



EDITION 2019

BELGIUM ENERGY OUTLOOK 2050

« Rien ne sert de courir, il faut partir à point »
Jean de La Fontaine



La **FABI** est la Fédération d'Associations Belges d'Ingénieurs Civils, d'Ingénieurs Agronomes et de Bioingénieurs. Elle compte quelques 7.000 ingénieurs membres de leur association d'Ecole. La FABI est le porte-parole pour la profession et la défense du titre d'ingénieur (Ir), auprès des instances académiques, économiques et politiques tant régionales que fédérales et internationales.

La FABI se fait entendre sur toutes les questions touchant au statut de l'ingénieur et à la reconnaissance de son diplôme. Elle veille à promouvoir le métier d'ingénieur et au respect de ses règles éthiques et déontologiques.

La mise en place de la plateforme « **Transition Énergétique** » s'inscrit dans une des missions définies par les statuts relatifs au développement des activités d'information et de formation propices au rayonnement des ingénieurs et de l'activité économique belge.

Le Conseil d'Administration de la FABI a en effet estimé nécessaire de faire entendre l'avis des ingénieurs dans le débat public sur cet important sujet avec pour objectif d'apporter les caractéristiques de chacun des éléments qui entrent en ligne de compte dans les choix menant à des visions énergétiques durables.

La FABI recueillera l'avis de tous ses membres via son site www.fabi.be

© 2019 – FABI – Tous droits réservés - <http://www.fabi.be>

Rue Hobbema 2
1000 Bruxelles Belgique
+32 2 734.75.10
pfte@fabi.be



Introduction

Deux défis majeurs façonneront la première moitié du XXI^e siècle : la révolution digitale d'une part, la transition énergétique de l'autre. Défis car complexes à piloter, majeurs car l'un et l'autre peuvent profondément remettre en cause notre habitudes et nos comportements.

La société de croissance s'est installée de façon quasi pérenne en Europe depuis le dernier conflit mondial. Mais, « *se nourrissant* » principalement d'énergies fossiles, elle est aussi responsable d'une partie significative des émissions de gaz à effet de serre (GES) rejetées dans l'atmosphère.

La Belgique a ratifié les Accords de Paris. Dans un cadre européen, elle s'est engagée à réduire ses émissions de 55% à l'horizon 2030 et de 95% à l'horizon 2050 en portant à 100% la part électrique d'énergies renouvelables (ENR¹+biomasse+hydroélectricité). Elle souhaite également sortir rapidement du nucléaire. Il représente aujourd'hui environ 50% de sa génération électrique.

¹ Les ENRⁱ sont les Energies renouvelables intermittentes (solaire photovoltaïque + éolien pour l'essentiel)



Mais, comme les Accords de Paris, le projet fédéral de loi climat se pose en « *agenda inversé* » dans la mesure où il s'appuie sur des objectifs généraux sans considérer ni les moyens techniques et financiers à mettre en œuvre ni les conséquences sociétales qu'il pourrait engendrer. Une question de fond est notamment d'estimer si une réduction aussi drastique des émissions restera ou pas compatible avec une société de croissance même faible.

La FABI a choisi une démarche opposée en considérant la réduction des émissions non pas comme un préalable mais comme le résultat contraint par des hypothèses de changements technologiques et comportementaux.

En partant d'une « *ligne de référence* » construite à partir de l'historique des consommations d'énergie de ces 15 dernières années, trois scénarii robustes ont été développés à l'horizon 2050.

Ils reposent sur des hypothèses plus ou moins fortes. Elles sont destinées à déplacer les énergies fossiles et le nucléaire vers les énergies renouvelables mais aussi à optimiser la consommation d'énergie grâce à une amélioration significative de l'efficacité énergétique au sein d'une société plus sobre en énergie.

Les scénarii s'appuient d'une part sur des technologies jugées aujourd'hui suffisamment matures pour être aisément mises en œuvre dans les différents secteurs d'usage (les transports, l'habitat, l'industrie et la génération électrique) et d'autre part sur une évolution raisonnable des techniques, des organisations et des procédés.

Ils prennent en compte la faible croissance démographique de la population belge. S'ils considèrent certaines évolutions comportementales, les trois scénarii supposent que la croissance économique se poursuit en Belgique.

Le choix de concentrer les scénarii sur le territoire Belge uniquement justifie notamment le fait que les transports aériens (pas de vols intérieurs en Belgique) et maritimes aient été exclus du périmètre. Les scénarii se limitant à la question de la consommation d'énergie, certaines émissions comme celles liées à l'agriculture et à la déforestation n'ont pas été considérées.

Acteurs indispensables, les ingénieurs sont naturellement amenés à influencer l'avenir de notre société par leurs contributions primordiales en matière de développement technologique et de recherche appliquée.



La situation mondiale

L'humanité a consommé en 2017 157 PWh² d'énergie primaire toutes sources confondues dont 85% d'origine fossile. Leur combustion a émis 33 Gt_{CO2}. 62% provenaient des pays NON-OCDE dont les surémissions ont pour origine principale le charbon.

Région	Intensité énergétique	Contenu carbone	Emissions par habitant	Sobriété énergétique
	MWh/k€	kg _{CO2} /MWh	t _{CO2} /hab	MWh/hab
Monde	2,2	213	4,4	20,9
OCDE	1,5	191	9,6	50,1
Non-OCDE	3,3	228	3,4	15,0
Chine	3,4	253	6,7	26,3
US	1,5	196	15,6	79,8
Europe	1,3	180	6,9	38,3

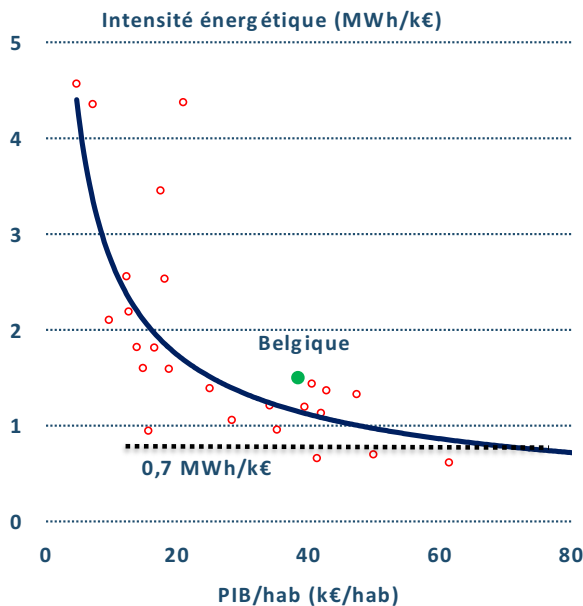
Indicateurs énergétiques mondiaux

Source: BP Statistical Review 2018 et World Bank

2 Le PetaWatheure (PWh) est égal à un milliard de MegaWatheure (MWh)

Les principaux indicateurs³ (intensité énergétique, contenu carbone, émissions par habitant et indice de sobriété énergétique) des pays NON-OCDE sont sans surprise bien au-dessus de la moyenne mondiale alors que ceux des pays de l'OCDE sont au contraire systématiquement en dessous.

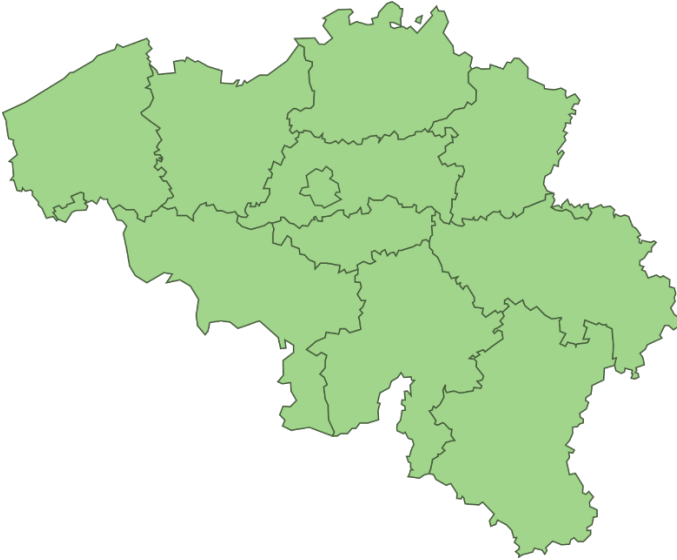
L'Europe apparaît comme le meilleur élève bien en dessous de la moyenne mondiale mais aussi de celle des pays de l'OCDE et en particulier des Etats-Unis. Le citoyen américain consomme ainsi deux fois plus d'énergie et émet deux et demie fois plus de CO₂ que l'européen.



Intensité énergétique en fonction du PIB/hab
Source: BP statistical review 2018 et World Bank

Les données européennes montrent par ailleurs que l'intensité énergétique décroît rapidement avec l'augmentation du PIB/hab et converge vers une valeur asymptotique de 0,7 MWh/k€.

³ Voir les définitions en annexe



La ligne de référence

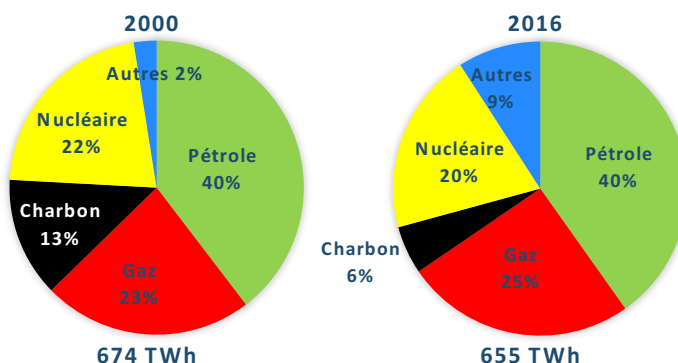
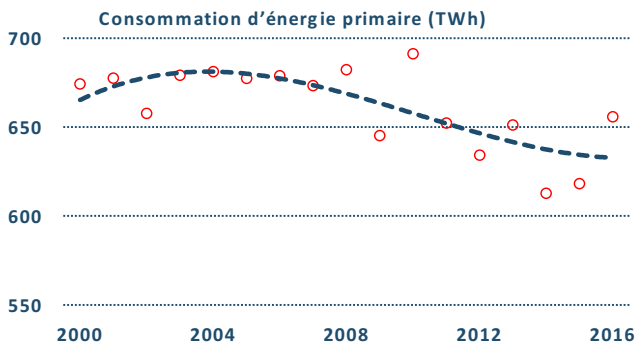
Energie primaire

En 2016, la Belgique a consommé 655 TWh⁴ d'énergie primaire dont 70% de combustibles fossiles.

Depuis le début du siècle, son mix ne s'est que faiblement transformé. Ses émissions sont passées de 121 Mt_{CO2} en 1990 à 100 Mt_{CO2} en 2016. Cette tendance baissière est principalement liée à la réduction de la part du charbon ainsi qu'à une contraction modérée de l'industrie.

La Belgique a toutefois vu ses indicateurs énergétiques évoluer de façon positive : sur la période 2000 à 2016 l'intensité énergétique s'est contractée de 40%, le contenu carbone de 18% et les émissions de ses habitants de 30%.

⁴ Un TeraWattheure est égal à un million de MegaWattheure



Evolution du mix primaire belge depuis 2000

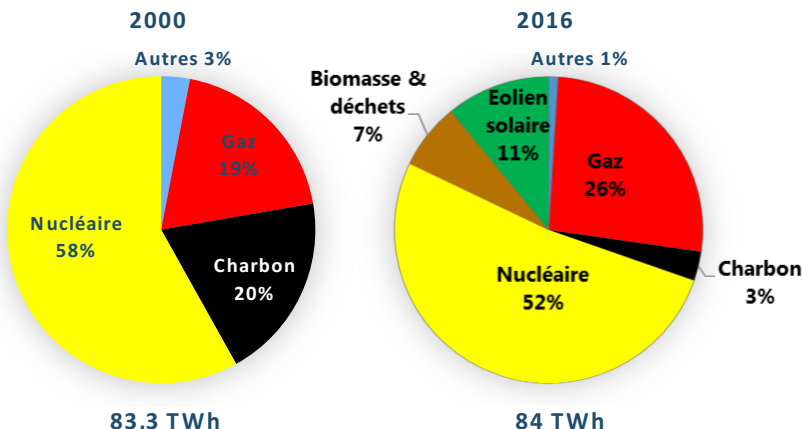
Source des données : STATBEL

Pourtant, comparée à ses pairs européens, la Belgique est à la traîne excepté pour le contenu carbone de son MWh. Grâce à sa génération électrique nucléaire, elle est l'un des pays les moins carbonés d'Europe. Davantage que ses émissions, le premier problème de la Belgique est son manque de sobriété énergétique.

Génération électrique

En 2016 La Belgique a consommé 84 TWh d'électricité. Depuis le début du siècle la part du nucléaire (52%) s'est légèrement réduite au profit du gaz (26%), des renouvelables (11%) et de la biomasse (7%). Le nucléaire possède un facteur de

charge⁵ de presque 90% contre un peu plus de 10% pour le solaire et 28% pour l'éolien. Cette valeur supérieure à la moyenne européenne est due à la partie significative de l'éolien off-shore.



Production électrique par sources 2000 et 2016

Source des données : STATBEL

Usages

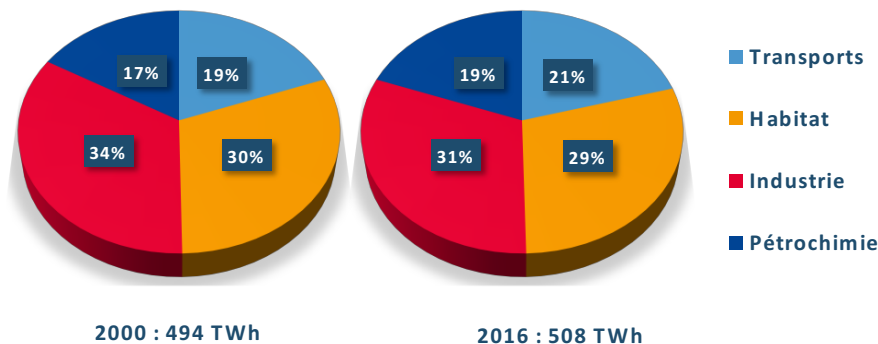
En 2016, les transports ont consommé 21% de l'énergie finale. Le pétrole y règne en « *maître absolu* ». Il représente 93% de la consommation.

L'habitat comptait en 2016 pour 29% de la consommation d'énergie finale. Il est dominé par le gaz naturel (42%), l'électricité (27%) et le pétrole sous forme de mazout (25%). La biomasse compte pour 5% alors que le charbon a presque totalement disparu.

En 2016, la Belgique comptait 5,35 millions de logements dont 31% en Wallonie, 58% en Flandre et 11% dans la région Bruxelloise. Le parc immobilier belge est très vétuste. La moitié de ses logements est antérieure

⁵ Le facteur de charge est le pourcentage de la durée annuelle durant laquelle un équipement électrique produit de l'électricité à pleine puissance.

aux années 1960 et un quart antérieur aux années 1920. Toutefois, le parc flamand est de 20 années plus récent que le parc wallon. Quant à l'habitat Bruxellois, 75% des logements sont antérieurs aux années 1960 et 50% antérieurs aux années 40.



Consommation d'énergie finale par usage
Source des données : calcul FABI à partir des usages

La surface moyenne des logements belges est de 82 m² ce qui correspond à 38 m² par occupant. Depuis le début du XXI^e siècle le parc immobilier belge s'est accru annuellement de 41.000 nouveaux logements.

Sur la même période, la part de l'industrie s'est contractée au profit des services. En 2016, elle ne comptait plus que pour 20% du PIB belge mais représentait 31% de la consommation d'énergie finale.

Enfin, la pétrochimie est une utilisation non énergétique des énergies fossiles. Elle représentait en 2016 19% de la consommation d'énergie finale. Les hydrocarbures utilisés étant « transformés » mais non « brûlés » n'émettent pas de gaz à effet de serre.



Scénarii prospectifs à l’horizon 2050

La plateforme transition énergétique de la FABI propose trois scénarii.

Les données de croissances démographique (0,3% par an constant 2050) et économique (1,5% entre 2017 et 2020 et 1,2% constant entre 2020 et 2050) sont communes aux trois scénarii et conformes au Bureau du Plan.

Ces hypothèses conduisent en 2050 à une population de 12,5 millions d’habitants et à un PIB de 644 milliards d’euros (contre 424 milliards d’euros en 2016).



Marmotte : « business as usual »

Ce premier scénario prolonge sans modification majeure l'évolution du mix énergétique actuel.

En dépit d'une poursuite de la croissance du parc automobile à un rythme identique à celui observé depuis le début du siècle, grâce au remplacement des véhicules thermiques par 10% de voitures électriques et 10% d'utilitaires au gaz ainsi qu'à d'une réduction de la consommation des voitures thermiques (6l/100km à 5l/100km), la demande de pétrole dans les transports se réduit de 25%.

N'investissant pas dans la rénovation de l'habitat ancien, **Marmotte** y accroît légèrement la consommation finale. Malgré l'introduction de Pompes à Chaleur aérothermiques (PAC) dans les logements neufs construits aux nouvelles normes, la chaleur consommée ne décroît que marginalement. En 2050, le mazout a disparu de l'habitat tandis que le gaz y représente plus de la moitié de l'énergie consommée contre 34% pour l'électricité et 15% pour la biomasse.

Dans l'industrie, **Marmotte** prolonge jusqu'en 2050 la tendance baissière de consommation observée depuis le début du siècle. Ne considérant pas de rupture technologique majeure, ce déclin est obtenu grâce à une amélioration incrémentale de l'efficacité énergétique dans les procédés et les organisations industriels.

Dans la pétrochimie, **Marmotte** extrapole à l'horizon 2050 la tendance 2000 à 2016.

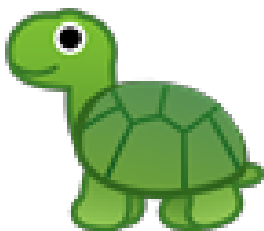
Conformément au projet de loi climat, **Marmotte** sort totalement du nucléaire en 2025 principalement au profit de centrales à gaz Cycle Combiné (CC)⁶. La politique actuelle de mise en œuvre des ENR est poursuivie et atteint 30% de la production d'électricité en 2030. Le mix électrique 2050 se compose de 52% de gaz, 30% d'éolien et de solaire et de 18% de biomasse.

⁶ Un cycle combiné couple une turbine à gaz à une turbine à vapeur dont la vapeur est produite à partir des gaz d'échappement de la turbine à gaz.

Grâce aux centrales à gaz, **Marmotte** conduit à une légère réduction de la consommation d'énergie primaire. Par contre, la part des énergies fossiles s'accroît. Elle représente en 2050 75% du mix primaire contre 70% aujourd'hui. Ce dernier est alors composé de 33% de pétrole, 42% de gaz, 5% de renouvelables et 19% de biomasse.

Entre 1990 (121 Mt_{CO2}) et 2050 (83 Mt_{CO2}), les émissions belges auront baissé de 30%. **Marmotte** est évidemment très loin des objectifs européens et du projet de loi climat.

Marmotte réduit l'intensité énergétique 2050 à 0,95 MWh/k€ une valeur encore bien supérieure à la valeur asymptotique cible de 0,7 MWh/k€. Le contenu carbone décline de seulement 10% tandis que les émissions annuelles par habitant passent de 8,8 t_{CO2} à 6,6 t_{CO2}. **Marmotte** améliore la sobriété énergétique du Belge qui, en 2050, est de 49 MWh annuel (contre 58 MWh en 2016).



Tortue : « schéma technologique »

Tortue repose sur un changement profond du mix énergétique belge mais s'appuie davantage sur la technologie que sur un bouleversement des comportements individuels.

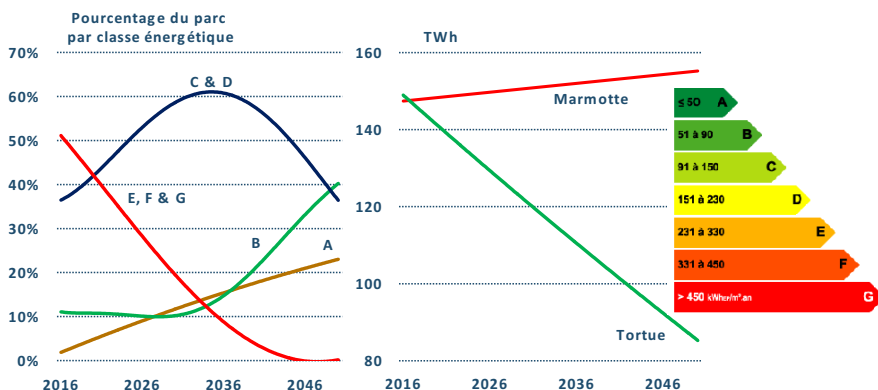
Grâce au développement du covoiturage (1,56 à 2 passagers par voiture) et à un transfert des kilomètres parcourus vers le rail, le parc de voitures ne s'accroît plus.

Tortue introduit à l'horizon 2050 25% de voitures électriques & hybrides et 40% d'utilitaires au gaz. Par ailleurs, grâce à une R&D agressive des constructeurs automobiles, la consommation moyenne des voitures thermiques passe de 6l/100km à 4l/100 km.

Ces hypothèses permettent de réduire de 70% la part du pétrole dans les transports. Le mix est ainsi composé en 2050 de 50% de produits pétroliers (contre 93% aujourd'hui), de 24% de gaz, de 19% d'électricité et de 5% de biocarburants.

Tortue entreprend un plan ambitieux « *habitat* » en rénovant annuellement plus de 108.000 logements anciens.

Les logements les plus énergivores (E/F/G) sont ainsi progressivement isolés aux normes D et C puis progressivement à la norme B. Vers 2045, tous les logements E, F & G ont disparu du parc.



Gauche : Rénovation du parc de logements.
Droite : Evolution de la consommation d'énergie finale

Tortue permet de réduire de 40% l'énergie finale consommée dans l'habitat et divise par six la part du gaz. En 2050, le mix habitat ne contient plus que 13% de gaz contre 26% de biomasse et 61% d'électricité (provenant pour l'essentiel de la mise en œuvre des PAC aérothermiques). Quant à la part de la chaleur elle est divisée par trois, passant de 20 MWh/an en 2016 à 7 MWh/an en 2050.

Le coût cumulé du projet est de 41 milliards d'euros sur 30 ans pour une économie énergétique cumulée de 217 milliards d'euros. Le projet permet d'économiser 260 millions de tonnes cumulées de CO₂ et crée environ 10000 emplois pérennes.

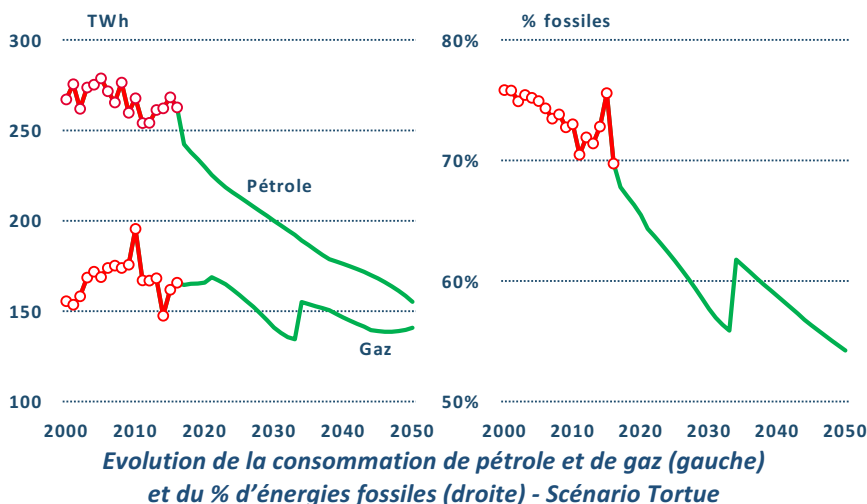
Le mix industriel est globalement similaire à celui de **Marmotte**. Ne disposant pas davantage de ruptures technologiques dans les procédés et les organisations, il n'évolue que de façon incrémentale. Toutefois, **Tortue** profite de l'opportunité des

nouvelles centrales au gaz pour mettre en œuvre de la cogénération⁷ partagée répartie de façon homogène entre les différents secteurs industriels. Elle permet de récupérer 20% de l'énergie primaire injectée dans la génération électrique gazière.

Tortue ferme les trois réacteurs nucléaires les plus anciens⁸ en 2033 mais maintient le reste du parc jusqu'en 2050. La progression des ENRi (30% 2030) est identique à **Marmotte**. Les réacteurs nucléaires supprimés sont remplacés par des centrales à gaz CC (+cogénération dédiée à l'industrie).

Par rapport à 2016, les consommations d'énergie finale et d'énergie primaire se seront contractées de 17%. La sortie partielle du nucléaire aura largement participé à cette réduction dans la mesure où les réacteurs nucléaires supprimés auront été remplacés par des centrales à gaz CC possédant un rendement supérieur.

Dans l'absolu, la consommation de pétrole aura été réduite de plus de 100 TWh tandis que la consommation de gaz se sera stabilisée autour de 150 TWh. Le mix belge ne contiendra plus alors que 54% de fossiles dont 28% de pétrole et 26% de gaz. Le reste se compose de 17% de nucléaire, 21% de biomasse et 7% de renouvelables.



⁷ La cogénération consiste à produire conjointement de l'électricité et de la chaleur provenant d'une même source d'énergie primaire.

⁸ C'est-à-dire Doel1, Doel2 et Tihange 1.

En faisant passer sur la période 1990/2050 les émissions belges de 121 millions de tonnes de CO₂ à 43 millions de tonnes de CO₂, **Tortue** les réduit de 64%. Si le parc nucléaire avait été intégralement maintenu, ces émissions auraient été réduites de 7 millions de tonnes de CO₂ supplémentaires (soit de 70%).

Tortue divise par deux tous les indicateurs énergétiques 2050. Avec une valeur de 0,85 MWh/k€ l'intensité énergétique se rapproche de la valeur asymptotique de 0,7 MWh/k€. Le contenu carbone est réduit à 80 kg_{CO2}/MWh, les émissions par habitant à 3,5 t_{CO2} annuels et la sobriété énergétique à 44 MWh/hab (contre 58 MWh/hab en 2016).



Lièvre : « technologie & comportements »

Lièvre superpose aux changements technologiques des changements comportementaux significatifs.

Par rapport à **Marmotte** et **Tortue**, le parc de voitures 2050 est réduit de 20% par rapport à celui de 2016. Le déficit de kilomètres parcourus est alors compensé grâce à un jour par semaine de télétravail et/ou au coworking.

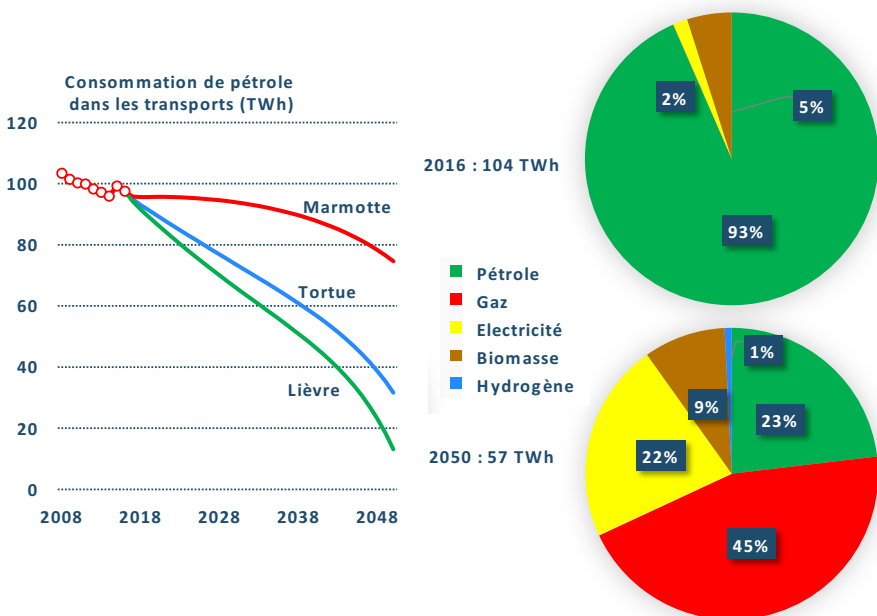
Bien que la croissance absolue des voitures électriques soit identique, la réduction globale du parc augmente mécaniquement sa part relative de 25% à 35%.

Lièvre introduit 5% de véhicules individuels gaz naturel & hydrogène. On suppose que cet hydrogène vert (électrolyse de l'eau) est produit à partir d'excédents d'énergies renouvelables non consommés.

En 2050, le parc automobile est constitué de 50% de véhicules thermiques, de 45% de véhicules électriques et hybrides et de 5% de véhicules gaz naturel & hydrogène.

Enfin, **Lièvre** réduit dès 2025, la vitesse sur autoroute à 100 km/h ce qui permet d'atteindre un plancher de consommation de 3l/100km pour les voitures thermiques.

Entre 2016 et 2050, la consommation d'énergie finale dans les transports aura été réduite de moitié. La part du pétrole y sera alors tombée à 23% tandis que le gaz massivement introduit dans les utilitaires comptera pour 45% de la consommation, l'électricité pour 22%, la biomasse pour 9% et l'hydrogène pour 1%.



Evolution de la consommation de pétrole dans les transports pour les trois scénarii. Evolution du mix transport (Scénario Lièvre)

Lièvre réduit légèrement la surface moyenne des logements en la faisant passer de 82 m² en 2016 à 76 m² en 2050 mais accélère le plan de rénovation de l'habitat avec un rythme annuel moyen de 150.000 logements (contre 108.000 pour **Tortue**).

En 2050, 72% de l'habitat belge aura ainsi été rénové et tous les logements seront en catégorie A, B ou C. **Lièvre** aura permis de sortir l'habitat des énergies fossiles. Le mix sera alors composé de 68% d'électricité et de 32% de biomasse tandis que

la consommation énergétique sera passée sous le seuil des 5 MWh/an (contre plus de 20 MWh/an en 2016).

Représentant un investissement de 50 milliards d'euros sur 30 ans, le projet permet une économie cumulée de 285 milliards d'euros et une réduction des émissions de 329 Mt_{CO2} (60 Mt_{CO2} de plus que *Tortue*).

Lièvre sort totalement du nucléaire en 2050 mais accroît la part des ENRi de 30% à 50% et ce dès 2040. Comme dans *Tortue*, le complément est déplacé vers des centrales à gaz CC à cogénération. La chaleur issue de la cogénération est entièrement dédiée à l'industrie. Mais, en sortant du nucléaire, *Lièvre* accroît la part du gaz. La génération électrique 2050 se compose alors de 30% de gaz, 50% d'ENRi et 18% de biomasse le complément étant importé.

Le mix industrie ne diffère de celui de *Tortue* que par de la cogénération additionnelle amenée par les centrales supplémentaires de gaz à CC. Par rapport à *Marmotte*, celle permet d'économiser 17 TWh d'énergie finale.

Entre 2016 et 2050 *Lièvre* réduit la consommation d'énergie finale de 25% et contracte l'énergie primaire de 30%. Hors pétrochimie, la consommation « *énergétique* » du pétrole ne représente plus en 2050 que 6% du mix. Par contre, la sortie du nucléaire maintient la part du gaz naturel autour de 150 TWh une valeur à peine inférieure à celle de 2016.

En 2050, la part des combustibles fossiles est de 62%. Il faut toutefois relativiser ce chiffre biaisé par la pétrochimie. Sans tenir compte de la pétrochimie, la part des hydrocarbures compte pour seulement 39% du mix.

Le scénario *Lièvre* réduit de 67% les émissions de CO₂ en les ramenant de 121 millions de tonnes de CO₂ à 40 millions de tonnes de CO₂. C'est à peine mieux que *Tortue* (43 millions de tonnes de CO₂) car tous les efforts accomplis dans l'habitat et les transports sont presque totalement effacés par l'arrêt du nucléaire remplacé par le gaz naturel. Si le parc nucléaire avait été intégralement maintenu, les émissions 2050 auraient été de 28 millions de tonnes de CO₂ soit une réduction de 77% par rapport à la valeur 1990. La sortie du nucléaire engendre donc 12 millions de tonnes de CO₂ supplémentaires.



En 2050, l'intensité énergétique (0,72 kWh/€) a pratiquement atteint sa valeur asymptotique de 0,7 kWh/€. En d'autres termes **Lièvre** touche la limite énergétique de la société de croissance. Cette conclusion s'applique également à l'indice de sobriété énergétique qui, à l'horizon 2050, passe à 37 MWh/hab annuels. Par contre, la sortie du nucléaire dégrade légèrement le contenu carbone qui remonte durant les années 2040 à 86 kg_{CO2}/MWh. Les émissions par habitant 2050 (3,2 t_{CO2}/hab) sont en revanche légèrement inférieures à celles de **Tortue** (3,5 t_{CO2}/hab).



Conclusions

Les trois scénarii ne considèrent que des technologies matures, des changements comportementaux acceptables et une mise en œuvre raisonnable des ENRi, sans rupture technologique ni sociétale.

Ils supposent notamment que la part des ENRi ne dépassera pas 50% de la production d'électricité à l'horizon 2050. En particulier ils ne prennent que faiblement en compte les technologies de stockage (batteries, hydrogène) considérant que leur mise en œuvre massive reste aujourd'hui trop incertaine.

Et pourtant malgré ces hypothèses fortes, une réduction des émissions comprise entre 67% (avec sortie du nucléaire) et 77% (en conservant le nucléaire) est accessible sans remettre en cause la société de croissance.

	Intensité énergétique	Contenu carbone	Emissions par habitant	Sobriété énergétique	Réduction émissions base 1990
	MWh/k€	k _{CO2} /MWh	t _{CO2} /hab	MWh/hab	%
2016	1,54	153	8,8	58	17%
Marmotte	0,95	136	6,6	49	31%
Tortue	0,85	80	3,5	44	64%
Lièvre	0,72	86	3,2	37	67%

Synthèse des indicateurs énergétiques des trois scenarii

Par contre, aucun des trois scénarii n'atteint la cible des 95% de réduction à l'horizon 2050. Cet objectif est-il atteignable et à quelles conditions ? Pour ce faire il est indispensable de regarder plus en détails les conséquences de la sortie du nucléaire et de son déplacement vers le gaz.

Si la mise en œuvre des centrales gaz CC (+cogénération) améliore l'efficacité énergétique et réduit significativement la consommation d'énergie primaire, elle bloque par contre la capacité du mix belge à poursuivre sa décarbonation.

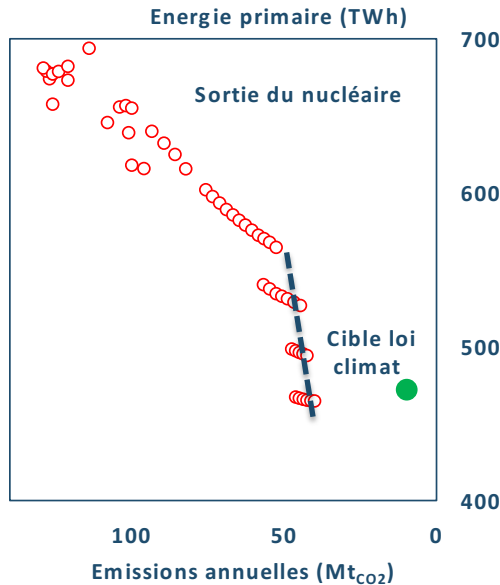
Ce résultat est logique dans la mesure où, hormis l'industrie pour laquelle les leviers de déplacement sont aujourd'hui limités, les transports et l'habitat ont presque totalement été décarbonés à l'horizon 2050.

Rajouter des voitures électriques ou des pompes à chaleur contribue alors à accroître et non plus à réduire les émissions puisqu'elles utilisent en majorité de l'électricité gazière.

Pousser encore plus loin la part des ENri dans le mix électrique avec le support du gaz en cas d'intermittence a bien évidemment l'inconvénient d'un double investissement (renouvelables/gaz CC) pour suppléer aux inévitables périodes d'intermittences.

En lissage annuel, 60% de production ENri demanderait au moins 45 GW⁹ de puissance et au moins 3 GW de CC supplémentaires. Dans ce schéma les émissions seraient ramenées à 35 Mt_{CO2}/an. Sans stockage, l'augmentation des renouvelables ne permet donc pas d'atteindre la cible des 95%.

⁹ Soient 22500 éoliennes équivalentes de 2MW

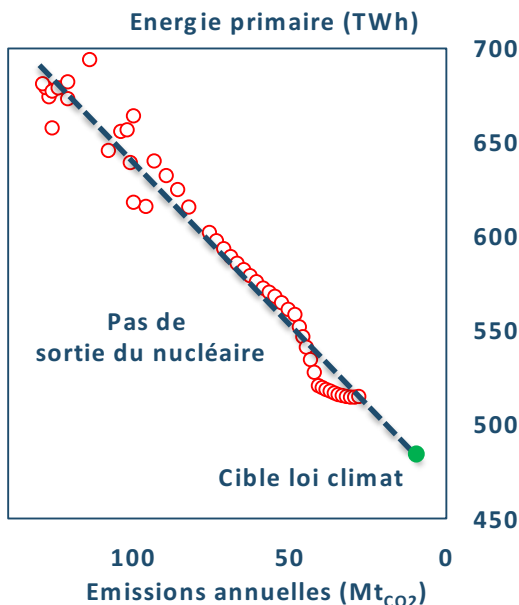


*Poursuite de la décarbonation au-delà du scénario Lièvre
avec sortie du nucléaire*

Quelles sont alors les solutions ?

La première est de conserver le parc nucléaire (ce qui nécessitera d'importants investissements pour en prolonger la vie) voire de l'étendre. En maintenant les 6 GW de nucléaire, les émissions 2050 atteignent 28 Mt_{CO2}/an soit une réduction de 77% par rapport au niveau 1990. C'est 10 points de plus que les 67% avec sortie du nucléaire.

Mais surtout, la tendance montre que la cible des 95% de la loi climat est cette fois tout à fait atteignable. Ceci est d'ailleurs confirmé par la valeur de l'intensité énergétique (0,80 MWh/k€) nettement supérieure à la valeur asymptotique de 0,7 MWh/k€. En maintenant le nucléaire, **Lièvre** possède donc des réserves suffisantes d'intensité énergétique pour atteindre la cible des 95% de la loi climat.



***Poursuite de la décarbonation au-delà du scénario Lièvre
sans sortie du nucléaire***

Ces réserves se trouvent dans l'électrification et l'hydrogénation totale des transports mais aussi dans la cogénération qui pourrait être mise en œuvre dans de nouvelles unités nucléaires comme cela a été proposé pour le gaz. Sans sortir du nucléaire, l'objectif 95% reste donc compatible avec une société de croissance économique.

La seconde solution est la plus prisée mais aussi la plus incertaine. Elle suppose que le gaz et le nucléaire seront à moyen terme totalement substituables par des énergies renouvelables en augmentant, grâce aux technologies de l'information, les échanges d'électricité sur la grille européenne¹⁰ mais surtout grâce à la mise en œuvre massive d'unités de stockage : pompage/turbinage, batteries, hydrogène pour l'essentiel. Bien au-delà des technologies (batteries, éoliennes, panneaux solaires, chaîne hydrogène) qui sont toutes matures, **c'est l'échelle de la mise en œuvre qui posera problème.**

¹⁰ La Belgique a récemment investi dans une capacité d'interconnexion supplémentaire avec ses voisins européens, ce qui en fait l'un des réseaux les plus ouverts et les plus interconnectés d'Europe

Nombre d'éoliennes, surface au sol des panneaux solaires, puissance électrique importante pour produire l'hydrogène sont autant de problèmes qu'il faudra gérer. Ainsi, par exemple, remplacer l'essence et le diesel consommés en Belgique en 2016 par de l'hydrogène demanderait 80 TWh d'électricité soit de doubler la production électrique actuelle. 80TWh c'est la puissance de 10 réacteurs nucléaires ou de...vingt mille éoliennes de 2MW.

Par ailleurs sur le plan géopolitique les métaux rares et matériaux électrolytiques des batteries et/ou des piles à combustible sont inégalement distribués la surface de la planète. 100% d'ENRi ne donnera pas à la Belgique une complète indépendance énergétique.

La troisième solution consiste à capter puis à injecter une partie du CO₂ résiduel (principalement celui provenant des gros émetteurs industriels et des futures centrales à gaz) dans le sous-sol. Malgré les fortes réticences sociétales, le CCUS (Carbon Capture Utilization & Storage) devrait jouer un rôle stratégique dans la future transition belge et contribuer à une réduction supplémentaire des émissions.

Mais, pour réduire ses émissions de 95% la Belgique devra stocker 20 millions de tonnes annuelles de CO₂ à l'horizon 2050. Cette technologie s'appliquera surtout aux gros émetteurs industriels, l'industrie étant le principal usage où les émissions sont aujourd'hui les plus difficiles à réduire.

Enfin, la dernière solution serait d'imposer des mesures sociétales draconiennes (restriction des transports, de la surface habitable, de la température des logements, de la consommation d'eau chaude et d'électricité).

En dehors de son acceptabilité loin d'être acquise, une telle option détruirait des pans entiers de l'économie belge et réduirait à coup sûr une partie importance de l'activité. L'objectif 95% conjugué à la sortie du nucléaire se ferait alors aux dépens de la croissance économique.

Une conclusion que l'on retrouve d'ailleurs au niveau de l'intensité énergétique (0,72 MWh/k€ avec 50% de renouvelables) qui pour le scénario **Lièvre** atteint en 2050 la valeur asymptotique de 0,7 MWh/k€.

En dehors de ses conséquences sociétales, cette option ne dégagerait plus les moyens nécessaires pour financer une transition dont le meilleur ami est finalement la société de croissance.

Marmotte	Tortue	Lièvre
Croissance nombre véhicules	Gel nombre véhicules	Déroissance nombre véhicules
Diminution kilométrage	Diminution du kilométrage	Diminution du kilométrage
Passagers et marchandises vers rail	Passagers et marchandises vers le rail	Covoiturage + télétravail + coworking
10% voitures électriques & utilitaires gaz	25% voitures électriques & 40% utilitaires gaz	25% voitures électriques et 40% utilitaires gaz
Consommation voitures 5l/100km	Consommation voitures 4 l/100km	Consommation voitures 3 l/100km
Pas de véhicules hydrogène	Pas de véhicules hydrogène	5% voiture gaz et hydrogène
Pas de rénovation habitat ancien	108 000 rénovations par an	150 000 rénovations par an
Nouveaux logements normes 2012	Nouveaux logements aux normes 2012	Nouveaux logements aux normes 2012
Prolongement tendance industrie	Prolongement tendance industrie + cog	Prolongement tendance industrie + cog
Poursuite croissance pétrochimie	Poursuite croissance pétrochimie	Poursuite croissance pétrochimie
Sortie nucléaire 2025	Sortie 1/3 nucléaire 2033	Sortie nucléaire 2050
Remplacement nucléaire par gaz CC	Remplacement nucléaire par gaz CC	Remplacement nucléaire par gaz CC
30% ENR 2030	30% ENR 2030	50% ENR 2040



Indicateurs fondamentaux (base annuelle) :

- l'intensité énergétique (MWh/k€) : rapport entre la quantité d'énergie primaire consommée et le PIB.
- contenu carbone (kg_{CO2}/MWh) : rapport entre les émissions de CO₂ et la quantité d'énergie primaire consommée.
- émissions par habitant (t_{CO2}/hab)
- indice de sobriété énergétique (MWh/hab): rapport entre l'énergie primaire consommée et le nombre d'habitants.

Membres de la Plateforme Transition Énergétique



Paul Bertaux - Ingénieur AIGx -
Directeur Projet Forêt Ressources Management Ingénierie
Montpellier



Georges Bollen – Ingénieur AIGx – Secrétaire Général de la
FABI



Philippe Charlez – Ingénieur AIMs – Expert en questions
énergétiques - Institut Sapiens



Martin Colla – Bioingénieur AIGx – Spécialiste Environnement &
ENR



Aurore De Boom – Bioingénieur ULB/EPBA – Conseiller
Technique - Techno Transfer ULB



Grégoire Léonard - Ingénieur AILg – Chargé de cours à
l'Université de Liège



Bernard Mairy - Ingénieur Civil AILouvain - Executive Director
European Society for Engineers & Industrialists



Michel Milecan - Ingénieur ULB/EPBA – Président de la FABI



Baudouin Oldenhove – Ingénieur AILouvain – Responsable marketing Natagora



Stéphane Palmaerts – Ingénieur ULB/EPBA – Consultant



Jean Snoeck – Docteur Ingénieur AILouvain – Consultant en énergie - XRGY Consulting



Jean Solonakis – Ingénieur AIMs – Expert Télécommunications, électronique



Georges Van Goethem – Docteur Ingénieur AILouvain – Académie Royale des Sciences et d’Outremer

Les auteurs, la Plateforme Transition Énergétique FABI et la FABI ne sont pas responsables des erreurs ou omissions éventuelles, ni des conséquences suite à l'utilisation des informations contenues dans cette publication. En aucun cas, les auteurs ne seront responsables envers qui que ce soit pour toute décision ou action prise sur la base des informations contenues ou pour tout dommage direct ou indirect.

Le contenu est protégé par des droits d’auteur ©. Des extraits de texte ne peuvent être reproduits qu’à des fins non commerciales et pour autant que la source en soit clairement précisée.

Publication : octobre 2019