Rédigé le 01 juillet 2017

15 minutes de lecture

Études environnementales

Recherche fondamentale

Climat, environnement et économie circulaire **Captage, stockage et valorisation du CO2**
Analyse de cycle de vie (ACV) **Énergies renouvelables** **Biocarburants et e-fuels** **Mobilité durable**

Économie **Évaluation de l'impact environnemental & ACV**

Numéro spécial **Transition énergétique maîtrisée**

Dans un monde soumis aux **aléas du changement climatique** et qui doit repenser son bouquet énergétique dans le cadre d'une transition énergétique maîtrisée, les décisions des acteurs privés (ménages, entreprises) comme les politiques publiques doivent être évaluées pour en optimiser les conséquences industrielles, économiques (croissance, emplois, etc.) et environnementales.

Pour répondre à ces enjeux, la direction Économie et Veille d'IFP Energies nouvelles développe **une analyse d'informations scientifiques, techniques et économiques, en y associant les dimensions territoriales et temporelles** ainsi que les dynamiques comportementales des usagers. Cette méthodologie lui permet de produire des **scénarios prospectifs** intégrant les **évolutions technologiques et réglementaires environnementales** et de réaliser des **études de marchés, des évaluations technico-économiques** de filières industrielles et des **études d'impact environnemental.** Pour ce faire, des compétences en analyse prospective, en modélisation des filières énergétiques, en évaluation technico-économique des secteurs industriels, ainsi qu'en **analyse de cycle de vie** sont mobilisées.

Les brèves constituant ce numéro illustrent ainsi quelques-unes de ces approches et en démontrent tout le potentiel.

Bonne lecture,

François Kalaydjian, Directeur Économie et Veille

Voir le PDF de la lettre

LES BRÈVES

Coordonné par IFPEN, **le projet SCelecTRA**(1) du programme européen ERANET-Electromobility+[a] **visait à évaluer le potentiel et les conditions de développement de la mobilité électrique en Europe d'ici à 2030**.

Son originalité repose sur :

- **son approche interdisciplinaire** *via* l'élaboration d'un modèle de simulation de demande de transport routier,
- **des développements méthodologiques en analyse de cycle de vie** (ACV),
- et **un modèle TIMES[b] d'optimisation économique**, simulant tous les secteurs énergétiques européens et leurs interactions.

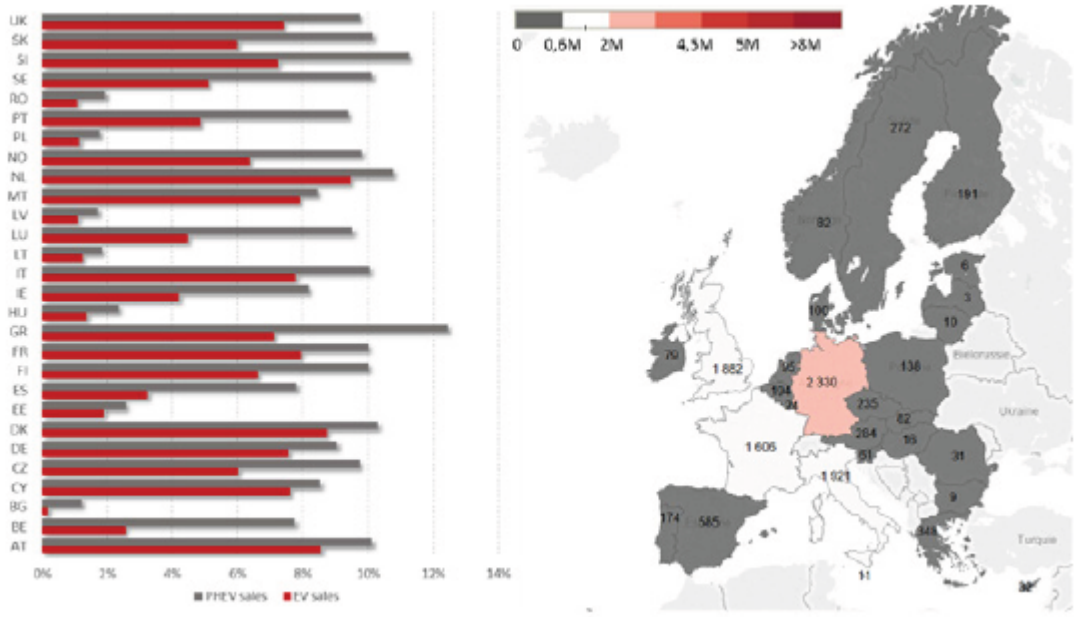
Le projet a évalué **plus de 60 scénarios prospectifs** conduisant à **des parts de marché des véhicules électrifiés + hybrides rechargeables comprises entre 15 et 30 % à l'horizon 2030**. Ceux-ci représentent **l'alternative la plus favorable au véhicule conventionnel** en termes :

- d'impact sur la réduction de la consommation d'énergies fossiles,
- et des émissions de gaz à effet de serre.

Toutefois, **cet impact varie au sein des pays européens** en fonction de l'intensité carbone de leurs mix énergétiques respectifs. De plus, **les résultats ACV soulignent l'importance de l'étape de production des batteries dans leur bilan environnemental.**

Dans tous les cas, **l'émergence d'un marché des véhicules électrifiés ne pourra se produire sans le déploiement d'une importante infrastructure de bornes de recharge**[c]. De plus, le projet montre que **les programmes incitatifs de mise à la casse et d'aide à l'achat de véhicules électrifiés apparaissent plus efficaces qu'une surtaxation des carburants traditionnels**(2) pour promouvoir cette technologie.

Les améliorations en cours **de TIMES** permettront de savoir si la demande additionnelle en électricité pourra être couverte par une moindre consommation dans d'autres secteurs ou nécessitera de nouvelles capacités.



Parts de marché et flottes en UE à 2030.

a- *Programme de recherche européen (FP7) ; Grant N 12-MT-PREDITG01-2-CVS-2*

b- *Les modèles TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) sont des modèles bottom-up d'optimisation dynamique sous contrainte portant sur la modélisation de scénarios énergétiques à moyen terme (2030-2050). Pour plus de renseignements : https://iea-etsap.org*

c- *Entre 100 et 200 bornes pour 1 000 véhicules en 2030.*

---

(1) ***Scenarios for the electrification of transports in Europe* - SCelecTRA Final Report**, Report, EU, SCelecTRA (FP7 ERA-NET project), June 2015
>> http://projet.ifpen.fr

(2) *P. Gastineau, B. Chèze,* ***Fuel price and income elasticities of the road transport demand in Europe: A dynamic panel data analysis****, Transportation Research Part A : Policy and Practice, en révision.*
>> https://editorialexpress.com

Contact scientifique : Benoît Chèze

> NUMÉRO 29 DE SCIENCE@IFPEN

SCelecTRA : prix du meilleur scénario 2030 pour la mobilité électrique

Afin de lutter contre le changement climatique, de nombreux pays ont mis en place des politiques favorisant l'utilisation de biocarburants de 1re génération, induisant la multiplication par 7 de leur production mondiale entre 2000 et 2014.

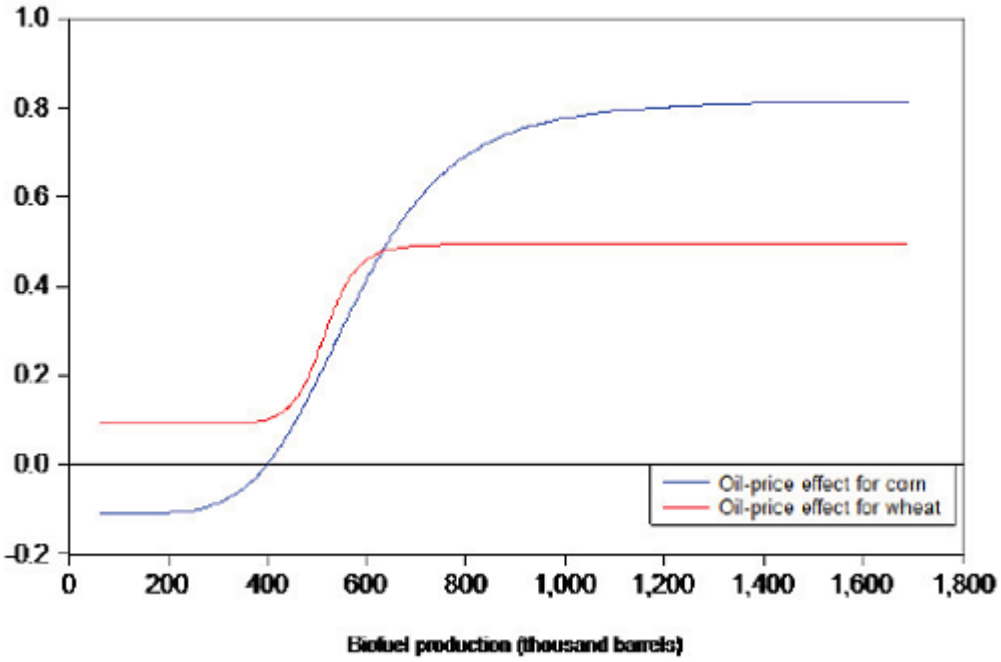
En parallèle, **les hausses de prix des produits agricoles** intervenues depuis 2005 o**nt entretenu le débat** *food versus fuel* **sur l'utilisation des ressources alimentaires pour produire de l'énergie.**

Divers facteurs ont contribué à ces hausses de prix, dont la **forte croissance économique des pays émergents**, entraînant un changement de leurs habitudes alimentaires, ou des **conditions climatiques défavorables** dans les pays producteurs.
La montée des prix des produits pétroliers a pu aussi jouer un rôle à travers une **hausse des coûts de production agricole** et par une **demande accrue en biocarburants**, du fait que leur rapport de prix avec les carburants fossiles s'améliorait.

L'étude des relations entre les marchés agricole et pétrolier montre que leurs prix sont d'autant plus corrélés que la quantité produite de biocarburants est élevée.
Cette corrélation s'est fortement renforcée dans le cas du maïs américain (dont la production journalière de biocarburants oscille entre 1 400 et 1 800 milliers de barils depuis 2014) et cet effet ne se limite pas aux produits agricoles entrant dans la production énergétique mais se diffuse également aux substituts alimentaires tels que le blé(1).

Ces hausses de prix n'ont pas toujours profité aux pays exportateurs de matières premières agricoles en raison, par exemple, du renchérissement de la valeur de leurs importations énergétiques, suite à la hausse des prix du pétrole.
En effet, leur balance courante n'est pas impactée par les variations de prix des produits agricoles lorsque le prix du pétrole est supérieur à 45 $ par baril.
D'autre part, les principales économies importatrices de biens agricoles ont pu maintenir constante la valeur de leurs importations alimentaires en diminuant les taxes à l'importation sur ces biens. **Les hausses de prix des produits agricoles n'ont donc pas impacté la croissance économique de ces pays à travers leur balance courante**(2).

Le prix du pétrole est devenu **un déterminant clé des prix agricoles**, suite au développement des biocarburants de 1re génération, mais une **ambition de la 2e génération**, **issue de résidus agricoles et forestiers**, **sera de surmonter cet effet de contagion**.



Corrélation entre les prix de produits agricoles et du pétrole en fonction de la production journalière de biocarburants, aux États-Unis.

---

(1) A. Paris, ***The Effect of Biofuels on the Link between Oil and Agricultural Commodity Prices: A Smooth Transition Cointegration Approach***, soumis à *International Economics*, 2016.
>> https://ideas.repec.org/p/drm/wpaper/2016-5.html

(2) *G. Gomes, E. Hache, V. Mignon, A. Paris,* ***On the current account–biofuels link in emerging and developing countries: do oil price fluctuations matter?****, soumis à Resource and Energy Economics, 2017.*
>> http://www.cepii.fr/PDF_PUB/wp/2017/wp2017-07.pdf

Contact scientifique : anthony.paris@ifpen.fr

> NUMÉRO 29 DE SCIENCE@IFPEN

Biocarburants : facteurs de contagion entre marchés agricole et pétrolier ?

La mise en place de filières de méthanisation s'inscrit dans une dynamique d'économie circulaire qui permet de rendre simultanément **trois services :**

- traiter des déchets,
- fournir de l'énergie (biogaz[a]),
- et produire des fertilisants (digestats).

Le biogaz peut ensuite être **purifié en biométhane pour être injecté dans le réseau de gaz**.

En complétant l'importation de gaz naturel, **cette production territoriale de biométhane**est **un levier potentiel de la transition énergétique**.

Dans le cadre d'un projet visant à valoriser des effluents d'élevage et des biodéchets produits sur un même territoire, **IFPEN a réalisé des analyses de cycle de vie** (ACV) **pour comparer les impacts environnementaux des services simultanés « traitement de déchets » et « fourniture d'énergie »**, en présence ou en l'absence d'une filière de méthanisation(1) :

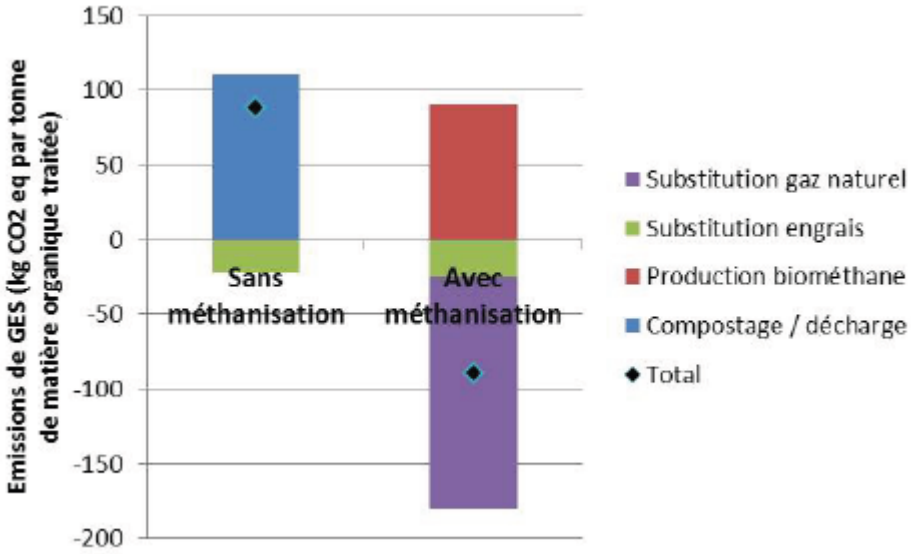
- **sans filière** : stockage et épandage des effluents d'élevage, mise en décharge et/ou compostage des biodéchets, fourniture d'énergie par combustion de gaz naturel ;
- **avec filière** : digestion anaérobie des biodéchets et des effluents, combustion du biométhane produit et valorisation des digestats.

Cette étude souligne que la méthanisation permet, pour une même quantité d'énergie produite, **une réduction importante des gaz à effet de serre** (GES) **émis**, grâce à la combinaison des services rendus : environ 180 kg d'équivalent CO_2[b] en moins par tonne de déchets, dont la moitié due à leur traitement et l'autre moitié à la fourniture d'énergie.

Par ailleurs, **la valorisation du CO_2** issu de la purification du biogaz **est possible par un procédé de méthanation**[c].

L'analyse du couplage des deux procédés souligne l'**impact sur le bilan global** de la composition du mix électrique utilisé pour produire, par électrolyse de l'eau, l'hydrogène nécessaire(2).

Cette approche territoriale de la méthanisation serait à comparer avec la digestion anaérobie de cultures dédiées (pratiquée en Allemagne) qui, elle, n'assure pas le service « traitement des déchets ».



Émissions de GES dans les scénarios « sans » et
« avec » filières de méthanisation pour le traitement d'une tonne de matière organique.

a- Le biogaz est constitué de méthane (CH_4), de CO_2 et d'impuretés.

b- Les émissions de GES ayant pour unité commune celle du CO_2 , on parle en équivalent CO_2 pour l'ensemble d'entre eux.

c- *Power to Methane:* procédé industriel de production de méthane par conversion catalytique du dihydrogène (H_2) et du monoxyde de carbone (CO) ou du dioxyde de carbone (CO_2).

---

(1) A. Bouter, ***Life Cycle Assessment of territorial biogas production by anaerobic digestion of local wastes*** - SETAC Europe 25th Annual Meeting 2015 (Ref. MO400: page 235 in the Abstract Book)
>> www.setac.org/resource/resmgr/Abstract_Books/SETAC-Barcelona-abstracts.pdf

(2) *P. Collet, E. Flottes, A. Favre, L. Raynal, H. Pierre, S. Capela, C. Peregrina,* ***Techno-economic and Life Cycle Assessment of methane production via biogas upgrading and power to gas technology*** *- Applied Energy, 2016, 192, 282-295.*
>> *DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.08.181*

Contacts scientifiques : anne.bouter@ifpen.fr - pierre.collet@ifpen.fr

> NUMÉRO 29 DE SCIENCE@IFPEN

Production de biométhane : un levier pour l'économie circulaire !

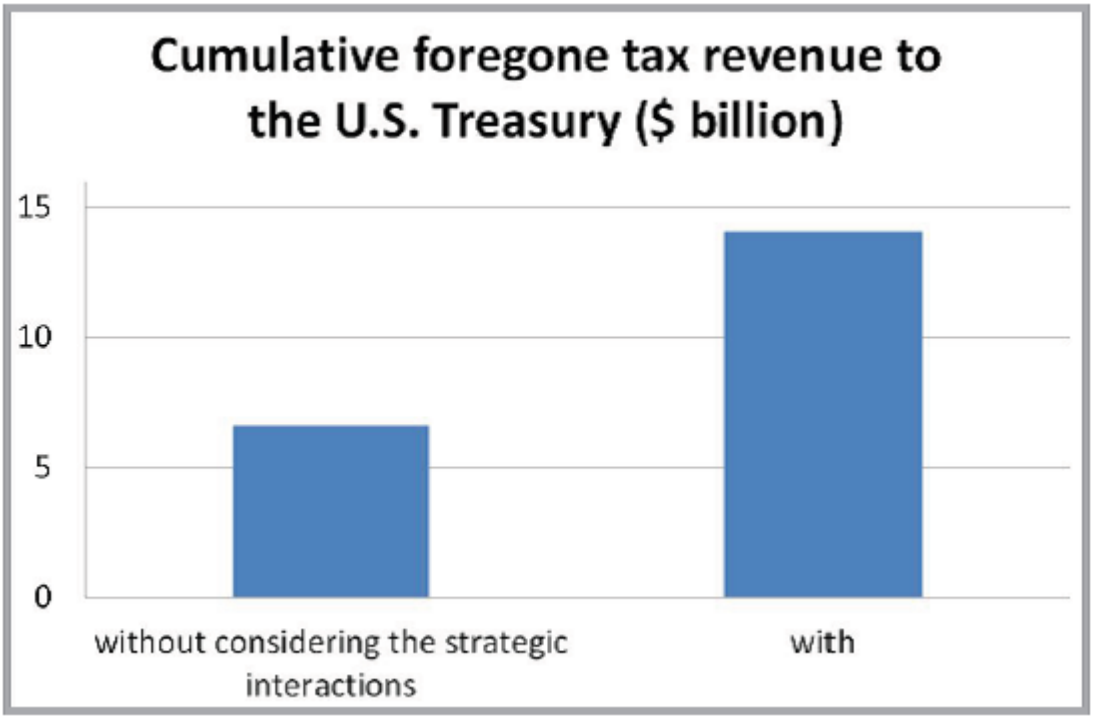
Le déploiement massif du captage et stockage du CO_2 (CSC), **enjeu majeur pour la lutte contre le changement climatique**, **nécessite l'adoption conjointe de ces technologies par des acteurs indépendants** : émetteurs, transporteurs, stockeurs, décideurs politiques.

Dans une économie libéralisée, il faut **faire émerger les conditions d'une coordination de ces décisions individuelles**. La théorie des jeux, dont l'objet est précisément d'**étudier les interactions stratégiques entre acteurs indépendants**, a guidé différents travaux récemment menés à IFP School.

Les premiers de ces travaux ont montré que coordonner les décisions des émetteurs et d'un opérateur de pipeline CO_2 s'apparentait à la constitution d'un club d'émetteurs partageant une infrastructure commune(1). En raison de l'hétérogénéité des acteurs, le montant de la taxe à l'émission de CO_2, requis pour l'existence du club, doit être supérieur au coût moyen de captage, transport et stockage. De plus, l'obligation faite au transporteur d'utiliser une structure tarifaire non discriminante peut renchérir ce coût minimum, jusqu'à remettre en cause la faisabilité d'un projet CSC. Ces résultats **questionnent** donc **la régulation tarifaire appliquée aux pipelines de CO_2**.

Les seconds travaux se sont intéressés aux politiques incitatives de type *carotte et bâton*[a] qui pourraient être proposées pour faire émerger cette technologie(2). La *carotte* prend alors la forme d'incitants fiscaux[b] pour récompenser les émetteurs installant le CSC sans attendre la dernière minute ; leur décision permettant d'abaisser le coût du CSC *via* des effets d'apprentissage. Sur un cas américain, il a ainsi été montré qu'il fallait impérativement **prendre en compte les interactions stratégiques entre émetteurs car, sans cela, le coût des incitants fiscaux requis est notoirement sous-estimé**.

Ces approches novatrices permettent de **mieux comprendre l'économie du CSC et d'adapter les politiques publiques** qui accompagneront son essor.



a- *Par exemple : l'obligation faite aux centrales thermiques de vérifier, à un horizon futur annoncé, un seuil contraignant d'émissions par kWh qui impose le recours au captage.*

b- *Par exemple : des subventions à l'investissement et aux opérations.*

---

(1) O. Massol, S. Tchung-Ming, A. Banal-Estañol, (2015), ***Joining the CCS club! The economics of CO_2 pipeline projects*** - European Journal of Operational Research, 247(1), 259-275, ISSN 0377-2217
>> DOI: 10.1016/j.ejor.2015.05.034

(2) *A. Banal-Estañol, J. Eckhause, O. Massol, (2016).* ***Incentives for early adoption of carbon capture technology: Further considerations from a European perspective*** *- Energy Policy, 90, 246-252, ISSN 0301-4215.*
>> DOI: 10.1016/j.enpol.2015.12.006

Contacts scientifiques : Olivier MASSOL

> NUMÉRO 29 DE SCIENCE@IFPEN

Bienvenue au club ! Comprendre et dépasser les obstacles au déploiement des technologies CSC

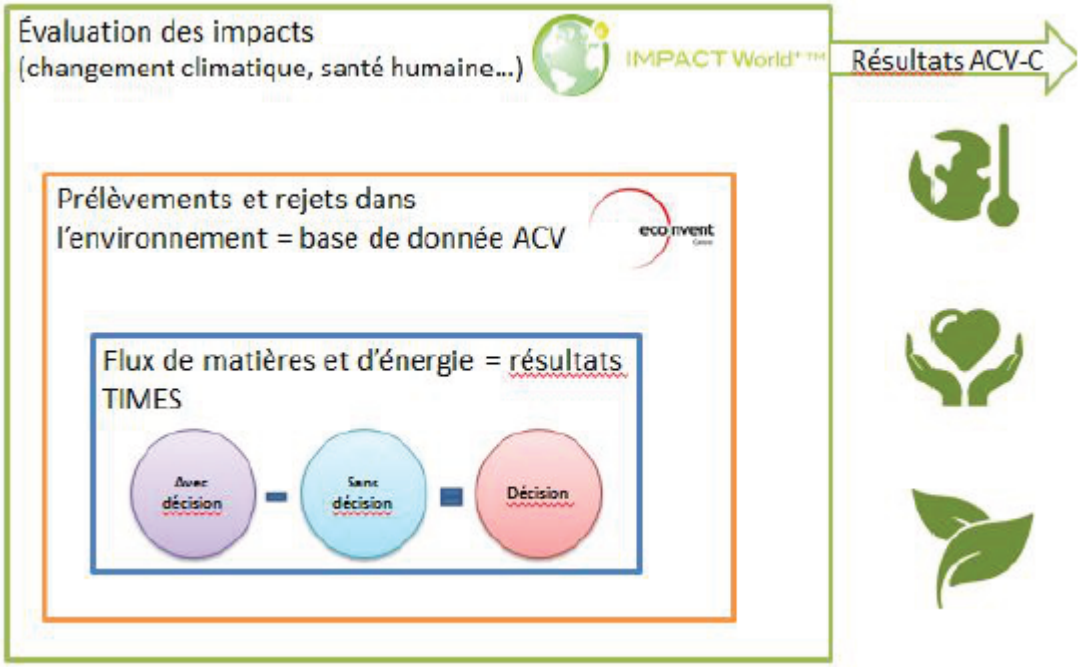
L’analyse du cycle de vie (ACV) est **un outil d’évaluation des impacts environnementaux le plus souvent statique, linéaire et limité** à la description des seuls flux physiques lorsqu’il s’agit d’évaluer les impacts associés à une filière ou un produit.

La pertinence de la méthode pour quantifier les conséquences environnementales de politiques publiques à un horizon de temps donné **s’est posée à l’occasion de la loi relative à la transition énergétique et pour la croissance verte** (LTECV), laquelle doit **modifier le mix énergétique français**.

Une méthode a donc été développée pour anticiper les impacts potentiels de l’un des objectifs affichés : l’introduction de 15 % d’énergies renouvelables dans le secteur des transports en 2030.

Cette approche, dite **ACV conséquentielle**, met en œuvre l’outil de **modélisation prospective du secteur énergétique français MIRET** (modèle TIMES***a*** d’IFPEN), **couplé à une approche ACV**(1).

Le modèle d’optimisation économique **TIMES-MIRET** permet de mettre en évidence les modifications de flux énergétiques***b*** induits par des trajectoires de demandes en mobilité exogènes et sous contrainte d’objectifs tels que ceux de la LTECV.



Intégration des résultats de modélisation TIMES dans l’approche ACV.

Le différentiel de flux de matières et d’énergie, avec et sans objectif LTECV, est ensuite traduit, *via* **la base de données ACV EcoInvent**, en un différentiel de prélèvements et/ou rejets de ressources et/ou de polluants dans l’environnement. Les impacts associés à ces prélèvements et rejets sont enfin évalués par **la méthode *Impact World +***, en termes de conséquences sur la santé humaine, sur le changement climatique ou encore sur la qualité des écosystèmes.

L'**intégration d'une approche spatiale** pour **mieux modéliser les impacts environnementaux à une échelle locale** (ex : impacts sur l'eau, sur les sols, etc.) **se poursuit au travers d'une thèse en codirection Inra-CIRAIG**(2). Celle-ci vise notamment à **déterminer comment la variabilité géographique de ces impacts est influencée par celle des données issues des modèles TIMES-MIRET et ACV, sous l'effet des disparités de prix d'une région à l'autre**.

a- *Voir article sur projet SCelecTRA.*

b- *Exemples : mobilisation de ressources, activités des secteurs du raffinage, des biocarburants, nouveaux besoins en électricité ou en gaz, ainsi que l'évolution des parcs automobiles et autres moyens de transport.*

---

(1) F. Menten, S. Tchung-Ming, D. Lorne , F. Bouvart. ***Lessons from the use of a long-term energy model for consequential life cycle assessment: The BTL case*** - Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 43, 942–960
>> DOI : 10.1016/j.rser.2014.11.072

(2) *L. Patouillard. Thèse de doctorat (2013-2017).* ***Régionalisation en ACV conséquentielle : cas des filières alternatives pour le transport en France en 2030****.*

Contacts scientifiques : Daphné Lorne - pierre.collet@ifpen.fr

> NUMÉRO 29 DE SCIENCE@IFPEN

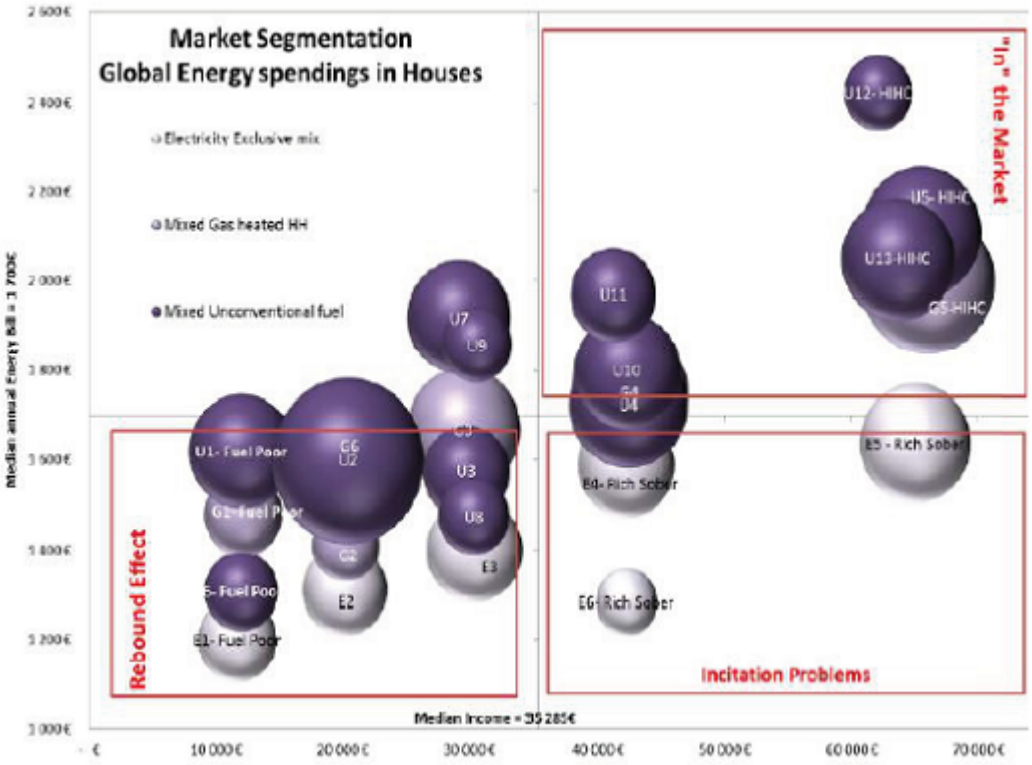
ACV conséquentielle et évaluation des impacts de la loi relative à la transition énergétique

La transition énergétique nationale dépendra en grande partie de l'évolution de la consommation d'énergie des ménages.

En 2015, le secteur résidentiel était à lui seul responsable de 30 % de la consommation finale énergétique et de 25 % des émissions de CO_2 de la France[a]. Or, **le poids de ces dépenses énergétiques est fortement lié à :**

- **la nature du logement (individuel ou collectif),**
- **sa performance énergétique**,
- **son mode de chauffage**,
- **sa localisation géographique**,
- mais également **aux conditions d'obtention des crédits bancaires pour les travaux de rénovation énergétique**.

Dans un tel contexte, **IFPEN s'est intéressé au comportement de consommation énergétique des ménages entre 1999 et 2013**, fruit d'un arbitrage entre la qualité et le coût des services énergétiques disponibles dans les logements et d'une contrainte budgétaire globale (part du budget allouée aux dépenses en énergie). **L'étude** de ces différents facteurs, avec une méthode empruntée aux sciences des organisations et du marketing stratégique[b], **a permis de réaliser une typologie des ménages, utile aux futures politiques d'aide en la matière**(1).



Représentation des ménages français selon un axe revenu/facture énergétique.

Selon cette typologie, **la précarité énergétique traduit avant tout une précarité financière**, les ménages concernés appartenant tous aux deux premiers déciles de revenu.

Au-delà de ce constat, **l'étude montre que les ménages en appartement**, **grands oubliés du marché de l'efficacité énergétique**, sont **surreprésentés** non seulement **parmi les précaires énergétiques mais également parmi les ménages à hauts revenus et haute consommation énergétique**.

Ces résultats permettront de cibler des politiques d'aide à la rénovation énergétique des logements, soit publiques (crédit d'impôts, écoprêt, etc.) soit privées (création d'outils financiers), **adaptées aux différents groupes de ménages identifiés**(2).

a- *Service de l'observation et des statistiques (SOeS) du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2016.*

b- *G.V. Kass, 1980. Chi-Square Automatic Interaction Detection - CHAID. Journal of Applied Statistics.*

---

(1) E. Hache, D. Leboullenger, V. Mignon, ***Beyond average energy consumption in the French residential housing market: A household classification approach*** - Energy Policy, 2017 >> DOI:10.1016/j.enpol.2017.04.038

(2) *E. Hache, D. Leboullenger,* ***Y a-t-il un banquier pour sauver le climat ?*** *- La Revue de l'Énergie, 2016, 633, 391-398*
>> http://www.ophrys.fr/fr/catalogue-detail/2220/revue-de-l-energie-la-n-633-septembre-octobre-2016.html

---

Contact scientifique : Emmanuel Hache

> NUMÉRO 29 DE SCIENCE@IFPEN

Rénovation des logements : comment accompagner la transition énergétique des ménages français ?

Numéro 29 de Science@ifpen - Économie et évaluation environnementale
01 juillet 2017

Lien vers la page web :