ressources hydriques, telles que les sécheresses conséquentes et les inondations de plus en plus fréquentes, qui nuisent aux sols agricoles et qui demandent aux utilisateurs d'eau, aux fermes, aux régions, et aux Etats membres de l'UE de s'adapter.

Selon cette étude, un changement majeur est nécessaire en ce qui concerne l'efficacité dans l'utilisation de l'eau, et cela tous secteurs confondus. Il est aussi nécessaire d'adopter une gestion plus durable de l'eau et des terres, pour atteindre les objectifs de l'UE en termes de conservation des ressources hydriques. Les principaux domaines à améliorer sont : (i) la mise en œuvre efficace et renforcée d'une législation européenne pour protéger les ressources d'eau en Europe ; (ii) une meilleure intégration et une meilleure mise en œuvre des priorités européennes concernant les ressources hydriques, tant à l'échelle sectorielle, que nationale et régionale ; (iii) la réduction du gaspillage d'eau, des économies en eau en gérant efficacement les ressources ; (iv) l'encouragement à l'échelle nationale et régionale aux pratiques agricoles durables, grâce à la PAC, pour éviter l'érosion des terres et la perte en matières organiques ainsi que pour capter le carbone atmosphérique par les sols et lutter contre la rétention d'eau ; (v) un usage efficace des fonds européens pour la gestion d'eau ; et (vi) la communication d'informations ainsi que les outils permettant de meilleures prises de décisions en termes de gestion de l'eau et du sol.

L'implication citoyenne dans l'utilisation des technologies intelligentes

1. L'état d'avancement de la législation européenne

L'utilisation des technologies intelligentes comme moyen de responsabilisation des citoyens est récemment devenue une question législative, à travers de nombreuses initiatives prises à l'échelle de l'UE. Dans le secteur de la consommation énergétique, la responsabilisation apparaît comme évidente en utilisant les réseaux électriques et les compteurs intelligents, qui fournissent des informations en temps réel, permettant ainsi aux consommateurs de mieux gérer leur consommation énergétique.

La Communication sur l'Union Énergétique de 2015 décrit une vision « où les citoyens [...] utilisent les nouvelles technologies pour réduire leurs factures énergétiques, participent plus directement au marché, et où les consommateurs vulnérables sont protégés ». La nécessité de réformer les marchés de l'énergie ainsi que de renforcer le pouvoir des consommateurs, qui devraient avoir accès en permanence à des informations générales et précises, leur permettant de faire des choix éclairés est souligné.

Le programme européen de remplacement d'au moins 80% des compteurs d'électricité par des compteurs intelligents d'ici 2020 ne va pas sans difficultés, en particulier, quand il s'agit de faire face à la nécessité de protéger les données privées ou personnelles des usagers ou à la fracture numérique au sein même de l'Europe.

2. Les études pertinentes du STOA

Le déploiement des réseaux électriques intelligents fait face à de nombreux défis, concernant directement les décideurs politiques et les parties prenantes. L'étude de 2012 du STOA « *réseaux intelligents/réseaux électriques* » s'est intéressée aux questions soulevées, lors du déploiement à grande échelle de réseaux électriques intelligents en Europe, par les décideurs politiques, les industriels, les usagers, les régulateurs ainsi que la société en général.

L'étude révèle, entre autres, que malgré l'augmentation de la demande en électricité, une augmentation du prix de la production décentralisée peut contribuer à donner un avantage aux options hors réseau. L'étude s'intéresse aussi aux questions de la protection de la vie privée et de la sécurité, à certaines craintes pour la santé, ainsi qu'à la nécessité de responsabiliser l'utilisateur final. L'étude considère qu'un changement radical est nécessaire quant aux modèles commerciaux des opérateurs. Ces modèles devraient être fondés sur une distribution équitable des bénéfices entre tous les acteurs. Enfin, l'étude prône un nouveau système de régulation pour encourager l'investissement tout en définissant des règles du jeu équitables dans ce secteur.

Certaines conclusions de l'étude sont décrites plus en détails ci-dessous :

a) L'Innovation et les technologies

Les réseaux électriques intelligents utilisent un nombre important de technologies de pointe, dont la plupart ont déjà démontré leur utilité technique. Il est nécessaire d'innover davantage (surtout dans le domaine du stockage d'énergie), mais le point essentiel pour réussir le déploiement des réseaux intelligents, est la capacité d'intégrer des appareils et des technologies à l'échelle de l'individu, dans un cadre à plusieurs niveaux, impliquant de nombreux acteurs. Bien que les technologies continuent à se développer rapidement, et cela sur les trois domaines des réseaux intelligents (les technologies énergétiques, les applications commerciales et les TIC), les innovations les plus décisives sont attendues dans le domaine des TIC, qui joueront un rôle essentiel pour garantir cette intégration nécessaire.

b) La régulation

La transition vers les réseaux électriques dits intelligents est favorisée par la combinaison entre des intérêts économiques et une faisabilité technique. Le déploiement des réseaux intelligents nécessite un cadre politique stable et prévisible afin de garantir que les ressources nécessaires, investissements inclus, seront mobilisées. Les modèles de régulation utilisés aujourd'hui visent principalement à agir de manière efficace et rentable, et ne sont pas faits pour promouvoir les investissements innovants, des niveaux importants de R&D ainsi que des objectifs ambitieux. Ces modèles permettent plutôt aux entreprises des réseaux d'électricité de garder leurs méthodes traditionnelles, et de reporter leurs investissements dans les technologies nécessaires au déploiement des réseaux intelligents. Les modèles de réglementation doivent donc inciter les entreprises à investir dans les technologies et les applications des réseaux intelligents.

c) L'engagement citoyen

Les utilisateurs sont au cœur de la transition vers les réseaux intelligents, qui verront le jour seulement si ces utilisateurs abandonnent leur mode de consommation passive, et s'impliquent dans leur façon de consommer de l'énergie. Pour cela, plusieurs conditions doivent être réunies, incluant notamment : (i) des économies monétaires crédibles (au moins 10%) ; (ii) le développement de technologies domotiques facilement utilisables ; et (iii) la reprise du contrôle sur sa propre consommation énergétique. Pour que ces réseaux électriques intelligents soient réellement bénéfiques aux utilisateurs, les services d'électricité doivent changer drastiquement leurs habitudes de communication et s'engager dans des relations plus réciproques.

Conclusion

Plusieurs réflexions se dégagent de la lecture de toutes ces contributions.

En premier lieu, on constate que l'innovation a, d'ores et déjà, dans tous les pays, une place relativement importante dans les politiques de réduction à la source des émissions de gaz à effet de serre. Cela montre qu'au niveau des gouvernements, la stratégie consistant à modifier les infrastructures techniques pour mieux maîtriser ces émissions en préservant le niveau de la qualité de vie l'emporte sur les approches drastiques basées sur un retour contraint à la nature. C'est une manière de prendre en compte la nécessité d'opérer un changement durable, ancré dans les infrastructures techniques, plutôt que de s'en remettre aux seules restrictions toujours sujettes à réversibilité.

Ensuite, les solutions technologiques explorées sont partout assez diversifiées. Même si certaines pistes apparaissent vraiment déterminantes, comme le stockage de l'énergie, le mythe d'une invention permettant, à elle seule, d'éliminer radicalement le problème des émissions de gaz à effet de serre s'efface pragmatiquement derrière une stratégie tous azimuts, qui vise à réaliser un ensemble cumulé de gains relativement accessibles. La panoplie explorée est largement commune. Selon ses atouts naturels ou géographiques, en matière de biomasse par exemple, tel ou tel pays met un accent particulier sur l'une ou l'autre des technologies.

Les solutions technologiques ont la plupart du temps fait l'objet d'évaluations par nos homologues de l'EPTA, ce qui a permis de leur conférer un poids adéquat dans les stratégies nationales, reflétant la stratégie définie par l'Union européenne pour les Etats qui en sont membres. Ces évaluations font ressortir l'importance des analyses en cycle de vie, qui ont conduit parfois à remettre en cause la pertinence de certaines pistes, et du moins se sont traduites par un relatif recadrage du soutien public, comme cela a été le cas pour les biocarburants de première génération, ou le solaire photovoltaïque.

Le comportement des utilisateurs est considéré dans tous les pays comme une partie intégrante du fonctionnement des procédés techniques innovants. Par leur attitude plus ou moins compatible, les utilisateurs peuvent en effet assurer la pleine efficacité des procédés, ou au contraire en réduire la portée jusqu'à remettre en cause l'équilibre économique de l'innovation. Le goût du confort fait ainsi peser la menace de l'effet « rebond » sur tous les efforts d'économies d'énergie dans le bâtiment. Les méthodes innovantes de partage des véhicules dépendent de la confiance que les internautes accordent à la gestion des données les concernant par les services en ligne. Les innovations agricoles doivent tenir compte de la peur viscérale du poison.

A côté de ces observations générales (qui confirment le besoin de consacrer explicitement à l'innovation une part suffisante des ressources affectées aux politiques de lutte contre le changement climatique, pour permettre notamment la poursuite parallèle des pistes technologiques prometteuses, la conduite d'évaluations sur le cycle de vie, et la mise au point de mécanismes d'implication des utilisateurs), certains éléments ressortent, qui touchent plus spécifiquement aux quatre domaines abordés par les monographies.

Dans le secteur de l'habitat, responsable en moyenne de 20 % des émissions de gaz à effet de serre, il apparaît clairement qu'il sera plus facile d'aboutir à des résultats concrets rapides pour les nouvelles constructions, et qu'un effort de longue durée doit être engagé pour rénover

les bâtiments anciens, même s'ils ont été construits depuis peu. Dans de nombreux pays, la maison passive et la maison neutre du point de vue énergétique apparaissent comme un objectif réaliste. Les solutions techniques paraissent mûres, mais les contraintes économiques et financières restent à surmonter. L'efficacité des investissements réalisés dépend d'une mesure réelle de la performance énergétique qui n'est pas encore standardisée. L'adhésion des occupants est essentielle à la réussite des efforts de rénovation thermique, puisque celle-ci suppose l'adoption de nouveaux comportements de consommation d'énergie. L'utilisation d'énergies non carbonées pour la production d'électricité, la mise en place de réseaux intelligents (« *smart grids* ») permettant la prise en compte de la production d'énergie dans les bâtiments, la généralisation des compteurs intelligents et des dispositifs de gestion active de l'énergie, sont considérées comme des objectifs à atteindre rapidement.

Dans le secteur des transports, responsable de 20 % des émissions de gaz à effet de serre, l'accent est mis sur la nécessité de réduire la consommation d'essence aux 100 kilomètres, et de parvenir dans un premier temps à la fabrication de véhicules ne consommant que 2 litres aux 100 kilomètres. Un développement rapide de la voiture électrique est envisagé, même s'il reste encore lent, notamment du fait de l'insuffisance des infrastructures de recharge, et de la trop faible autonomie que confèrent aujourd'hui les batteries dans les voitures de grande consommation. La recherche et l'innovation restent nécessaires pour améliorer les batteries, aboutir à de nouvelles motorisations et à de nouveaux carburants moins polluants (tels les biocarburants de deuxième ou troisième génération, l'air comprimé, l'hydrogène, ou le gaz naturel). L'accent est enfin mis sur la nécessité de raisonner en termes de mobilité et d'intermodalité des différents modes de transport. Une adaptation aux nouvelles formes de mobilité (covoiturage, changement d'attitude par rapport à la possession) est absolument nécessaire.

Dans le domaine de l'agriculture, responsable de 10% environ des émissions de gaz à effets de serre, il apparaît que de nouvelles techniques peuvent être utilisées pour diminuer l'empreinte carbone des exploitations agricoles, notamment dans l'élevage. Plusieurs études montrent l'intérêt d'une évolution vers une agriculture de précision, basée sur un traitement informatique à grande échelle de l'immense quantité de données disponibles (*Big Data*), tout en mentionnant les difficultés pour généraliser une telle approche. Des travaux de recherche apparaissent prometteurs pour plusieurs cultures, dont l'apport protéiné est intéressant.

Dans tous ces domaines, l'adhésion des citoyens est fondamentale. Mais celle-ci ne se décrète pas. Améliorer l'information des citoyens est certes nécessaire, mais n'est pas une panacée. De plus en plus, les citoyens souhaitent être véritablement associés aux décisions et n'acceptent plus des politiques élaborées de façon technocratique et imposées d'en haut. Les méthodes de débat démocratique doivent être améliorées, et des processus de décision partagés mis en place. Mais il ne s'agit pas seulement de susciter l'adhésion collective, il faut aussi amener à un changement des comportements quotidiens. L'innovation sociale est alors essentielle, mais elle n'en est qu'à ses débuts.

L'innovation, qui a servi de trame aux réflexions de ce rapport, apparaît ainsi comme une dimension fondamentale de la politique de lutte contre le changement climatique. Elle permet de dépasser les approches malthusiennes aux effets réversibles, et d'apporter des solutions durables, s'intégrant aux infrastructures techniques fondamentales de la société, d'une manière compatible avec le maintien du niveau de vie dans les pays développés, et avec l'amélioration de la qualité de vie dans les pays émergents.

Il faut toutefois que l'innovation ne suscite pas de nouvelles craintes. Elle doit donc intégrer d'avance la préoccupation de son acceptation culturelle, et même de sa bonne prise en main pour les utilisateurs.

L'innovation ne peut pas constituer une variable d'ajustement de la politique de lutte contre le changement climatique. Elle doit être au cœur de ses priorités.

Annexe : Contributeurs au rapport

- **France** : Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques
- **Allemagne** : Büro für Technikfolgen Abschätzung beim Deutschen Bundestag – Office d'Evaluation Technologique du Bundestag Allemand
- **Austriche** : Institut für Technikfolgen-Abschätzung – Institut d'Evaluations Technologiques
- **Catalogne** : Consell Assessor del Parlament sobre Ciència i Tecnologia – Le Conseil du Parlement de Catalogne pour les Sciences et la Technologie
- **Danmark** : Fonden Teknologirådet – Le Conseil Danois pour la Technologie
- **Etats-Unis d'Amérique** : U.S. Government Accountability Office – l'Organisme d'Evaluation et d'Investigation du Congrès des Etats-Unis
- **Finlande** : Tulevaisuusvaliokunta – Le Comité pour le futur du Parlement finlandais
- **Grèce** : Greek Permanent Committee of Technology Assessment – Le Comité Permanent d'Evaluation Technologique du Parlement Grec.
- **Norvège** : Teknologirådet – Le Conseil Norvégien pour la Technologie
- **Les Pays-Bas** : Rathenau Instituut – l'Institut Rathenau
- **Pologne** : Biuro Analiz Sejmowych – Le Bureau pour la Recherche Polonais
- **Royaume-Uni**: Parliamentary Office of Science and Technology – L'Office Parlementaire pour la Science et la Technologie
- **Russie** : Département d'Analyse du Conseil de la Federation de Russie
- **Suède** : Utredningstjänsten – Le Secrétariat pour l'Evaluation et la Recherche du Parlement Suédois
- **Suisse** : Zentrum für Technologiefolgen Abschätzung – Le centre d'évaluation des technologies
- **Union européenne** : STOA – Scientific and Technological Options Assessment – Evaluation des Options Scientifiques et Technologiques