

La matérialité invisible des services et ses implications énergétiques : une estimation de l'énergie grise par la méthode input-output

Charlotte Fourcroy, Faïz Gallouj et Fabrice Decellas



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/rei/6072>

DOI : 10.4000/rei.6072

ISSN : 1773-0198

Éditeur

De Boeck Supérieur

Édition imprimée

Date de publication : 30 mars 2015

Pagination : 43-72

ISBN : 9782804193607

ISSN : 0154-3229

Référence électronique

Charlotte Fourcroy, Faïz Gallouj et Fabrice Decellas, « La matérialité invisible des services et ses implications énergétiques : une estimation de l'énergie grise par la méthode input-output », *Revue d'économie industrielle* [En ligne], 149 | 1er trimestre 2015, mis en ligne le 30 mars 2017, consulté le 06 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/rei/6072> ; DOI : 10.4000/rei.6072

LA MATÉRIALITÉ INVISIBLE DES SERVICES ET SES IMPLICATIONS ÉNERGÉTIQUES : UNE ESTIMATION DE L'ÉNERGIE GRISE PAR LA MÉTHODE INPUT-OUTPUT

Charlotte Fourcroy, Clersé, Université de Lille

Faïz Gallouj, Clersé, Université de Lille

Fabrice Decellas, EDF R&D

 **Mots clés :** Services, énergie grise, matérialité.

 **Keywords:** Services, Embodied Energy, Materiality.

INTRODUCTION

L'idée selon laquelle, compte tenu de certaines de leurs caractéristiques intrinsèques, les services seraient moins consommateurs d'énergie, plus « environment-friendly » et également plus « durables » que l'industrie est fréquente dans la littérature (Illeris, 2007 ; Rifkin, 2000 ; OCDE, 2000). Cette hypothèse optimiste et séduisante s'appuie sur l'idée qu'en termes de préservation de l'environnement « mieux vaut le bureau que l'usine ».

L'argument théorique principal qui étaye cette hypothèse est celui de l'immatérialité des services par opposition à la matérialité des biens. C'est la transformation matérielle qui engloutit les ressources naturelles et qui porte préjudice à l'environnement. L'empreinte écologique des services est généralement considérée comme plus faible que celle de la production industrielle et agricole (Laval, 2006 ; Gadrey, 2004). Certaines validations

statistiques viennent apparemment conforter cette thèse. Par exemple, en France, le secteur tertiaire (hors transport) ne serait à l'origine que de 15 % des consommations d'énergie globales (CEREN, 2012). Ce bilan énergétique plus favorable serait lié à un moindre usage d'équipements lourds et consommateurs d'énergie. L'argument écologique est également soutenu et renforcé par un argument socio-économique, dans une perspective plus générale de développement durable. Ainsi, le secteur tertiaire apparaît comme naturellement plus « durable », car c'est en son sein que se développent un certain nombre d'activités motivées par une finalité sociale et civique, comme les activités (publiques, privées ou associatives) orientées vers la réduction du chômage, le développement humain, la cohésion sociale.

L'hypothèse des services moins consommateurs d'énergie, « environnement-friendly » et durables est néanmoins contestée. Ainsi, sur le plan théorique, la question de l'immatérialité des services est en débat. L'empreinte écologique de certains services est particulièrement élevée. C'est le cas, par exemple, d'activités de services comme le transport, le tourisme, la distribution et la publicité. Les dégâts socio-économiques récents liés à la crise financière et au rôle des services financiers dans cette crise affaiblissent l'argument de la durabilité socio-économique des services, tout au moins sous certaines de ses formes. Leur durabilité environnementale est également mise à mal : on constate une élévation de la pollution en fonction du degré de tertiarisation de ces économies (Gadrey, 2010). Cela ne signifie pas pour autant que les services sont la cause de cette pollution plus importante. En effet, il est probable que cette corrélation positive soit due à une consommation énergétique élevée de la production industrielle dans les pays développés, en comparaison des pays en voie de développement ou émergents (moins tertiarisés). Une analyse dynamique mettrait en évidence des trajectoires moins polluantes dans les économies industrialisées (dominées par le tertiaire).

Si l'on peut probablement soutenir l'hypothèse selon laquelle les services exercent globalement une pression moindre sur l'environnement que les industries manufacturières, en revanche il est tout aussi probable que nous sous-estimons fortement leurs capacités de nuisance écologique (Fourcroy *et al.*, 2012). Il est ainsi probable que l'hypothèse de services respectueux de l'environnement ou sensiblement plus respectueux de l'environnement que l'industrie soit peu crédible à l'avenir à moins d'innovations importantes dans le domaine des services, comme le souligne Gadrey (2010).

Bien que la plupart de nos analyses puissent être généralisées à la question de la durabilité environnementale dans son ensemble, dans le cadre de ce travail, notre champ d'investigation se restreint à la problématique des consommations d'énergie. Notre objectif est de montrer que l'immatérialité des services est un mythe, en particulier sous l'angle énergétique et que les consommations d'énergie du secteur tertiaire sont sous-estimées par les statistiques énergétiques. Dans la première section, nous examinons le mythe de l'immatérialité des services dans des termes généraux, en nous appuyant sur la littérature économique. Dans la deuxième section, nous identifions les différentes sources de « matérialité » et par conséquent les consommations énergétiques invisibles oubliées des statistiques énergétiques tertiaires. Dans la troisième section, nous cherchons à isoler une des sources oubliées de consommation énergétique des services, à savoir celle associée au processus de production des équipements utilisés. En nous appuyant sur une méthode input-output, nous tentons d'estimer l'exposition des services à cette consommation indirecte de l'énergie appelée énergie grise.

1. L'IMMATÉRIALITÉ DES SERVICES : UN MYTHE ?

Quand on compare les biens aux services, l'immatérialité de ces derniers apparaît souvent comme la principale caractéristique (technique, intrinsèque) justifiant l'hypothèse d'une moindre nocivité environnementale des activités tertiaires. Il est nécessaire, tout d'abord, de comprendre ce que signifie cette notion d'immatérialité, ensuite d'évaluer dans quelle mesure elle constitue un facteur favorable au respect de l'environnement et en particulier aux économies d'énergie, et enfin d'examiner dans quelle mesure elle caractérise réellement les services.

1.1. L'immatérialité des services et son caractère « environment-friendly »

C'est à Adam Smith (1776) qu'on attribue généralement la paternité de l'idée de l'immatérialité des services. En effet, en s'intéressant essentiellement aux serviteurs de l'État, aux domestiques, aux artistes, aux avocats,

aux médecins, Smith écrit dans *La Richesse des Nations* que les « services s'évanouissent au moment de leur production ». Cette caractéristique technique intrinsèque supposée des services a été (et continue d'être) au cœur des travaux contemporains sur les services, que ce soit en économie ou en gestion. Elle signifie que, contrairement aux biens qui sont consubstantiels aux composants techniques permettant leur existence, les services sont évanescents et incorporels. Ils ne prennent pas une forme « matérielle », qui pourrait faire l'objet d'une accumulation et circuler économiquement indépendamment de son support (un bien, un individu, etc.) (Gadrey, 1992). Ce n'est pas une entité donnée, c'est un processus, un acte, un changement d'état. On ne peut pas « revendre » ou « rétrocéder » un tel état. Sa « réparation » est également difficile à envisager, tout au moins dans les termes de la réparation d'un bien matériel.

L'immatérialité des services est souvent associée à l'idée d'un impact environnemental et énergétique plus limité que celui des biens matériels. En effet, la fabrication d'un bien suppose une plus forte consommation d'énergie et de ressources naturelles que la fourniture d'un service. Au niveau macroéconomique, certains travaux ont constaté une évolution vers une économie de plus en plus immatérielle (dématérialisée), jugée par conséquent moins nuisible à l'environnement (Ettighoffer, 1992 ; Romm et al., 1999). L'hypothèse séduisante selon laquelle la tertiarisation inexorable de nos économies est un facteur mécanique de durabilité écologique est ainsi présente dans la littérature y compris institutionnelle (OCDE, 2000).

Certains constats statistiques viennent confirmer le caractère apparemment plus respectueux de l'environnement des services. Par exemple, en 2005, pour l'ensemble du monde, les services (hors transport) représentent 9 % de la consommation d'énergie finale totale et 12 % des émissions de CO₂ (International Energy Agency, 2008). Cette moyenne cache bien entendu d'importantes disparités entre pays, entre ceux où le secteur des services est très développé et ceux où il l'est moins. Si on limite l'analyse à 14 des principaux pays consommateurs d'énergie de l'OCDE, au sein desquels les services représentent plus de deux tiers de la valeur ajoutée, la part des services dans la consommation énergétique finale est de 14 % et leur part dans les émissions de CO₂ est de 17 % (International Energy Agency, 2007). Ce bilan énergétique et en termes d'émission de CO₂ plus favorable s'expliquerait par un moindre usage de systèmes techniques consommateurs d'énergie.

1.2. Les services sont moins immatériels qu'on ne le croit

En réalité, les services sont plus matériels que ce que l'on imagine généralement. Cette affirmation vaut à la fois en statique (pour des services qui ont toujours été matériels, mais dont on a occulté la matérialité) et en dynamique (pour des services plutôt « immatériels » initialement, mais dont la matérialité est allée grandissante au cours du temps).

Ainsi, l'hypothèse d'immatérialité des services est facilement mise en défaut dans certains cas. En effet, pour de nombreux services, la matérialité est une caractéristique centrale. C'est le cas des services qui ont pour support principal la matière ou l'objet. Ces services sont définis comme des services de logistique et de transformation matérielle (Gadrey, 1991 ; Gallouj, 1999). Leur activité consiste à transporter, transformer, réparer, mettre à disposition des objets matériels. On peut citer à titre d'exemple les services de transport de marchandises, le commerce, la restauration, la distribution d'eau, de gaz ou d'électricité, les services de location, de maintenance et de réparation. Leur rapport à la matière est évident et essentiel. Ces services sont parmi ceux qui exercent une forte pression sur l'environnement. Le transport routier, par exemple, est le principal émetteur de CO₂ (24 % en 2005 pour la France selon CITEPA (2007)).

Par ailleurs, les statistiques illustrant le caractère plus écologique des services (par rapport à l'industrie) sont en réalité trompeuses. En effet, elles ne prennent en compte qu'une partie des consommations et des émissions : celles liées à l'utilisation d'équipements dans les bâtiments tertiaires, soit principalement le chauffage, l'éclairage, la climatisation des locaux, etc. Ces statistiques ne tiennent pas compte d'autres consommations associées aux activités de services, comme les transports, ou l'énergie grise correspondant au processus de fabrication et de maintenance des équipements (nous y revenons dans la section 2).

Dans l'ensemble des services (à des degrés divers), une partie de la matérialité a été introduite par l'innovation technologique. C'est la conséquence de la manifestation de la trajectoire technologique naturelle de mécanisation croissante au sens de la théorie évolutionniste (Nelson et

Winter, 1982). Les technologies en question ne se limitent pas aux technologies informationnelles, même si celles-ci occupent une place privilégiée dans les services où elles sont décrites comme invasives. Il faut tenir compte de nombreuses autres technologies essentielles dans les services : technologies du transport, de la cuisson, de la réfrigération, de la ventilation, etc., qui bien souvent d'ailleurs s'hybrident avec les TIC. En ce qui concerne ces dernières, si les logiciels sont des « technologies invisibles », il n'en va pas de même du « hardware » qui est fondamentalement matériel et dont de nombreuses études montrent qu'il est fortement consommateur de ressources naturelles épuisables (métaux rares) et d'énergie (Berkhout et Hertin, 2001 ; Faucheux et al., 2002 ; Gadrey, 2010). Ces matériels connaissent des développements spectaculaires et une obsolescence quasi programmée, inscrits dans des cycles de vie extrêmement courts (Desmarchelier et al., 2011). Ils soulèvent également de redoutables problèmes liés au traitement de déchets.

Dans certaines entreprises et secteurs de services, on constate également une évolution vers des services plus standardisés, des « quasi-biens ». Cette évolution est généralement intitulée « industrialisation » ou « rationalisation » du service (Gadrey, 1994). Cette « rationalisation » ou « industrialisation » peut revêtir deux principales modalités. La première modalité est le processus conduisant au remplacement de prestations de services par des biens industriels utilisés à domicile (c'est la logique du self-service au sens de Gershuny (1978)) : par exemple, le remplacement du service de laverie automatique par l'usage à domicile de sa propre machine à laver, le renoncement à la séance de cinéma pour le visionnage à domicile d'un DVD, etc. La seconde modalité de l'industrialisation est la standardisation des procédés de travail qui (dans le cas des services) est synonyme de, ou aboutit à, une standardisation du service lui-même. Le produit, dans ce cas, n'est pas un bien, mais un quasi-bien : par exemple, un contrat d'assurance ou un produit financier standard, une formule touristique-type, un menu-type inchangeable dans un fast-food... L'industrialisation des services, leur standardisation, leur transformation en « quasi-biens » se traduisent généralement par un recours croissant à des technologies, notamment les TIC, et donc à une matérialité croissante.

1.3. Le débat matérialité/immatérialité et la convergence entre les biens et les services

La question de l'immatérialité propre aux services perd de sa pertinence lorsqu'on évolue vers une convergence entre biens et services. De plus en plus nombreux sont les travaux contemporains à constater un brouillage des frontières entre les secteurs et quant à la nature des « produits » (Barcet et Bonamy, 1999 ; Vandermerwe et Rada, 1988) et une dialectique d'industrialisation des services et de « servitization » des biens (une montée en puissance du service et de la relation de service, comme mode de coordination entre agents économiques, dans les secteurs produisant des biens industriels, mais aussi agricoles). Certains travaux (Broussolle, 2001) montrent qu'en tant que système technique partagé par l'industrie et les services, les TIC contribuent à ce « brouillage ».

Le brouillage des frontières et l'orientation vers le « tout service » se manifeste de différentes manières. On assiste, par exemple, à la sensible augmentation de l'information et du service dans la valeur de la plupart des biens (industriels et agricoles). Qu'il s'agisse de la pomme de terre, de l'eau de toilette ou de la calculette, le service et l'information (les dépenses de R-D, de transport, de distribution, de marketing, etc.) sont devenus les composantes principales de la valeur produite. La généralisation des « services autour du produit » (services avant-vente, après-vente, pendant la vente, etc.) (Furrer, 1997) participe également de ce brouillage, de même que la transformation d'entreprises industrielles parmi les plus emblématiques (par exemple, IBM ou Benetton) en entreprises de services, dans la mesure où désormais l'essentiel de leur chiffre d'affaires provient de ce type d'activités. Une autre illustration du brouillage des frontières est fournie par la transformation du modèle économique de certaines entreprises industrielles, qui passent de la vente à la location de leurs biens (les photocopieurs Rank Xerox ou les pneumatiques Michelin) ou de la fabrication d'un bien à son « rafraîchissement », sa remise à neuf ou son recyclage.

Ces différentes illustrations du brouillage des frontières (et de la montée de l'immatériel dans l'industrie) se manifestent parallèlement à l'apparition d'un discours théorique, mais aussi managérial qui conduit certaines entreprises à ne plus se définir comme des fabricants de biens, mais comme des fournisseurs de solutions, de fonctions, de caractéristiques de

services ou d'expériences (Stahel, 1997 ; Gallouj et Weinstein, 1997 ; Pine et Gilmore, 1999 ; Lauriol, 2007 ; Du Tertre, 2007). Il est évident que, dans le cadre d'une telle conception du produit, l'opposition binaire entre matérialité et immatérialité perd une grande partie de sa pertinence.

On conclut de cette réflexion que, dans une perspective systémique et historique (dynamique), l'immatérialité supposée des services en tant qu'argument de leur faible pression sur l'environnement est remise en question. Les services, même si on accepte l'idée qu'ils sont généralement moins consommateurs d'énergie et moins polluants que l'industrie, le sont bien plus qu'on ne le croit.

2. LES SOURCES DE MATÉRIALITÉ DES SERVICES

Au-delà de la réflexion générale sur la nature matérielle ou non des services, il est nécessaire, en particulier dans une perspective de mesure des consommations énergétiques, d'identifier de manière plus précise et concrète les sources de matérialité du service et par conséquent les sources éventuelles de consommation d'énergie. Comme on le constatera, certaines de ces sources sont oubliées des statistiques énergétiques du secteur des services. Cet oubli peut s'expliquer par les conventions de service retenues qui limitent les périmètres de la prestation ou par les difficultés de mesure liées à l'absence de données quantitatives.

2.1. Les sources directes de matérialité et de consommations d'énergie

La prestation de service peut être définie comme la combinaison, dans des proportions variables, des trois prestations de services élémentaires suivantes : 1) l'intervention, 2) la mise en condition et 3) le déplacement (Fourcroy *et al.*, 2012).

La prestation d'intervention de service est la composante qui est au cœur des définitions les plus récentes des services, en particulier celles qui privilégient une description et une décomposition interne de ces activités. Une

intervention de service peut ainsi être définie comme une prestation combinant des opérations différentes selon la nature de leur support ou cible principale (Gadrey, 1991 ; Gallouj, 1999) : des opérations matérielles (M) qui consistent à transformer, déplacer ou entretenir des objets tangibles ; des opérations informationnelles (I) qui consistent à produire, saisir, faire circuler, archiver, traiter des informations codifiées ; des opérations cognitives, c'est-à-dire de traitement de la connaissance (K) ; des opérations relationnelles (R) qui correspondent au service direct et dont le support est le client lui-même. Ces différentes opérations peuvent requérir des technologies consommatrices d'énergie. C'est le cas des techniques mobilisées dans les « opérations de traitement de la matière » (M), qu'il s'agisse, par exemple, d'équipements logistiques, de technologies de la cuisson ou de la réfrigération (restaurants), d'équipements pour l'eau chaude sanitaire (piscines), ou pour d'autres process de production particuliers (blanchisseries ou boulangeries, par exemple). Mais c'est également le cas des technologies mobilisées dans le traitement des opérations informationnelles (I). Elles comprennent des équipements de bureautique (ordinateurs, fax, téléphones, photocopieuses, etc.) et des infrastructures de réseau et de télécommunication (serveurs, hubs, centres de données, centraux téléphoniques, etc.). Selon Mairet (2009), au milieu des années 2000, 20 % des consommations d'électricité du secteur tertiaire (soit environ 4 % des consommations d'énergie finale du secteur) sont directement liées au fonctionnement des TIC.

La prestation de *mise en condition* désigne quant à elle diverses activités de préparation, notamment la préparation des lieux où se déroule l'intervention de service (aménagement, nettoyage, chauffage, etc.), mais aussi la préparation des prestataires (formation, accueil, etc.). Cette préparation n'a pas uniquement lieu en amont de l'intervention, elle peut se prolonger pendant l'intervention (chauffage ou éclairage des lieux, par exemple). Les sources de consommation d'énergie des activités de *mise en condition* sont évidentes. Il s'agit essentiellement de consommations liées au chauffage, à l'eau chaude sanitaire, à l'éclairage et à la climatisation des lieux où se déroule le service. Ces sources de dépenses énergétiques ne sont pas spécifiques aux services, mais dans les entreprises de services contrairement aux entreprises industrielles, leur poids domine dans le bilan énergétique. L'importance de ce type de consommations dans le bilan énergétique tertiaire peut s'expliquer de différentes manières. Elle tient tout d'abord à

l'importance du lieu physique de rencontre dans la prestation de services. En effet, le service suppose le plus souvent une interaction entre le prestataire et le client (coproduction), qui se réalise généralement dans un lieu physique, qui doit être mis en condition pour permettre/faciliter la prestation de services. Elle tient aussi au fait que, contrairement aux activités industrielles, les activités de services utilisent généralement peu d'équipements lourds et fortement consommateurs d'énergie. Ainsi, au total, le chauffage y représente la moitié des consommations énergétiques dans le secteur des services.

La prestation de *déplacement*, enfin, désigne les déplacements en amont et en aval de l'intervention de services. Les services sont coproduits. La coproduction est souvent synonyme de rencontre physique, autrement dit de déplacement des protagonistes, ce qui mobilise tous les éléments matériels du déplacement. Il peut s'agir du déplacement des clients/usagers/consommateurs vers le prestataire (c'est le cas du commerce, de la restauration, de l'hôtellerie, de l'éducation ou de la santé), du déplacement du prestataire vers le client (par exemple, le conseil, certaines formules de ventes, les services à domicile), ou du déplacement simultané des prestataires et des clients (c'est le cas du transport de personnes). À ces déplacements des clients et des prestataires, il faut également ajouter les déplacements de la main-d'œuvre vers son lieu de travail. Les déplacements associés aux services sont une source importante de consommation d'énergie. Ils représentent environ 40 % des consommations d'énergie officielles du secteur des services (Fourcroy *et al.*, 2012).

2.2. Les sources indirectes de matérialité et de consommations d'énergie

La prestation de service nécessite le recours à de nombreux biens. Certains d'entre eux sont consommateurs d'énergie (cf. section précédente) et d'autres ne le sont pas (locaux, mobilier, etc.). Que leur fonctionnement exige de l'énergie ou non, la production, la vente, le maintien, le recyclage de ces biens ont nécessité des consommations d'énergie. Celles-ci n'ont pas lieu pendant la prestation de services, mais elles lui sont indirectement liées. Sans ces biens, le service, tel qu'il existe, ne pourrait pas être fourni. La demande de ces biens est tirée par le secteur des services.

Ces consommations d'énergie sont appelées « énergie grise » des services. Elles ne peuvent pas être totalement écartées d'une réflexion sur la pression environnementale des services. Il s'agit de l'ensemble des consommations d'énergie qui ont été nécessaires au cours du cycle de vie de l'ensemble des produits intervenants dans la prestation de service, c'est-à-dire au cours de leur fabrication, de leur transport, de leur commercialisation, de leur recyclage, et ce, quel que soit le lieu où ces opérations se sont déroulées. L'énergie grise est une consommation d'énergie indirecte. Elle exclut l'énergie consommée pour l'utilisation de ces produits, qui quant à elle est comptabilisée comme consommation directe d'énergie.

La comparaison de la décomposition analytique des sources de consommations d'énergie, d'une part, et des statistiques énergétiques du secteur tertiaire fournies par le Centre d'Étude et de Recherches Économiques sur l'Énergie (CEREN), d'autre part, met en évidence un « gap » énergétique, des consommations énergétiques invisibles ou non comptabilisées. La figure 1 fournit une illustration de ce gap. Elle met en évidence le fait que les statistiques énergétiques officielles du secteur tertiaire ne reflètent qu'une partie des consommations d'énergie réellement nécessaires aux activités de services. En effet, les statistiques du CEREN ne prennent pas en compte les consommations énergétiques liées aux opérations de déplacements ni celles liées à l'intervention ou à la mise en condition, qui se dérouleraient en dehors de l'entreprise de services. Elles se limitent aux consommations d'énergie associées au parc de bâtiments tertiaires, c'est-à-dire aux consommations d'énergie des équipements utilisés dans les locaux des établissements tertiaires.

Figure 1. Le périmètre des consommations énergétiques du secteur tertiaire dans les statistiques énergétiques

	Intervention	Mise en condition	Déplacements	Energie grise
Dans les entreprises tertiaires	Incluses			Excluses
Hors de l'entreprise tertiaire	Excluses			

De précédents travaux ont mis en évidence l'importance des consommations d'énergie directes exclues du périmètre des statistiques officielles

(Fourcroy *et al.*, 2012). Ces travaux concluent que les consommations d'énergie directement associées aux services sont plus importantes que ce qu'indiquent les statistiques énergétiques. Fourcroy *et al.* (2012) estiment qu'il faudrait le rehausser de plus de 40 %. Dans ce travail, notre objectif est de tenter d'estimer l'importance des consommations indirectes, c'est-à-dire de l'énergie grise des services. L'intérêt d'une telle démarche est de fournir une vision plus réaliste de la dépendance à l'énergie (et plus globalement des impacts environnementaux) des activités de services.

Adopter une telle approche nécessite de définir les frontières du système étudié : s'agit-il des produits consommés sur un territoire donné ou « produits » sur ce territoire ? Dans la section suivante, nous cherchons à estimer l'énergie grise des services consommés en France. Cependant, dans la mesure où les échanges internationaux de services sont relativement limités par rapport aux échanges de biens, on peut faire l'hypothèse simplificatrice que les services consommés en France correspondent approximativement aux services produits en France.

3. VERS UNE ESTIMATION DE L'ÉNERGIE GRISE DES SERVICES

Un certain nombre de travaux récents ont cherché à estimer les émissions de gaz à effet de serre induites par les services (IFEN, 2004 ; Suh, 2006 ; Alcantara, 2009 ; Nansai, 2009). Ces travaux concluent que ces émissions sont près de deux fois plus importantes que les émissions directes (Alcantara, 2009), et qu'en les réaffectant en fonction des consommations finales, le poids des services passe d'un quart à un tiers des émissions globales (IFEN, 2004). Mais à notre connaissance, aucune étude ne porte directement sur les consommations d'énergie.

Bien que la problématique énergétique soit assez fortement liée à celle des émissions de CO₂ (l'énergie est la principale source d'émission de CO₂), elle ne s'y limite pas. La question de l'énergie englobe également les problématiques de rareté des ressources, d'augmentation des prix des énergies et d'autres formes de pollution. Nous avons donc préféré exprimer nos résultats en termes d'énergie grise et non d'émissions indirectes

de CO₂. Cependant, nous comparerons l'ordre de grandeur de nos résultats avec ceux d'autres travaux ayant porté sur les émissions de gaz à effet de serre.

Pour estimer l'énergie grise d'un produit, la méthode la plus couramment utilisée est celle de l'analyse de cycle de vie (ACV). Cependant, cette méthode est particulièrement lourde à mettre en œuvre. Elle nécessite une connaissance approfondie du produit et de la façon dont il est réalisé. Elle n'est donc pas adaptée à l'estimation de l'énergie grise du secteur tertiaire dans son ensemble. Une méthode « top-down », qui, à partir de données macroéconomiques, permet d'estimer l'énergie grise du secteur, semble plus adaptée. En nous inspirant de la méthode Input-Output introduite par Leontief dans les années 1930, nous utilisons les tableaux entrées-sorties, en posant l'hypothèse que l'énergie grise d'un produit équivaut aux consommations d'énergie nécessaires pour la production de l'ensemble de ses consommations intermédiaires. Une méthodologie semblable a d'ores et déjà été expérimentée dans un certain nombre de travaux, notamment ceux de Pourouchottamin *et al.* (2010), de Bordigoni (2012) et d'Alcantara *et al.* (2009) (elle est appliquée dans ce cas aux émissions de CO₂). Dans les paragraphes qui suivent, nous explicitons la méthodologie utilisée, puis nous formulons un certain nombre d'hypothèses nous permettant d'estimer de l'énergie grise des services.

3.1. La méthodologie d'estimation de l'énergie grise

La méthodologie utilisant les tableaux entrées-sorties s'appuie sur l'idée selon laquelle l'énergie totale associée à un produit donné équivaut à la somme des consommations d'énergie liées à sa production et à l'énergie grise de ses consommations intermédiaires. À l'échelle d'une région vivant en autarcie, l'énergie grise des consommations intermédiaires d'un secteur (S_1) en un produit donné (P_2) correspond à une part de l'énergie totale du secteur de production (S_2) du produit en question (P_2). En faisant l'hypothèse qu'au sein d'un secteur d'activité donné, les consommations d'énergie sont proportionnelles à la production, on peut ajouter que cette part est proportionnelle à la part de la production totale du produit (production totale de S_2) qui est consommée (consommations intermédiaires de S_1 en P_2).

Ainsi, dans un monde à deux secteurs d'activité S_1 et S_2 , où le secteur S_1 consomme CI_{12} de produits de S_2 :

$$\begin{aligned} C_1 &= Cd_1 + CI_{12} \times \frac{C_2}{P_2} \\ C_2 &= Cd_2 + CI_{21} \times \frac{C_1}{P_1} \end{aligned} \quad (1)$$

avec :

- C_i l'énergie totale (énergie directe et énergie grise) du secteur i
- Cd_i les consommations d'énergie directes du secteur S_i
- CI_{ij} les consommations intermédiaires du secteur S_i en produits du secteur S_j
- P_i la production totale du secteur d'activité S_i
- C_i/P_i la consommation unitaire d'énergie du secteur S_i

L'énergie grise des secteurs se calcule ensuite par la différence entre l'énergie totale et les consommations directes.

Bien entendu, si le secteur S_i autoconsomme des produits P_i , pour éviter le double comptage, l'énergie grise de ces consommations intermédiaires ne doit pas être comptabilisée pour estimer C_i .

On peut généraliser l'expression de l'énergie totale à l'ensemble des secteurs de l'économie :

$$\begin{aligned} C &= Cd + {}^tM \times C \\ (I - {}^tM) \times Cd &= Cd \\ C &= (I - {}^tM)^{-1} \times Cd \end{aligned} \quad (2)$$

Avec :

- I la matrice identité
- C un vecteur colonne où C_i représente l'énergie totale du secteur d'activité i

- Cd un vecteur colonne où Cd_i représente les consommations d'énergie directe du secteur d'activité i
- TES une matrice carrée où TES_{ij} représente les consommations intermédiaires de la branche i en produit j
- M une matrice carrée qui correspond à la matrice TES légèrement transformée pour permettre d'estimer l'énergie totale des secteurs : M_{ij} représente la part dans la production totale de la branche j des consommations intermédiaires de la branche i en produit j et sur la diagonale, M_{ii} est nul (pour éviter le double comptage) :

$$M_{ij} = \frac{TES_{ij}}{P_j}, \quad \forall i \neq j, \quad \text{où } P_j \text{ représente la production totale de la branche } j.$$

$$M_{ii} = 0$$

Ainsi, pour calculer l'énergie totale des services, il suffit de connaître la matrice M et le vecteur Cd. La matrice M est facilement calculable, à partir des tableaux entrées-sorties de l'INSEE et de la production totale par branche, également fournie par l'INSEE. Le vecteur Cd est, quant à lui, plus difficile à établir. Les données concernant les consommations d'énergie finale des services sont fournies en France par le CEREN, mais avec une granularité moindre que celle de la nomenclature agrégée utilisée par l'INSEE pour les tableaux entrées-sorties. Afin d'estimer le vecteur Cd, nous devons donc formuler un certain nombre d'hypothèses. Nous revenons sur cette question dans la section suivante.

Outre les difficultés d'estimation de Cd, cette méthode présente quatre principales autres limites. La première est intrinsèquement liée à l'utilisation des méthodes top-down. De telles méthodes, et ici en particulier les tableaux entrées-sorties, reposent sur l'hypothèse implicite qu'au sein d'un secteur donné (une entrée ou une sortie du tableau), l'ensemble des activités sont homogènes : la valeur ajoutée et les consommations d'énergie sont réparties uniformément. Cette méthode ne peut s'appliquer directement à partir d'une décomposition de l'économie en trois secteurs (primaire, secondaire, tertiaire). Pour réduire les approximations, il faut distinguer un grand nombre d'activités, afin que chacune soit le plus homogène possible.

La seconde limite concerne l'utilisation des tableaux entrées-sorties et des consommations intermédiaires. Les consommations intermédiaires des activités économiques ne représentent qu'une partie de l'ensemble des biens et services à l'origine de l'énergie grise des services. En particulier, les infrastructures et les équipements lourds, c'est-à-dire les investissements, ne sont pas comptabilisés dans les consommations intermédiaires, mais dans la formation brute de capital fixe (FBCF)¹. Notre estimation minore donc l'énergie grise des services.

Par ailleurs (troisième limite), nous ne tenons pas compte des différences de contenu énergétique des produits importés alors qu'ils diffèrent de ceux des produits nationaux puisque l'organisation de la production varie d'un pays à l'autre (les consommations intermédiaires et la demande d'énergie pour la production sont différentes). Nous intégrons les importations à notre calcul, mais en posant comme hypothèse simplificatrice que leur contenu énergétique est identique à celui des produits nationaux. La prise en compte du contenu énergétique réel des importations de produits nécessiterait la connaissance d'un certain nombre de données difficilement accessibles : la répartition des consommations intermédiaires de chaque branche entre importation et production nationale, l'origine des produits, l'intensité énergétique des produits selon leur pays d'origine et les tableaux entrées-sorties de l'ensemble des pays. Nous cherchons, ici, à estimer un ordre de grandeur de l'énergie grise des services, nous considérons donc comme acceptable l'hypothèse selon laquelle les contenus énergétiques des importations et des produits nationaux sont comparables.

La quatrième limite importante de notre méthode concerne la prise en compte des consommations d'énergie liées au transport. Dans notre modèle, la seule prise en compte possible des transports se ferait par le biais des consommations intermédiaires en produits du secteur transport. Cela revient à faire l'hypothèse que les transports de marchandises sont réalisés, à titre principal, par des entreprises du secteur des transports, alors qu'en réalité, une partie des transports est effectuée directement par les autres secteurs eux-mêmes. On pourrait envisager d'utiliser une méthodologie similaire à celle que l'on propose ici, adaptée pour estimer les consommations de transport. Cependant, les données nécessaires, relatives aux

¹ Pour avoir un ordre d'idée, le montant total de la FBCF représente environ 20 % du montant total des consommations intermédiaires (pour l'ensemble des activités).

consommations directes d'énergie de transport par secteur, ne sont pas disponibles. Nous choisissons donc, ici, de ne pas tenir compte des transports dans le calcul de l'énergie grise. Les consommations d'énergie de la branche transport, évoquées dans les sections suivantes, se limitent aux consommations d'énergie des bâtiments accueillant les services de transport.

3.2. Les hypothèses pour le calcul du vecteur Cd

Les tableaux entrées-sorties de l'économie française sont fournis par l'INSEE. Ils s'appuient sur la nomenclature agrégée de l'INSEE (NA 2008). Pour l'année 2009, le tableau entrées-sorties le plus précis disponible distingue 38 postes dans l'économie française.

Notre objectif est de rendre compatible le vecteur Cd avec la matrice M qui correspond, à quelques calculs près, à un tableau entrées-sorties de l'INSEE. Nous avons choisi d'exprimer le vecteur Cd selon la nomenclature agrégée en 38 postes. En effet, pour certains secteurs d'activité, les informations relatives aux consommations directes d'énergie nous sont déjà fournies selon cette nomenclature. La répartition des consommations d'énergie du secteur industriel, par postes de la NA, a fait l'objet d'un travail réalisé par le CEREN et EDF R&D. Ces consommations d'énergie sont maintenant fournies par une base de données appelée *Enervision*. Celles du secteur primaire et du secteur de la construction peuvent être déduites du bilan énergétique de la France².

Les consommations d'énergie du secteur des services ne sont pas, quant à elles, connues par poste de la NA, mais selon une nomenclature spécifique au CEREN, distinguant 8 branches d'activités de services (dont le commerce, la santé, l'enseignement, l'hôtellerie-restauration, etc.). Nous avons posé un certain nombre d'hypothèses (cf. annexe) pour traduire ces données du CEREN dans la nomenclature de l'INSEE.

2 Le secteur de la construction est à la frontière des secteurs industriel et tertiaire. Il est exclu d'*Enervision*, mais également du périmètre du secteur tertiaire tel que nous le considérons dans les paragraphes suivants. Il nous a fallu l'estimer séparément. Dans le bilan énergétique de la France, il existe une ligne spécifique pour la construction et les mines. Les consommations d'énergie pour l'extraction sont fournies par *Enervision*, nous les avons déduites de la ligne « construction et mines » pour obtenir les consommations d'énergie de la construction.

Pour évaluer les consommations d'énergie du secteur tertiaire et de ses branches, le CEREN réalise des enquêtes annuelles auprès d'un échantillon représentatif d'établissements des différentes branches. L'organisme fournit les consommations d'énergie du secteur tertiaire en énergie finale³, à climat normal (corrigé des variations climatiques). Les consommations d'énergie du secteur tertiaire sont définies comme les consommations d'énergie associées au parc de bâtiments tertiaires (les consommations d'énergie ayant lieu en dehors des bâtiments tertiaires ainsi que celles associées aux déplacements pour les services sont exclues du périmètre). Finalement, il faut noter que le CEREN ne distingue pas les sources de consommations d'énergie telles que nous les avons définies précédemment (intervention, mise en condition et déplacements)⁴.

Nous présentons nos résultats en énergie finale et non en énergie primaire⁵ (comme c'est souvent le cas lors de l'estimation de l'énergie grise). La préférence pour l'énergie finale permet de comparer immédiatement les consommations directes et indirectes des services et évite d'introduire un autre facteur de comparaison, celui de la conversion entre énergie primaire et énergie finale. Le choix de l'énergie primaire aurait eu du sens si nous avions distingué les différents types d'énergie consommée (pour lesquels les coefficients de conversion entre énergie primaire et énergie finale varient) ou si nous avions voulu mener une réflexion sur la transition énergétique, ce qui n'est pas notre objectif ici. Puisque nous avons opté pour l'énergie finale, les consommations d'énergie des branches de la production d'énergie ne sont pas prises en compte.

3 L'énergie finale est l'énergie utilisée pour la consommation finale (électricité, essence à la pompe, etc.).

4 Le CEREN distingue différents usages de l'énergie, en particulier le chauffage, la climatisation, l'eau chaude sanitaire, les usages de l'électricité (dont notamment l'éclairage). La plupart de ces usages semblent plutôt appartenir à la « mise en condition », mais pas exclusivement (notamment lorsqu'il s'agit des usages de l'électricité). Dans la suite de nos travaux, nous ne faisons pas référence à ces différents usages.

5 L'énergie primaire correspond aux formes d'énergie disponibles dans la nature (charbon, bois, pétrole brut, etc.). Les processus de transformation de l'énergie primaire en énergie finale requièrent, eux-mêmes, des consommations d'énergie. Les coefficients de conversion entre énergie primaire et énergie finale traduisent ces consommations pour la transformation de l'énergie.

3.3. Les résultats et leur analyse

Les hypothèses posées nous permettent, pour commencer, de calculer le vecteur Cd, c'est-à-dire les consommations d'énergie directes des services. Il est intéressant de rapporter ces consommations à la « taille » des différents secteurs des services, en termes de valeur ajoutée ou d'emploi, pour comparer la matérialité des différents services (tableau 1).

Tableau 1. Consommations d'énergie directes des services et intensité énergétique

	Consommations d'énergie directes		Valeur ajoutée (%)	Emplois (ETP) (%)	Intensité énergétique (tep/milliards d'euros)
	Mtep	%			
Activités spécialisées et scientifiques	3,92	2,5 %	11,9 %	12,5 %	19,4
Hébergement et restauration	2,10	1,4 %	2,5 %	4,0 %	48,7
Commerce	3,43	2,2 %	10,6 %	13,7 %	18,4
Transports et entreposage	1,27	0,8 %	4,8 %	5,2 %	15,4
Activités financières et d'assurance	2,55	1,6 %	4,5 %	3,2 %	33,7
Administration publique, enseignement, santé	3,70	2,4 %	22,6 %	28,3 %	9,7
Information et communication	1,15	0,7 %	5,0 %	2,9 %	13,6

Source : d'après les calculs des auteurs et des données de l'INSEE pour l'année 2009.

Ce sont les services publics, les activités spécialisées et scientifiques, ainsi que le commerce qui sont les secteurs des services les plus consommateurs d'énergie. Cependant, si l'on rapporte ces consommations d'énergie à la valeur ajoutée ou aux emplois générés par les secteurs, on constate que ces services sont relativement peu « intensifs en énergie », en comparaison de services comme l'hébergement et la restauration ou encore les activités financières et d'assurance.

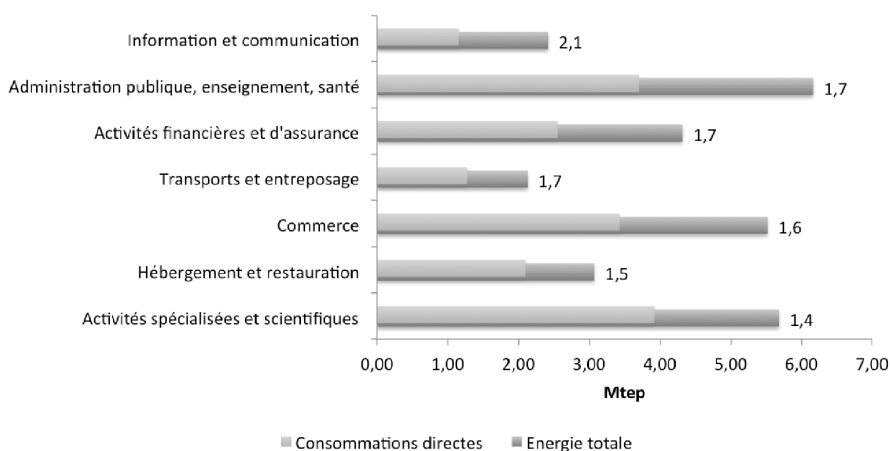
À partir de la matrice M et du vecteur Cd, il est possible d'estimer les consommations d'énergie totales des services, et donc, par différence, l'énergie grise (voir équation 2).

L'énergie grise dans le secteur des services représente environ 0,6 fois les consommations d'énergie directes, faisant passer les consommations d'énergie du secteur des services de 19 Mtep⁶ (consommations directes, en énergie finale) à 31 Mtep (consommations directes et indirectes, en énergie finale). Ce résultat est cohérent avec celui d'Alcantara *et al.* (2009), dont les travaux concernent les émissions de CO₂ des services en Espagne⁷. Selon ces auteurs, les émissions totales des services (directes et indirectes) représentent près du double des émissions directes.

Entre les différents services, il existe une forte disparité. L'énergie grise est particulièrement importante dans le secteur de l'information et de la communication (figure 2). Ce secteur regroupe les activités de l'édition, de l'audiovisuel, des télécommunications et autres activités informatiques. Il consomme relativement peu d'énergie directement et son intensité énergétique est faible (voir tableau 1), mais son énergie totale est plus de deux fois supérieure à l'énergie directement consommée. Cette différence s'explique principalement par l'importante consommation intermédiaire de biens industriels de ce secteur des services (près de 13 % de ses consommations intermédiaires totales). Il en est de même pour l'administration publique qui consomme beaucoup de biens industriels et de services scientifiques et spécialisés (respectivement 16 % et 27 % de ses consommations intermédiaires totales). Les activités spécialisées et scientifiques, qui sont, relativement aux autres services, d'importants consommateurs d'énergie directe, ont une énergie grise moins importante que les autres services (ramenée aux consommations directes). Ces activités consomment en effet relativement peu de biens intermédiaires, leurs consommations intermédiaires sont, pour plus de moitié, d'autres services scientifiques et spécialisés.

6 Mtep : mégatonne équivalent pétrole.

7 Les émissions de CO₂ ne sont pas directement comparables aux consommations d'énergie. En particulier, certaines énergies sont peu émettrices de CO₂ (énergie nucléaire) et d'autres beaucoup plus (énergie au charbon). Par ailleurs, l'énergie n'est pas la seule source d'émission de CO₂ (déforestation, agriculture, etc.). Cependant, faute d'autres résultats concernant l'énergie grise des services, il semble pertinent et intéressant de comparer les ordres de grandeur entre consommation directe et énergie grise et entre émissions directes et indirectes.

Figure 2. Estimation de l'énergie grise des différents services en 2009

Source : D'après les calculs des auteurs.

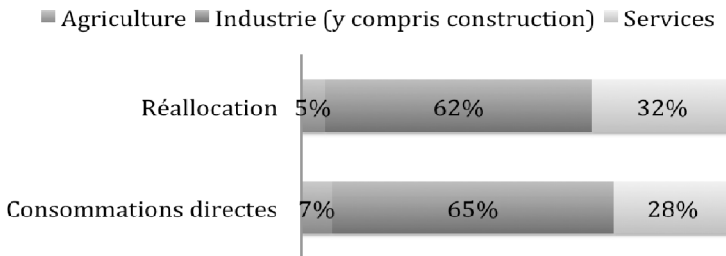
Si, d'après les statistiques énergétiques, les services sont peu consommateurs d'énergie pendant la prestation de services, ils requièrent cependant le recours à de nombreux biens (équipements, fournitures, supports du service, etc.), dont la production a elle-même nécessité des consommations d'énergie. Les services ne pourraient être fournis, dans leur forme actuelle, sans l'existence de ces biens. Ainsi, les faibles consommations d'énergie, dans les bâtiments tertiaires, peuvent s'avérer trompeuses quant à l'immatérialité des services et à l'ampleur réelle de leurs consommations énergétiques, si l'on ne tient pas compte de l'ensemble des sources directes et indirectes de consommation d'énergie de la prestation de service. L'idée d'une société de services *immatérielle* et moins consommatrice d'énergie est, ainsi, contestable. La société de services est, certes, une société dans laquelle les consommations finales sont orientées vers les activités de services. Mais, comme nous l'avons rappelé, ces services consomment de nombreux biens, et la société de services n'entraîne pas la disparition des activités industrielles et des consommations d'énergie qui leur sont associées.

Toutes les consommations d'énergie nécessaires à la réalisation des activités de services ne sont, cependant, pas encore prises en compte dans nos estimations. Comme nous l'avons mentionné précédemment, nous ne tenons pas compte, par exemple, des consommations d'énergie liées

au transport. Nous ne tenons pas non plus compte des investissements (exclus du périmètre des consommations intermédiaires) et en particulier des bâtiments qui représentent une part importante de l'outil de production pour de nombreux services et un montant important d'énergie grise. Les consommations d'énergie indirectes des services sont donc, en réalité, encore plus importantes que ce que suggère notre estimation.

L'énergie totale des services (énergie grise et consommations directes) représente les consommations d'énergie globales nécessaires pour réaliser les activités de services. Cependant, ce montant est difficilement comparable aux consommations d'énergie totales pour la France ou à celles du secteur industriel. En effet, une partie des services sont, eux-mêmes, des consommations intermédiaires pour la production de services ou de biens industriels. Nous proposons donc, dans un second temps, une réallocation de l'énergie, en fonction de la demande finale (figure 4).

Figure 4. Réallocation des consommations d'énergie par secteur, en fonction de la demande finale, en 2009 (en Mtep)



Source : D'après les calculs des auteurs.

Les consommations d'énergie du secteur industriel sont les plus importantes, sous l'angle de la production. Mais une grande partie des biens industriels ne sont pas destinés à la consommation finale, ce sont des biens intermédiaires pour les industries ou les services. Les consommations d'énergie induites par la production des biens industriels pour la consommation finale sont inférieures de 13 % aux consommations directes du secteur (hors secteur construction). La production des services nécessite la consommation intermédiaire de nombreux biens et services. Une partie des services est également orientée vers la

consommation intermédiaire. Mais, du point de vue des consommations d'énergie, la première dynamique est la plus importante. Finalement, les consommations d'énergie induites par la production des services pour la consommation finale sont supérieures de 18 % aux consommations directes du secteur. Du point de vue de la consommation finale, l'énergie nécessaire aux services ne représente donc pas 42 % de l'énergie nécessaire à l'industrie (comme l'indiquent les consommations directes d'énergie) mais environ 52 %. De la même façon, l'énergie nécessaire aux services pour la consommation finale ne représente plus 28 % des consommations d'énergie pour la production (agricole, industrielle et de services), mais 32 %. Ces résultats sont cohérents avec ceux présentés par l'IFEN (2004) concernant les émissions de CO₂. Ces derniers montrent qu'avec la réaffectation des émissions sous l'angle de la demande finale, les émissions du secteur tertiaire passent de 25 % (sous l'angle de la production) à près d'un tiers. Ainsi, la production des services pour la consommation finale engendre plus de consommations d'énergie que le simple examen des consommations directes ne le laisse entendre. Par ailleurs, bien que les consommations d'énergie engendrées pour la production des biens de consommation finale soient supérieures à celles pour la production des services de consommation finale, l'écart entre les deux est moins important que celui qu'on constate entre les consommations directes des secteurs.

CONCLUSION

Les économies développées contemporaines sont des économies de services qui aspirent au développement durable. La question de la durabilité, en particulier sous l'angle environnemental, est cependant souvent essentiellement associée à l'industrie manufacturière et aux technologies matérielles. Les services sont ainsi en moyenne souvent jugés plus « environnement-friendly » que l'industrie, même s'il existe des contre-exemples notables : le tourisme et le transport, par exemple. Cet optimisme est renforcé par le rôle socio-économique essentiel des services : ce sont eux, en effet, qui créent la plupart des emplois dans les économies contemporaines. Ainsi, nos économies seraient de plus en plus dématérialisées (Romm et al., 1999 ; Rifkin, 2000 ; Heurgon et Landrieu, 2007).

Dans cet article, nous nous sommes efforcés de montrer que la réalité est plus complexe. Ainsi, sur le plan analytique, comme sur le plan empirique, des arguments peuvent être évoqués pour remettre en question le caractère « *environment-friendly* » des services. Les arguments analytiques sont la remise en cause de l'immatérialité comme caractéristique distinctive des services par rapport aux biens et de l'idée de dématérialisation des économies postindustrielles. Ainsi, une conception systémique du service, qui intègre l'intervention de service, les déplacements, la mise en condition des lieux de la prestation et les processus de production des systèmes matériels nécessaires à la réalisation de la prestation (équipements, bâtiments, infrastructures, etc.) met en évidence de nombreuses sources de matérialité (de consommation d'énergie et de pollution) directes et indirectes, qui peuvent se prêter à certaines mesures (Fourcroy et al., 2012).

Dans ce travail, nous avons tenté d'estimer l'énergie grise associée aux services en utilisant une méthode input-output. De manière générale, il apparaît que l'énergie totale consommée par les services (c'est-à-dire les consommations directes et indirectes d'énergie) est de l'ordre de 1,6 fois les simples consommations directes. Dans certaines activités de services, elle peut même atteindre le double des consommations directes.

La tertiarisation de l'économie ne se traduit donc pas par une dématérialisation sur le plan environnemental (et notamment énergétique). Par ailleurs, l'énergie constitue un enjeu dans les services plus important que ne le laisse penser la simple analyse des statistiques énergétiques du secteur tertiaire. L'estimation de l'énergie grise des services nous a permis de montrer que les services sont plus « exposés » à l'énergie qu'il n'y paraît. Une hausse importante des coûts de l'énergie, ou un renforcement des contraintes énergétiques, pourrait avoir des répercussions importantes sur les services, sur le coût de leurs consommations intermédiaires et donc sur leur prix ou sur la façon dont ils sont réalisés. Les contraintes énergétiques croissantes pourraient ainsi être des moteurs de l'innovation dans les services. Et à l'inverse les innovations auront un rôle fondamental à jouer dans l'orientation des économies de services vers un développement durable.

BIBLIOGRAPHIE

- ALCANTARA V., PADILLA E. (2009). « Input-output subsystems and pollution: an application to the service sector and CO₂ emissions in Spain », *Ecological Economics*, vol. 68, pp. 905-914.
- BARCET A., BONAMY J. (1999). « Éléments pour une théorie de l'intégration biens/services », *Économies et sociétés, Série EGS*, vol. 5, n°1, pp. 197-220.
- BERKHOUT F., HERTIN J. (2001). « Impacts of information and communication technologies on environmental sustainability: Speculations and evidence ». Rapport à l'OCDE, SPRU-Science and Technology Policy Research, University of Sussex.
- BORDIGONI M., HITA A., LE BLANC G. (2012). « Role of embodied energy in the european manufacturing industry: Application to short-term impacts of a carbon tax », *Energy Policy*, vol. 43, pp. 335-350.
- BROUSSOLLE, D. (2001). « Les NTIC et l'innovation dans la production de biens et services : des frontières qui se déplacent ». In *11 th RESER conference*, Grenoble, octobre.
- CEREN (2012). *Suivi du parc et des consommations d'énergie du secteur tertiaire en 2010*. Rapport technique.
- CITEPA (2007). « Émissions "hors puits" en 2005 », en ligne : http://www.citepa.org/emissions/nationale/Ges/Emissions_FRmt_GES.pdf.
- DESMARCHELIER B., DJELLAL F., GALLOUJ F. (2011). « Economic growth by waste generation: the dynamics of a vicious circle », *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 652, pp. 129-138.
- DU TERTRE C. (2007). « Des services aux entreprises à l'économie de la fonctionnalité : les enjeux du développement durable », in E. Heurgon, J. Landrieu (dir.). *L'économie des services pour un développement durable. Nouvelles richesses, nouvelles solidarités*, Colloque de Cerisy, Prospective, Essais & Recherches, Paris, L'Harmattan, 390 p.
- EIGLIER P., LANGEARD E. (1987). *Servuction. Le marketing des services*, Paris, Ediscience international, 205 p.
- ETTIGHOFFER D. (1992). *L'entreprise virtuelle. Ou les nouveaux modes de travail*, Paris, Odile Jacob, 346 p.
- FAUCHEUX S., HUE C., PETIT O. (2002). « NTIC et environnement : enjeux, risques et opportunités ». *Futuribles*, vol. 273, mars.
- FOURCROY C., GALLOUJ F., DECELLAS F. (2012). « Energy consumption in service industries: challenging the myth of non-materiality », *Ecological Economics*, vol. 81, pp. 155-164.
- FURRER O. (1997). « Le rôle stratégique des services autour des produits », *Revue française de gestion*, mars-mai, pp. 98-108.
- GADREY J. (1991). « Le service n'est pas un produit. Quelques implications pour l'analyse économique et pour la gestion », *Politiques et management public*, vol. 9, n° 1, mars, pp. 1-24.
- GADREY J. (1992). *Socio-économie des services*, Paris, La Découverte, 3^e édition, 2003, 124 p.
- GADREY J. (1994). « Les relations de service et l'analyse du travail des agents », *Sociologie du travail*, n° 3, pp. 381-389.

- GADREY J. (1994b). « La modernisation des services professionnels. Rationalisation industrielle ou rationalisation professionnelle ? », *Revue française de sociologie*, vol. 35, n° 2, pp. 163-185.
- GADREY J. (2004). « Services, croissance, décroissance », *Alternatives économiques*, n° 228, septembre.
- GADREY J. (2010). « The environmental crisis and the economics of services: the need for revolution », in F. Djellal, F. Gallouj, *The handbook of innovation and services*, Cheltenham, Edward Elgar, pp. 93-125.
- GALLOUJ F. (1999). « Les trajectoires de l'innovation dans les services : vers un enrichissement des taxonomies évolutionnistes », *Économies et Sociétés, Série EGS*, n° 1, 5, pp. 143-169.
- GALLOUJ F. (2002). *Innovation in the service economy. The new wealth of nations*, Cheltenham, Edward Elgar, 226 p.
- GALLOUJ F., WEINSTEIN O. (1997). « Innovation in Services », *Research Policy*, vol. 26, n° 4-5, pp. 537-556.
- GERSHUNY J. (1978). *After industrial society. The emerging of self-service economy*, London, MacMillan, 181 p.
- HEURGON E., LANDRIEU J. (DIR.) (2007). *L'économie des services pour un développement durable : nouvelles richesses, nouvelles solidarités*, Paris, L'Harmattan.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2007). *Energy Use in the New Millennium, Trends in IEA Countries*, OECD, IEA.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2008). *Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency, Key Insights from IEA Indicator Analysis, In support of the G8 plan of action*, OECD, IEA.
- IFEN (2004). « La tertiarisation de l'économie et la réduction des émissions de CO₂ », *Les données de l'environnement, lettre thématique mensuelle de l'IFEN*, n° 95, septembre, 4 p.
- ILLERIS S. (2007). « The nature of services », in J. Bryson, P. Daniels (dir.), *The handbook of service industries*, Cambridge, Edward Elgar, pp. 19-33.
- LAURIOL J. (2007). « Stratégies d'entreprises, développement durable et économie de la fonctionnalité : vers des écosystèmes serviciels », in E. Heurgon, J. Landrieu (dir.), *L'économie des services pour un développement durable. Nouvelles richesses, nouvelles solidarités*, Colloque de Cerisy, Prospective, Essais & Recherches, Paris, L'Harmattan, 390 p.
- LAVAL P. (2006), « Le développement durable : stratégies descendantes et stratégies ascendantes », *Géographie, Économie et Sociétés*, 8(4), pp. 415-445.
- MAIRET N. (2009). *Déterminants de la demande d'énergie dans le secteur tertiaire en France, une analyse technico-économique*, thèse de doctorat en Sciences économiques, Université de Montpellier 1.
- NANSAI K., KAGAWA S., SUH S., FUJII M., INABA R., SEIJI H. (2009). « Material and energy dependence of services and its implications for climate change », *Environmental Science and Technology*, vol. 43, pp. 4241-4246.
- NELSON R., WINTER S. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Belknap Harvard, UK.
- OCDE (2000). *The service economy*, Paris, OECD Publications.
- PINE J., GILMORE J. (1999). *The Experience Economy*, Boston, Mass.: Harvard Business School Press.
- POUROUCHOTAMIN P., DE LA FUENTE C. (2010). « Méthodologie de calcul du contenu énergétique des usages ». Rapport technique, EDF R&D, 2010.

- RIFKIN J. (2000). « Quand tout devient service », in J. Rifkin, *L'âge de l'accès : la révolution de la nouvelle économie*, Paris, La Découverte, pp. 99-127.
- ROMM J., ROSENFELD A., HERRMAN S. (1999). *The internet economy and global warming*, The Center for Energy and Climate Solutions.
- SMITH A. (1776). *The wealth of nations*. Book 2. London, Penguin Books, 535 p.
- STAHEL W. (1997). *The Functional Economy: Cultural and Organizational Change*, in D.J. Richards (dir.), *The industrial green game: implications for environmental design and management*. Washington DC, National Academy Press, pp. 91-100.
- SUH S. (2006). « Are services better for climate change », *Environmental Science and Technology*, vol. 40, n° 21, pp. 6555-6560.
- VANDERMERWE S., RADA J. (1988). « Servitization of business: Adding value by adding services », *European Management Journal*, vol. 6, n° 4, Winter, pp. 314-324.

ANNEXE

Les consommations d'énergie directes du secteur tertiaire sont fournies, en France, par le CEREN, selon une nomenclature en huit branches et 26 sous-branches qui lui est propre. Cette segmentation du secteur tertiaire s'appuie sur les postes élémentaires (les sous-classes) de la nomenclature d'activité française (NAF). Il existe des tables, fournies par l'INSEE, pour traduire les codes des sous-classes de la NAF dans la NA en 38 postes. Les problèmes soulevés par cette traduction sont notamment les suivants :

- Les 26 sous-branches du CEREN sont définies à partir des postes élémentaires de la NAF de 2003, alors que les tables de correspondance entre la NAF et la NA s'appuient sur la NAF de 2008. Il existe cependant une table qui traduit les codes NAF 2003 en codes NAF 2008, mais les correspondances ne sont pas uniques. Par exemple, le poste 60.iZ « transports ferroviaires » de la NAF 2003 correspond à plusieurs postes dans la NAF 2008 : le « transport ferroviaire interurbain de voyageurs », le « transport ferroviaire de fret », les « services auxiliaires des transports terrestres »⁸.
- Les correspondances entre les 26 sous-branches CEREN et les 38 postes de la NA ne sont pas non plus uniques. Par exemple, les différents postes de la sous-branche CEREN « bureaux privés fortement informatisés » appartiennent à quatre divisions de la NA38 : JA, JC, KZ et OZ. Mais tous les postes de ces divisions n'appartiennent pas à la sous-branche CEREN en question.

8 Ce dernier poste de la NAF 2008 correspond lui-même à plusieurs postes de la NAF 2003.

Nous avons réalisé un premier travail d'épuration de la table des intersections entre les sous-branches CEREN et les postes de la NA-A38. En effet, le poids de certaines intersections (en termes de demande d'énergie et d'activité économique) est très faible et il peut être négligé dans le cadre d'une estimation de l'ordre de grandeur des consommations d'énergie des 38 postes de la NA. Pour réaliser cet exercice d'épuration, nous avons examiné les intitulés des différents postes qui se retrouvent relativement isolés dans la table des intersections. Par exemple, alors que presque tous les postes relevant du secteur des « transports », selon le CEREN, correspondent au secteur « HZ : transport et entreposage » de la NA, deux postes correspondent au secteur « PZ : enseignement ». En examinant ces postes, on constate qu'ils correspondent à la formation professionnelle pour le pilotage des bateaux et des avions. Ces deux postes sont relativement négligeables, que ce soit en comparaison des consommations d'énergie de la ligne « transport » ou des consommations d'énergie de la colonne « PZ : enseignement ». On considérera donc que les consommations d'énergie du secteur transport du CEREN sont entièrement attribuables au secteur « HZ : transport et entreposage » de la NA. De la même façon, si l'on considère l'intersection entre le secteur « PZ : enseignement » et le secteur CEREN « Process-Coiffure », on constate qu'elle correspond à l'enseignement du yoga, qui est un cas très particulier dont les consommations d'énergie, à l'échelle d'un secteur NA ou CEREN, sont négligeables.

Nous proposons d'agréger la division « MB : recherche » avec la division « PZ : enseignement », dans la mesure où cette agrégation ne nous semble pas avoir de répercussions importantes sur le résultat final : dans les deux cas, en effet, les consommations intermédiaires sont relativement limitées. Par ailleurs, ces activités sont assez similaires du point de vue des consommations d'énergie. On notera cependant que, dans le cas de l'enseignement, les locaux accueillent un public relativement nombreux, les surfaces par établissement sont donc plus importantes.

Nous proposons également d'agréger deux divisions qui nous semblent proches : « QA : activités pour la santé humaine » et « QB : hébergement médico-social et social et action sociale sans hébergement ». Ces deux divisions se partagent les consommations d'énergie des sous-branches CEREN : « hôpital », « clinique » et « autres activités du secteur de la santé ».

Une fois ces simplifications et épurations réalisées, seules 4 sous-branches du CEREN posent de réelles difficultés, puisqu'elles se partagent encore entre plusieurs divisions de la NA. Il s'agit des sous-branches « bureaux du secteur privé », « bureaux fortement informatisés », « locaux culturels » et « process-coiffure ». Nous analysons donc, maintenant, le contenu de ces 4 sous-branches plus en détail. Nous présentons, tout d'abord, la démarche suivie pour établir la consommation directe d'énergie pour l'une des sous-branches, à savoir la sous-branche « locaux culturels ». Nous évoquons, ensuite, les hypothèses supplémentaires nécessaires pour effectuer le même exercice, pour les autres sous-branches.

Une fois les épurations et simplifications réalisées, nous constatons que la sous-branche des « locaux culturels » est composée d'une partie des postes élémentaires des divisions « JA : édition, audiovisuel et diffusion » et « RZ : arts, spectacles et activités récréatives ». Notre objectif est de répartir les consommations d'énergie de la sous-branche « locaux culturels » entre ces divisions (JA et RZ). Nous cherchons donc à évaluer grossièrement le poids, proportionnellement, des deux intersections (entre « JA » et les « locaux culturels » et entre « RZ » et les « locaux culturels »). L'idéal aurait été de connaître la répartition des surfaces entre les divisions, voire entre les codes NAF. Mais cette information n'existe pas, à notre connaissance. Une approximation plus grossière consiste à comparer les volumes de production de ces intersections pour une année donnée. Il est possible de les comparer car les activités ne sont pas très différentes. Le volume de production des activités est fourni par l'INSEE, à une granularité assez fine : selon les 88 postes de la NA. Or nos croisements correspondent approximativement à des postes de la NA88. Le croisement entre « JA » et les « locaux culturels » est constitué des groupes 59 et 60 de la NA88. Le groupe 59 est entièrement inclus dans l'intersection. Le groupe 60 appartient également à l'intersection entre « JA » et une autre sous-branche : les « bureaux du secteur privé fortement informatisés ». Mais, si l'on se réfère à la traduction des sous-branches en code NAF 2003, il apparaît que les activités du groupe 60 appartiennent toutes à la sous-branche « locaux culturels ». Ainsi, on peut estimer le volume de production de l'intersection en ajoutant le volume de production du groupe 59 et du groupe 60. On procède ensuite de la même façon avec l'intersection entre « RZ » et les « locaux culturels », puis on compare les volumes de production des deux intersections. On constate qu'ils sont sensiblement équivalents. Les

consommations d'énergie de la sous-branche « locaux culturels » seront donc réparties à parts égales entre « JA : édition, audiovisuel et diffusion » et « RZ : arts, spectacles et activités récréatives ».

Nous avons procédé de la même façon pour l'ensemble des sous-branches. Nous avons dû poser une hypothèse supplémentaire pour tenir compte des activités immobilières, dans le cas de la sous-branche « autres bureaux du secteur privé ». En effet, le volume de production des activités immobilières est surestimé par les méthodes d'estimation du volume de production. Nous avons estimé que, dans ce cas précis, il serait plus intéressant de comparer le nombre d'employés de chaque activité, plutôt que le volume de production. En effet, dans des activités principalement de bureau, le nombre d'employés peut donner une idée de la surface et donc des consommations d'énergie⁹. Mais le nombre d'employés par activité est fourni par l'INSEE à un niveau trop agrégé pour notre étude. Nous avons donc utilisé le nombre d'employés uniquement pour comparer les activités immobilières aux activités scientifiques et techniques. Nous avons constaté que les activités immobilières employaient de l'ordre de sept fois moins de personnes que les activités scientifiques et techniques.

La démarche que nous venons de décrire nous donne une clef de répartition des consommations d'énergie des sous-branches entre les 38 postes de la nomenclature NA. Il reste une dernière difficulté. Si le CEREN fournit annuellement les données de consommation d'énergie par branche, il ne les fournit que plus rarement par sous-branche. Les données de consommation par sous-branche les plus récentes sont celles de l'année 2007. Nous avons cependant préféré retenir l'année 2009 pour établir l'estimation la plus récente possible. Au sein d'EDF, ce choix est validé par les experts des consommations d'énergie du secteur tertiaire, qui considèrent que la répartition des consommations d'énergie de chaque branche, entre ses sous-branches, n'a quasiment pas évolué entre 2007 et 2009. À partir des consommations d'énergie par branche de l'année 2009 et des clefs de répartition des consommations d'énergie par sous-branche, nous estimons donc les consommations énergétiques de 2009, par sous-branche.

9 Au sein d'activités de services relativement similaires, les consommations d'énergie sont grossièrement proportionnelles à la surface.