



Négawatt / Négatep, le coût de la transition énergétique

Claude Acket Pierre Bacher

(12/12 /2013)

Résumé

Le débat national sur la transition énergétique a fait ressortir 2 scénarios très opposés. L'un Négawatt prévoit une très forte baisse de la consommation finale et la fin du nucléaire (« sortie du nucléaire ») en comptant pour pratiquement 100 % sur les seuls renouvelables. L'autre Négatep (« sortir des fossiles ») prévoit une baisse modérée de la consommation et, au contraire, plus de nucléaire en tant que source d'énergie décarbonée pour réduire, ce qui est l'objectif commun de tous les scénarios de la transition : les rejets de gaz carbonique et la dépendance aux combustibles fossiles.

Indépendamment des aspects faisabilité technique et acceptation sociale, cette étude fait un bilan économique comparatif pour chaque poste de dépense et d'économie de ces 2 scénarios de transition. La comparaison est aussi faite par rapport à 2 évolutions de référence non orientées par cette transition. La première dite « statu quo » prévoit le maintien telle quelle de la situation énergétique actuelle. La deuxième désignée aussi « business as usual » se place dans la continuité de croissance hors crise économique, en particulier peu de variation du coût des fossiles et absence de toute mesure restrictive visant à limiter les rejets de gaz carbonique.

Le scénario Negawatt ressort de cette étude plus onéreux que Negatep et pourtant il implique une décroissance incompatible avec les objectifs politiques de tous les partis dominants du paysage politique, décroissance qui provoquerait une fracture sociale sans précédent.

Contenu

I) Introduction	3
II) Rappel : les principales données de Négawatt	4
III) L'approche détaillée par poste des coûts	5
A) Isolation logements :.....	5
B) Grands travaux transports.	6
C) Batteries :	6
D) Renouvelables chaleur : 555 G€ pour Négatep,	6
E) Electricité non intermittente, hors nucléaire (voir § G) et hors combustibles (voir § I) : Coût : 112 G€ pour Négatep	8
F) Electricité intermittente : Négatep : 210,5 G€	9
G) Nucléaire : Négatep : 864 G€.....	9
H) Combustibles biomasse : 440 G€ pour Négatep.....	10
I) Combustibles fossiles 1750 G€ pour Négatep	10
IV) Le remontage final, bilans globaux.....	10
Quelques regards spécifiques	12
Les coûts Négawatt sous-estimés ?.....	13

I) Introduction

Le débat national sur la transition énergétique a dans ses conclusions retenu différents scénarios regroupés en 4 familles

DEC Electrification et décarbonation (référence : Négatep)

DIV Demande stable et diversification (référence : ANCRE div).

EFF Efficacité énergétique et diversification (référence : ADEME)

SOB Sobriété énergétique et sortie du nucléaire (référence : Négawatt)

Ces familles ont été classées selon 2 critères principaux de tri.

Le premier critère se rapporte à l'importance de la réduction de la demande classée, soit de forte (au dessus de 50 % de baisse), soit de modérée (vers 20 % de baisse), alors que la tendance serait un accroissement de 38 %, dont 13 % prenant en compte le seul effet population.

Le deuxième critère porte sur la structure du mix énergétique final, de la diversification et de l'importance relative du nucléaire et des renouvelables. La situation actuelle au niveau de la production primaire (49 % de fossiles, 43 % de nucléaire, 8 % de renouvelables), ne peut être que fortement modifiée pour répondre à la forte baisse attendue des fossiles (réduction de la facture énergétique, de la balance commerciale ainsi que des rejets de gaz carbonique et de leurs conséquences sur l'effet de serre). Mais si tous les scénarios s'orientent vers une forte hausse des renouvelables, de grandes variantes sont possibles, en absolu autant qu'en relatif (en fonction des besoins finaux et donc de la réduction de la demande).

On trouve ainsi 2 scénarios très opposés : l'un Négawatt prévoit une très forte baisse de la consommation finale et la fin du nucléaire (« sortie du nucléaire ») en comptant pour pratiquement 100 % sur les seuls renouvelables, et l'autre Négatep qui prévoit une baisse modérée de la consommation et, au contraire plus de nucléaire en tant que source d'énergie décarbonée pour sortir des fossiles.

La faisabilité de chaque scénario peut faire l'objet d'analyses contradictoires¹. Nous analyserons ici l'aspect économique en évaluant le coût de la transition énergétique sur les 40 ans à venir.

L'estimation du coût d'une transition énergétique permettant de réduire l'appel aux énergies fossiles d'un facteur proche de 4 et d'autant les rejets de gaz carbonique, a été faite pour le scénario Négatep². Cette transition mesurée en énergie finale passe par des économies d'énergies globales de 11 % (correspondant à moins 23 % par habitant compte tenu de l'évolution de la population et des progrès attendus par secteur), par un fort développement des énergies renouvelables thermiques (+ 280%) et surtout par une forte électrification (+ 55 %) à partir de sources non carbonées, dont les renouvelables électriques (+ 127%) et le nucléaire (+ 47 %).

Sur 40 ans, le coût global intégré (investissement et consommation) du scénario Négatep serait (voir tableau § IV) de 1146 G€ supérieur (28,65 G€/an), à celui d'une évolution de référence, dite statu quo, consistant à garder tel quel notre système énergétique (production et consommation globale). Ce statu quo donnerait tout de même une réduction de 13 % par habitant (sobriété individuelle et collective malgré une augmentation de la population), alors

¹ Voir sur site SLC « Analyse du scénario Négawatt 2011 »

² Sur site SLC : « Négatep 2012 : réduire les rejets de gaz carbonique. Oui, mais à quel coût ? »

que la continuité du scénario tendance, pour un surcoût équivalent à celui de Négatep, conduirait à + 24% par habitant (un peu plus pour chacun).

La réduction du coût d'achat de combustibles fossiles ne compense pas l'accroissement des autres dépenses associées aux investissements visant le développement des énergies renouvelables et les économies d'énergie. En effet, sur ce dernier point, contrairement à l'adage répété que « l'énergie la moins chère est celle que l'on ne consomme pas », faire des économies d'énergie peut coûter très cher en investissements qu'il faut rembourser, et dans certains cas le retour sur investissement peut ne jamais arriver, avec les coûts actuels des combustibles fossiles.

Négawatt poussant bien au-delà les économies d'énergie (- 62 % au lieu des - 23 % par habitant de Négatep) nous nous posons la même question : A quel coût ? En consommant moins, allons nous réduire notre facture ?

Pour ce, en suivant la même approche économique que celle utilisée pour Négatep, mais surtout à partir des mêmes données des coûts de référence (voir en Annexe les bases coûts utilisés), nous nous sommes attachés à estimer le coût total sur les 40 ans de scénario Négawatt de transition énergétique qui, à côté d'actions de sobriété et efficacité considérables et très contraignantes pour la population, prévoit un retour à zéro du nucléaire dès 2035, en forçant sur les renouvelables électriques et en réduisant l'appel à l'électricité.

II) Rappel : les principales données de Négawatt³

- Energie finale : passe de 166 Mtep (1927 TWh) en 2010 à 73.2 Mtep (849 TWh) en 2050, soit une baisse de 56 %. Ramenée par habitant, soit une indication significative de l'effort individuel, cette baisse est de 62 %.
- Energie primaire passe de 255 Mtep (2965 TWh) à 88 Mtep (1028 TWh) en 2050, soit une baisse de 65 %.
- L'ensemble des combustibles fossiles passe en énergie primaire de 127 Mtep (1476 TWh) en 2010 à 8.1 Mtep (94 TWh) en 2050, soit un facteur de réduction de 15, bien supérieur à l'objectif facteur 4 retenu au niveau européen.
- Fort développement des énergies renouvelables 23 Mtep (268 TWh) en 2010 à 80.6 Mtep (935 TWh) en 2050, soit un facteur 3.5. Elles représentent ainsi 91.6 % des sources primaires d'énergie et deviennent de marginales dans le mix énergétique actuel, à presque exclusives.
- Au sein des renouvelables, fort développement des sources thermiques qui passent de 185 TWh (15,9 Mtep) à 567 TWh (48.9 Mtep) soit un facteur multiplicateur de 3.
- Au sein des renouvelables thermiques, fort développement de la biomasse qui passe de 178 TWh (15,3 Mtep) à 451 TWh (38.9 Mtep) soit un facteur multiplicateur de 2.5.
- Au sein des renouvelables, la production d'électricité passe de 79 TWh en 2010 à 368 TWh en 2050. Comme l'hydraulique étendue à l'énergie marine (hors éolien) varie peu : (de 68 à 84 TWh) ceci est lié à la croissance de l'éolien et du photovoltaïque, dont l'ensemble passe de 11 à 284 TWh (facteur de croissance x 25.8)
- Baisse de la consommation finale d'électricité qui passe de 473 TWh en 2010 à 291 TWh en 2050 (tous chiffres hors bilan export/import) malgré une augmentation de la population de 13

³ Lecture directe des chiffres sur les schémas Sankey 2010 et 2050 joints aux documents Négawatt. Toutes les données Négawatt sont exprimées en TWh. Pour la comparaison, nous les traduisons en tep, unité plus utilisée dans l'approche Négatep.

%. Ceci est le point majeur de Négawatt, la chasse à l'usage de l'électricité, car associé au nucléaire en France.

Nota : Le schéma Sankey 2050 de Négawatt présente un excédent de 55 TWh d'électricité⁴, Il faut penser que cet excédent se traduit par un écart Export-Import avec nos voisins⁵, mais aucune explication dans les textes sur ce point.

III) L'approche détaillée par poste des coûts

A) Isolation logements :

Pour Négawatt, l'objectif des rénovations est une consommation annuelle moyenne de 40 kWh d'énergie primaire par m² pour les besoins de chauffage. Pour les constructions neuves ce chiffre est baissé à la moyenne de 15 kWh par m².an pour le résidentiel et à 35 pour le tertiaire.

Considérant que les derniers kWh grappillés coûtent de plus en plus chers, et absorbent des moyens financiers qui seraient plus efficaces autrement, Négatep retient des objectifs moins ambitieux de 100 kWh/m².an d'énergie finale pour la rénovation⁶ et 50 pour le neuf. Sur ces bases, la rénovation de 20 millions de logements anciens, pour 15000 € par logement, un surcoût équivalent pour la construction de 10 millions de logements neufs, et le complément d'entretien de l'existant (5000 € par logement) donne un coût total Négatep de 500 G€ pour l'habitat, auxquels sont ajoutés 125 G€ pour le tertiaire, soit un total de 625 G€.

Pour Négawatt, l'imposition d'objectifs plus sévères, se rapprochant de l'habitat passif,⁷ coûte de l'ordre de 25000 € par logement (ou équivalent) et conduit à 1000 G€ pour l'habitat et 250 G€ pour le tertiaire soit un total Négawatt du poste isolation de 1250 G€.

Mais nous considérons que Négawatt surestime la véritable baisse de consommation après rénovation de l'ancien et les gains attendus en dépenses. En effet même en admettant que les normes de consommation seront respectées tout au long de la vie des logements, Négawatt néglige le risque de vieillissement des installations et des modifications du mode d'utilisation (effet "rebond" signalé par l'OPECST dans son avis sur la RT2012).

⁴ Ce chiffre traduirait une forte augmentation par rapport aux 30 TWh de 2010 (selon le schéma de Sankey 2010). Mais l'année 2010, ayant vu une baisse de production du nucléaire (maintenances exceptionnelles), n'est pas représentative et ainsi en 2011 le bilan export- import est remonté à 60 TWh retrouvant les niveaux des bilans de l'année 2008 et celles antérieures.

⁵ Ce bilan serait-il lié aux échanges en cas de surplus de production éolienne et en complément à la méthanisation à l'équilibre production/consommation ? Mais comme tous les pays voisins auront les mêmes problèmes de surproduction au même moment, ceci ne semble pas réaliste.

⁶ Valeur pratiquement atteinte dans les logements chauffés à l'électricité et bien isolés. Ceux-ci ne font pas l'objet de rénovation dans Négatep, mais le font dans Négawatt.

⁷ Négawatt préconise aussi « l'habitat à énergie positive », mais ne donne aucun chiffrage. Un tel chiffrage, plutôt que des préconisations générales, aurait montré que ceci reposant sur le surplus d'énergie fournie par le photovoltaïque (posé sur le toit ou les murs) cette option ne peut exister que fortement subventionnée et donc est une voie aberrante.

B) Grands travaux transports.

Négatep ne prévoit pas de changement significatif dans la mobilité individuelle, mais néanmoins retient 200 G€ au titre de la transition, pour les grands travaux associés aux transports en commun, bien que ceux ci entrent plus dans le cadre général de l'aménagement du territoire. Cette somme répond à l'extension des transports en commun⁸ pour les personnes et le changement de portage pour les marchandises, toutes actions associées à de lourds investissements.

Négawatt, notamment sous « *l'effet des politiques d'aménagement du territoire ...* », retient un gain de 25% sur les kilomètres parcourus par personne en une année, et arrive, conjointement aux progrès techniques, dont ceux moteurs, à baisser de 67 % les besoins énergétiques de la mobilité. A priori Négawatt met plus l'accent que Négatep sur le développement des transports en commun, en faisant notamment mention d'un renforcement du rail, des transports en commun urbain (métro, tram...) ce qui suppose a priori un fort renforcement de la part électricité, ce qui ne se retrouve pas dans les bilans, au contraire en baisses.

Alors qu'il est prévu 93 TWh en électricité finale totale transports pour Négatep, Négawatt n'en prévoit que 30. En retirant 20 TWh pour la mobilité individuelle (les véhicules électriques de proximité prévus par Négawatt), il ne resterait que 10 TWh pour les transports en commun, soit le niveau actuel. Difficile de concilier ceci avec un fort développement des transports en commun. Ceci n'est qu'un exemple parmi des dizaines d'autres des apparentes contradictions (ou erreurs involontaires ou forcées ?) du scénario Négawatt.⁹

En dépit de cette difficulté d'interprétation, nous retiendrons dans cette approche comparative le même chiffre de 200 G€ pour ce poste Négawatt. Nous y reviendrons dans les commentaires finaux.

C) Batteries :

Ce poste représente un total de 300 G€ pour le scénario Négatep. Il concerne les véhicules électriques (100 % électriques ou part électrique des hybrides) très développés dans ce scénario¹⁰,

Les transports feraient appel à 3 fois moins d'électricité dans Négawatt (cf ci dessus 30 TWh au lieu de 93) par rapport à Négatep, nous supposons que ce rapport se répercute sur le poste batteries, d'où 100 G€ retenus, en soulignant toutefois le flou, voire l'incohérence des données Négawatt sur ce poste (cf. commentaires finaux).

D) Renouvelables chaleur : 555 G€ pour Négatep,

- PAC 126 G€ pour Négatep (7 Mtep).

Le dossier Négawatt ne donne pas d'information directe sur les PAC électriques.

Elles n'apparaissent pas sur les schémas de Sankey (font-elles parties de la géothermie, voir ci-dessous ?). Mais il est dit qu'elles représentent 20 % des systèmes de chauffage, soit la même valeur relative que celle des réseaux de chaleur (82 TWh) et 2 fois celle du solaire thermique (39 TWh). Ceci donne environ 7 Mtep soit l'équivalent de Négatep, et on peut donc retenir aussi 126 G€

⁸ Rail longues distances comme TGV et réseaux régionaux, mais aussi toute l'urbanisation : tramways, trolleys bus, métros (toutes à base d'électricité)

⁹ Voir sur site SLC « Analyse du scénario Négawatt 2011 »

¹⁰ Ce coût est surtout affecté par celui du remplacement des batteries à 10 ans.

- Biomasse solide (bois chaleur) 135 G€ pour Négatep (11 Mtep)
Pour Négawatt 10.5 Mtep (39 TWh), donc très proche, donnerait 129 G€.

- Solaire thermique 90 G€ (4 Mtep) pour Négatep
Pour Négawatt 39 TWh (3.4 Mtep), donc très proche donnerait 76.5 G€.

- Géothermie et divers 24 G€ (1 Mtep) pour Négatep.
Selon le texte Négawatt, le poste géothermie en forte progression (11 fois l'actuel) est donné pour 66 TWh (5,7 Mtep)¹¹
En y ajoutant les déchets 6 TWh, le total est de 72 TWh soit 6,2 Mtep.
Sur la base du chiffrage Négatep, nous obtenons 149 G€ pour Négawatt.

- Biocarburants 180 G€ pour Négatep (15 Mtep) hors consommations d'électricité (voir § E + F + G) et de biomasse (voir § H)
Pour Négawatt la part équivalente biocarburants appelée biomasse liquide est réduite, et représente 44 TWh (3,8) Mtep, ce qui donnerait un coût de 45 G€.
Mais pour la mobilité il faut prendre en compte la part principale (62 % en énergie finale voir ci-dessous) remplie par le biogaz : 159 TWh (13.7 Mtep),

- De l'importance du gaz dans Négawatt et l'apport gaz de la méthanation (« Méthane synthétique », qui n'est pas prévu dans Négatep)
Outre la mobilité (159 TWh) vue ci-dessus, le gaz, via le réseau, intervient aussi pour le chauffage 100 TWh (8.6 Mtep). Ce gaz réseau est issu du biogaz en direct (153 TWh), à partir de la biomasse solide (80 TWh)¹², et enfin via la méthanation.

Cette méthanation, qui a un rôle essentiel dans la gestion de la variabilité et de l'intermittence des sources d'électricité éolienne et photovoltaïque, passe par l'électrolyse pour produire de l'hydrogène et la récupération de gaz carbonique.
En 2050, la production d'hydrogène Négawatt représenterait 64 TWh permettant de produire 45 TWh de méthane purifié (4 Mtep). En supposant une introduction linéaire (comme celle de l'éolien, les 2 étant liés dans l'absorption des pics de production), l'énergie totale cumulée est de l'ordre de 1000 TWh. Avec un coût de 200 €/MWh¹³ pour l'hydrogène d'électrolyse¹⁴, hors électricité, le coût total est de 200 G€. A ceci il faut ajouter le coût des cellules de méthanation, du stockage de l'hydrogène, car les unités de méthanation ne pourront suivre les fluctuations des électricités renouvelables, le coût de purification du méthane avant injection réseau et aussi un stockage tampon. La récupération de gaz carbonique¹⁵ devrait concerner 9

¹¹ Selon le schéma Sankey 2050, total géothermie 77 TWh dont 16 pour l'électricité avec cogénération

¹² Partant de 80 TWh de biomasse solide à destination de gaz réseau, s'ajoutant à 147 TWh venant de biogaz un total de 216 TWh de gaz carburants et combustibles est obtenu et seulement 11 TWh de pertes sont affichés (5 % !). Or la seule transformation biomasse solide en méthane a un rendement de 64 % (selon le dossier Négawatt lui-même), et la perte devrait être d'au moins 29 TWh pour cette seule part. Un facteur de correction proche de 3 !

¹³ Base: 55 €/GJ d'hydrogène (# 200 €/MWh) et 10 €/MWh pour l'électricité (pris en consommation interne par Négawatt dans son schéma Sankey), en prenant un coût nul pour l'électricité, mais un supplément transport de cette électricité jusqu'à l'électrolyseur

¹⁴ Le mode fonctionnement des électrolyseurs (régime stable, variabilité n'est pas évoqué)

¹⁵ L'origine du gaz carbonique n'est pas indiquée dans la documentation Négawatt. La seule source centralisée de production de gaz carbonique qui pourrait être à l'origine de ce gaz est la sidérurgie consommant 13 TWh issus du charbon et de la biomasse solide, qui devrait libérer 4,6 millions de tonnes de gaz carbonique par an. Une estimation simplifiée conduit à trouver que, hors pertes, ceci apporterait 50 % de moins que les besoins de méthanation. Mais avec les besoins en énergie pour la

millions de tonnes par an en 2050. En linéarisant sur la période un total de 135 Mt et un coût de 50 €/tonne de CO₂ (séparation, compression et transport), nous obtenons 6.7 G€ Globalement; en prenant 70 % comme rendement de la méthanation, le coût global est d'au moins 300 G€.(206.7/0.7) en soulignant toutes les incertitudes sur l'ensemble depuis l'électrolyse, jusqu'à la récupération du gaz carbonique et les stockages intermédiaires.

D'où total renouvelables chaleur § D : 825.5 G€ pour Négawatt.

E) Electricité non intermittente, hors nucléaire (voir § G) et hors combustibles (voir § I) : Coût : 112 G€ pour Négatep

- Fossiles

- Pour Négatep 20 GW (70 TWh) de fossiles (gaz) répartis moitié/moitié entre TAG (turbines à combustion) et CCCG (Centrale Cycle Combiné Gaz) sont prévus en particulier pour faire face aux variations de puissance de l'ensemble éolien et photovoltaïque (puissance installée totale de ces 2 sources de 49 GW, puissance fournie déversée variant de 38,5 à 1,5 GW à cause de l'intermittence).

Ceci donne un total d'investissements équipements de 35 G€ et de 26 G€ d'exploitation hors combustible. D'où total Négatep: 71 G€.

- Le dossier Négawatt n'est guère explicite sur la place réelle des fossiles dans l'équilibre consommation/production d'électricité. Il indique : « *le gaz naturel fossile est destiné pour une part marginale de quelques TWh à un appoint flexible à la production d'électricité* ». La lecture du schéma de Sankey 2050 conduit indirectement à chiffrer ces « *quelques TWh* » à 7 TWh (estimation à partir des 18 TWh de gaz primaire). Mais, la puissance installée en électricité gaz (TAG / CCCG), donnée fondamentale pour analyser l'obtention de l'équilibre réseau face aux variations rapides de l'éolien, n'est pas donnée¹⁶. Comme la puissance déversée par l'éolien peut varier de 60 à 4 GW, en supposant que les variations rapides concernent la moitié de cette gamme, nous retenons qu'à minima un ordre de grandeur de 25 GW s'impose comme puissance à installer en reprise gaz par des TAG (les CCCG ayant un rôle double ne peuvent être utilisées de la même façon¹⁷), soit sensiblement la part actuelle de puissance installée fossile, mais à passer en totalité au gaz.

Ceci donne un très faible facteur de charge 3 % (d'où la notion de part marginale indiquée dans le dossier Négawatt ?), pour donner 7 TWh.

En période intermédiaire avant d'aboutir à la situation 2050, Négawatt prévoit « *le recours temporaire à des centrales au gaz comme solution de transition pour assurer l'équilibre électrique en accompagnement de la fermeture progressive des réacteurs nucléaires. Les quantités de gaz fossile mises en jeu n'excèdent jamais 70 TWh par an.*

seule captation, il faudra augmenter la consommation de charbon. Nous sommes loin du gaz carbonique propre ! Et d'où vient le reste ? Indépendamment des aspects financiers, il y a lieu de craindre que le CO₂ nécessaire soit pour l'essentiel d'origine fossile, et que le méthane produit doive être considéré comme étant lui-même émetteur de CO₂ d'origine fossile et étant donc « pseudo-fossile ». Les rejets de CO₂ de Négawatt doivent être majorés d'autant.

¹⁶ Difficile de comprendre pourquoi cette donnée simple et importante pour bâtir l'équilibre production/consommation de l'électricité n'est pas donnée dans le dossier. Un des grands flous de Négawatt

¹⁷ C'est ce qui est constaté au Danemark qui a considérablement développé les centrales à cycle combiné pour le chauffage et ne peut utiliser son éolien qu'à travers le réseau norvégien (exportation lors de surproduction et importation d'électricité hydraulique lors des calmes)

Que ce soit la valeur estimée de 25 GW ou cette donnée de 70 TWh, la situation globale des investissements en centrales gaz est assez proche de celle de Négatep et globalement nous retenons pour ce poste le même chiffre de 71 G€, en soulignant qu'il s'agit d'une évaluation basse (cf. commentaires finaux).

Nota :

L'absence de donnée sur la puissance installée pour assurer le secours (backup) n'est qu'un reflet du flou de la façon dont Négawatt fait face aux variations de puissance déversée par l'ensemble éolien et photovoltaïque de 120 GW (plein jour et fort vent) à 4 GW (nuit donc pas de photovoltaïque et très peu de vent en période anticyclonique).

Il est clair que nous mettons en cause la possibilité de gérer le réseau électrique avec une puissance totale installée de 162 GW de sources intermittentes (solaire) et fluctuantes (vent) avec ces puissances de back-up. (Cf. commentaires finaux)

- Hydraulique 41 G€ pour Négatep (70 TWh)

Négawatt écrit que globalement « *l'hydraulique ne peut fortement augmenter* » et en effet prévoit 77 TWh, soit seulement 10 % de plus que Négatep.

Par simple extrapolation nous retenons 45 G€ pour Négawatt.

Il faut noter en particulier que, pour Négawatt : « *le potentiel STEP ne peut qu'augmenter de façon limitée* » (idem Négatep) « *mais elles peuvent être utilisées beaucoup plus efficacement.* »

La production STEP est en effet presque triplée (passe de 6 à 17 TWh)

D'où total électricité non intermittente § E : 116 G€.

F) Electricité intermittente : Négatep : 210,5 G€

- Eolien

Les 31 GWi de Négatep (coût 80 G€) passent à 80 pour Négawatt, (facteur 2.58) d'où coût : 206 G€

- Photovoltaïque 60.5 G€

Les 18 GWc de Négatep passent à 82 pour Négawatt (facteur 4.5) d'où coût : 276 G€

- Réseau 70 G€ pour assurer l'insertion des intermittents au sein de Négatep

La puissance en transit passe de 49 GW (Négatep) à 135 GW (Négawatt, facteur 2.8) d'où coût : 193 G€

D'où total électricité intermittente § F Négawatt: 675 G€

G) Nucléaire : Négatep : 864 G€

- Il faut rappeler que Négatep voit la puissance installée nucléaire passer de 63 à 93 GW, avec prolongation de durée de vie des l'existant entre 50 et 60 ans. Les postes de dépenses sont : 360 G€ en investissements, 434 G€ en exploitation y compris, combustibles, 50 G€ réseau et 20 G€ pour un début de démantèlement¹⁸.

¹⁸ Le coût du démantèlement complet est compté pour 0,8 G€/GW

Pour Négatep 50 GW sont arrêtés et cette part de démantèlement réalisée à 50 %,

- Pour Négawatt, la sortie du nucléaire engagée en 2015 est terminée en 2035.

Il n'y a pas les 360 G€ d'investissements prévus pour Négatep

La production nucléaire Négawatt de 2010 à 2035 représente 6600 TWh, puis 0 au-delà, soit 3.13 fois moins que Négatep, d'où un coût d'exploitation de 139 G€.

Différence avec Négatep, il faudra engager la totalité des opérations de démantèlement et toutes seront plus avancées¹⁹, les premières étant en théorie quasiment finies. Nous retenons 37 G€ pour le démantèlement Négawatt.

D'où un coût total nucléaire § G Négawatt : 176 G€

H) Combustibles biomasse : 440 G€ pour Négatep

- Négatep prévoit 33.5 Mtep.

- Négawatt retenant 445 TWh (38,3 Mtep), par extrapolation simple nous obtenons 499 G€

I) Combustibles fossiles 1750 G€ pour Négatep

En 2050, la part des combustibles fossiles pour Négawatt est de 94 TWh (8,1 Mtep, soit 4.6 fois moins que celle de Négatep (37 Mtep). Mais intégré sur les 40 ans de la transition, la réduction n'est que de 15% et le coût Négawatt est de 1498 G€.

IV) Le remontage final, bilans globaux

Poste par poste, nous avons évalué, à partir de l'analyse détaillée du scénario Négatep, sur les mêmes bases économiques, la facture énergétique du scénario Négawatt, sur la période de 40 ans couvrant la transition énergétique.

Sous l'aspect économique ces deux scénarios misent, à côté d'économies d'énergies (plus ou moins importantes), sur la réduction de l'usage des combustibles fossiles et la facture associée, qui à ce jour représente annuellement 68 G€. Cette réduction vise le pétrole (surtout pour la mobilité) et le gaz naturel (surtout pour le chauffage), et concerne peu le charbon, puisque son usage est déjà en grande partie réduit, du fait du nucléaire qui l'a remplacé pour la production d'électricité (premier pas vers la sortie des fossiles).

Ce récapitulatif permet une comparaison relative des 2 approches divergentes en ce qui concerne l'importance des économies d'énergie finale à la consommation (par habitant (- 23 % pour Négatep, et - 62 % pour Négawatt), et surtout sur la place du nucléaire (du plus 55 % pour Négatep à zéro pour Négawatt).

Mais, si l'un des objectifs est de connaître le coût comparé de la transition selon ces deux scénarios, cette évaluation du coût réel doit également être mise en regard de deux autres évolutions de référence.

- La première évolution représenterait le simple statu quo, visant le maintien telle quelle de la situation énergétique actuelle, en supposant toutefois (point important) que le coût des fossiles reste sensiblement stable. Compte tenu de l'accroissement de population, l'énergie finale disponible baisse tout de même de 13 % par habitant.

¹⁹ Pour Négawatt le démantèlement porte sur la totalité du parc actuel soit 62 GW et considéré réalisé à 75 % en moyenne

- La deuxième évolution représenterait la continuité tendancielle (« business as usual ») repérée SR 2008. Elle suppose que le rythme moyen de croissance des consommations de ces 20 dernières années (mais hors crise) se retrouve, qu'aucune mesure restrictive n'est prise, par exemple pour limiter les rejets de gaz carbonique et surtout que le prix des fossiles varie peu. Chaque habitant disposerait de + 24 % en plus d'énergie (soit + 0.5 %/an, soit nettement moins que les espoirs de croissance du PIB (élasticité PIB/Energie), d'où pas d'accroissement relatif du poids de l'énergie dans l'économie.

Le tableau et la figure ci-dessous indiquent, regroupés par grands thèmes d'actions, les coûts engagés sur la période de 40 ans à venir, pour ces quatre évolutions du paysage énergétique, avec comme point commun important, l'invariabilité du prix des combustibles fossiles.

	Statu quo - 13 %/hab*	SR 2008 + 24 %/hab	Négatep - 23 %/hab	Négawatt - 62 %/hab
I) Sobriété et efficacité § A + B + C	190	350	1125	1550
II) Renouvelables chaleur § D + H (y comp. Biomasse)	310	480	995	1324
III) Electricité régulable § E + § G (nucléaire)	690 (97 +593)	1053 (193+ +860=810+50 réseau)	906 (42 +864= 814 + 50 réseau)	292 (116 +176)
IV) Electricité intermittente § F	0	0	210 140+70 réseau	675 (193)
V) Combustibles fossiles § I	2720	3237	1750	1498
Total	3910 (98 G€/an)	5120 (128 G€/an)	5056 (126 G€/an)	5339 (133 G€/an)
Ecart par rapport au Statu quo		30 G€/an	29 G€/an	36 G€/an

* variation de consommation énergétique finale par habitant par rapport à aujourd'hui
Tableau : Coûts des 40 ans de transition en G€ par grands thèmes,

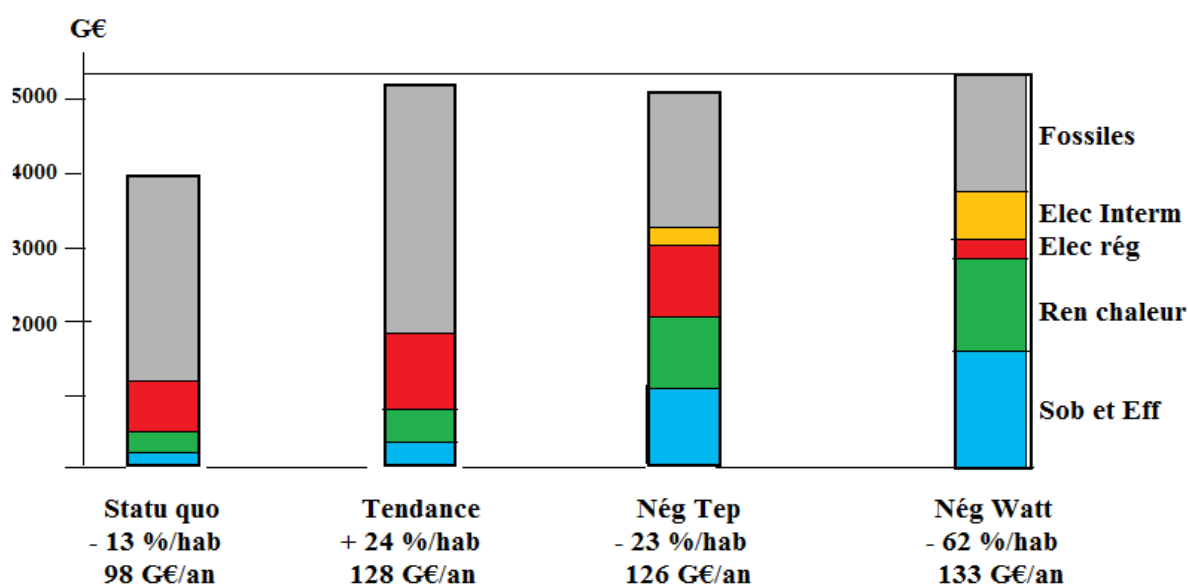


Figure : les coûts de la transition en G€ par grands thèmes

Les énergies fossiles assurent à ce jour en France 50 % de la production énergétique primaire (82 % pour le Monde, 79 % pour l'ensemble des pays de l'UE, 82.6 % pour l'Allemagne).

Garder lors des 40 ans à venir, la même dépendance et les mêmes niveaux et modes de production sans répondre à l'accroissement de population, conduirait à baisser l'énergie disponible pour chacun de 13 %.

Conserver les mêmes modes de production, tout en répondant à l'accroissement tendanciel des besoins de chacun (environ + 0,5%/an) et à l'accroissement de population, coûterait 30 milliards par an en plus du simple statu quo, pendant les 40 ans de la transition, en supposant aussi que dans les 2 évolutions le coût des combustibles fossiles ne varie pas.

Réduire la part des fossiles, conduit à la fois à réduire la consommation par habitant (sobriété et efficacité), mais à large plage de manœuvre (de 23 % pour Négatep et de 62 % pour Négawatt), et à modifier fortement les modes de consommation et de production, toutes mesures globalement onéreuses, pour un surcoût annuel de 29 (28.6) milliards d'euros par an pour Négatep et de 36 (35.7) milliards d'euros par an pour Négawatt, sur la même base d'invariabilité du coût des combustibles fossiles.

Quelques regards spécifiques

- L'écart final global des dépenses entre le statu quo et Négatep (NgT + 28,6 G€/an) ou Négawatt (NgW + 35,7 G€/an) intègre la réduction d'achat de combustibles fossiles. Les écarts restant traduisent les coûts élevés des investissements nécessaires dans le cadre de la sobriété/efficacité (+ 23.4 G€/an pour NgT et + 34 G€/an pour NgW), les coûts des renouvelables sources de chaleur directe (+ 17.1 G€ pour NgT et + 25.3 pour NgW) et enfin les coûts de l'électricité (+ 12.4 G€ pour NgT et + 6.9 G€ pour NgW).

Il faut noter, que si les 2 scénarios voient un accroissement de la facture d'électricité, par rapport au statu quo, ceci ne correspond pas à un accroissement de la consommation pour les deux. Si cette consommation augmente de 54 % dans Négatep (plus d'électricité décarbonée : nucléaire et renouvelables), elle baisse de 38 % dans Négawatt (le moins possible d'électricité), mais en faisant appel pour le restant réduit, à des sources plus coûteuses renouvelables à la place du nucléaire.

- Sur la base du statu quo, il faudrait que le coût moyen des fossiles double pour que la transition soit financièrement neutre (+ 117 % pour Négatep, et + 115 % pour Négawatt). Mais s'agissant d'un coût moyen, il faudrait, en supposant un accroissement progressif de ce coût, en fait un triplement en 40 ans (la référence baril vers 300 \$).

La prise en compte d'une taxe carbone, par exemple à un taux de 100 €/t de gaz carbonique (limite de la proposition de la commission Rocard) donnerait un prix d'équilibre des fossiles, un peu plus bas, mais encore élevé de + 70 % pour Négatep (baril vers 240 \$) et de + 54 % pour Négawatt (baril vers 208 \$).

- L'écart final des dépenses entre Négatep et la tendance SR 2008 est faible (- 1.6 G€/an), Cela signifierait, que par rapport au laisser aller/laisser faire, en répondant à l'accroissement de la population et à celui des besoins par habitant, la décision de la transition énergétique Négatep (ayant comme objectif la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles et celle des rejets de gaz carbonique) ne coûterait rien. Elle aurait en plus l'avantage de réduire les importations de ces combustibles et donc de rééquilibrer la balance des paiements.

Cet écart, négatif pour Négatep (-1.6 G€/an), est positif (+ 5.5 G€/an) pour Négawatt.

- Le surcoût global de Négawatt, par rapport à Négatep de 283 G€ (7 G€/an) traduit :
 - l'effort plus important mis sur l'efficacité/sobriété (+10.6 G€/an) surtout pour l'habitat.
 - l'effort plus important sur les renouvelables sources de chaleur (+ 8.2 G€/an), en grande partie lié à la méthanation et à la transformation du « surplus » de renouvelable électrique en chaleur sous forme de gaz de synthèse.
 - une moindre dépense pour l'électricité (- 5,7 G€/an). La consommation finale électrique en 2050 n'est que de 291 TWh pour Négawatt, au lieu de 835 TWh pour Négatep.
 - une moindre dépense sur la consommation de combustibles fossiles (- 6,3 G€/an).

Il faut noter que Négawatt a été plus loin dans la recherche de limiter les rejets de gaz carbonique, en annonçant que le facteur 16²⁰ est atteint, alors que Négatep est resté sur la base du facteur 4 objectif européen, soulignant que la France émettant moins que la moyenne européenne, étant déjà sortie du charbon, devait logiquement viser un peu moins que 4.

Mais Négawatt a voulu faire plus vert que vert, indiquant aussi : « *Une sortie complète de l'usage des énergies fossiles pour atteindre 100% d'énergies renouvelables serait envisageable mais demanderait des efforts supplémentaires qui pourraient s'avérer coûteux et complexes* »

Les coûts Négawatt sous-estimés ?

Tout au long de cette analyse, nous avons tenté de prendre les mêmes hypothèses de coûts unitaires pour Négatep et Négawatt. Face aux incertitudes ou doutes sur certains aspects de Négawatt, enrobés d'un flou certain, nous avons évalué des coûts que nous considérons comme plancher. Il est utile de chercher à évaluer quels pourraient être des coûts plafonds, objet de ce paragraphe.

Nous avons cité notamment, au cours de cette analyse:

- la non prise en compte de l'« effet rebond » pour l'habitat, qui risque de limiter les bénéfices de l'ultra isolation ; on notera que ces pertes seraient probablement compensées par des chauffages d'appoint électriques, comme c'est le cas aujourd'hui pour les logements mal isolés.
- le bilan sous estimé de l'appel à l'électricité pour répondre aux besoins de mobilité : ce poste, comprenant d'une part les grands travaux pour les transports en commun et d'autre part les batteries, pourrait à lui seul représenter deux à trois cents milliards d'euro si on retenait des hypothèses cohérentes avec celles de Négatep.
- l'approche erronée des rendements de transformation de la biomasse, conduisant à une surestimation des quantités de bioproduits (liquides et gazeux)
- l'origine du gaz carbonique pour la méthanation, influençant moins le coût que les quantités de rejets de CO₂ : alors que celles-ci sont sensées chuter de 120 en 2010 à 7,5 Mt en 2050 (division par 16) ce simple facteur pourrait les majorer de 9 Mt en 2050.
- les incertitudes qui pèsent sur les rendements et les charges fixes des électrolyseurs, qui pourraient facilement se traduire par plusieurs dizaines de milliards d'euros.
- la puissance installée en production électricité de secours gaz : nous avons pris les valeurs que l'on peut déduire des schémas de Sankey de Négawatt. Mais si on considérait que la puissance installée des moyens de secours devait être proportionnelle à la puissance électrique intermittente, il faudrait tripler la somme retenue et ajouter près de 140 milliards

²⁰ Pour un facteur 15 de réduction de l'appel aux combustibles fossiles en TWh

d'euros ; sans compter l'augmentation des rejets de CO₂ qui en résulterait, ramenant sensiblement les rejets totaux de Négawatt au niveau de ceux de Négatep

- la sortie rapide du nucléaire (2035), alors que les efforts de sobriété n'auront que très partiellement abouti, n'est envisageable qu'en faisant largement appel au gaz naturel en base pour faire face aux besoins d'électricité. Globalement, par rapport à une sortie progressive du nucléaire, linéaire entre 2010 et 2050, ce sont 2200 TWh supplémentaires qui devraient être fournis par des centrales à gaz, alourdissant encore le bilan CO₂. Une étude détaillée de la transition Négawatt serait nécessaire pour en chiffrer le coût. En première approximation, le surcoût du gaz consommé pour fournir ces 2200 TWh serait de 240 G€.

- le rôle des échanges électriques avec nos voisins pour faire face à la variabilité des renouvelables (intermittence et fluctuations)

Tout ceci corrigé, devrait conduire à majorer le coût de Négawatt de trois à cinq cents milliards d'Euros. L'écart entre les deux scénarios passerait alors de 7 G€/an à une fourchette de 13 à 17 G€/an

Mais, indépendamment de l'aspect financier, il ne faut pas omettre, sous l'aspect acceptabilité globale, la forte baisse de l'énergie à disposition de chaque habitant (- 62 %) reposant en partie sur la sobriété comme indique Négawatt : « *agir à travers les comportements individuels et l'organisation collective* »²¹.

Ceci devrait se traduire par de nombreuses astreintes, pour ne pas les qualifier d'interdits destinés à forcer les Français à faire ce qu'on veut leur imposer, comme :

- interdit d'augmenter les surfaces de logement, alors que les tendances actuelles sont dues en grande partie à la multiplication des familles monoparentales et au vieillissement de la population

- interdits sur l'habitat individuel (dont veufs et veuves, bons pour la cohabitation forcée)

- interdits sur l'alimentation, notamment 2 fois moins de viande et de lait pour consacrer 20 % de la surface agricole (terres arables et pâturages) aux biocarburants.

- limitations de la mobilité individuelle

En définitive, les grands points faibles du scénario Négawatt résultent de la volonté de pousser à l'extrême des solutions qui, lorsqu'elles sont mises en œuvre avec modération, ne sont pas mauvaises. Mais, en poussant ces solutions à leurs limites, pour répondre à son premier objectif : « la sortie du nucléaire », le scénario Négawatt devient totalement irréaliste et d'un coût impossible à supporter.

²¹ Le « Manifeste Négawatt » dit crument : « Un projet aussi vital et aussi ambitieux que la transition énergétique, telle qu'elle est envisagée, ne pourra devenir réalité qu'à une seule condition : donner à la multitude de décisions grandes et petites qu'il va nécessiter *un poids juridique suffisant pour que les nombreux intérêts particuliers qui seront inéluctablement bousculés ne puissent pas bloquer ou ralentir un processus* qui prendra de toute façon du temps. »

Annexe

Données retenues pour études économiques Négatep, appliquées par extension à Négawatt

A) Pour la production électrique

	Investissements (G€/GW)	Exploitation (€/MWh)
Nucléaire	4,5*	20
Hydraulique	5	10
Eolien terrestre	1,5	10
Eolien offshore	2,5	20
Solaire PV	2,5	10
Biomasse	1,5	10
TAC	0,5	220
CCCG	2,5	110
Renforcement réseau	2	

* Cet investissement conduit à une charge fixe, sur 60 ans, fortement tributaire du taux d'actualisation et du nombre d'heures de fonctionnement à pleine charge. Pour 4 % et 7000 heures par an, la charge est de 28,3 €/MWh (24.75 pour 8000 heures). Pour 8 % et 7000 heures par an elle est de 51.4 €/MWh (45 pour 8000 heures). A ces coûts, il faut ajouter les charges exploitation, le combustible, les provisions diverses, pour 20 €/MWh.

Un coût complet pouvant aller en gros de 50 à 80 €/MWh

B) Pour les économies d'énergies logement

- La rénovation de logement pour ramener de 210 (moyenne actuelle) à 100 kWh/m² d'énergie finale a un coût moyen de 15000 €/logement (Négatep). Pour passer de 100 à 40 kWh/m².an il faut ajouter 10000 €/logement (Négawatt), soit au total 25000 €/logement.

- Pour la construction de logement neuf Négatep retient 50 kWh/m².an en énergie finale pour un coût de 15000 €/logement. Il rejette fermement toute référence à la RT 2012, car cette dernière réglementation thermique basée sur la consommation d'énergie primaire n'intègre pas de limite sur les rejets de gaz carbonique et favorise le chauffage au gaz émetteur de CO₂ au détriment de toute forme de chauffage électrique même sous forme de PAC. Négawatt par contre vise 40 kWh/m².an en énergie primaire (coût 25000 €/logement),

C) Chaleur thermique

- PAC un coût unitaire moyen de 12000 € + 6000 € pour exploitation/entretien hors électricité
- Chauffage bois, coût moyen unité individuelle de chauffe de 10000 € ; on retient le même montant par logement alimenté par un réseau de chaleur.
- Biomasse chaleur 550 €/tep (47.4 €/MWh) + 75 €/tep pour exploitation hors combustible
- Solaire thermique coût moyen 600 €/m²,

D) Mobilité

- Agrocarburants de 2^o génération 525 €/tep produit, hors coût biomasse
- Batteries coût moyen 7500 € et durée de vie de 10 ans