

Power System & Market Research group:

AVIS CRITIQUE SUR LA CONTRE-PROPOSITION DE REVOLHT À PROPOS DU PROJET "BOUCLE DU HAINAUT"

Rapport écrit

Auteurs (dans l'ordre alphabétique, chaque auteur ayant équitablement contribué) :

Ir A. Arrigo
Dr B. Bakhshideh Zad
Prof. Z. De Grève
Ir M. Hupez

e-mail : psmr.umons@gmail.com

15/09/2021

Table des matières

Table des matières	i
1. Contexte	1
1.1. Introduction	1
1.2. Besoin de capacité de transit de l'ouest vers le centre	1
1.3. Proposition d'Elia (Boucle de Hainaut + Ventilus)	3
1.4. Objectifs de la présente étude	3
1.5. Organisation de la présente étude	3
2. Alternatives au projet de la Boucle du Hainaut	4
2.1. Discussion sur la capacité de la ligne	4
2.2. Besoin de renforcement du réseau 150 kV en Hainaut	5
2.3. Choix technologique pour la nouvelle liaison haute tension	5
2.3.1. AC GIL	5
2.3.2. AC XLPE	5
2.3.3. DC GIL	6
2.3.4. DC XLPE	6
2.4. Conclusions	7
3. Alternatives aux projets Boucle du Hainaut + Ventilus	7
3.1. Motivation	7
3.2. La solution réseau maillé HVDC	7
3.3. La solution HVDC point à point	8
3.3.1. Considérations techniques	9
3.3.2. Considérations économiques	9
3.4. Conclusions	12
4. Conclusions générales	12
Références	13

1. Contexte

1.1. Introduction

Le paysage électrique belge fait face à des changements structurels et profonds liés aux objectifs climatiques et politiques. Dans cette optique, la Belgique cherche à exploiter son plein potentiel de production d'énergie renouvelable en favorisant de manière conséquente les investissements dans l'éolien en mer (du nord). D'autre part, la sortie du nucléaire est actée et prévue d'ici la fin 2025. La Belgique mettra ainsi à l'arrêt sept réacteurs nucléaires répartis sur deux sites, localisés respectivement au nord et à l'est du pays et totalisant une capacité de production d'environ 6 GW. Pour pallier à cette perte, les échanges avec les pays voisins seront augmentés et de nouvelles centrales au gaz devraient être installées via un mécanisme de CRM. Par conséquent, le futur réseau électrique belge accueillera un mix énergétique considérablement différent et verra des transits de puissance moyens distincts ; majoritairement depuis l'ouest vers le centre et l'est du pays.

1.2. Besoin de capacité de transit de l'ouest vers le centre

Dans le contexte décrit ci-dessus et afin de répondre au problème d'adéquation provenant de la sortie du nucléaire, il est donc nécessaire de planifier un renforcement de la capacité de production ainsi que de renforcer les interconnexions avec les pays limitrophes. Les renforcements et nouvelles installations prévus à l'horizon 2030 sur la côte belge sont les suivants :

- Eolien offshore (en mer du nord) : de 2,3 GW (MOG 1) à 4,4 GW (MOG 1 + MOG 2),
- Interconnexion avec la France (liaison Avelin – Avelgem) : de 1,6 GW à 3,5 GW,
- Nouvelles interconnexions : jusqu'à 2 GW,
- Productions onshore sur la côte : jusqu'à 0,6 GW.

Ces projets de renforcements augmenteront inévitablement les transits d'énergie depuis l'ouest vers le centre du pays. La Figure 1 illustre cette augmentation pour différents scénarios projetés par Elia [1]. Nous constatons qu'il existe un besoin de transit de plus de 9 GW de l'ouest vers le centre et que :

- plus de 3 GW de transit est requis 30-50 % du temps ;
- plus de 6 GW de transit est requis 1-10 % du temps ;
- plus de 7 GW de transit est requis 0-5 % du temps.

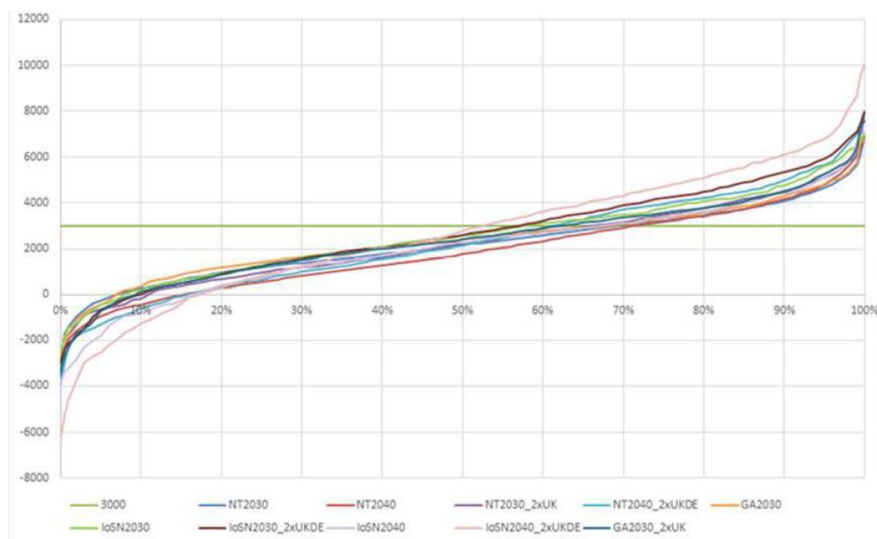


Figure 1 Flux de l'ouest vers le centre selon divers scénarios à l'horizon 2050 [1]

En considérant la topologie actuelle du réseau haute tension 380 kV (cf. Figure 2), on constate que ces flux de puissance de l'ouest vers le centre doivent être évacués via deux lignes se trouvant entre les postes Stevin et Horta, et entre Horta et Mercator. Ces liaisons seront très prochainement capable de transiter jusqu'à 6 GW par 2 circuits (ternes) de 3 GW de capacité chacun. Afin de garantir une conduite sûre du réseau électrique, la règle « N-1 » est généralement adoptée. Celle-ci prévoit que le réseau doit être capable de poursuivre son fonctionnement normal à tout moment suite à la perte d'un élément important du réseau. En appliquant cette règle, la ligne Horta-Mercator est susceptible d'être limitée à 3 GW de capacité maximale par la perte d'un terne.



Figure 2 Réseau de transport belge et son évolution à l'horizon de 2030 [2]

1.3. Proposition d'Elia (Boucle de Hainaut + Ventilus)

Au vu des nouvelles exigences de capacité de transit supplémentaire comme décrit ci-avant et conformément à l'avis de CREG¹ (Commission de Régulation de l'Électricité et du Gaz en Belgique), Elia a envisagé de construire un nouveau corridor haute tension de 380 kV par voie aérienne entre Stevin et Courcelles s'articulant en deux projets [2-3] :

- Projet « Ventilus » : il consiste en la construction d'une ligne aérienne entre les postes de Stevin et Avelgem d'une capacité de transit de 6 GW, composée de 2 circuits de 3 GW chacun.
- Projet « Boucle du Hainaut » (BDH) : il consiste en la construction d'une ligne aérienne entre les postes d'Avelgem et Courcelles d'une capacité de transit de 6 GW, composée de 2 circuits de 3 GW chacun.

Le choix technologique adopté pour ces deux projets (une ligne aérienne 380 kV en courant alternatif) est étudié, argumenté et expliqué dans les documents publiés par Elia et par l'expert externe [1-4].

1.4. Objectifs de la présente étude

La présente étude a pour but d'analyser la contre-analyse et les contre-propositions formulées par l'ASBL REVOLHT au sujet du projet BDH tel qu'envisagé par Elia au 1^{er} juin 2021. Cette étude ne vise donc pas à réaliser des calculs extensifs, tels que des calculs d'écoulements de charge (« load flows ») ou encore des analyses de risque. Elle analyse plutôt le bien-fondé de la méthodologie des propositions formulées par REVOLHT en se basant sur les informations et les documents qui sont publiquement disponibles. En outre, elle discute la faisabilité technique et donne une appréciation financière des alternatives proposées au nouveau corridor 380 kV tel qu'envisagé par les projets BDH et Ventilus.

1.5. Organisation de la présente étude

La suite de ce rapport est organisée comme suit :

- la Section 2 a pour objet l'étude des différentes alternatives au projet BDH seul, en se basant sur le besoin de capacité de transit ainsi que le choix technologique adopté par Elia ;

¹ "S'agissant du nouveau corridor Avelgem-centre, le principal intérêt serait de créer une capacité supplémentaire pour le transport de la production éolienne offshore, combinée à des importations en provenance du Royaume-Uni (jusqu'à 3,5 GW conjointement) et à des importations en provenance de France (jusqu'à 3,5 GW), alors que le seul axe 380 kV entre l'ouest et l'est du pays est la liaison 3 GW (N-1) entre Horta et Mercator. Par ailleurs, ce nouveau corridor améliore la fiabilité du réseau. Elia propose de prévoir dans ce cadre une capacité de transport physique d'au moins 6 GW, ce qui correspond à la capacité physique d'Horta-Mercator après le renforcement déjà prévu du réseau au moyen de conducteurs HTLS. La CREG est d'accord avec la nécessité et la proposition de ce nouveau corridor, à moins qu'il n'existe des alternatives passant par un renforcement du réseau 220 kV, qui pourraient avoir un effet identique en matière de capacité d'accueil et de fiabilité", [Plan de développement fédéral 2020-2030].

- dans la Section 3, ce sont les alternatives au projet conjoint Ventilus+BDH qui sont évaluées. La faisabilité technique et une appréciation financière des alternatives en courant continu (DC) suggérées par REVOLHT sont commentées.
- enfin, les principaux messages de cet avis sont mis en évidence dans la Section 4.

2. Alternatives au projet de la Boucle du Hainaut

Cette section se focalise sur les potentielles alternatives techniques au projet de la Boucle du Hainaut (BDH) pris seul et sans le remettre en question. L'approche alternative plus globale proposée par REVOLHT pour la combinaison Ventilus + BDH fera l'objet de la Section 3.

Plus particulièrement, la justification de la capacité de la ligne prévue par BDH est discutée à la Section 2.1, alors que la Section 2.2 se penche sur les besoins hennuyers en termes de renforcements du réseau. Les alternatives technologiques en câbles souterrains pour la BDH sont discutées à la Section 2.3. Enfin, les conclusions sont tirées à la Section 2.4.

2.1. Discussion sur la capacité de la ligne

A partir des analyses réalisées par Elia ainsi que les scénarios considérés dans la Figure 1, nous constatons qu'il y a un besoin de transit de plus de 3 GW de l'ouest vers le centre du pays, entre 30 et 50% du temps. Autrement dit, à l'horizon 2030, avec la seule voie actuelle de transit de l'ouest vers le centre comprenant deux circuits de 3 GW, il sera impossible de respecter le critère « N -1 » pour 30% à 50% du temps. Il y a donc un réel besoin pour une capacité de transit supplémentaire de l'ouest vers le centre du pays, à l'horizon 2030.

Elia évalue ce besoin à 6 GW. Cependant, les hypothèses sous-jacentes à la génération des scénarios présents à la Figure 1 peuvent avoir un impact significatif sur la capacité de la ligne envisagée. Parmi les considérations majeures pouvant induire une modification dans la génération de ces scénarios figurent, entre autres :

1. La prise en compte de la construction des nouvelles centrales TGV (Vilvoorde, Tessenderlo, Manage, Seraing),
2. La prise en compte du niveau de charge réglable du lien NEMO et d'autres interconnecteurs en courant continu HVDC contrôlables,
3. La mise en comparaison des coûts induits par le délestage de diverses charges électriques (« curtailment ») avec le surcoût lié à un renforcement de la capacité,
4. La prise en compte de nouvelles technologies offrant davantage de flexibilité (P2G², DSM³, iLand⁴, etc.).

Une clarification de ces considérations est nécessaire à la bonne interprétation de la Figure 1 et donc à l'évaluation du besoin réel de capacité. En outre, l'évaluation fine du besoin nécessite des calculs d'écoulement de charge poussés qui intégreraient les considérations pertinentes.

² P2G: Power-to-gas.

³ DSM: Demand-side management.

⁴ iLand : multifunctional energy storage island project

Il est toutefois peu probable, même en intégrant la plupart de ces considérations, que le besoin soit inférieur à 3-4 GW. Un projet de renforcement de la capacité actuelle apparaît donc justifié.

2.2. Besoin de renforcement du réseau 150 kV en Hainaut

Dans cette section, nous discutons le besoin d'un éventuel renforcement du réseau en Hainaut. En effet, 400 MW supplémentaires sont d'ores et déjà très probablement nécessaires dans le parc d'activité économique (PAE) de Baudour. D'autre part, une demande croissante est attendue dans les autres PAE du Hainaut occidental. Il est attendu que le réseau 150 kV hennuyer fonctionne à pleine capacité afin de satisfaire ces nouvelles demandes.

La Boucle du Hainaut permettrait d'offrir des injections supplémentaires pour le réseau 150 kV régional.

Les possibilités d'adaptation du 150 kV sans injection supplémentaire sont à vérifier par calcul d'écoulement de charge. Dans l'hypothèse où le réseau 150 kV hennuyer pourrait être adapté et satisfaire la demande à lui seul, le potentiel de développement économique futur serait toutefois probablement limité. D'autre part, le seul renforcement du 150 kV ne résoudrait que des problèmes locaux. Insistons encore que ces affirmations doivent faire l'objet d'une vérification par calcul d'écoulement de charge.

2.3. Choix technologique pour la nouvelle liaison haute tension

Dans cette section, nous parcourons les technologies de câbles souterrains existantes et donnons un avis sur la possibilité d'envisager celles-ci dans le cadre du projet Boucle du Hainaut.

2.3.1. Technologie en courant alternatif (AC) GIL

La technologie à courant alternatif (AC) GIL (Gas Insulated Lines) correspond à placer des conducteurs dans des conduits de plus grand diamètre remplis de gaz isolant électriquement. Ces câbles sont, à l'heure actuelle, utilisés sur de courtes distances à l'intérieur de zones urbaines ou industrielles denses. En outre, ils ont l'avantage de générer un faible champ électrique et magnétique.

On trouve parmi les exemples d'utilisation de cette technologie, les liaisons suivantes [5-6] :

1. *ElecLink* : Liaison de 230 m, 420 kV, 1000 MVA (Grande Bretagne, 2017)
2. *Nagoya* : Liaison de 3.3 km, 275 kV, 2850 MVA (Japon, 1998)
3. *Les trois gorges* : Liaison de 12.5 km, 550 kV, 3900 MVA (Chine, 2013)

D'une part, toutes ces liaisons n'ont été réalisées que sur de faibles distances. D'autre part, le gaz utilisé est principalement de l'hexafluorure de soufre (SF₆), un gaz à effet de serre à très haut potentiel de réchauffement global, souvent utilisé comme gaz isolant.

L'absence de maturité de la technologie sur de longues distances ainsi que l'impact environnemental des gaz utilisés rendent l'utilisation des liaisons AC GIL peu, voire pas réaliste, dans le cadre du projet Boucle du Hainaut.

2.3.2. Technologie en courant alternatif (AC) XLPE

La technologie à courant alternatif XLPE (Cross-Link Polyethylene) correspond à un câble, généralement souterrain, isolé au moyen d'une gaine en polyéthylène qui offre des propriétés diélectriques intéressantes.

On trouve parmi les exemples d'utilisation de cette technologie, les liaisons suivantes [5] :

1. Randstad : Liaison de 10 km en câbles, 380 kV (Pays-bas, 2019)
2. Wesel – Dörpen : Liaison de 3.4 km en câbles, 380 kV (Allemagne, 2022)
3. Stevin : Liaison de 10 km en câbles, 380 kV (Belgique, 2017)

Les câbles AC XLPE, connaissent actuellement une baisse de leurs coûts de production. Néanmoins, l'application d'une telle technologie sur de longues distances pose encore de nombreux défis. La nécessité d'introduire des bobines inductives en parallèle de la ligne (Shunt Reactor) afin de compenser la puissance réactive provoque des problèmes de résonance. Au vu de la distance envisagée pour le projet BDH, il est peu réaliste ou recommandé d'y avoir recours à moins de ne l'utiliser que sur certains tronçons.

2.3.3. Technologie à courant continu (DC) GIL

Les câbles à courant continu (DC) GIL (Gas Insulated Lines) sont similaires aux câbles AC GIL, à ceci près qu'ils sont parcourus par un courant continu.

Les exemples d'utilisation de cette technologie sont inexistant à l'heure actuelle. En effet, cette technologie est en phase TRL 4-5 (tests en laboratoires). Ils ne sont donc pas une véritable option dans le cadre du projet de la Boucle du Hainaut.

2.3.4. Technologie à courant continu (DC) XLPE

Les câbles à courant continu XLPE sont utilisés pour la plupart des liaisons HVDC (High-Voltage Direct Current). Les propriétés isolantes du polyéthylène offrent à cette technologie des propriétés thermiques et électriques intéressantes (par exemple, en termes de capacité maximale).

On trouve parmi les exemples d'utilisation de cette technologie, les liaisons suivantes [5] :

1. *ALEGrO* : Liaison de 90 km en câbles couplant les réseaux allemand et belge, 320 kV, 1 GW de capacité (Belgique, 2020),
2. *SuedOstLink* : Liaison de 500 km, 525 kV, 2 GW de capacité (Allemagne, 2025). Un projet d'une telle envergure utilisant cette technologie est une première mondiale. Le coût total du projet est estimé à 5 G€,
3. *Baixas – Santa Llogaia* : Liaison de 65 km visant à interconnecter les réseaux français et espagnol, 2 GW (Espagne-France, 2015). Cet ouvrage est pionnier dans ce domaine et les coûts répercutés s'élèvent à 700 M€.

Bien que cette technologie soit assez récente, certains projets d'envergure commencent à voir le jour. Les coûts inhérents à ce type de câble restent plus élevés, comparativement aux lignes aériennes à courant alternatif (en particulier par le coût des convertisseurs à chaque extrémité de la ligne). Cette technologie de câbles HVDC XLPE semble envisageable pour le projet Boucle du Hainaut, bien que restant hors du commun pour une interconnexion nationale onshore sur une si faible distance.

2.4. Conclusions

Nous résumons ci-dessous les principaux points discutés au long de cette section :

- Il est peut-être possible de réduire le besoin de BDH mais peu réaliste de s'en passer tout court.
- La technologie GIL n'est pas une option viable sur une telle distance (coût, faisabilité, environnement...).
- La technologie en courant continu (HVDC) est une solution alternative mais elle est chère au vu de la distance envisagée.
- Le réseau 150 kV hennuyer peut éventuellement (à vérifier par calculs d'écoulement de charge) se passer d'une injection supplémentaire (depuis BDH) mais cela limiterait le potentiel de développement économique régional et ne résoudrait que des problèmes locaux.

3. Alternatives aux projets Boucle du Hainaut + Ventilus

3.1. Motivation

Dans cette section, nous envisageons les contre-propositions émises par REVOLHT, en ce qui concerne les projets Boucle du Hainaut et Ventilus combinés. Ces deux projets ont, en effet, un objectif commun : celui de pouvoir faire transiter de grandes quantités d'énergie d'ouest en est. Penser ces deux projets d'une manière globale permet intuitivement d'évaluer la faisabilité des technologies envisagées à la Section 2, sur de plus longues distances (environ 150 km). En particulier, les solutions en courant continu (HVDC) XLPE deviendraient plus justifiables sur de telles distances. En outre, les contre-propositions aux deux projets, permettent de soulever des points d'attention dans une perspective plus globale.

Dans cette direction, on identifie deux philosophies principales dans les contre-propositions émises par REVOLHT. La première envisage un réseau maillé HVDC en Belgique, la seconde s'attelle à une solution HVDC point à point. Ces deux solutions sont discutées, respectivement, aux Sections 3.2 et 3.3.

3.2. La solution réseau maillé en courant continu (HVDC)

Le réseau maillé HVDC permet d'interconnecter plusieurs nœuds du réseau haute tension Elia, de manière redondante, comme illustré à la Figure 3 Exemple de solution HVDC réseau maillé.

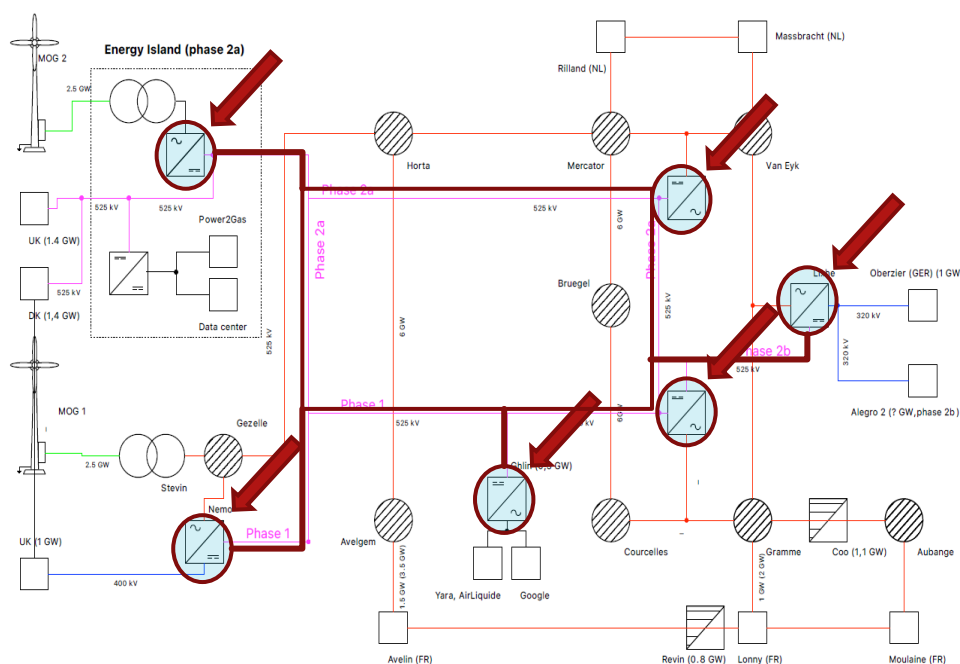


Figure 3 Exemple de solution HVDC réseau maillé

On observe d'emblée plusieurs points d'attention d'ordre technique à ce type de technologie.

Premièrement, la vitesse de propagation des défauts est beaucoup plus rapide dans ce type de réseau à courant continu [7-9]. L'élimination des défauts devient, par conséquent, plus ardue et nécessite des techniques de protection des réseaux maillés HVDC, qui n'ont pas encore été explorées de manière avancée.

Deuxièmement, le contrôle du réseau est plus complexe [8]. La coordination entre les convertisseurs AC/DC et les protections nécessite le développement de connaissances particulièrement pointues.

À l'heure actuelle, ces configurations sont encore au stade de recherche et/ou démonstrateur. Un projet pilote de ce type de réseau existe à Zhangbei (648 km de lignes aériennes, 4.5 GW) [10].

Au vu des incertitudes liées au faible retour d'expérience sur les configurations multi-terminales HVDC maillées, ce type de configuration reste techniquement très ambitieux dans le cadre des projets Boucle du Hainaut + Ventilus.

3.3. La solution en courant continu (HVDC) point à point

D'autres configurations envisagées par REVOLHT consistent en des lignes HVDC « point à point ». Ces solutions permettent notamment de connecter deux nœuds du réseau haute tension d'Elia. Des points de prélèvement sont envisageables le long de cette liaison, moyennant l'installation de convertisseurs de puissance supplémentaires. Un exemple de ces configurations est repris à la Figure 4 Exemple de configuration HVDC point à point.

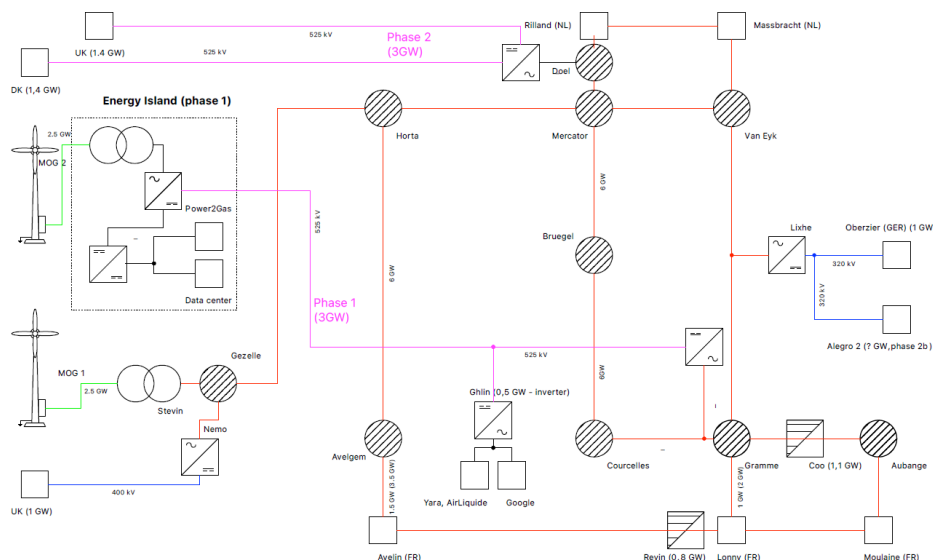


Figure 4 Exemple de configuration HVDC point à point

3.3.1. Considérations techniques

Une analyse technique détaillée de tous les scénarios (par calculs extensifs) envisagés par REVOLHT dépasse le cadre de la présente étude. Nous soulignons ci-après quelques points d'attention à apporter à l'élaboration de ces scénarios :

1. Il existe peu d'interfaces de consommation dans certains scénarios. Par exemple, dans le cas où la liaison HVDC serait connectée à deux convertisseurs de consommation (1 GW d'injection hennuyère et 1 GW à ALEGrO), la puissance générée à la côte peut-elle être évacuée en suffisance ? Notons que les interconnecteurs NEMO et/ou ALEGrO pourraient ne pas être activables.
2. Dans certains scénarios, 3 à 5 GW devraient potentiellement être évacués sur un point de sortie 380 kV. Est-ce soutenable pour le réseau aval ?
3. L'injection hennuyère pourrait être fortement dépendante de la production éolienne en mer dans certains scénarios.

3.3.2. Considérations économiques

Dans cette section, nous faisons une évaluation financière à haut niveau de la solution point à point. Dans ce but, nous évaluons le coût total par km.GW de la solution initiale envisagée par Elia et celui de l'alternative point à point suggérée par REVOLHT.

Le coût total des projet BDH et Ventilus est estimé à 958 M€ pour une capacité de 6 GW et une longueur de 170 km. Cela signifie que le coût total par km.GW de cette liaison par voie aérienne et courant alternatif est égale à 0,94 M€/km.GW (cf. Tableau 1 ci-dessous).

Le coût total de solution point à point par le câble souterrain en courant continu (HVDC) est estimé par REVOLHT à environ 2228 M€ pour une longueur de 250 km et une capacité de 5 GW. Ce calcul est détaillé à la Figure 5. Par conséquent, le coût total par km.GW de cette alternative s'élève à 1,78 M€/km.GW.

CAPEX (phase 1)	2 VSC 2GW + 1 VSC 0.5MW	540 M€
	Câble HVDC 525 kV (bipôle, 250 km)	500 M€
	Gestion de projet et contingence (20%)	260 M€
	Frais de procédure et indemnisations	71 M€
	Total (phase 1)	1370 M€
	Total annualisé (phase 1)	38 M€/an
CAPEX (phase 2)	2 VSC 3GW	436 M€
	Câble HVDC 525 kV (bipôle, 250 km)	250 M€
	Gestion de projet et contingence (20%)	172 M€
	Frais de procédure et indemnisations	0 M€
	Total (phase 2)	858 M€
	Total annualisé (phase 2)	24 M€/an
CAPEX	Total (phase 1 + phase 2)	2228 M€
	Total annualisé (phase 1 + phase 2)	62 M€/an
OPEX	Pertes	13 M€/an
	Maintenance	13 M€/an
	Total	26 M€/an
	<i>Surcoût par ménage par rapport à la solution de référence</i>	2,64 €/an

Tableau 4: CAPEX-OPEX Option 4a

Figure 5 Estimation de coût de solution point à point [11]

Il est important de noter que dans les projets existants se basant sur la technologie HVDC en câbles souterrains onshore, on observe des coûts plus élevés que celui estimé par REVOLHT. Ainsi, le coût du projet SuedOstlink en Allemagne [12] dont la longueur est de 500 km et dont la capacité est de 2 GW est estimé à 5 G€. Ce qui correspond à 5 M€/km.GW.

Tableau 1: comparatif de plusieurs projets

Projet	Distance [km]	Capacité [GW]	Coût total [M€]	Coût par [km.GW]
Ventilus + BDH aérien	170	6	958	0,94
Ventilus + BDH HVDC	250	5	2228	1,78
SuedOstlink	500	2	5000	5,00
ALEGrO	90	1	500	5,56

Enfin, l'interconnecteur ALEGrO [13] qui vient d'être inauguré par Elia et son homologue allemand a coûté 500 M€ pour 90 km et 1 GW de capacité. Cela correspond à 5,56 M€/km.GW. Ces deux projets, assez similaires à celui de Ventilus + BDH, apparaissent comme de bonnes références. Bien qu'il semble que le chiffre avancé par REVOLHT soit optimiste en comparaison à ces références, certains coûts fixes peuvent toutefois faire baisser ce prix moyen (e.g., possibilité d'utiliser une même tranchée pour plusieurs câbles).

Par conséquent, on peut conclure que le coût de la solution HVDC est clairement plus élevé que la solution par voie aérienne en courant alternatif. Un facteur d'augmentation compris entre

≈ 2 , qui semble être une estimation optimiste, et ≈ 5 est à attendre dans la comparaison économique entre la solution initiale et l'alternative HVDC point à point.

Toutefois, le coût d'une solution en courant continu HVDC est fortement dicté par le coût des stations de conversion AC/DC et, ce, d'autant plus sur de courtes distances. Ce coût peut par conséquent être réduit de manière significative si dans les projets initiaux, ces mêmes stations de conversion sont utilisées et étaient d'ores et déjà prévues au budget.

3.4. Conclusions

La solution en courant continu HVDC réseau maillé (multi-terminal) est techniquement très ambitieuse. Étant donné le peu d'expériences avec cette technologie dans le monde, l'incertitude et les questions autour de cette solution qui sont nombreuses, une telle application est donc peu recommandable à ce stade.

Cependant, une solution intégrée en courant continu HVDC est potentiellement envisageable en point à point moyennant les points d'attention suivants :

- S'assurer de la possibilité d'évacuer l'énergie transitée d'ouest en est par les réseaux régionaux (congestions, stabilité etc.),
- S'assurer de la possibilité d'échanger la pleine capacité avec la France (via Avelgem),
- Vérifier l'impact de nouvelles liaisons HVDC sur la congestion des lignes existantes, e.g., Horta-Mercator,
- Vérifier l'impact de cette liaison HVDC sur la stabilité d'ensemble du réseau électrique belge,
- Etudier la faisabilité de la protection de la liaison HVDC (particulièrement, en présence d'un poste injecteur supplémentaire),
- S'assurer de la sécurité d'alimentation aux postes se trouvant dans les PAE de Ghlin et Baudour.

Afin de pouvoir évaluer ces points d'attention, il serait nécessaire de procéder à des études détaillées qui tiennent compte de toutes les données du réseau électrique belge. Au-delà de ces aspects techniques, une évaluation financière de haut niveau montre que la solution en courant continu HVDC point à point apparaît plus coûteuse que la solution aérienne en courant alternatif.

4. Conclusions générales

Dans la présente étude, les différentes alternatives au projet Boucle du Hainaut formulées dans la contre-proposition de REVOLHT ont été analysées. Cette analyse s'est basée sur la faisabilité technique et l'appréciation de l'impact financier.

Parmi les différentes solutions émises par REVOLHT, la solution en courant continu HVDC « point à point » apparaît comme l'alternative la plus intéressante. Cette alternative engendre cependant des surcoûts à ne pas négliger. Ceux-ci doivent être mis en balance avec les bénéfices pour la société afin de juger de l'intérêt de la solution. Dans l'affirmative, il conviendrait de l'investiguer de manière plus approfondie et par des calculs extensifs d'écoulement de charge afin de la valider techniquement.

Références

- [1] Jing Dai, « Avis sur la nécessité d'une nouvelle liaison à 380 kV entre Avelgem et Courcelles », Janvier 2021.
- [2] « Boucle du Hainaut objectifs du projet et besoins auxquels il répond », Elia, Mai 2021.
- [3] « La boucle du Hainaut dossier de base », Elia.
- [4] Jing Dai, « Avis sur le choix technologique de la liaison boucle du Hainaut », Janvier 2021.
- [5] ENTSO-E Technopedia, accessible : <https://www.entsoe.eu/Technopedia/>
- [6] T&D world, « Siemens Completes the World's Longest and Highest-Capacity GIL Connection in China », accessible : <https://www.tdworld.com/overhead-transmission/article/20963573/siemens-completes-the-worlds-longest-and-highestcapacity-gil-connection-in-china>
- [7] Li, B., He, J., Li, Y. et al. A review of the protection for the multi-terminal VSC-HVDC grid. Prot Control Mod Power Syst 4, 21 (2019).
- [8] Jun Liang, Oriol Gomis-Bellmunt, Janaka Ekanayake, Nicholas Jenkins, Wen An, A multi-terminal HVDC transmission system for offshore wind farms with induction generators, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 43, Issue 1, 2012, Pages 54-62.
- [9] S. Le Blond, R. Bertho, D.V. Coury, J.C.M. Vieira, Design of protection schemes for multi-terminal HVDC systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 56, 2016, Pages 965-974
- [10] <https://new.abb.com/news/detail/10464/abb-enables-worlds-first-hvdc-grid-in-china>
- [11] Estimation de coût de solution point à point (document interne REVOLHT)
- [12] Press release May 2021, TenneT: <https://www.tennet.eu/news/detail/suedostlink-orders-placed-for-converters-near-landshut-and-magdeburg/>
- [13] <https://www.revolution-energetique.com/alegro-cette-nouvelle-interconnexion-entre-la-belgique-et-lallemagne-reduit-le-risque-de-blackout/>