



HAL
open science

New representations of energy consumption CLIP, Les cahiers du Club d'Ingénierie Prospective Énergie et Environnement, number 22, October 2013

Prabodh Pourouchottamin, Carine Barbier, Lucas Chancel, Michel Colombier

► To cite this version:

Prabodh Pourouchottamin, Carine Barbier, Lucas Chancel, Michel Colombier. New representations of energy consumption CLIP, Les cahiers du Club d'Ingénierie Prospective Énergie et Environnement, number 22, October 2013. IDDRI, 22, 2013, Les Cahiers du CLIP. halshs-01822558

HAL Id: halshs-01822558

<https://shs.hal.science/halshs-01822558>

Submitted on 9 Jul 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



n° 22
avril 2013

nouvelles représentations des consommations d'énergie

*Prabodh Pourouchottamin
Carine Barbier
Lucas Chancel
Michel Colombier*



**Les cahiers du Club d'Ingénierie
Prospective Énergie et Environnement**

CLIP

Le Club d'Ingénierie Prospective Énergie et Environnement

Liste des membres :

ADEME
Agence de l'Environnement et de la
Maîtrise de l'Énergie

BRGM
Bureau de Recherches Géologiques
et Minières

CIRAD
Centre de Coopération
Internationale en Recherche
Agronomique pour le
Développement

CNRS
Centre National de la Recherche
Scientifique

CSTB
Centre Scientifique et Technique du
Bâtiment

CITEPA
Centre Interprofessionnel
Technique d'Études de la Pollution
Atmosphérique

CEA
Commissariat à l'Énergie Atomique

EDF
Électricité de France

GDF SUEZ
Gaz de France, Suez Environnement

GIE R.E. PSA RENAULT

IFP
Institut Français du Pétrole

INERIS
Institut National de l'Environnement
Industriel et des Risques

INRA
Institut National de la Recherche
Agronomique

INRETS
Institut National de la Recherche sur
les Transports et leur Sécurité

ONF
Office National des Forêts

SNCF
Société Nationale des Chemins de
Fer Français

SNET
Société Nationale d'Électricité et de
Thermique

Des responsables des ministères
chargés de l'Environnement, de
l'Industrie, de la Recherche, du
Plan et du Logement font partie
du Comité de Coordination et
d'Orientation Scientifique

**L'iddri assure l'animation du CLIP
et l'édition des Cahiers du CLIP**

nouvelles représentations des consommations d'énergie

Éditorial

Introduction

Première partie

Emprise énergétique, énergie directe et énergie grise

Qu'est-ce que l'emprise énergétique ?	9
L'énergie directe	11
Le poids et l'origine de l'énergie grise	15
Conclusion	19

Deuxième partie

L'évaluation de l'emprise énergétique

Élaboration de l'emprise énergétique	21
Emprise énergétique mondiale	26
Emprise énergétique de la France	31

Troisième partie

Emprise énergétique selon le niveau de vie

Emprise énergétique des ménages par quintile de revenu	40
Structure de l'emprise énergétique par poste et par quintile de revenu	43
Effet prix et effet quantité	48
Vers une analyse longitudinale de l'emprise énergétique par niveau de vie	51

Conclusion

De nouvelles représentations des consommations énergétiques : pourquoi et comment ?

Implications pour le débat public	54
Suites à donner	57

Bibliographie

Annexes

Directeur de publication : Michel COLOMBIER
Éditeurs : Pierre BARTHÉLEMY - Isabelle BIAGIOTTI
Maquette : Ivan PHARABOD - phiLabs
Contact : Pierre BARTHÉLEMY
T/+33 (0)1 45 49 76 66 - pierre.barthelemy@iddri.org

Iddri - 27, rue Saint-Guillaume - 75337 Paris Cedex 07

Auteurs

Prabodh POUROUCHOTTAMIN, EDF R&D,
Carine BARBIER, CIRED, UMR 8568,
Lucas CHANCEL, Iddri,
Michel COLOMBIER, Iddri.

Soutien

Ce travail a bénéficié d'un soutien de l'Ademe (décision de financement 1110C0040).



Éditorial

Au moment des chocs pétroliers, les économies industrialisées ont pris conscience soudainement qu'elles comptaient peu, et mal, l'énergie qui était au centre de leur modèle de croissance depuis près d'un siècle. Pour faire face aux conséquences économiques de ces chocs, elles ont compris la nécessité d'être plus actives dans des politiques de maîtrise de leur demande, comme dans leurs stratégies d'approvisionnement en cherchant à diversifier les origines ou à développer des sources domestiques. Mais pour bien agir, il est utile de savoir compter : comprendre combien d'énergie est consommée pour quel usage, quelles sources sont mobilisées pour produire nos carburants, nos combustibles et notre électricité.

Nous avons depuis développé et raffiné la connaissance autour d'un format de bilan énergétique homogène, internationalement reconnu, qui distingue 1) d'une part l'énergie finale qu'utilise et paie le consommateur industriel, entrepreneur, collectivité publique ou ménage, etc. 2) d'autre part l'énergie primaire qui est extraite du sous sol, captée dans la nature... ou importée de l'étranger pour être transformée en énergie finale : le pétrole devient essence et fuel, le charbon et le vent sont transformés en électricité. C'est sur la base de cette représentation que sont conçues, depuis 30 ans, les politiques de maîtrise de l'énergie : on identifie les secteurs consommateurs d'énergie et, au sein de ces secteurs, les usages ; on se demande quelles technologies, quelles organisations nouvelles pourraient permettre de réduire la consommation pour produire le même service (déplacement, chauffage, pompage...) ; et on conçoit des instruments visant à inciter le consommateur d'énergie à prendre les bonnes décisions.

Dans le même temps, les questions environnementales se sont inscrites à l'agenda des politiques publiques et des citoyens. Du côté des politiques publiques, on a souvent privilégié une approche des milieux et des rejets ; mais surtout, dans un monde où le consommateur occupe une place de plus en plus importante dans la représentation collective des enjeux comme dans la recherche de solutions, on a cherché à tracer les conséquences environnementales de nos actes de consommation pour en faire des outils de conscientisation et parfois d'action : c'est ainsi que sont nées les multiples initiatives d'ACV, de labels (sur le bois, les peintures etc.) et de bilans attachés aux produits et services que nous consommons. La question de l'effet de serre n'a pas échappé à cette tendance, et le « contenu carbone » est maintenant largement utilisé comme critère de différenciation et comme guide d'action. Ces représentations sont aujourd'hui reprises pas les économistes, les sociologues et les analystes pour étudier les mutations de la société ou évaluer les disparités entre catégories.

Le numéro du CLIP précédent (« Modes de vie et empreinte carbone », *Cahiers du CLIP* n°21, février 2013) a clairement mis en évidence que la réflexion prospective sur les besoins énergétiques des sociétés ne pouvait se limiter à une vision d'efficacité des consommations directes (voiture sobre, maison bien chauffée, cimenterie efficace ou avion économe), mais devait aussi s'intéresser aux déterminants de nos modes de consommation et en comprendre le lien avec la demande finale en énergie. Là encore, il faut de nouveaux outils pour penser cette question et l'approche par la consommation ouvre de nouveaux horizons, complémentaires et non substituables,

aux approches traditionnelles du bilan. Mais pour un énergéticien, l'approche par les émissions de CO₂, devenue peu à peu la norme, est très insatisfaisante : les écarts que l'on peut trouver d'un consommateur à l'autre, d'un pays à l'autre, d'un produit ou service à l'autre, sont bien trop marqués par quelques spécificités (comme l'origine de l'électricité) pour fournir une métrique robuste des questions que nous cherchons à étudier. Cet indicateur s'avère peu fiable pour comprendre le métabolisme énergétique de nos sociétés et les analyses que l'on peut en tirer sont souvent superficielles. Nous avons donc ici cherché à hybrider les deux dimensions : compter l'énergie, mais dans une approche orientée sur la consommation de biens et services, c'est-à-dire sur les actes du quotidien des ménages. Cette approche nous invite à nous intéresser à la fois au contenu énergétique de nos consommations et à la dimension sociale de la transition énergétique, actuellement en débat en France. L'exercice est innovant, encore bien imparfait, mais les potentialités sont importantes et les premiers résultats passionnants.

Michel Colombier, Directeur du CLIP

Introduction

À la suite de la conférence environnementale (septembre 2012), les représentants des corps de la société française se sont engagés en novembre 2012 dans un débat national sur la transition énergétique. Ce débat doit aboutir à une loi de programmation qui définira les grandes orientations de la politique énergétique française et sélectionnera les différents outils à mettre en oeuvre pour y parvenir.

L'avenir énergétique du pays a déjà fait l'objet de débats nationaux dans le passé. L'élément nouveau aujourd'hui pourrait être la place donnée à la demande en énergie et, par conséquent, aux besoins en services énergétiques des usagers. Ce retournement de la question énergétique (de l'offre à la demande, de la production à la consommation) place le consommateur final et le citoyen au coeur du débat. La représentation de l'énergie qui prévaut actuellement se prête néanmoins mal à une telle discussion. Notre représentation collective du système énergétique est en effet fondée sur les bilans énergétiques nationaux, présentant d'une part la production énergétique par source d'énergie et d'autre part la demande d'énergie finale des secteurs économiques (agriculture, industrie, transport, tertiaire, résidentiel). La logique qui prévaut est une logique d'offre d'énergie pour satisfaire la demande des ménages et des entreprises. L'efficacité énergétique, c'est-à-dire le rapport entre le besoin de service énergétique (confort thermique, mobilité, force motrice fixe, etc.) et la demande d'énergie, est dans ce cadre assez difficile à aborder. Au-delà, la discussion sur les niveaux de besoins eux-mêmes est totalement absente, considérant que tous les besoins sont forcément légitimes et doivent être satisfaits. Inverser cette représentation de la question énergétique par une approche basée sur la consommation

permettrait d'interroger nos modes de consommation et de production dans un contexte de ressources naturelles finies. Elle permet également au citoyen de comprendre l'implication énergétique de l'ensemble de ses gestes.

Il s'agit d'abord de poser la question du contenu énergétique des modes de consommation. En effet, la consommation d'énergie induite par la demande des ménages ne se limite pas à celle comptabilisée sur les factures de chauffage, d'électricité et de carburant. Elle comprend aussi celle associée à la production des biens et services mobilisés pour chaque acte de la vie quotidienne : la page sur laquelle ce texte est imprimé ou l'écran d'ordinateur à partir duquel il a été rédigé. Les matériaux pour fabriquer ce livre ou cet écran ont été produits au-delà des frontières nationales. Cette énergie « invisible » est pleinement intégrée au commerce international ; elle traverse les frontières et les secteurs industriels. Elle passe de matériau en objet, de pays en pays. Aborder le débat sur l'énergie par une approche sur la consommation, c'est se poser la question de cette énergie que le consommateur ne voit pas.

Pour mieux « voir » cette réalité physique, il est nécessaire de combiner des approches et des visions de différentes disciplines. Les énergéticiens seuls ne peuvent pas relever le défi proposé : il faut faire intervenir des économistes et des sociologues. Or jusqu'à présent, les chercheurs ont avancé chacun dans leur coin sur ces questions. Aux énergéticiens le mix énergétique ; aux économistes les questions macroéconomiques et de commerce international ; aux sociologues les questions microscopiques sur les déterminants des consommations et la réalité sociale qu'elles représentent.

L'exercice présenté dans cet ouvrage ouvre la voie à une rencontre de trois champs d'analyse : l'énergie, le « micro » et le « macro ». Il s'agit de réorganiser notre représentation sociale de l'énergie en intégrant le commerce international, en utilisant des données agrégées compatibles avec la comptabilité nationale et en allant au-delà des valeurs moyennes. Le phénomène décrit ici est complexe : les données et les analyses que nous présentons sont exploratoires et non définitives. Elles visent à informer sur les ordres de grandeur et sur leur interprétation, à proposer de nouvelles réflexions et à susciter de nouvelles recherches. Il s'agit donc bien ici d'un exemple de la « science en train de se faire »¹.

Ce travail de recomposition et de réorganisation de l'approche a été amorcé dans l'étude des émissions de gaz à effet de serre dans plusieurs pays. Une importante littérature est en train de se développer sur l'empreinte carbone des individus. Les études les plus récentes ne prennent ainsi pas seulement en compte les émissions directes, elles intègrent également les émissions liées à la consommation. « L'empreinte carbone » permet de mesurer l'impact réel de nos actes de consommation sur les concentrations en gaz à effet de serre. Cet indicateur nous permet de prendre conscience de l'effort à fournir pour atteindre les objectifs de réduction des émissions. Mais les études sur les émissions ne nous permettent pas d'avoir une vision macroscopique des forces d'inertie pesant sur l'organisation de notre système énergétique.

La consommation d'énergie, en ce qu'elle intervient en amont de la chaîne d'impacts, contient davantage d'informations pour identifier les leviers d'action permettant d'agir sur l'inertie des systèmes énergétiques, économiques et politiques. L'empreinte carbone est le résultat de deux composantes : les usages et le contenu carbone du système énergétique. L'empreinte carbone seule ne nous permet donc pas de distinguer les variations qui relèvent de l'usage de ce qui relève de

l'efficacité carbone du mix énergétique. Nous proposons donc ici un « retour » à l'énergie. Mais cette nouvelle représentation des consommations d'énergie ne peut se limiter, comme c'est souvent le cas, à un raisonnement sur la base de valeurs moyennes. Les débats publics en cours sur la justice fiscale, la tarification progressive, les prix du pétrole et du gaz et, il y a trois ans, la taxe carbone ont montré à quel point l'enjeu de l'équité est central pour la définition et la mise en place des politiques publiques de transition énergétique. Traiter cette dimension de l'équité dans le débat sur l'énergie requiert des ordres de grandeur adaptés. Il s'agit donc de se demander comment les consommations d'énergie intégrées aux actes de consommation varient selon les différentes catégories de revenu, de chercher quels facteurs expliquent ces différences et quelles en sont les implications dans différents scénarios de transition énergétique. Le travail présenté dans les chapitres qui suivent est le fruit d'une collaboration entre EDF-Recherche, le CIRED et l'Iddri, dans le cadre du CLIP.

1 Cf. Bruno Latour, *La vie de laboratoire : la production des faits scientifiques*, La Découverte, 1988.

Emprise énergétique, énergie directe et énergie grise

Qu'est-ce que l'emprise énergétique ?

La satisfaction des besoins des ménages – s'alimenter, se loger, se déplacer, se divertir, se soigner, etc. – requiert une consommation directe d'énergie par les ménages (chauffage, électricité, carburant), mais aussi, indirectement, une consommation d'énergie pour la production et la mise à disposition des biens et services nécessaires à la satisfaction de ces besoins.

L'approche de l'énergie par la consommation consiste à évaluer l'**emprise énergétique** des ménages, constituée par le total des énergies nécessaires à la satisfaction des besoins finaux des ménages. L'emprise énergétique lie ainsi les dépenses des ménages en biens et services à l'ensemble du besoin énergétique qu'elles créent – aussi appelé bilan énergétique intégré. La chaîne de production des biens et services n'est pas cantonnée au territoire français : une partie des biens et l'énergie qu'ils contiennent est importée. L'emprise énergétique ne se limite donc pas aux frontières nationales et intègre les processus de production dans le reste du monde.

Cette emprise se divise en deux catégories : l'**énergie directe** et l'**énergie grise**. L'énergie directe désigne l'énergie visible aux yeux des consommateurs, en ce qu'elle est quantifiée sur leurs factures de carburant pour véhicules individuels, d'électricité, de gaz et autres combustibles pour le logement. L'énergie directe correspond donc à l'énergie finale consommée par les ménages.

L'**énergie grise** est l'énergie nécessaire pour permettre la mise à disposition du bien ou de

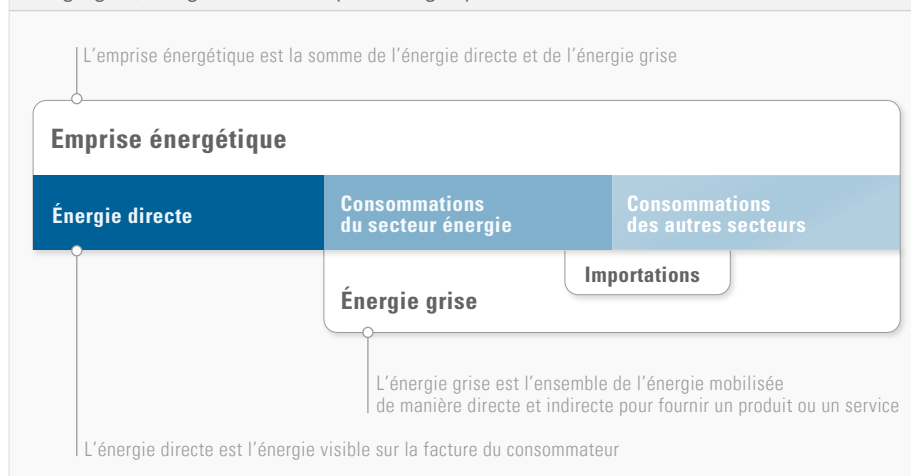
l'offre de service au consommateur final, en amont de l'usage : l'énergie nécessaire à la fabrication et l'acheminement à la maison des équipements et aliments, à la construction de la maison, etc. Elle est appelée aussi contenu énergétique des biens et services. Cette énergie grise doit elle-même être décomposée selon son utilisation. L'**énergie grise des secteurs non-énergétiques** désigne ainsi celle utilisée par les acteurs économiques en France et dans le monde pour imaginer, tester, produire, transporter des biens et des services *in fine* consommés par les ménages. L'**énergie grise de l'énergie directe** correspond quant à elle à la part d'énergie dépensée en amont pour élaborer le vecteur final (i.e. le « type » d'énergie) à partir des ressources naturelles et le mettre à disposition du consommateur : extraction, conversion, transport, fabrication des centrales et infrastructures, etc. Dans cette étude, nous parlerons dans le premier cas de l'énergie grise d'un bien ou service, et dans le second cas du gris de l'énergie directe.

Le gris de l'énergie directe n'est autre que la différence entre l'énergie finale et l'énergie primaire, indicateurs que l'on retrouve traditionnellement dans la littérature, à laquelle on ajoute la consommation d'énergie propre du « secteur » énergétique, c'est-à-dire l'énergie nécessaire à construire et faire fonctionner les installations et infrastructures du secteur. L'**énergie primaire** est l'énergie disponible dans la nature à l'état « brut », c'est-à-dire

avant toute transformation par technologie humaine. Cette énergie se situe donc en amont de la chaîne de production, avant les pertes inhérentes aux différents processus de transformation et de transmission. C'est le pétrole brut sorti du puits avant sa transformation en essence, l'énergie chimique contenue dans les combustibles utilisés dans les centrales électriques ou l'énergie potentielle d'une masse d'eau en amont d'un barrage².

À l'autre bout de la chaîne de production d'énergie, on trouve l'énergie finale, prête à l'emploi : le litre d'essence à mettre dans une voiture ou le courant qui éclaire une ampoule. En France, pour chaque kilowattheure d'électricité consommée, c'est en moyenne un autre kilowattheure et demi qui a été nécessaire pour satisfaire le besoin final en énergie. **F1**³ Pourquoi le terme d'emprise et non d'empreinte ? L'emprise énergétique désigne

Figure 1
Énergie grise, énergie directe et empreinte énergétique



Encadré 1
Les fonctions ou postes de consommation

Lorsque nous parlons de « consommation » sans autre précision, nous ne parlons pas de consommation d'énergie, mais des dépenses des ménages en biens et services, c'est-à-dire la consommation effective des ménages (intégrant les transferts sociaux).

Analyser les modes de satisfaction des besoins des ménages dépasse la seule étude des secteurs productifs mobilisés. Une solution bien adaptée aux bases de données économiques de référence est le passage par une nomenclature fonctionnelle des

usages de consommation. Il s'agit d'un regroupement de toutes les activités productives concourant à la satisfaction d'un besoin donné : éducation, défense, logement, habillement, marketing, transports, comptabilité, commerce, etc. Une analyse par fonction peut dès lors couvrir de nombreux secteurs d'activité. Le but de l'analyse est d'observer comment un besoin donné (par exemple l'éducation) est satisfait par les différents secteurs d'activité.

L'analyse par fonction est à l'origine de certaines nomenclatures spécifiques qui facilitent les comparaisons entre bases et pays différents, comme la classification des fonctions de consommation des ménages,

COICOP (Classification of Individual Consumption by Purpose). Les résultats de l'étude Insee sur laquelle nous nous appuyons donne d'ailleurs les résultats en COICOP (voir détails en annexe). Il n'y a cependant pas de choix définitif de regroupement. La pertinence et le choix du découpage de la consommation en usages dépendent avant tout des besoins de l'analyse. Nous avons repris ici celui utilisé par l'Insee (COICOP) en le simplifiant : nous avons regroupé les produits alimentaires avec l'alcool et le tabac. Mais d'autres regroupements sont possibles. En fonction du type de consommation ou d'énergie que l'on souhaite analyser, ce découpage peut en outre être amené à évoluer.

2 Énergie primaire selon les conventions de l'Agence internationale de l'énergie pour la conversion de l'électricité : l'électricité nucléaire est ainsi multipliée par trois pour passer en primaire.
3 Note : tous les graphiques et illustrations qui ne sont pas sourcés ont été produits par les auteurs.

la réallocation des énergies produites, une année donnée, en fonction de leur usage final. Elle n'a pas l'ambition d'être une mesure exacte, au même titre qu'une analyse du cycle de vie, mais plutôt un indicateur de l'ensemble de la demande énergétique d'un système économique pour une année, alloué aux consommations finales qui en sont la cause. Nous avons choisi ce terme plutôt que celui « d'empreinte », qui peut dépendre de consommations passées.

Nous présenterons en seconde partie la méthode d'évaluation de l'emprise énergétique. Selon cette évaluation, en France, l'emprise énergétique de la consommation effective des ménages était de 296 Mtep en 2004. Si nous ramenons ce chiffre à une grandeur présente

sur les factures électriques souvent plus parlante pour les non-énergéticiens, le kilowattheure⁴, et que nous raisonnons par jour et par ménage⁵, l'emprise énergétique quotidienne d'un ménage français est de 343 kWh. Nous verrons que seulement 25 % de l'emprise sont utilisés en énergie directe (85,75 kWh). Les 75 % restant (257,25 kWh) sont intégrés aux biens et services consommés par le ménage. Les trois quarts des consommations d'énergie ne sont donc pas directement perceptibles par les consommateurs.

Dans les deux sections qui suivent, nous détaillons pour référence les niveaux de consommations en énergie directe des ménages français, puis présentons quelques travaux fondés sur une approche par la consommation. **E1**

L'énergie directe

La mesure des consommations d'énergie directe ne nécessite pas de passer par un modèle macroéconomique complexe, comme c'est le cas pour l'énergie grise : il suffit en effet de compiler les factures d'énergie des ménages. Nous proposons un exercice de reconstruction du bilan en énergie directe d'un ménage. Ceci permet non seulement de présenter les ordres de grandeur en jeu, mais aussi d'identifier les leviers permettant d'agir sur les consommations.

La structure de consommation d'énergie directe d'un ménage type

Pour rendre la présentation plus ludique, nous reprenons ici la démarche utilisée par David McKay dans son ouvrage *Sustainable Energy - Without the Hot Air* (2008, UIT Cambridge) : il s'agit de suivre la consommation d'énergie directe d'un ménage de deux personnes, du lever au coucher. Notre ménage

de deux personnes (soit 30 % de la population française) habite dans un logement collectif de 60 m² et dispose d'un panier d'équipements électroménagers achetés en 2005. Son logement est isolé à la norme RT 2005, que nous détaillons par la suite. Les données présentées dans cette section sont en kilowattheure.

Commençons l'inventaire de l'énergie directe de notre ménage au réveil. La consommation d'une douche de 5 minutes est d'environ 3 kWh soit 6 kWh pour deux personnes.

Le parcours de notre ménage type se poursuit dans la cuisine, où le réfrigérateur-congélateur requiert 1 kWh chaque jour. Ils se préparent une boisson chaude grâce à une bouilloire électrique (0,1 kWh). Pour l'éclairage, le ménage utilise 3 ampoules basses consommation (8 W) et 3 ampoules de 60 W qu'il allumera en moyenne trois heures par jour, soit une consommation moyenne de 0,6 kWh⁶.

4 Un kilowattheure (kWh), l'unité présente sur le compteur d'électricité et sur les factures, correspond à l'énergie utilisée par un appareil de 1 kW (un fer à repasser) pendant une heure.

5 Nous verrons dans le chapitre 2 que ce passage soulève plusieurs problèmes méthodologiques.

6 À titre d'information, un ménage français dispose en moyenne de 28 points lumineux (Sidler, 2004), et la moyenne nationale est de 0,8 kWh par jour et par ménage pour l'éclairage.

Les habitants de notre ménage type se rendent ensuite à leur travail en voiture. Ils possèdent l'équivalent de deux routières moyenne gamme (consommant toutes deux 7 l aux 100 km) et sont seuls à bord. En 12 km de trajet, ils consomment chacun environ 8,75 kWh⁷, soit 17,5 kWh pour l'aller-retour. Pour nos deux personnes, la consommation d'énergie directe en transports est donc de 35 kWh par jour.

L'énergie directe, telle que nous l'avons définie, est celle qui apparaît sur la facture du ménage. Nous ne nous intéressons pas dans cette section aux consommations faites sur le lieu de travail. Au retour du travail, cette consommation comprend d'abord la préparation du dîner. Le four et les plaques vitrocéramiques électriques consomment à eux deux 1 kWh en moyenne – peu de ménages utilisent leur four tous les jours. Le micro-ondes consomme 0,2 kWh par jour. Le lave-vaisselle, pour produire 20 l d'eau à 60°C, consomme un peu moins qu'une machine à laver, soit 0,5 kWh. En soirée, le ménage allume sa télévision pendant trois heures trente (0,4 kWh)⁸. L'ordinateur et son écran LCD, allumés pendant trois heures, consomment 0,5 kWh. À cela s'ajoute l'imprimante, qui consomme 0,05 kWh par jour. Une heure de musique ou de radio sur une chaîne HIFI compacte requiert 0,1 kWh, et 0,1 kWh pour un lecteur DVD. En ajoutant l'aspirateur (0,6 kWh), le modem (0,1 kWh) et le lave-linge (0,7 kWh par jour), on obtient un total de 5,8 kWh par jour. On a ainsi établi la consommation d'électricité dite spécifique, qui comprend les appareils électriques et l'éclairage.

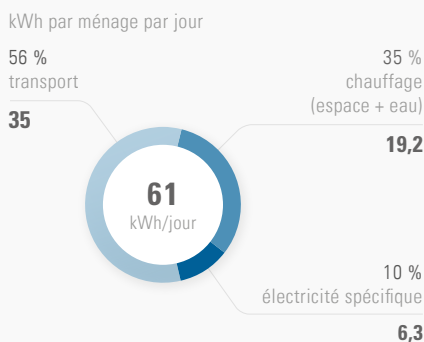
Nous avons supposé jusqu'à présent que le ménage n'utilise jamais la veille sur ses appareils. Dans le cas contraire, il faut ajouter 0,5 kWh par jour pour les appareils présents à son domicile — c'est l'équivalent de la consommation journalière du lave-vaisselle. Nous n'avons pas encore parlé du chauffage : pour évaluer les besoins de confort

thermique, il faudrait prendre en compte la zone géographique du ménage, la différence entre la température intérieure et extérieure et le taux de déperdition énergétique du bâtiment. Nous supposons ici un logement nécessitant 80 kWh de chaleur par an et par m² (c'est un immeuble récent, conforme à la Réglementation thermique 2005). Par jour, le ménage consomme donc en moyenne 13,2 kWh pour se chauffer.

En résumé, le premier poste de consommation est le transport, avec 35 kWh par jour. Viennent ensuite le chauffage et l'eau chaude sanitaire (ECS), avec 19,2 kWh par jour, et l'électricité spécifique à 6,5 kWh par jour. À titre de comparaison, la moyenne française est de 40 kWh pour le transport, 39 kWh pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et la cuisson, et 7,6 kWh pour l'électricité spécifique. Remarquons que la production de chaleur demeure un poste de consommation majeure après les transports : chauffage et eau chaude bien sûr, mais aussi pour partie électroménager pour notre ménage (lave-linge, lave-vaisselle, cuisson). **F2**

Les variations individuelles autour de cette moyenne peuvent être assez importantes : ainsi notre ménage dispose d'un logement

Figure 2
Équipements « standards »



Notre ménage type de deux urbains en immeuble récent consomme 61 kWh par jour (chiffre arrondi à la décimale supérieure).

7 On utilise ici des données stylisées, soit 10 kWh par litre de pétrole pour une moyenne de 14 km par litre (on suppose une consommation mixte urbain / rural avec une dominante en ville, soit une moyenne de 7 litres aux 100 km). On suppose enfin un taux de remplissage d'une personne par voiture, un peu moins que la moyenne en France de 1,3 (CERTU, 2009).

8 La moyenne française est de 3,5 heures par jour.

bien isolé, contrairement à une majorité de français. Il est composé de deux personnes seulement, leur équipement électroménager est récent et performant, et s'ils utilisent chacun un véhicule pour se rendre au travail, leur trajet est relativement court par rapport à la moyenne nationale des actifs. On perçoit dès lors que la consommation d'énergie va dépendre d'un ensemble de facteurs relevant de la technologie, mais aussi des comportements d'usage.

Les variations de consommation par rapport au ménage type

Nous nous intéressons désormais aux variations de consommation d'énergie directe permettant d'expliquer des bilans énergétiques qui diffèrent d'un ménage à l'autre. Ces différences peuvent être expliquées par plusieurs facteurs qui doivent être traités séparément, car ils n'ont pas les mêmes implications sur le type de politiques de réduction des consommations à mettre en oeuvre. Pour établir ce qui dépend de la performance technique des appareils et ce qui découle du niveau de service consommé, nous proposons deux autres analyses.

Dans la première, nous reprenons le ménage standard et nous comparons deux nouvelles situations : dans l'une, le ménage est doté d'équipements très efficaces sur le plan énergétique ; et, dans l'autre, il est doté d'équipements anciens très énergivores. Dans la seconde analyse, nous étudions un ménage aux comportements très énergivores : ceux-ci peuvent être le résultat du mode de vie choisi par le ménage, mais ils peuvent aussi résulter d'un ensemble de contraintes économiques, sociales ou infra-structurelles.

L'impact de la performance technique des équipements

Nous étudions ici la consommation d'énergie directe d'un ménage disposant d'équipements efficaces en énergie disponibles sur le marché et celle d'un ménage qui fait les mêmes usages mais équipé d'appareils anciens et inefficaces. Le premier ménage correspondrait à un jeune couple devant équiper la totalité de

son logement et choisissant les équipements les mieux notés (équivalents A++) en vente début 2013. Son logement est neuf (label type « PassivHaus » ou « Effinergie ») et consomme 20 kWh thermiques/m²/an. Il a une excellente isolation thermique, supérieure à la norme RT 2012. Le couple dispose de deux petites voitures de ville consommant 4 l aux 100 km en moyenne.

L'autre ménage, dit énergivore, dispose d'équipements en fin de vie achetés au début des années 2000 (réfrigérateur classe B/C, machine classe A/B, four classe B, etc.), d'un logement particulièrement mal isolé, avec simple vitrage et situé au dernier étage (nous supposons un besoin de 250 kWh thermique par m² et par an) et d'une voiture familiale ancienne, consommant 10 l/100 km. La surface de logement et l'usage fait des appareils restent identiques. Nous ne nous intéressons ici qu'aux caractéristiques des équipements.

Si les services finaux sont les mêmes, la structure et les niveaux de consommations d'énergie directe du ménage « efficace » et ceux du ménage « énergivore », elles, évoluent considérablement. Le ménage efficace consomme 30 kWh par jour. C'est essentiellement la baisse de la consommation en chauffage, qui a été divisée par trois, et en transport, divisée par deux (avec le même niveau de service), qui permettent cette évolution. La part du transport prend une place importante dans le bilan énergétique du ménage efficace (70 % contre 56 % pour notre ménage standard). Les gains énergétiques potentiels dans l'isolation du bâti sont nettement plus élevés que les gains possibles avec un moteur thermique. Autant faire un bâtiment « zéro énergie » est possible, autant faire une voiture à « zéro-énergie » n'est pas d'actualité. Notons également que si l'électricité spécifique et le besoin de chauffage sont identiques, la tendance est à l'inversion des courbes de consommation d'électricité spécifique et de chauffage (laquelle tend à saturer).

Le ménage énergivore consomme trois fois plus d'énergie directe que le ménage efficace. Son bilan journalier est de 113 kWh par jour, dominé par les besoins en chauffage de

l'espace et en transport. L'électricité spécifique pèse un sixième du bilan, soit 14 kWh par jour, ou 5 fois plus que le ménage efficace. En renouvelant intégralement son stock d'appareils et ses véhicules, en fin de cycle de vie, et en choisissant uniquement les appareils les plus économes, le ménage énergivore pourrait passer d'une consommation de 113 kWh à une consommation de 80 kWh par jour. Il resterait à rénover son logement — une opération plus difficile à mettre en oeuvre et qui pose, plus encore que pour le renouvellement des appareils, la question du financement. Nous arrivons ainsi à la question des niveaux de revenu que nous traiterons plus tard. **F3 F4**

L'usage « choisi »

Étudions maintenant la consommation d'énergie d'un ménage type de deux personnes au mode de vie intensif en énergie dite directe. Cette intensité est le fait de trois facteurs : il dispose d'appareils énergivores ; en quantité importante ; et les utilise intensivement. On suppose ainsi qu'il est équipé d'un 4x4 urbain utilisé pour les petits déplacements, qu'il se déplace davantage pour aller travailler (40 km aller-retour) que le ménage type de départ, et qu'il habite une maison individuelle de 150 m² mal isolée. Ses équipements électroménagers sont plus gros et plus consommateurs (réfrigérateur américain, qui consomme 3 fois plus qu'un réfrigérateur standard) et il dispose également d'équipements que ne possèdent pas les autres ménages (une piscine qui consomme 6 kWh par jour, notamment). La consommation du ménage est de 230 kWh par jour. Ce niveau de consommation découle d'abord des besoins en transport (98 kWh), en chauffage et eau chaude sanitaire (ECS ; 92 kWh), suivis par ceux en électricité spécifique (40 kWh). Représenter ce ménage-type permet de souligner le caractère choisi de ses consommations supérieures à la moyenne. Le ménage utilise une grosse cylindrée sur des trajets domicile-travail, ce qui n'est pas nécessaire pour le service demandé. La maison de 150 m² fait deux fois la taille du logement moyen.

Toutes les études sur le niveau de vie et l'énergie directe le montrent : la consommation augmente, en moyenne, avec le revenu. Les ménages ayant des moyens financiers peuvent atteindre des niveaux de consommation directe très élevés. Nous le verrons plus tard dans ce cahier avec l'analyse des emprises par niveau de revenu. Mais il convient bien de distinguer consommation directe contrainte et consommation directe choisie. C'est l'objet d'étude de notre dernier ménage type.

L'usage « contraint »

Nous étudions ici des comportements de consommation contraints. Le ménage habite en périurbain et dispose d'un équipement standard, mais l'un des deux membres effectue 100 km de transport par jour pour se rendre

Figure 3
Équipements neufs et efficaces

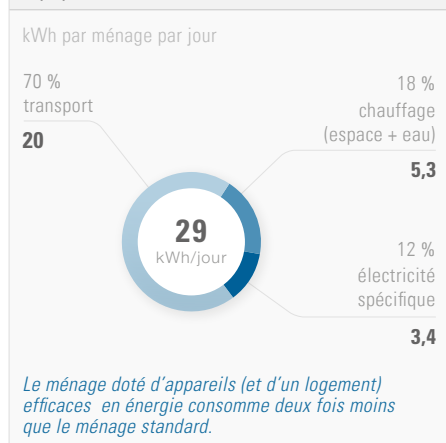
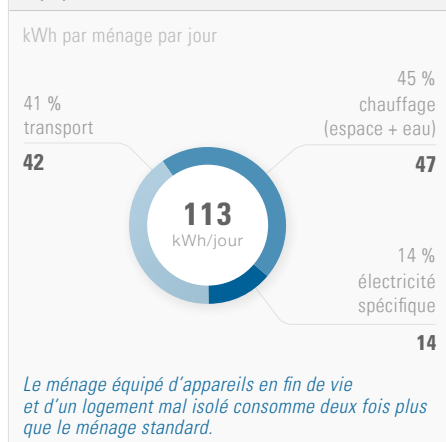


Figure 4
Équipements inefficaces



au travail, et le ménage loue un 60 m² mal isolé (consommant 300 kWh/an/m²). Son comportement et son stock d'appareils restent néanmoins identiques à notre ménage « standard ». La consommation de ce ménage (150 kWh par jour) est deux fois supérieure à celle du ménage standard. Le chauffage et le transport représentent plus de 95 % de ses consommations d'énergie directe. Cet exemple met en lumière le caractère contraint de certaines dépenses énergétiques et soulève de nombreuses questions relatives à la mise en place de politiques publiques de sobriété énergétique. Il ne s'agit pas là, bien sûr, d'un cas isolé — c'est sur ces ménages que porte tout le débat sur la précarité énergétique et la vulnérabilité (cf. Saujot, 2012). Les jeunes couples ne pouvant pas trouver de logement dans la capitale notamment et accédant à la propriété là où le foncier est plus abordable, plus loin en Île-de-France, sont nombreux. Ce sont ces contraintes qu'il faut réinterroger à l'aune de la transition énergétique.

Agir sur les consommations d'énergie directe

Agir sur les consommations d'énergie directe au travers des politiques publiques nous oblige donc à distinguer plusieurs questions : [Peut-on influencer les comportements d'usage des consommateurs ?](#)

Certains « petits gestes » sont possibles (débrancher son chargeur), mais ils restent individuellement peu significatifs. Certains comportements énergivores s'expliquent par un choix de vie, de reconnaissance sociale ou de mimétisme comportemental que l'on peut tenter d'infléchir, tandis que d'autres relèvent

d'un cadre de contraintes (nouvel emploi à grande distance, maison trop grande après le départ des enfants, occupation locative) parfois difficile à lever.

[Peut-on, à comportement égal, améliorer l'efficacité de production de services finaux \(confort, déplacement, loisirs...\) par unité d'énergie consommée ?](#)

Nous avons vu l'enjeu que représente un équipement performant, mais compris également que les contraintes de renouvellement sont liées à la fois à la durée de vie des appareils (ampoule versus bâtiment !) et à la capacité des consommateurs d'effectuer les bons choix (information, disponibilité, finance).

[Peut-on additionner toutes ces consommations comme nous l'avons fait ?](#)

Nous avons vu que, avec l'évolution des caractéristiques techniques des équipements, les consommations de chauffage au domicile tendaient à décroître fortement tandis que celles d'électricité spécifique sont soumises à un double mouvement d'efficacité et de multiplication de nouveaux usages. Or pour produire cette électricité, il faut, comme nous allons le voir, beaucoup plus d'énergie grise que pour produire un kWh de gaz ou d'essence...

Enfin, notre couple n'a conscience que de l'énergie qui lui est facturée directement. Il a cependant fallu de l'énergie pour produire sa maison, ses véhicules et ses biens d'équipement... mais il a aussi, dès lors qu'il franchit la porte de son domicile, utilisé nombre de services (ascenseur, bureaux chauffés et équipés, restauration, commerces, éclairage public...) sans en connaître le coût énergétique. Abordons maintenant cette seconde composante de l'emprise énergétique.

Le poids et l'origine de l'énergie grise

L'évolution relative de l'énergie grise par rapport à l'énergie directe et son origine domestique ou importée aura une incidence sur la conception des politiques publiques. Les mesures d'étiquetage du

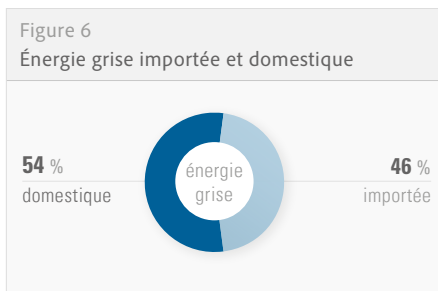
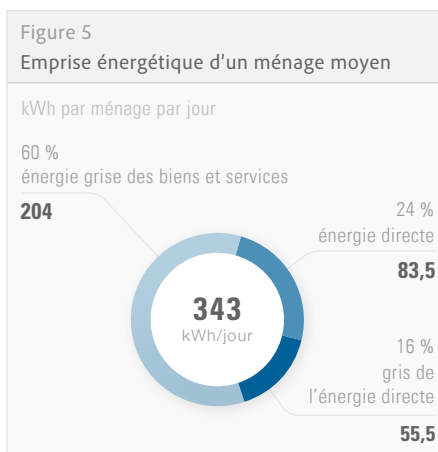
contenu carbone des biens de consommation, par exemple, cherchent à modifier les choix des consommateurs pour limiter les « émissions de CO₂ grises » contenues dans les biens. Elles complètent ainsi les mesures

plus traditionnelles incitant aux économies d'énergie directe. De la même manière, on ne peut se satisfaire d'une consommation finale d'énergie en baisse à l'échelle nationale (exportations exclues), s'il s'avère que cette baisse est plus que compensée par des consommations d'énergie contenues dans les importations de biens et services. L'évaluation de l'emprise énergétique permettra de déterminer ce bilan énergétique intégré, tenant compte du contenu énergétique des échanges internationaux.

Nous présentons tout d'abord les résultats globaux selon les trois composantes principales de l'emprise : énergie directe, gris de l'énergie directe et énergie grise des biens et services, ainsi que la part d'origine domestique et importée. La méthode de calcul de ces consommations est complexe, et fera l'objet d'une présentation complète dans la seconde partie de ce document. Les résultats de quelques études mobilisant une méthodologie similaire pour l'évaluation de l'empreinte carbone seront ensuite présentés.

Les composantes de l'empreinte énergétique

Ainsi que nous l'avons indiqué en introduction de cette partie, l'emprise énergétique annuelle de chaque ménage est de 125 MWh d'énergie primaire (10,7 tep), soit une moyenne de 343 kWh par jour par ménage. L'énergie directe ne représente que 24 % de l'emprise totale (soit 83 kWh/ménage/jour). L'énergie grise consommée est de 259 kWh/ménage/jour (8,1 tep par an), dont 204 kWh d'énergie grise contenue dans les biens et services et 55 kWh en énergie grise nécessaire à la production de l'énergie directe. Si l'on regroupe l'énergie directe et son énergie grise associée, cela équivaut à 40 % de notre consommation totale d'énergie. Le reste, 60 % de l'énergie consommée, est contenu dans les biens et services acquis par les ménages. **F5** Sur les 204 kWh d'énergie grise consommés par jour et par ménage, une partie est importée du reste du monde (46 %), soit sous la forme de produits finis (l'énergie contenue

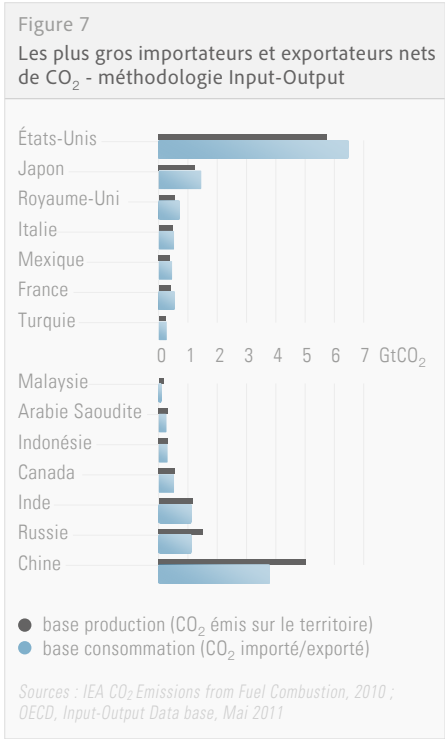


dans des téléviseurs importés de Corée du Sud par exemple), soit sous la forme de produits intermédiaires qui seront intégrés à des produits finis en France (l'énergie utilisée pour faire de l'acier en Inde qui sera importé en France pour fabriquer une voiture achetée sur le territoire). L'autre partie (54 %) correspond à l'énergie consommée pour produire des biens et services en France qui seront consommés sur place. Les consommations d'énergie pour produire des biens en France, consommés à l'étranger, ne sont pas comptabilisées ici. **F6**

Des études similaires récentes

Pour étudier l'impact environnemental des consommations des ménages et du commerce international, un certain nombre de modèles multi-régionaux de couverture mondiale ont été réalisés ces dernières années par de nombreux auteurs : en France, par Jean-Louis Pasquier et, à l'international, par Glen P. Peters, Edgar Hertwich, Tim Jackson, Christopher

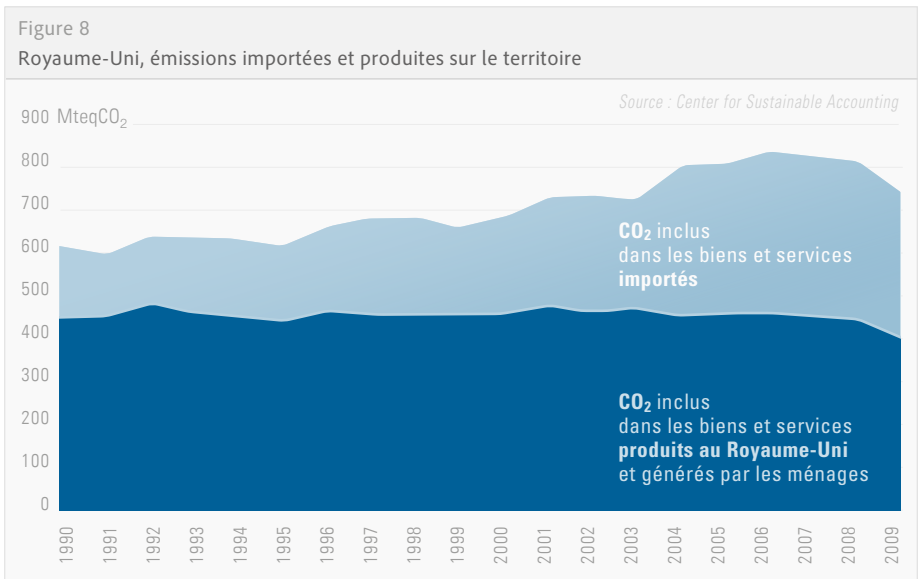
L. Weber, Thomas Wiedmann, Davis & Caldeira, S. Nakano et al, etc. Ces modèles utilisent les tableaux d'entrées-sortie et l'équation de Leontief, de manière similaire à la méthode décrite en deuxième partie.



L'OCDE et l'AIE ont récemment développé une base de données⁹ présentant les émissions nationales émises sur le territoire (base production) et celles importées/exportées (base consommation).

F7
Cette approche permet de mieux se représenter la part des émissions de CO₂ liées aux activités exportatrices. Ainsi, il apparaît clairement que les États Unis, pays disposant du plus grand déficit commercial au monde, est aussi le pays le plus importateur en CO₂. À l'inverse, le pays disposant du plus gros excédent commercial, la Chine, est aussi le pays qui exporte le plus de dioxyde de carbone.

Au-delà des photographies prises à point donné, des études récentes ont documenté l'évolution des émissions carbonées importées au cours du temps. Ces études montrent une croissance des émissions nettes (solde importations moins exportations) en France, au Royaume-Uni et aux États-Unis, dans le contexte d'une réduction des émissions sur ces différents territoires. Au Royaume-Uni, l'étude du Centre for Sustainable Accounting de l'Université de Leeds constate ainsi une baisse des émissions du territoire national, de 450 à 440 millions de tonnes (Mt) de CO₂ en 20 ans, mais une hausse globale de 600 à 750 Mt. **F8**



9 www.oecd.org/stilinputoutput/co2

En France, l'étude de J-L Pasquier du SoES (2009) met également en avant une diminution des émissions du territoire de 15 % en 17 ans, mais une hausse de l'empreinte par habitant de 5 % sur la période (11,6 tCO₂ à 12,2 tCO₂). **F9**

Les études de Weber *et al.* (États-Unis, 2009) et de Pasquier pour la France ont évalué l'empreinte carbone des ménages selon leur revenu. Elles montrent que l'empreinte carbone croît avec le revenu mais avec une élasticité (pourcentage de variation des émissions rapporté au pourcentage de variation du revenu) inférieure à l'unité : les émissions croissent avec le revenu mais moins rapidement que ce dernier.

Selon Weber *et al.* (2009), le dernier quintile (les 20 % les ménages les plus aisés) émet annuellement environ 73 tonnes de CO₂ direct et indirect (par analogie à l'énergie directe et grise), alors que le premier quintile en émet

Figure 10
Empreinte CO₂ des ménages français par quintile de revenu

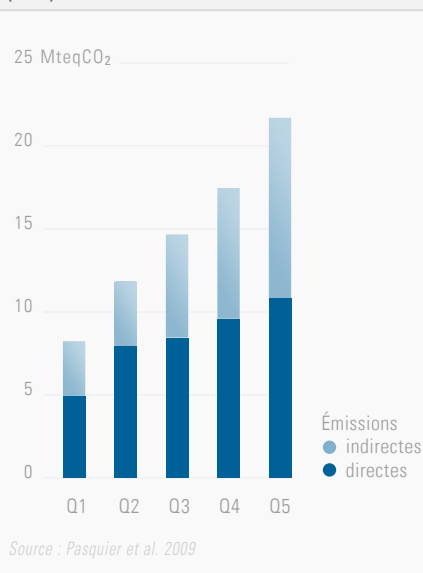
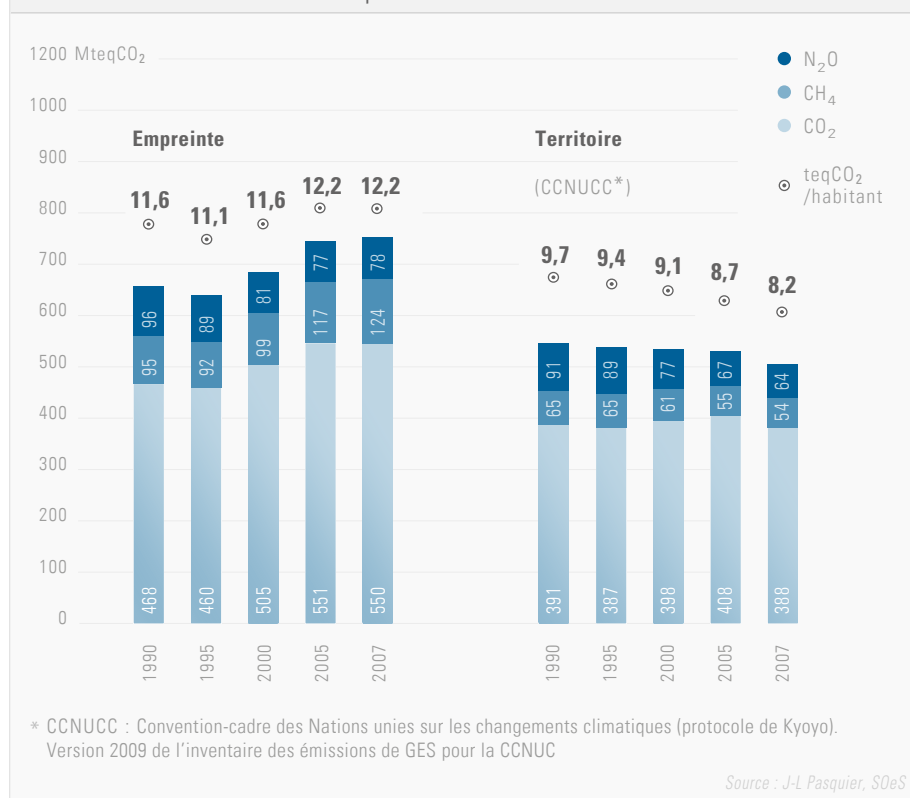


Figure 9
Émissions du territoire et émissions importées en France



23 tonnes. L'écart de revenu est de 4,7, alors que l'écart d'émissions directes et indirectes est de 3,3. Des tendances semblables seront présentées en troisième partie.

En France, toujours selon l'étude du SOeS, les émissions du dernier quintile sont de 22 tonnes par personne (exprimé en unité de consommation) contre 8,3 tonnes pour le premier quintile. L'écart d'émissions est ainsi

de 2,7 alors que l'écart de revenu est de 3,4. Cette étude fournit une information supplémentaire en présentant la part des émissions directes et celle des émissions indirectes. Ces dernières augmentent avec le revenu plus vite que les émissions directes. Ainsi, alors que les émissions directes réduisent l'écart entre riches et pauvres, les émissions indirectes liées à l'achat de biens et services l'accroissent. **F10**

Conclusion

L'énergie grise consommée par un ménage français moyen est de 259 kWh chaque jour, soit la consommation en énergie directe de quatre ménages. Ce chiffre peut interpellé les lecteurs non avertis mais ne devrait pas surprendre les énergéticiens. En effet, l'énergie grise définie ici correspond au bilan énergétique des secteurs énergétiques, industriels, services et transports réalloué aux actes de consommation des ménages et auquel on a ajouté le contenu en énergie des importations et enlevé celui des exportations. Notons qu'il faudrait également retirer à ce bilan l'emprise énergétique de la demande touristique étrangère, non négligeable en France (transport, hôtellerie, services, équipements sportifs) pour plusieurs millions d'hommes/mois, ce qui n'est fait qu'en partie dans notre évaluation.

Le passage d'une représentation des consommations d'énergie présentes explicitement sur la facture des consommateurs à une représentation fondée sur des consommations d'énergie incluses dans les actes de consommation ne constitue pas un jugement de valeur sur la responsabilité associée à l'acte de consommation d'énergie. De tels chiffres n'ont pas vocation à faire reposer tous les efforts de transition énergétique sur les ménages et à dédouaner le secteur productif. Il revient à l'ensemble des acteurs, aux diverses étapes du processus de production, de prioriser les choix les plus sobres en énergie.

Mais dépasser la dichotomie classique entreprise-ménage permet de montrer aux

consommateurs l'impact physique et environnemental réel de leurs modes de vie. Nous reviendrons par la suite sur les utilisations pratiques de cette nouvelle représentation. Avant cela, pour mieux comprendre d'où vient cette énergie grise, nous détaillons son origine à travers les systèmes complexes que sont le commerce international et le système de production de biens et services, le « circuit économique » français.

L'évaluation de l'emprise énergétique

L'énergie est nécessaire tout au long des chaînes de production. Comme on l'a vu dans la partie précédente, pour choisir les actions ou politiques publiques de maîtrise de la consommation les plus efficaces, il faut pouvoir rattacher aux consommations finales l'énergie qu'elles mobilisent, sur le territoire de consommation ou ailleurs, ce que ne permet pas l'actuelle représentation.

Ainsi, dans un contexte où la production industrielle et les échanges commerciaux sont de plus en plus fragmentés au niveau mondial, une partie croissante de toute l'énergie qui permet la consommation finale dans un pays n'apparaît pas dans son bilan énergétique national. Une décision prise à l'échelle nationale peut donc avoir des conséquences inattendues, voire opposées, à l'échelle mondiale, au travers d'une externalisation induite des problèmes : une baisse apparente de l'intensité énergétique¹⁰ du système productif français peut traduire autant une augmentation de l'efficacité des procédés qu'une délocalisation à l'étranger des outils de production.

Une telle perspective systémique manque singulièrement à un moment où la gestion raisonnée des ressources énergétiques est de plus en plus à l'ordre du jour, particulièrement pour l'Europe qui est l'une des régions les moins pourvues¹¹ en énergie.

Elle est incontournable pour envisager réellement des politiques de consommation « soutenable » car elle permettrait d'analyser l'impact sur les besoins énergétiques de toute modification de la structure des consommations.

Il devient donc de plus en plus important, dès lors qu'on s'intéresse à l'énergie, de comprendre comment les consommations d'énergie se répartissent dans le circuit économique, mais également d'étudier le contenu en énergie des consommations finales. La compréhension de ces flux d'énergie directs et indirects permettra d'enrichir le développement d'outils d'analyse et de prévision de consommation énergétique.

Remettre ainsi le consommateur final au centre de l'analyse permet également de mieux rendre compte du fait que toute offre ne vise qu'à satisfaire une demande de consommation. Cela permet enfin de rendre compte de toute l'énergie dont un ménage a réellement besoin, par type de besoin.

Cette démarche s'inscrit dans le mouvement actuel de développement de nouveaux indicateurs, rappelé par exemple par la Commission Stiglitz-Sen-Fitoussi (STIGLITZ, SEN, & FITOUSSI, 2009), qui recommande le choix d'indicateurs pouvant être interprétés comme des variations de stocks pour mesurer les « prélèvements globaux sur la nature ».

¹⁰ L'intensité énergétique d'une activité ou d'une zone géographique est la quantité d'énergie nécessaire à la création d'une unité de richesse à l'échelle d'une année et sur un périmètre défini. Sous un même nom peuvent se cacher bien des définitions : intensité primaire ou finale, par rapport au PIB (produit intérieur brut) en taux de change du marché, ou en parité de pouvoir d'achat par rapport à la valeur ajoutée.

¹¹ Voir Roadmap to a resource-efficient Europe et Communication on a resource-efficient Europe.

Aujourd'hui, la question ne porte plus sur l'intérêt de ce type de bilan, mais sur sa faisabilité à partir des données accessibles, de façon suffisamment claire et transparente pour qu'il puisse être largement partagé. C'est tout l'objet de la réflexion engagée.

Nous décrirons dans un premier temps la méthode de construction de l'emprise utilisée, puis présenterons les premiers résultats à l'échelle mondiale pour finir par une application plus détaillée sur la consommation des ménages en France.

Élaboration de l'emprise énergétique

Définition

Comme nous l'avons indiqué précédemment, l'emprise énergétique se compose de la consommation énergétique finale directe, que nous appelons énergie directe, et des consommations (intermédiaires et finales) énergétiques des systèmes productifs nécessaires à la mise à disposition des biens et services aux consommateurs finaux, qui constitueront l'énergie grise. Cette énergie grise se décompose par ailleurs en une énergie grise des produits et une énergie grise de l'énergie directe (« gris de l'énergie directe »). Dans cet exercice, l'emprise est calculée en énergie primaire.

De nombreuses études qui adoptent cette nouvelle approche se limitent encore à la seule part domestique de l'énergie grise. Cela revient à ne pas prendre en compte l'énergie consommée à l'étranger pour satisfaire des besoins sur le sol national ou à compter celle consommée sur le territoire pour des produits exportés, ce qui est insatisfaisant dans le cadre d'un accroissement des échanges internationaux. Des approches plus élaborées permettent de prendre en compte les importations et exportations. Deux options sont alors possibles : soit en leur attribuant un contenu égal au contenu domestique pour calculer les consommations évitées, soit en leur attribuant leurs contenus réels. Il peut y avoir des écarts importants entre ces deux méthodes. L'approche développée à EDF R&D, que nous présentons ici, correspond à la seconde option.

Approche méthodologique

Pour élaborer cette représentation de la demande énergétique mondiale rattachée aux consommations finales, il faut sortir des

limites de la comptabilité sectorielle classique, qui n'est que le reflet de l'énergie consommée sur un territoire et non de celles induites par les consommations finales des résidents du territoire. Comme la prise en compte des importations et des exportations est ici requise, la seule manière d'en assurer la qualité est de la réaliser à l'échelle mondiale.

L'approche retenue est celle dite « de Leontief » (Modèle Entrées-Sorties : MES). Elle s'appuie sur une représentation des interrelations économiques dérivées de la comptabilité nationale. Le MES décrit les échanges monétaires nationaux et internationaux entre les secteurs productifs sous forme matricielle. Il permet ainsi, à l'aide d'une algèbre élémentaire, de déterminer toutes les consommations physiques ou pollutions attribuables, directement ou indirectement, à un besoin économique donné. Des bilans intégrés globaux peuvent ainsi être construits non pas de manière élémentaire, mais au niveau « macroscopique ». Ces modèles utilisent les tableaux entrées-sorties (TES) classiques de la comptabilité nationale (CN) pour allouer aux consommations finales des contenus physiques ou environnementaux au travers des flux monétaires induits ; l'économie informelle n'est donc bien évidemment pas prise en compte. Cette approche se prête bien à des analyses globales, puisqu'il existe des bases de TES bien renseignées à l'échelle mondiale et couramment utilisées pour les études économiques. Cette approche permet enfin une vérification par comparaison avec les bilans classiques annuels, ce qui n'est pas le cas d'une méthode de type Analyses de cycles de vie (ACV) qui peut intégrer des consommations sur plusieurs années.

Cette approche a été largement appliquée, avec succès, pour estimer des « empreintes GES » ou réaliser d'autres « bilans-matière », mais beaucoup plus rarement, à notre connaissance, à l'énergie. Pourtant, l'énergie est un passage obligé pour élaborer les bilans/contenus en CO₂. De plus, utiliser cette représentation de manière prospective demande de pouvoir modéliser l'effet de choix d'évolution des mix énergétiques.

Pour appréhender plus précisément les enjeux de politiques énergétique et climatique associés au rôle des échanges internationaux ainsi que les éventuelles révisions à apporter à notre vision traditionnelle, nous présentons ici une adaptation à l'énergie des méthodologies utilisées dans les études citées précédemment, développée au sein d'une équipe de la R&D d'EDF. **E3**

Le principe méthodologique de la modélisation, développé dans l'Annexe 7 : l'équation de Leontief pour une région, est relativement simple¹². Le passage au calcul réel est plus délicat ; comme souvent, la vraie difficulté a été le travail d'adéquation de la modélisation aux

données accessibles, et vice-versa, au travers des incontournables simplifications méthodologiques et approximations. **E4**

Les écarts de périmètres et de segmentations entre les deux systèmes de données, économiques et énergétiques, construits dans des cadres d'analyses statistiques différents, ainsi que les implications des choix de représentations faits dans la comptabilité nationale, ont rendu l'exercice très périlleux. L'exercice d'hybridation des données économiques classiques avec les différents bilans énergétiques disponibles a imposé des compromis, sources d'imprécisions. Il restait néanmoins la seule voie pour faire les premiers pas et se convaincre de l'intérêt d'aller plus en avant.

Les « bilans matière » en France et dans le monde aujourd'hui

La prise en compte des bilans physiques intégrés est devenue une priorité dans de nombreux pays. Relier les données physiques et les données monétaires est l'objectif du System of Integrated Environmental and Economic

Encadré 3

Les Tableaux Entrées-Sorties : description et histoire

La méthodologie Tableau Entrées-Sorties (TES) permet de mesurer l'emprise énergétique des ménages dans un cadre cohérent avec celui de la comptabilité nationale — c'est le meilleur moyen pour éviter les doubles comptages. L'économiste Vassili Leontief développe l'approche Entrées-Sorties dès le milieu des années 1960, dans le cadre de ses travaux sur le commerce international. Ces tableaux permettent de représenter chaque secteur de l'économie par une équation linéaire, documentant les échanges monétaires inter sectoriels nationaux et internationaux. Le caractère simple et formel de sa méthodologie séduit

les économistes, les comptables et les statisticiens de l'époque. Les « matrices de Leontief » sont progressivement intégrées à la comptabilité nationale officielle. Il est intéressant de relever ici que l'intégration de cet outil correspond à l'intégration d'une nouvelle représentation de l'économie à la comptabilité officielle. Vassili Leontief a ainsi contribué à définir la manière avec laquelle on perçoit l'économie à l'heure actuelle. La description formelle de la méthodologie est présentée en Annexe 7 : l'équation de Leontief pour une région.

Dans les années 1990, la méthodologie TES est « augmentée » et liée aux données physiques. Proops (1993) utilise les tableaux Entrées-Sorties et les croise avec des données d'émissions de gaz

carbonique : à chaque secteur est attribué un niveau d'émission de CO₂, et chaque ligne de la matrice de Leontief correspond à une équation représentant les quantités de CO₂ émis par un secteur et consommées par un autre.

À l'aide d'une algèbre élémentaire, il est donc possible de déterminer toutes les consommations physiques ou pollutions attribuables, directement ou indirectement, à un besoin économique donné. Ceci ouvre la voie à des bilans physiques intégrés et globaux construits non pas de manière élémentaire, mais au niveau « macroscopique ». Cette approche se prête bien à des analyses globales puisqu'il existe des bases de TES bien renseignées à l'échelle mondiale et couramment utilisées pour les études économiques.

¹² La description méthodologique faite ici est très succincte car ce n'est clairement pas l'objet de cette note. D'ailleurs, en toute honnêteté, nous n'avons rien apporté de nouveau sur ce point par rapport à tout ce qui existe dans la littérature et renvoyons les lecteurs intéressés aux diverses études en bibliographie des auteurs signalés dans les paragraphes précédents, qui sont très bien documentées.

Encadré 4

Les analyses de cycles de vie

Pour faire un bilan intégré, on pense en général d'abord aux analyses de cycles de vie (ACV). Cette méthode développée dans les années 1990 permet une reconstruction élémentaire plus précise et rigoureuse. C'est une méthodologie standardisée, reconnue au niveau international et encadrée par la norme ISO 14040. Elle permet d'étudier en détail le bilan matière d'un produit ou d'une filière. Malheureusement, elle requiert une connaissance précise de toutes les étapes (fabrication et mise à disposition) pour chaque produit à chaque instant. Il est donc difficile de trouver, qualifier, utiliser et maintenir une base de données qui couvrirait l'ensemble des consommations mondiales.

Les méthodes ACV sont par exemple utiles pour comparer le contenu énergétique d'un produit particulier par rapport à un autre, mais moins pertinentes pour des analyses macro-économiques multi-régionales, qui incluent les flux d'importations et exportations, ou multi-sectorielles à l'échelle mondiale. Elles sont mal équipées pour prendre en compte toutes les déviations de la norme (erreurs de production, surconsommations pour mauvais fonctionnement, diversité des produits, aléas conjoncturels,) qui surviennent toujours dans la réalité à l'échelle globale. Enfin, elles ne peuvent pas réaliser un bouclage macroéconomique sur une année car le périmètre temporel de l'analyse n'est pas spécialement borné.

L'analyse ACV ne permet donc pas de fournir des mesures, sur une période donnée, des consommations d'énergie à l'échelle régionale, nationale ou internationale sans risque de recoupement, de double comptage ou d'éventuels oublis. L'ACV ne permet donc pas de compter, de manière rigoureuse, toutes les consommations dans un cadre macro-économique, prenant en compte les flux d'imports et exports, ou multisectoriels à l'échelle mondiale, qui caractérisent aujourd'hui les filières de production. Elles ne sont donc pas adaptées à la représentation que l'on cherche au travers de l'emprise énergétique.

Accounting (SEEA) développé par les Nations unies dans un souci d'homogénéisation des nomenclatures des comptes nationaux.

Dans le cadre du SEEA, des nouveaux comptes sont donc construits. Par exemple, les comptes des matières résiduelles solides représentent leurs mouvements entre les secteurs d'activités économiques et l'environnement. Autre exemple, les comptes de flux de matières (*Material Flow Analysis*) dressent un portrait global des intrants et des extrants

physiques qui relient une économie nationale à son environnement. Il s'agit là d'une approche nouvelle. L'accès à des données précises et détaillées sur ces sujets est donc encore rare, car les bases homogènes à l'échelle mondiale commencent juste à être construites.

Dans cet esprit, l'élaboration de bases de données NAMEAs (National Accounting Matrix including Environmental Accounts) (Ifen, 2006) est en cours dans plusieurs pays, en particulier au sein de l'Union européenne. Créé à la fin des années 1990 par Statistics Netherlands, NAMEA est un système statistique hybride, monétaire et physique, combinant la comptabilité nationale et les comptes environnementaux. L'information monétaire provenant des comptes nationaux est associée à des tableaux ressources-emplois physiques (PSUT). Les comptes physiques sont combinés aux comptes monétaires en une seule matrice, généralement représentée sous la forme d'un tableau entrées-sorties. Les premières NAMEAs concernent les émissions de CO₂, mais d'autres sont en cours de construction pour l'eau, l'énergie et d'autres ressources naturelles et matières premières. Les NAMEAs, dont l'élaboration s'avère très complexe, sont réalisées à l'échelle nationale ; il n'existe pas encore de bouclage régional ou mondial des NAMEAs, même si des travaux sont en cours dans ce domaine.

Au ministère de l'Environnement, le Service de l'observation et des statistiques (Soes) s'intéresse à la construction de telles bases de données pour la France. Il s'agira dans un premier temps d'une NAMEA-GES¹³, puis d'une NAMEA-énergie et une NAMEA-eau. Jean-Louis Pasquier, co-auteur de l'étude *Les émissions de CO₂ du circuit économique français* (PASQUIER, LENGART, & LESIEUR, 2009), est le responsable de ces projets.

Le projet EXIOPOL, piloté par EUROSTAT et financé par la Commission européenne, vise à compiler les TES à l'échelle mondiale et à les coupler avec des comptes physiques et environnementaux. Le résultat permettrait de coupler les bases NAMEAs nationales entre elles. Avec 38 centres de recherche

¹³ GES : gaz à effet de serre

et universités partenaires, l'objectif d'EXIO-POL est très ambitieux : il vise à permettre un calcul précis des externalités occasionnées par les activités économiques à l'échelle mondiale et, en bout de chaîne, induites par les consommations finales. Le projet est arrivé à terme fin 2011, une base mondiale (43 pays couvrant 95 % de l'économie mondiale et une zone couvrant le reste du monde) est disponible pour l'année 2000. Elle est en vente.

Pour le moment, à notre connaissance, il n'existe pas de bases NAMEAs pour l'énergie. C'est pour combler ce manque qu'EDF-Recherche a essayé d'élaborer un outil visant à reconstituer un bilan énergétique mondial intégré aux consommations finales. À l'échelle mondiale, deux grandes bases de données internationales de référence permettent une analyse mondiale : l'OCDE et GTAP¹⁴.

Pour notre étude, nous avons retenu la base de données collaborative GTAP, développée à l'université Purdue (Indiana, États-Unis). Elle est particulièrement complète et pratique à utiliser. Dans la version utilisée, GTAP7, elle regroupe, pour l'année 2004, les TES monétaires de 113 pays, avec un découpage sectoriel de 57 secteurs. Ce n'est pas une base de données économiques conventionnelle, mise à jour tous les ans, comme celle de l'OCDE. Une nouvelle version, GTAP8, vient de sortir, mais nous ne l'avons pas utilisée pour ces travaux.

Cette base est reconnue pour son homogénéisation des données internationales, offrant une cohérence globale et un bouclage mondial. Elle est aujourd'hui fréquemment utilisée pour mener des études multi-régionales unilatérales ou multilatérales.

La base GTAP est fournie avec un logiciel qui permet d'automatiser des regroupements sectoriels ou de pays, ce qui est très pratique pour le type d'études que nous souhaitons faire. La version GTAP7 présentait un léger défaut de reconstruction des imports, qui a pu être corrigé grâce à un moteur d'agrégation rectifié développé par le CIRED (Hamdi-Cherif, 2011). Depuis la version 7, des données physiques et environnementales ont en outre été adossées à la base de données monétaires. La base dispose notamment des consommations intermédiaires en énergie de chaque secteur. Cet ajout facilite le calcul des emprises énergétiques. À l'échelle française, nous nous sommes naturellement appuyés sur les données statistiques de l'Insee.

Qualification des données énergétiques de GTAP

Les consommations d'énergie primaire ont été allouées aux différentes entités consommatrices de la base GTAP à partir des informations de la base AIE pour l'année 2004. La confrontation des données brutes des deux bases a fait apparaître des écarts importants. Pour le monde, l'écart entre GTAP et l'AIE (avec les « soutes¹⁵ ») dépasse 30 % (3,9 = 15,1 — 11,2 Gtep). Des échanges avec les concepteurs de GTAP ont permis de confirmer le problème, d'en identifier les causes et d'élaborer les premiers correctifs les plus adaptés (voir les détails en *Annexe 2 : qualification des données énergétiques GTAP*). Après ce premier recalage, l'écart est ramené à 3 %, ce qui est plus satisfaisant. **T1**

Tableau 1
Recalage du bilan énergétique global dans GTAP 7

Bilan énergétique	Mtep		Écart (Mtep)	(%)
Global AIE pour 2004 (sans les soutes)	10 980			
Global AIE pour 2004 (avec les soutes)	11 277			
Global GTAP 7 original	15 146		3869	≈ 34%
Global GTAP 7 recalé	11 664		386	≈ 3%

¹⁴ *Global Trade Analysis* de l'université Purdue

¹⁵ Les soutes comprennent tous les approvisionnements en énergie des flottes maritimes et aériennes internationales, leur attribution à un pays est parfois délicate.

Il reste néanmoins des écarts, particulièrement à l'échelle régionale (voir annexe). Ceux-ci imposent, pour la suite, une meilleure compréhension de la répartition dans GTAP des sources, de la biomasse traditionnelle et autres sources d'écarts. Il nous faudra préalablement faire une mise à jour des calculs avec la nouvelle version de GTAP avant d'essayer d'en discuter avec les concepteurs de la base.

complexité de la tâche, nous avons choisi d'analyser la consommation d'usage et la consommation des secteurs productifs (domestiques ou importateurs) à l'échelle globale.

L'analyse plus détaillée proposée pour la France offre néanmoins une reconstitution plus détaillée des usages nationaux.

Notre étude distingue onze régions aussi homogènes que possible du point de vue économique pour analyser les échanges commerciaux internationaux (la France fait l'objet d'un traitement particulier, voir détails dans l'Annexe 6 : découpage régional). Un tel redécoupage, même s'il est large, permet d'établir grossièrement l'origine géographique des biens importés. **T2 F11**

Représentation en douze régions

Établir à l'échelle mondiale un regroupement sectoriel pour reconstituer des usages demande de tenir compte de l'hétérogénéité des pratiques dans le monde. Étant donné la

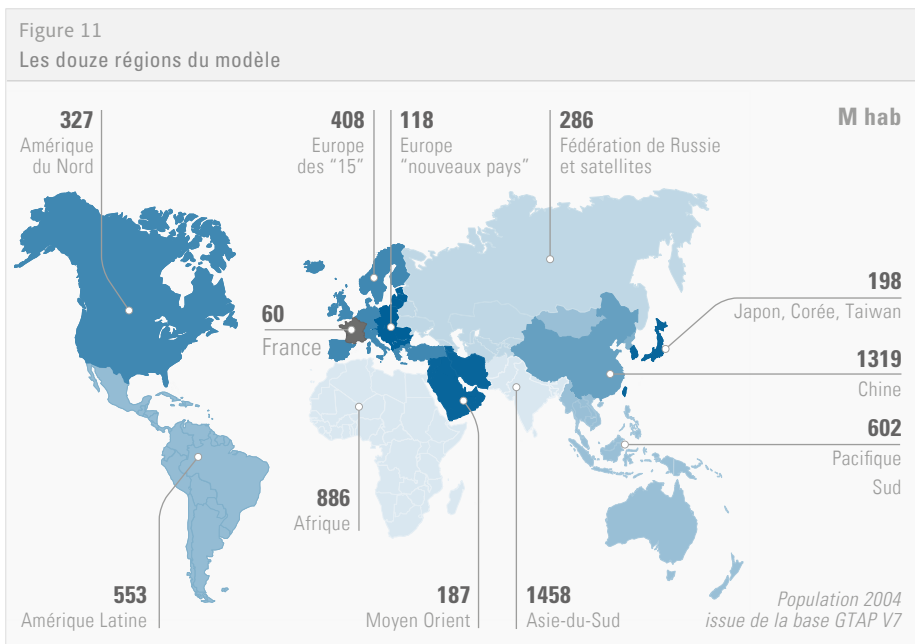


Tableau 2

Découpage régional retenu

EU 15	Pays de l'Europe « des 15 » (sans la France) avec Norvège, Suisse, Islande, Turquie *	Ex-URSS	Tous les anciens pays restant de l'ancien « bloc soviétique »
EU Nouveaux pays	Nouveaux pays entrants	Amérique Latine	Pays d'Amérique latine
Amérique du Nord	USA et CANADA	Afrique	Pays Africains
Japon, Corée, Taiwan	Japon, Corée du Sud et Tawain,	Moyen Orient	Pays du Moyen-Orient
Asie du Sud	Asie du Sud (sous continent indien)	Pacifique Sud	Asie-Pacifique Sud
Chine	Chine, Hong-Kong et Singapour	France	France

* Ces 4 pays ont été rajoutés au groupe "EU 15" car la structure de leur économie, et particulièrement leur flux bilatéraux, était plus proche de ce groupe que de celui "EU New" dont les transactions avec le groupe "Ex-URSS" sont dominantes.

Emprise énergétique mondiale

Nous présentons dans cette section les premiers résultats de l'étude à l'échelle mondiale et montrons la validité des ordres de grandeur obtenus. Il s'agit, dans un premier temps, de représenter les écarts entre l'emprise énergétique des grandes régions et l'énergie telle que mesurée conventionnellement. Les résultats obtenus ne sont pas définitifs et ont vocation à être affinés, mais les enseignements que nous en tirons sont stables. Contrairement aux données présentées plus haut, les résultats sont présentés en Gtep, reprenant la convention sur les secteurs de production de l'énergie. **F12**

Le monde a consommé 11,9 Gtep d'énergie en 2004. Une première constatation intéressante est le faible poids de la consommation d'énergie directe des ménages : moins d'un ¼ en y intégrant toute l'énergie non commerciale. L'énergie directe représente ainsi 2,9 Gtep (soit 33 000 milliards de kWh « primaires », soit un milliard de fois la consommation d'énergie directe du ménage français moyen), l'énergie grise 9 Gtep (soit

environ 100 000 milliards de kWh primaire), soit les ¾ de la consommation d'énergie totale. Cette énergie grise se répartit à peu près également entre les secteurs productifs de l'économie (54 %) et les secteurs producteurs d'énergie (46 %).

Structure de l'emprise à l'échelle des régions

Le modèle permet de constater, sans surprise, que par « région », le poids respectif de l'énergie directe dans les emprises baisse avec le niveau d'industrialisation. Le poids de l'énergie grise semble, naturellement, plus important dans les régions les plus développées. Mais cette observation doit être pondérée du fait que tout ce qui relève de l'économie informelle manque à l'analyse et qu'une partie des énergies non commerciales, intégrées à l'énergie directe, contribue certainement à de la production. Il faudrait pouvoir évaluer le poids de cette économie informelle pour faire une analyse plus pertinente. **T3 F13**

Figure 12
Emprise énergétique au niveau mondial en 2004



Figure 13

Décomposition de l'emprise énergétique en énergie grise et énergie directe

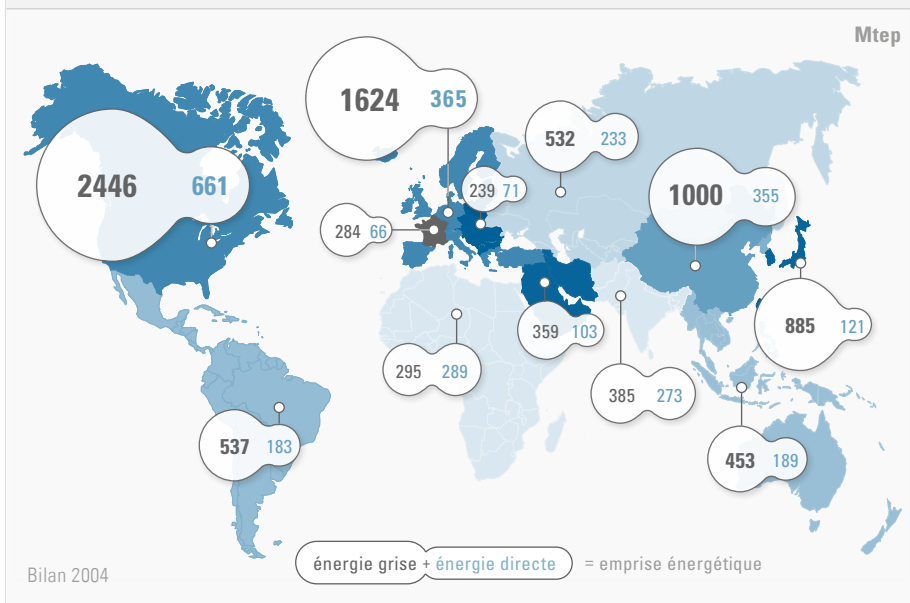


Tableau 3

Emprise énergétique selon les régions en 2004

Mtep	Emprise énergétique	Énergie grise	Énergie directe	Directe / emprise	Énergie non commerciale
EU 15	1 989	1 624	365	18 %	35
France	351	284	66	19 %	9
Eu nouveaux pays	310	239	71	23 %	13
Chine	1 354	1 000	355	26 %	217
Japon, Corée, Taiwan	1 006	885	121	12 %	2
Asie du Sud	657	385	273	42 %	202
Pacifique Sud	643	453	189	29 %	111
Amérique du Nord	3 057	2 446	611	20 %	49
Amérique Latine	720	537	183	25 %	68
Moyen Orient	462	359	103	22 %	1
Afrique	584	295	289	50 %	231
Ex URSS	764	532	233	30 %	4
Monde	11 898	9 039	2 859	24 %	942

Comparaison de l'emprise au bilan classique AIE

L'emprise énergétique des régions les plus économiquement développées est supérieure à leur consommation domestique. On obtient le résultat inverse pour les autres. **F14**

Le calcul de l'emprise met ainsi en évidence que les régions aux niveaux de vie les plus élevés externalisent une partie de leurs besoins en énergie dans des régions à niveau de revenus moins élevé. **F15**

La dimension exportatrice de la Chine apparaît clairement. Un quart de l'énergie utilisée sur son sol contribue à la satisfaction des consommations étrangères, lesquelles génèrent des emplois locaux, et donc de la consommation locale. La situation de l'Ex-URSS et du Moyen-Orient s'explique davantage par l'ampleur des ressources énergétiques locales plutôt que par l'exportation de produits manufacturés. **T4**

Ces détails permettent de voir que la France est à la fois plus importatrice de « contenus énergétiques » et plus exportatrice que le groupe « EU15 » pris en son ensemble. Au final, la consommation française est ainsi un peu moins tributaire des importations que les autres pays

européens (voir figure 15). Son emprise est de 24 % supérieure à son bilan classique, alors que l'écart atteint 33 % pour le groupe « EU15 ».

L'outil permet d'affiner les analyses en isolant la part des imports utilisés pour l'exportation.

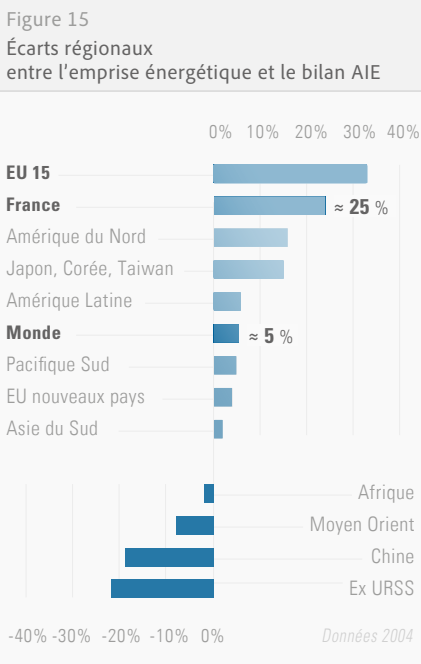
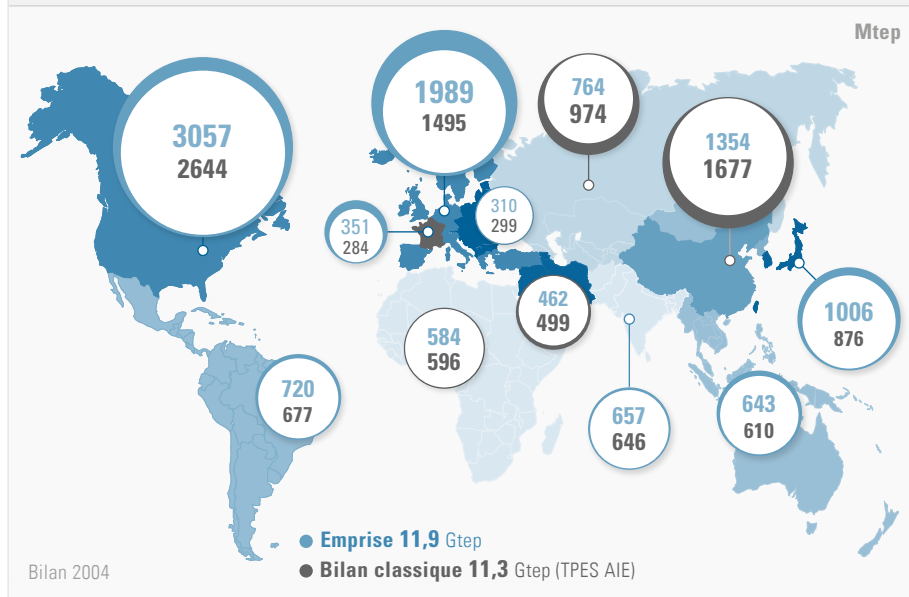


Figure 14
Comparaison des emprises avec les bilans classiques (AIE)



On voit ainsi qu'en Chine (« assembleur »), plus du tiers de l'énergie « grise » importée sert aux exports. **T5**
Ce bilan ne suffit pas pour établir le niveau de dépendance énergétique, car il ne tient

compte que des lieux de consommation énergétique et non de l'origine des ressources. Il fournit néanmoins un nouvel élément à ajouter à l'analyse usuelle des taux de dépendance.

Tableau 4

Poids relatifs des énergies grises importées et exportées par région

Mtep	Emprise énergétique	Imports		Exports		Import-Export	
		Imports ConsoDom	Imports /emprise	Exports « net »	Exports /emprise	« net »	/emprise
EU 15	1 989	696	35 %	254	13 %	442	22 %
France	351	134	38 %	70	20 %	64	18 %
EU nouveaux pays	310	87	28 %	85	27 %	2	1 %
Chine	1 354	167	12 %	586	43 %	- 419	-31 %
Japon, Corée, Taiwan	1 006	286	28 %	210	21 %	76	8 %
Asie du Sud	657	80	12 %	75	11 %	5	1 %
Pacifique Sud	643	156	24 %	161	25 %	- 6	- 1 %
Amérique du Nord	3 057	574	19 %	300	10 %	274	9 %
Amérique Latine	720	138	19 %	161	22 %	- 23	- 3 %
Moyen Orient	462	90	20 %	217	47 %	- 127	- 27 %
Afrique	584	82	14 %	110	19 %	- 28	- 5 %
Ex URSS	764	53	7 %	314	41 %	- 261	- 34 %
Monde	11898	2543	21 %	2543	21 %	0	0 %

Tableau 5

Part de l'énergie grise importée pour l'exportation par région en 2004

Mtep	Total énergie importée	Énergie importée puis exportée	Part exportée de l'énergie importée
EU 15	696	38	6 %
France	134	9	7 %
EU nouveaux pays	87	18	21 %
Chine	167	60	36 %
Japon, Corée, Taiwan	286	49	17 %
Asie du Sud	80	5	6 %
Pacifique Sud	156	46	30 %
Amérique du Nord	574	0	0 %
Amérique Latine	138	16	12 %
Moyen Orient	90	16	18 %
Afrique	82	8	10 %
Ex URSS	53	4	8 %
Monde	2 543	258	10 %

Évaluation des biais de la méthodologie utilisée

La comparaison des résultats du modèle (11 898 Mtep) avec le bilan énergétique GTAP corrigé (11 664 Mtep) fait apparaître un écart de 234 Mtep (2,0 %), reflet des biais méthodologiques limités.

Le modèle permet de reconstruire une représentation des productions d'énergie dans chaque région opposable au périmètre classique des bilans énergétiques. L'analyse régionale de cet écart donne une mesure du biais introduit par les simplifications des flux d'échanges bilatéraux expliquées au paragraphe relatif à la simplification des flux d'échanges bilatéraux (voir les détails de l'équation de Leontief en Annexe 7). On vérifie que, même à l'échelle régionale, le biais méthodologique reste faible, puisqu'il ne dépasse jamais 4 % (8,4 Mtep pour la France). **T6**

Une première piste pour réduire ce biais est de travailler avec les 56 secteurs de GTAP sans les agréger en macro-secteurs comme cela a été fait pour cet exercice afin d'alléger les temps de calculs. Une reconstitution précise et différenciée des flux d'échanges bilatéraux ne sera envisagée qu'ultérieurement.

Analyse des emprises par habitant

À l'échelle mondiale, l'emprise est de 1,86 tep par an et par habitant, soit 21 600 kWh primaires. L'emprise totale est en moyenne pour un Français de 6 tep par an, soit 70 000 kWh. Au-delà de ces résultats globaux, notre outil permet aussi une observation plus fine. L'emprise par habitant tient compte des différences démographiques très importantes entre les régions. Elle permet ainsi d'analyser les emprises par usage et d'envisager les différences de comportements des consommateurs. **F16**

Par rapport à la représentation classique, l'approche par l'emprise accentue clairement les écarts de niveau de consommation entre régions. En 2004, les parts d'énergie importée par habitant pour leur consommation dans les régions riches sont du même ordre que toute l'énergie nécessaire à la consommation par habitant des régions moins riches, Chine et Amérique latine comprises !

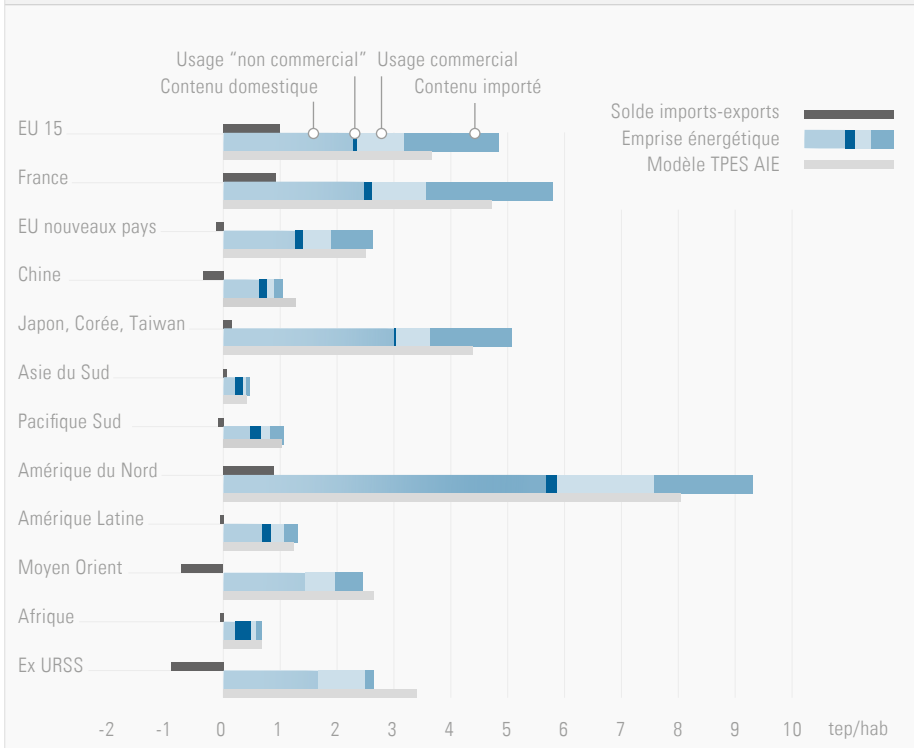
Pour aller plus loin dans l'analyse, il faudrait différencier cette emprise par usage, voire par groupe de population, mais l'entreprise est bien délicate à réaliser à l'échelle mondiale. L'intérêt d'un tel approfondissement sera développé dans le paragraphe suivant, pour le cas français.

Tableau 6
Écarts relatifs à la méthode

Mtep	GTAP recalé	Résultats du modèle	Ecart modèle-GTAP
EU 15	1 528	1 548	1,3%
France	278	286	3,0%
EU nouveaux pays	306	308	0,7%
Chine	1 711	1 773	3,6%
Japon, Corée, Taiwan	926	930	0,5%
Asie du Sud	641	652	1,7%
Pacifique Sud	643	648	0,8%
Amérique du Nord	2 725	2 783	2,1%
Amérique Latine	731	743	1,7%
Moyen Orient	576	588	2,2%
Afrique	603	612	1,5%
Ex URSS	995	1 025	3,0%
Monde	11 664	11 898	2,0%

Figure 16

Emprises énergétiques régionales par habitant versus bilan AIE par habitant en 2004



Emprise énergétique de la France

Dans cette partie, nous présentons dans le détail l'emprise énergétique de la consommation française globale. Nous identifions ainsi à quels endroits dans le système productif mondial sont consommées les énergies nécessaires à la satisfaction de la consommation finale en France. Ceci permet de mieux comprendre les flux d'énergie des circuits économiques français et mondial contribuant à l'emprise énergétique des ménages. Ce « zoom » sur la France doit aussi nous permettre d'aller au-delà des grandes moyennes, qui ne sont pas révélatrices de toutes les évolutions de comportement et des disparités entre les groupes de population.

Les données économiques par pays utilisées par l'outil de calcul développé, les TES de GTAP, sont globales, donc indifférenciées.

Pour pouvoir les différencier par groupe de population et fonctions de consommation, ce qui sera fait dans la partie 3, il faut donc croiser ces données avec des informations plus individualisées, résultats d'enquêtes détaillées auprès des ménages.

Pour mener ces analyses plus fines sur la consommation française, il fallait réconcilier les structures de la base de données GTAP avec celles de l'Insee. Afin de pouvoir hybrider les résultats avec les données d'enquêtes françaises, nous avons créé des correspondances entre le découpage de GTAP et celui de la comptabilité nationale (NES 118) à partir duquel les fonctions de consommation sont construites.

En termes de consommations directes d'énergie par les ménages, nous avons remplacé les

valeurs GTAP par celles issues des statistiques nationales car elles se prêtaient mieux aux analyses que nous souhaitions faire¹⁶. En divisant l'emprise nationale par le nombre total de ménages français (27,5 millions), on obtient ainsi une première emprise énergétique par ménage. **F17**

L'énergie grise de la consommation des ménages français

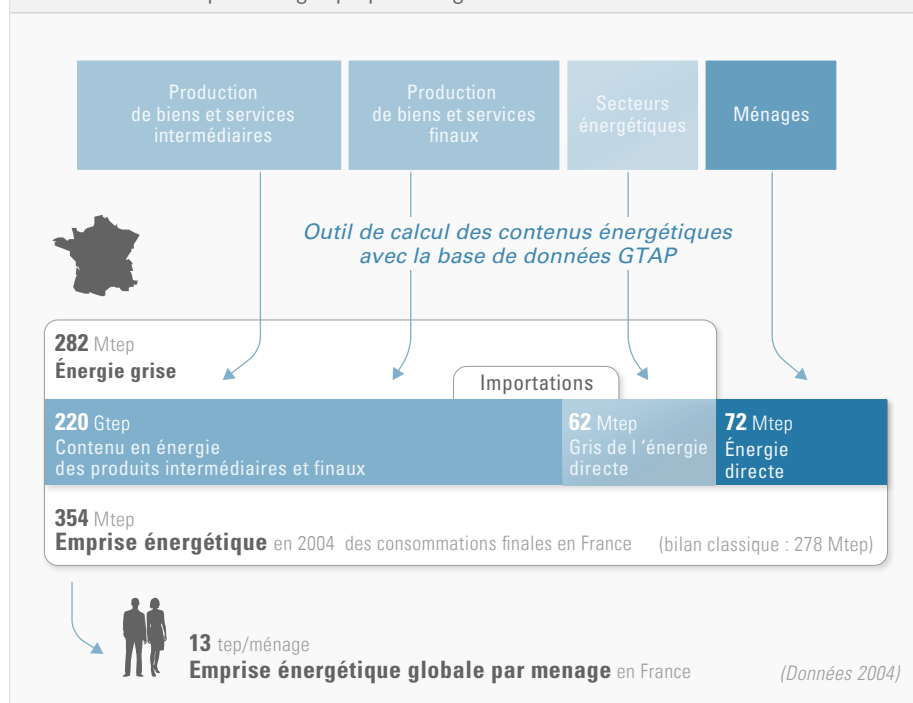
Cette emprise énergétique « globale » par ménage reste assez délicate à analyser, d'abord parce qu'elle ne différencie pas les ménages entre eux, ensuite parce qu'elle intègre des consommations qui ne sont pas toutes directement attribuables aux seuls ménages. Nous avons choisi cette représentation, qui est assez courante, pour les consommateurs. Souvent, on utilise une unité

de consommation (UC) normalisée qui prend en compte les effets d'échelle des besoins de consommation selon que l'on vit seul ou pas, avec plus ou moins d'enfants ; il aurait été aussi possible de faire une étude par habitant. Bien sûr, les valeurs changent selon l'unité de consommation choisie, mais toutes sont légitimes selon le type d'analyses ou comparaisons souhaitées ; il faudra peut-être en imaginer de nouvelles pour l'énergie.

La comptabilité nationale retient sur le territoire français le découpage suivant : d'un côté la production (ou « ressources »), de l'autre, la demande (ou « emplois »).

Dans la production, on retrouve tous les secteurs productifs (agriculture, industrie, secteur énergie, entreprises, services privés et publics, etc.) présents tant sur le territoire que dans les pays d'importation. Ce secteur productif est classiquement différencié selon

Figure 17
Construction de l'emprise énergétique par ménage en France en 2004



16 L'information dans la base GTAP ne permet pas de différencier le fioul des carburants automobiles. Nous avons donc choisi d'utiliser les données statistiques du ministère en charge de l'Énergie (SOeS) et de les « hybrider » avec les informations énergétiques GTAP. L'énergie d'usage passe ainsi de 66 Mtep à 72 Mtep côté SOeS, ce qui ajoutera 6 Mtep (6,2) à l'emprise.

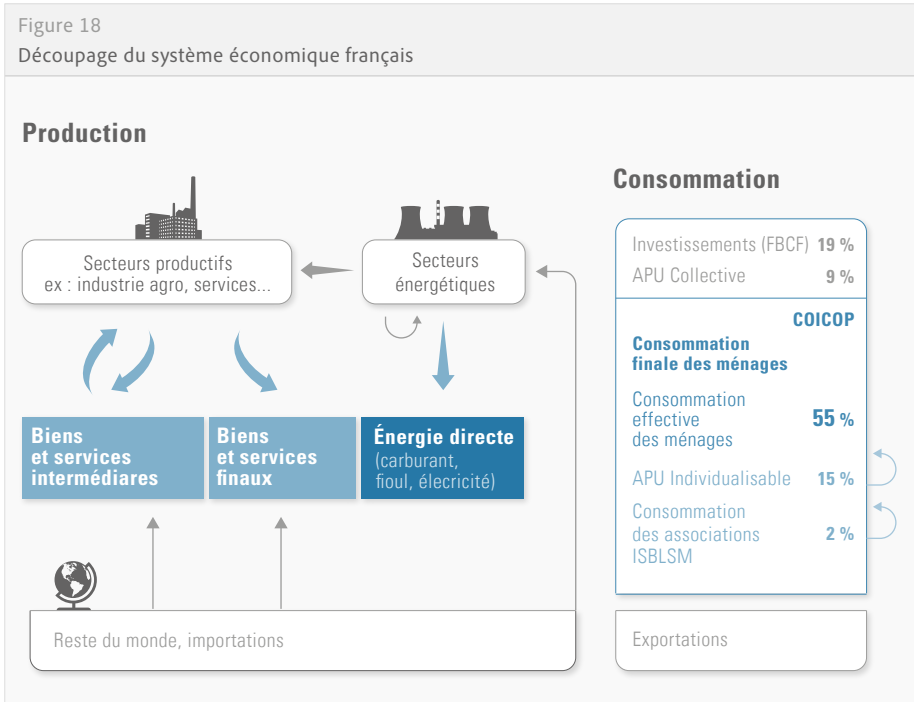
que ces produits sont utilisés directement par les consommateurs finaux ou par d'autres secteurs productifs domestiques.

La demande domestique finale se découpe en 4 composantes principales : la demande des ménages, celle des administrations publiques (APU), celle des institutions sans but lucratif de services aux ménages (ISBLSM) et de la formation brute de capital fixe (FBCF), qui correspond à l'investissement. À cette demande domestique vient s'ajouter celle des exports qui induisent des consommations sur le territoire. **F18**

Dans les comptes nationaux, la consommation des ménages est présentée selon deux approches : les dépenses de consommation finale, si on se limite à ce qui est payé directement par les ménages ; ou la consommation effective, si on y ajoute ce qui leur est fourni par les APU et ISBLSM. Souvent lorsqu'on parle de la consommation des ménages, il s'agit seulement de celle correspondant à leurs dépenses réelles, sans les transferts. Cette pratique peut induire des écarts

importants, notamment lorsqu'on observe des poids budgétaires par quintile de revenu. Dans cet exercice, nous avons construit une emprise de la consommation effective des ménages. Il faut bien avoir conscience que cette reconstruction n'est pas simple¹⁷, même si elle fait d'autant plus sens que l'on veut mener des comparaisons internationales. De ce fait, à ces deux notions de consommation sont associées deux notions du revenu : le revenu disponible et le revenu disponible ajusté. Le revenu disponible ajusté est égal au revenu disponible auquel on ajoute les transferts sociaux en nature.

Dans le revenu disponible sont inclus des revenus « imputés », qui ne correspondent pas à une dépense réelle mais représentent une dépense « évitée ». Par exemple, les loyers « imputés » correspondent aux loyers que devraient acquitter les propriétaires de logements s'ils étaient locataires. Cette convention de la comptabilité nationale permet d'identifier des champs de la consommation qui n'apparaissent pas directement dans les



17 Nous avons pu nous appuyer sur une étude Insee : « Une décomposition du compte des ménages de la comptabilité nationale par catégorie de ménage en 2003 » (in BELLAMY *et al.*, 2009).

flux monétaires. L'investissement immobilier, qui est considéré comme du patrimoine, n'apparaît ainsi pas au niveau de la consommation, mais dans la FBCF. On peut considérer qu'on a ainsi une « valeur annualisée » du prix de constitution du bien. Reste, bien sûr, la question de savoir si la valeur immobilière est bien représentative des coûts de « fabrication/construction », mais cela nous renvoie à la question délicate de la juste prise en compte des effets prix pour l'évaluation d'une quantité matérielle. Cette difficulté sera évoquée dans la partie 3.

La consommation finale des APU distingue, elle-même, des dépenses de consommation finale individualisable (celle dont le consommateur effectif est identifiable individuellement : santé, éducation) et des dépenses de consommation collective (fonctions régaliennes de l'administration : justice, défense, police, etc.).

Pour passer de la dépense de consommation finale des ménages à la consommation effective, il faut donc lui ajouter la part individualisable des APU et les ISBLSM. L'exercice n'est pas simple, mais il a déjà été effectué par l'Insee (BELLAMY et al., 2009). Nous nous appuyons ici sur leurs résultats. **E5** La FBCF est, elle, difficile à rattacher de façon précise aux ménages. Elle apparaît dans les TES de la comptabilité nationale comme un bloc à part, regroupant les investissements

par produits et non par investisseurs (ménages et secteurs productifs sont donc indifférenciés). Une voie d'amélioration serait d'obtenir un tableau de formation de cette FBCF, qui permettrait de mieux la répartir entre les différents secteurs. Il nous faudrait voir avec l'Insee, pour des développements ultérieurs, si un tel tableau existe déjà. Ce point doit être approfondi de toute façon pour corriger un éventuel double comptage avec les loyers fictifs.

Dans notre exercice, c'est la consommation effective des ménages que nous suivrons. La FBCF et la part collective des APU (intitulée APU lorsqu'il y a la consommation effective) sont laissées de côté ; il serait aussi possible de les ramener de façon homogène à chaque ménage.

On peut alors décomposer l'emprise énergétique française, bien isoler la consommation effective des ménages, et la différencier d'autres composantes de la consommation nationale comme la FBCF, les APU etc. **F19**

On constate que la consommation effective des ménages représente 84 % de l'emprise énergétique française en 2004 ; laquelle se répartit entre l'énergie grise (63,24 %) et l'énergie directe (20 %). La FBCF et les APU (collectifs) recouvrent les 16 % restants.

Près de la moitié de l'énergie grise est importée. Ces importations se répartissent presque également entre les consommations intermédiaires

Encadré 5

Prise en compte de la différence de consommation selon les groupes de population (étude Insee)

Pour passer des dépenses monétaires aux empreintes physiques et afin d'évaluer les emprises des différentes catégories de ménage, il faut opérer un croisement entre l'approche macro-économique de la comptabilité nationale avec des analyses micro-économiques de consommations et mettre en cohérence ces informations. Pour réaliser cela, nous avons pu nous appuyer sur une étude publiée en 2009 par l'Insee : « Une décomposition du compte des ménages

de la comptabilité nationale par catégorie de ménage en 2003 » (BELLAMY et al., 2009). Elle présente les données de consommation finale, de transferts sociaux en nature et de consommation effective structurées par fonction de consommation des ménages. Dans cette étude, les données suivantes ont été croisées et mises en cohérence : les tableaux Entrées-Sorties (TES), le compte des ménages du Tableau économique d'ensemble (TEE) et les 5 enquêtes suivantes : Statistiques sur les ressources et les conditions de vie des ménages (SRCV), Revenus fiscaux (ERF), Budget de famille (BdF), Enquête logement (EL) et Enquête santé (ES). Nous nous

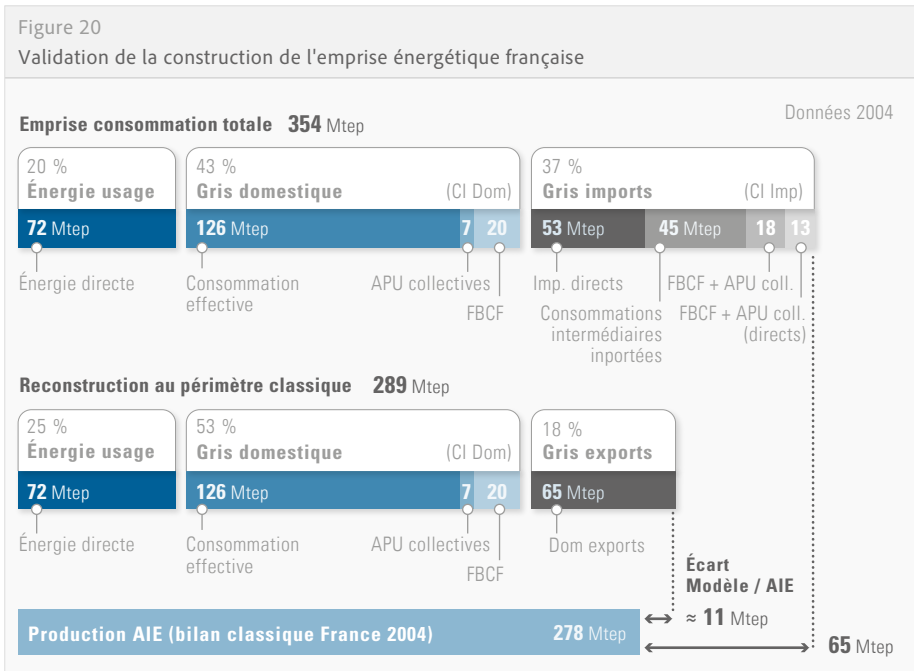
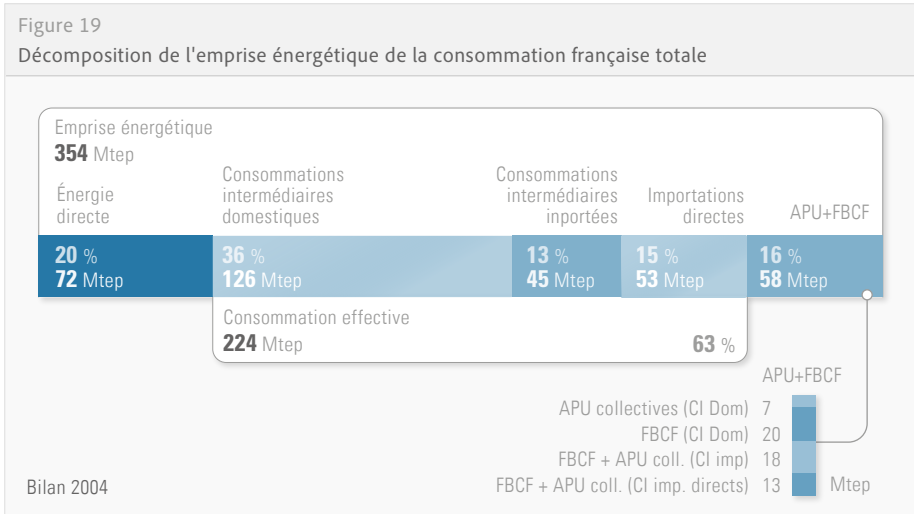
sommes donc appuyés sur ce précieux travail de ventilation. Les données de consommation des ménages sont issues principalement de l'Enquête budget de famille 2006. Pour faciliter la comparaison entre indicateurs, les chiffres sont, pour la plupart, ceux des années 2003 à 2005. L'énergie grise est calculée sur la base des données 2004, faute de données plus récentes disponibles.

En ce qui concerne les consommations directes d'énergie, qui n'apparaissent pas différenciées dans l'étude Insee, nous avons leur avons appliqué la même différenciation que celle constatée sur l'enquête BdF 2005.

(« imports dans CI » = 13 %) et les imports directs (« imports directs » = 15 %) pour une énergie grise domestique (« consommation effective») qui représente 36 % de l'emprise nationale.

Puis, nous avons ensuite validé la reconstruction du bilan énergétique que permet l'élaboration de l'emprise. Pour cela, nous nous sommes ramené au périmètre classique des bilans « production » à partir de l'emprise.

Nous avons retiré à cette dernière les composantes importées et ajouté le contenu des exports. On obtient ainsi 289 Mtep, soit un écart de 11 Mtep avec la valeur origine du bilan GTAP-AIE, qui correspond bien à la somme du biais de modélisation de l'outil « emprise-GTAP » (8,4 Mtep, voir section « Évaluation des biais de la méthodologie utilisée », p. 30) et du changement de la valeur de l'énergie directe (6,2 Mtep). **F20**



On peut donc conclure que l'élaboration de l'emprise ainsi que la reconstitution aux formats Insee n'a pas induit de déformation sur les bilans énergétiques globaux, *a minima*.

On constate par ailleurs que la part import « nette » (importations brutes — exportations) représente 22 % (65/289) du bilan classique de la production énergétique sur le sol français, ou 18 % de l'emprise. Si on ajoute ces 65 Mtep aux 130 Mtep environ d'importations « nettes » d'énergie directe en 2004, la dépendance énergétique de la France s'alourdit.

Origines de l'énergie grise de la consommation finale des ménages français

Au-delà de cette décomposition, il est intéressant d'essayer d'identifier comment se constitue cette consommation finale française. On peut ainsi savoir à quels endroits sur la chaîne de production mondiale de l'énergie a été consommée pour satisfaire la demande des consommateurs finaux.

Pour cela, nous avons partagé l'ensemble de l'appareil productif mondial en 8 « macro-secteurs » productifs. Pour ne pas alourdir l'analyse et les temps de calcul, nous avons regroupé différents secteurs productifs décrits dans GTAP qui nous semblaient avoir des activités relativement comparables. [T7](#)

En ajoutant un poste pour l'énergie directe consommée par les ménages, on obtient la répartition de l'énergie utilisée dans le monde pour satisfaire la consommation française ventilée entre ces différents secteurs. [F21](#)

Le secteur « énergie » est un cas particulier. Sa consommation correspond à l'énergie perdue lors de la conversion des ressources primaires aux vecteurs finaux, à laquelle s'ajoute l'énergie consommée par le secteur pour sa construction et son fonctionnement.

On constate ainsi que plus d'un tiers (38 %) de l'énergie nécessaire à la satisfaction de la consommation des ménages est consommée pour élaborer, à partir des ressources primaires, les vecteurs énergétiques utilisés ensuite par les secteurs productifs.

L'énergie directe couvre 20 % de l'emprise. Elle regroupe l'énergie résidentielle des ménages et celle que ceux-ci achètent pour se déplacer, essentiellement le carburant.

Figure 21
Origines de l'emprise énergétique française en 2004 par secteur

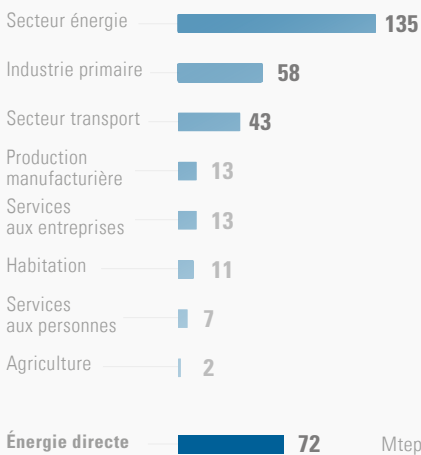


Tableau 7
Macro-secteurs d'analyse de la consommation

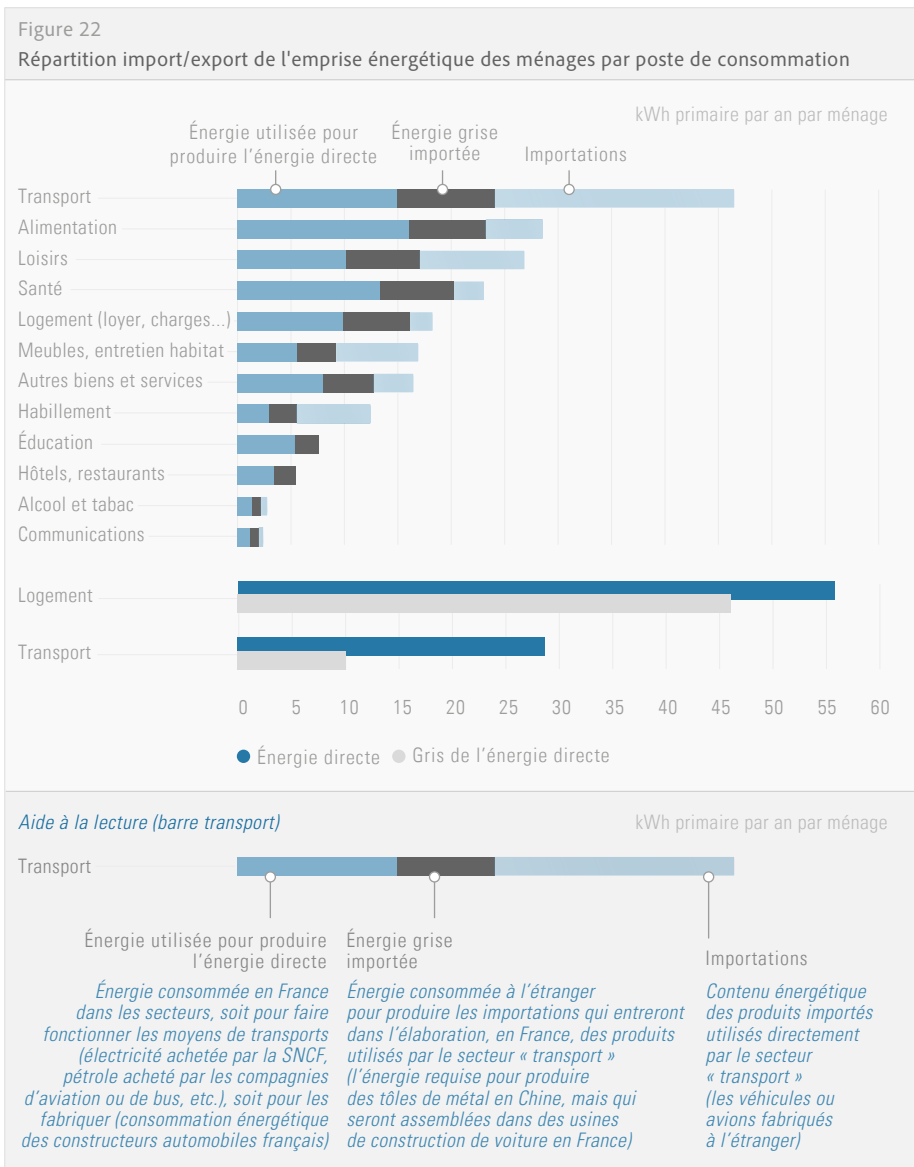
Macro-secteurs	Description des secteurs regroupés
Énergie	Producteurs d'énergie et <i>utilities</i> (pour secteurs productifs et ménages)
Secteurs « transport »	Entreprises de transports routières, ferroviaires, maritimes et aériennes
Industrie	Mines, métallurgie et chimie
Produits manufacturés	Équipements ménagers, électroniques, transports, textiles, produits média, etc.
Services aux entreprises	Sociétés de services diverses : commerciales, marketing, communications, etc.
Services aux personnes	Services/administrations publiques, services culturels et éducatifs, etc.
Habitation	Construction, travaux publics, agences immobilières et loyers (« GTAP »)
Agriculture	Agriculture et alimentation

Les deux autres « macro-secteurs » gros consommateurs sont, sans surprise :

- le secteur des industries primaires (16 %), parmi lesquelles figurent les industries grosses consommatrices d'énergie, telles que les aciéries ou les usines chimiques etc.,
- le secteur des entreprises de transport (des personnes et marchandises) (12 %), dont la consommation directe d'énergie est bien sûr importante. On y retrouve, par exemple, la SNCF, Air France ou la SERNAM ; l'énergie

consommée directement par les ménages pour leur mobilité n'y apparaît pas.

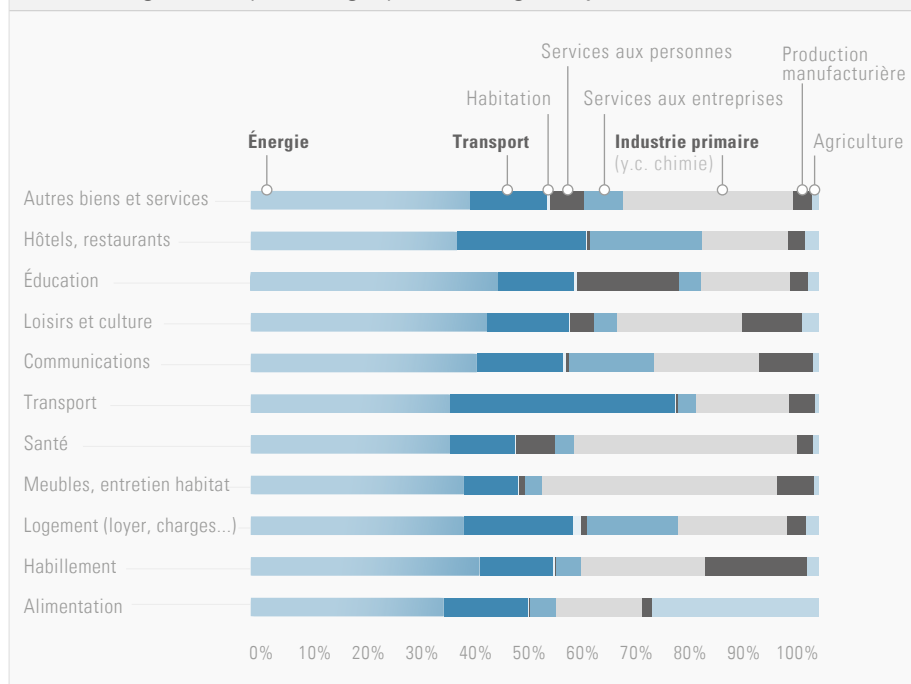
La méthode permet aussi de faire une analyse des emprises en fonction des différents postes de la consommation effective des ménages. Sans entrer dans le détail de l'analyse par poste, objet de la partie suivante, on peut d'ores et déjà voir comment se répartit la dépendance aux importations par poste de consommation. Pour cette analyse, on ne considère pas les énergies directes des ménages. **F22**



L'économie française importe en grande quantité de l'énergie grise du reste du monde (1/3 de son empreise énergétique). Mais ce rapport n'est pas stable sur tous les postes de consommation : certains importent plus d'énergie grise qu'ils n'en brûlent sur le territoire national, et ce n'est pas toujours ceux auxquels on penserait en premier. En effet, l'analyse du contenu énergétique des postes

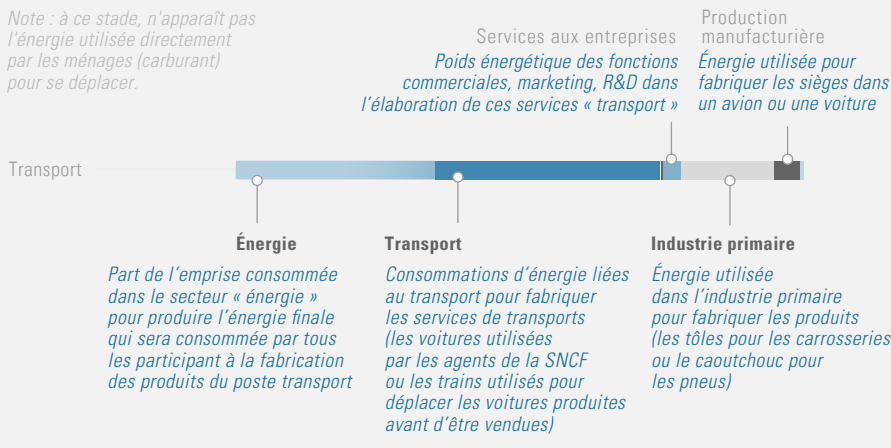
de consommation permet de rendre compte de la réalité physique d'une économie tertiaire. Ainsi, les postes « loisirs et culture » et « santé » représentent les troisième et quatrième postes les plus consommateurs en énergie grise, après le transport et l'alimentaire. La santé arrive ensuite. La santé et les loisirs sont souvent considérés comme les symboles d'une économie de services.

Figure 23
Secteurs d'origine des emprises énergétiques des ménages français en 2004



Aide à la lecture (barre transport)

Note : à ce stade, n'apparaît pas l'énergie utilisée directement par les ménages (carburant) pour se déplacer.



Penser que ces dépenses sont plus dématérialisées que les autres serait trompeur : elles *activent* des secteurs d'origine industrielle et de l'énergie grise associée.

Pour le secteur du transport¹⁸, la part d'énergie grise importée représente les 2/3 du total. Ce résultat bouleverse les ordres de grandeurs des bilans énergétiques français habituels, pour lequel la part d'énergie directe pour le transport est en général plus importante que la partie énergie grise. Ce n'est guère surprenant en fait : les importations d'acier, de composants de voiture, de voitures assemblées ont un fort contenu énergétique. Si on ajoute le pétrole importé, la dépendance de l'activité « transport » des ménages français devient considérable.

On peut faire le même constat sur le poste loisirs et culture, où les importations de machines de jeux vidéo, d'appareils photos ou d'imprimantes ont elles aussi un fort contenu en énergie. D'autres postes, comme la santé ou l'agriculture, ont un contenu en énergie grise élevé, mais celui-ci est issu des industries sur le territoire et n'a pas été consommé à l'étranger. Alors que la production de médicaments tend à se délocaliser, on peut se demander pour combien de temps encore les dépenses en santé utiliseront davantage d'énergie grise issue du territoire national.

On ne sera pas surpris que poids énergétique des importations soit beaucoup plus important pour l'habillement, les loisirs/culture que pour l'alimentation.

Origines de l'énergie grise de la consommation par poste des ménages français

La répartition des secteurs productifs, origines des emprises par poste de consommation, est elle aussi révélatrice. **F23**

On constate que la part de l'énergie requise pour produire les différents services consommés par les ménages est stable sur les différents postes (environ 1/3) : cette relative stabilité transcrit le fait que l'énergie consommée

sur les différents postes vient du même système énergétique, et est donc soumise aux mêmes contraintes d'efficacité et de rendement. Les variations entre postes traduisent la part plus ou moins importante de l'utilisation de l'électricité par rapport aux autres vecteurs.

De même, la part de l'emprise énergétique due au secteur des entreprises de transport est relativement constante (à l'exception du poste dépenses de transport). Elle est toujours supérieure à 10 % (entre 10 % et 23 %). Ceci est révélateur du rôle systémique du transport dans nos économies ; l'énergie grise associée au transport dépend plus du volume de dépenses (quantité de biens ou services consommés) que du type de dépenses.

Cette ventilation rend également compte du poids plus important des services à la personne pour l'éducation ou la santé, ou de l'importance relative de la production manufacturière pour l'habillement.

Ce sont là des points de vue nouveaux pour lesquels des analyses plus fines demanderaient plus de temps, mais qui ouvrent bien des perspectives. Des comparaisons inter-régionales seraient certainement très instructives également.

¹⁸ Qui ne prend pas en compte l'énergie consommée directement par les ménages pour le transport.

Emprise énergétique selon le niveau de vie

Jusqu'à présent, nous avons traité l'emprise énergétique des ménages à travers des valeurs moyennes. Mais le débat public sur les politiques énergétiques se cristallise autour des enjeux d'équité et d'inégalités entre les ménages. La taxe carbone en France a été rejetée par l'opinion publique, en grande partie parce qu'elle était perçue comme une taxe régressive, touchant davantage les ménages ruraux et modestes (Sénit, 2012). Ceci invite à se poser la question des consommations d'énergie en lien avec celle de la répartition des revenus. C'est d'ailleurs dans cette logique que l'Insee développe ses activités depuis le rapport Stiglitz-Sen de 2009 sur la mesure du bien-être.

De nouveaux indicateurs sont développés, prenant en compte différentes catégories de ménages, au-delà de l'individu moyen. Mais en matière d'empreinte environnementale¹⁹ des différents niveaux de vie, les connaissances et les données manquent encore grandement. De nombreuses études se sont intéressées aux niveaux des consommations d'énergie selon le revenu, mais la plupart se limitent à l'énergie directe.

Pour contribuer à ce débat, nous présentons ici les résultats de l'emprise énergétique des ménages français selon leur niveau de revenu et les commentons en mobilisant des études sur les dépenses monétaires.

Emprise énergétique des ménages par quintile de revenu

La variation de l'emprise énergétique en fonction des niveaux de revenu et du niveau des dépenses des ménages va nous permettre de tester plusieurs hypothèses et de mieux en comprendre les déterminants. Afin d'affiner encore cette analyse, nous allons ensuite nous intéresser très précisément à l'emprise énergétique par poste de dépenses pour les quintiles 1 et 5.

La représentation des emprises énergétiques par quintile montre sans surprise une augmentation de l'emprise avec celle des revenus. Le premier quintile consomme un total de 200 kilowattheure primaires par jour (6,3 tep/an) et par ménage, contre 504 kilowattheure primaires/jour/ménage (15,8 tep/an) pour le dernier quintile, soit un facteur 2,5 entre les deux. **F24**

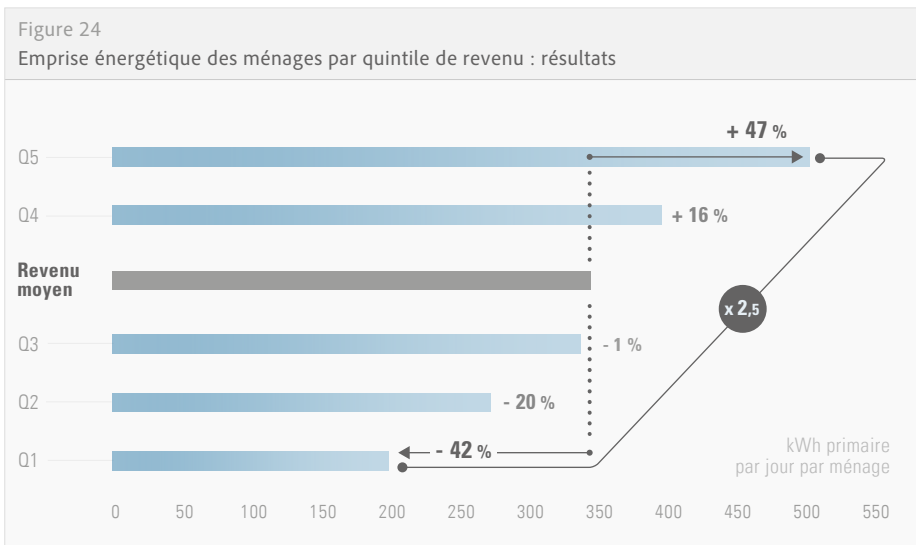
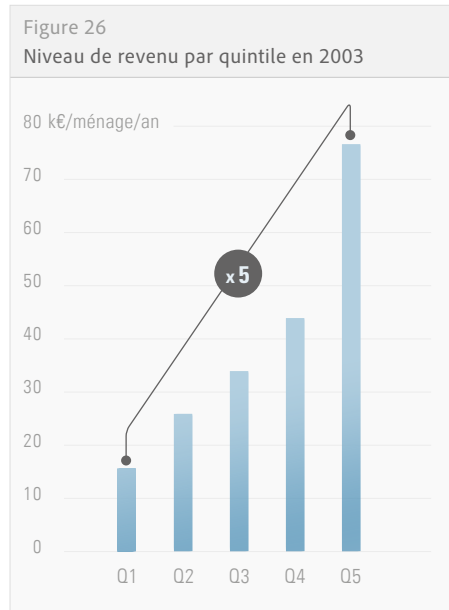
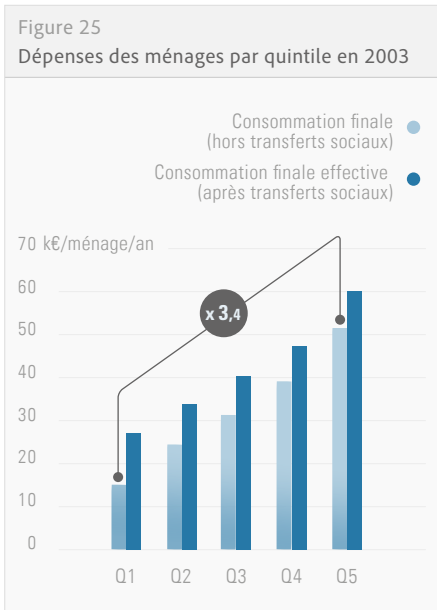
¹⁹ L'empreinte environnementale, par opposition au terme emprise énergétique utilisé spécifiquement pour ce travail, doit être comprise en sens large comprenant non seulement l'énergie (carbone, matières), mais d'autres types de ressources, et pouvant être calculée selon différentes méthodes.

Cet écart peut être comparé aux écarts de niveau de revenu et de dépenses des ménages. En 2003, les écarts de niveau de revenu entre les quintiles 1 et 5 étaient d'un facteur 5, les dépenses de consommation hors transferts sociaux d'un facteur 3,4 et les dépenses avec transferts sociaux d'un facteur 2,2. [F25](#) [F26](#)

Deux effets expliquent les écarts observés : l'effet *volume* (les ménages aisés ont un volume de consommation plus élevé) et l'effet *structure* (le panier de consommation des

ménages aisés est, indépendamment du volume, plus énergivore).

En effet, si l'on compare ces résultats à ce qu'on aurait obtenu avec des « paniers de consommation » non différenciés (où l'on supposerait que pour chaque quintile de revenu, la répartition est identique à celle du ménage moyen), on constate une accentuation des écarts. Ceci indique que les paniers de consommations des ménages modestes sont constitués de produits moins énergivores que

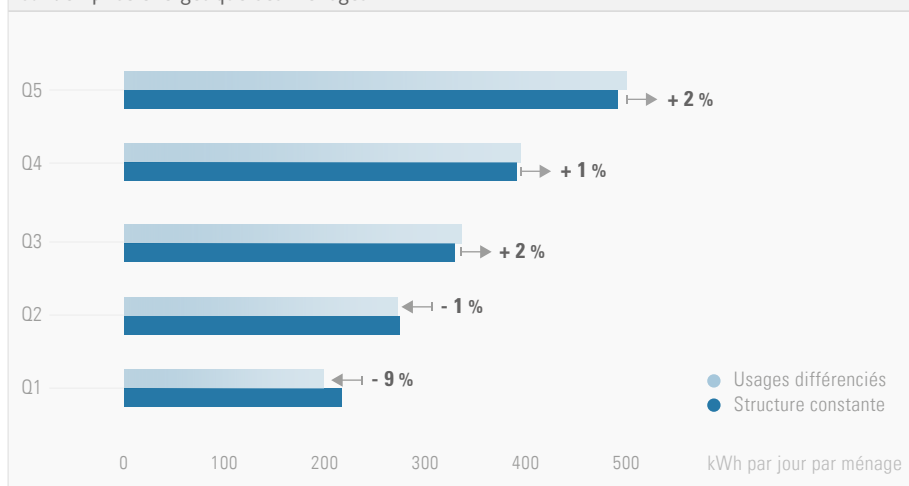


ceux des ménages aisés. En d'autres termes, le contenu énergétique des dépenses des ménages par euro dépensé progresse avec le revenu. **F27**

Nous pouvons quantifier le poids relatif de l'effet de structure sur l'écart d'empreinte énergétique entre ménages modestes et ménages aisés (Q1 et Q5) en observant l'écart entre des ménages pour lesquels on suppose une structure de consommation constante quel que soit le revenu (barres en bleu foncé sur la

figure 27) et en le comparant à des ménages aux structures différenciées (barres en bleu clair). L'effet structure de consommation explique 17 % de l'écart observé, alors que l'effet volume consommé explique la plus grande partie, soit 83 %²⁰. Une analyse par poste de consommation permet de comprendre en quoi les paniers de consommation varient entre quintiles et pourquoi cela conduit à creuser l'écart entre l'empreinte énergétique des ménages du Q1 et du Q5. **E6**

Figure 27
Effet de la variation de la structure de consommation effective sur l'emprise énergétique des ménages



Encadré 6
Les mesures
de niveau de vie :
définitions

Le niveau de vie, selon la définition de l'Insee, est le revenu disponible divisé par le nombre d'unité de consommation.

Les unités de consommation sont un système de pondération attribuant un coefficient à chaque membre du ménage et permettant de comparer les niveaux de vie de ménages de taille ou de composition différentes.

Le revenu disponible d'un ménage comprend les revenus d'activité, les revenus du patrimoine, les transferts en provenance d'autres ménages et les prestations sociales (y compris les pensions de retraite et les indemnités de chômage), nets des impôts directs.

La consommation finale des ménages correspond aux dépenses que les ménages supportent directement. Elle comprend la part des dépenses de santé, d'éducation, de logement restant à leur charge après remboursements éventuels. Elle inclut les loyers imputés, l'équivalent de loyer que les propriétaires se versent à eux-mêmes.

La consommation effective des ménages inclut tous les biens et les services acquis par les ménages résidents dans un pays donné pour la satisfaction de leurs besoins, que ces acquisitions aient fait, ou non, l'objet d'une dépense de leur part. Elle comprend donc, en plus des biens et des services acquis par eux-mêmes, ceux qui donnent lieu à des transferts sociaux en nature de la part des administrations et institutions sans but lucratif vers les ménages (dépenses d'éducation et de santé pour l'essentiel, mais aussi de culture, d'aides au logement, etc.).

20 Le rapport inter-quintile (Q5/Q1) est de 2,7 pour les quintiles à structure de consommation différente et de 2,3 pour les quintiles à structure de consommation identique.

Structure de l'emprise énergétique par poste et par quintile de revenu

La structure des dépenses monétaires par poste et l'emprise énergétique par euro dépensé de chaque poste permettent d'expliquer la croissance plus rapide de l'emprise énergétique des ménages par rapport à leurs dépenses. Ces mécanismes sont illustrés ci-après avec les résultats de l'emprise énergétique par poste et par quintile. L'ensemble de cette analyse repose sur l'hypothèse que le contenu énergétique de chaque poste par euro dépensé est identique quel que soit le niveau de revenu du ménage. Nous discuterons en dernier lieu cette hypothèse et de l'intérêt d'analyses plus poussées pour évaluer les écarts d'emprise énergétique d'un euro dépensé par poste selon les différents quintiles.

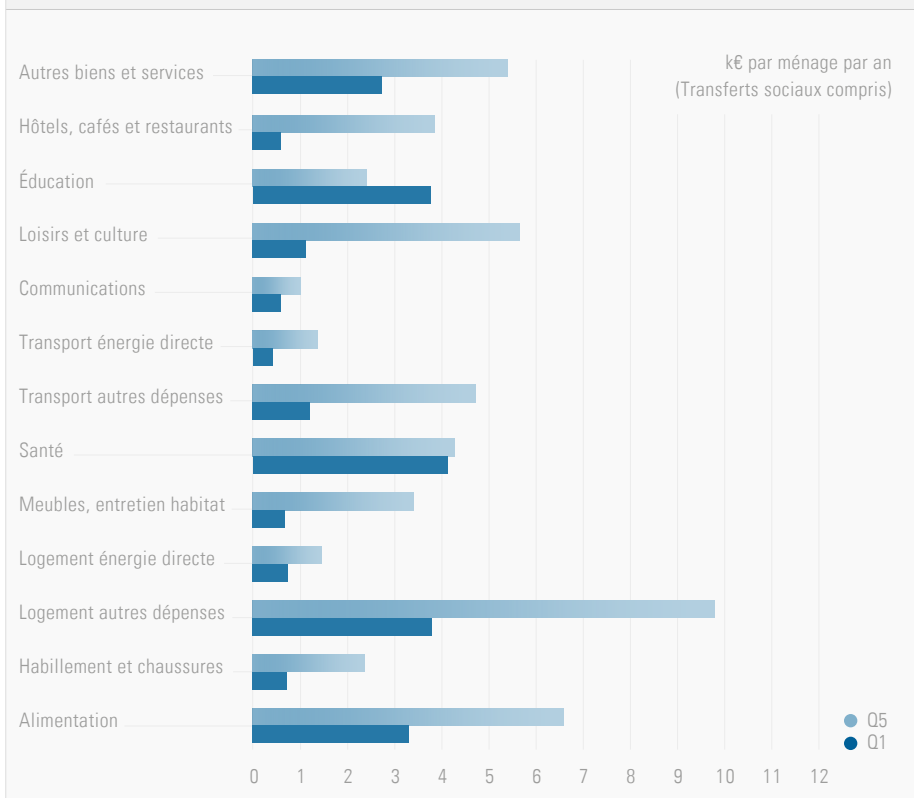
Structure des dépenses monétaires par poste et empreinte énergétique unitaire de chaque poste

La consommation effective des ménages varie de près de 27 000 euros par an et par ménage pour le quintile 1 à près de 60 000 euros/an pour le quintile 5 (en 2004). Avec la hausse du revenu, les niveaux de dépenses par poste évoluent fortement. **F28**

L'éducation, constituée essentiellement de transferts sociaux, est le seul poste de dépense qui évolue inversement au revenu. Les postes pour lesquels les dépenses croissent en valeur absolue plus vite que le revenu (entre Q1 et Q5) sont le poste *hôtels, cafés, restaurants* (facteur 6,9), les postes

Figure 28

Niveaux de dépenses monétaires par poste pour les quintiles de revenu 1 et 5



loisirs/culture et *meubles/entretien habitat* (facteur 5), les *transports* et *l'habillement* (facteurs 3,9 et 3,5), enfin le *logement* (2,5). Au sein de ces grands postes, les variations peuvent être importantes. Souvent les achats de biens durables croissent au moins autant que le revenu, alors que les écarts entre les dépenses d'usage sont nettement moins marqués. Par exemple, le poste *communications*, constitué principalement de forfaits de téléphone et d'accès à Internet, évolue moins vite que le revenu (facteur 1,8). En revanche, les achats d'équipements informatiques, TV et autres produits bruns progressent d'un facteur 3,5 entre le Q1 et le Q5. Les loyers des logements (effectifs ou imputés pour les propriétaires, transferts sociaux inclus) évoluent d'un facteur 4,5, alors que les dépenses d'énergie ne progressent que d'un facteur 1,6. Les achats de véhicules progressent d'un facteur 6,7 alors que les dépenses d'usage (réparations et carburants) n'enregistrent un écart que de 2,2 entre les quintiles 1 et 5.

Il est à souligner qu'on ne constate pas de phénomène de saturation des dépenses avec la hausse du revenu sur la plupart des postes de dépenses, à l'exception de l'éducation et de la santé (qui bénéficient de transferts sociaux importants) et du poste *communications*. Cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas saturation des contenus matières et énergétique de ces dépenses liée aux effets prix. En effet, les ménages aisés peuvent acquérir des biens et services à des prix plus élevés (qualité supérieure ou produits de luxe) sans que le contenu énergétique change forcément. Nous reviendrons sur cette question ultérieurement.

Pour comprendre la raison pour laquelle l'emprise énergétique des ménages croît plus vite que la hausse des dépenses des ménages entre les quintiles 1 et 5, l'évolution du panier de consommation doit être analysée au regard de l'emprise énergétique unitaire de chaque poste, présentée dans le tableau 8 ci-après. Les chiffres indiqués sont les résultats de la méthodologie présentée en seconde partie. **T8**

Notons tout d'abord que les dépenses énergétiques directes pour le logement et le transport présentent une part relativement stable entre les quintiles 1 et 5. Or ce sont les deux postes dont l'emprise énergétique unitaire est la plus élevée et qui concourent donc à une croissance au même rythme de l'emprise énergétique des ménages et de celle de leurs dépenses totales.

Les postes de dépenses dont la part diminue entre le quintile 1 et le quintile 5 ont pour la plupart une empreinte énergétique unitaire faible au regard de l'emprise unitaire moyenne des dépenses des ménages qui est de 2,9 kWh/euro. Ces postes concourent donc à réduire l'emprise énergétique des ménages du Q1, relativement à ceux du Q5 :

- Les postes *éducation* et *santé* représentent une part très importante de la consommation des ménages modestes, soit à eux deux 34 % de la consommation finale effective des ménages du premier quintile, contre 13 % seulement du quintile 5. Leur emprise énergétique unitaire est respectivement de 0,8 et 1,6 kWh/euro

- La part du poste *alimentation* baisse légèrement, passant de 14 % à 12,6 %. Son empreinte énergétique unitaire est inférieure à la moyenne (1,9 kWh/euro dépensé).

- Le poste *communications* est quasiment stable ; avec une emprise seulement de 0,9 kWh/euro, son impact est très limité.

Les postes dont la part augmente peuvent être classés en deux catégories :

- Ceux dont l'emprise énergétique unitaire est élevée et qui contribuent à renchérir significativement l'emprise énergétique unitaire du Q5 relativement à celle du Q1. Il s'agit principalement du poste *transport autres dépenses*, dont l'emprise énergétique unitaire est de 4,6 kWh/euro, qui croît fortement avec le revenu. Ce poste est constitué pour un tiers (Q1) à la moitié environ (Q5) d'achats de véhicules ; les dépenses annuelles d'achat de véhicules augmentent d'un facteur 9 entre les quintiles 1 et 5. Il en est de même pour le poste *meubles et équipements ménagers* dont la part augmente de 3,7 % et dont l'emprise énergétique unitaire est

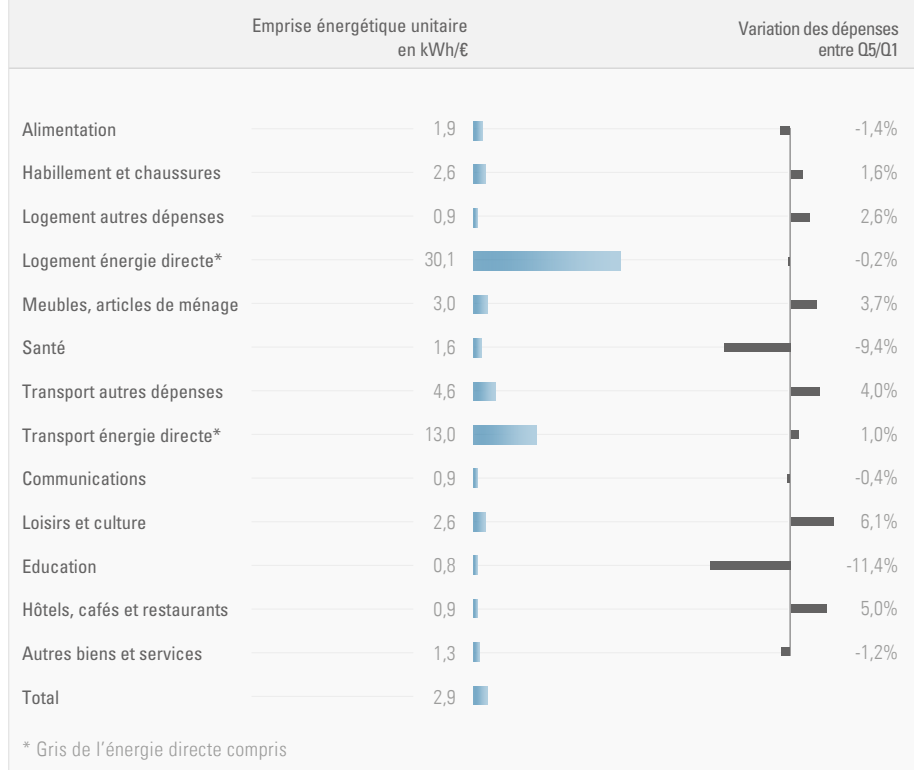
légèrement supérieure à l'emprise énergétique unitaire moyenne tous postes confondus. Notons que le poste *meubles et équipements ménagers* contient les équipements électroménagers, d'où son emprise unitaire relativement élevée.

- Ceux dont l'emprise énergétique unitaire est plus faible que la moyenne et dont la croissance n'implique donc pas une hausse de l'emprise énergétique unitaire du quintile 5. Le poste *loisirs/culture* contient, entre autres, les « packs » de voyage incluant avion et hôtel compris qui augmentent clairement avec le revenu, tout comme l'achat de produits bruns. De la même manière, les postes *hôtels, cafés, restaurants* et *logement autres dépenses* voient leur part dans les dépenses augmenter fortement entre les quintiles 1 et 5, mais leur emprise énergétique unitaire est faible (0,9 kWh/euro). Cette emprise du poste *hôtels, cafés, restaurants* est

d'ailleurs plus faible que celle de l'alimentation (1,9 kWh/euro).

Il semble donc que ce soit en premier lieu la croissance des dépenses de *transport autres dépenses* et notamment l'énergie grise contenue dans les achats de véhicules individuels, puis celle du poste *meubles, équipements ménagers et entretien habitat*, qui augmente sensiblement l'emprise énergétique unitaire des ménages du quintile 5. Ceci alors que les postes *santé et éducation* à faible contenu énergétique ne représentent plus que 13 % du budget des ménages de ce quintile. À l'inverse, ces deux derniers postes *santé* et *éducation* tirent donc vers le bas l'emprise unitaire des ménages à faibles revenus. Ces phénomènes conjugués expliquent pourquoi le panier de dépenses des ménages à haut revenu est plus énergivore par euro dépensé que celui des ménages modestes.

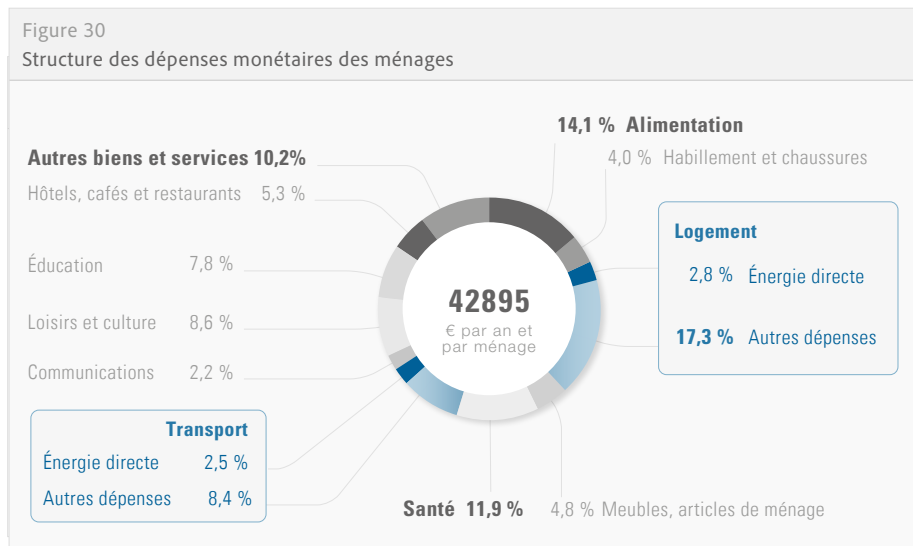
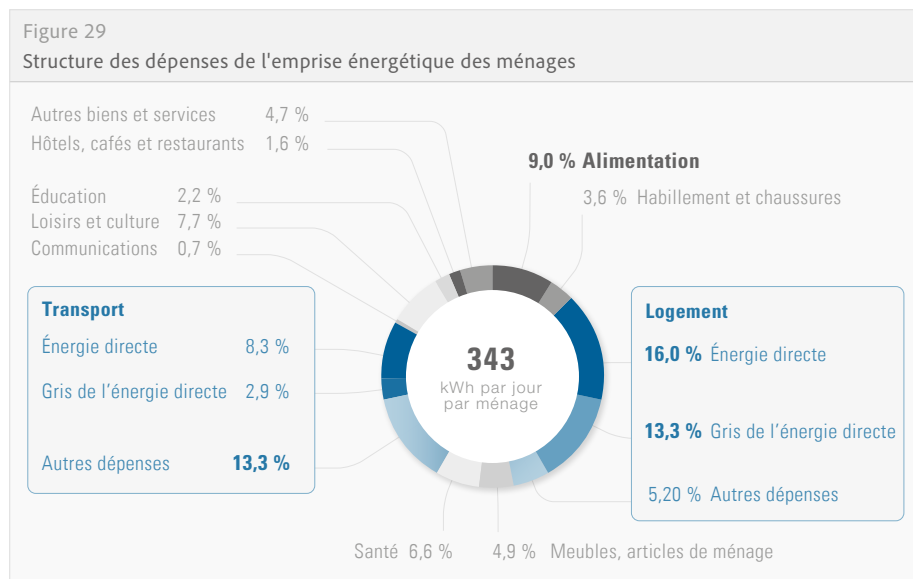
Tableau 8
Emprise énergétique et variations des dépenses par poste



Décomposition de l'emprise énergétique

La structure de l'emprise énergétique par poste, en moyenne pour l'ensemble des ménages, est présentée dans la figure 29 ci-après, au côté de la structure par poste des dépenses monétaires. Les trois postes *logement* représentent un tiers de l'emprise énergétique, soit 118 kWh d'énergie primaire par jour et par ménage, correspondant à 20 % du budget

monétaire des ménages²¹. On retrouve l'effet de la très forte emprise énergétique unitaire de l'énergie directe pour le logement. Le poste *logement autres dépenses* recouvre le contenu énergétique de la construction, les consommations d'énergie liées à l'utilisation des parties communes des immeubles, les réseaux d'eau, la gestion des déchets, la gestion des biens immobiliers ainsi que les gros ou petits travaux liés au logement. [F29](#) [F30](#)



21 Le poste Logement/gris de l'énergie directe n'apparaît pas dans les dépenses monétaires, puisqu'il est rattaché aux dépenses en énergie directe.

Le second poste le plus important est le *transport*, avec ces trois composantes (*autres dépenses, énergie directe et gris de l'énergie directe*). Il correspond à l'achat et à la réparation de véhicules de tous types (auto, moto, vélo), aux dépenses de transports collectifs (trains, avion, bus, lorsqu'ils ne sont pas inclus dans des packs « voyage »), au carburant et à l'énergie nécessaire pour le produire et le mettre à disposition. Les trois postes *transport* pèsent ainsi 24 % de l'emprise énergétique, soit 84 kWh par jour et par ménage, et

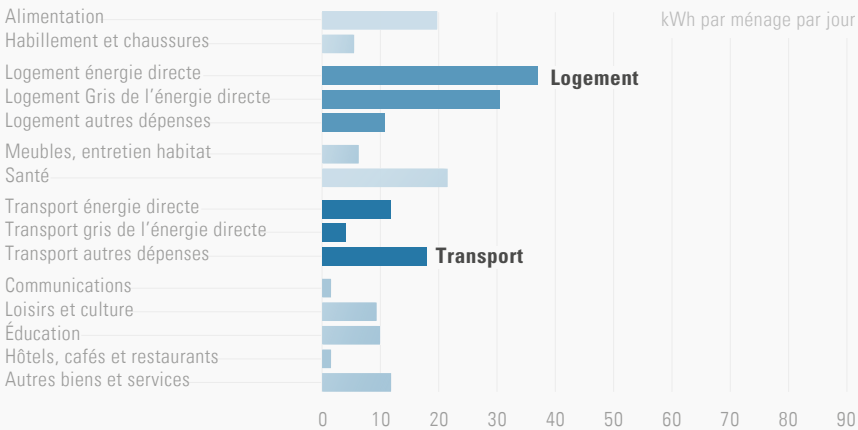
11 % du budget des ménages. Vient ensuite le poste *alimentation*, qui inclut le contenu énergétique de la filière agroalimentaire, des transports associés, de l'énergie consommée par la grande distribution, etc. Il représente 9 % de l'emprise énergétique, soit 31 kWh par jour et par ménage et 14 % du budget des ménages.

Le poste *loisirs et culture* représente les dépenses de voyage et de divertissements à domicile ou en extérieur. Il pèse 26 kWh par jour et par ménage. **F31**

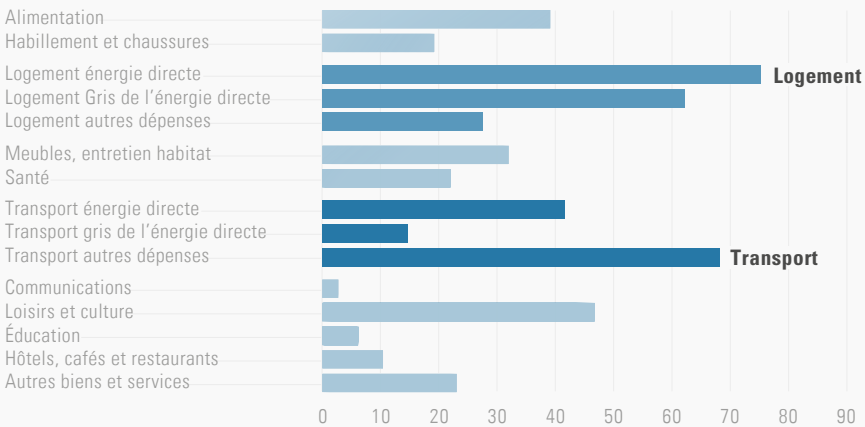
Figure 31

Structure de l'emprise selon le revenu

1^{er} quintile de revenu



5^e quintile de revenu



Les figures ci-dessus montrent l'évolution de l'emprise énergétique par poste selon le revenu. Rappelons que les dépenses monétaires augmentent d'un facteur 2,2 entre le quintile 1 et le quintile 5. On note une forte croissance, ici en valeur absolue, des postes transport, du poste loisirs/culture et du poste hôtels, cafés, restaurants.

Effet prix et effet quantité

Le troisième facteur qui pourrait intervenir sur la différenciation de l'emprise énergétique des ménages selon leur revenu est l'effet prix, c'est-à-dire l'écart de prix entre les biens et services achetés par les ménages de quintiles différents. Rappelons que, faute de données disponibles, l'emprise énergétique par euro dépensé de chaque poste est supposée *identique* quel que soit le niveau de revenu. Or les ménages aisés peuvent acquérir des biens et services à des prix plus élevés (qualité supérieure ou produits de luxe) sans que le contenu énergétique change forcément. Au contraire, ils peuvent aussi accéder plus fréquemment à des consommations à très haut contenu énergétique (avion, bateau de plaisance, nourriture exotique, etc.) sur des postes où les consommations des ménages moins aisés peuvent être plus sobres. On ne peut donc pas exclure des effets prix importants, et dans les deux sens, sur la plupart des grands postes agrégés considérés ici.

Dans le cas du logement, par exemple, les prix des loyers (effectifs ou imputés) des ménages aisés sont nettement plus élevés au m² que ceux des ménages modestes. Or ce n'est pas parce qu'un logement au centre de Paris est beaucoup plus cher qu'un autre dans l'Essonne qu'il consomme proportionnellement plus. À l'inverse, les logements

des classes aisées peuvent être équipés d'éléments de « confort » hautement énergivores (piscines, chauffage en terrasse, climatisation) dont l'impact sur le prix total du logement est de second ordre par rapport au foncier.

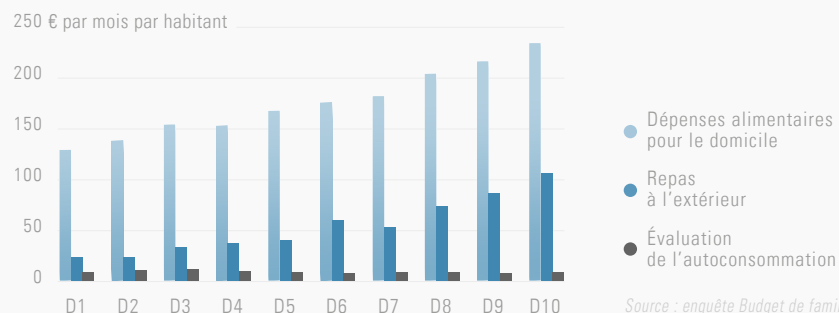
Par conséquent, il est nécessaire d'isoler l'effet prix de l'effet lié au contenu « matière » des dépenses des ménages. Un éclairage sur quelques postes de dépense est proposé ci-après. Il ne prétend pas répondre de façon exhaustive à cette question, mais plutôt montrer, sur quelques exemples, la nature des analyses qui devraient être menées et leur contribution potentielle aux questions posées dans cette étude.

Alimentation

La part du budget alimentaire dans le budget total varie très peu selon les revenus ; elle était proche de 14 % en 2003. Les dépenses alimentaires progressent donc au même rythme que le budget total des ménages, avec la hausse du revenu. Cela signifie-t-il que les ménages aisés achètent plus de denrées alimentaires en quantité ou autant mais plus cher ? Quelles conséquences sur l'emprise énergétique de ce poste par euro dépensé selon les quintiles de revenus ? **F32**

Figure 32

Dépenses alimentaires selon les déciles de revenu disponible par unité de consommation



Source : enquête Budget de famille 2006

Les ménages appartenant au 1^{er} décile font partie des 10 % de ménages ayant le revenu disponible par unité de consommation le plus faible. Leurs dépenses alimentaires à domicile par personne s'élèvent à 130 €/mois.

Les dépenses alimentaires moyennes par personne sont près de deux fois plus élevées pour les ménages du dernier décile par rapport à ceux du premier décile. La progression est encore plus forte pour les repas à l'extérieur (figure 32). Si les prix des produits achetés expliquent 20% de la progression des dépenses alimentaires à domicile, l'essentiel provient d'un accroissement des quantités achetées.

La structure de la consommation alimentaire selon les revenus varie également peu. Ce sont principalement les boissons alcoolisées et les produits de la mer qui voient leur part budgétaire augmenter avec le revenu ; à l'inverse, la part des produits céréaliers décroît avec le revenu. Les eaux minérales, les fruits et légumes, les plats préparés notamment, figurent aussi parmi les produits dont la consommation augmente avec le revenu.

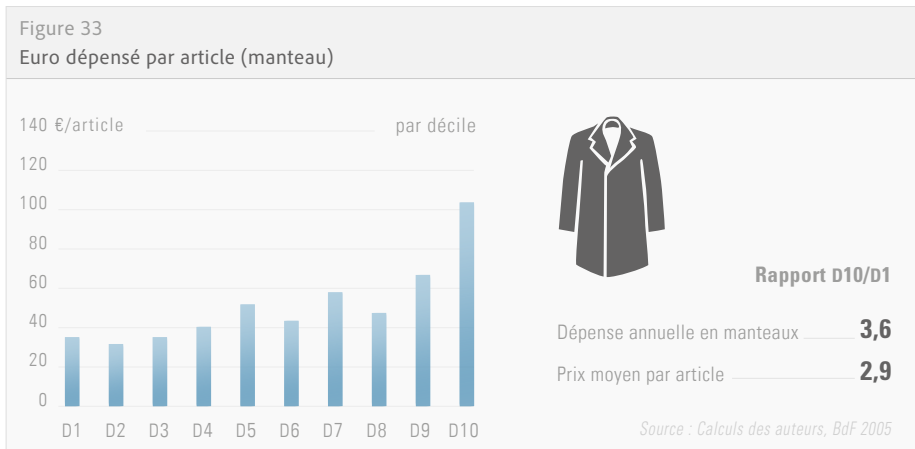
La part carnée de l'alimentation est déterminante quant à son contenu énergétique et carbone, or ce poste de dépenses est assez similaire selon le revenu (20 et 21 % du budget alimentaire). Ce budget va donc du simple au double entre le décile 1 et le décile 10 sans que nous sachions si cela relève de quantités achetées plus importantes ou d'un prix deux fois plus élevé. Nous ne savons pas non plus à ce stade si les parts de viande blanche ou rouge ou encore si les provenances sont similaires, autant de facteurs qui influenceront sur l'emprise énergétique du kg de viande acheté.

L'ensemble de ces éléments doivent faire l'objet d'études plus poussées si on veut conclure sur l'emprise énergétique respective du poste *alimentation* des ménages selon leurs revenus. S'il apparaît que l'effet prix est loin d'expliquer à lui seul la hausse des dépenses alimentaires avec le revenu, au même rythme que l'ensemble des dépenses des ménages, il reste néanmoins difficile de conclure sans analyses plus poussées sur la différence d'emprise énergétique par euro dépensé de ce poste selon les quintiles.

Habillement

Le rapport entre les emprises énergétiques des quintiles 1 et 5 sur le poste vestimentaire est de 3,5. Ce chiffre correspond en fait au rapport des dépenses en habillement entre ces deux groupes. Lorsque l'on compare les prix à l'unité payés par les deux groupes de ménages, on observe que le prix moyen par article est 2,9 fois plus cher pour le dernier décile que pour le premier. Ceci explique vraisemblablement la plus grande partie de l'écart d'emprise énergétique mesurée par la méthodologie TES.

En effet, la quantité d'articles achetés par D10 est seulement 20% supérieure à la quantité d'articles achetés par D1²². Le facteur prix joue ici un rôle important expliquant l'écart mesuré par notre méthodologie entre ménages aisés et les ménages modestes. **F33**



²² On raisonne ici en déciles et non en quintiles, mais cela ne change rien à l'analyse.

Équipement et biens durables

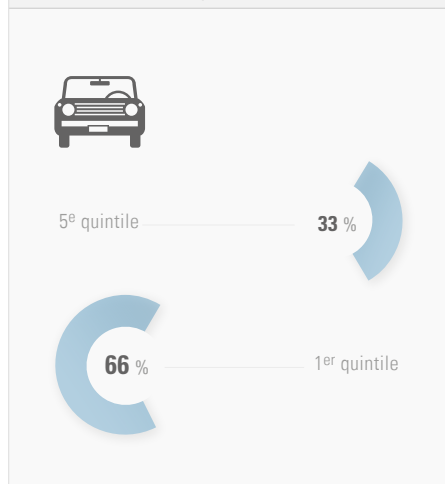
On retrouve sur le poste *meubles et équipements ménagers* des résultats similaires au poste *habillement*. En effet, l'écart de dépenses sur ce poste entre D10 et D1 est supérieur à 150 %. Mais, en termes de quantité de biens achetés, le dernier décile n'achète que 50 % de plus de biens que le premier décile. Ce résultat tient pour les appareils de cuisine aussi bien que pour le matériel HIFI et informatique. **T9 T11**

Tableau 9
Électroménager
Écart des prix par article entre D1 et D10

	Rapport D10/D1
 Dépense en lave-linge sèche-linge et lave vaisselle	2,53
Prix moyen par article	1,74
 Électroménager de cuisine	2,7

Source : Calculs des auteurs, BdF 2005

Figure 34
Part de l'occasion dans les dépenses
d'achat de véhicules, 2005



Achat de véhicules et occasion

Les dépenses d'achat de véhicules représentaient, en 2005, 29 % du budget transport du 1^{er} quintile (soit 621 euros/an) et 47 % du budget transport du 5^e quintile (soit 3 410 euros/an). Le taux de motorisation du ménage en est un des facteurs déterminants ; le taux de renouvellement, le recours au marché d'occasion ou encore le niveau de gamme des véhicules interviennent également.

En moyenne, deux achats de véhicules sur trois se font sur le marché d'occasion. Les dépenses d'occasion représentent 50 % des dépenses d'achat. Mais ceci varie largement avec le niveau de vie. En effet, le 1^{er} quintile a un recours très majoritaire au marché d'occasion (2/3 des dépenses d'achats automobiles). À l'inverse, les ménages aisés ont un recours minoritaire à ce marché (1/3 des dépenses d'achat). **F34**

En prenant en compte l'amortissement du véhicule, on pourrait attribuer aux véhicules achetés d'occasion un contenu énergétique par euro dépensé plus faible que lors de l'achat neuf. Ceci crée alors un effet de structure : l'euro dépensé pour l'achat d'une nouvelle voiture serait moins intensif en énergie grise chez les ménages modestes car ils achètent davantage de véhicules d'occasion. Pour une analyse plus fine, il serait nécessaire d'évaluer à quel point le prix de l'occasion mesure correctement la dépréciation matérielle du véhicule et lorsque ce n'est pas le cas, appliquer un facteur de dépréciation supplémentaire. À l'inverse, la propension à acheter des véhicules chers augmente avec le revenu, et l'effet prix joue probablement un rôle sur ce poste également.

Un croisement nécessaire avec des enquêtes sociologiques

Il serait hasardeux de conclure à partir de ces premiers éléments sur les parts respectives de l'effet prix et de l'effet quantité sur chacun des postes. Le plus souvent, de nombreux facteurs interviennent, aux effets souvent contradictoires. Seules des enquêtes

sociologiques quantitatives pourraient fournir un éclairage permettant d'identifier les facteurs dominants. Si nous prenons l'exemple de l'alimentation, les facteurs tels que le type de viande, l'origine, la filière de production, les produits frais ou au contraire cuisinés, auto-consommation²³, etc. peuvent avoir un impact importants, au-delà des éléments identifiés ici. Cela est évidemment beaucoup moins vrai pour l'habillement et les biens durables.

En conclusion de cette partie, il apparaît que les évaluations d'empreintes physiques à partir d'enquêtes fondées sur des données

monétaires posent des problèmes méthodologiques qui imposent de croiser ces approches statistiques avec des enquêtes de consommation permettant d'éclairer les questions soulevées. Par ailleurs, les agrégats statistiques par classe de revenu permettent une première lecture des phénomènes, mais ces classes cachent bien entendu des réalités sociales très différentes selon le lieu (région, rural urbain), l'âge, la composition du ménage, le niveau d'étude, etc. À l'inverse, des comportements peuvent être communs entre les classes de ménages.

Vers une analyse longitudinale de l'emprise énergétique par niveau de vie

Dans les parties précédentes, nous avons présenté une photographie, à une date donnée, de l'emprise énergétique des ménages. L'étude des dynamiques inter-temporelles reliant consommation d'énergie et niveau de revenu permet de mieux anticiper les tendances en cours et d'agir sur ces tendances. Elle nous permet également de remettre en perspective les enseignements tirés des autres parties pour répondre à la question suivante : comment évoluent les dépenses dans le temps et entre différentes « classes sociales » ?

L'étude des dynamiques de consommation entre différents groupes de la population n'est pas nouvelle. L'économiste T. Veblen affirmait, dans son ouvrage *Théorie de la classe de loisir* (1898), à la fin du XIX^e siècle, que les habitudes de consommation de l'ensemble de la société étaient tirées par celles des classes les plus aisées, lesquelles, par ricochet, entraînaient toutes les autres. Au Royaume-Uni, Tim Jackson et son équipe ont étudié l'évolution des consommations d'énergie directes et indirectes en lien avec

la répartition des revenus de 1968 à nos jours. Mais, en France, à notre connaissance, de telles études n'existent pas.

À défaut d'une analyse historique des consommations d'énergie directes et grises, nous proposons ici une analyse des *dépenses monétaires* en énergie directe des ménages modestes (décile 1) et aisés (décile 10) au cours des vingt-cinq dernières années. Ce travail est effectué sur la base des Enquêtes budget de famille de l'Insee. Lorsque les résultats ne sont pas référencés, ils ont été produits pour ce cahier. Lorsqu'ils proviennent d'autres études faites à l'Ademe, au SOeS ou à l'Insee, nous y faisons explicitement référence. Les résultats sont présentés ici par unité de consommation afin d'écartier l'effet de l'évolution sur la période du nombre de personnes par ménage.

Les dépenses d'énergie directe

Par rapport à la moyenne, on observe une convergence des dépenses d'énergie liées au logement du 1^{er} décile sur la période 1980-2000, puis une divergence en dernière période.

²³ L'auto-consommation d'un ménage désigne la consommation de biens ou services qu'il a lui-même produits.

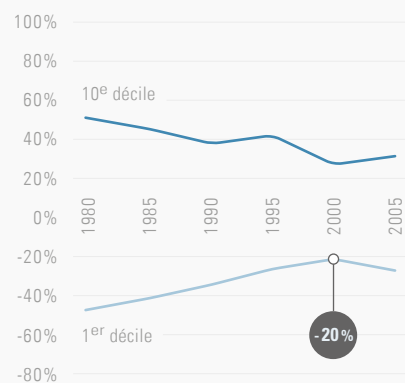
En 1980, ces dépenses sont 45 % inférieures à la moyenne et 22 % inférieures à la moyenne 25 ans plus tard. À l'inverse, les dépenses des 10 % les plus riches, qui sont 50 % supérieures à la moyenne en 1980, ne sont plus « que » 30 % supérieures à celle-ci en 2005. **F35**

On ne retrouve pas de convergence aussi marquée sur les dépenses en carburant (figure 36). Le niveau d'écart par rapport à la moyenne est ainsi très important, de l'ordre de 70 %. Le 1^{er} décile a des dépenses 80 % inférieures à la moyenne en 1980, et 74 % en 2005. Sur la même période, on passe de 75 % à 61 % au-dessus de la moyenne pour les ménages les plus aisés. **F36**

Comment expliquer ce rapprochement inter-décile des dépenses d'énergie pour le logement jusqu'en 2000 ? De multiples facteurs peuvent en être à l'origine. Tout d'abord, ces dépenses regroupent différents usages : chauffage, électricité spécifique, eau chaude sanitaire, cuisson, etc., avec des sources d'énergies souvent variées. L'évolution relative des besoins de ces différents services énergétiques et de leur prix au kWh peut engendrer des différences notables.

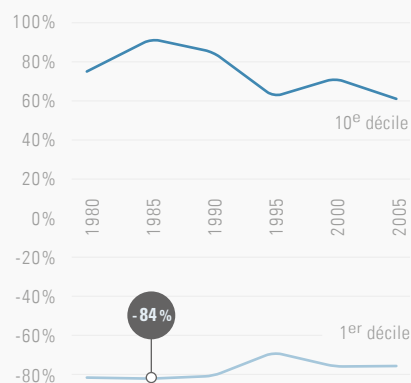
Une analyse différenciée des dépenses pour le chauffage et l'électricité spécifique permettrait de rendre compte en partie des évolutions à l'œuvre, lesquelles peuvent diverger en fonction des niveaux de revenus. On peut, par exemple, imaginer un double mouvement de classes aisées améliorant leur confort thermique (habitat mieux isolé car récent ou rénové, chaudières à condensation²⁴, etc.) tout en diminuant ce poste de dépense et en multipliant par ailleurs leurs équipements électriques. Dans le même temps, les ménages modestes peuvent avoir peu modifié leur profil « thermique » tout en accédant sur la période aux mêmes équipements électriques (informatique, TV, home cinéma, etc.). Les taux d'équipements, leurs caractéristiques, les performances ou les rythmes de renouvellement forment ainsi autant de facteurs dont l'évolution peut converger ou diverger, selon les cas, entre catégories de ménages. Il faudrait également évaluer l'impact des paramètres structurels qui évoluent défavorablement, notamment la décohabitation (familles monoparentales,

Figure 35
Écart à la moyenne des dépenses d'énergie directe pour le logement



En 2000, les 10 % les plus modestes dépensent 20 % de moins par unité de consommation, que la moyenne en gaz et en électricité.

Figure 36
Écart à la moyenne des dépenses de carburant



En 1985, les 10 % les plus pauvres dépensaient 84 % de moins en essence que la moyenne des ménages.

24 Sur la période étudiée, le taux de remplacement du chauffage au fuel par d'autres sources d'énergie est supérieur chez les ménages aisés par rapport aux autres classes sociales (source : Enquête budget). Les prix du fuel ayant augmenté sur la période, ceci peut contribuer à expliquer la baisse de leurs dépenses par rapport à la moyenne.

personnes âgées), qui peut engendrer de nouveaux besoins.

Si l'intérêt d'une telle analyse rétrospective de l'évolution des consommations énergétiques des ménages selon leurs caractéristiques socio-démographiques est manifeste, cela exige un travail d'analyse statistique lourd, en commençant par harmoniser les Enquêtes budget de famille dont les méthodes ont évolué en 30 ans, travail qui n'a pu être réalisé dans le temps imparti à cette étude. Plus ambitieux encore est d'élargir ces analyses à l'emprise énergétique des ménages, dont on trouve peu d'exemple dans la littérature internationale.

Qu'en est-il de l'énergie grise ?

Les sections précédentes ont montré que, pour l'année 2004, l'emprise énergétique évolue positivement avec le revenu, avec un écart allant de 1 à 2,7 entre les 20% les plus modestes et les 20% les plus riches. L'énergie grise, pour sa part, évolue encore plus rapidement entre quintiles.

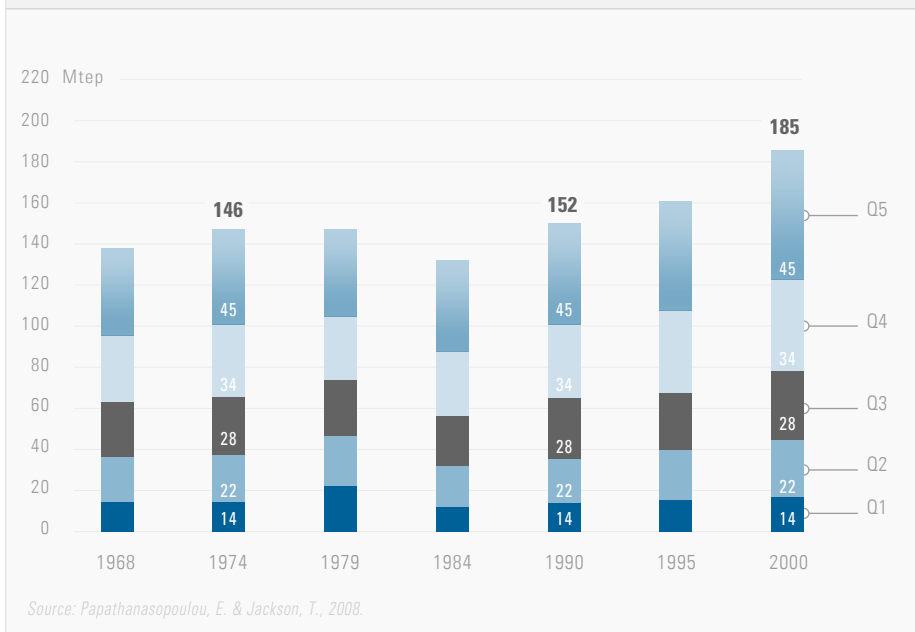
À quelle évolution pourrait-on s'attendre sur les dernières décennies ? Une des rares études

dans ce domaine a été réalisée au Royaume Uni, par Jackson *et al.* Elle met en exergue un phénomène notable : la hausse plus que proportionnelle des emprises énergétiques avec le revenu, tirée notamment par les émissions du poste loisirs et des transports associés. Cette hausse va de pair avec une évolution de la distribution des revenus en faveur des plus aisés qui s'enrichissent sur la période.

La comparaison de l'évolution de la répartition des emprises énergétiques et celle de la répartition du revenu sur la période montre par ailleurs que les inégalités liées à l'usage des ressources augmentent plus vite que les inégalités de revenu. En d'autres termes, les ménages aisés sont devenus relativement plus riches et encore plus consommateurs d'énergie. Par ailleurs, l'emprise énergétique de toutes les classes a augmenté. **F37**

Dans le cas français, cette recomposition n'a jamais été effectuée. Ainsi que nous venons de l'indiquer, c'est un travail lourd qui, en plus des difficultés évoquées pour la méthodologie TES, nécessite de recouper des séries statistiques historiques qui ne sont pas toutes homogènes.

Figure 37
Emprise énergétique selon le niveau de vie au Royaume-Uni



Conclusion

De nouvelles représentations des consommations énergétiques : pourquoi et comment ?

Implications pour le débat public

Ce cahier nous invite à plusieurs considérations dans le cadre d'un débat sur la transition énergétique. Il est encore trop tôt pour transformer les enseignements de l'emprise énergétique en propositions d'action ou pour produire des analyses prospectives. Mais la réorganisation des consommations d'énergie présentée permet d'aborder le débat sur la transition énergétique sous un angle nouveau qui pourrait contribuer à débloquer certains verrous.

Adopter une vision plus systémique des consommations

L'énergie grise bouleverse la représentation habituelle des consommations d'énergie. En effet, plus des trois quarts des consommations d'énergie ne sont pas vues directement par les ménages. Ces consommations d'énergie sont incluses dans leurs achats de biens et services.

Cette représentation nouvelle ne fait apparaître aucune énergie cachée jusque-là. L'indicateur que nous présentons, l'emprise énergétique, nous a permis de regrouper des consommations localisées et attribuables comme l'énergie pour le logement, des consommations plus diffuses comme celle utilisée pour le fret et des consommations intervenues à l'étranger pour satisfaire des besoins nationaux. Notre travail a donc consisté à redécouper et réorganiser, au niveau national et international, les flux et les consommations d'énergie pour mieux rendre compte des réalités sociales qu'elles représentent.

Cette nouvelle approche a d'abord une vertu pédagogique et permet de rendre compte du caractère systémique de l'énergie dans notre société. Il s'agit aussi de rapprocher les deux bouts de la chaîne énergétique (producteurs et consommateurs) pour mieux comprendre leurs interactions et les leviers de changements permettant de réduire les consommations d'énergie.

Discuter des besoins, des niveaux et des modes de consommation

La nouvelle représentation des consommations d'énergie proposée dans ce cahier est fondée sur le principe que l'ensemble des biens et des services produits par le système productif (ce secteur productif n'étant pas constitué simplement d'usines, mais aussi de bureaux, d'hôpitaux, etc.) est destiné, directement ou indirectement, aux consommateurs finaux. Une discussion sur les besoins, les niveaux et les modes de consommation semble donc nécessaire. Jusqu'à présent, une telle discussion était difficile, voire impossible, du fait de la représentation traditionnelle et étroite des consommations d'énergie.

Replacer la consommation finale au centre de l'analyse soulève plusieurs enjeux. Dans un premier temps, ce « recentrage » permet de poser la question, épineuse, des modes de vie et des habitudes de consommation. On comprend ainsi que les seuls efforts du système productif et de l'efficacité ne peuvent suffire pour réduire substantiellement nos consommations d'énergie. Le niveau de la consommation des ménages est aussi un levier de réduction des consommations d'énergie. Il ne s'agit cependant pas ici de dédouaner les producteurs en pointant du doigt les consommateurs, mais bien d'ouvrir un débat sur les besoins, leur formation, leurs implications.

Jusqu'à présent, la politique énergétique ne traitait que de la dimension « énergie directe » des consommations des ménages. Pour agir sur celles-ci, on a instauré, ou tenté d'instaurer, des normes, des taxes ou des plans de rénovation des infrastructures (de l'habitat ou des transports). De l'autre côté, en ciblant les producteurs, on encourageait à l'efficacité des procédés et au développement de nouvelles sources d'énergie. De telles approches sont nécessaires, pour des améliorations unitaires d'efficacité, mais elles sont insuffisantes pour des améliorations globales.

Pour autant, est-ce à la politique énergétique d'investir le champ des modes de

consommation et de s'intéresser, au-delà des consommations d'énergie des ménages, à l'ensemble de leurs dépenses ? Cette question est délicate. Il ne s'agit pas de tomber dans des logiques d'étiquetage²⁵ de l'énergie grise contenue dans les produits qui n'auront que peu d'effet sur les consommations globales. Mais bien de penser la politique énergétique globale en même temps que l'on réfléchit à de nouvelles politiques ciblant les déterminants des choix des consommateurs. Les normes sociales de consommations doivent aussi faire l'objet d'un intérêt particulier, qui relève précisément du débat collectif : aménagement du territoire, urbanisme, organisation des temps de travail et de la vie professionnelle ont autant d'impact sur les consommations d'énergie que « l'efficacité » des équipements des consommateurs.

Le troisième enjeu est de nature prospective. Quelles pourraient être les trajectoires d'évolution des modes de vie et quel seront leurs impacts sur les emprises énergétiques, à long terme ? L'implication de sociologues dans une démarche prospective est nécessaire pour déterminer les moteurs du changement social pouvant avoir un impact significatif sur les consommations d'énergie²⁶.

Prendre conscience des dynamiques d'externalisation et de leurs implications

La réorganisation des flux d'énergie a mis en évidence des dynamiques d'externalisation : nos importations nettes d'énergie grise s'élèvent à hauteur de 20% de notre emprise globale. Cette externalisation des consommations est marquante pour le secteur des transports, qui induit de forts niveaux d'importation d'énergie grise en acier, mais aussi en services aux entreprises. C'est également le cas pour les dépenses de loisirs et culture, qui contiennent les importations en équipement à relativement fort contenu énergétique (ce contenu étant lui-même plus lié à

²⁵ À supposer qu'elles sont réalisables avec suffisamment de détails et de précision pour être vraiment utiles.

²⁶ Voir *Cahiers du CLIP* n°21, « Modes de vie et empreinte carbone », février 2013.

l'organisation de la production et du commerce qu'à la manufacture des produits). En revanche, d'autres secteurs comme l'agriculture ou la santé importent moins d'énergie du reste du monde.

Ces effets d'externalisation reflètent les dynamiques présentes et passées du commerce international, avec des régions manufacturières à faible niveau de consommation intérieure (bien que grandissante) et d'autres zones où la part de la production industrielle dans le commerce mondial décroît tendanciellement. Cette relecture des consommations d'énergie incite à relativiser les améliorations passées en termes d'efficacité énergétique. Certains secteurs productifs ont pu contenir l'évolution de leurs consommations d'énergie malgré une demande finale croissante, grâce à l'externalisation de certains pans des chaînes de production.

La prise en compte des importations d'énergie grise invite enfin à réinterpréter le concept de dépendance énergétique. Cette dépendance n'est pas uniquement la résultante de nos importations directes. En France, on importe à peu près autant d'énergie grise que de pétrole brut du reste du monde (environ 60 Mtep). Sur ce point, un raisonnement en pourcentage pourrait être trompeur : un pays très efficace en énergie sur le plan national et important une certaine quantité d'énergie grise de l'étranger aurait un ratio de dépendance énergétique plus élevé qu'un pays moins efficace sur le plan national mais important la même quantité d'énergie grise du reste du monde. La difficulté est liée au décalage entre notre capacité à agir sur les consommations grises faites sur le territoire national et celles faites sur les territoires étrangers.

Interroger les nouveaux canaux de distribution des biens et services

L'énergie grise invite à s'intéresser aux recompositions des chaînes de « mise à disposition » des biens et services au niveau international

aussi bien qu'au niveau national. Il faut interroger les nouveaux canaux de distribution (e-commerce, coopératives de distribution alimentaire locales) à l'aune de leur empreise énergétique globale et de l'énergie grise associée.

Les chaînes de mises à disposition constituent l'ensemble des étapes nécessaires à la « satisfaction » des biens et services, de l'invention d'un produit à sa réalisation, production, commercialisation et vente. Cette chaîne est composée *a minima* de production primaire, de services de transport et d'un ensemble de services tertiaires (marketing, vente, service après-vente). On peut se poser notamment la question du contenu énergétique des chaînes de mise à disposition des produits alimentaires par la grande distribution ou par la coopérative de proximité associée à un agriculteur (AMAP). Il ne s'agit pas seulement de mesurer l'énergie grise contenue dans une pomme bio issue d'une AMAP et celle contenue dans une pomme achetée en grande surface, mais bien comparer ces deux chaînes d'alimentation dans leur ensemble, d'un point de vue macroscopique, sans perdre de vue les détails.

Prêter attention à la dimension sociale des consommations d'énergie grise

Alors que les consommations d'énergie directes tendent à plafonner avec le revenu²⁷ du fait d'un double mouvement d'efficacité accrue des équipements et de multiplication des usages, comme nous l'avons vu en partie 1, on observe que les consommations d'énergie grise croissent, elles, plus rapidement que le revenu.

Les politiques publiques doivent donc adapter leur boîte à outils à ces réalités sociales différentes. Comment infléchir les normes sociales et les standards de consommations, véhiculés par le marketing ? Comment limiter le mimétisme social, qui, comme le suggèrent certains auteurs (Kampf, 2007), entraîne une fuite en

²⁷ Chancel, L. (2013), « Agir sur les consommations directes d'énergie des ménages », Iddri, *Policy Briefs* n°03/13.

avant des consommations d'énergie grise de l'ensemble de la société ?

Ce travail ouvre plus de questions qu'il n'apporte de réponses, mais il n'est pas nécessaire

d'avoir répondu à toutes ces questions pour mobiliser la nouvelle représentation de l'énergie dans le cadre de la définition de lois et de politiques énergétiques.

Suites à donner

L'approche présentée dans ce cahier repose sur une méthodologie robuste, mais qui nécessite encore de nombreux approfondissements sur la question particulière des modes de vie et sur l'adaptation de l'outil à la prospective.

Faire évoluer la méthodologie dans son ensemble

La compréhension des filières et secteurs d'origine de l'énergie grise devrait être affinée dans le futur. Le travail s'enrichira en « hybridant » les visions globales (mondiale ou nationale) avec d'autres approches telles que des enquêtes individuelles ou des analyses de cycle de vie. Par ailleurs, pour un travail d'analyse vraiment utile, il faut introduire plus de différenciation que ne l'autorisent les données de la base GTAP et les tableaux Entrées-Sorties de la comptabilité nationale disponibles.

L'emprise énergétique présentée ici est globale en énergie primaire. La différencier selon les vecteurs (pétrole, gaz, électricité, chaleur, etc.) enrichirait les analyses compte tenu des différences entre les chaînes de production de ces vecteurs.

L'emprise est la traduction en énergie de valeurs monétaires. Comme cela a été dit dans la partie 3, une réflexion sur les effets prix/qualité et prix/quantité est nécessaire. Cette question de compréhension générale de la consommation peut avoir des implications énergétiques supplémentaires : par exemple, un fruit bio ayant nécessité moins d'intrants coûte plus cher que son pendant issu de l'agriculture intensive et se voit attribuer, dans notre outil, une emprise énergétique plus importante alors que ce n'est pas forcément le cas, surtout s'il est passé

par un circuit plus court.

Dans le même ordre d'idée, nous n'avons pas affecté l'investissement à chaque secteur de l'économie ou à chaque poste de consommation, faute de données disponibles. Comme cela a été évoqué dans la partie 2, il faudra attacher une attention particulière au traitement des valeurs immobilières. Enfin, la méthodologie mise en place peut s'appliquer à d'autres grandeurs que l'énergie. Établir l'emprise d'autres ressources (eau, carbone, etc.), ou par exemple d'heures de travail, voire de masse salariale, pourrait enrichir encore les analyses à un moment l'on prend de plus en plus conscience de la forte interpénétration de tous les enjeux.

Approfondir notre compréhension des déterminants sociaux

Pour pouvoir différencier l'emprise par usages et groupes de population, un important travail de collecte et d'analyse de données reste nécessaire pour pouvoir les croiser et les utiliser dans le modèle.

La question de l'adéquation de la définition des usages retenue pour l'analyse socio-économique avec l'utilisation faite pour une analyse énergétique se pose.

Ainsi, pour ce premier exercice, comme cela a été signalé dans la partie 2, les énergies directement consommées n'ont pas été redistribuées en fonction des postes de consommation. Une telle ventilation renforcerait la cohérence de la démarche, mais elle s'avère très délicate. En effet, il n'existe pas aujourd'hui de données statistiques qui permettent de le faire. Ce travail demande une expertise importante et des

échanges entre statisticiens, sociologues et économistes.

Nous avons choisi de travailler sur des groupes de population différenciés par niveau de revenu, car nous avons accès à ces données, mais il pourrait être intéressant d'observer l'effet d'autres découpages. Il pourrait s'agir des catégories classiques, âge ou « profession et catégorie socioprofessionnelle » de la personne de référence du ménage, composition famille, etc., mais aussi d'une différenciation selon la localisation géographique du ménage, qui a un impact tant sur son besoin de mobilité que sur les produits de consommation auxquels il a accès. C'est un travail qui reste à faire.

Développer des outils et des exercices prospectifs

L'emprise est une représentation instantanée de la consommation d'énergie. Au-delà, l'objectif est de pouvoir faire évoluer des emprises énergétiques dans des scénarios prospectifs. Pour cela, il nous faut encore progresser sur certains points.

L'outil permet aujourd'hui de faire une analyse de la situation en 2004. Pour avoir une compréhension de ce qui détermine les niveaux et répartitions et envisager des modalités de projection dans le futur, une analyse rétrospective de leurs évolutions historiques et régionales est indispensable.

Il nous faudrait pour cela trouver, voire reconstruire, des données historiques suffisamment détaillées pour qu'elles puissent être intégrées, après adaptation, dans l'outil. Ce travail est nécessaire autant au niveau national qu'au niveau international. Ces analyses devront aussi s'appuyer sur des enquêtes plus précises (Enquêtes déplacement, budget de famille, etc.) pour être qualifiées. C'est l'ambition du projet ECOIPA (*Evolution des modes de consommation, convergence économique et empreinte carbone du développement*, ANR SOC&ENV 2012) pour la France et le Brésil, coordonné par le CIRED.

S'il est encore trop tôt pour élaborer des scénarios prospectifs sur la base des données que nous présentons, il sera intéressant d'utiliser la méthode pour se projeter dans le futur. Dans un premier temps, l'exercice pourra être effectué sur des scénarios tendanciels en faisant l'hypothèse que les structures des économies n'évoluent que marginalement.

Mais, la reconfiguration des économies étant dans tous les esprits, l'enjeu principal est de mieux comprendre les implications de ces modifications des structures de l'économie, l'évolution des chaînes de mises à disposition mentionnées plus haut, en fonction des hypothèses de contextes retenues : (dé)croissance du PIB, prise en compte des contraintes énergétiques et environnementales, rééquilibres mondiaux des poids économiques, évolution des productivités (énergétique ou du travail). Cela implique de réfléchir à tous les mécanismes de bouclage nécessaires pour garantir les équilibres économiques globaux ; par exemple, moins de consommation et donc d'importations dans une région suppose de tenir compte de l'impact de cette réduction sur la croissance des régions exportatrices.

À terme, un travail de fond pour intégrer complètement cette dimension dans des modèles hybrides comme IMACLIM pourra être envisagé.

Cette multiplicité de nouvelles pistes à creuser met en évidence la nécessité de croiser les expertises disciplinaires : économistes, sociologues, énergéticiens, statisticiens, modélisateurs, que ce soit au niveau national ou au niveau international²⁸. Ces collaborations nous semblent d'autant plus nécessaires à un moment où l'on prend de plus en plus conscience des limites et dangers de la gestion cloisonnée des problèmes auxquels nos sociétés sont confrontées.

²⁸ On peut citer, parmi beaucoup d'autres : au niveau national, Insee/ACN, CITEPA, SOeS, CIRED, EDF, Iddri ; et au niveau international, OCDE/AIE, ESRC-UK, NTNU, etc.

Bibliographie

- **BELLAMY et al.** : BELLAMY, V., CONSALES, G., FESSEAU, M., LELAIDIER, S., & RAYNAUD, E. (2011). *Une décomposition du compte des ménages de la comptabilité nationale par catégorie de ménage en 2003*. Insee, Direction des Études et des Synthèses Économiques. Insee.
- **BORDIGONI, M. et al.** (2012). "Energy Policy, Role of embodied energy in the European manufacturing industry: Application to short-term impacts of a carbon tax". *Energy Policy* (43, 335-350).
- **BRAIBANT, M., PILARSKI, C.** (2008). *La synthèse du tableau entrées-sorties en année courante. Base 2000*. Insee, note méthodologique N°13, juillet 2008.
- COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2010), « Un an de mise en oeuvre des recommandations de la Commission Stiglitz : Vers une nouvelle génération d'indicateurs », Le point sur, N°64, septembre 2010.
- **DAVIS, S.J., CALDEIRA, K.** (2010). *Consumption-based accounting of CO₂ emissions*. Proceedings of the National Academy of Science, 107, 5687-5692.
- **DAVIS, S.J., PETERS, G.P., CALDEIRA, K.** (2011). *The supply chain of CO₂ emissions*. Proceedings of the National Academy of Science, 108, 18554-18559.
- **CAYLA, J.-M.** (2011). « *Les ménages sous la contrainte carbone. Exercice de modélisation des secteurs résidentiel et transports avec TIMES* », thèse soutenue le 3 mars 2011, Mines ParisTech.
- GTAP, Purdue University Global Trade Analysis Project: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/>
- **HAMDI-CHERIF, M.** (2011). "Addressing a 'self-trade' issue in GTAPAgg" Conference paper presented at the 14th Annual Conference on Global Economic Analysis, Venice, Italy. CIRED.
- **HERTWICH, E. G., & PETERS, G. P.** (2009). Carbon Footprint of Nations: A Global Trade-Linked Analysis. *Environmental Science&Technology*.
- **HERTWICH, E. G., & PETERS, G. P.** (2008). *Supporting information for the Carbon Footprint of Nations. A Global, Trade-Linked Analysis*. Environmental Science&Technology.
- Ifen (2006). *NAMEA, un outil pour relier activités économiques et pressions environnementales*. Les dossiers.
- Insee (2009). *Cinquante ans de consommation en France*. Insee Références.
- Insee (2010). *Effet du traitement des Sifim sur le revenu disponible des ménages et leur pouvoir d'achat*. Insee.
- Insee (s.d.). *Décomposition du compte des ménages pour l'année 2003*. Consulté le septembre 2011, sur Insee : http://www.insee.fr/fr/themes/theme.asp?theme=16&sous_theme=2.2
- **LE LAIDIER, S.** (juin 2009). *Les transferts en nature atténuent les inégalités de revenus*. Insee Première N°1264.
- **LENGLART F., LESIEUR C., PASQUIER J.-L.** (2010). *Les émissions de CO₂ du circuit économique en France*, L'économie française, Insee Références, édition 2010 (juillet), pp. 101-125. <http://www.insee.fr> (rubrique Publications > Collections nationales > Insee Références).
- **MERCERON, & THEULIÈRE.** (Octobre 2010). *Les dépenses d'énergie des ménages depuis 20 ans : une part moyenne stable dans le budget, des inégalités accrues*. Insee, division Conditions de vie des ménages, N°1315.
- OFCE (2009). *Consommation et importations*.
- **JACKSON, T.** (2005). *Motivating Sustainable Consumption, a Review of Evidence on Consumer Behaviour and Behavioural Change*. A report to the sustainable development network.

- **NAKANO, S., OKAMURA, A., SAKURAI, N., SUZUKI, M., TOJO, Y., & YAMANO, N.** (2009). *The measurement of CO₂ embodiments in international trade: Evidence from the harmonised input-output and bilateral trade database*. Statistical Analysis of Science, Technology and Industry.
- **PAILLAT E, ADAM J., WILMOTTE J.-Y.** (2011). « Empreinte carbone : en 20 ans, les Français ont pris du poids ! ». *Lettre du carbone* n° 2, Carbone 4, 8 p. <http://www.carbone4.com/lfr>
- **PAPATHANASOPOULOU, E., JACKSON, T.** (2008). Luxury or 'lock-in'? An exploration of unsustainable consumption in the UK: 1968 to 2000, *Ecological Economics* (68, 1–2, pp. 80-95), 1 December 2008.
- **PASQUIER, J.-L.** CGDD-SOeS (Août 2010). *CO₂ et activités économiques de la France - Tendances 1990-2007 et facteurs d'évolution*, Études & documents, n° 27, 47 p. <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/> (rubrique Publications).
- **PASQUIER, CGDD-SOeS** (mars 2012). « L'empreinte carbone de la consommation des Français : évolution de 1990 à 2007 » SOeS, Le point sur n°114, 4 p. <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publications/pl/1939/1178/lempreinte-carbone-consommation-francais-evolution-1990.html>.
- **PETERS, G. P.** (2008). *Database, Opportunities and Challenges for Environmental MRIO Modelling: Illustrations with the GTAP*. Trondheim, Norvège : Industrial Ecology Programme, Norwegian University of Science and Technology (NTNU).
- **PETERS, G. P., & HERTWICH, E. G.** (30 janvier 2008). "CO₂, Embodied in international trade with implications for global climate policy". *Environmental Science & Technology* (42:5, 1401-1407).
- **PETERS G., MINX J., WEBER C, AND EDENHOFER O.** (2011). *Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008*. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, 6 p. + Excel worksheets. <http://www.pnas.org/content/early/2011/04/19/1006388108.abstract>
- **PIRIOU, J.-P.** (2008). *La comptabilité nationale*. La Découverte.
- **POUROUCHOTTAMIN, P., & DE LA FUENTE, C.** (2009). *Méthodologie de calcul du contenu énergétique des usages*. note EDF R&D H-E21-2009-03980-FR.
- **POUROUCHOTTAMIN, P., & LABATUT, M.** (2011). *Élaboration d'une méthodologie de calcul d'empreinte énergétique différenciée selon les catégories de ménages en France*, note EDF R&D : H-E21-2011-02960-FR.
- **QUINET, A.** (2008). *Rapport de la Commission sur la mesure du pouvoir d'achat des ménages*. Ministère de l'Économie.
- **SAUJOT, M.** (2012). *La vulnérabilité, l'autre précarité énergétique*. Policy Brief 05/12, Iddri.
- Sénat, délégation de la planification. (2009). *Rapport d'information sur la relation économique entre la consommation des ménages et les importations*.
- **STIGLITZ, J., SEN, A., & FITOUSSI, J.** (2009). *Rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social*.
- **TURNER, K., LENZEN, M., & WIEDMANN, T.** (2007). "Examining the global environmental impact of regional consumption activities: Part 1 & Part 2". *Ecological Economics* (61, 37-44).
- **WEBER, C. L.** (2008). *Uncertainties in constructing environmental multiregional Input-Output Models*. Pittsburgh, PA, USA: Carnegie Mellon University.
- **WEBER, C. L., & MATTHEWS, H. S.** (2008). Quantifying the global and distributional aspects of American household carbon footprint. *Ecological Economics* (66, 379-391).
- **WIEDMANN, T.** (2006). Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis. *Science Direct*, 28-48.
- **WIEDMANN, T. E.** (2007). *Multiregional Input-Output Modelling Opens New Opportunities for the Estimation of Ecological Footprints Embedded in International Trade*. Papier pour International Ecological Footprint Conference, Cardiff.
- **WIEDMANN, T.** (2009). "A review of recent multi-region input-output models used for consumption-based emission and resource accounting". *Ecological Economics* (69:2, 211-22).

Annexes

Annexe 1

Consommation énergie directe

Consommation d'énergie directe de 5 ménages types					
Journalière (kWh)	Éco	Standard	Energivore	Très énergivore	Contraint
Four	0.3	0.4	1.0	1.5	0.4
Plaques chauffantes	0.6	0.6	0.6	1.0	0.6
Réfrigérateur congélateur	0.3	1.0	1.8	3.3	1.0
micro-onde	0.2	0.2	1.0	0.5	0.2
bouilloire électrique	0.1	0.1	0.5	0.5	0.1
Lave linge	0.5	0.7	1.2	1.5	0.7
Lave vaisselle	0.4	0.5	1.5	1.5	0.5
Aspirateur	0.3	0.6	0.8	1.0	0.6
6 ampoules	0.4	0.6	0.8	4.0	0.6
Télévision	0.1	0.4	0.5	1.0	0.4
DVD	0.0	0.1	0.5	0.5	0.1
Chaine HIFI	0.1	0.1	0.5	0.5	0.1
Tour Ordinateur	0.2	0.2	0.5	0.8	0.2
Écran LCD	0.0	0.2	0.4	0.8	0.2
Imprimante	0.0	0.0	0.4	0.6	0.0
Modem	0.1	0.1	0.4	0.4	0.1
Veilles	0.0	0.5	1.0	4.0	0.5
Piscine	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0
Sous total électricité	3.5	6.4	13.4	29.4	6.4
Chauffage	3.3	13.2	41.1	82.2	49.3
chauffage eau	2.0	6.0	8.0	10.0	6.0
Transport	20.0	35.0	42.0	98.0	85.0
Total	28.83	60.51	104.53	219.58	146.67

Qualification des données énergétiques GTAP

L'allocation des consommations d'énergie primaire aux différentes entités consommatrices de la base GTAP a été faite à partir des informations de la base AIE pour l'année 2004. La confrontation des données brutes des deux bases a fait apparaître des écarts importants.

En effet, le total GTAP des consommations des entreprises (13 229 Mtep) et des ménages (1 917 Mtep) fait 15 146 Mtep, alors que le total AIE est de 11 227 Mtep (avec les « soutes »), soit un écart supérieur au 1/3 (3 869 Mtep).

Des échanges avec les concepteurs de GTAP ont permis de confirmer le problème, d'en identifier les causes et d'élaborer les premiers correctifs les plus adaptés.

Pour cela, il est nécessaire de comprendre la structure de la base AIE ainsi que la méthode de reconstruction utilisée par les concepteurs de GTAP.

Dans la base AIE, les données sont représentées en « produits » (primaires ou secondaires) alloués à certains secteurs (de l'économie) qui s'échangent des « flux » (d'énergie). Les flux entrants sont assimilés à un achat ou une consommation, affectés d'un signe négatif (« input »; <0). Les sortants, assimilés à une vente, sont affectés d'un signe positif (« output »; >0); ces flux sont ceux repris dans GTAP.

L'AIE définit par pays une grandeur « *TPES* » (*Total Primary Energy Supply*) qui représente la production d'énergie primaire d'un pays, à laquelle il faut ajouter les flux imports (>0) ou exports (<0), les variations de stocks et les soutes maritimes (<0) pour avoir une image de l'énergie primaire consommée dans le pays. L'ensemble des utilisateurs de cette énergie est divisé en 3 groupes : les consommateurs finaux, un secteur « énergie » (fournisseurs d'énergie finale) et un secteur « transformation » (où la ressource énergétique brute est transformée en vecteur utilisable).

On a :

$$\{0\} TPES = TFC - ([TS] + [ES] + \Delta), \text{ (avec } \Delta = DL \text{ (Distribution Loss, ou « pertes ») + } T \text{ (transferts) + } SD \text{ (statistical differences, ou « écarts statistiques »)}$$

Soit :

l'ensemble de la production primaire = la consommation finale - (l'énergie « perdue » dans les transformations des produits énergétiques (<0) + les consommations du secteur énergie (<0)) + les pertes (<0) (- les écarts statistiques - les transferts (reclassements comptables,)) « Δ » représentant la somme algébrique des éléments constitutifs de l'écart

Dans sa base, l'AIE ne compte pas les achats de combustibles des *utilities* (électriciens et producteurs de chaleur) pour leur revente d'énergie dans le secteur « énergie », mais dans le secteur « transformation ».

Lors de l'introduction de la dimension énergétique dans GTAP, les concepteurs ont été confrontés à deux difficultés :

- la première relative aux différences de découpage sectoriel entre les deux bases est classique et assez facile à circonscrire — ce qui ne signifie pas qu'elle soit facile à mettre en oeuvre pour autant ;
- la seconde, plus délicate, concerne la comptabilité énergétique, qui du côté GTAP s'est attachée à allouer à chaque flux monétaire sectoriel un flux énergétique. Or tous les « produits » énergétiques ne sont pas explicitement consommés : certains disparaissent simplement lors de la transformation (chaleur, etc.), sans être explicitement identifiés comme une consommation d'un secteur. D'autres sont des conséquences du choix des conventions statistiques (pour les énergies non fossiles par exemple). Du coup, certains flux énergétiques sont difficiles à allouer à un flux monétaire.

Pour GTAP, en considérant les flux énergétiques, ça donne pour le secteur « transformation » :
 $[ITS] = -ITS + OTS$, (les transformations correspondent à l'écart entre les valeurs absolues ce qui rentre et sort du secteur transformation pour être consommé/acheté par d'autres secteurs)

Et pour le secteur « énergie » :

$[ES] = -IES + OES$, (les consommations du secteur énergie avec $OES = 0$ pour l'AIE)

{0} devient :

{0'} $TPES = TFC + IES + ITS - OTS - \Delta$. (consoPrimaire = consofinale + entréesSecteurEnergie + entréesTransfo - sortiesTransfo - les pertes - les transferts - les différences statistiques)

Où :

{0''} $TPES = TFC + IES + ITS - OTS - (\Delta)$ (consoPrimaire = consofinale + entréesSecteurEnergie + entréesTransfo - sortiesTransfo - les écarts)

D'où :

{i} $TFC + IES + ITS = TPES + OTS + (\Delta)$

Avec chaque fois les « trigrammes » (TFC , IES , ITS et OTS) étant les valeurs absolues des flux.

Or dans GTAP, qui repose sur les flux monétaires, le bilan énergie total (E_{GTAP}) apparaît comme la somme des consommations énergétiques des secteurs productifs (EVF) et des ménages (EVH), soit :

$E_{GTAP} = [EVF + EVH] = TFC + IES + ITS - ITS_{nf}$, (consommation finale+consommation du secteur « Énergie » + consommation du secteur « transformation » - inputs non fossiles qui ne correspondent pas à des achats réels d'énergie et ne peuvent pas apparaître dans GTAP)

{i} devient :

$TPES = E_{GTAP} - OTS - (\Delta) + ITS_{nf}$. Avec $ITS_{nf} = 1156$ Mtep et $OTS = 5581$ Mtep

L'écart entre le bilan AIE et GTAP correspond aux productions (*output*) du secteur « transformation ». GTAP les comptabilise deux fois : une fois au niveau du secteur transformation et une fois dans le secteur énergie. Alors que d'un point de vue comptable, il s'agit souvent d'une même entité ! Le tout corrigé, les *inputs* non fossiles non comptabilisés dans GTAP. Cette correction permet de recalculer les niveaux globaux d'énergie, mais elle peut avoir un impact sur le suivi des imports/exports des ressources énergétiques ; un travail d'analyse reste à faire.

Et plus précisément en tenant compte de la biomasse traditionnelle ($EBT = 942$ Mtep) qui ne doit pas apparaître dans les TES , on obtient :

$E_{GTAP} = EVF + EVH = TFC + IES + ITS - ITS_{nf} - EBT + \Delta$

Soit :

{i} $E_{GTAP} = TPES + OTS - ITS_{nf} - EBT + (\Delta)$

Ce recalage effectué, le bilan énergétique mondial devient plus cohérent.

Recalage du bilan énergétique global dans GTAP			
Bilan énergétique	Mtep	Écart (Mtep)	(%)
Global AIE pour 2004 (sans les soutes)	10 980		
Global AIE pour 2004 (avec les soutes)	11 277		
Global GTAP 7 original	15 146	3869	≈ 34%
À retirer des consommations du secteur « transformation »	-5 881		
À ajouter à l'équivalent énergie primaire des vecteurs non fossiles	+1 156		
À ajouter la biomasse traditionnelle	+ 942		
Global GTAP 7 recalé	11 664	386	≈ 3%

Le tableau suivant montre que des investigations plus fines à l'échelle régionale seront aussi nécessaires pour bien consolider les résultats, particulièrement pour le Moyen-Orient (traitement du pétrole), l'Amérique Latine (effet du poids de la ressource biomasse), etc.

Une discussion avec les concepteurs de la base GTAP sera nécessaire pour connaître exactement la répartition faite dans GTAP des soutes et de la biomasse traditionnelle tant à l'échelle globale que régionale. Cet échange devra aussi aborder des éléments constitutifs de la grandeur « Δ » (qui valent en 2004 respectivement -183 Mtep pour *DL*, +19 Mtep pour *T* et -21 Mtep pour *SD*). Ils ne sont pas intégrés dans les corrections pour cette étude.

Il faudra d'abord actualiser les résultats avec la nouvelle version de la base GTAP.

Ventilation régionale des résultats										
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦			
	TPES	GTAP0	GTAP0 - AIE	OTS	ITSnf	GTAP1	GTAP1 - AIE	EBt	GTAP2	GTAP2 - AIE
EU 15+	1495	2 169	-45%	875	-200	1494	0%	35	1528	-2%
France	284	286	-1%	142	-124	269	5%	9	278	2%
EU Nouveaux pays	299	409	-37%	148	-32	293	2%	13	306	-2%
Chine	1677	2 083	-24%	634	-45	1494	11%	217	1711	-2%
Japon Corée Tw	876	1 300	-48%	512	-135	923	-5%	2	926	-6%
Asie du Sud	639	629	1%	207	-17	440	31%	202	641	0%
Pacifique Sud	617	718	-16%	230	-44	533	14%	111	643	-4%
Am. du Nord	2644	3 716	-41%	1 362	-323	2676	-1%	49	2725	-3%
Am. Latine	677	977	-44%	402	-88	663	2%	68	731	-8%
Moyen Orient	499	897	-80%	323	-2	575	-15%	1	576	-15%
Afrique	596	484	19%	170	-58	372	38%	231	603	-1%
Ex URSS	974	1 478	-52%	576	-88	991	-2%	4	995	-2%
Total monde	11277	15 146	-34%	5 581	-1 156	10722	4,9%	942	11664	-3,4%

① TPES : AIE avec Soutes	⑥ EBt : Primary solid biomass TFC
② GTAP0 : Bilan énergie GTAP initial	⑦ GTAP2 : GTAP1+EBT
③ OTS : Outputs secteur transformation mtep	
④ ITSnf : Input secteur transformation non fossile	
⑤ GTAP1 : GTAP0 - OTS + ITSnf	

Étude Insee

On trouve donc, sur le site de l'Insee, les données organisées pour les quatre types de catégories de ménages. Ci-dessous la décomposition du compte par quintiles de niveau de vie : dépenses de consommation ; transferts sociaux en nature ; et consommation finale effective des ménages ordinaires de métropole ; en 2003, selon l'échelle des niveaux de vie, montant annuel moyen par ménage et par unité de consommation.

		Ensemble Ménages ordinaires métropole					
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	↓
P3	Dépense de consommation finale						
1	Prod. alimentaires et boissons non alcoolisées	3 021	4 115	4 825	5 452	6 253	4 733
2	Boissons alcoolisées et tabac	762	1 089	1 226	1 299	1 314	1 138
3	Articles d'habillement et chaussures	770	1 224	1 612	2 079	2 696	1 676
4	Logement, eau, gaz, électricité et autres combustibles	3 719	5 630	7 666	9 828	12 919	7 953
5	Meubles, articles de ménage et entretien courant de l'habitation	761	1 339	1 718	2 231	3 898	1 989
6	Santé	784	1 089	1 187	1 162	1 338	1 112
7	Transport	1 737	3 366	4 664	5 827	6 935	4 506
8	Communications	621	812	919	1 089	1 117	911
9	Loisirs et culture	1 093	1 993	2 702	3 591	5 336	2 943
10	Education	78	117	176	303	426	220
11	Hôtels, cafés et restaurants	637	1 275	1 876	2 905	4 406	2 220
12	Autres biens et services	1 260	2 043	2 650	3 328	5 077	2 872
	<i>Dépense de consommation par ménage</i>	<i>15 242</i>	<i>24 093</i>	<i>31 220</i>	<i>39 096</i>	<i>51 716</i>	<i>32 274</i>
	<i>Dépense de consommation par unité de consommation</i>	<i>9 927</i>	<i>15 220</i>	<i>19 335</i>	<i>23 863</i>	<i>33 507</i>	<i>20 388</i>
D63	Transferts sociaux en nature						
1	Prod. alimentaires et boissons non alcoolisées						
2	Boissons alcoolisées et tabac						
3	Articles d'habillement et chaussures						
4	Logement, eau, gaz, électricité et autres combustibles	1 433	462	103	27	12	408
5	Meubles, articles de ménage et entretien courant de l'habitation						
6	Santé	3 945	4 270	3 985	3 464	3 550	3 843
7	Transport	35	36	36	37	35	36
8	Communications						
9	Loisirs et culture	182	419	615	805	1 156	636
10	Education	4 223	3 059	2 785	2 698	2 321	3 017
11	Hôtels, cafés et restaurants						
12	Autres biens et services	1 864	1 317	1 259	1 269	1 134	1 368
	Dont : Administration	841	867	884	897	845	867
	Aide aux handicapés	520	83	32	25	14	135
	Personnes âgées, dépendance	339	154	47	21	9	114
	Garde d'enfants, crèches	34	103	201	239	200	155
	Aide sociale à l'enfance (ASE)	130	109	94	88	66	97
	<i>Transferts sociaux en nature par ménage</i>	<i>11 681</i>	<i>9 562</i>	<i>8 784</i>	<i>8 300</i>	<i>8 208</i>	<i>9 307</i>
	<i>Transferts sociaux en nature par unité de consommation</i>	<i>7 607</i>	<i>6 040</i>	<i>5 440</i>	<i>5 066</i>	<i>5 318</i>	<i>5 879</i>
P4	Consommation finale effective						
1	Prod. alimentaires et boissons non alcoolisées	3 021	4 115	4 825	5 452	6 253	4 733
2	Boissons alcoolisées et tabac	762	1 089	1 226	1 299	1 314	1 138
3	Articles d'habillement et chaussures	770	1 224	1 612	2 079	2 696	1 676
4	Logement, eau, gaz, électricité et autres combustibles	5 153	6 092	7 769	9 856	12 932	8 360
5	Meubles, articles de ménage et entretien courant de l'habitation	761	1 339	1 718	2 231	3 898	1 989
6	Santé	4 728	5 359	5 173	4 626	4 888	4 955
7	Transport	1 771	3 402	4 700	5 864	6 970	4 541
8	Communications	621	812	919	1 089	1 117	911
9	Loisirs et culture	1 275	2 412	3 317	4 396	6 492	3 578
10	Education	4 301	3 176	2 961	3 001	2 747	3 237
11	Hôtels, cafés et restaurants	637	1 275	1 876	2 905	4 406	2 220
12	Autres biens et services	3 123	3 360	3 908	4 598	6 211	4 240
	<i>Dépense de consommation par ménage après transferts sociaux en nature</i>	<i>26 923</i>	<i>33 655</i>	<i>40 004</i>	<i>47 396</i>	<i>59 923</i>	<i>41 580</i>
	<i>Dépense de consommation par ménage après transferts sociaux en nature par unité de consommation</i>	<i>17 534</i>	<i>21 261</i>	<i>24 775</i>	<i>28 928</i>	<i>38 825</i>	<i>26 267</i>
	Milliers de ménages	5 052	5 052	5 052	5 052	5 052	25 258
	Nombre moyen d'unités de consommation	1,54	1,58	1,61	1,64	1,54	1,58

Source : http://www.insee.fr/fr/themes/theme.asp?theme=16&sous_theme=2.2

Analyse par fonction de consommation

L'analyse par fonction vise à donner une vue globale de la production réalisée par une unité donnée. Certaines activités de production ne donnent pas lieu à facturation et ne sont donc normalement pas enregistrées ou mesurées à des fins statistiques. Elles échappent dès lors à une analyse par secteur d'activité ou par production. L'analyse par fonction s'intéresse à l'étude de toutes les activités facturées et non facturées.

Dans les statistiques sur les entreprises, une distinction peut être faite entre les fonctions suivantes : production, achats, recherche-développement, ventes et marketing, administration, comptabilité, gestion, transports (internes), réparations, commerce, etc. Lorsque ces fonctions sont des activités auxiliaires (activités exercées à l'intérieur d'une entreprise pour pouvoir exercer d'autres activités), elles ne sont généralement pas facturées.

Une autre définition de l'analyse par fonction consiste dans le regroupement de toutes les activités productives concourant à la satisfaction d'un besoin donné. Les fonctions suivantes peuvent être distinguées : éducation, défense, logement, habillement, marketing, transports, comptabilité, commerce, etc. Une analyse par fonction peut dès lors couvrir de nombreux secteurs d'activité. Le but de l'analyse est d'observer comment un besoin donné (par exemple l'éducation) est satisfait par les différents secteurs d'activité.

L'analyse par fonction est à l'origine de certaines nomenclatures spécifiques :

- la **COICOP**, nomenclature des fonctions de la consommation individuelle des ménages pour les dépenses des ménages.
- la **COFOG**, nomenclature des fonctions des administrations publiques pour les dépenses des administrations publiques.
- La **COPNI**, nomenclature des fonctions des institutions sans but lucratif au service des ménages.
- La **COPP**, nomenclature des dépenses des producteurs par fonction.

La COICOP

Il s'agit d'une nomenclature « fonctionnelle » du système de comptabilité nationale (SCN) développée par EUROSTAT. Elle sert à classer les transactions effectuées entre les producteurs et le secteur institutionnel des ménages. Elle permet donc de connaître les dépenses que les ménages consacrent à l'alimentation, à la santé, à l'éducation, etc. L'OCDE étudie actuellement cette classification afin de déterminer si elle l'adoptera de façon plus large.

Cette classification présente, dans sa version agrégée, douze secteurs « standards », auxquels s'ajoutent un ou deux secteurs recouvrant les dépenses des administrations (dépenses individualisables des administrations) et des entités non lucratives au bénéfice des ménages (ISBLSM). Ces secteurs complémentaires représentent les transferts en nature entre le secteur institutionnel des administrations et les ménages.

Il existe également un niveau de désagrégation plus fin, qui présente 47 sous-fonctions de consommation réparties dans les 12 ou 14 postes principaux.

Dans le cadre d'études sur la consommation effective des ménages, les postes 13 et 14 peuvent être ré-alloués sur les 12 premiers postes.

Intitulé des postes au niveau 1

- 01 Produits alimentaires et boissons non alcoolisées
- 02 Boissons alcoolisées, tabacs et stupéfiants
- 03 Articles d'habillement et chaussures
- 04 Logement, eau, gaz, électricité et autres combustibles
- 05 Ameublement, équipement ménager et entretien courant de la maison
- 07 Transports
- 08 Communications
- 09 Loisirs et culture
- 10 Enseignement
- 11 Hôtels, restaurants, cafés
- 12 Autres biens et services
- 13 Consommations individualisables des institutions non-lucratives à destination des ménages
- 14 Consommations individualisables des administrations à destination des ménages

Classification détaillée des fonctions de consommation des ménages (COICOP)

- 01 Produits alimentaires et boissons non alcoolisées**
 - 01.1 Produits alimentaires
 - 01.2 Boissons non alcoolisées
- 02 Boissons alcoolisées, tabac et stupéfiants**
 - 02.1 Boissons alcoolisées
 - 02.2 Tabac
 - 02.3 Stupéfiants
- 03 Articles d'habillement et chaussures**
 - 03.1 Articles d'habillement
 - 03.2 Chaussures
- 04 Logement, eau, gaz, électricité et autres combustibles**
 - 04.1 Loyers effectifs
 - 04.2 Loyers fictifs
 - 04.3 Entretien et réparation des logements
 - 04.4 Alimentation en eau et services divers liés au logement
 - 04.5 Électricité, gaz et autres combustibles
- 05 Meubles, articles de ménage et entretien courant du foyer**
 - 05.1 Meubles, articles d'ameublement, tapis et autres revêtements de sol
 - 05.2 Articles de ménage en textiles
 - 05.3 Appareils ménagers
 - 05.4 Verrerie, vaisselle et ustensiles de ménage
 - 05.5 Outillage et autre matériel pour la maison et le jardin
 - 05.6 Biens et services liés à l'entretien courant du foyer
- 06 Santé**
 - 06.1 Produits, appareils et matériels médicaux
 - 06.2 Services ambulatoires
 - 06.3 Services hospitaliers
- 07 Transports**
 - 07.1 Achat de véhicules
 - 07.2 Dépenses d'utilisation des véhicules
 - 07.3 Services de transport
- 08 Communications**
 - 08.1 Services postaux
 - 08.2 Matériel de téléphonie et de télécopie
 - 08.3 Services de téléphonie et de télécopie
- 09 Loisirs et culture**
 - 09.1 Matériel audiovisuel, photographique et de traitement de l'information
 - 09.2 Autres biens durables à fonction récréative et culturelle
 - 09.3 Autres articles et matériel de loisirs, de jardinage et animaux de compagnie
 - 09.4 Services récréatifs et culturels
 - 09.5 Journaux, livres et articles de papeterie
 - 09.6 Forfaits touristiques
- 10 Enseignement**
 - 10.1 Enseignement préélémentaire et primaire
 - 10.2 Enseignement secondaire
 - 10.3 Enseignement postsecondaire non supérieur
 - 10.4 Enseignement supérieur
 - 10.5 Enseignement non défini par niveau
- 11 Restaurants et hôtels**
 - 11.1 Services de restauration
 - 11.2 Services d'hébergement
- 12 Biens et services divers**
 - 12.1 Soins corporels
 - 12.2 Prostitution
 - 12.3 Effets personnels n.c.a.
 - 12.4 Protection sociale
 - 12.5 Assurance
 - 12.6 Services financiers n.c.a.
 - 12.7 Autres services n.c.a.

Fonctions de consommation correspondant aux transferts sociaux en nature

- 13 Dépenses de consommation individuelle à la charge des institutions sans but lucratif au service des ménages (ISBLSM)**
 - 13.1 Logement
 - 13.2 Santé
 - 13.3 Loisirs et culture
 - 13.4 Enseignement
 - 13.5 Protection sociale
 - 13.6 Autres services
- 14 Dépenses de consommation individuelle à la charge des administrations publiques**
 - 14.1 Logement
 - 14.2 Santé
 - 14.3 Loisirs et culture
 - 14.4 Enseignement
 - 14.5 Protection sociale

Version désagrégée (47 postes qui sont le détail des 12 postes principaux)²⁹.

²⁹ <http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regcst.asp?Cl=5>

Correspondance secteurs NES 118 – GTAP 56

Agriculture, sylviculture, pêche GTAP			
A01	Agriculture, chasse, services annexes, élevage	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12	
A02	Sylviculture, exploitation forestière, services annexes		13
A03	Pêche, aquaculture		14
Industries agricoles et alimentaires			
B01	Industrie des viandes		19,20
B02	Industrie du lait		22
B03	Industrie des boissons		26
B04	Travail du grain ; fabrication d'aliments pour animaux		23
B05	Industries alimentaires diverses	21,24,25	
B06	Industrie du tabac		26
Habillement, cuir			
C11	Industrie de l'habillement et des fourrures		28
C12	Industrie du cuir et de la chaussure		29
Édition, imprimerie, reproduction			
C20	Edition, imprimerie, reproduction		31
Pharmacie, parfumerie et entretien			
C31	Industrie pharmaceutique		33
C32	Fabrication de savons, de parfums et de produits d'entretien		33
Industries des équipements du foyer			
C41	Fabrication de meubles		30
C42	Bijouterie et fabrication d'instruments de musique		42
C43	Fabrication d'articles de sport, de jeux et industries diverses		42
C44	Fabrication d'appareils domestiques		41
C45	Fabrication d'appareils de réception, d'enregistrement et de reproduction (son, image)		
C46	Fabrication de matériel optique et photographique, horlogerie		41
Industrie automobile			
D01	Construction automobile		38
D02	Fabrication d'équipements automobiles		38
Construction navale, aéronautique et ferroviaire			
E11	Construction navale		39
E12	Construction de matériel ferroviaire roulant		39
E13	Construction aéronautique et spatiale		39
E14	Fabrication de cycles, motocycles, matériel de transport n.c.a.		39
Industries des équipements mécaniques			
E21	Fabrication d'éléments en métal pour la construction		37
E22	Chaudronnerie, fabrication de réservoirs métalliques et de chaudières		35
E23	Fabrication d'équipements mécaniques		41
E24	Fabrication de machines d'usage général		41
E25	Fabrication de machines agricoles		41
E26	Fabrication de machines-outils		41
E27	Fabrication d'autres machines d'usage spécifique		41
E28	Fabrication d'armes et de munitions		41
Industries des équipements électriques et électroniques			
E31	Fabrication de machines de bureau et de matériel informatique		40
E32	Fabrication de moteurs, génératrices et transformateurs électriques		41
E33	Fabrication d'appareils d'émission et de transmission		40
E34	Fabrication de matériel médicochirurgical et d'orthopédie		41
E35	Fabrication de matériel de mesure et de contrôle		41
Industries des produits minéraux			
F11	Extraction de minerais métalliques		18
F12	Autres industries extractives		18
F13	Fabrication de verre et d'articles en verre		34
F14	Fabrication de produits céramiques et de matériaux de construction		34
Industrie textile			
F21	Filature et tissage		27
F22	Fabrication de produits textiles		27
F23	Fabrication d'étoffes et d'articles à maille		27
Industries du bois et du papier			
F31	Travail du bois et fabrication d'articles en bois		30
F32	Fabrication de pâte à papier, de papier et de carton		31
F33	Fabrication d'articles en papier ou en carton		31
Chimie, caoutchouc, plastiques			
F41	Industrie chimique minérale		33
F42	Industrie chimique organique		33
F43	Parachimie		33
F44	Fabrication de fibres artificielles ou synthétiques		33
F45	Industrie du caoutchouc		33
F46	Transformation des matières plastiques		33
Métallurgie et transformation des métaux			
F51	Sidérurgie et première transformation de l'acier		35
F52	Production de métaux non ferreux		36
F53	Fonderie		35
F54	Services industriels du travail des métaux		35
F55	Fabrication de produits métalliques		37
F56	Récupération		35
Industrie des composants électriques et électroniques			
F61	Fabrication de matériel électrique		41
F62	Fabrication de composants électroniques		41
Production de combustibles et de carburants			
G11	Extraction de houille, de lignite et de tourbe		15
G12	Extraction d'hydrocarbures ; services annexes	16 et 17	
G13	Extraction de minerais d'uranium		18
G14	Cokéfaction et industrie nucléaire		32
G15	Raffinage de pétrole		32

Eau, gaz, électricité		
G21	Production et distribution d'électricité, de gaz et de chaleur	43 et 44
G22	Captage, traitement et distribution d'eau	45
Construction		
H01	Bâtiment	46
H02	Travaux publics	46
Commerce et réparation automobile		
J10	Commerce et réparation automobile	47
Commerce de gros, intermédiaires		
J20	Commerce de gros, intermédiaires	47
Commerce de détail, réparations		
J31	Grandes surfaces à prédominance alimentaire	47
J32	Magasins d'alimentation, spécialisés ou non	47
J33	Autres commerces de détail, en magasin ou non, réparations	47
Transports		
K01	Transports ferroviaires	48
K02	Transport routier de voyageurs	48
K03	Transport routier (ou par conduites) de marchandises	48
K04	Transports par eau	49
K05	Transports aériens	50
K06	Transport spatial	50
K07	Manutention, entreposage, gestion d'infrastructures	48
K08	Agences de voyage	48
K09	Organisation du transport de fret	48
Activités financières		
L01	Intermédiation financière	52
L02	Assurance	53
L03	Auxiliaires financiers et d'assurance	52
Activités immobilières		
M01	Promotion, gestion immobilière	54 et 57
M02	Location immobilière	54 et 57
Postes et télécommunications		
N11	Activités de poste et de courrier	51
N12	Télécommunications	51
Conseils et assistance		
N21	Activités informatiques	54 et 57
N22	Services professionnels	54 et 57
N23	Administration d'entreprises	54 et 57
N24	Publicité et études de marché	54 et 57
N25	Architecture, ingénierie, contrôle	54 et 57
Services opérationnels		
N31	Location sans opérateur	54 et 57
N32	Sélection et fourniture de personnel	54 et 57
N33	Sécurité, nettoyage et services divers aux entreprises	54 et 57
N34	Assainissement, voirie et gestion des déchets	56
Recherche et développement		
N40	Recherche et développement	54 et 57
Hôtels et restaurants		
P10	Hôtels et restaurants	47
Activités récréatives, culturelles et sportives		
P21	Activités audiovisuelles	55
P22	Autres activités récréatives, culturelles et sportives	55
Services personnels et domestiques		
P31	Services personnels	55
P32	Services domestiques	55
Éducation		
Q10	Education	56
Santé, action sociale		
Q21	Activités relatives à la santé	56
Q22	Action sociale	56
		56
Administration publique		
R10	Administration publique	56
Activités associatives et extra-territoriales ?		
R21	Activités associatives	
91.1A	Organisations patronales et consulaires	
91.1C	Organisations professionnelles	
91.2Z	Syndicats de salariés	
91.3A	Organisations religieuses	
91.3C	Organisations politiques	
91.3E	Organisations associatives n.c.a.	
R22	Activités extra-territoriales	
99.0Z	Activités extra-territoriales	

Découpage régional

N° Région	Description	Pays	Nom	N° GTAP
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	AUT	Autriche	46
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	BEL	Belgique	47
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	DNK	Danemark	50
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	FIN	Finlande	52
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	DEU	Allemagne	54
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	GRC	Grèce	55
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	IRL	Irlande	57
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	ITA	Italie	58
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	LUX	Luxembourg	61
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	NLD	Pays-Bas	63
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	PRT	Portugal	65
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	ESP	Espagne	68
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	SWE	Suède	69
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	GBR	Royaume-Uni	70
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	CHE	Suisse	71
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	NOR	Norvège	72
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	XEF	Reste de l'AELE	73
1 Europe15	Europe des 15 sauf France +Tur	TUR	Turquie	90
2 France	France	FRA	France	53
3 EuropeNew	Europe nouveaux entrants	CYP	Chypre	48
3 EuropeNew	Europe nouveaux entrants	CZE	République tchèque	49
3 EuropeNew	Europe nouveaux entrants	EST	Estonie	51
3 EuropeNew	Europe nouveaux entrants	HUN	Hongrie	56
3 EuropeNew	Europe nouveaux entrants	LVA	Lettonie	59
3 EuropeNew	Europe nouveaux entrants	LTU	Lituanie	60
3 EuropeNew	Europe nouveaux entrants	MLT	Malte	62
3 EuropeNew	Europe nouveaux entrants	POL	Pologne	64
3 EuropeNew	Europe nouveaux entrants	SVK	Slovaquie	66
3 EuropeNew	Europe nouveaux entrants	SVN	Slovénie	67
3 EuropeNew	Europe nouveaux entrants	BGR	Bulgarie	75
3 EuropeNew	Europe nouveaux entrants	ROU	Roumanie	78
3 EuropeNew	Europe nouveaux entrants	XER	Reste de l'Europe	82
4 Chine	Chine HKG Singapour	CHN	Chine	4
4 Chine	Chine HKG Singapour	HKG	Hong Kong	5
4 Chine	Chine HKG Singapour	SGP	Singapour	16
5 JaponCoree	Japon et Corée du Sud, et Taiwan	JPN	Japon	6
5 JaponCoree	Japon et Corée du Sud, et Taiwan	KOR	Corée du Sud	7
5 JaponCoree	Japon et Corée du Sud, et Taiwan	TWN	Taiwan	8
6 AsieduSud	Sous-continent indien	BGD	Bangladesh	20
6 AsieduSud	Sous-continent indien	IND	Inde	21
6 AsieduSud	Sous-continent indien	PAK	Pakistan	22
6 AsieduSud	Sous-continent indien	LKA	Sri Lanka	23
6 AsieduSud	Sous-continent indien	XSA	Reste de l'Asie du Sud	24
7 PacifiqueSud	Asie du Sud-Est	AUS	Australie	1
7 PacifiqueSud	Asie du Sud-Est	NZL	Nouvelle-Zélande	2
7 PacifiqueSud	Asie du Sud-Est	XOC	Reste de l'Océanie	3
7 PacifiqueSud	Asie du Sud-Est	XEA	Reste de l'Asie de l'Est	9
7 PacifiqueSud	Asie du Sud-Est	KHM	Cambodge	10
7 PacifiqueSud	Asie du Sud-Est	IDN	Indonésie	11
7 PacifiqueSud	Asie du Sud-Est	LAO	Laos	12
7 PacifiqueSud	Asie du Sud-Est	MMR	Myanmar	13
7 PacifiqueSud	Asie du Sud-Est	MYS	Malaisie	14
7 PacifiqueSud	Asie du Sud-Est	PHL	Philippines	15
7 PacifiqueSud	Asie du Sud-Est	THA	Thaïlande	17
7 PacifiqueSud	Asie du Sud-Est	VNM	Vietnam	18
7 PacifiqueSud	Asie du Sud-Est	XSE	Reste de l'Asie du Sud-Est	19

N°	Région	Description	Pays	Nom	N° GTAP
8	NAmerica	Amérique du Nord	CAN	Canada	25
8	NAmerica	Amérique du Nord	USA	États-Unis d'Amérique	26
8	NAmerica	Amérique du Nord	XNA	Reste de l'Amérique du Nord	28
9	LatinAmer	Amérique latine	MEX	Mexique	27
9	LatinAmer	Amérique latine	ARG	Argentine	29
9	LatinAmer	Amérique latine	BOL	Bolivie	30
9	LatinAmer	Amérique latine	BRA	Brésil	31
9	LatinAmer	Amérique latine	CHL	Chili	32
9	LatinAmer	Amérique latine	COL	Colombie	33
9	LatinAmer	Amérique latine	ECU	Équateur	34
9	LatinAmer	Amérique latine	PRY	Paraguay	35
9	LatinAmer	Amérique latine	PER	Pérou	36
9	LatinAmer	Amérique latine	URY	Uruguay	37
9	LatinAmer	Amérique latine	VEN	Venezuela	38
9	LatinAmer	Amérique latine	XSM	Reste de l'Amérique du Sud	39
9	LatinAmer	Amérique latine	CRI	Costa Rica	40
9	LatinAmer	Amérique latine	GTM	Guatemala	41
9	LatinAmer	Amérique latine	NIC	Nicaragua	42
9	LatinAmer	Amérique latine	PAN	Panama	43
9	LatinAmer	Amérique latine	XCA	Reste de l'Amérique centrale	44
9	LatinAmer	Amérique latine	XCB	Caraiibes	45
10	MoyenOrient		IRN	Iran	89
10	MoyenOrient		XWS	Reste de l'Asie de l'Ouest	91
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	EGY	Égypte	92
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	MAR	Maroc	93
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	TUN	Tunisie	94
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	XNF	Reste de l'Afrique du Nord	95
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	NGA	Nigeria	96
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	SEN	Sénégal	97
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	XWF	Reste de l'Afrique de l'Ouest	98
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	XCF	Afrique centrale	99
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	XAC	Afrique centrale du Sud	100
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	ETH	Éthiopie	101
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	MDG	Madagascar	102
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	MWI	Malawi	103
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	MUS	Maurice	104
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	MOZ	Mozambique	105
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	TZA	Tanzanie	106
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	UGA	Ouganda	107
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	ZMB	Zambie	108
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	ZWE	Zimbabwe	109
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	XEC	Rest of Eastern Africa	110
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	BWA	Botswana	111
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	ZAF	Afrique du Sud	112
11	Afrique	Afrique sub-saharienne	XSC	Rest of South African Customs	113
12	Ex-URSS	anciens pays « soviétiques »	ALB	Albanie	74
12	Ex-URSS	anciens pays « soviétiques »	BLR	Belarus	76
12	Ex-URSS	anciens pays « soviétiques »	HRV	Croatie	77
12	Ex-URSS	anciens pays « soviétiques »	RUS	Russie	79
12	Ex-URSS	anciens pays « soviétiques »	UKR	Ukraine	80
12	Ex-URSS	anciens pays « soviétiques »	XEE	Reste de l'Europe de l'Est	81
12	Ex-URSS	anciens pays « soviétiques »	KAZ	Kazakhstan	83
12	Ex-URSS	anciens pays « soviétiques »	KGZ	Kirghizistan	84
12	Ex-URSS	anciens pays « soviétiques »	XSU	Reste de l'ex-URSS	85
12	Ex-URSS	anciens pays « soviétiques »	ARM	Arménie	86
12	Ex-URSS	anciens pays « soviétiques »	AZE	Azerbaïdjan	87
12	Ex-URSS	anciens pays « soviétiques »	GEO	Géorgie	88

L'équation de LEONTIEF pour une région

L'équation de LEONTIEF permet de formaliser, à partir de la connaissance des flux monétaires, les relations et équilibres entre production et consommation au sein des économies.

La relation entre secteurs de l'économie dans une région peut être énoncée ainsi :

Pour i secteurs producteurs des biens et services d'une économie ($i=1, \dots, n$), avec une production (ou ressource) x_i par secteur i qui satisfait une demande (consommation ou emploi) finale y_i en produits du secteur i et des demandes intermédiaire (x_{ij}) des autres secteurs j ($j=1, \dots, n$) en produits du secteur i , on peut écrire :

Emplois = CI + Y		=	Ressources / Productions	
Côté emplois il faut rajouter la FBCF, les variations de stocks (VS) et les exports	$x_{11} + x_{12} + x_{13} + \dots + x_{1n} + y_1$	=	x_1	Côté ressources (dom+imports) il faut rajouter les marges, commerciales et de transport, les impôts (-subventions)
	$x_{21} + x_{22} + x_{23} + \dots + x_{2n} + y_2$	=	x_2	
	...			
	$x_{n1} + x_{n2} + x_{n3} + \dots + x_{nn} + y_n$	=	x_n	

et avec :

$X = (x_i)$ le vecteur production de la région r avec, x_i = production du secteur i dans la région r .

$Y = (y_i)$ le vecteur consommation finale de la région par secteurs i ;

y_i = demande finale de produits du secteur i qui comprend la consommation finale domestique (yc. les imports) des ménages et des administrations publiques, avec les variations des stocks et la formation brute de capital fixe.

$A = [a_{ij}]$ la matrice ($n \times n$) des coefficients techniques des entrées intermédiaires;
 $a_{ij} = x_{ij} / x_j = x_{ij} / (\sum_i x_{ji} + y_j)$ quantité de produits du secteur i utilisés par le secteur j pour une unité de sa production.

On obtient :

$$X = AX + Y \rightarrow X = (I - A)^{-1} Y \text{ (Équation de Léontief)}$$

L'équation peut se généraliser pour une demande « arbitraire » (production induite dans chaque secteur par la hausse de la consommation d'un produit donné), ainsi : $\Delta X = (I - A)^{-1} \Delta Y$

Pour R régions (approche multirégionale)

Pour le monde divisé en R régions, pour chaque région r ($r=1, \dots, R$), l'équation devient, avec les notations suivantes :

$X_r = (x^r_i)$ Production domestique de la région r , par secteur i , avec x^r_i = production du secteur i de la région r .

$Y_{rr} = (y^r_i)$ Demande finale domestique de la région r , par secteur i , avec y^r_i = demande finale de produits du secteur i , de la région r .

$Y_{zr} = (y^{zr}_i)$ Flux de produits, venant de la région z et consommés dans la région r

$A_{rr} = [a^{rr}_{ij}]$ Matrice intermédiaire domestique de la région r , avec a^{rr}_{ij} = quantité de produits domestiques i (du secteur i) utilisés par le secteur j dans la région r pour sa production par unité de production du secteur j ; i et j variant de 1 à n .

$A_{zr} = [a^{zr}_{ij}]$ Matrice intermédiaire, avec a^{zr}_{ij} = quantité de produits du secteur i de la région z utilisés par le secteur j de la région r pour sa production par unité de production.

On peut représenter l'ensemble des productions nécessaires, dans le monde, pour la demande « arbitraire » de la seule région r , avec R équations, avec m ($m=1, \dots, R$), avec :

Pour la région r ;

$$X_r = A_{rr} X_r + Y_{rr} + \sum_{z \neq m}^R (A_{rz} X_z + Y_{rz})$$

Pour les régions $m \neq r$;

$$X_m = A_{mm} X_m + Y_{mm} + \sum_{z \neq m}^R (A_{mz} X_z + Y_{mz})$$

Avec $Y_{mm} = 0$ pour $m \neq r$, l'équation se généralise comme suit :

$$X_m = A_{mm} X_m + Y_{mm} + \sum_{z \neq m}^R (A_{mz} X_z + Y_{mz})$$

L'ensemble des équations sous forme matricielle devient pour le cas $r=1$:

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \vdots \\ X_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & \dots & A_{1R} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & \dots & A_{2R} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & \dots & A_{3R} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_{R1} & A_{R2} & A_{R3} & \dots & A_{RR} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \vdots \\ X_R \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Y_{11} + \sum_{z=1}^R Y_{1z} \\ Y_{22} + \sum_{z=2}^R Y_{2z} \\ Y_{33} + \sum_{z=3}^R Y_{3z} \\ \vdots \\ Y_{mm} + \sum_{z=m}^R Y_{mz} \\ \vdots \\ Y_{RR} + \sum_{z=R}^R Y_{Rz} \end{pmatrix}$$

Finalement, plus généralement pour une région r , on obtient une "méta-équation" de Leontief :

$$(X_r) = [A_r] (X_r) + (Y_r) \rightarrow (X_r) = (I - [A_r])^{-1} (Y_r)$$

En additionnant les « méta-équations » relatives aux besoins induits par les consommations de toutes les régions, on obtient les besoins pour l'ensemble de la consommation du monde.

L'écriture algébrique de l'équation matricielle décomposée permet de passer par une formulation qui identifie les différents secteurs productifs qui contribuent à la fabrication des produits (X_r); soit pour chaque région :

$$(X_r) = {}^t(1) \times [I - A_r]^{-1} \times [\text{diag}(Y_r)];$$

avec $[\text{diag}(Y_r)] = [y_{ri}]$ la matrice diagonalisée de (Y_r) avec $y_{ii} = y_i$ et (1) le vecteur unité

Application à l'énergie

Il est alors possible d'affecter à chaque produit final l'énergie qui aura été nécessaire à chaque étape, par secteur i et région r , de son élaboration en multipliant la valeur, monétaire, de chaque étape par la consommation énergétique unitaire de la production de l'étape en question

L'énergie grise par secteurs

On peut alors calculer l'énergie grise, contenu énergétique, de la production finale de chaque secteur :

$$(E^{Cr}) = (e^{Cr}_i) = {}^t(e^r_i) \times [I - A_r]^{-1} \times [\text{diag}(Y_r)];$$

avec (e^r_i) vecteur colonne :

$e^r_i = (\text{consommation d'énergie du secteur } i \text{ dans la région } r) / (\text{Valeur monétaire de toute sa production du secteur } i \text{ dans la région } r)$

Énergie grise par "usage"

Une fois ce contenu énergétique, ou énergie grise, par secteurs calculé, il est possible d'établir un contenu par usage U à condition de savoir comment agréger les secteurs impliqués, soit :

$$\text{par usage } U : E^{CU}_r = \sum_{j=0}^{uf} e^{Cr}_j;$$

avec $\{u_0 ; uf\}$ = les produits nécessaires à la satisfaction de l'usage U .

Emprises énergétiques par "usage"

Il est possible, ensuite, d'ajouter à l'énergie grise (E^{Cur}) de l'usage U , l'énergie consommée au moment de la satisfaction de l'usage U (énergie d'usage) dans la région r (E^{Dur}), pour avoir l'emprise énergétique d'un usage U dans la région r (E^{Ur}), soit :

$$\text{par usage } U : E^{Ur} = \sum_{j=u_0}^{u_f} e^r_j + E^{Dur}$$

avec $\{u_0 ; u_f\}$ = les produits nécessaires à la satisfaction de l'usage U .

L'emprise énergétique des consommations dans chaque région

L'emprise énergétique des consommations totales de chaque région devient alors :

$$Er = \sum_{u=1}^T E^{Ur} \quad \text{Avec } T = \text{l'ensemble des usages } U \text{ dans la région } r$$

Simplification des flux d'échanges bilatéraux

Les matrices $[A_{mr}]$ et vecteurs (Y_{mr}) qui fournissent pour chaque secteur la provenance des imports, de la région m vers la région r , différenciés à la fois par secteurs et par régions de provenance sont rarement disponibles dans les bases de données mondiales de **TES**. En général, les bases des données fournissent plutôt :

- la matrice $[A^{Imr}] = \sum_{m=r}^R [A_{mr}]$, qui est la somme, par secteur, sur toutes les régions, de tous les imports qui arrivent d'un même secteur dans la région r . A^{Imr} donne, par secteur, l'ensemble des importations des consommations intermédiaires par secteur d'origine, mais sans la répartition par région d'origine de ces importations.
- Le vecteur $(Y^r_r) (= \sum_{m=r}^R (Y_{mr}))$, qui est la somme, par secteur et sur toutes les régions, de tous les imports qui arrivent dans la région r . (Y^r_r) donne, par secteur, l'ensemble des importations directes différenciés par secteur d'origine, mais sans la répartition par région d'origine de ces importations.
- Et la matrice $[P^r_r] = [p^r_{im}]$ matrice (totale) de la répartition par région m (m) de l'ensemble des importations (directes + consommations intermédiaires) de chaque secteur i avec p^r_{iz} qui représente pour le secteur i du pays r , la part de toutes ses importations, quels que soient les secteurs d'origine, venant de la région m .

Nous avons choisi de faire l'hypothèse que la répartition régionale des provenances des imports de chaque produit est la même :

- pour chaque secteur : chaque secteur de la région r importe la même proportion du total de ses importations de produits de tous les secteurs de la région m . Ce qui revient à dire, par exemple, que si 70 % de l'énergie importée globalement par la France vient du Moyen-Orient, 70 % de l'énergie importé par la sidérurgie vient du Moyen-Orient même si en réalité ce secteur importe surtout du charbon et donc en fait très peu d'énergie du Moyen-Orient ; dans ce cas on augmenterait la part des exports du Moyen-Orient !
- pour les imports consommés directement (imports directs) et pour les consommations intermédiaires (CI).

Ce n'est bien sûr pas vrai, mais les informations disponibles rendent cette approximation incontournable à ce stade de la réflexion pour pouvoir réaliser le calcul « réel ». Cette approximation explique l'écart que nous trouvons entre le bilan énergétique total de la modélisation et la valeur attendue (cf §).

Les matrices A_{mr} et Y_{mr} peuvent alors être « approximées », en pondérant les coefficients de la matrice A^{Imr} et du vecteur Y^r_r , des parts relatives des imports globales de chaque par régions issues de P^r_r . On obtient :

$$[A_{mr}] = [P^r_r] \times [A^{Imr}] \text{ et } (Y_{mr}) = [P^r_r] \times (Y^r_r)$$

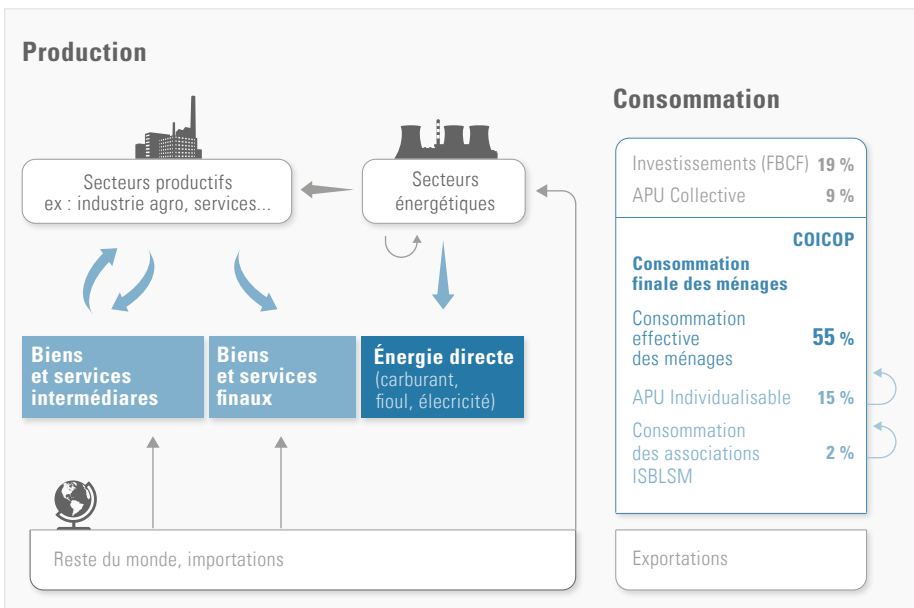
avec $[P^r_r] = [\text{Diag}(p^r_{im})]$ la matrice diagonalisée du vecteur (p^r_{im}) = la colonne m de la matrice $[P^r_r]$ qui représente la part de toutes importations pour les n secteurs « i » de la région r en provenance de la région m

$[A_{mm}]$, $[P^r_r]$, $[A^{Imr}]$, (Y_r) , (Y_{mr}) , étant des données accessibles, l'application numérique peut se faire.

La démarche en dix points

Pour résumer la démarche, nous avons :

1. ramené les COICOP de consommation par quintile de l'étude Insee sur la France métropolitaine à des valeurs pour toute la France en € 2004 => $\text{€}_{2004}/\text{COICOP}(Q_F)$;
2. ramené les contenus en énergie par millions de dollars de 2004 de production des secteurs GTAP issus de l'outil de calcul à des contenus en millions d'euros de 2004, différents selon les consommations intermédiaires domestiques ou importées, les imports directs et les exports => $\text{tep}/\text{M€}_{2004}(S_{\text{GTAP}}, \text{ImpD}, \text{CIDom}, \text{CIImp}, \text{Exp})$;
3. utilisé les TES 2004 en NES118 pour reconstituer l'ensemble de la consommation finale (« emplois ») en 2004 en rajoutant les composantes APU collectifs, ISBLM, FBCF et exports à la consommation effective décrite dans l'étude Insee ;
4. utilisé la matrice de passage NES118-COICOP pour avoir le poids des secteurs NES118 dans chaque COICOP ;
5. utilisé les informations du $\text{TES}_{\text{NACE60}}$ pour identifier les parts de consommations finales du $\text{TES}_{\text{NES118}}$ issues directement d'importations et traduit, à l'aide du (4) et du (3), cette information au niveau des résultats du (1) d'où => $\text{€}_{2004}/\text{COICOP}(Q_F, \text{ImpD}, \text{CIDom}, \text{CIImp})$;
6. construit un tableau de correspondance entre les secteurs en NES118 et ceux de GTAP ;
7. utilisé le (6) et le (4) pour avoir les poids des secteurs GTAP dans chaque COICOP
8. utilisé le (7) et le (2) pour obtenir des contenus unitaires d'énergie par COICOP => $\text{tep}/\text{M€}_{2004}(\text{COICOP}, \text{ImpD}, \text{CIDom}, \text{CIImp}, \text{Exp})$;
9. utilisé les bilans énergétiques 2004 du SOeS et les valeurs détaillées des dépenses de consommation d'énergie par quintile de l'Insee pour évaluer l'énergie utilisée directement par chaque quintile dans chaque COICOP => $\text{tep}/\text{M€}_{2004}(\text{COICOP}, Q, \text{NRJ}_{\text{uti}})$;
10. appliqué les (8) et (9) au (1) pour obtenir pour chaque quintile, Q, l'emprise énergétique par COICOP de la consommation finale => $\text{tep}/\text{M€}_{2004}(\text{COICOP}, Q, \text{ImpD}, \text{CIDom}, \text{CIImp}, \text{Exp}, \text{NRJ}_{\text{uti}})$.



Précisions sur quelques détails de la démarche en dix points

Groupes de population

L'étude Insee fournit les données différenciées selon le niveau de vie, la catégorie socioprofessionnelle ou l'âge de la personne de référence et la composition du ménage.

Nous présentons l'application du calcul de l'emprise énergétique des ménages selon leurs niveaux de vie, car c'est la différenciation qui s'interprète le plus facilement au niveau énergétique.

Consommation nationale

Comme nous souhaitons analyser l'ensemble de la consommation française pour vérifier le bon calage énergétique par rapport au bilan national, nous ne pouvions nous contenter de la seule consommation des ménages ; il nous fallait intégrer les composantes restantes des emplois, principalement les APU collectifs et la formation brute de capital (FBCF).

Nous avons choisi de les répartir de façon homogène entre chaque ménage ; ce n'est pas forcément exact, mais n'avons pas trouvé de meilleure façon de le faire.

Concernant la FBCF, une voie d'amélioration serait d'obtenir le tableau de formation de cette FBCF, ce qui nous permettrait de mieux la répartir entre les différents secteurs. Il nous faudra voir avec l'Insee si un tel tableau existe.

Année et périmètre géographique de travail

L'étude Insee (BELLAMY et al., 2009) était calée sur 2003, les données globales l'étaient sur 2004. Le plus simple a été de ramener « grossièrement » l'étude à l'année 2004 en augmentant globalement les résultats de l'augmentation du PIB en France de 2003 à 2004. En faisant cette hypothèse, nous avons supposé que les structures de consommations restaient inchangées, ce qui n'est pas vrai. Nous avons cependant estimé que l'erreur commise n'était pas importante au regard de ce que nous cherchions.

L'étude était délimitée au périmètre de la France métropolitaine alors que les données globales et énergétiques correspondent au territoire français total. Nous avons intégré la population des départements d'outre-mer (Dom) en supposant qu'ils avaient les mêmes consommations qu'en métropole. Ce n'est bien sûr pas vrai, car la structure démographique des populations ainsi que les transferts sociaux sont très différents, mais là encore nous avons considéré que l'erreur introduite ainsi restait faible par rapport aux grandeurs que nous voulions identifier.

Nous avons confirmé ces choix à la suite d'une discussion avec l'un des auteurs de l'étude, Mme Maryse FESSEAU.

Reconstitution des usages

La question du passage des secteurs productifs à des usages plus représentatifs de la consommation des ménages n'est pas nouvelle. Une solution bien adaptée aux bases de données économiques de référence est le passage par une nomenclature fonctionnelle d'usages de consommation comme la classification des fonctions de consommation des ménages COICOP (*Classification of Individual Consumption by Purpose*). Les résultats de l'étude Insee sur laquelle nous nous appuyons donnent d'ailleurs les résultats en COICOP (voir Annexe 3).

Quoiqu'il en soit, il n'y a pas de choix définitif de regroupement. La pertinence et le choix du découpage de la consommation en usages, selon les possibilités qu'offre la base GTAP, dépendent avant tout des besoins d'analyse. Celui présenté ci-après a été dicté par la meilleure adéquation possible à une reconstitution des fonctions de consommation (COICOP) utilisées par l'Insee. En fonction du type de consommation ou d'énergie que l'on souhaite analyser, il peut être amené à évoluer.

Passage des données Insee en COICOP

Les TES que nous devons utiliser pour élaborer l'emprise sont dans la nomenclature NES 118³⁰ de la comptabilité nationale. Pour passer au format des COICOP, nous avons utilisé une matrice de passage de la nomenclature NES 118 vers la nomenclature fonctionnelle COICOP en version désagrégée de l'Insee, qui nous a été très gracieusement transmise par M. Fabrice Lengart. Dans le cadre de notre étude, nous n'avons pas utilisé la matrice dans sa version désagrégée (47 postes qui sont le détail des 12 postes principaux)³¹. Nous avons ramené les pourcentages d'allocation aux 12 fonctions principales de consommation. En effet, les données de consommation de la décomposition du compte des ménages pour l'année 2003 réalisée par l'Insee (BELLAMY et al. 2009) ne sont accessibles au public que sous cette répartition en 12 postes principaux de la COICOP. Les données existent pour les 47 postes, mais elles ne sont pas rendues publiques par l'Insee.

Passage du format GTAP 57 au NES 118 de l'Insee

Une première étape a été de passer des 57 secteurs GTAP au format NES 118. Nous n'avons pas trouvé de matrice de passage *ad-hoc* et avons reconstruit manuellement les correspondances sur la base des définitions connues des deux bases. Le tableau de correspondance réalisé est consultable en annexe (Annexe 5 : correspondance secteurs NES 118 – GTAP 56). La seconde étape a permis, en utilisant la matrice NES118-COICOP, d'évaluer les poids respectifs des secteurs GTAP dans chaque COICOP.

Ce travail a été très délicat et il demeure l'un des points importants de fragilité de la méthode, car il n'y avait bien sûr pas de correspondance exacte et nous avons été obligé de faire de nombreuses simplifications³².

Voici un exemple des problèmes rencontrés lors de ce travail de construction des correspondances, pour les matières nucléaires :

- Le secteur 32 de GTAP contient les produits suivants : « coke, propane, butane, hydrocarbure à l'état gazeux et liquéfié, bitume de pétrole ». Il correspond aux secteurs NES G14 et G15 qui correspondent respectivement à la « production de coke de houille, gaz de cokerie, goudrons et production de matières nucléaires (mais pas l'extraction minière qui est dans G11, G12 et G13!) » et au « raffinage de pétrole, production de carburants ».
- Dans GTAP, la production de matières nucléaires est affectée au secteur 33 (chimie et plasturgie). Il existe donc ici un décalage dans la correspondance qu'il serait utile d'étudier de plus près car elle introduit un écart dans l'allocation des contenus en énergie !

30 Nomenclature économique de synthèse : nomenclature d'activités économiques et de produits en 16, 36 et 114 ou 118 positions utilisée par l'Insee entre 1994 et 2007 : <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=nomenclatures/nas2003/nas2003.htm>

31 <http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regcst.asp?Cl=5>

32 Des coefficients de recalage ont été utilisés pour lisser les écarts dus aux différences de périmètre des secteurs productifs et consommateurs dans GTAP et les TES Insee

La construction des secteurs d'activités dans la base de données GTAP se fonde sur deux nomenclatures : CPC³³ et ISIC_{rév3}³⁴. Il existe donc des correspondances précises entre les secteurs CPC, ISIC_{rév3} et GTAP. CPC et ISIC étant des nomenclatures utilisées à l'échelle internationale, il doit être possible — peut-être auprès de l'Insee — d'obtenir une correspondance entre ces nomenclatures et la NES 118. Ce point n'a pas été creusé en détail dans le cadre de cette étude et pourrait faire l'objet d'une recherche plus approfondie. En automatisant les correspondances, on doit pouvoir reconstruire de façon plus systématique une correspondance NES 118 — GTAP.

Nous ne sommes néanmoins pas allés aussi loin car la nomenclature NES 118 n'est plus utilisée depuis 2007. Une mise à jour sera donc de toute façon à faire, pour travailler avec la nouvelle nomenclature NACE.

Élaboration des « énergies grises » par COICOP

Pour calculer les « énergies grises » des COICOP, comme nous connaissions la dépense effective de consommation, il nous fallait des contenus en énergie unitaires par COICOP.

À partir de l'outil de calcul, nous avons les contenus unitaires (domestiques et importés) par secteur GTAP. Connaissant le poids respectifs des différents secteurs de GTAP dans les COICOP, nous avons pu reconstruire un contenu en énergie unitaire pour chaque COICOP.

Traitement de l'énergie directe

L'énergie directe est l'énergie finale consommée par les ménages ; le détail de ces dépenses (deuxième niveau de la COICOP) est accessible par quintile sur le site de l'Insee.

L'information dans la base GTAP ne nous permettant pas de différencier le fioul des carburants automobiles, nous avons choisi d'utiliser les données statistiques du ministère en charge de l'Énergie et donc d'hybrider les informations énergétiques GTAP avec les données nationales (SOeS). GTAP introduit une décomposition importée et domestique de cette énergie d'usage, ce qui n'est pas le cas dans les statistiques nationales : on passe de 66 Mtep d'énergie d'usage à 72 Mtep côté SOeS, ce qui ajoutera 6 Mtep (6,2) au bilan issu du calcul par rapport au bilan réel.

Dans le cadre de notre étude, nous avons considéré que toute l'énergie directe était domestique.

Dans cet exercice, nous avons alloué toutes les dépenses de carburant au COICOP transport et toute l'énergie résidentielle au COICOP logement, au prorata des dépenses précises.

À terme, l'énergie résidentielle devra être répartie entre les fonctions « alimentation », « communication », « loisir », « habillement », au-delà de la fonction « logement ». Mais cette opération est trop délicate pour être réalisée maintenant. En effet, il n'existe pas aujourd'hui de données statistiques qui permettent de le faire. Ce travail de différenciation par usage des consommations finales est loin d'être évident et demande une expertise importante. C'est l'objet d'un autre chantier.

Prise en compte des importations

La différenciation en énergie grise domestique et importée se fait automatiquement *via* l'outil d'élaboration à partir de GTAP, car toutes les données des GTAP sont différenciées selon qu'elles soient domestiques ou pas. C'est d'ailleurs l'un des grands intérêts de l'approche.

³³ Central Product Classification est la nomenclature exhaustive des produits des Nations Unies <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/clas-centr-produits-nat-unies.htm>

³⁴ International Standard Industrial Classification of All Economic Activities des Nations Unies <http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regcst.asp?Cl=2>

Par contre, pour ce qui est de la consommation finale de produits consommés directement, les données de l'étude Insee ne spécifient pas la provenance des biens consommés ; en effet, elles sont issues d'enquêtes et les consommateurs ne pouvant faire la distinction de l'origine de tous les produits, cette information n'est pas retranscrite.

Il nous fallait donc reconstruire les parts « importées » et « domestiques » des fonctions de la COICOP.

Nous avons décidé d'appliquer aux différentes dépenses de consommations en COICOP, la répartition moyenne des demandes finales en NES 118. C'est là une hypothèse forte, car il n'y a aucune raison que la part d'achats de produit importés soit la même pour tous les groupes de population, mais nous n'avions pas d'autres éléments nous permettant de faire mieux. Nous avons donc ainsi introduit un facteur de lissage des écarts qu'il nous faudra corriger ultérieurement.

Comme ces détails sur les importations n'étaient pas disponibles dans le TES en NES118, nous les avons reconstruites à partir d'un TES plus agrégé en NACE60³⁵.

Répartition dans les COICOP des productions domestiques et importées (directement)		
COICOP	Domestique	Importée
Alimentation 1	79%	21%
Alcool - Tabac 2	52%	48%
Habits - chaussures 3	36%	64%
Logement 4	98%	2%
Équipements ménagers 5	61%	39%
Santé 6	90%	10%
Transport 7	69%	31%
Communication 8	92%	8%
Loisirs - culture 9	78%	22%
Éducation 10	100%	0%
Restaurants - hotels 11	100%	0%
Autres services 12	86%	14%

³⁵ Cette opération a imposé des ajustements car la distinction entre ménages, APU n'apparaît pas en NACE60 et nous n'avions pas de matrice de transfert NACE60-COICOP.

Détails sur les emprises énergétiques internationales en 2004

Tableau A10-1

Détails sur les emprises énergétiques internationales en 2004

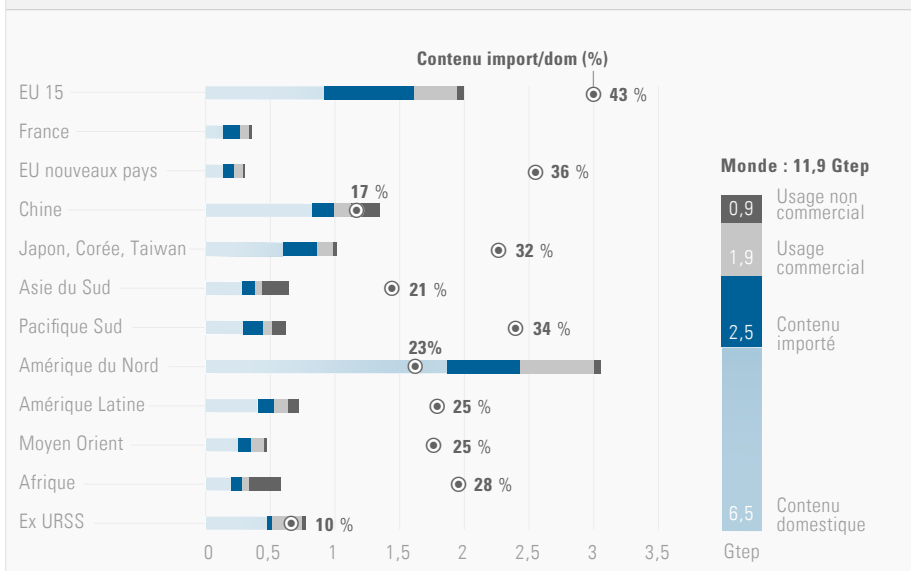
Mtep	Emprise énergétique	Énergie grise	Énergie directe	Énergie directe / emprise	Énergie non commerciale	Non com / emprise
EU 15	1 989	1 624	365	18%	35	2%
France	351	284	66	19%	9	3%
EU nouveaux pays	310	239	71	23%	13	4%
Chine	1 354	1 000	355	26%	217	16%
Japon Corée Tw	1 006	885	121	12%	2	0%
Asie du Sud	657	385	273	42%	202	31%
Pacifique Sud	643	453	189	29%	111	17%
Am. du Nord	3 057	2 446	611	20%	49	2%
Am. Latine	720	537	183	25%	68	9%
Moyen Orient	462	359	103	22%	1	0%
Afrique	584	295	289	50%	231	40%
Ex URSS	764	532	233	30%	4	1%
Monde	11 898	9 039	2 859	24,0%	942	7,9%

Tableau A10-2

Écart relatif à la méthode

Mtep	AIE (avec les soutes)	Emprise énergétique	Écart modèle-AIE
EU 15	1 495	1 989	33%
France	284	351	24%
EU nouveaux pays	299	310	4%
Chine	1 677	1 354	-19%
Japon Corée Tw	876	1 006	15%
Asie du Sud	646	657	2%
Pacifique Sud	610	643	5%
Am. du Nord	2 644	3 057	16%
Am. Latine	677	720	6%
Moyen Orient	499	462	-8%
Afrique	596	584	-2%
Ex URSS	974	764	-22%
Monde	11 277	11 898	5,5%

Figure A10-1
Emprise énergétique de la consommation par région



Numéros précédents des Cahiers du CLIP

N°1 - Octobre 1993

- ▶ Le moteur à explosion : exercice de prospective mondiale des transports routiers
- ▶ L'autocondamnation : un exercice de prospective mondiale à long terme pour l'automobile
- ▶ Capture et stockage du gaz carbonique produit par les activités industrielles

N°2 - Mai 1994

- ▶ Les enjeux environnementaux de la pénétration du véhicule électrique en Europe
- ▶ Etude comparative des émissions de polluants associées à l'utilisation de carburants de substitution
- ▶ Emissions de gaz à effet de serre : de la production d'hydrogène à son utilisation en tant que carburant automobile

N°3 - Octobre 1994

- ▶ Le bois-énergie en France : évaluation prospective du potentiel mobilisable à l'horizon 2015 et ses conséquences sur l'environnement

N°4 - Juin 1995

- ▶ Etude de faisabilité d'une centrale solaire en Tunisie
- ▶ Impact environnemental d'une désulfuration poussée des gazoles

N°5 - Juillet 1996

- ▶ Déchets-Energie-Environnement : étude prospective du potentiel de déchets mobilisables à des fins énergétiques en France à l'horizon 2020

N°6 - Septembre 1996

- ▶ Le bois-électricité : Perspectives de développement de la production d'électricité à base de bois en France à l'horizon 2015
- ▶ Pollution des sols : Contamination des sols par les rejets d'hydrocarbures : analyse du marché de la réhabilitation

N°7 - Janvier 1997

- ▶ MDE-L'éclairage en France : diffusion des technologies efficaces de maîtrise de la demande d'électricité dans le secteur de l'éclairage en France

N°8 - Janvier 1998 Fr/En

- ▶ Le bois-énergie en Europe : évaluation du potentiel mobilisable à l'horizon 2020, impacts sur l'environnement global et conditions socioéconomiques de sa mobilisation.

N°9 - Décembre 1998

- ▶ Automobile et développement durable : bilan environnement-matières premières 1975-2050
- ▶ Automobile et gaz naturel : scénarios prospectifs et impact sur l'environnement

N°10 - Septembre 1999

- ▶ Biomasse et électricité
- ▶ Géothermie des roches fracturées

N°11 - Décembre 1999

- ▶ Le froid domestique : étiquetage et efficacité énergétique

N°12 - Mars 2001

- ▶ Parc automobile et effet de serre : agir sur le parc automobile pour réduire l'effet de serre

N°13 - Avril 2001

- ▶ Habitat et développement durable : bilan retrospectif et prospectif
- ▶ Le véhicule électrique à l'horizon 2050 : introduction du véhicule électrique dans le parc français des véhicules particuliers à l'horizon 2050

N°14 - Octobre 2001

- ▶ Transports à l'horizon 2030 : Le secteur des transports en France à l'horizon 2030 selon le scénario «Etat protecteur de l'environnement» du Commissariat Général du Plan

N°15 - Janvier 2004

- ▶ Cogénération et émissions de CO₂ : Impact de la pénétration de la cogénération décentralisée de faible puissance sur les émissions de CO₂ en France

N°16 - Septembre 2004

- ▶ Habitat et développement durable : les perspectives offertes par le solaire thermique
- ▶ Emissions de particules : étude prospective sur les émissions de particules primaires en France à l'horizon 2030

N°17 - Septembre 2005

- ▶ Évaluation du potentiel de capture et de stockage géologique du CO₂ dans le monde
- ▶ Les réductions potentielles d'émissions de CO₂ par des plantations forestières sur des terres agricoles dans le monde à l'horizon 2050

N°18 - Janvier 2007

- ▶ Pompes à chaleur et habitat. Prospective des consommations d'énergie et des émissions de CO₂ dans l'habitat : les gisements offerts par les pompes à chaleur

N°19 - Septembre 2009 Fr/En




- ▶ Eau et biocarburant 2030
- ▶ Water and Biofuels in 2030

N°20 - Novembre 2010 Fr/En

- ▶ Étude d'une réduction des émissions de CO₂ liées au confort thermique dans l'habitat à l'horizon 2050

N°21 - Décembre 2012 Fr/En

- ▶ Prospective des modes de vie en France l'horizon 2050 et empreinte carbone

 Version imprimée disponible -  Format électronique (Acrobat pdf) disponible sur le site www.iddri.org -  Epuisé
Pour toute demande d'exemplaire ou renseignement, veuillez contacter Pierre Barthélemy (Iddri) : pierre.barthelemy@iddri.org

