

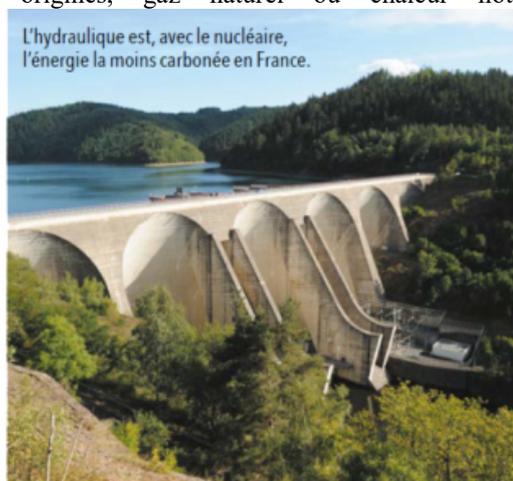
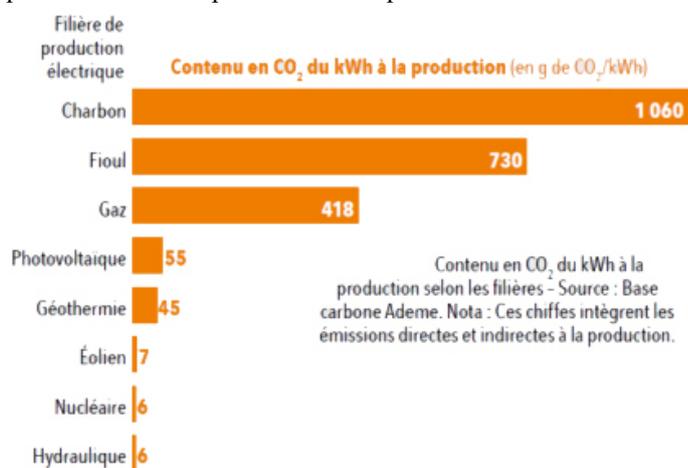
Le contenu en CO₂ du kWh.

Face au changement climatique, la baisse des émissions de CO₂ est une priorité majeure. La France, qui fait déjà partie des pays les moins émetteurs de CO₂ par habitant en Europe grâce à son système électrique très décarboné, s'est engagée à poursuivre la réduction de ses émissions. Ainsi la loi pour la transition énergétique et la croissance verte du 17 août 2015 (LTECV) fixe-t-elle comme objectif une réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) de 40 % entre 1990 et 2030 et leur division par quatre entre 1990 et 2050. Par ailleurs la Stratégie nationale bas carbone (SNBC) définit les grandes orientations à moyen et long terme pour y parvenir et les trajectoires des budgets carbone par secteur à respecter. Il est demandé en particulier au secteur du bâtiment une réduction de 87 % de ses émissions directes, liées à sa consommation d'énergie fossile, entre 2013 et 2050.

Sur le total des émissions de GES de la France, environ les deux tiers sont liées à la consommation d'énergie (5 % sont liées à l'électricité, 40 % au pétrole et 20 % au gaz)¹. Pour les réduire, il est bien sûr souhaitable de chercher à consommer moins d'énergie, par des mesures de sobriété et d'efficacité énergétique. Mais nos sociétés continueront à avoir besoin d'énergie et il est donc essentiel d'avoir recours à des vecteurs énergétiques aussi décarbonés que possible.

Comment mesure-t-on le contenu en CO₂ des énergies ?

Pour la plupart d'entre elles, il s'agit d'une question relativement simple. Les émissions associées à la production et à la combustion d'une tonne de charbon, de pétrole ou de gaz naturel sont connues. En revanche, s'agissant de l'électricité, le sujet est plus complexe et suppose une méthodologie adaptée pour éviter des erreurs de fond dans l'analyse. En effet, **la comparaison des émissions des énergies est essentielle, car c'est l'un des éléments majeurs sur la base duquel on doit définir les choix énergétiques et suivre leur mise en oeuvre par les acteurs concernés**, que ce soit dans le bâtiment, dans les transports ou dans l'industrie. Nous faisons le point dans cet article sur la question de l'électricité, mais l'analyse est transposable aux autres vecteurs énergétiques distribués par réseaux provenant de différentes origines, gaz naturel ou chaleur notamment².



Pourquoi la mesure du contenu CO₂ de l'électricité est-elle complexe

L'utilisation de l'électricité par le consommateur n'entraîne pas d'émissions de CO₂ sur le lieu d'utilisation. En revanche, les combustibles utilisés pour produire l'électricité ainsi que la construction et l'entretien des centrales de production et des réseaux de transport et de distribution sont à l'origine d'émissions. Le contenu carbone (ou facteur d'émission) du kWh électrique correspond à la quantité d'émissions de CO₂ qu'engendre, sur un intervalle de temps déterminé et sur un périmètre donné, la mise à la disposition d'un consommateur d'un kWh d'énergie électrique. On connaît le contenu en CO₂ au niveau de la production, qu'il s'agisse d'une centrale ou d'un parc de production. Ainsi, l'hydraulique, le nucléaire, le solaire et l'éolien ne génèrent pas d'émissions directes de CO₂ à la production et très peu d'émissions indirectes (construction des centrales notamment) ; les centrales thermiques à gaz en émettent environ 400 g/kWh produit et les centrales à charbon aux environs de 1 000 g/kWh produit (tableau 1).

Au niveau de l'ensemble du parc, le contenu CO₂ moyen annuel du kWh produit en France se calcule en divisant les émissions directes du système électrique par le total de l'énergie produite. **Ce facteur carbone à la production est l'un des plus faibles d'Europe à 53 g/kWh en 2016³ contre environ 560 g/kWh en Allemagne la même année.**

Au niveau du consommateur, le calcul du contenu en CO₂ du kWh consommé serait élémentaire si chaque consommateur était alimenté par une ressource bien déterminée à laquelle il serait raccordé de façon spécifique. Mais le système de production électrique est complexe ; il mobilise des moyens de production divers qui se trouvent mutualisés par le réseau pour répondre au mieux à la demande. La question de savoir comment répartir le chiffre moyen de 53 g/kWh entre les différents usages de l'électricité n'est pas simple, compte tenu du caractère indiscernable des électrons qui circulent sur le réseau. Il faut aussi pouvoir raisonner, de façon cohérente, aux différentes échéances de temps : en instantané, en historique et en prévisionnel. **La méthode proportionnelle est la seule méthode appropriée pour répondre à ces contraintes.**

La méthode proportionnelle

La méthode proportionnelle part du constat qu'à chaque instant un kWh consommé, quel qu'en soit l'usage, provient, via le réseau, des mêmes sources et donc porte une égale responsabilité dans les émissions instantanées. Mais ce contenu instantané varie selon les heures et les saisons, compte tenu des variations de la demande et des moyens de production mis en œuvre. Or les usages ont des profils de consommation différents (le chauffage consommé l'hiver, l'éclairage plutôt le soir...); il est donc compréhensible que leurs contenus CO₂ sur l'année puissent être différents. La méthode proportionnelle consiste à déterminer à chaque instant (heure par heure par exemple) la quantité de CO₂ émise par le système électrique et à l'attribuer de manière proportionnelle aux quantités consommées par les différents usages électriques en fonctionnement à cet instant-là (figure 1).

En sommant les émissions de CO₂ d'un usage électrique sur tous les instants de l'année, on obtient la quantité de CO₂ annuelle imputable à cet usage. La division de ces émissions annuelles par la consommation annuelle de l'usage considéré détermine le contenu en CO₂ du kWh pour cet usage.

Cette méthode est intuitive, simple à mettre en œuvre (les données requises sont disponibles) et est transposable à tout système électrique. Elle différencie les usages selon le moment de leur fonctionnement. Par exemple, appliquée à l'année 2016, l'usage eau chaude est à 67 g de CO₂/kWh et le chauffage électrique à 101 g de CO₂/kWh environ (tableau 2)⁴.

Elle permet d'évaluer les émissions de tous les usages quel que soit leur profil de consommation, y compris la climatisation et le véhicule électrique. Elle prend même en compte naturellement au cours du temps l'évolution de ces profils et de l'importance relative des usages. Elle permet aussi de prendre en compte les imports et exports d'électricité.

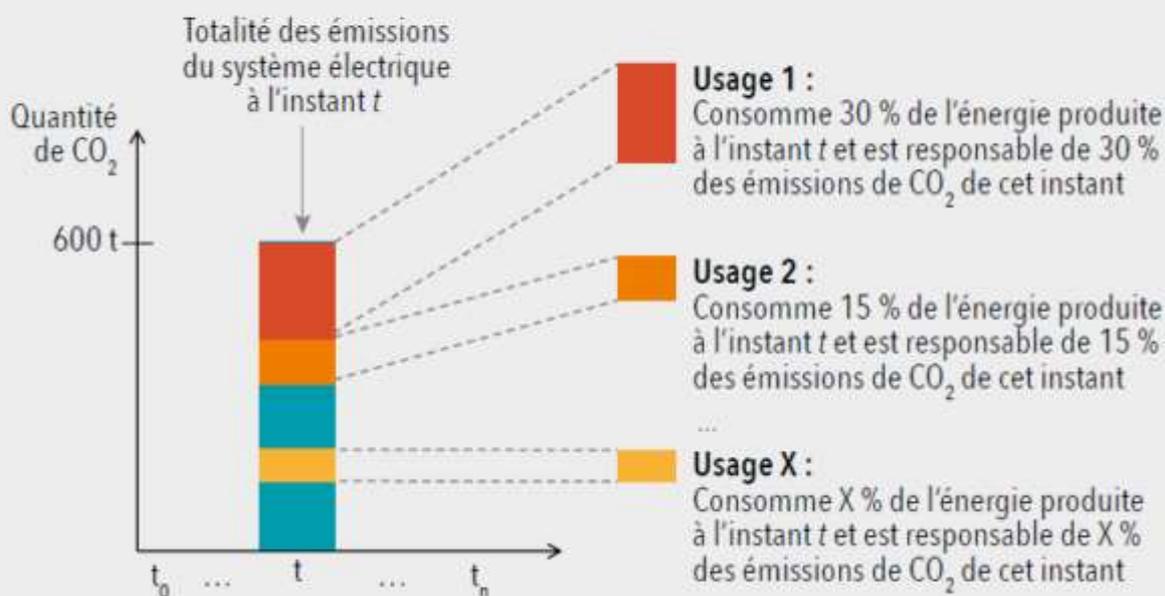
Elle peut s'appliquer au passé, au présent et au futur. Ainsi, à partir des scénarios prévisionnels d'évolution du système électrique, il est possible de déterminer les contenus des usages à un horizon donné. Cette approche par moyenne pondérée est d'usage constant dès lors que des ressources se trouvent mixées dans un pot commun qui les rend « fongibles ». On pourrait par exemple citer le calcul des plus-values de cession sur un panier d'actions identiques mais achetées à des dates différentes. En cas de cession partielle, la plus-value se calcule à partir du prix moyen pondéré d'acquisition.

Cette méthode permet de satisfaire au critère d'additivité : la somme des émissions des usages est bien égale aux émissions totales du système. Cette condition de bon sens est évidemment essentielle si l'on veut assurer la cohérence entre le suivi des émissions des usages et les budgets carbone de la SNBC.

Tableau 2 : Facteurs d'émission par usage selon la méthode proportionnelle au pas mensuel pour l'année 2016 - Source : Calculs Ademe PEBN - mars 2016.

Usages de l'électricité	Facteur d'émission en g de CO ₂ /kWh
Chauffage	101
Eau chaude résidentielle	67
Cuisson résidentielle	73
Éclairage résidentiel	82
Lavage, froid et spécifique résidentiel	65
Éclairage public	75
Industrie	66
Transport	69
Autres	69

Figure 1 : Répartition des émissions de CO₂ entre les usages à un instant donné.



Pourquoi « l'approche marginale » n'est-elle pas appropriée

Une « école de pensée » s'efforce de promouvoir une approche marginale pour évaluer, toutes choses égales par ailleurs, l'impact d'une évolution limitée du système électrique et en déduire des ratios tels que $(\Delta \text{ des émissions de CO}_2)/(\Delta \text{ des consommations en kWh})^5$. Cette approche marginale est utilisée dans de nombreux domaines (gestion, finance...) pour effectuer des tests de sensibilité autour d'une stratégie donnée. Mais l'approche marginale doit être utilisée avec la plus grande prudence car elle peut conduire à des résultats très variables selon le point de vue que l'on retient. Ceci est parfaitement décrit par Maurice Allais dans son fameux paradoxe du voyageur de Calais : selon le point de vue adopté, on peut considérer qu'une variation marginale entraîne ou n'entraîne pas des modifications structurelles du système et Allais explique que l'on peut considérer qu'un voyageur supplémentaire d'un train doit voyager gratuitement ou au contraire payer sa part du matériel roulant ou des infrastructures.

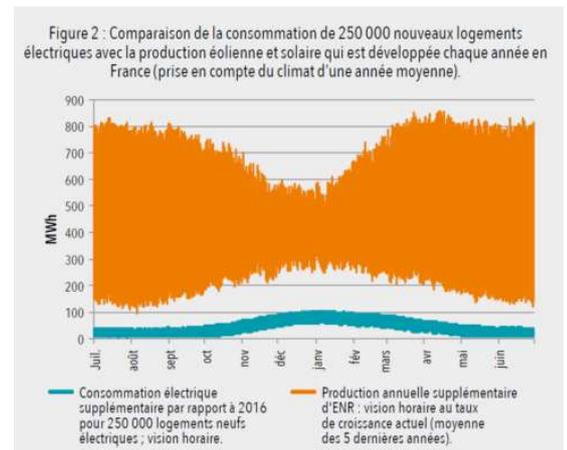
Dans le cas des usages de l'électricité, la détermination de la stratégie qui serait suivie en cas d'accroissement des consommations liées à un usage donné prête à des discussions de même nature : on peut très bien soutenir que cet accroissement sera compensé par une réduction des exportations – lesquelles relèvent d'une logique économique spécifique – ou soutenir que cet accroissement donnera lieu à la mise en place de nouveaux moyens de production dont la nature elle-même et donc les émissions donneront lieu à débat. Selon le scénario choisi, le résultat sera différent.

Par ailleurs, dans le cas des systèmes électriques, la mutualisation des ressources par le réseau rend l'approche marginale encore plus inappropriée. En effet, une variation de consommation ou de production sur un système électrique ne peut jamais être considérée comme isolée, car de nombreuses autres variations s'exercent simultanément et ont des effets qui se compensent ; on ne peut donc considérer l'impact d'une variation indépendamment des autres. Et il est impossible d'affecter une ressource à une consommation ; seule la règle de proportionnalité permet d'éviter des aberrations et de respecter la règle élémentaire du total à 100 %.

Supposons par exemple que, dans les années à venir, il se crée 250 000 nouveaux logements chauffés à l'électricité (chiffre très supérieur à celui réalisé ces dernières années) ; en comparant leur consommation totale chaque heure de l'année à la production éolienne et solaire supplémentaire développée chaque année, on observe que la consommation totale des 250 000 logements peut être largement couverte par la production éolienne et solaire supplémentaire développée au cours de cette même année (figure 2).

Dans cet exemple, une approche marginale prenant en compte l'évolution de l'ensemble du système électrique (développement de nouveaux moyens de production et de nouvelles consommations) permet d'en déduire que les émissions de ces nouveaux logements sont nulles.

Dans la pratique, les valeurs résultant de ces « approches » – à tort qualifiées de méthodes car il ne s'agit en aucune façon de méthodes documentées, sont souvent citées comme résultats soi-disant généralisables à tous les usages (par exemple plus de 400 g de CO₂/kWh pour l'usage « chauffage »). **En fait elles heurtent le sens commun et sont incohérentes avec la réalité des émissions du système.** En effet, le contenu moyen du kWh français oscille depuis trois ans entre 30 et 53 g, dans un contexte où la demande est stable depuis plusieurs années et où le parc de production continue à se décarboner. Même le 20 janvier 2017, journée la plus chargée de l'hiver passé, le facteur d'émission n'a excédé, à aucun moment de la journée, 115 g de CO₂/kWh.



Ces valeurs ne cadrent pas davantage avec les observations que l'on peut faire sur le passé. Leur adoption aurait pu conduire les acteurs à prendre des décisions augmentant leurs émissions et celles de la France. En effet, compte tenu de la croissance de la consommation observée depuis 1990, un coefficient d'émissions « marginal » de 400 g de CO₂/kWh aurait dû se traduire par une augmentation des émissions du système électrique français de 12 Mt de CO₂. La réalité est inverse : les émissions du système électrique ont diminué sur cette période de 45 % en France et de 20 % en Europe. Pour les années à venir, le constat est identique. Car la tendance est à encore plus de décarbonation, avec des fermetures possibles de centrales fossiles (hypothèses RTE du bilan prévisionnel 2016 qui prennent en compte la fermeture de tranches fioul et la possible mise sous cocon de centrales existantes charbon et gaz) et un maintien, voire une accélération, du rythme de développement de l'éolien et du solaire. Entre 2010 et 2016, la production solaire a augmenté de 8 TWh et l'éolien de 11 TWh.

Dans le même temps, la consommation électrique française est restée stable. Ce phénomène n'est pas conjoncturel, il se prolongera dans les prochaines années et pourra éventuellement aboutir à une baisse, comme en témoigne le scénario de référence de RTE dans ses dernières publications (le bilan Prévisionnel RTE 2016 prévoit une baisse de la consommation avant 2020 dans son scénario de référence). Par conséquent un développement plus important que prévu des transferts d'usage vers l'électricité peut être couvert par la croissance du renouvelable et ne pas entraîner de hausse des émissions de l'électricité.

La méthode saisonnalisée actuelle : une cote mal taillée

Depuis plusieurs années (2005), une méthode de compromis dite « saisonnalisée par usage » est utilisée par l'Administration, faute d'avoir pu dégager un consensus autour d'une méthode plus rationnelle.

Cette méthode, très imparfaite, sert aujourd'hui encore de référence pour calculer les contenus par usage qui sont utilisés dans diverses réglementations. **Cette méthode peine à prendre en compte les évolutions du système électrique (production solaire, climatisation, véhicule électrique, usages pilotés...) et diverses modalités la conduisent par construction à pénaliser les usages dits « saisonnalisés » comme le chauffage** : ils sont réputés émettre 209 g de CO₂ par kWh (selon la base carbone de l'Ademe) alors que le contenu horaire de l'électricité n'a dépassé à aucun moment 115 g selon RTE au cours des dernières années.

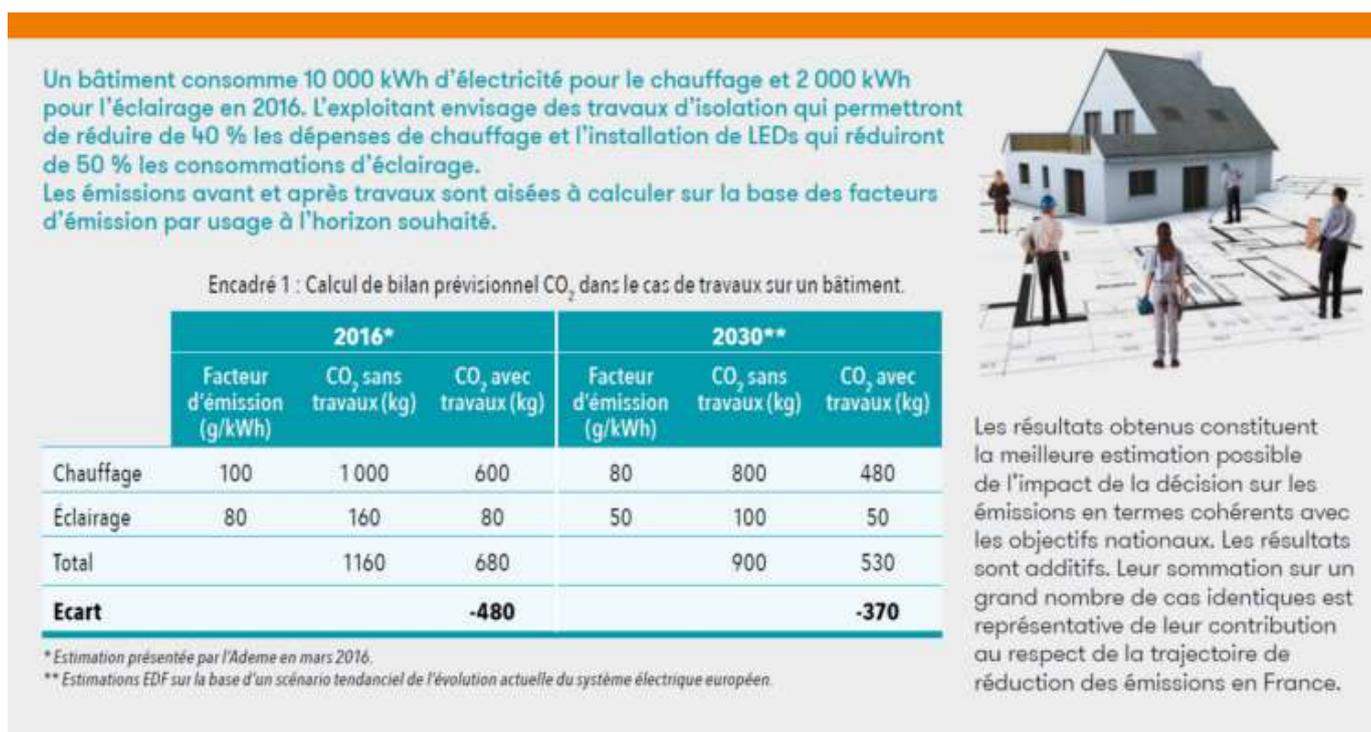
En outre, ses imperfections conduisent à des ajustements techniques complexes, objets de débats récurrents.

Il est temps d'adopter une méthode rationnelle

Avec la volonté du législateur de raisonner en budgets et en bilans carbone, il est urgent d'en venir à une comptabilisation rationnelle du CO₂, d'autant plus que les émissions de CO₂ interviennent à présent dans des réglementations clés telles que la réglementation énergétique et environnementale des bâtiments. Il est indispensable que ces réglementations soient en cohérence avec les grands objectifs fixés par la loi.

Les bilans d'émission prévisionnels du système électrique français sont établis par RTE sur la base d'hypothèses d'évolution de la demande, du mix de production et des échanges qui dépendent de diverses hypothèses (démographie, prix des énergies, politiques énergétiques, etc.). Sur la base des scénarios ainsi établis, il est aisé de déterminer les facteurs d'émission prévisionnels, moyens ou par usage, de l'électricité à divers horizons. Ces facteurs d'émission permettent alors aux acteurs de calculer leurs propres bilans d'émission prévisionnels sur la base de leurs prévisions de consommation. En comparant les bilans prévisionnels correspondant à différents choix énergétiques, les acteurs peuvent alors déterminer les trajectoires d'émission correspondant à chacun de ces choix, et ainsi choisir la meilleure.

L'encadré 1 donne un exemple concret d'application sur la base de facteurs d'émission calculés selon la méthode proportionnelle (calcul Ademe) pour 2016 et 2030 (scénario tendanciel estimation EDF).



Conclusion

Avec une consommation électrique vue comme stationnaire en France pour les années à venir malgré les transferts d'usage anticipés, et un parc de production déjà très largement décarboné et qui le sera davantage d'année en année, **l'électricité française restera l'une des moins émettrices de CO₂ au monde**. En comparaison, [la décarbonation des énergies fossiles](#), comme le gaz à travers le développement du biogaz, doit certes être encouragée, mais reste une perspective lointaine et incertaine, alors que l'électricité est décarbonée dès aujourd'hui. Cet avantage de la France doit se traduire par des signaux donnés aux acteurs cohérents avec les politiques publiques, afin qu'ils soient incités à faire les bons choix et à contribuer à décarboner l'économie, en utilisant notamment les atouts de l'électricité. Il est important pour cela d'être attentif à ne pas biaiser ces signaux par des méthodes de mesure du contenu CO₂ de l'électricité inappropriées.

Nous proposons l'adoption de la méthode proportionnelle, seule méthode permettant de garantir la cohérence entre les émissions des usages et les objectifs nationaux de réduction des émissions.