

La révolution énergétique en Belgique

Dr. Ir. Luc Chefneux¹

Membre de l'Académie royale de Belgique

Classe Technologie et Société

et du Collège régional de Prospective de Wallonie

Version mise à jour le 8/11/2021²

Remarque liminaire :

Cette note est rédigée par un ingénieur qui n'est pas un spécialiste de l'énergie et qui n'a aucun lien avec les nombreux acteurs de ce secteur. Un ingénieur par contre très intéressé à comprendre les nombreux enjeux de ce domaine d'une extrême complexité, fort interpellé par les opinions divergentes y compris de spécialistes reconnus ainsi que par des décisions politiques paraissant relever de convictions tellement ancrées qu'elles ne permettent pas un véritable débat reposant sur la connaissance scientifique et les réalités technologiques. Un ingénieur aussi fort inquiet face à la véritable révolution à mettre en œuvre et au manque de perception du citoyen et du politique face au défi colossal à affronter.

Ce document porte essentiellement sur la situation de l'énergie en Belgique mais dans son contexte européen. La problématique mondiale est à peine esquissée. Celle-ci mériterait des développements significatifs. En effet, l'empreinte énergétique par habitant des pays développés, dont la Belgique, est beaucoup plus importante que dans le reste du monde où se situe la majorité de la population mondiale, par ailleurs toujours en croissance.

N'ayant pas la prétention d'être exempt d'erreurs, d'approximations et d'oublis, ce document a vocation à évoluer au fil des réactions, remarques et suggestions reçues. La problématique du nucléaire faisant actuellement débat et nécessitant des prises de position rapides a été examinée de manière un peu plus approfondie.

Merci d'être tolérant vis-à-vis d'une tentative au départ toute personnelle, de compréhension globale de ce qu'il vaudrait mieux appeler la révolution énergétique tant les bouleversements s'annoncent exceptionnels. Si elle pouvait également être utile aux personnes intéressées par ce dossier, on ne pourrait que s'en réjouir.

Merci en particulier à tous ceux qui ont réagi aux versions antérieures de ce document pour leurs remarques constructives me permettant de l'améliorer. N'hésitez surtout pas à partager vos appréciations, suggestions et critiques. Cette problématique mérite un large débat basé sur des arguments objectifs.

L'acuité du débat politique à ce sujet et l'extrême urgence de l'éclairer objectivement en vue d'éviter l'adoption de décisions désastreuses m'amènent à arrêter les adaptations de ce texte et à tenter de le diffuser le plus largement possible. Merci d'y contribuer !

¹ L'auteur s'exprime à titre personnel. Ses propos n'engagent pas les institutions dont il est membre.

² Version initiale publiée le 26/03/2021, mises à jour : 08/04, 31/05, 18/08, 27/08

La position de la communauté scientifique et ses conséquences :

Le réchauffement global et le dérèglement climatique sont aujourd'hui des réalités incontestables. L'accélération de ces phénomènes observée durant les dernières décennies a pour cause principale l'émission de gaz à effet de serre provenant de l'activité humaine. Il s'agit d'une réalité scientifique qui n'est plus à discuter même si sa compréhension doit encore être approfondie.³ L'impact majeur du dérèglement climatique annoncé depuis le premier rapport du GIEC en 1990 n'était guère tangible dans nos pays développés. Depuis peu ce n'est plus le cas. L'année 2021 est particulièrement marquante à ce sujet : vagues de chaleur et inondations exceptionnelles telles qu'annoncées par le GIEC ont montré que même les pays se croyant privilégiés pouvaient être frappés lourdement. La prise de conscience de la vulnérabilité de la civilisation humaine semble enfin prendre corps. L'Union Européenne s'est engagée avec ses États Membres à atteindre les objectifs de l'Accord de Paris de limitation du réchauffement planétaire global, ce qui implique la décarbonation de notre système énergétique. Voulant être une référence dans les efforts à réaliser, les objectifs de réduction sont gigantesques : -55% de diminution des GES par rapport à 1990⁴ d'ici 2030, neutralité en 2050. Chaque État membre, dont la Belgique, doit contribuer à cet objectif global d'une ambition dont on mesure difficilement l'extrême difficulté.⁵ Dans notre système économique, l'énergie constitue le facteur principal des émissions de gaz à effet de serre GES (+/- 75%)⁶, les émissions industrielles non liées à l'énergie, les pratiques agricoles et la gestion du patrimoine naturel y jouent un rôle important également. Cette note se limitera aux aspects énergétiques stricto sensu.⁷

Notons cependant que l'objectif fondamental qu'il faut absolument atteindre est de ne pas dépasser une teneur maximale de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, ce qui se traduit par un budget carbone dont le montant global ne doit pas être dépassé. Début 2021, le budget carbone restant disponible était d'environ 200 GT et la contribution annuelle est de l'ordre de 40 GT ! Les objectifs de neutralité carbone en 2050 ne sont là que pour tenter d'y parvenir. Cependant, si les moyens déployés pour y arriver devaient pour les produire générer de grandes émissions, ces actions pourraient amener à un dépassement de ce seuil critique, quand bien même la neutralité carbone

³ <https://academieroyale.be/academie/documents/Climat20141113Final21561.pdf>

⁴ <https://plus.lesoir.be/344972/article/2020-12-21/loi-climat-le-bon-le-brut-et-le-net>

⁵ Attention à l'énergie grise, c'est-à-dire celle que nous importons de l'extérieur de notre pays ! Chaque pays est censé accomplir une réduction drastique de ses émissions de GES mais il est tellement plus simple d'arrêter ses propres activités émettrices et d'importer des produits venant de l'étranger où les émissions seront comptabilisées. Rappelons que si la Wallonie a bien respecté ses objectifs 2020, c'est que les usines sidérurgiques à chaud s'y sont arrêtées. Nous n'avons pas consommé moins d'acier mais les émissions de CO₂ se sont faites ailleurs, vraisemblablement avec de moins bonnes performances. La prise en compte des émissions liées à cette énergie grise ajoutée à celle qui est suivie au niveau national peut amener à des conclusions peu encourageantes...

⁶ Dans la suite de cette note, par souci de simplification, on utilisera indifféremment les mentions GES ou CO₂, sans mentionner qu'il faut comprendre CO₂ équivalent.

⁷ Ces limitations permettent de réduire quelque peu l'hyper complexité du sujet qui l'est déjà suffisamment. Une telle problématique systémique est incompatible avec toute idée simpliste.

serait atteinte.⁸ Curieusement cet aspect d'évaluation du cycle de vie complet et la prise en compte de la temporalité ne sont quasi jamais pris en considération !⁹

Cet élément pose aussi la question de la pertinence de l'opposition entre fossiles et renouvelables. De manière contre-intuitive, la chaleur générée par la combustion des énergies fossiles depuis le début de la révolution industrielle n'a joué aucun rôle dans le réchauffement planétaire. Les modèles du GIEC indiquent que l'émission des gaz anthropiques à effet de serre en est la cause principale. Par contre, extraire des combustibles fossiles, revient à émettre dans l'atmosphère sous forme de CO₂ une quantité énorme de carbone qui sans cela serait restée séquestrée, modifiant ainsi gravement le cycle du carbone. Si cette opposition entre fossiles et renouvelables est donc pertinente, une autre est à considérer : celle entre les énergies émettrices de CO₂ dans l'atmosphère et celles qui n'en émettent pas, sachant qu'aucune énergie ne peut être considérée comme totalement neutre (cf note 9). Ainsi, on privilégiera par la suite l'emploi de l'expression énergie décarbonée (pour très faiblement carbonée) plutôt que renouvelable. Certes, le qualificatif de « renouvelable » a une connotation sympathique à comparer à celui de « fossile », évoquant une ressource naturelle qui s'épuise. Ces considérations doivent nous amener à être extrêmement attentifs aux impacts de l'usage de la biomasse, pourtant renouvelable, ainsi qu'à tous les nouveaux carburants produits à partir de CO₂ capté à une source quelconque et d'une électricité décarbonée, considérés à tort comme « verts » bien qu'émetteurs de CO₂. Ces derniers sont hybrides puisqu'obtenus à partir de CO₂ issus d'énergie fossile, combiné à de l'hydrogène décarboné, pouvant être issus d'énergie renouvelable. Ils ne sont pas mentionnés dans la référence citée à la note 9. Seule une analyse de leur cycle de vie permettra d'évaluer leur performance.

Enfin il faut dire un mot sur l'aspect de temporalité dans les réflexions à mener, ce qui n'est quasi jamais le cas. Cet élément est particulièrement critique pour la biomasse, énergie renouvelable mais loin d'être durable. Faisant une expérience de pensée et imaginons une combustion de gaz naturel pour produire une énergie déterminée E et dont les émissions de CO₂ sont compensées par une forêt accumulant le CO₂ émis. Si l'on coupe cette forêt pour en brûler le bois afin de produire la même quantité d'énergie E et en replantant la forêt, il faudra au moins 50 ans pour que la quantité de CO₂ émises soit à nouveau séquestrée en biomasse. Or, les objectifs de décarbonation doivent être rencontrés dans moins de 30 ans. La comparaison entre les deux énergies est dans ce cas favorable au gaz par rapport au bois. **Renouvelable n'est donc pas nécessairement synonyme de durable !** Ceci explique les remises en cause de nombreux usages de la biomasse et les exigences croissantes imposées à son utilisation.

⁸ A titre d'exemple, l'isolation extrême d'un bâtiment semblerait générer une quantité de CO₂ qu'il faudrait plusieurs décennies pour compenser.

⁹ L'analyse du cycle de vie (ACV) ambitionne d'établir une évaluation objective des émissions de CO₂ (ainsi que de nombreux autres facteurs environnementaux) des diverses sources d'énergie. Elle prend en compte l'impact des matériaux nécessaires (extraction, élaboration), de la fabrication et de la mise en service de l'équipement de production, des émissions tout au long de la durée de vie de cet équipement, du démantèlement et du recyclage en fin de vie ainsi que de tous les transports associés à ces différentes phases. Cependant, les valeurs obtenues peuvent varier plus ou moins largement suivant les hypothèses choisies, les procédés de production, les lieux de fabrication etc. On trouvera sur ce lien des estimations ainsi que les fourchettes de dispersion des valeurs obtenues par de nombreuses études : <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/80580.pdf>

1. Notre énergie étant essentiellement issue des énergies fossiles émettrices de GES (CO2 principalement), **la 1^{ère} priorité est de diminuer drastiquement notre besoin en énergie (efficacité et sobriété)**, ce qui exige :
 - a. des investissements très importants pour atteindre une efficacité maximale (habitat, transport, industrie) tout en veillant à optimiser l'usage des matériaux nécessaires (économie circulaire);
 - b. des changements comportementaux et culturels majeurs (en particulier en termes de mobilité) pour tendre vers la sobriété énergétique mais pour la plupart difficiles à faire accepter¹⁰ ;
 - c. une remise en cause de notre système économique néolibéral et l'abandon de l'indicateur de PIB¹¹, vaste programme sortant du cadre de cette note.

2. **Il faut stopper d'urgence tout investissement dans les énergies fossiles**, en ciblant d'abord les plus polluantes (charbon, puis pétrole, enfin gaz naturel). Leur usage devrait être réservé à des applications où il pourra et devra être accompagné d'une capture du CO2, de son stockage ou de son utilisation ¹². Simultanément, il convient de développer les sources d'énergie décarbonée.

3. **Le coût des énergies est in fine le facteur majeur qui décidera des évolutions**. Tant que toute émission de GES ne sera pas affectée d'un coût, aucune évolution significative ne se fera. Plus ce coût sera élevé, plus vite la situation pourra évoluer et les arbitrages se réaliser. Un coût minimum de l'ordre de 50€/TCO2 s'avère nécessaire pour déclencher une évolution significative. Une augmentation devra être assurée par une action sur les quotas en ce qui

¹⁰ A titre d'exemple, une réduction importante des émissions de CO2 dans le transport individuel pourrait être obtenue directement en limitant la vitesse maximum autorisée de 120 à 100 km/h sur autoroute, et de 90 à 70 ailleurs, allant de pair avec une limitation de la vitesse maximale des véhicules, de leur puissance et de leur poids. Rien que des avantages en termes d'émissions, de besoins en matériaux et en sécurité ! Quid de l'impact électoral ?

Signalons aussi l'existence de l'effet rebond. Par exemple une économie en chauffage liée à une meilleure isolation incitera ainsi à faire un voyage en avion. Cet effet diminue ou annule fréquemment l'impact de mesures par ailleurs pertinentes.

¹¹ L'abandon de cet indicateur malsain, comptant ce qui coûte et non ce qui compte, permettrait de sortir du débat stérile « croissance versus décroissance ». L'usage du modèle du Doughnut permet de comprendre où il faut de la croissance et là où la décroissance s'impose.

([https://fr.wikipedia.org/wiki/Doughnut_\(mod%C3%A8le_%C3%A9conomique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Doughnut_(mod%C3%A8le_%C3%A9conomique)))

¹² Les technologies de capture et de stockage existent mais ont un coût non négligeable. L'acceptabilité sociale du stockage terrestre n'est pas assurée contrairement au stockage en réservoirs géologiques marins. L'utilisation de CO2 capturé à grande échelle (CCUS) est encore objet de recherches technologiques et économiques. L'instauration d'un coût important pour le CO2 émis constitue le moteur majeur de cette évolution urgente, comme d'ailleurs de l'ensemble du système énergétique futur. Cette possibilité est actuellement assez marginale étant donné les volumes émis.

concerne le système de marché relatif aux ETS¹³. Un coût au moins semblable devrait être imposé aux utilisateurs des divers types d'énergie afin de les concerner individuellement.¹⁴

4. Quelques éléments à prendre en compte, souvent ignorés dans les débats !

- a. **L'électricité ne représente qu'environ 20% de notre consommation finale d'énergie dont les 80% restants sont d'origine fossile.** Les débats sur l'énergie glissent souvent, sans que cela soit spécifié, sur le secteur dit de l'énergie c'est-à-dire sur le secteur de production de l'électricité, et non pas sur le système énergétique global.
- b. L'électricité décarbonée est actuellement la principale possibilité de remplacer le fossile (y compris pour produire de l'H2), donc **la demande en électricité va au moins doubler et vraisemblablement tripler dans les 30 ans** Il paraît raisonnable de penser que la consommation directe d'électricité du futur devrait représenter au moins la moitié de la consommation finale d'énergie vu le développement de son usage dans les transports et le chauffage des bâtiments.¹⁵ Mais de plus d'autres vecteurs énergétiques comme l'hydrogène, les e-fuels¹⁶ etc. seront gros consommateurs indirects d'énergie électrique décarbonée.
- c. **L'énergie électrique produite en Belgique est largement décarbonée**, environ 70% dont presque 50 % par le nucléaire (47% en 2019) et un peu plus de 20% par des énergies renouvelables (22% en 2019). Les énergies fossiles, essentiellement du gaz, ne concourent que pour 30%¹⁷, une situation excellente au sein de l'Europe.
 - i. Dans les 22% (2019) d'énergie renouvelable, 32% provient de renouvelable non intermittent¹⁸ et (partiellement) pilotable : l'hydroélectricité (6%) et la bioénergie (biomasse, biogaz, bio-fuels). Le potentiel de développement de ces sources en Belgique est malheureusement fort limité. Il n'empêche qu'elles doivent être développées tant que faire se peut tant les besoins en énergie décarbonée sont importants.
 - ii. L'autre partie, soit 68% (2019) provient du renouvelable intermittent et non pilotable (**photovoltaïque et éolien**). **La part de ce renouvelable intermittent dans la consommation belge d'énergie finale est donc de 68% de 22% de 20%, c.à.d. 3 % !**

¹³https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_communautaire_d%27%C3%A9change_de_quotas_d%27%C3%A9mission

¹⁴ Ceci implique par exemple la mise en place rapide d'une fiscalité verte liée aux émissions de CO2, y compris des particuliers, belle illustration de la difficulté politique d'adopter des décisions courageuses mais impopulaires.

¹⁵ Les pompes à chaleur constituent le mode de chauffage le plus efficace.

¹⁶ e-fuel, en français e-carburant : <https://fr.wikipedia.org/wiki/E-carburant>

¹⁷ Ces 30% de 20%, soit 6% amène à 86% la part des combustibles fossiles (importés !) dans la consommation finale.

¹⁸ L'abréviation usuelle utilisée est EnRI pour énergie renouvelable intermittente. On utilise parfois le terme « variable » plutôt qu'« intermittent » qui paraît cependant mieux adapté.

- iii. S'il paraît nécessaire d'augmenter rapidement la part de renouvelable dans notre production énergétique, il est impossible d'imaginer que cela puisse suffire pour répondre aux besoins énergétiques du pays, une part considérable de notre approvisionnement d'énergie continuera donc à être importée.¹⁹ Cela pose clairement le problème de la part de responsabilité que la Belgique va assumer dans l'objectif global européen. En effet, il est à craindre que la production propre de la Belgique ne soit à terme moins décarbonée qu'actuellement si de nouvelles centrales au gaz, émettrices de CO₂ sont mises en service pour pallier la fermeture du nucléaire.
- d. **L'électricité décarbonée pourrait-elle subvenir à l'ensemble des besoins énergétiques futurs ?** L'électricité, même totalement décarbonée ne pourra pas être l'unique source d'énergie finale consommée. En effet, celle-ci ne peut répondre à tous les usages, en particulier dans le domaine industriel. Comme déjà signalé, il semblerait que l'on estime qu'elle passerait de 20% du besoin final actuel à 50% du besoin final futur qui devrait être plus faible suite à l'amélioration de l'efficacité et à une sobriété des usages (voir point 1.). Le reste des besoins énergétiques est censé être assuré par des combustibles liquides ou gazeux décarbonés. L'existence de réseaux (pipelines) gaziers essentiellement mais aussi liquides permet la distribution de ces combustibles, ainsi d'ailleurs que le transport de CO₂ en lien avec les techniques de CCUS (voir note de bas de page 4). L'hydrogène, et son dérivé l'ammoniac, fait l'objet du point suivant. En ce qui concerne les autres combustibles, des questions importantes se posent qui sont actuellement sans réponses claires.
- i. Les bio-fuels et biogaz, issus de matières renouvelables ont une capacité de production en Belgique et en Europe relativement limitée. Bien que considérés actuellement comme « verts » car renouvelables, leur usage est générateur de CO₂ dans l'atmosphère et contribue donc au réchauffement global. A soutenir ou à interdire ?
 - ii. D'autres combustibles, appelés carburants synthétiques (e-fuel) sont envisagés et de nombreux développements technologiques sont en cours. Il n'est pas possible dans le cadre de cette note et par manque de compétence dans ces domaines d'en donner une vision exhaustive. Signalons cependant que leur production se fait à partir de CO₂ capté à la sortie de processus industriels, en nécessitant un apport d'énergie électrique décarbonée, ce qui augmentera évidemment la demande de celle-ci. Comme l'usage d'e-fuels comme carburant est émetteur de CO₂, le bilan global de réduction des émissions de CO₂ devrait être inférieur à 40%. On est encore bien loin de carburants verts comme nous le promet par exemple le lobby de l'aviation.

¹⁹ Suivant les études les importations d'énergie sous diverses formes (électricité, gaz, liquides) sont évaluées de 15 à 65%. <https://www.plan.be/publications/publication-2056-en-fuel-for-the-future-more-molecules-deep-electrification-of-belgium-s-energy-system-by-2050>
https://emis.vito.be/sites/emis.vito.be/files/articles/1125/2013/Rapport_100_procent_Duurzame_Energie.pdf
<https://www.fabi.be/transition-energetique>

- e. **Quelle place pour l'hydrogène ?** Celui-ci fait l'objet actuellement d'un engouement important en Europe et dans le monde, car son utilisation comme vecteur énergétique n'émet pas de GES, mais bien de la vapeur d'eau. Il faut cependant comprendre que **l'hydrogène n'est pas un combustible primaire et qu'il n'est pas a priori un combustible vert.**²⁰ Il est actuellement principalement produit à partir de gaz naturel (+/- 95%) avec émission de CO₂. Il ne peut être considéré comme « vert » que pour autant qu'il soit produit par électrolyse au départ d'électricité décarbonée.²¹ Stocker de l'énergie électrique décarbonée sous forme d'H₂ produit par électrolyse pour refaire de l'électricité a (actuellement) un très mauvais rendement, inférieur à 30%.²² Il faut donc privilégier tant que faire se peut l'usage direct de l'énergie électrique décarbonée produite localement. Le marché de l'hydrogène décarboné se développera en fonction de son coût de production et celle-ci devrait se faire principalement là où les conditions seront les plus favorables (ensoleillement, régime des vents, usage du nucléaire), l'importation en Europe se faisant par voie maritime. Notons qu'il reste possible de produire de l'hydrogène décarboné à partir de gaz naturel pour autant que le CO₂ émis soit capté et stocké (cf la note 12 relative au CCUS), ce qui pourrait offrir une possibilité de reconversion aux grandes sociétés du secteur des hydrocarbures. Cette possibilité est cependant controversée. Les besoins actuels en H₂ pour l'industrie chimique (production de l'ammoniac et du méthanol) ainsi que les besoins nouveaux pour décarboner d'autres industries comme la sidérurgie²³ sont tellement élevés, qu'il est vraisemblable qu'ils constitueront dans un premier temps le débouché principal de l'hydrogène décarboné. Celui-ci devrait aussi trouver à terme une place, soit sous forme directe, soit indirecte (par exemple sous forme d'ammoniac) dans certains types de transport (poids lourds, transports fluvial et maritime, voire l'aviation) où l'usage de batteries n'est pas adapté.
- f. **Délais très courts** (2030 c'est demain) donc il faut faire avec ce que l'on a et ne pas se tirer une balle dans le pied quand on doit lancer un sprint ! Depuis 2003, une décision purement politique de sortie du nucléaire a été prise sans que rien n'ait été fait depuis pour réfléchir scientifiquement et industriellement à ses conséquences et s'y préparer. Le nucléaire de fission représente actuellement notre principale source d'énergie décarbonée (50% de 20% soit 10%), s'en priver rendrait le

²⁰ <https://easac.eu/publications/details/hydrogen-and-synthetic-fuels/>

²¹ <https://academieairespace.com/lettre-n-120-lhydrogene-espoirs-et-limites/>

²² On gaspille donc 70% de l'électricité décarbonée que l'on veut stocker. Quant au coût de l'électricité produite in fine, l'amortissement et les coûts de fonctionnement de la véritable « usine à gaz » nécessaire (électrolyse, compression, transport, pile à combustible ou combustion, sécurité) sera vraisemblablement entre 5 à 10 fois plus élevé que celui de l'électricité ayant servi au stockage. Ce coût sera d'autant plus élevé que l'électrolyseur fonctionnera de manière plus intermittente.

²³ Une des technologies privilégiées de décarbonation de la sidérurgie (7% des émissions mondiales de CO₂) consiste en la réduction du minerai de fer par l'hydrogène au lieu de coke, source d'émission de CO₂. La production d'une tonne d'acier à partir de minerai engendre environ l'émission de 2 tonnes de CO₂. Cette filière représente environ 75 % de la production mondiale d'acier qui est actuellement d'environ 1 milliard 800 millions de T/an, le reste étant produit par la filière électrique, exigeant aussi une électricité décarbonée.

défi de la décarbonation de notre système énergétique encore plus difficile, voire rigoureusement impossible.

- g. **Le système électrique** a une caractéristique majeure, il **doit être équilibré** c'est-à-dire que la production doit à tout moment correspondre à la consommation. Ce qui exige de pouvoir faire varier la production (la piloter) en fonction de la demande.²⁴ On peut aussi moduler dans une certaine mesure la demande. Cela se pratique déjà pour les gros consommateurs industriels. La France dispose depuis longtemps d'un système limité impliquant des consommateurs individuels. Il existe cependant un potentiel non négligeable dans ce domaine grâce aux techniques de réponse à la demande (Demand response²⁵) liées aux réseaux intelligents (smart grid). Le développement d'un parc de véhicules électriques, grâce à l'énorme capacité de stockage des batteries, pourrait contribuer de manière majeure à cet équilibrage.

5. Les nouvelles énergies « vertes », PV et éolien, sont-elles LA solution ?

- a. Signalons d'abord une **confusion** quasi-systématique dans les chiffres avancés, **entre la capacité installée (MW) et l'énergie produite (MWh)**. En effet le facteur de charge du PV et de l'éolien terrestre est en Belgique voisin de 20 % alors que les capacités classiques (gaz ou nucléaire) peuvent dépasser 90%. Il faut donc une capacité installée de PV ou d'éolien 5 X supérieure à une capacité classique pour produire la même quantité d'énergie. Le facteur de charge de l'éolien off-shore est supérieur, actuellement de l'ordre de 40%. Pour ce dernier, le rapport de puissance installée nécessaire est de 2 à 3X.
- b. Ces énergies vertes intermittentes non-pilotables ne produisent pas nécessairement au moment où la demande se fait sentir et inversement. Pour profiter au maximum de leur production, il faudrait leur **associer une capacité maximale de stockage**.²⁶ Toute installation d'une capacité d'énergie renouvelable intermittente devrait **obligatoirement** s'accompagner d'une capacité de stockage. Malheureusement, ces capacités de stockage (pompage-turbinage, batteries...) ne peuvent répondre à des demandes importantes que pendant une période limitée, se comptant actuellement en heures ou journées.²⁷ Il faut donc impérativement y **associer des capacités pilotables** permettant d'équilibrer le réseau. Pour autant qu'une production constante

²⁴ En plus d'assurer que production et consommation s'équilibrent, il s'agit aussi de maintenir la fréquence et seules les grosses machines tournantes (centrales nucléaires ou au gaz) peuvent le faire.

²⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Demand_response

²⁶ Chaque investissement dans une capacité de production d'énergie verte intermittente devrait obligatoirement être accompagné d'un accroissement proportionnel en capacité de stockage, aspect largement négligé jusqu'ici.

²⁷ Ainsi la centrale de pompage-turbinage de Coe a la capacité de production d'un réacteur nucléaire durant 6 heures. L'augmentation de sa capacité devrait constituer une priorité dans le développement des EnRI. A l'échelle d'une habitation, des batteries devraient permettre une large autonomie en périodes d'ensoleillement (jour/nuit) mais pas à l'échelle de plusieurs jours pendant les mauvaises périodes.

minimale soit assurée (grâce à la puissance de base), et en première approximation, cette capacité pilotable doit pouvoir assurer la production complémentaire correspondant à la demande maximale, étant donné le caractère aléatoire des énergies intermittentes.²⁸ Plus la capacité de production du renouvelable intermittent augmente, plus les capacités seront sollicitées. Ces capacités pilotables en support devront fonctionner de manière fort variable, allant de l'arrêt à pleine puissance. Elles ne fonctionneront donc pas toujours en conditions optimales, avec des coûts non optimisés et généreront ou pas du CO2 suivant la technologie choisie. Si celle-ci est basée sur du fossile, cette émission de CO2 est directement provoquée par la nature de l'énergie intermittente.

- c. Afin de réduire les sollicitations des énergies pilotables et d'augmenter l'autonomie des installations d'énergie renouvelable intermittente, il faut amplifier les connexions des réseaux de transport au niveau européen²⁹ et y ajouter des capacités de stockage importantes, sans négliger le stockage thermique³⁰. Au niveau plus local des réseaux de distribution, il faut favoriser l'établissement de micro-réseaux disposant d'un maximum de capacité de stockage et dont la consommation instantanée sera lissée par la connexion de consommateurs de différents profils. Ces communautés locales énergétiques constituent un facteur majeur de développement de toutes les énergies renouvelables. Celles-ci devraient être prioritairement dédiées à l'autoconsommation des ménages et des entreprises, soulageant ainsi la demande globale et permettant une meilleure gestion des réseaux (transport et distribution). En effet, la stabilité des réseaux électriques (50 Hz très stricts) est gravement perturbée par une injection massive (au-delà de 40%) des énergies photovoltaïque et éolienne.
- d. Signalons aussi les **avantages et inconvénients** des énergies renouvelables intermittentes. Si elles sont produites localement sans recours à des importations d'équipements fabriqués hors Europe, elles contribuent positivement à la balance des paiements de l'UE tout en générant des emplois locaux et en diminuant +/- la dépendance stratégique de l'UE vis-à-vis de l'extérieur. Leur nature disséminée amène à concevoir un système global moins centralisé dont on peut espérer à terme plus de résilience ainsi qu'une moins grande dépendance vis-à-vis de grands acteurs multinationaux. L'implication de pouvoirs locaux et de citoyens devrait contribuer à un contrôle plus démocratique. Elles contribuent aussi à l'amélioration de la qualité de l'air. Cependant, comme toute source d'énergie, elles ne sont pas sans risques et nuisances (besoins en matériaux critiques, gestion des déchets difficile : panneaux PV, pales d'éoliennes ainsi que leurs massifs en béton...). On touche ici à l'importance de l'économie circulaire (recyclage des matériaux critiques, des batteries et.), sujet majeur sortant du cadre de cette note. Malgré la nécessité absolue de

²⁸ En l'absence de vent et de soleil, la production doit pouvoir continuer à équilibrer la demande.

²⁹ Les investissements de connexion entre les réseaux électriques des différents pays européens sont en cours. La situation de la Belgique à ce point de vue est plutôt favorable.

³⁰ En cas d'excès production électrique, fabriquer et stocker de la chaleur ou du froid, là où des besoins importants existent constitue une forme de stockage intéressante, sans évidemment que cette énergie ne puisse être restituée sous forme électrique. A l'inverse, en cas de pointe de consommation électrique, des installations de chauffage ou de refroidissement pourraient fonctionner en autonomie.

celle-ci, son implantation est très loin de solutionner le problème de la demande de matériaux. Une analyse du cycle de vie des différents modes de production d'énergie ainsi que des différents systèmes (transport, chauffage etc.) utilisant de l'énergie devrait aussi être menée systématiquement. Les conclusions pourraient remettre en cause pas mal de choses considérées comme évidentes.

6. **De quelles capacités énergétiques indispensables doit-on disposer pour produire l'énergie électrique** nécessaire à la production constante minimale ainsi qu'à assurer la composante pilotable exigée par l'équilibrage du réseau rendu plus critique par les fluctuations de production des énergies intermittentes ?³¹
- a. Actuellement, la **production constante minimale** (fournie par la puissance de base) est assurée principalement par les **réacteurs nucléaires**, sans émission de CO₂. En cas de sortie du nucléaire, la seule alternative actuelle est le recours au gaz naturel avec la conséquence de l'émission de CO₂, sauf en cas d'imposition de CCUS dont la faisabilité actuelle n'est actuellement pas encore assurée.³² Une telle décision est en contradiction totale avec la nécessité d'interdire aussi vite que possible les investissements dans les énergies fossiles. **Le système électrique belge passerait alors du statut de bon élève à celui de cancre de la classe européenne et rendrait impossible la diminution des émissions de CO₂ à laquelle la Belgique s'est engagée.** Il s'agirait là d'une erreur historique majeure, que l'on peut qualifier de véritable scandale !
 - b. Les **capacités pilotables** existantes en Belgique sont actuellement les **centrales classiques à énergie fossile, au gaz**³³ en l'occurrence³⁴, émettrices de CO₂. Le coût de production de l'électricité est loin d'être optimal suite aux arrêts, redémarrages et modifications de puissance nécessaires à l'équilibrage du réseau.
 - c. Certaines centrales nucléaires (France) ont cette capacité de flexibilité. **Ce n'est pas le cas des centrales** belges conçues pour fonctionner à charge nominale.³⁵ Cela explique la situation assez exceptionnelle mais pouvant paraître choquante de devoir interrompre la production d'énergie éolienne pour éviter de devoir arrêter un réacteur nucléaire. Cette nécessité est utilisée à tort comme un argument contre le

³¹ Notons cependant sans entrer dans plus de complexité, qu'il conviendrait d'aborder l'intégration du système énergétique global (électricité et fluides) et la flexibilité de ce système global intégrant la gestion de la demande.

³² Voir note 3.

³³ Centrales TGV et turbines au gaz.

³⁴ Lignite, charbon et pétrole ne sont pas utilisés dans notre pays, leur taux de pollution (émissions de CO₂ et de particules fines) rendant ces centrales encore plus polluantes.

³⁵ La centrale de Coo (pompage-turbinage) citée précédemment a été conçue initialement pour donner un peu de flexibilité aux centrales nucléaires fonctionnant en continu à charge nominale, c'est-à-dire à puissance maximale. Le surplus d'énergie produit la nuit permettant le pompage du bassin inférieur vers le supérieur. Elle voit son importance accentuée par la production d'énergie renouvelable mais c'est de plusieurs centrales similaires ou d'une multitude de centrales de plus petite capacité dont le système énergétique aurait besoin.

nucléaire. Celle-ci découle cependant, en partie du moins, de la loi de 2003 interdisant l'installation de nouvelles capacités nucléaires en Belgique et prévoyant la sortie du nucléaire en 2025. Cette interdiction légale de prendre en compte l'évolution du contexte mondial et des avancées de la science et de la technologie dans le pays pionnier du nucléaire et doté de remarquables compétences en la matière est évidemment hautement dommageable pour notre sécurité d'approvisionnement, notre économie ainsi qu'en ce qui concerne le maintien de notre niveau technologique.³⁶

- d. Une **solution rapide existe** cependant en lien avec un besoin de produire de l'H₂ décarboné qui devrait jouer un rôle dans le mix énergétique futur (voir 4.e). Il suffirait d'équiper certaines centrales nucléaires d'une capacité de **production d'hydrogène** par électrolyse. Fonctionnant en régime continu, la centrale nucléaire alimenterait plus ou moins le réseau électrique et le complément servirait à la production d'hydrogène. Cette flexibilité nouvelle devrait amener des coûts compétitifs et permettrait de produire l'H₂ de manière centralisée, facteur de sécurité et d'efficacité pour ce gaz potentiellement dangereux. Cette possibilité n'a jamais été médiatisée mais elle ferait du nucléaire le complément parfait des énergies intermittentes renouvelables. Cela exige cependant que la capacité de production nucléaire dépasse la puissance de base nécessaire à assurer la production constante minimum. Dans le cas belge, l'arrêt de plusieurs centrales nucléaires rendrait cette possibilité impraticable.
- e. Le mécanisme prévu en Belgique pour favoriser l'installation de centrales au gaz en remplacement des centrales nucléaires (CRM³⁷) implique un financement des énergies fossiles, pratique largement dénoncée, à supprimer au plus vite, et qui devrait être bientôt déclarée illégale, sauf obligation de capture, stockage et éventuel usage du CO₂.³⁸ Ce mécanisme serait cependant susceptible de financer aussi d'autres investissements nécessaires par ailleurs : stockage, gestion de la demande ...

7. Quelle est la place que l'énergie nucléaire peut encore jouer actuellement et dans le futur dans le mix-électrique belge ?

- a. Le nucléaire souffre d'une **perception très négative** liée à son origine militaire et à son usage ayant généré deux drames humains (Hiroshima et Nagasaki) ayant marqué l'humanité entière. La prolifération des armes atomiques et la capacité de destruction qu'elles représentent constituent une préoccupation majeure pour l'avenir de la civilisation humaine. Les risques associés à l'usage civil de cette source d'énergie

³⁶ Si la Belgique a perdu de nombreuses compétences dans le domaine suite au désintérêt du pouvoir politique et aux craintes suscitées dans la population, le centre de recherche SCK-CEN de Mol reste au meilleur niveau mondial. <https://www.sckcen.be/fr>

³⁷ CRM : Capacity Remuneration Mechanism : <https://www.febeg.be/fr/domein/crm-capacity-remuneration-mechanism>

³⁸ De plus, ce type d'investissement ne peut se concevoir économiquement que pour une durée de vie de l'ordre de 40 ans au minimum. Or la probabilité d'une obligation de fermeture de ces capacités dès 2050 est extrêmement élevée, leur conversion à l'hydrogène est techniquement et économiquement inenvisageable. (voir 4.e)

sont cependant sans commune mesure.³⁹ Contrairement à l'opinion généralement répandue, l'énergie nucléaire de fission pour la production d'électricité et/ou de chaleur est la **source d'énergie la plus sûre** pour la santé et présentant les risques les plus faibles. Les problèmes associés au nucléaire méritent cependant d'être examinés avec attention.

- b. **Risques pour la santé** : aucune source d'énergie n'est totalement sûre, que ce soit au stade de l'extraction, du transport, des infrastructures, de l'usage et des émissions générées. Les tableaux de décès survenus par accidents directs ou par la pollution générée sont particulièrement éloquents⁴⁰. Sur la période 1969-2000, le nombre de décès par accident se monte au niveau mondial, à 29938 pour l'hydroélectricité (ruptures de barrages), 20276 pour le charbon, 20218 pour le pétrole, 3921 pour le GPL, 2043 pour le gaz naturel et 31 pour le nucléaire.⁴¹ L'accident de Three Mile Island (1979) n'a fait aucune victime directe, Tchernobyl (1986) en a généré 31⁴² et Fukushima (2011) aucune liée au nucléaire (4 victimes directes dans la centrale : 2 emportées par le tsunami, 1 chute et 1 arrêt cardiaque suivie par 10 autres non liées au rayonnement), alors que le nombre total de morts et de disparus provoqués par le tsunami se montait à plus de 18000, dont environ 2000 suite à la rupture d'un barrage hydroélectrique. Le nucléaire est victime de l'image de la bombe atomique et du battage médiatique consécutif aux 3 incidents majeurs survenus en 50 ans avec cependant les conséquences minimales citées plus haut, alors que l'on ne prête guère d'attention aux centaines d'accidents annuels liés aux autres énergies mais survenant de manière disséminée, surtout s'ils concernent des pays peu développés. Il s'agit d'un effet similaire à celui qui concerne les accidents d'avion. La chute d'un avion fera la une dans le monde entier et on ne parlera pas des décès par accidents de la route (1,35 millions en 2016, source OMS). Si l'on veut considérer les effets à plus ou moins long terme, il est évident que la catastrophe de Tchernobyl en particulier aura généré quelques milliers de cancers sur les 20 ans qui ont suivi, à comparer aux quelques 8 millions de morts prématurées par an dues à la pollution de l'air (dont une partie importante liée à la combustion). Rappelons qu'en Belgique, la seule catastrophe de Ghislenghien liée au gaz naturel a fait 24 morts. N'oublions pas non plus les conséquences mortelles à une échelle gigantesque qui découlera du changement climatique engendré par les combustibles fossiles. Les inondations catastrophiques que viennent de subir l'est de la Belgique et l'ouest de l'Allemagne ont fait plus de 200 morts, des dizaines de milliers de personnes se sont retrouvées sans abri, des milliers d'habitations ont été détruites, des milliers d'indépendants ont vu leur

³⁹ Le plutonium produit dans une centrale peut d'ailleurs être réutilisé sous forme de MOX.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Combustible_MOX. Il est inutilisable à des fins militaires. Il n'empêche que le risque de prolifération de l'arme atomique reste une préoccupation majeure pour l'humanité.

⁴⁰ <https://www.afis.org/L-impact-sur-la-sante-des-differentes-sources-de-production-d-energie>
http://academie-technologies-prod.s3.amazonaws.com/2017/07/13/09/14/40/461/filieresproductionnergie_sante_final.pdf

⁴¹ Au sujet des accidents nucléaires, voir le site du Comité scientifique des Nations-Unies sur les effets des radiations atomiques : <https://www.ans.org/ans/>

⁴² Il faudrait vraisemblablement ajouter à ce chiffre, des décès survenus après l'accident sans que l'on puisse le préciser suite à l'opacité du système politique de l'URSS.

activité réduite à néant, des centaines d'entreprises ont été gravement affectées, des surfaces très importantes polluées. Le coût devrait s'élever au total à plusieurs dizaines de milliards d'euros. Alors que des phénomènes météorologiques extrêmes se multiplient partout sur la planète, causant des dégâts humains, matériels et écologiques immenses, la première manifestation dans notre pays d'un phénomène que l'on nous prévoit depuis longtemps et qui se reproduira de plus en plus fréquemment en Europe, a fait à lui seul des dégâts plus graves que ceux cumulés des trois catastrophes du nucléaire civil connues en quarante ans. En termes de gestion des risques, il n'y a pas photo ! Les risques liés au changement climatique sont sans commune mesure avec ceux du nucléaire.

- c. **Sûreté des centrales nucléaires belges et autres risques** : Si les risques directs pour la santé sont en moyenne plus faibles que pour les autres sources d'énergie, les évacuations de territoires importants rendus inhabitables pour de longues durées constituent un risque humain, social et économique énorme. Il s'agit vraisemblablement de la raison principale de crainte vis-à-vis du nucléaire dans nos pays à forte densité de population. Il est donc fondamental de se préoccuper tout particulièrement de la sûreté de nos centrales. Celles-ci ne peuvent être qualifiées d'obsolètes, ayant fait au fil du temps l'objet de remplacement de tous les éléments, à l'exception majeure des cuves et de l'enceinte en béton, ayant fait également l'objet d'améliorations techniques continues accompagnées de moyens de mesure et de contrôle au meilleur niveau de l'état de l'art. Il faut également mentionner les "stress tests" européens qui ont été particulièrement bien appliqués pour les centrales belges.⁴³ De plus, après chaque incident significatif survenant dans le monde, des investissements nouveaux sont réalisés pour accroître le niveau de sécurité. Les centrales de ce type, construites à la même époque aux USA, ont été prolongées pour une durée de vie espérée de 80 ans, comme il faudrait le faire avec nos centrales actuelles. Quant au problème des « microfissures », les analyses approfondies des experts métallurgistes ont démontré que ces soi-disant « défauts » détectés par une technologie à ultra-sons plus sensible, étaient présents à l'origine et n'ont pas évolué. Soumis à vieillissement accéléré, des échantillons n'ont pas montré de dégradation. Ce problème présumé se révèle donc inexistant, ce qui n'empêche que toute centrale fait l'objet d'un strict suivi de contrôle systématique par un organisme neutre et que celle qui présenterait un risque significatif devrait soit être mise à l'arrêt pour mise en conformité soit fermée définitivement.
- d. **Problème des déchets** : la durée de vie extrêmement longue de certains déchets radioactifs, dépassant largement l'échelle humaine explique la préoccupation évidente à ce sujet. Cependant, on peut considérer que le stockage souterrain est une solution sûre⁴⁴ et que de manière plus fondamentale le problème des déchets à très longue durée de vie trouvera une solution efficace et rentable au point de vue industriel grâce aux progrès de la science et de la technologie. Les

⁴³ <https://afcn.fgov.be/fr/system/files/best-2020.pdf>

⁴⁴ Les réacteurs naturels d'Oklo ont fonctionné il y a environ 2 milliards d'année et les résidus sont toujours confinés dans le sol.

https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9acteur_nucl%C3%A9aire_naturel_d%27Oklo

procédés qui sont actuellement en cours de développement permettent d'espérer que le problème sera solutionné avant la fin de ce siècle. En particulier, le développement du projet Myrrha au CEN de Mol est particulièrement prometteur à cet égard, tout en ouvrant la piste d'une nouvelle génération nucléaire d'une extrême sûreté.⁴⁵ Notons également que le problème sera le même que l'on décide d'arrêter une centrale aujourd'hui ou dans 30 ans.

- e. **Disponibilité des matières fissiles** : Suivant les estimations actuelles, les sources minérales sont suffisamment abondantes pour permettre une exploitation de très longue durée. Les réserves connues d'uranium fissile permettraient le fonctionnement du double des réacteurs actuels pendant encore un siècle. Les technologies déjà développées (surrégénérateur) et en développement (Myrrha, réacteurs à neutrons rapides, réacteurs au thorium) sont susceptibles de permettre l'exploitation de l'énergie de fission pendant de nombreux siècles encore. La maturité de ces technologies et leur déploiement risquent cependant d'advenir un peu tard par rapport au délai extrêmement court qui nous est imparti, raison pour laquelle la prolongation des centrales actuelles paraît nécessaire.
- f. **Quid de la fusion nucléaire ?** La perspective de la maîtrise de cette technologie permettant de produire sans émission des quantités gigantesques d'énergie est excitante. Cependant, les difficultés extraordinaires de développement ne permettent pas d'imaginer une utilisation industrielle avant la fin du siècle, malheureusement beaucoup trop tard par rapport aux contraintes climatiques. Relevons aussi que cette technologie est par nature très centralisée et à contre-courant de la tendance actuelle vers une production décentralisée.
- g. **Évolutions des technologies nucléaires de fission** : Outre les nouvelles technologies évoquées au § e. une véritable frénésie de développement s'est installée, principalement aux USA, en Chine et en Russie, dans le domaine des SMRs (Small Modular Reactors) qui représentent une part significative du futur paysage nucléaire mondial. Ces « petits » réacteurs préfabriqués seront construits de manière modulaire, ce qui devrait, espérons-le, abaisser fortement les coûts d'investissement et de production électrique. Rapidement installables, ils représentent la solution idéale pour une production plus décentralisée où les énergies renouvelables intermittentes devraient continuer à se développer. De plus leurs systèmes de sécurité sont beaucoup plus simples et efficaces. Un minimum de production centralisée par des réacteurs de plus grande puissance et de nouvelle génération resterait cependant nécessaire afin d'assurer une part significative de la demande de base. Notons que la mise en service en Belgique de SMR ne peut s'envisager qu'aux environs de 2035, échéance compatible avec l'objectif de décarbonation du système énergétique en 2050.

⁴⁵ JP Poncelet, H.A. Abderrahim, « MYRRHA, un (autre) regard sur l'énergie nucléaire », ARB, Collection L'Académie en poche, n°137, 2021. Cet ouvrage traitant particulièrement du projet Myrrha donne également une vision très didactique de l'énergie nucléaire.

8. Aspects géostratégiques :

- a. La révolution en cours dans le système énergétique devrait permettre à l'Union Européenne de sortir de sa dépendance vis-à-vis du pétrole, et de ses deux aspects, géostratégique et économique.
- b. La sortie du charbon et le recours accru au gaz (au moins à titre transitoire) entraînent malheureusement l'accroissement d'une dépendance vis-à-vis du principal fournisseur de celui-ci, la Russie. Cette dépendance présente un risque certain auquel il faut être très attentif, en tentant de le minimiser. L'abandon du recours au gaz naturel qui s'imposera à moyen terme posera d'autres problèmes actuellement mal appréhendés. (§ e. ci-dessous). Signalons aussi que l'idée de convertir ultérieurement ces centrales à l'hydrogène est une aberration économique et technologique totale à dénoncer absolument.⁴⁶
- c. A contrario, le développement des énergies renouvelables de tous types devrait contribuer à améliorer l'indépendance énergétique de l'UE en améliorant sa balance des paiements et en favorisant la création d'emplois internes, non délocalisables. Pour garantir la stabilité du réseau et donc la sécurité d'approvisionnement électrique, cela exige le développement parallèle de capacités considérables de stockage (électrique et thermique) sujet trop peu mis en évidence.
- d. L'énergie nucléaire présente un avantage certain en termes d'indépendance énergétique. Les sources d'approvisionnement classiques ne proviennent pas de pays susceptibles d'influencer négativement la politique européenne. Les grandes quantités de résidus pouvant être retraités pour exploitation dans les centrales de nouveaux types permettent d'assurer une disponibilité pour plus d'un siècle.
- e. Les interconnexions énergétiques (électricité et gaz divers : GN, H2, CO2...) entre États Membres et le renforcement de la stratégie « Énergie » de l'UE sont des nécessités urgentes tout en veillant à la non-propagation de perturbations du réseau (et/ou de cyber-attaques) d'un pays à l'autre. Dans un monde de plus en plus incertain, les solutions d'interconnexion à très grande distance entre entités instables voire rivales sont à déconseiller.
- f. Par contre la possibilité de produire de l'H2 décarboné pour les besoins actuels et futurs grâce au nucléaire et aux énergies intermittentes dans des endroits privilégiés par le régime des vents ou l'ensoleillement semble incontournable. L'aspect de dépendance stratégique de fournisseurs externes à l'Union Européenne devra être pris en compte. En particulier, la dépendance à la fourniture d'hydrogène décarboné risque de remplacer celle que nous avons actuellement à l'égard du pétrole.

⁴⁶ Voir le point 4.e.

- g. La nécessité de réduire drastiquement l'extraction des combustibles fossiles (actifs échoués) pose des problèmes énormes aux grandes sociétés pétrolières et gazières mondiales, publiques ou privées, dont la reconversion est problématique mais nécessaire. La capacité de résistance de ces géants du marché risque de ralentir fortement la révolution énergétique nécessaire.
- h. Si l'Europe peut espérer donner l'exemple au reste du monde par l'exemple de sa lutte contre les émissions de GES passant par une imposition d'un coût important au CO₂, il est illusoire d'imaginer qu'elle pourra y arriver seule. Un mécanisme d'ajustement aux frontières de l'Union pour prendre en compte le CO₂ importé de pays où une taxation similaire ne serait pas d'application, est indispensable au risque de voir la compétitivité de l'Europe compromise. La difficulté de rendre opérationnelle cette exigence nécessite d'être capable de disposer d'une cohérence stratégique au niveau de l'UE ce qui semble être le cas depuis la publication récente du Pacte vert pour l'Europe (14/07/2021).⁴⁷
- i. Les émissions de GES se jouent des frontières. Une solidarité internationale doit absolument se manifester de manière déterminée. En particulier, les pays riches doivent aider les pays pauvres à adopter une voie de développement différente de celle qu'eux-mêmes ont suivie, au risque de voir tous leurs efforts réduits à néant. Cela ne pourra s'accomplir que dans un esprit de respect et de collaboration véritable.
- j. En ce qui concerne la Belgique, la nécessité avérée de continuer à dépendre très significativement de l'importation pour ses besoins énergétiques, le manque de préparation concernant les orientations à prendre, la décision idéologique et dogmatique de sortie du nucléaire, la difficulté à prendre des décisions courageuses mais indispensables, font craindre que notre dépendance énergétique s'accroisse dans le futur. Qui plus est, la Belgique semble vouloir adopter une attitude de « passager clandestin » espérant que les autres Etats Membres de l'Union Européenne feront les efforts nécessaires et qu'il lui suffira d'importer de l'énergie « verte ». In fine, ce candidat « passager clandestin » sera soumis à une lourde « amende » qui se traduira par un fort accroissement du coût de l'énergie et une perte d'emplois locaux !

⁴⁷ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_21_3541

9. CONCLUSIONS et RECOMMANDATIONS

- a. Les objectifs particulièrement ambitieux de décarbonation de notre système énergétique correspondent à une véritable révolution dont nos populations et la plupart de nos dirigeants ne mesurent pas l'ampleur. Fixer des objectifs est facile mais les réaliser est d'une difficulté extrême. Outre les investissements énormes qu'il faudra consentir au niveau technologique, cela nécessitera beaucoup de courage pour faire comprendre et accepter les mesures très perturbantes et contraignantes qui seront nécessaires.
- b. Un système permettant d'assurer un coût minimum significatif de la tonne de CO₂ émise (de l'ordre de 50 €/TCO₂) et son accroissement régulier pour l'ensemble des émetteurs, y compris les particuliers, constitue le principal incitant de cette révolution et sera l'arbitre de la configuration du secteur énergétique futur. Cela doit inévitablement aller de pair avec le mécanisme d'ajustement aux frontières que prépare actuellement l'UE. La mise en place d'une fiscalité « verte » est incontournable et la Belgique est largement en retard dans ce domaine.
- c. Comme rappelé au début de cette note, la 1^{ère} priorité est de diminuer drastiquement notre besoin en énergie (efficacité et sobriété), ce qui exige
 - i. des investissements très importants pour atteindre une efficacité maximum (habitat, transport, industrie) avec des opportunités importantes pour nos entreprises et la création de nombreux emplois. Les aides publiques devraient donc être destinées prioritairement à ces actions sur base de leur impact.
 - ii. des changements comportementaux et culturels majeurs pour tendre vers la sobriété énergétique qui devra passer par une remise en cause de notre société de consommation outrancière et le questionnement d'une certaine fuite en avant technologique.
- d. Décarboner notre système énergétique que ce soit à court (2030) ou moyen terme (2050) et sortir du nucléaire sont deux objectifs totalement contradictoires, voire incompatibles.⁴⁸ Selon une étude récente et approfondie de la FABI⁴⁹ basée sur divers scénarios excluant l'importation d'énergie décarbonée, moyennant des investissements considérables et des changements comportementaux majeurs mais difficilement crédibles, les objectifs de décarbonation peuvent être approchés mais sont impossibles à atteindre en cas de sortie totale du nucléaire. Ce 11/08/2021, la Commission de l'ONU chargée de ces sujets vient de publier cette conclusion principale : « Les objectifs

⁴⁸ J. Marlot, communication privée. En 2019, l'émission de CO₂ du système électrique belge était de 15,6 MTCO₂ dont 84% provenant des actuelles centrales au gaz. La fermeture des 7 centrales nucléaires belges, malgré le doublement de la capacité PV et éolien, amènerait à un accroissement annuel de 13,6 MTCO₂, accroissement qui serait limité à 7 MTCO₂ en cas de maintien des 2 centrales les plus récentes.

⁴⁹ Fédération Royale d'Associations Belges d'Ingénieurs Civils, d'Ingénieurs Agronomes et de Bioingénieurs, <https://www.fabi.be/transition-energetique>

climatiques internationaux ne seront pas atteints si l'énergie nucléaire est exclue ». ⁵⁰

- e. Une loi de 2003 interdit l'installation de nouvelles capacités nucléaires, faisant fi des avancées dans la science et la technologie, et ne tenant pas compte des besoins urgents de suppression des gaz à effet de serre. Cette loi basée sur une appréhension aussi compréhensible que largement irrationnelle a engendré chez beaucoup une conception dogmatique dont les conséquences risquent d'être désastreuses pour la Belgique. Elle résulte d'un accord purement politique sans aucune étude de faisabilité. Elle devrait être abrogée et les décisions politiques à adopter devraient s'appuyer sur des considérations objectives, promues par la communauté scientifique compétente en la matière et priorisant l'urgence de la décarbonation rapide de notre système énergétique.
- f. Il faut garder le maximum de nos centrales nucléaires qui peuvent pour la plupart être encore prolongées d'une vingtaine d'années⁵¹, – bien entendu avec l'autorisation de l'agence fédérale de contrôle nucléaire, afin de maintenir le socle de production de base minimale. Alors, on pourra intégrer nos réacteurs nucléaires dans un mix énergétique durable en leur adjoignant une capacité d'électrolyse de production d'H₂. L'arrêt des centrales nucléaires belges ne serait pas une erreur mais une faute grave qui pourrait un jour être qualifiée de criminelle.
- g. En effet, l'arrêt de celles-ci nécessiterait de consacrer dès maintenant des montants colossaux pour leur démantèlement qui peut être très largement différé, et de consacrer en parallèle des investissements considérables pour installer des centrales au gaz, en contradiction formelle avec les recommandations du rapport du GIEC paru ce 09/08/2021, avec le facteur aggravant d'aides publiques en faveur d'une énergie fossile. La problématique climatique serait ainsi sacrifiée à l'atteinte d'une obsession datant d'une époque où le réchauffement climatique était encore largement nié.⁵²
- h. Il convient d'étudier dès maintenant le système énergétique du futur proche (de 2030 à 2050) en adjoignant aux capacités nucléaires classiques de nouvelles capacités nucléaires de type génération IV (percée technologique en termes de durabilité et sûreté) et SMR, inscrites dans l'évolution vers des réseaux plus décentralisés. Sur base de ces études, des décisions d'investissement doivent être prises au plus vite étant donné les délais nécessaires.

⁵⁰ <https://unece.org/climate-change/press/international-climate-objectives-will-not-be-met-if-nuclear-power-excluded>

⁵¹ Le délai nécessaire à l'installation d'une nouvelle capacité nucléaire est tel qu'il faut privilégier le maintien et la modernisation des capacités existantes.

⁵² La taxonomie européenne des investissements « verts » devrait inévitablement inclure le nucléaire et exclure le gaz, tout en acceptant de manière transitoire celui-ci pour des pays ne disposant pas ou peu de nucléaire et dépendant largement du charbon. Cette décision a été postposée suite à l'opposition de quelques pays anti-nucléaires avec l'appui de l'Allemagne qui a du mal à reconnaître l'erreur magistrale qu'elle a faite en décidant de sortir du nucléaire.

- i. L'étude d'une stratégie H2 au niveau belge dans le contexte européen devrait aussi être menée rapidement. En effet, indépendamment de l'effet de mode actuel, l'hydrogène et ses dérivés paraît devoir jouer un rôle clé dans le mix énergétique futur, nécessitant la prise en compte des réalités physiques, économiques, géostratégiques et des risques associés.
- j. Le développement des énergies renouvelables en général et des intermittentes en particulier doit être poursuivi de manière volontariste, en accordant une grande importance aux capacités de stockage (électrique et thermique) et en privilégiant l'autoconsommation des particuliers, des PME et des entreprises, basée sur des « micro-grids ». Tout investissement dans les énergies renouvelables et intermittentes devra s'accompagner obligatoirement d'un investissement proportionnel en capacité de stockage individuelle ou collective. L'octroi de subsides ou de certificats verts devrait être conditionné à cette obligation.
- k. Le renforcement de la stratégie énergétique européenne⁵³, les interconnexions des réseaux, l'intégration du système énergétique (électricité et gaz décarbonés, chaleur), la gestion de la demande, la numérisation etc. doivent être mises en œuvre au plus vite.
- l. Les choix technologiques et économiques à réaliser dans un système d'une aussi grande complexité, doivent être basés sur des modèles de simulation technico-économiques, dont la construction doit être poursuivie en y intégrant le nucléaire qui ne peut être exclu pour des motifs idéologiques.⁵⁴

⁵³ « L'avenir de l'Union Européenne », chapitre 7, L'environnement, le développement durable et la politique de l'énergie, pp. 63 à 70, Editions de l'Académie royale de Belgique (novembre 2017)

⁵⁴ Pour utiliser une terminologie en vogue, il est indispensable de construire un « jumeau numérique » de notre système énergétique, intégrant les exigences technologiques, les coûts associés et les émissions de CO2 qui en découlent. Cette démarche est en cours au sein du Joint Research Centre de la Commission Européenne.

<https://ec.europa.eu/jrc/en/scientific-tool/jrc-eu-times-model-assessing-long-term-role-energy-technologies>

Une application à la Belgique a été publiée en 2020. <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/1/261/htm>

Le projet fédéral EPOC est toujours en cours. <https://www.epocbelgium.be/en>

TABLE DES MATIERES

Remarque liminaire

p. 1

La position de la communauté scientifique et ses conséquences

p. 2

1. La 1^{ère} priorité est de diminuer drastiquement notre besoin en énergie (efficacité et sobriété),

p. 3

2. Il faut stopper d'urgence tout investissement dans l'énergie fossile,

p. 3

3. Le coût des énergies est in fine le facteur majeur qui décidera des évolutions.

p. 3

4. Quelques éléments à prendre en compte, souvent ignorés dans les débats !

p. 5

5. Les nouvelles énergies « vertes », PV et éolien, sont-elles LA solution ?

p. 8

6. De quelles capacités énergétiques indispensables doit-on disposer pour produire l'énergie électrique ?

p. 10

7. Quelle est la place que l'énergie nucléaire peut encore jouer ?

p. 11

8. Aspects géostratégiques

p. 15

9. CONCLUSIONS et RECOMMANDATIONS

p. 17