



Cartographie du potentiel de stockage d'énergie par pompage-turbinage en Région Wallonne

Rapport final

22/07/2024

En partenariat avec :



ICEDD



Pour le compte de :



Avec le soutien de :

Avec le soutien de la



Colophon

Titre du document

Cartographie du potentiel de stockage d'énergie par pompage-turbinage en Région Wallonne

Auteurs

François RIDREMONT – fri@icedd.be

François TAMIGNEAUX – fta@icedd.be

Sébastien ERPICUM – s.erpicum@uliege.be

Patrick HENDRICK – patrick.hendrick@ulb.be

Personnes de contact

François TAMIGNEAUX – fta@icedd.be

Sébastien ERPICUM – s.erpicum@uliege.be

Patrick HENDRICK – patrick.hendrick@ulb.be

Suivi des versions du document

Date	Versions	Commentaires
09/02/2024	V1.0	Livrable intermédiaire Phase 1
18/06/2024	V2.0	Livrable intermédiaire consolidé des phases 1 amendée et phase 2
22/07/2024	V3.0	Livrable final comprenant les phases 1, 2 et 3

Documents complémentaires au rapport

- Fichier Excel compilant les caractéristiques techniques des 33 sites préférentiels
- Différentes couches cartographiques associées aux 33 sites préférentiels

Etude réalisée avec le soutien du **Plan de Relance de la Wallonie** et de **Circular Wallonia**.



Table des matières

Table des matières	1
Liste des acronymes	5
Glossaire	6
PARTIE A : Introduction	7
PARTIE B : Critères et contraintes	10
1. Critères de rentabilité	11
2. Critères physiques	13
1.1. Energie et puissance	13
1.2. Topographie	14
1.3. Résumé	14
1.4. Traduction cartographique	14
3. Contraintes d'exclusion	15
3.1. Revue de littérature	15
3.2. Liste de contraintes d'exclusion	18
3.2.1. Conservation de la nature	18
3.2.1.1. Natura 2000	18
3.2.1.2. Réserves naturelles et forestières	19
3.2.1.3. Zones humides d'intérêt biologique (ZHIB)	19
3.2.1.4. Cavité souterraine d'intérêt scientifique (CSIS)	19
3.2.2. Affectation réglementaire du plan de secteur	20
3.2.2.1. Zone d'habitat	20
3.2.2.2. Zone d'espaces verts, naturelle, de parc et forestière	20
3.2.2.3. Zone agricoles	21
3.2.2.4. Autres affectations	21
3.2.2.5. Périmètres de protection	22
3.2.3. Autres éléments naturels	22
3.2.4. Patrimoine	22
3.2.4.1. Bâti	22
3.2.4.2. Biens classés et zones de protection	22
3.2.5. Sols et sous-sols	23
3.2.5.1. Zone de prise d'eau et de prévention de captage	23
3.2.5.2. Zone karstique	23
3.2.5.3. Mines et carrières	24
3.2.6. Zones militaires	24

3.2.7. Proximité des réseaux des principales infrastructures de communication et de transport de fluide et d'énergie	25
3.2.7.1. Principales infrastructures de communication	25
3.2.7.2. Principales infrastructures de transport de fluide et d'énergie.....	25
3.2.8. Synthèse des contraintes d'exclusion et autres informations complémentaires	26
3.2.9. Sources de données complémentaires	28
3.3. Traduction cartographique	28
4. Priorisation des sites	28

PARTIE C : Cartographie des sites potentiels	29
---	-----------

1. Méthodologie	30
1.1. Introduction	30
1.2. Description des étapes	30
1.3. Solutions techniques	39
2. Résultats	39
2.1. Résultats en quelques chiffres et graphiques.....	39
2.2. Carte de distribution des sites potentiels	44
3. Discussion et recommandations.....	47

PARTIE D : Caractérisation technico-économique des principaux sites potentiels	48
---	-----------

1. Introduction	49
2. Fiches de visite des sites	50
2.1. Site 1 - Maboge.....	50
2.2. Site 2 - Poulseur	55
2.3. Site 3 - Bouillon.....	60
2.4. Site 4 – Nisramont amont	65
2.5. Site 5 – Anthisnes amont	71
2.6. Site 6 - Plaineveaux	76
2.7. Site 7 - Bohan	81
2.8. Site 8 - Monsin Aval.....	86
2.9. Site 9 – Nisramont aval.....	90
2.10. Site 10 - Anseremme Aval	94
2.11. Site 11 - Anthisnes	100
2.12. Site 12 - Anseremme Amont.....	104
2.13. Site 13 - Yvoir	112
2.14. Site 14 - Monsin Amont.....	119
2.15. Site 15 - Hermalle Sous Huy.....	124
2.16. Site 16 - Leffe	129

2.17.	Site 17 - Liège Est	135
2.18.	Site 18 - Ambly	141
2.19.	Site 19 – Beausaint	145
3.	Evaluation globale des sites visités	149
PARTIE E : Conclusion		151
Annexes		153

Liste des tableaux

Tableau 1 : Contraintes identifiées dans la revue de littérature	16
Tableau 2 : Synthèse des contraintes d'exclusion et autres informations complémentaires.....	27
Tableau 3 : Synthèse des caractéristiques des 19 sites visités	150

Liste des figures

Figure 1 : Schéma méthodologique de l'approche cartographique appliquée à la recherche des sites potentiels d'implantation de STEP en Wallonie.....	30
Figure 2 : Sous-zones de découpage du territoire wallon (nuances de bleu). En orange, les zones de chevauchement.....	32
Figure 3 : Illustration de la superposition de l'ensemble des groupes thématiques de contraintes sur le territoire wallon. En couleur, les contraintes « Plan de secteur (jaune et orange), « DGRIM, Eau, Nature et Patrimoine » (brun), « Ponts et Chaussées » (gris), « Rail » (noir) et « Bâtiments » (bleu). En blanc, les zones résiduelles hors contrainte ou zones blanches primaires.....	32
Figure 4 : Illustration de la combinaison des contraintes (à gauche) et de l'extraction des zones blanches primaires (à droite) dans la vallée de la Meuse à l'est de la ville de Namur.....	33
Figure 5 : Exemples du phénomène de rognage par les couches de contraintes sur les zones d'intérêt prioritaire. Rail en noir, Ponts et Chaussées en gris, Voie navigable en bleu (Meuse) et Rognages pointés en orange.	34
Figure 6 : Illustration des zones blanches primaires (à gauche) et l'addition des zones d'intérêt prioritaire (à droite – en orange) dans la vallée de la Meuse à l'est de la ville de Namur.	34
Figure 7 : Illustration des zones blanches secondaires brutes (à gauche) et des zones blanches secondaires résiduelles après filtration sur base du seuil de superficie ($\geq 1\text{ha}$) dans la vallée de la Meuse à l'est de la ville de Namur.....	35
Figure 8 : Illustration de combinaisons 2 à 2 constituant des systèmes fermé (gauche), semi-ouvert (centre) ou ouvert (droite).	36
Figure 9 : Illustration du principe de liaison multiple vers les tronçons d'un même segment de voies navigables.	36
Figure 10 : Illustration des zones blanches filtrées sur base de leur superficie (à gauche en vert) et des zones blanches considérées comme bassin de sites potentiels après analyse combinatoire (à droite en rouge).	37
Figure 11 : Illustration de la répartition des valeurs de superficie des sites en cinq classes sur base des limites des quantiles (20, 40, 60 et 80) en surimposition de la monotone des superficies.....	38
Figure 12 : Illustration de la progression du travail de sélection des sites d'intérêt au fil du processus d'analyse et de validation. (les cases flottantes à droite reprennent les occurrences relevées).....	40
Figure 13 : Illustration de la distribution des combinaisons 2 à 2 selon la hauteur de chute et la distance horizontale. Seules les combinaisons présentant une hauteur de chute supérieure à 25m et un ratio Hc/Dh inférieur à 15 sont retenues. En surimpression les droites des ratios 10 et 15.	41
Figure 14 : Illustration de la distribution des combinaisons 2 à 2 selon la hauteur de chute et le ratio Hc/Dh . Seules les combinaisons présentant une hauteur de chute supérieure à 25m et un ratio Hc/Dh inférieur à 15 sont retenues. En surimpression : cadre vert, les limites de la zone cible ($Hc \geq 50\text{m}$ et $R \leq 10$) ; point jaune, les STEP actuellement en service en Wallonie ; en bleu, le site potentiel identifié par le modèle et apparenté à la STEP actuelle de Coo.....	42
Figure 15 : Zoom sur la cadre vert de la figure précédente présentant la distribution les sites potentiels selon la hauteur de chute, le ratio Hc/Dh et la superficie. La superficie est représentée par la taille des points. La flèche rouge représente la diagonale selon laquelle les sites sont les plus intéressants.....	42
Figure 16 : Illustration des sites potentiels dans la région de Coo (Trois-Ponts).	43
Figure 17 : Illustration de la distribution par classes des scores finaux des différents sites potentiels selon les trois scénarios de pondération des paramètres (bâtonnet – occurrences absolues ; ligne pointillée – occurrences cumulées).	44
Figure 18 : Carte de distribution des sites potentiels d'implantation de STEPs en Wallonie (points bleus sur fond de délimitations des entités communales, sous forme de carte de densité et sur fond de plan (OpenStreetMap).	45
Figure 19 : Carte de l'indice de position topographique (TPI) et des voies navigables de Wallonie (traits bleus). TPI : Soustraction de l'altitude en un endroit donné et de l'altitude moyenne dans un rayon d'un kilomètre autour de cet endroit pondérée par la distance au carré. Plus l'indice est marqué (positivement [rouge] ou négativement [bleu]), plus les hauteurs de chute potentielles sont importantes.	46
Figure 20 : Répartition géographique des 33 sites préférentiels sur le territoire wallon.	46
Figure 21 : Répartition du potentiel énergétique et de la puissance des 17 sites visités et retenus	149

Liste des acronymes

Abréviation	Signification
AD	Arrêtés de désignation
ARP	Responsables d'accès (<i>Access Responsible Party</i>)
BRP	Responsables d'équilibre (<i>Balancing Responsible Party</i>)
BSP	Fournisseur de services d'équilibrage (<i>Balancing Service Providers</i>)
CSIS	Cavité souterraine d'intérêt scientifique
CoDT	Code du développement territorial
CoPat	Code wallon du Patrimoine
DRIGM	Direction des Risques Industriels, Géologiques et Miniers
PAC	Politique Agricole Commune
PdS	Plan de secteur
R1 (ou FCR)	Réserve primaire - Réserve de stabilisation de la fréquence
R2 (ou aFRR)	Réserve secondaire - Restauration automatique de la fréquence
PICC	Projet Informatique de Cartographie Continue
SPW	Service Public de Wallonie
STEP	Stations de transfert d'énergie par pompage-turbinage
UG	Unités de Gestion
ZHIB	Zones humides d'intérêt biologique
ZPS	Zones de Protection Spéciale
ZSC	Zones Spéciales de Conservation

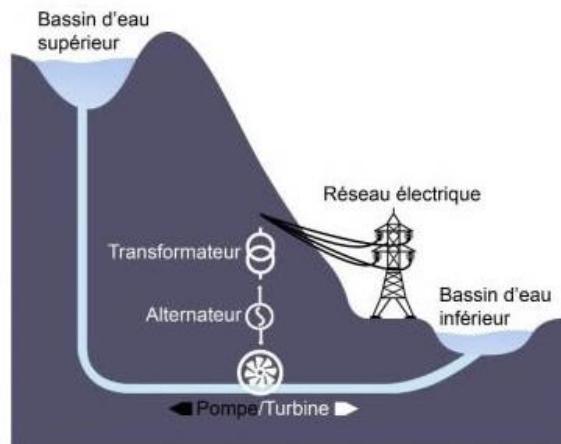
Glossaire

Terme	Signification
Chute	Différence d'altitude entre le bassin supérieur et inférieur
Contrainte	Tout élément entravant potentiellement l'installation d'une STEP, comme une infrastructure existante (bâtiment, route, rail...) ou un statut de protection (réserve naturelle, zone de protection des captage d'eau...).
Couche cartographique	Carte sous format numérique (vecteur ou image) représentant par exemple une contrainte et exploitable à l'aide d'un logiciel dédié, autrement appelé Système d'Information Géographique.
Débit	Quantité d'eau échangée par unité de temps entre 2 réservoirs d'une STEP / Quantité d'eau s'écoulant par unité de temps au travers d'une turbine ou d'une pompe. L'unité est le m ³ /s.
Perte de charge	Charge dissipée dans un écoulement par les frottements et les singularités géométriques, résultant en une diminution de l'énergie mécanique qui peut être transformée en électricité.
Puissance	Capacité instantanée de production/consommation d'énergie d'une STEP. L'énergie restituée/stockée par la STEP résulte du produit de la puissance par le temps durant lequel elle est produite/consommée.
Site potentiel	Combinaison de deux zones blanches qui ensemble forment un site sur lequel il est envisageable d'installer une STEP.
Stockage électrique	Technique permettant de convertir une production électrique sous une forme stockable (électrochimique, chimique, mécanique, thermique, ...), de l'accumuler puis de la restituer, sous forme d'électricité ou d'une autre énergie finale utile (thermique, chimique, ...).
Zone blanche	Surface libre de contrainte.
Zone d'intérêt prioritaire	Surface libre de contrainte présentant un fort potentiel pour l'installation d'une STEP, comme les sites à réaménager, les zones d'extraction (carrières) ou encore les voies navigables.

PARTIE A : Introduction

Des unités de stockage d'énergie sont nécessaires pour assurer l'adéquation entre offre et demande d'électricité dans un contexte de production qui favorise le recourt à des énergies renouvelables intermittentes et non pilotables d'origines éolienne et photovoltaïque.

Les stations de transfert d'énergie par pompage-turbinage (STEP) est un système de stockage d'énergie. Lorsqu'il y a un excédent de production sur le réseau électrique (ou dans un bâtiment), une pompe est actionnée afin de faire remonter l'eau d'un bassin inférieur vers un bassin supérieur. Inversement, l'énergie potentielle stockée dans le bassin supérieur sera relâchée par turbinage en cas de besoin sur le réseau (ou bâtiment) et produisant ainsi de l'électricité.



Source : [Energie +](#)

Le stockage d'énergie par pompage dans des STEPs est une solution technologique mature, durable et verte qui offre, outre une large gamme de potentiel énergétique et de puissance à différentes échelles de temps, des avantages en termes de stabilisation de fréquence du réseau ou de *blackstart* (i.e. phase de redémarrage du réseau après un black-out total). Actuellement, deux STEP sont en exploitation en Wallonie : la centrale de Coo (1080 MW - 6000 MWh) et la centrale de la Plate Taille (120 MW).

C'est dans ce contexte que le Cluster H2O a mandaté le consortium ICEDD-ULB-ULiege pour identifier le potentiel existant en Wallonie pour y implanter des STEPs. Autrement dit, le consortium a pour ambition d'identifier des sites propices au déploiement de ces infrastructures.

Le périmètre d'analyse de cette étude couvre les sites en surface, qu'il s'agisse de zones naturelles présentant un relief propice, de carrières (actives ou non) ou encore d'ouvrages hydrauliques existants (ex. barrages ou ascenseurs à bateaux). A contrario, cela ne comprend donc pas les sites souterrains qui ont été en partie couverts par l'étude SmartWater. De plus, là où le projet SmartWater visait à analyser la faisabilité d'un nouveau type de STEP (à ce jour, aucune STEP en exploitation industrielle ne possède de réservoir souterrain), la présente étude a une portée beaucoup plus appliquée puisqu'elle se focalise sur des sites adaptés à la réalisation de STEP classiques, comme il en existe des centaines en exploitation de par le monde.

Par ailleurs, il convient de préciser que le terme STEP utilisé dans ce rapport – et définit précédemment – est différent des stations d'épuration de l'eau dont l'objet est d'assainir les eaux usées. Ces ouvrages sont hors scope de l'étude.

L'étude se déroule en trois phases :

- La **première phase** vise à identifier les conditions opérationnelles nécessaires pour que la Wallonie puisse accueillir des STEPs. Ces conditions sont identifiées au-travers de deux types de critères (rentabilité et physique) et des contraintes d'exclusion). En outre, cette phase définit la méthode de priorisation des sites potentiels qui seront retenus en phase 2 ;
- La **deuxième phase** cherchera à cartographier les zones du territoire wallon pouvant potentiellement accueillir des STEP et retiendra les sites les plus pertinents sur base d'une priorisation par pondération le cas échéant ;
- La **troisième phase** caractérisera plus en détail les conditions technico-économiques des maximum 15 meilleurs sites retenus à l'issue de la deuxième phase.

Cette étude a procédé de manière itérative entre les phases 1 et 2. D'abord, les critères et contraintes ont été identifiés sur base de la littérature et l'expertise du consortium. Ces mêmes deux sources ont servi à identifier des seuils pour paramétriser ces critères et contraintes. Ensuite, le consortium a procédé par essai-erreur et a adapté leur paramétrisation lorsque nécessaire pour (i) mieux tenir compte de certaines zones pertinentes (i.e. s'affranchir de certaines contraintes d'exclusion pour les cours d'eau, carrières et sites à réaménager) et (ii) s'assurer d'avoir un nombre suffisant de sites potentiels malgré l'imposition de nombreuses contraintes. Cette méthode a permis d'arriver à l'identification de **414 sites** potentiels parmi lesquels les 15 meilleurs sont retenus pour étude approfondie en phase 3.

PARTIE B : Critères et contraintes

1. Critères de rentabilité

Quelle est la capacité minimale pour une centrale de pompage-turbinage en Région Wallonne ? Nous allons ici partir sur une capacité de minimum 25 MWh - donc des centrales plus grandes que celle du projet PEPS de Tractebel (Tractebel, 2021). Il s'agit d'un point de départ réaliste à partir duquel il est envisageable d'entreprendre des travaux de génie civil comme la suite de cette section le démontre. Le travail cartographique de la phase 2 prouve qu'il existe suffisamment de sites potentiels en Wallonie pour s'arrêter à ce seuil minimum.

Une centrale de pompage-turbinage (dite STEP ou PHES) produit de l'électricité très bas carbone si l'électricité servant au pompage de l'eau du réservoir bas vers le réservoir haut est très bas carbone (venant du PV, de l'éolien ou du nucléaire). En plus de cette caractéristique très « verte », une telle centrale est à priori aussi hautement intéressante pour la société car elle peut jouer un rôle important pour le réseau électrique, actuellement surtout pour le réseau de transport (en Wallonie et en Belgique pour le GRT Elia) mais d'ici peu, aussi pour le réseau de distribution (en Wallonie pour les GRD comme ORES ou RESA). Dans le cadre de ces services rendus au réseau électrique, aujourd'hui au GRT, une telle centrale STEP peut même être particulièrement rentable pour l'investisseur de cette centrale si elle est bien utilisée et avec les bons contrats.

Une première manière de vendre l'énergie créée par une centrale STEP est d'utiliser la bourse de l'électricité Spot Belpex. Il s'agit d'exploiter les cycles journaliers du prix de l'électricité en stockant lorsque le prix est au plus bas et en produisant lorsque le prix est le plus élevé. Cependant, dans le cadre du marché belge de l'électricité, le stockage d'énergie par pompage-turbinage ne présente pas souvent un grand intérêt économique par rapport aux investissements importants réalisés pour une telle centrale STEP. Il faut plutôt se tourner vers les autres acteurs du marché de l'électricité susceptibles d'être intéressés par cette application de stockage d'énergie par pompage-turbinage qui sont les responsables d'accès (dits ARP ou mieux, BRP pour *Balancing Responsible Party* ou BSP pour *Balancing Service Providers*), qui gèrent les accès par lesquels se font les injections et prélèvements d'électricité, ainsi que les producteurs d'électricité et les gestionnaires du réseau haute tension (actuellement et d'ici quelques années au moyen tension pour les GRD). Pour chacun de ces acteurs, la centrale STEP contribuerait à maintenir l'équilibre sur leur zone de réglage. En effet, les stations hydroélectriques sont capables de modulations extrêmement rapides (10 secondes pour quelques MW de puissance). Les centrales de grande capacité peuvent pallier le déclenchement d'une grosse unité thermique, alors que celles de capacité moyenne servent généralement au réglage primaire du réseau ou de réserve primaire (dite R1 ou FCR) mais aussi de réserve secondaire (dite R2 ou aFRR). Par exemple, en Belgique, l'aFRR se distingue par le fait qu'elle est activée automatiquement par Elia via l'envoi d'une consigne toutes les 4 secondes et que l'énergie demandée doit être activée en 7,5 minutes en cas de sélection de l'ensemble du volume de l'offre d'énergie aFRR. Les stations d'accumulation par pompage-turbinage remplissent ces rôles sans problème et jouent donc un rôle important pour la sécurité du réseau électrique (actuellement uniquement de transport et plus tard, certainement de distribution). Elles ont une durée de vie importante, avec des matériaux classiques non critiques et sont très bas carbone.

Les revenus les plus intéressants pour une application de pompage-turbinage de l'ordre de 25 MWh en Région Wallonne sont donc clairement identifiés comme venant de la R1 ou de la R2 (dit marché d'équilibrage ou de balancing). Les conditions d'accès à la R1 sont les suivantes (ELIA, 2020) :

- Être équipée d'un système de réglage automatique pour la vitesse de rotation, le sens de rotation ou la fréquence ;

- Être capable de déployer la totalité de la (puissance de la) réserve en 30 secondes maximum et de la maintenir pendant 15 minutes consécutives ;
- Être disponible 24 heures sur 24 (7 jours sur 7) sur demande. Le prix moyen offert contractuellement par MWh est de l'ordre de 500 euros (50 eurocents/kWh).

En Belgique, la réserve primaire peut rapporter en contrat Up & Down (dit symétrique) de l'ordre de 300 k€ par an par MW disponible (et utilisé) pour le GRT Elia (Energie Plus, 2024). On voit donc qu'il faut une puissance disponible (en MW) importante pour une capacité (en MWh) donnée. Certainement, avec une STEP de 25 MWh, une puissance installée de 20 MW (voire de 25 MW) est nécessaire (on a ainsi au moins 1 heure de fonctionnement dans ce cas, sans re-pompage entre 2 activations en turbinage, et donc 4 activations de 15 minutes possibles sans re-pompage). Cela peut alors rapporter 6 M€ par an avec une centrale de 25 MWh. Avec une durée de vie de 50 ans (on estime plutôt les durées de vie de centrales de STEP vers 70 ans actuellement), on peut espérer des revenus de l'ordre de 300 M€ en 50 ans avec 20 MW installés.

Si on estime le coût total d'une centrale de pompage-turbinage (entièrement nouvelle, donc sans aucune infrastructure au départ) de 25 MWh aux environs de 80 voire 100 M€ -il pourrait être intéressant pour un rôle d'ARP-BRP de pouvoir être prêt à turbiner à tout moment et très souvent et donc de disposer de pompes et de turbines et non de turbines réversibles et donc de 2 conduites forcées ce qui va augmenter le coût total de la STEP mais aussi les revenus au-delà des chiffres avancés ici - et le coût de l'électricité consommée en mode de pompage de l'ordre de 50 €/MWh (5 eurocents/kWh), la centrale STEP utilisée avec un fonctionnement de réserve primaire R1 en contrat Up & Down peut devenir rentable après 15 ans environ et rapporter 3 voire 4 fois le montant investi. Une centrale STEP de 25 MWh peut donc bien être particulièrement rentable en Belgique et en Wallonie (ici prise en application pour le GRT).

En Belgique, à l'avenir, l'investissement sera certainement le plus intéressant et l'utilisation la plus rentable pour une installation STEP si elle est utilisée avec un contrat de réserve R2¹. Aux conditions de mi-2024 (juin), on peut estimer qu'une (seule) activation complète de 15 minutes de 5 MW (par exemple) peut rapporter de l'ordre de 2.500€², soit avec, ne fut-ce que 2 activations par jour, de l'ordre de 1,5 M€ par an avec 5 MW de puissance injectée par la STEP sur le réseau en contrat de *balancing* R2.

La performance d'une centrale STEP dépend exclusivement des caractéristiques physiques du site équipé. La puissance mobilisable dépend de l'énergie stockée (volume du réservoir haut et hauteur de chute) et du temps de vidange (débit d'eau), et donc fortement de la hauteur de chute, qui est un paramètre physique important du site. Finalement, la possibilité de réaliser un réservoir haut (et un réservoir bas) est fortement conditionnée par la topographie du site (et la présence d'eau). Il est donc clair que la topographie est un élément prépondérant dans l'identification des sites potentiels. Les paragraphes ci-dessous visent à identifier les paramètres principaux qui caractérisent une telle centrale STEP, ainsi que leur valeur limite pour obtenir un site d'intérêt.

¹ Informations recueillies lors de discussions avec ENGIE

² Informations recueillies lors de discussions avec la STIB

2. Critères physiques

1.1. Energie et puissance

L'énergie en jeu dans un cycle de remplissage/vidange d'une STEP est uniquement conditionnée par la topographie du site, en particulier le volume du plus petit réservoir et la chute entre les deux réservoirs. Elle s'évalue comme

$$E = \frac{V \times H \times \rho \times g \times \eta}{3600}$$

avec E l'énergie d'un cycle [MWh], V le volume d'eau transféré entre les bassins [10^6 m^3], H la chute entre les bassins [m], ρ la masse volumique de l'eau [1.000 kg/m³], g l'accélération de la pesanteur [9,81 m/s²] et η le rendement de cycle [-].

Compte tenu du relief wallon, les chutes disponibles varient entre ≈ 50 et ≈ 150 m (comme dans le projet PEPS de Tractebel). Afin d'atteindre une quantité d'énergie par cycle qui soit réaliste, i.e. de l'ordre de 25 MWh, il convient d'avoir des volumes de bassin d'eau moins 300.000 et 100.000 m³, respectivement (sous l'hypothèse d'une efficacité de cycle de 60%³).

En considérant une hauteur d'eau dans les bassins de 10 m, on trouve alors une surface de réservoir variant de 3 et 1 ha, respectivement. A noter que la variation de hauteur de chute durant le fonctionnement d'une STEP est un paramètre important. En effet, les turbines sont des machines qui s'accommodeent en général mal d'une forte variation de chute. Le meilleur rendement est obtenu avec des chutes constantes. Ce point renforce la nécessité de maximiser la chute et de minimiser la hauteur d'eau dans les réservoirs, cette dernière impactant doublement la chute lors des cycles de remplissage/vidange.

Ces valeurs permettent de fixer un ordre de grandeur minimum des critères de détection des sites potentiels sur une base topographique.

La puissance en turbinage d'une STEP dépend du débit d'équipement des turbines. En effet, le débit turbiné fixe la durée de vidange du réservoir, et donc la puissance disponible en fonction de l'énergie stockée. On a ainsi

$$T = 277,78 \frac{V}{Q}$$

avec T le temps de vidange [h], V le volume d'eau transféré entre les bassins [10^6 m^3] et Q le débit des turbines [m³/s], et

$$P = \frac{E}{T}$$

avec P la puissance en turbinage [MW] et E l'énergie stockée [MWh].

A noter que le choix du débit conditionne le diamètre de la galerie de connexion des réservoirs, avec une vitesse d'écoulement maximum acceptable de l'ordre de 5 m/s.

³ En termes de comparaison, l'efficacité d'un cycle à la centrale de Coo est de 75%

1.2. Topographie

La longueur de canalisation entre les réservoirs haut et bas dépend de la hauteur de chute et de la distance horizontale entre les réservoirs. Elle impacte directement les pertes de charge entre les deux réservoirs, c'est à dire qu'elle a pour effet de diminuer la chute disponible au droit des turbines et qu'à l'inverse elle augmente la charge à fournir par les pompes.

La distance entre les réservoirs est donc un paramètre géométrique clé dans l'identification d'un site de STEP, pour lequel il faut poser une valeur maximale acceptable. Il est commode d'appréhender ce critère sur base d'un rapport chute sur distance horizontale maximum. Une valeur de 10 est choisie sur base de la littérature.

Certains auteurs (Ali et al, 2021 par exemple) mentionnent une limite sur la déclivité du terrain naturel où installer un réservoir. Une pente trop forte conduit en effet à des travaux de terrassement conséquents, avec la réalisation d'une digue ou d'un barrage d'un côté et la stabilisation de talus de l'autre. Cette déclivité, qui ne s'applique pas aux sites en cuvette, se mesure entre les limites extérieures de la zone où planter un réservoir. Une valeur limite de 10% est mentionnée par Ali et al, 2021.

1.3. Résumé

Le tableau ci-dessous résume les paramètres physiques qui servent de base à l'identification des sites potentiels, ainsi que leur limite. Ces valeurs limites pourront être modifiées afin d'étendre ou de restreindre le nombre de sites identifiés après une première phase de screening.

Paramètre	Valeur limite	Source
Hauteur de chute H	≥ 50 m	
Surface d'un réservoir S	≥ 1 ha	
Distance horizontale L / Chute H	≤ 10	Kucukali, 2014
Pente du terrain P	$\leq 10\%$	Ali et al, 2021

1.4. Traduction cartographique

La traduction cartographique des éléments précités sera réalisée essentiellement par l'exploitation du modèle numérique de terrain (MNT) de la Wallonie, soit la carte d'altitude en tout point du territoire à une résolution donnée.

Les zones d'intérêt potentielles seront délimitées par la phase d'analyse des contraintes d'exclusion (cf. ci-après). Pour chaque zone, il sera alors possible de calculer :

- sa superficie ou emprise planimétrique (S) ;
- son volume après croisement avec le modèle numérique de terrain (V) ;
- ses paramètres morphologiques (ex. pente [P]) et
- ses distances par rapport aux zones environnantes (L) dans un rayon maximum prédéfini.

Une fois les critères calculés, les zones les moins favorables pourront être exclues (ex. chute trop faible) et les plus favorables hiérarchisées de manière à identifier celles dont le potentiel est le plus grand.

Il est probablement que certaines zones d'intérêt présentent des surfaces suffisamment grandes pour accueillir les deux bassins. Il sera dès lors nécessaire de réaliser une analyse spécifique à ces zones afin de vérifier leur compatibilité avec les critères fixés.

3. Contraintes d'exclusion

A contrario des éoliennes pour lesquelles il existe un Cadre de référence pour leur implantation en Région wallonne et des prescriptions dans le Code du développement du territoire (CoDT), il n'existe rien d'identique pour les STEPs. Néanmoins, l'implantation d'une STEP est probablement tout aussi soumise à de nombreuses contraintes dont les natures peuvent varier fortement.

Dans cette section, nous identifions donc les contraintes d'exclusion à appliquer au territoire en vue de dégager les sites d'implantation potentiels.

Ces contraintes d'exclusion peuvent être relatifs à la conservation de la nature, à la gestion de patrimoine ou encore à l'affectation du sol qui détermine l'usage destiné de chaque parcelle.

Pour identifier ces contraintes, nous avons d'abord procédé à une revue de littérature (3.1), dont nous avons croisé les résultats avec les ressources réglementaires et cartographiques disponibles pour la Wallonie. Les contraintes retenues sont détaillées à la section 3.2.

Cette analyse constitue une première étape de vérification de la transposabilité en Wallonie des contraintes généralement appliquées dans ce type de projet ailleurs dans le monde. Cependant, elle n'est pas suffisante pour valider l'implantation d'une STEP en une zone donnée du territoire. La législation sur les permis d'environnement indique qu'une centrale hydroélectrique dont la puissance est égale ou supérieure à 10 MW électrique – probable vu l'ouvrage considéré d'une STEP d'une capacité de minimum 25 MWh – est soumise à un permis d'environnement de classe 1 qui oblige à réaliser une Etude d'Incidence Environnementale⁴. Plus détaillée, cette dernière pourrait contredire les résultats de l'analyse cartographique qui ne constitue qu'une première étape dans l'identification des sites les plus prometteurs pour des STEPs en Wallonie.

3.1. Revue de littérature

Le tableau 1 synthétise les différentes contraintes retrouvées dans une brève revue de littérature. Si celles-ci ne correspondent pas toujours exactement aux nomenclatures et source de données disponibles en Wallonie, elles permettent néanmoins d'identifier le type de contraintes généralement appliquées.

⁴ <http://environnement.wallonie.be/legis/pe/pe006bisannexe1.htm>

Pour chaque contrainte, nous indiquons si l'étude en question l'a appliquée strictement comme zone à exclure (« exclusion ») ou non (« acceptation »). En effet, ce qui est potentiellement perçu comme une contrainte peut parfois être traité différemment selon l'étude concernée.

Tableau 1 : Contraintes identifiées dans la revue de littérature

Références	Région	Catégories de contraintes	Contraintes	Application
Rogreau et al. (2017)	France	Utilisation du sol	Zones urbaines	Exclusion*
			Loisirs	Exclusion
			Terres cultivables	Exclusion
			Cultures	Exclusion
			Pâturages	Acceptation**
		Zones bâties	Bâti	Exclusion (construction >20m ²)
			Conservatoire	Exclusion
			Protection des biotopes	Exclusion
			Natura 2000	Acceptation
			Parcs naturels nationaux et régionaux	Acceptation
Lu et al. (2018)	Sud Australie	Utilisation du sol	Réserves nationales et régionales	Exclusion
			Site protégé internationaux	Exclusion
		Zones environnementales protégées	Zones d'utilisation intensive	Exclusion
			Réserves naturelles	Exclusion
Ahmed et al. (2021)	Egypte	Utilisation du sol	Zones urbaines	Exclusion
		Zones bâties	Aéroports, camps militaires...	Exclusion (buffer 30km)
Krassakis et al. (2023)	Macédoine occidentale, Grèce	Utilisation du sol	Zones urbaines	Exclusion

		Zones environnementales protégées	Natura 2000	Exclusion
Ali et al. (2023)	Queensland, Australie	Utilisation du sol	Conservation et environnements naturels	Exclusion
			Zones d'utilisation intensive	Exclusion
			Rivières, lacs et réservoirs pour la conservation et l'utilisation intensive	Exclusion
Nzotcha et al. (2019)	Cameroun	Pas de critères d'exclusion appliqués		
Connolly et al. (2010)	Sud-ouest de l'Irlande	Pas de critères d'exclusion appliqués		

* Ces zones du territoire sont exclues des possibilités

** Ces zones du territoire ne sont pas exclues des possibilités

In fine, notre analyse permet de mettre en avant trois catégories de contraintes (utilisation du sol, zones environnementales protégées et zones bâties). Celles-ci constituent le point de départ de notre définition des critères d'exclusion à appliquer sur le territoire wallon.

3.2. Liste de contraintes d'exclusion

Sur base de la revue de la littérature et du croisement avec les données à notre disposition en Wallonie, nous identifions les contraintes d'exclusion repris ci-après.

Théoriquement, chaque contrainte ne fait pas forcément office d'exclusion irrévocable pour l'implantation d'une STEP. Néanmoins, elle est susceptible d'engendrer des complications (importantes) en vue d'obtenir un permis pour construire une STEP. Ce faisant, nous appliquons un cadre strict de contraintes pour identifier prioritairement les sites potentiels s'affranchissant de telles difficultés.

L'application de ces contraintes à l'ensemble du territoire wallon nous permet d'identifier la superficie nette du territoire pouvant théoriquement accueillir des STEP. C'est sur cette superficie nette que sont ensuite appliqués les critères physiques (voir section 2) en vue d'identifier les sites potentiels.

Pour chacune des contraintes identifiées, nous précisons pourquoi nous les considérons comme des contraintes et si nous les appliquons ou non. Le cas échéant, nous précisons comment nous les appliquons (ex. avec zone tampon).

Le Tableau 2 en section 3.2.8 propose une vue synthétique des contraintes identifiées ainsi que le traitement (exclusion ou non) qui leur a été appliqué.

3.2.1. Conservation de la nature

3.2.1.1. Natura 2000

Natura 2000 est le réseau de sites naturels mis en place par l'Union européenne. Il vise à assurer, en conciliation avec les activités humaines, le maintien ou le rétablissement des habitats naturels et des habitats d'espèces de la flore et de la faune sauvages d'intérêt communautaire dans un état de conservation favorable⁵.

Il se compose de l'ensemble des Zones de Protection Spéciale (ZPS) et Zones Spéciales de Conservation (ZSC) résultant de la mise en œuvre de la Directive « Habitats »⁶ et des zones de protection spéciale résultant de la Directive « Oiseaux »⁷ désignées par les Etats membres des Communautés européennes⁸.

Au-travers d'Arrêtés de désignation (AD), la Wallonie a identifié 240 sites couvrant 221.000 ha dont près de 70% sont des forêts, 15% des prairies et 1% des cultures⁹. L'ensemble de ces sites sont aujourd'hui désigné officiellement, ce qui fait que le réseau Wallon est maintenant arrêté.

Tous les sites Natura 2000 sont soumis à des obligations légales communes visant à en assurer la protection et la gestion. De plus, des mesures particulières sont fixées par des AD du Gouvernement wallon, et ce en fonction d'Unités de Gestion (UG) délimitées au sein du site. Les Unités de Gestion sont des espaces au sein d'un site où les règles de gestion à appliquer sont homogènes (bien que les objectifs biologiques puissent être différents)¹⁰.

Si ces zones naturelles visent des objectifs de conservation de la nature, les activités humaines y restent autorisées pour autant qu'elles n'y compromettent pas le maintien dans un état de conservation

⁵ <https://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/FFH%202015.html>

⁶ <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1992/43/oj>

⁷ <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1979/409/oj>

⁸ <http://biodiversite.wallonie.be/fr/natura-2000.html?IDC=2915>

⁹ <https://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/FFH%202015.html>

¹⁰ <https://geoportail.wallonie.be/catalogue/80a837d8-2c0b-4f77-b5d5-824e9780a4ae.html#:~:text=Les%20zones%20Natura%202000%20ne,des%20esp%C3%A8ces%20dans%20la%20zone.>

favorable des habitats et des espèces dans la zone. Ce maintien doit être garanti par l'application de mesures de gestion préventives tant générales¹¹ que particulières¹².

L'imposition de mesures de gestion de même que la réalisation d'études d'incidences pour obtenir un quelconque permis nous semble fort contraignant et même complexe. En conclusion, nous **excluons totalement les sites Natura 2000**.

3.2.1.2. Réserves naturelles et forestières

Les **réserves naturelles** sont des aires protégées par la Loi de la Conservation de la Nature du 12 juillet 1973. Elles peuvent être domaniales (i.e. terrains publics gérés par le Service public de Wallonie) ou agréées (i.e. gérées par une personne physique ou morale autre que la Région wallonne et qui est reconnue à ce titre). De même, ces réserves peuvent être intégrales (i.e. aire protégée créée dans le but d'y laisser les phénomènes naturels évoluer selon leurs lois) ou dirigées (i.e. aire protégée qu'une gestion appropriée tend à maintenir dans son état). Ce dernier cas prévoit la mise en œuvre de mesures de protection des espèces végétales ou animales et de restauration des milieux.

La **réserve forestière** est une forêt ou partie de celle-ci protégée conformément à la loi dans le but de sauvegarder des faciès caractéristiques ou remarquables des peuplements d'essences indigènes et d'y assurer l'intégrité du sol et du milieu, tout en continuant à les exploiter et y chasser¹³.

Les statuts de réserves conférés par la loi visent essentiellement la protection des espèces animales et végétales. L'objectif étant de créer des sanctuaires pour ces espèces, les activités humaines hors conservation de la nature sont proscrites.

En conclusion, nous **excluons totalement** les réserves naturelles et forestières.

3.2.1.3. Zones humides d'intérêt biologique (ZHIB)

Les zones humides d'intérêt biologique sont des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est statique ou courante, et dont la valeur écologique et scientifique est reconnue¹⁴.

Ces zones sont juridiquement incompatibles avec des activités humaines. En conclusion, nous **excluons totalement** ces zones.

3.2.1.4. Cavité souterraine d'intérêt scientifique (CSIS)

Une cavité peut être reconnue comme d'intérêt scientifique si on y retrouve une biodiversité élevée, d'espèces vulnérables, endémiques, rares ou adaptées à la vie souterraine (ex. chauves-souris), mais également pour des motifs plus généraux : originalité, diversité et vulnérabilité de l'habitat, présence de témoins préhistoriques ou encore de formations géologiques, pétrographiques ou minéralogiques rares¹⁵.

Ces zones sont juridiquement incompatibles avec des activités humaines. En conclusion, nous **excluons totalement** ces zones.

¹¹ <http://environnement.wallonie.be/legis/consnat/cons045.htm>

¹² <http://environnement.wallonie.be/legis/consnat/natura019.htm>

¹³ <https://geoportail.wallonie.be/catalogue/435c454c-0d4b-41cf-a136-a1aba134d9ac.html>

¹⁴ <http://biodiversite.wallonie.be/fr/sites.html?IDC=2914>

¹⁵ <https://geoportail.wallonie.be/catalogue/435c454c-0d4b-41cf-a136-a1aba134d9ac.html>

3.2.2. Affectation réglementaire du plan de secteur

Le plan de secteur (PdS) est un outil réglementaire d'aménagement du territoire et d'urbanisme régional wallon. S'il faut distinguer la situation de fait (i.e. exploitation actuelle d'une parcelle) de la situation de droit (i.e. destination officielle de la parcelle) régie par le PdS, ce dernier a bien valeur réglementaire.

Depuis le 1^{er} juin 2017, le PdS est renforcé par l'entrée en vigueur du Code du développement territorial (CoDT) qui régit l'ensemble des règles applicables en matière d'Aménagement du Territoire en Wallonie.

Si les STEPs ne sont pas clairement identifiées dans le CoDT, nous estimons qu'elles peuvent être assimilées aux centrales hydroélectriques. En ce sens, l'article D.IV.22.7° reconnaît la nécessité d'obtenir un permis d'urbanisme pour les constructions ou équipements destinés aux activités à finalité d'intérêt général liées à l'énergie renouvelable en raison de leur finalité d'intérêt général. Ce même article précise que les actes et travaux y étant associés sont ceux relatifs à la production d'énergie destinée exclusivement à la collectivité c'est-à-dire d'énergie rejetée dans le réseau électrique [...] sans consommation privée [...] qui concernent l'installation, le raccordement, la modification, la construction ou l'agrandissement [...] d'une centrale hydroélectrique. Par ailleurs, l'article R.IV.22-2 spécifie également le besoin d'un permis d'urbanisme pour les actes et travaux d'utilité publique inscrits sur la liste arrêtée par le Gouvernement, dont les barrages et lacs artificiels font partie.

En conséquence, il y a lieu de tenir compte des zones du plan de secteur qui préviennent la construction de telles infrastructures. Pour cela, nous regardons à certaines zones d'affectation (3.2.2.1, 3.2.2.2). En outre, nous identifions également certains périmètres de protection (3.2.2.5) que nous n'associons pas à des contraintes mais qui pourraient néanmoins causer des complications. Ces informations sont exclusivement reprises à titre informatif pour les sites retenus en phase 3 de l'étude.

3.2.2.1. Zone d'habitat

Le plan de secteur réserve des zones disponibles à l'urbanisation. Parmi ces zones, nous retrouvons les zones destinées à l'habitat. Pour autant, il n'est pas nécessairement envisageable que ces zones urbanisées soient retenues pour l'implantation d'une STEP. Nous **excluons totalement** l'ensemble de ces zones destinées à l'habitat, à savoir : la zone d'habitat et la zone d'habitat à caractère rural. Soit les catégories H01 et H02 au PdS.

3.2.2.2. Zone d'espaces verts, naturelle, de parc et forestière

Les zones présentées ci-dessous ne permettront pas d'obtenir un permis d'urbanisme.

La **zone d'espaces verts** (R03) est destinée au maintien, à la protection et à la régénération du milieu naturel (Art. D.II.38). Elle contribue à la formation du paysage ou constitue une transition végétale adéquate entre des zones dont les destinations sont incompatibles.

La **zone naturelle** (R04) est destinée au maintien, à la protection et à la régénération de milieux naturels de grande valeur biologique ou abritant des espèces dont la conservation s'impose, qu'il s'agisse d'espèces des milieux terrestres ou aquatiques. Dans cette zone ne sont admis que les actes et travaux nécessaires à la protection active ou passive de ces milieux ou espèces.

La **zone de parc** (R05) est destinée aux espaces verts ordonnés dans un souci d'esthétique paysagère (Art. D.II.40.). N'y sont admis que les actes et travaux nécessaires à leur création, leur entretien ou leur embellissement. La mise en œuvre d'une zone de parc dont la superficie excède cinq hectares peut également faire l'objet d'autres actes et travaux, pour autant qu'ils ne mettent pas en péril la destination principale de la zone et qu'un schéma d'orientation local couvrant sa totalité soit entré en vigueur.

La **zone forestière** (R02) est destinée à la sylviculture et à la conservation de l'équilibre écologique (Art. D.II.37 § 1^{er}). Elle contribue au maintien ou à la formation du paysage. Elle peut accueillir certaines constructions indispensables à l'exploitation du bois voire des refuges de chasse et de pêche. Il existe également un mécanisme de dérogation où, sous certaines conditions, des activités (ex. culture de sapins de Noël, activités d'accueil du public) ou constructions (ex. éoliennes) sont autorisées.

Cependant, hormis le cas des éoliennes qui est spécifiquement listé, ce n'est pas le cas des unités de production d'énergie renouvelable de manière générale.

Tenant compte du caractère stricte des prescriptions du CoDT, nous **excluons totalement** ces zones.

3.2.2.3. Zone agricoles

Selon l'article D.II.36 du CoDT, la **zone agricole** (R01) est destinée à accueillir les activités agricoles c'est-à-dire les activités de production, d'élevage ou de culture de produits agricoles et horticoles. Elle contribue également au maintien ou à la formation du paysage ainsi qu'à la conservation de l'équilibre écologique.

Certaines constructions y sont autorisées comme celles directement liées à l'exploitation agricole (ex. logement de l'agriculteur), certaines activités récréatives de plein air et des refuges de pêche ou de chasse ou de petits abris pour animaux.

De même, les modules de production d'électricité ou de chaleur sont autorisés pour autant qu'ils alimentent directement toute construction, installation ou tout bâtiment situé sur le même bien immobilier, ainsi que les éoliennes.

Etant donné les tensions existantes sur l'accès à la propriété foncière agricole tant en termes de disponibilité que de prix, nous estimons préférable d'éviter les zones agricoles. En conclusion, nous **excluons totalement** ces zones.

3.2.2.4. Autres affectations

L'analyse cartographique est basée sur un principe d'itérations successives qui vise notamment à un ajustement progressif des contraintes. Lors de la première itération, les affectations listées ci-dessous avaient été maintenues comme non contraignantes. A l'analyse des premiers résultats, il s'est avéré important de les inclure afin de réduire le nombre de sites potentiels sur des zones d'affectations généralement actives (zonings industriels, site militaires, hôpitaux, universités...) et pour lesquelles il paraissait improbable d'installer une STEP. Il s'agissait des affectations suivantes :

- Activité économique mixte (A01)
- Activité économique industrielle (A02)
- Activité économique spécifique agro-économique (A11)
- Activité économique spécifique grande distribution (A12)
- Aménagement communal concerté à caractère économique (D02)
- Services publics et équipements communautaires (P01)

Chacune de ces affectations est **exclue totalement**.

Il faut tout de même noter que certaines zones d'affectation économique sont aujourd'hui désaffectées (ex. ancien site sidérurgique) et présentent donc un intérêt pour l'installation éventuelle d'un bassin de STEP. Le PdS ne renseignant pas le statut d'activité d'une zone donnée, il a été décidé de valoriser l'inventaire wallon des sites à réaménager de fait¹⁶ qui identifie notamment lesdites zones économiques désaffectées. Ces sites à réaménager font partie des zones que nous qualifions de zone d'intérêt prioritaire à l'implantation d'une STEP.

¹⁶ <https://geoportail.wallonie.be/catalogue/06adcd09-6e69-411c-9cdc-5bfb668c475f.html>

3.2.2.5. Périmètres de protection

Le **périmètre d'intérêt paysager** vise à la protection, à la gestion ou à l'aménagement du paysage (Art. R.II.21-7).

Le **périmètre d'intérêt culturel, historique et esthétique** vise à favoriser au sein d'un ensemble urbanisé l'équilibre entre les espaces bâtis ou non bâtis et les monuments qui les dominent ou les sites qui les caractérisent (Art. R.II.21-8).

Pour chaque type de périmètre, il existe un mécanisme de dérogations permettant la réalisation d'actes et travaux pour autant qu'ils protègent, gèrent, aménagent et/ou ne mettent pas en péril la fonction de base de ces périmètres.

En conséquence, **nous n'appliquons pas d'exclusion** sur ces périmètres. Pour chaque site retenu en phase 3, nous précisons néanmoins s'il fait partie d'un de ces périmètres à titre informatif.

3.2.3. Autres éléments naturels

Les **liaisons écologiques** visent à garantir aux espèces animales et végétales les espaces de transition entre leurs biotopes (Art. R.II.21-6).

A l'instar des périmètres repris en 3.2.2.5, des dérogations sont possibles pour les liaisons écologiques. Nous n'appliquons donc pas d'exclusion mais précisons les sites retenus en phase 3 sont concernés par ces liaisons écologiques.

3.2.4. Patrimoine

3.2.4.1. Bâti

Outre les zones d'habitats au plan de secteur (voir 3.2.2.1), nous avons tâcher d'éviter l'implantation d'une STEP à proximité de toute infrastructure bâtie. Nous avons donc considéré que toute infrastructure bâtie en dehors des zones d'habitat du plan de secteur constituait une zone d'exclusion. Nous y avons adjoint une zone tampon de 10 m pour éviter l'implantation d'une STEP à l'aplomb d'un bâtiment. La donnée utilisée pour générer cette contrainte est l'emprise des bâtiments consignée par le PICC¹⁷.

3.2.4.2. Biens classés et zones de protection

Le Code wallon du Patrimoine (CoPat) définit le cadre entourant les biens classés et les zones de protection.

Les **biens classés** sont des biens immobiliers (monument, ensemble architectural, site, site archéologique) dont la valeur patrimoniale supérieure est reconnue et dont la conservation est jugée d'intérêt régional¹⁸. Des mesures de protections s'appliquent aux biens classés.

La **zone de protection** est la zone établie autour d'un bien immobilier inscrit sur la liste de sauvegarde ou classé et délimitée par un périmètre fixé en fonction des exigences de la conservation intégrée de ce bien (Art. D. 3.8°).

Conformément aux prescriptions du CoPat (Art. D. 25), les actes et travaux sur les biens classés requièrent permis devant l'objet d'un examen de la part de l'Agence wallonne du Patrimoine et, le cas échéant, de la part de la Commission royale des monuments, sites et fouilles. Il y a donc un niveau de contrainte important. En conclusion, nous **excluons totalement** ces biens et zones.

¹⁷ <https://geoportail.wallonie.be/catalogue/b795de68-726c-4bdf-a62a-a42686aa5b6f.html>

¹⁸ <https://geoportail.wallonie.be/catalogue/01491630-78ce-49f3-b479-4b30dabc4c69.html>

3.2.5.Sols et sous-sols

3.2.5.1. Zone de prise d'eau et de prévention de captage

En Wallonie, l'Arrêté du Gouvernement wallon du 12 février 2009 édicte la protection des captages, qui est organisée selon plusieurs zones définies autour des captages d'eau potabilisable¹⁹. Ces zones règlementent strictement l'activité humaine.

Les **zones de prise d'eau** sont délimitées par un rayon de 10 mètres autour des limites extérieures des installations en surface nécessaires à la prise d'eau (Art. R. 154. § 1^{er}). A l'exception des activités et installations nécessaires à l'usage de la prise d'eau, toutes les autres activités y sont interdites.

Les **zones de prévention** correspondent à des périmètres de sécurité aux abords des captages. Elles sont établies soit en mesurant le temps de transfert de l'eau souterraine jusqu'au point de captage, soit de manière forfaitaire en fonction de l'ouvrage (puit, émergence ou galerie) et de la nature de l'aquifère (sable, craie, schiste, etc)²⁰ lorsque les données sont insuffisantes pour mesurer le transfert de l'eau. Ces zones peuvent soit être rapprochées soit éloignées comme suit :

- Zones de prévention arrêtées (~mesurées) :
 - Rapprochée (II.A) : zone à l'intérieur de laquelle une pollution transportée par l'eau souterraine pourrait atteindre le captage en moins de 24 heures ;
 - Eloignée (II.B) : zone à l'intérieur de laquelle une pollution transportée par l'eau souterraine pourrait atteindre le captage en moins de 50 jours.
- Zones de prévention forfaitaires :
 - Rapprochée (II.A) : zone délimitée par une ligne située à une distance horizontale de 25 ou 35 mètres à partir des installations de surface selon le type d'ouvrage ;
 - Eloignée (II.B) : zone distante du périmètre extérieur de la zone rapprochée d'une distance de 100, 500 ou 1000 mètres en fonction du type de sol.

Les **zones de prises d'eau sont totalement exclues** car aucune infrastructure ne peut y être construite.

Les articles 166 § 1er et 167 § 1er définissent les activités interdites dans les zones de prévention rapprochées et éloignées. Parmi ces interdictions, aucune n'a trait spécifiquement aux installations et équipements de production et/ou de stockage d'énergie. Cependant, il est peu probable que cela soit autorisé. En conséquence, nous **excluons totalement les zones de prévention**.

3.2.5.2. Zone karstique

La Wallonie recense les périmètres de contraintes karstiques qui correspondent aux zones où un risque naturel ou une contrainte géotechnique majeure pour l'urbanisation (zones constructibles, urbanisables, de réalisation de grandes infrastructures et de transport de fluides et d'énergie) est présent²¹. Il s'agit avant tout de risque d'effondrement suite à la dissolution de roches calcaires.

Deux zones sont définies²² :

- **Zones de contrainte forte** où toute construction doit être évitée, voire interdite, car les risques liés au karst y sont importants ;

¹⁹ <https://www.protecteau.be/fr/zones-de-prevention>

²⁰ Ibidem

²¹ <https://geoportail.wallonie.be/catalogue/115d71f6-2670-4628-a3a6-eea71e3279b4.html>

²² Ibidem

- **Zones de contrainte modérée** constituant un périmètre de sécurité autour de la zone de contrainte forte où les demandes de permis ne doivent pas y être systématiquement refusées, mais faire l'objet d'investigations complémentaires (études géotechniques et géophysiques, ...) en vue de vérifier et de garantir la stabilité du sol et des fondations.

En conséquence, nous **excluons totalement** les zones de contrainte forte mais également modérée pour s'affranchir d'éventuels problèmes de stabilité et investigations complémentaires.

3.2.5.3. Mines et carrières

L'article D.IV.57 du CoDT spécifie que le permis d'urbanisme peut être refusé ou du moins être soumis à des conditions particulières pour des biens immobiliers exposés à une contrainte géotechnique majeur (ex. éboulement d'une paroi rocheuse, le glissement de terrain, le karst, les affaissements miniers, affaissements dus à des travaux ou ouvrages de mines, minières de fer ou cavités souterraines ou le risque sismique).

La Direction des Risques Industriels, Géologiques et Miniers (DRIGM) du SPW met à disposition une cartographie délimitant les zones dans lesquelles il est nécessaire de la consulter avant tout projet.

Outre la présence de Karst – que nous traitons à part (voir 3.2.5.2) – les zones identifiées par cette cartographie couvrent la présence (potentielle) de : minières de fer, d'anciens puits de mines, de puits de mines et de carrières souterraines.

A nouveau, l'obtention du permis sera soumise à évaluation avec des conclusions qui seront prises au cas par cas. Sans préjuger de la probabilité d'obtenir un permis dans le cadre d'une STEP et étant donné qu'il est possible que des conditions s'appliquent en vue de l'exercice de l'activité, nous **excluons totalement** ces zones.

3.2.6. Zones militaires

Il est réaliste de penser que les zones militaires (ex. aéroports, camps d'entraînement) soient à exclure complètement du champ de notre analyse. Cependant, nous n'avons pas de données cartographiques identifiant directement ces zones militaires. Cependant, après vérification manuelle, celles-ci se trouvent généralement dans une catégorie exclue du plan de secteur (P01). En conclusion, nous **excluons totalement** ces zones militaires. Par ailleurs, d'après le Lieutenant-colonel Erik Van Reckem, Chef de sous-section dans la Division Infrastructure de l'armée, les zones militaires d'entraînement extérieur (ex. camp militaire de Lagland) se situent généralement en zone Natura 2000 ; elles-mêmes exclues.

3.2.7. Proximité des réseaux des principales infrastructures de communication et de transport de fluide et d'énergie

Théoriquement, l'implantation d'une STEP ne se fera pas au détriment de l'infrastructure existante qui assure des services essentiels à la population en matière de communication et transport de fluide et d'énergie.

Pour leur identification, nous suivons les définitions données par le CoDT pour les infrastructures suivantes :

3.2.7.1. Principales infrastructures de communication

Selon l'article R.II.21-1, les principales infrastructures de communication sont les :

1. Autoroutes et les routes de liaisons régionales (...);
2. Lignes de chemin de fer (...);
3. Voies navigables.

Pour les deux premiers, nous prévoyons un *buffer* (i.e. zone tampon autour de laquelle une construction n'est pas possible) de 10 mètres.

En revanche, nous n'appliquons aucune contrainte aux voies navigables car nous souhaitons étudier la possibilité d'implanter une STEP au sein des ascenseurs à bateaux (ex. Strepy-Thieu, Plan incliné de Ronquières) de certaines voies navigables.

3.2.7.2. Principales infrastructures de transport de fluide et d'énergie

Les articles R.II.21-2, R.II.21-3 et R.II.21-4 proposent les définitions suivantes :

- **Transport d'électricité** : lignes aériennes et souterraines d'une tension >150 kV assurant le transport (et transmission) d'électricité et faisant partie du réseau structurant. Ne comprend pas la distribution ;
- **Transport de gaz naturel** : canalisations qui font partie du réseau de transport de gaz naturel structurant à l'échelle régionale. Ne comprend pas la distribution ;
- **Transport de fluides** : canalisations qui font partie du réseau de transport d'éléments gazeux ou liquides à l'exclusion de l'eau et qui figurent dans la structure territoriale du schéma de développement du territoire, à l'exclusion du raccordement d'un consommateur final.

Parmi ces trois réseaux, nous n'avons eu accès qu'à des informations relatives au réseau aérien d'électricité. Si les lignes aériennes ne sont pas un souci pour l'implantation d'un bassin (installation sous les lignes), les pylônes sont potentiellement plus problématiques. Nous avons donc décider d'appliquer une zone tampon de 25 mètres autour de ceux-ci (pylônes haute-tension extraits d'OpenStreetMap).

Dans la mesure du possible, nous évaluerons la présence d'infrastructures existantes (énergie, eau, télécom) sur les sites finalement retenus au-travers de la plateforme CICC²³.

²³ <https://klim-cicc.be/information>

3.2.8. Synthèse des contraintes d'exclusion et autres informations complémentaires

Affectation	Contrainte	Statut	Traitement cartographique complémentaire
Conservation de la nature	Natura 2000	Exclusion	
	Réserves naturelles et forestières	Exclusion	
	Zones humides d'intérêt biologique	Exclusion	
	Cavité souterraine d'intérêt scientifique	Exclusion	
Plan de secteur	Zone d'habitat - Habitat (H01)	Exclusion	
	Zone d'habitat - Habitat à caractère rural (H02)	Exclusion	
	Zone d'espaces verts, naturelle, de parc et forestière - Forestière (R02)	Exclusion	
	Zone d'espaces verts, naturelle, de parc et forestière - Espaces verts (R03)	Exclusion	
	Zone d'espaces verts, naturelle, de parc et forestière - Naturelle (R04)	Exclusion	
	Zone d'espaces verts, naturelle, de parc et forestière - Parc (R05)	Exclusion	
	Zone agricole (R01)	Exclusion	
	Autres affectations - Activité économique mixte (A01)	Exclusion	
	Autres affectations - Activité économique industrielle (A02)	Exclusion	
	Autres affectations - Activité éco. spécifique agro-économique (A11)	Exclusion	
	Autres affectations - Activité éco. spécifique grande distribution (A12)	Exclusion	
	Autres affectations - Aménagement communal concerté à caractère économique (D02)	Exclusion	
	Autres affectations - Services publics et équipements communautaires (P01)	Exclusion	
	Périmètres de protection - Périmètres d'intérêt paysager	Information	
Liaisons écologiques	Périmètres de protection - Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Information	
	Liaisons écologiques	Information	
Patrimoine	Biens classés et zones de protection	Exclusion	
	Infrastructures bâtie	Exclusion	Zone tampon 10m
Sols et sous-sols	Zone de prise d'eau	Exclusion	

Zone de prévention de captage_2A	Exclusion	
Zone de prévention de captage_2B	Exclusion	
Zone karstique - Contrainte forte	Exclusion	
Zone karstique - Contrainte modérée	Exclusion	
DRIGM - Présence de minières de fer	Exclusion	
DRIGM - Présence potentielle d'anciens puits de mines	Exclusion	
DRIGM - Présence de puits de mines	Exclusion	
DRIGM - Présence de carrières souterraines	Exclusion	
Zones militaires	Zones militaires	Exclusion Indirectement via autres catégories du plan de secteur ou Natura 2000
Réseaux routiers et ferroviaire et infrastructures de transport de fluide et d'énergie	Réseau routier et ferroviaire Transport d'électricité, de gaz naturel et de fluide	Exclusion Zone tampon 10m Exclusion/Information Exclusion des pylônes électriques avec zone tampon de 25m

Tableau 2 : Synthèse des contraintes d'exclusion et autres informations complémentaires

Exclusion = Contrainte totalement exclue lors du traitement cartographique.

Information = Contrainte renseignée pour les 15 sites retenus.

3.2.9. Sources de données complémentaires

Une bonne partie de notre travail de contraintes repose sur les cartographies du PdS. Comme déjà évoqué, celui-ci représente une situation de droit plutôt que de fait. Or, il nous intéresse essentiellement de savoir quelle est l'utilisation actuelle des parcelles du territoire wallon.

Nous prévoyons donc de réaliser des opérations manuelles de vérification de la crédibilité des sites (non-)identifiés. Pour cela, nous envisageons d'affiner nos résultats sur base de deux autres sources de données wallonnes :

- **Cartes d'utilisation du sol** (Walous 2018) : il s'agit de la caractérisation du territoire « selon sa dimension fonctionnelle ou son objet socioéconomique actuel (ex. résidentiel, industriel, commercial, agricole, forestier, récréatif) » (directive européenne INSPIRE 2007/2/CE). Cela procure donc une information sur l'usage des sols par parcelle cadastrale et pour les espaces non-cadastrés qui décline quels usages sont faits du territoire wallon²⁴ ;
- **Projet Informatique de Cartographie Continue** (PICC) : cartographie en 3D de tous les éléments identifiables du paysage wallon (bâtiments et ouvrages d'art, équipements, réseau ferroviaire, réseau hydrographique, voiries...). Cela nous permettra d'identifier, par exemple, la présence de bâtiments dans des zones non-prévues à cet effet par le PdS.

3.3. Traduction cartographique

Les contraintes identifiées sont associées à une série de couches cartographiques disponibles auprès du Service public de Wallonie. Chaque couche fera l'objet de traitement cartographique permettant d'extraire les contraintes sous-jacentes dans un format simple. L'empilement des cartes de contrainte permettra d'identifier trois types de zones :

- les zones blanches, soit les zones sans contrainte ;
- les zones grises, soit les zones sous contrainte.

Les zones blanches constituent les cibles prioritaires pour la suite du travail. Par processus itératif, si elles s'étaient avérées insuffisamment nombreuses pour identifier des sites potentiels, un allègement des contraintes aurait été opéré pour valoriser davantage de zones grises. Ce ne fut finalement pas nécessaire.

4. Priorisation des sites

Les résultats de l'application des critères de rentabilité, physique et des contraintes d'exclusion consistent en une liste de sites potentiels. Dès lors qu'ils sont plus nombreux que les 15 sites maximum à retenir pour la phase 3, il est nécessaire d'opérer un tri entre ces sites. Pour cela, nous procédons à une priorisation entre ces sites sur base (i) des résultats obtenus aux critères physiques et (ii) de la pondération de ces critères physiques entre eux. In fine, nous obtenons un score pour chaque site. Cette méthode est davantage étayée en PARTIE C : 1.2.

²⁴ <https://geoportail.wallonie.be/catalogue/1c11ae54-f755-4d6c-95be-2e90c5c4fa70.html>

PARTIE C : Cartographie des sites potentiels

1. Méthodologie

1.1. Introduction

La méthodologie d'analyse cartographique menée a suivi les étapes présentées à travers le schéma méthodologique générique ci-dessous (Figure 1). Le processus a été construit de manière itérative afin de permettre des marches-arrières en cas de besoin (ex. relâchement de contraintes). Ce schéma s'appuie sur 13 étapes et sur un certain nombre de sous-étapes parfois facultatives selon l'origine des couches cartographiques ayant fait l'objet des manipulations. L'ensemble des étapes et sous-étapes est décrit dans les paragraphes qui suivent. Ce schéma pointe, à l'aide de leurs logos, les solutions techniques (logiciels) utilisées à chaque étape.



Figure 1 : Schéma méthodologique de l'approche cartographique appliquée à la recherche des sites potentiels d'implantation de STEP en Wallonie.

1.2. Description des étapes

Identification

Les différentes couches cartographiques utilisées ont été identifiées lors de la première phase de l'étude, s'y référer pour plus d'information.

Collecte

Les différentes couches cartographiques utilisées sont issues du catalogue de données du Géoportail de Wallonie. Elles ont été téléchargées directement depuis celui-ci et ont été hébergées au sein de différents dossiers. Aucune manipulation n'a été opérée à ce stade.

Observation

Les différentes couches cartographiques ont été visualisées à l'aide du logiciel SIG afin de prendre connaissance de leurs contenus et propriétés (système de coordonnées et de projection notamment) respectifs. Ces éléments permettent de définir un plan de prétraitement des données.

Prétraitement

(Re)Projection

En fonction de leurs propriétés, certaines couches cartographiques ont fait l'objet d'une reprojection afin qu'elles affichent toutes le même système de projection, soit le système Lambert belge 1972 (EPSG : 31370).

Binarisation

Les couches cartographiques de type vectoriel (présentant une table attributaire) se sont vu ajouter un champ nécessaire à leur dissolution. Il s'agit d'un champ de type binaire où la valeur 1 représente une entité (polygone) d'intérêt et 0 représente une entité sans valeur. Dans le cadre des couches de contraintes, comme le plan de secteur, la valeur 1 représente une entité contraignante (ex. zone d'habitat) et 0 une entité non contraignante (ex. zone d'extraction).

Zone tampon

Certaines couches de contraintes présentent un format vectoriel sous forme de ligne ou de point et ne représentent donc pas des emprises au sol ; par exemple les rails de chemin de fer ou les pylônes haute tension. Il a été nécessaire de les convertir en polygone d'emprise à l'aide d'une opération visant à créer une zone tampon (« buffer ») d'une largeur donnée autour de ces éléments linéaires ou ponctuels. Dans le cas d'une ligne, le polygone prend alors la forme d'un ruban et, dans le cas d'un point, le polygone prend la forme d'un disque. La largeur est variable selon l'origine des contraintes, par ex. 10m de part et d'autre d'un rail, d'une route ou autour d'un bâtiment existant et 25m autour d'un pylône haute tension ou d'une autoroute.

Dissolution

Pour faciliter les regroupements thématiques des couches de contraintes, chaque couche a subi une opération de dissolution, soit la fonte des limites entre entités possédant la même valeur attributaire. Dans notre cas, toutes les zones contigües considérées comme une contrainte ont été fusionnées en une seule et même entité ; l'inverse est vrai pour les zones hors contraintes. Cette opération allège le temps d'exécution de l'opération de regroupement (cf. ci-dessous).

Regroupements thématiques

Afin de réduire le nombre de couches cartographiques à traiter par l'algorithme d'analyse, les cartes de contraintes ont été regroupées par grands thèmes via une opération de regroupement (« union »). Les thèmes sont présentés dans le tableau résumant les contraintes prises en compte (cf. Phase 1). Ces regroupements constituent donc les nouvelles couches de travail. Ils sont appelés **groupes thématiques de contraintes**.

Conversion en image (rasterisation)

Les groupes de couches ont été converties en format image, autrement appelé « raster ». Ce format permet d'accélérer la combinaison/addition future des groupes de couches. Cette opération vise également à imposer une emprise géographique identique et une résolution commune à toutes les couches de contrainte. L'emprise est celle du maillage utilisé pour la segmentation des orthophotographies de la Wallonie²⁵. La résolution initiale était fixée à 1m² (1m*1m) afin de conserver la finesse des couches initiales mais la lourdeur de traitement en aval nous a finalement fait opter pour une résolution de 25m² (5m*5m).

Rééchantillonnage

Les couches cartographiques relatives au relief de format image, soit l'altitude et la pente du terrain, ont été rééchantillonnées afin de réduire leur résolution et améliorer les performances du processus de caractérisation des zones blanches. Leur résolution spatiale initiale était de 1m² (1m x 1m) et leur résolution spatiale finale de 100 m² (10m x 10m) – résolution moins fine que précédemment car il s'agit de fichiers plus volumineux.

Découpage en sous-zones

Le processus suivant qui consiste à superposer les contraintes est un processus assez gourmand en ressource au vu de l'étendue à traiter (la Wallonie) et la résolution des couches en entrée. Pour faciliter ce processus, le territoire wallon a été découpé en un certain nombre de sous-zones plus petites (Figure 2). Ce découpage a été opéré à l'aide du maillage 2021 des orthophotographies de la Wallonie (2km x 2km). Entre chaque sous-zone, une zone de chevauchement de la largeur d'une maille (2km²) a été préservée afin d'éviter les effets de bordure lors des étapes ultérieures du traitement.

Les groupes thématiques de contraintes ont donc été découpés pour chaque sous-zone et traités indépendamment.

²⁵ Géoportail de la Wallonie : Orthophotos 2021 - Maillage et tuilage

<https://geoportail.wallonie.be/catalogue/e1f2cd14-c623-4935-a9ff-13850d2028a3.html>

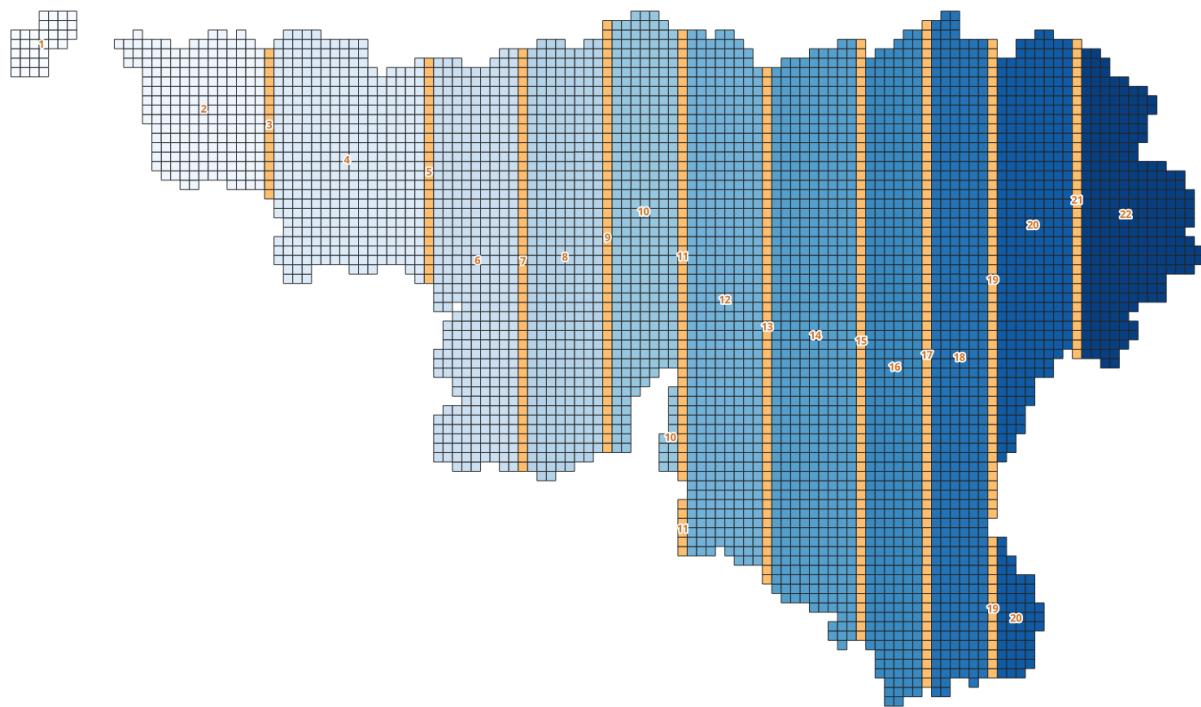


Figure 2 : Sous-zones de découpage du territoire wallon (nuances de bleu). En orange, les zones de chevauchement.

Combinaison des contraintes

Les groupes thématiques de contraintes, précédemment binarisés (cellule/pixel de valeur 0 ou 1) sont superposés les uns aux autres puis additionnés (Figure 3). Chaque cellule/pixel du territoire obtient alors un score variant de 0 à 6 ; ce qui signifie qu'elle n'affiche aucune contrainte ou cumule plusieurs ou toutes les contraintes. Ce sont les cellules sans contrainte qui constituent la cible du processus et que nous cherchons à extraire à l'étape suivante.

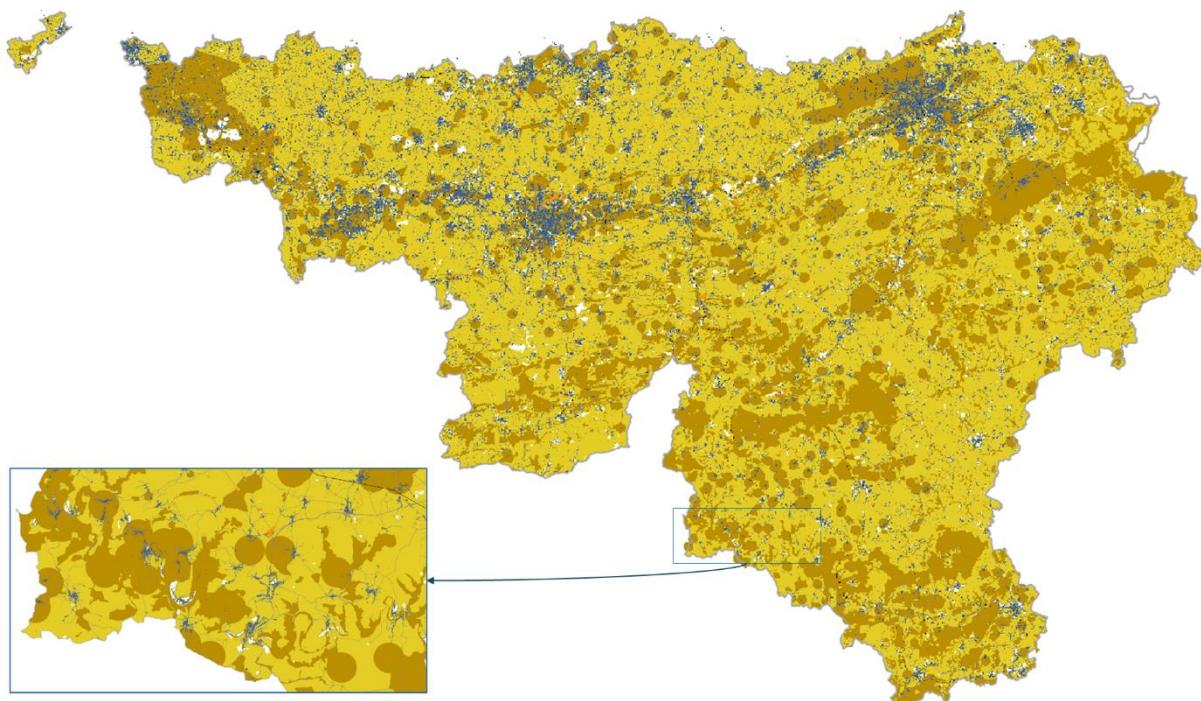


Figure 3 : Illustration de la superposition de l'ensemble des groupes thématiques de contraintes sur le territoire wallon. En couleur, les contraintes « Plan de secteur (jaune et orange) », « DGRIM, Eau, Nature et Patrimoine » (brun), « Ponts et Chaussées » (gris), « Rail » (noir) et « Bâtiments » (bleu). En blanc, les zones résiduelles hors contrainte ou zones blanches primaires.

Identification des zones blanches

Vectorisation des zones hors contrainte

Les zones ne présentant pas de contrainte sont extraites (Figure 4), puis vectorisées, c'est-à-dire qu'elles sont converties du format raster (image) au format vectoriel (dessin). Les zones prennent alors la forme de polygones et constituent les **zones blanches primaires**.

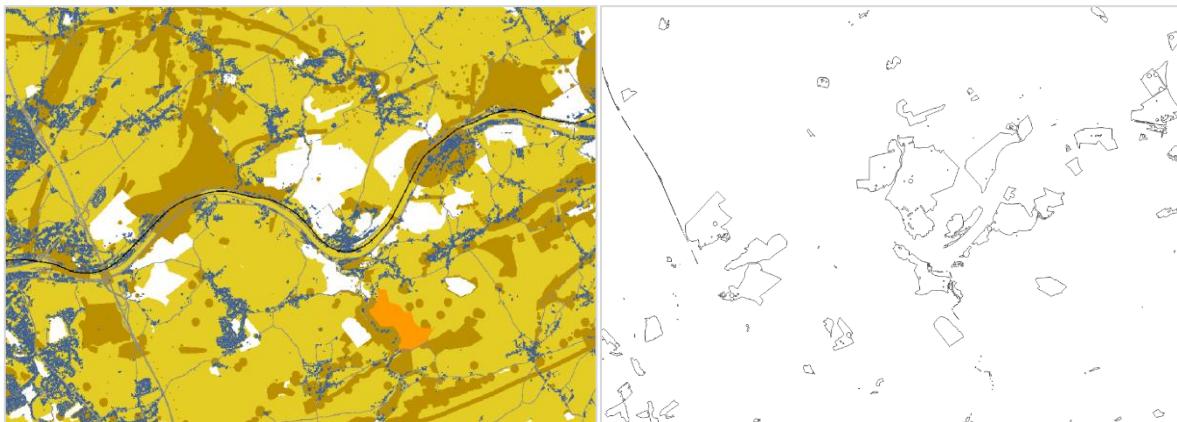


Figure 4 : Illustration de la combinaison des contraintes (à gauche) et de l'extraction des zones blanches primaires (à droite) dans la vallée de la Meuse à l'est de la ville de Namur.

Ajout des zones d'intérêt prioritaire

Le processus de cartographie des contraintes implique notamment la réalisation de zones tampon autour de certaines infrastructures, telles que les routes et ponts par exemple. Ces zones tampons sont construites sur base d'une distance fixe en ne prenant pas en considération les éléments alentours, tels que les voies navigables par exemple. La superposition des contraintes amène donc à un phénomène de rognage de certaines zones potentiellement intéressantes (Figure 5). Pour contrecarrer ce phénomène, les zones d'intérêt prioritaire sont alors surimposées aux zones blanches primaires afin de garantir leur intégrité. Ces zones d'intérêt prioritaire sont les zones d'extraction au plan de secteur, les sites à réaménager n'ayant pas encore de statut de reconversion et distinctes des zones d'extraction, et finalement les voies navigables.

A l'issue du processus, l'ensemble des zones blanches sont disponibles par sous-zones de découpage. Elles sont qualifiées de **zones blanches secondaires** ou simplement **zones blanches** (Figure 6).

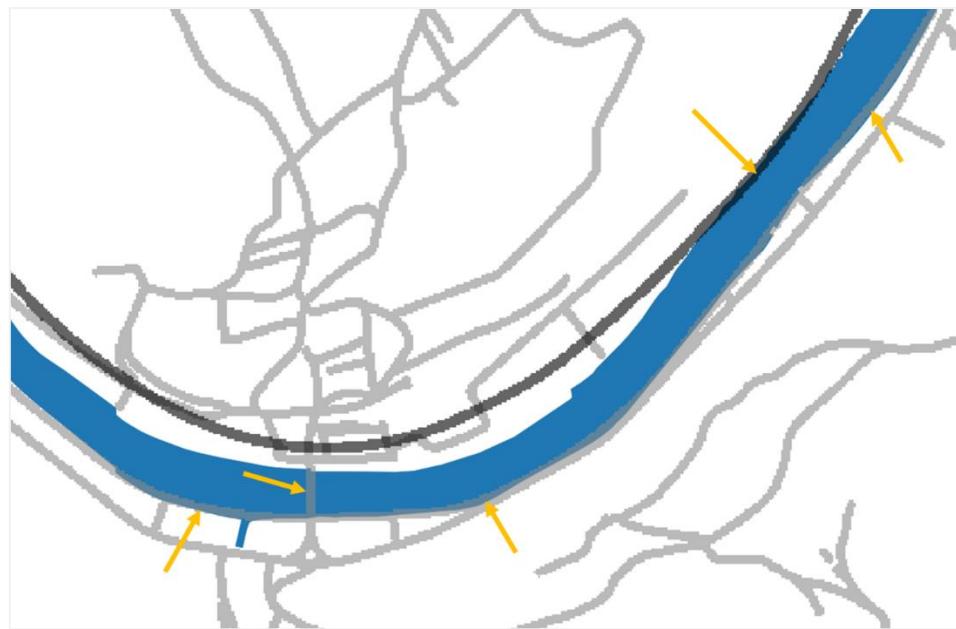


Figure 5 : Exemples du phénomène de rognage par les couches de contraintes sur les zones d'intérêt prioritaire.
Rail en noir, Ponts et Chaussées en gris, Voie navigable en bleu (Meuse) et Rognages pointés en orange.

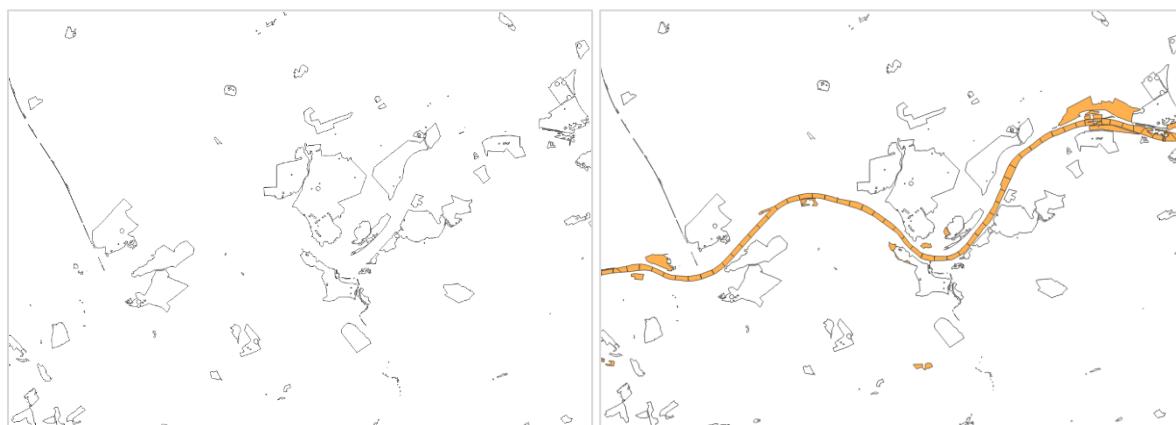


Figure 6 : Illustration des zones blanches primaires (à gauche) et l'addition des zones d'intérêt prioritaire (à droite – en orange) dans la vallée de la Meuse à l'est de la ville de Namur.

Caractérisation & Filtration

Caractérisation géographique

Chaque zone blanche fait l'objet d'une première caractérisation d'ordre géographique. Il s'agit du calcul d'attributs géographiques : coordonnées du centroïde (latitude et longitude [m]), périmètre [m] et surface [m^2].

Filtration primaire

Les différentes couches cartographiques sont éditées par des sources différentes non nécessairement parfaitement calées les unes sur les autres ni sur une référence commune. Les superpositions entre couches ne sont donc pas toujours très précises. L'addition des contraintes a donc inévitablement provoqué l'apparition d'artéfacts constituant dès lors des zones blanches sans intérêt. Une première opération de filtration a été effectuée afin d'éliminer les zones de superficie faible qui dans tous les cas ne possèdent pas grand intérêt pour l'installation d'une STEP (Figure 7). Le seuil retenu est celui d'un hectare ($10\,000\,m^2$).

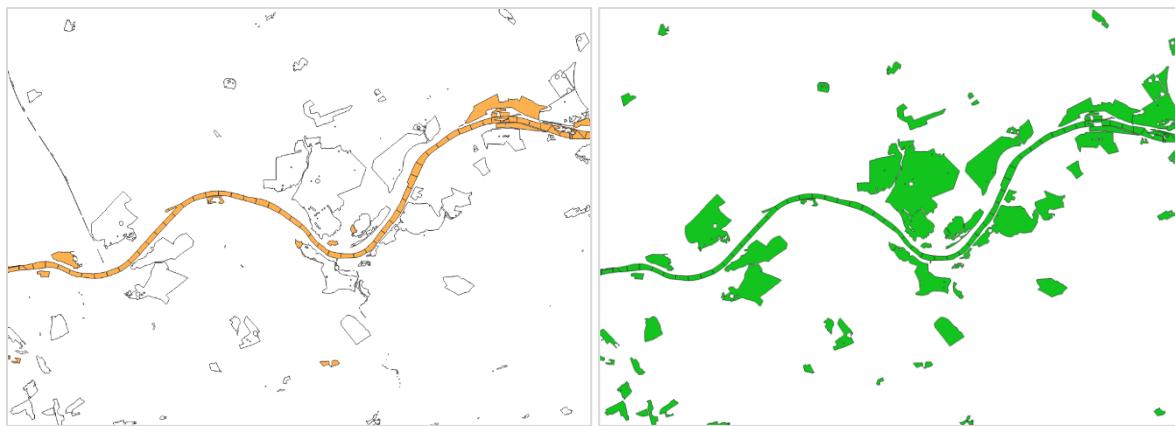


Figure 7 : Illustration des zones blanches secondaires brutes (à gauche) et des zones blanches secondaires résiduelles après filtration sur base du seuil de superficie ($\geq 1\text{ha}$) dans la vallée de la Meuse à l'est de la ville de Namur.

Caractérisation géomorphologique

Une seconde caractérisation d'ordre géomorphologique est effectuée dans la perspective de l'estimation de la hauteur de chute et la configuration topographique d'un site potentiel. Les couches d'altitude [m] et de pente [pourcent] sont exploitées de manière à faire ressortir une synthèse de leur distribution pour chaque zone blanche : quartiles, médiane et moyenne.

Combinaison 2 à 2

Un site potentiel à l'implantation d'une STEP doit nécessairement être constitué d'au moins deux bassins : un bassin supérieur et un bassin inférieur. Une analyse combinatoire des zones blanches est donc menée afin d'identifier les sites potentiels. Chaque zone blanche est combinée à ses voisines (combinaison 2 à 2) et leurs caractéristiques respectives sont hébergées au sein d'une table. S'en suit les calculs de :

- la hauteur de chute (Hc) considérée comme la différence absolue des altitudes médianes de chacune des deux zones et exprimée en mètres ;
- la distance horizontale planimétrique (Dh) considérée comme la distance entre les centroïdes de chacune des deux zones blanches et exprimée en mètres ;
- le ratio hauteur de chute sur distance horizontale (Hc/Dh).

Le type de système est également mis en évidence pour chaque combinaison (Figure 8), soit :

- un site fermé constitué de deux bassins hors voie navigable ;
- un site semi-ouvert dont l'un des bassins est un segment de voie navigable ;
- un site ouvert dont les deux bassins sont des segments de voie navigable.

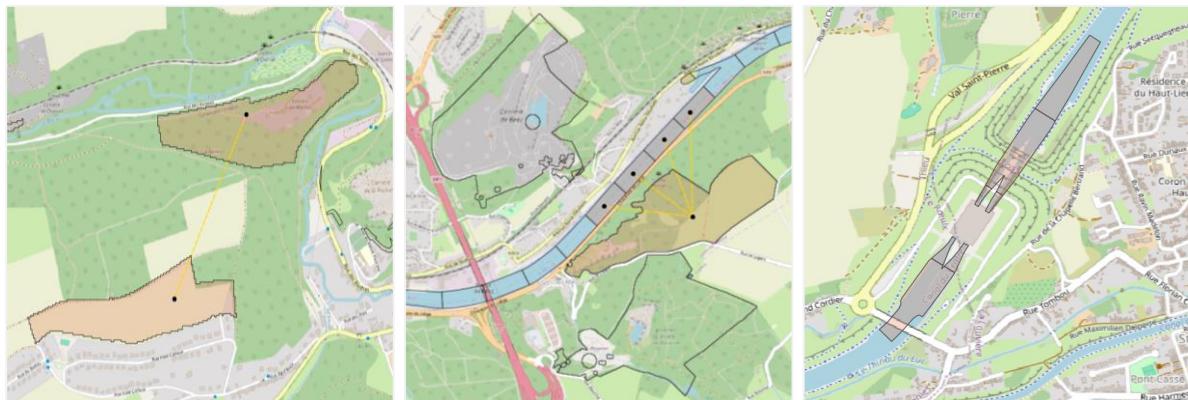


Figure 8 : Illustration de combinaisons 2 à 2 constituant des systèmes fermé (gauche), semi-ouvert (centre) ou ouvert (droite).

Filtration secondaire

La prise en compte des voies navigables comme zone blanche nécessite un traitement particulier. En effet, les voies navigables présentent une configuration naturellement allongée et parfois très longue, ce qui implique que le centroïde géographique se retrouve parfois fort éloigné d'une autre zone blanche voisine. La distance horizontale entre les centroïdes de la voie navigable et de la zone blanche voisine est alors parfois artificiellement élevée. Cela tend à rendre le ratio Hc/Dh peu avantageux et donc à déclasser le site potentiel. Les voies navigables ou plutôt leurs segments entre deux ouvrages d'art ou frontières (nationales, régionales ou légales) ont donc été scindés en plus petits tronçons. Chaque tronçon constitue alors une zone blanche à part entière qui peut être liée à la zone blanche voisine. Il s'en suit alors parfois une démultiplication artificielle des sites potentiels par la combinaison 2 à 2 de différents tronçons à une même zone blanche voisine (liaison multiple - Figure 9). Un nettoyage est alors nécessaire pour ne conserver que la meilleure des combinaisons (Figure 10). Par meilleure, il faut comprendre la liaison présentant la hauteur de chute la plus élevée, puis en cas d'égalité, la distance la plus courte (ratio Dh/Hc le plus faible).



Figure 9 : Illustration du principe de liaison multiple vers les tronçons d'un même segment de voies navigables.

A noter finalement qu'un enlèvement de certaines combinaisons dites « doublons » est finalement nécessaire. Ces doublons proviennent des zones de chevauchement entre sous-zones de découpage. En effet, les zones blanches appartenant à ces zones de chevauchement sont étudiées deux fois. Seule une des deux combinaisons est alors conservée.

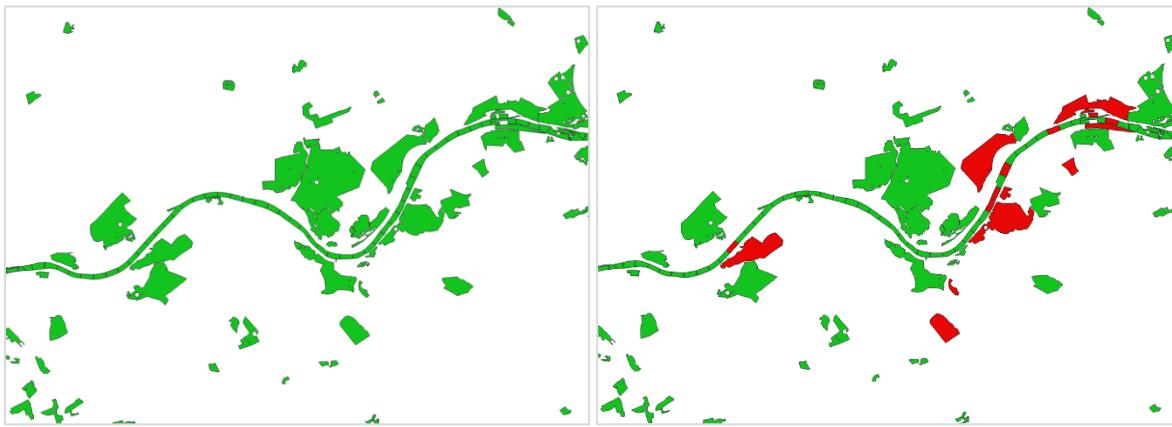


Figure 10 : Illustration des zones blanches filtrées sur base de leur superficie (à gauche en vert) et des zones blanches considérées comme bassin de sites potentiels après analyse combinatoire (à droite en rouge).

Priorisation - Adéquation

Une fois caractérisés, il faut pouvoir prioriser les sites potentiels afin de n'en retenir qu'un petit nombre à étudier plus en détails. Cette priorisation passe par le calcul d'un score global s'appuyant sur l'addition pondérée des scores individuels de quatre paramètres :

- la hauteur de chute (H_c) entre les deux bassins ;
- le ratio hauteur de chute - distance horizontale ($R_{Hc/Dh}$) entre les deux bassins ;
- la superficie du plus petit (A_{min}) des deux bassins ;
- le premier quartile de la pente ($Q_1 S_{max}$) du plus accidenté des deux bassins.

$$\text{Score global} = \sum_{i=1}^4 (\text{Score individuel}_i \times \text{Poids}_i) \quad [1:5]$$

Les paramètres mentionnés possédant des échelles de valeur différentes, il est nécessaire de les standardiser pour pouvoir les additionner. La standardisation passe par l'association de chaque valeur d'un paramètre donné à une classe de valeurs. Pour ce faire, la distribution des valeurs de chaque paramètre au sein de la liste des sites potentiels est ramenée à 5 classes. Les limites de classes sont fixées par les quantiles 20, 40, 60 et 80 de chaque distribution de valeur (Figure 11), soit les classes [0 – 20[, [20-40[, [40-60[, [60-80[et [80-100]. A noter que plus élevées sont les hauteurs de chute et les superficies, plus élevés sont les scores individuels associés. A l'inverse, plus petits sont les ratios et les quartiles de pente et plus élevés sont les scores individuels. Le score global varie dès lors de 1 à 5 ; le site le plus intéressant affichant le score le plus élevé.

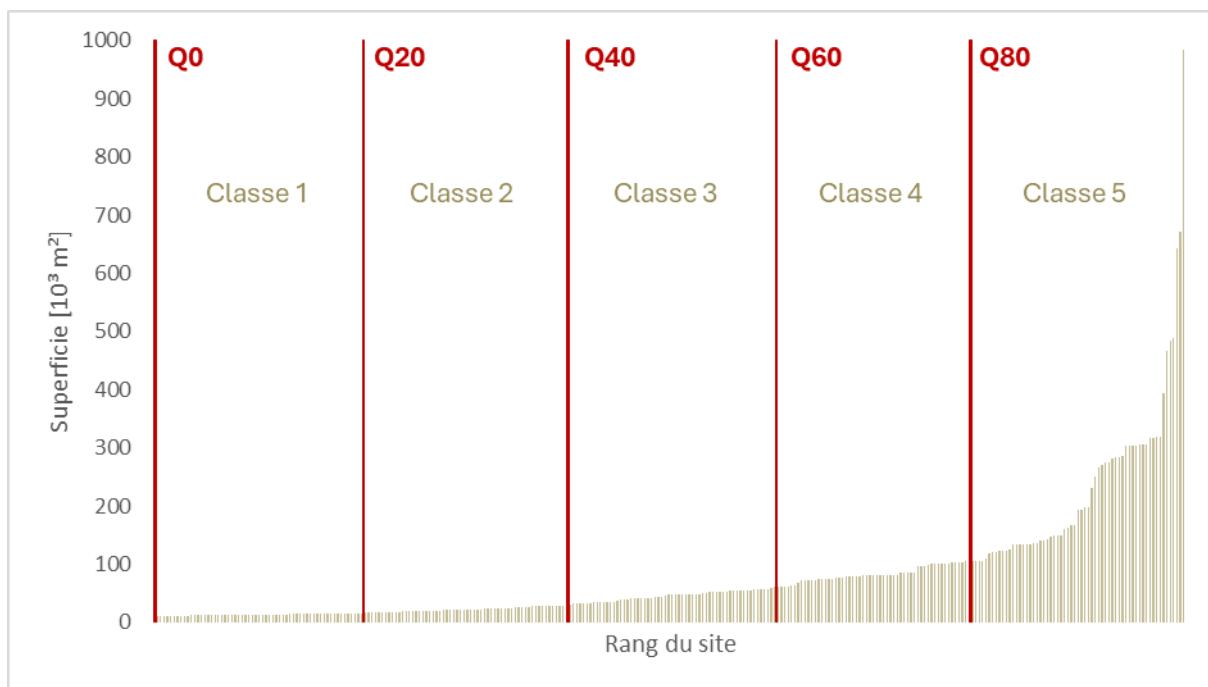


Figure 11 : Illustration de la répartition des valeurs de superficie des sites en cinq classes sur base des limites des quantiles (20, 40, 60 et 80) en surimposition de la monotone des superficies.

A chaque paramètre est associé un poids plus ou moins important en fonction de l'importance accordé au dit paramètre. Le choix a été fait d'attribuer les poids suivants :

- Hauteur de chute : 32,5 %
- Ratio : 17,5%
- Superficie : 32,5%
- Pente : 17,5%

Il a été choisi d'attribuer plus de poids aux paramètres impactant directement le potentiel énergétique du site et sur lesquels il est plus difficile de jouer (Scénario A - Vert). En effet, (i) la pente du terrain peut être remaniée lors du chantier d'implantation et (ii) la distance horizontale issue de l'exercice cartographique reste assez théorique, sera souvent plus courte en pratique et dépend directement de l'endroit où sera placée la conduite. Il est par contre plus difficile d'agrandir la zone du fait des contraintes alentours et de modifier la hauteur de chute sans impact important sur les coûts.

Afin de tester la sensibilité de cette pondération, il a été décidé de mener une courte analyse de sensibilité en n'accordant le plus de poids qu'à un seul des paramètres principaux retenus, soit la hauteur de chute (Scénario B - Orange) ou soit la superficie (Scénario C - Bleu). La répartition des poids est de 70% pour le paramètre principal (hauteur ou superficie) et de 10% pour les trois autres paramètres.

Sélection finale

La sélection finale de sites à étudier plus finement est opérée manuellement par un passage en revue des sites triés par ordre décroissant de score global. Un déclassement progressif a été effectué jusqu'à atteindre le nombre de sites demandés. Le déclassement des sites est issu de l'identification de contraintes particulières supplémentaires, telles qu'une configuration géographique alambiquée, la présence d'une combinaison voisine plus intéressante, une utilisation d'une zone en activité (gare de triage de Kinkempois [Angleur]), un remplacement d'une zone naturelle en plein cœur de zones d'habitat, l'utilisation d'un cours d'eau non navigable comme bassin inférieur ou supérieur, une situation complexe à proximité de zones fortement équipées (Sart-Tilman)...

1.3. Solutions techniques

Trois outils ont été retenus pour la gestion des données tout au long du processus : Quantum GIS, R associé à RStudio et Microsoft Office Excel.

Quantum GIS est un Système d'Information Géographique (SIG) libre de droits d'ESRI offrant des fonctionnalités cartographiques de traitement et de visualisation complètes. Ce logiciel a été utilisé pour préparer les données et visualiser les résultats en bout de processus.

R est un langage de programmation et logiciel libre destiné à la science des données soutenu par la R Foundation for Statistical Computing. RStudio est un environnement de développement gratuit, libre et multiplateforme dédié au langage R. Cet outil a été utilisé pour éditer un script permettant l'exploitation semi-automatisée des données préparées. Il permet d'accélérer la réitération du processus par exemple en cas de modifications du jeu de couches cartographiques en entrée (contraintes) ou des critères de pondération ou priorisation des sites potentiels. Il assure ainsi une meilleure reproductibilité des résultats.

Microsoft Office Excel est pour sa part communément utilisé pour manipuler les données sous forme tabulaire. Il a été utilisé à différents moments, mais essentiellement pour la préparation des données d'entrée (tableaux référentiels) et la sélection finale des sites potentiels.

2. Résultats

2.1. Résultats en quelques chiffres et graphiques

L'analyse des données a conduit à isoler progressivement un nombre restreint de sites d'intérêt à partir des zones blanches identifiées (Figure 12). Des 2,5 millions de combinaisons 2 à 2, seuls 414 sites, dits « sites retenus », respectent les seuils fixés de superficie (≥ 1 ha), de hauteur de chute (≥ 50 m) et de ratio (≤ 10). Les 125 « sites analysés » sont les « sites retenus », triés par ordre décroissant de score de priorité, passés en revue un à un lors de la phase de validation manuelle. Cette phase de validation vise à atteindre une courte liste de 33 « sites préférentiels » sur base desquels sont fixés les sites qui bénéficieront d'une visite de terrain. Les « sites finaux » sont les meilleurs sites identifiés pour lesquels une analyse plus approfondie est effectuée.

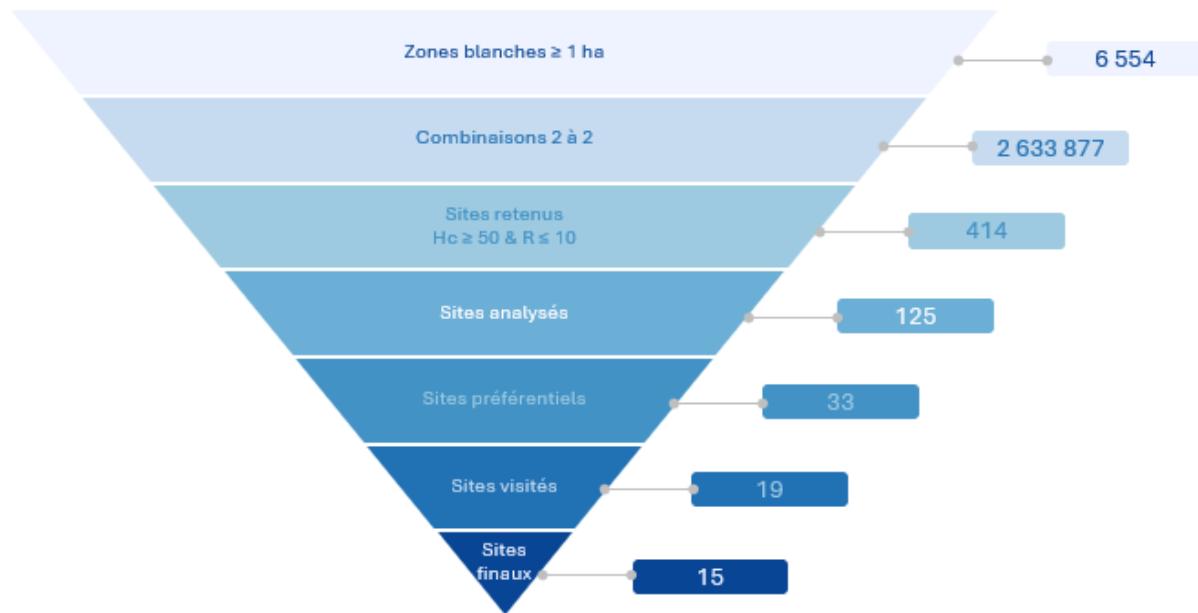


Figure 12 : Illustration de la progression du travail de sélection des sites d'intérêt au fil du processus d'analyse et de validation. (les cases flottantes à droite reprennent les occurrences relevées)

Parmi les 414 sites potentiels, la ventilation selon le type de système mène à la distribution suivante :

- 294 sites fermés ou semi-ouverts sur un cours d'eau non navigable ;
- 119 sites semi-ouvert sur un cours d'eau navigable ;
- 1 site ouvert.

Rappelons que les sites semi-ouverts sur cours d'eau non navigable (Vesdre, Amblève, ...) sont probablement peu intéressants du fait des relativement faibles débit et hauteur d'eau dans ce type de rivière qui impliquent des contraintes fortes sur les dimensions de la STEP et/ou son exploitation de la nécessité du respect de conditions strictes de débit pour ne pas perturber l'écosystème aquatique. Ces sites sont quasi-systématiquement déclassés lors de la phase de validation manuelle.

Les graphiques ci-dessous illustrent la répartition des combinaisons 2 à 2 selon différentes variables :

- En deux dimensions :
 - La hauteur de chute et la distance horizontale avec en surimpression les courbes des ratio Hc/Dh de valeur 10 et 15 (Figure 13) ;
 - La hauteur de chute et le ratio Hc/Dh des combinaisons présentant une hauteur de chute d'au moins 25m et un ratio Hc/Dh inférieur ou égal à 15 (avec en surimpression la zone cible ($\geq 50m$) et le ratio (≤ 10) et les STEP actuelles de Coo et de la Plate-Taille - Figure 14) ;
- En « trois » dimensions :

Les 414 sites retenus selon leur hauteur de chute, leur ratio et leur surface (avec en surimpression la diagonale indiquant les sites plus intéressants - Figure 15).

En observant ces graphiques et abstraction faite de la pente des sites, on constate que les sites les plus intéressants sont assez peu nombreux ; soit ceux présentant une grande surface, une hauteur de chute élevée et un ratio faible (grosses bulles en bas à droite de la figure 15). Le site qui se rapproche le plus de ces conditions est la STEP actuelle de Coo et les autres grosses bulles à proximité sont des variantes utilisant soit le bassin inférieur ou supérieur actuels de Coo (Figure 16). A noter que le site modélisé correspondant à la Plate-Taille n'apparaît pas en figure 14 et ce pour une raison technique liée à la méthode de calcul de la distance entre bassins inférieur et supérieur. Cette méthode conduit à une

surestimation de la distance réelle entre bassins et inexorablement à une surestimation du ratio Dh/Hc. Ce cas n'arrive que pour les combinaisons de deux zones blanches de grandes surfaces et proches spatialement (distance réelle inférieure à la distance entre centroïdes, soit des distances de 85m et 1400m dans le cas de la Plate-Taille). C'est une des limites de l'algorithme mis en place, mais qui n'affecte que peu les résultats étant donné que ce cas est rare sous les hypothèses de travail adoptées.

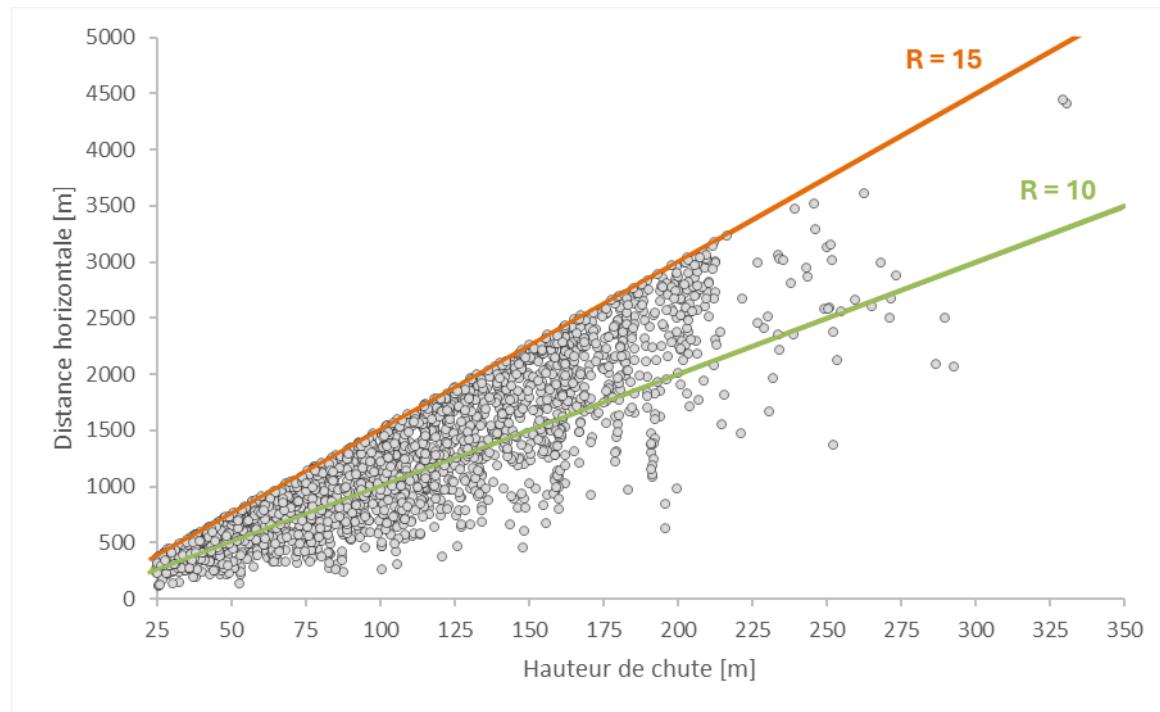


Figure 13 : Illustration de la distribution des combinaisons 2 à 2 selon la hauteur de chute et la distance horizontale. Seules les combinaisons présentant une hauteur de chute supérieure à 25m et un ratio Hc/Dh inférieur à 15 sont retenues. En surimpression les droites des ratios 10 et 15.

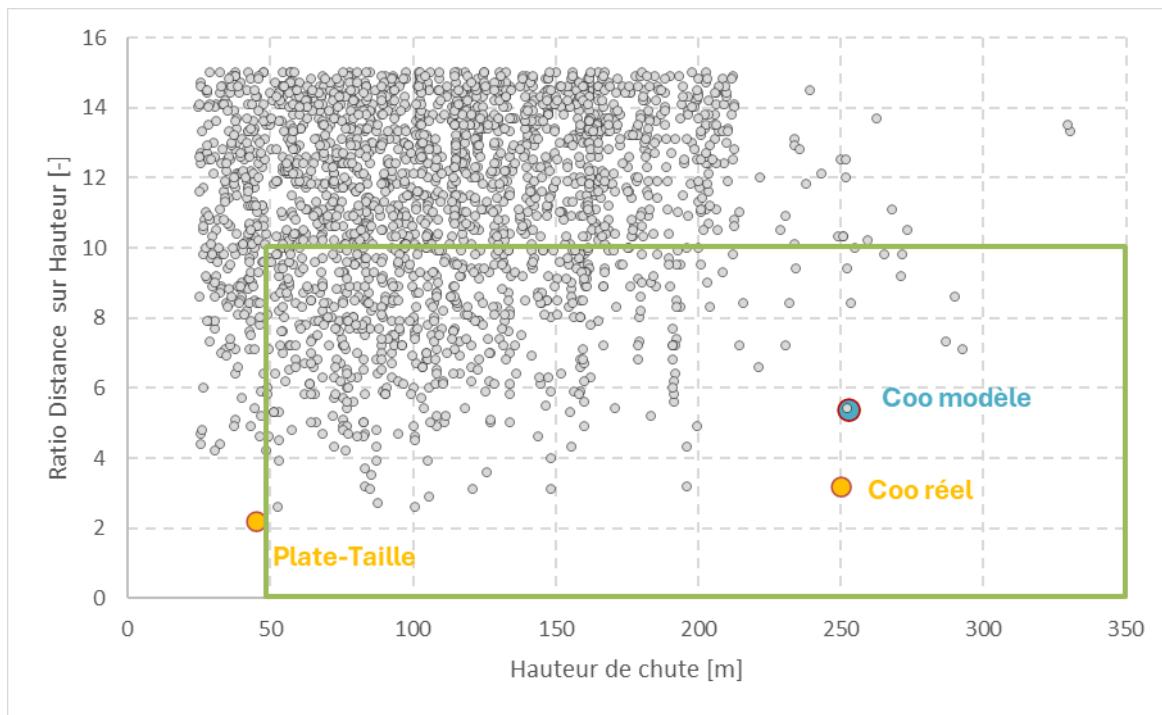


Figure 14 : Illustration de la distribution des combinaisons 2 à 2 selon la hauteur de chute et le ratio Hc/Dh .

Seules les combinaisons présentant une hauteur de chute supérieure à 25m et un ratio Hc/Dh inférieur à 15 sont retenues. En surimpression : cadre vert, les limites de la zone cible ($Hc \geq 50m$ et $R \leq 10$) ; point jaune, les STEP actuellement en service en Wallonie ; en bleu, le site potentiel identifié par le modèle et apparenté à la STEP actuelle de Coo.

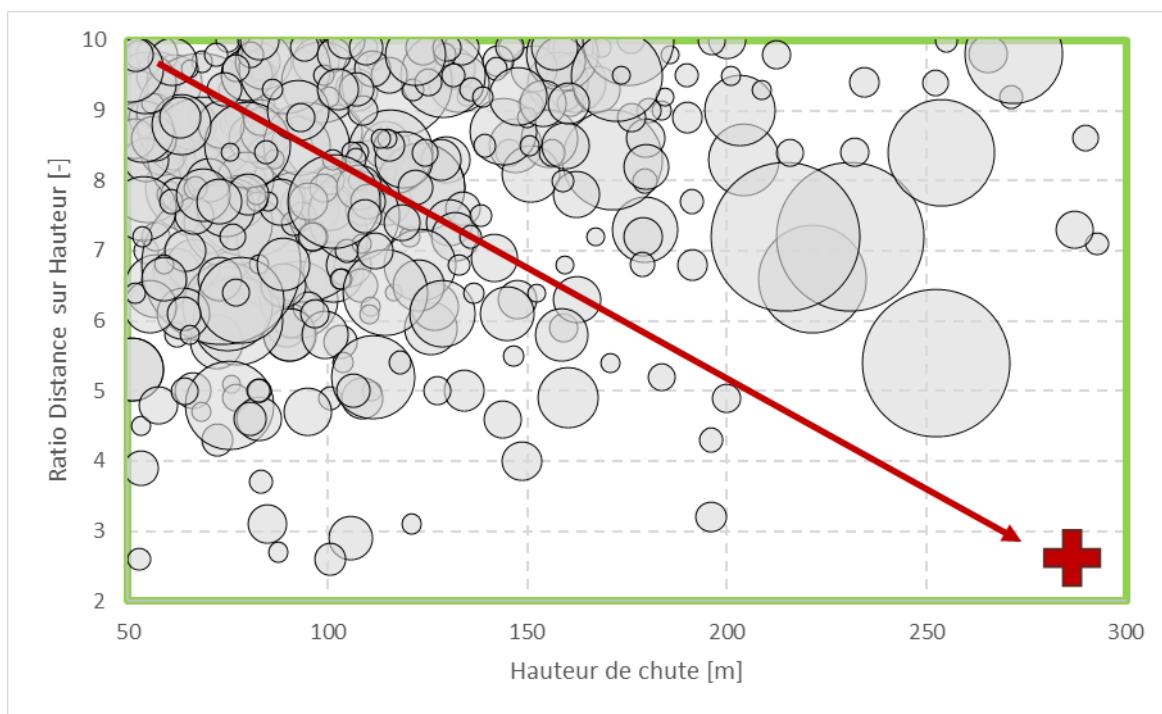


Figure 15 : Zoom sur la cadre vert de la figure précédente présentant la distribution les sites potentiels selon la hauteur de chute, le ratio Hc/Dh et la superficie. La superficie est représentée par la taille des points. La flèche rouge représente la diagonale selon laquelle les sites sont les plus intéressants.

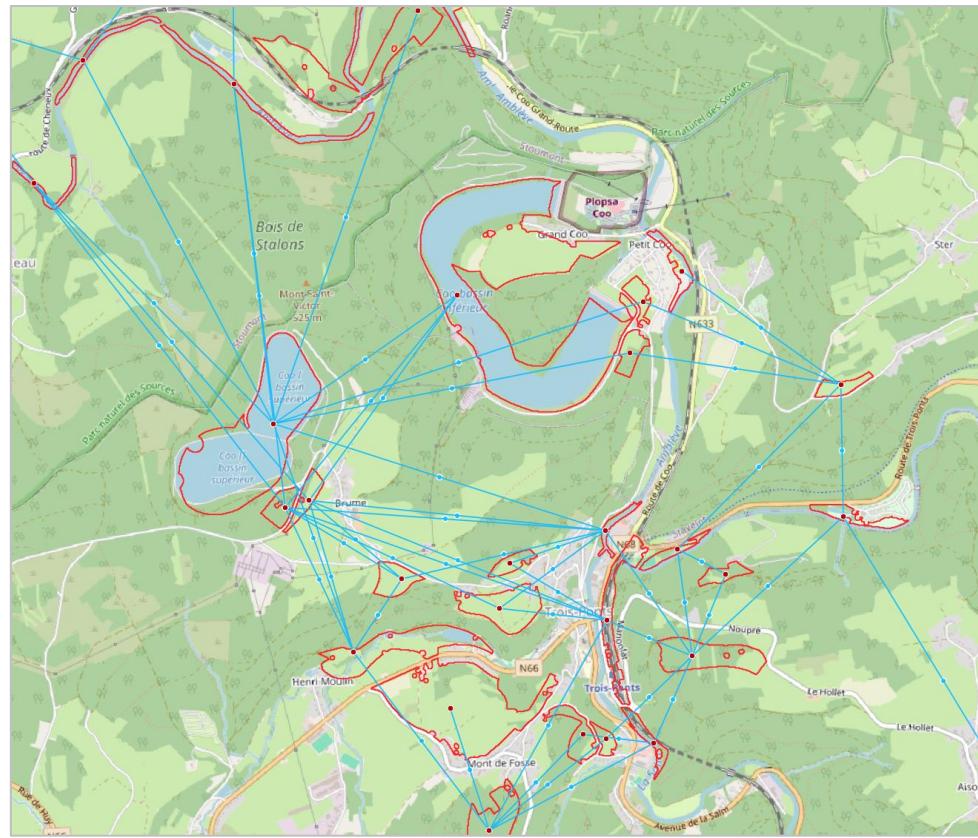


Figure 16 : Illustration des sites potentiels dans la région de Coo (Trois-Ponts).

L'analyse de sensibilité menée sur la pondération des critères de priorisation des sites est illustrée à la figure suivante (Figure 17). Les occurrences par scénario sont représentées par les bâtonnets verts, oranges et bleus. Les lignes pointillées représentent quant à elles le cumul de ces occurrences.

En observant les distributions de scores, on remarque que la distribution des sites entre les scénarios B et C sont assez similaires et assez régulières (bâtonnets par classe d'hauteur similaire). Les moyennes et l'écart-type des écarts de score par site entre les scénarios B et C équivalent à 1 et 0.7. Cela montre que les sites présentent des hauteurs et surfaces ne se compensant pas. Il paraît alors nécessaire d'attribuer plus de poids à ces deux paramètres conjointement ; c'est ce qui a été recherché dans le scénario A. Ce scénario présente une distribution en cloche mettant en évidence une accentuation des extrêmes ; les meilleurs et moins bons sites sont plus marqués du fait d'une double pondération. Cela a l'avantage de mieux discriminer ces sites et faciliter la sélection finale.

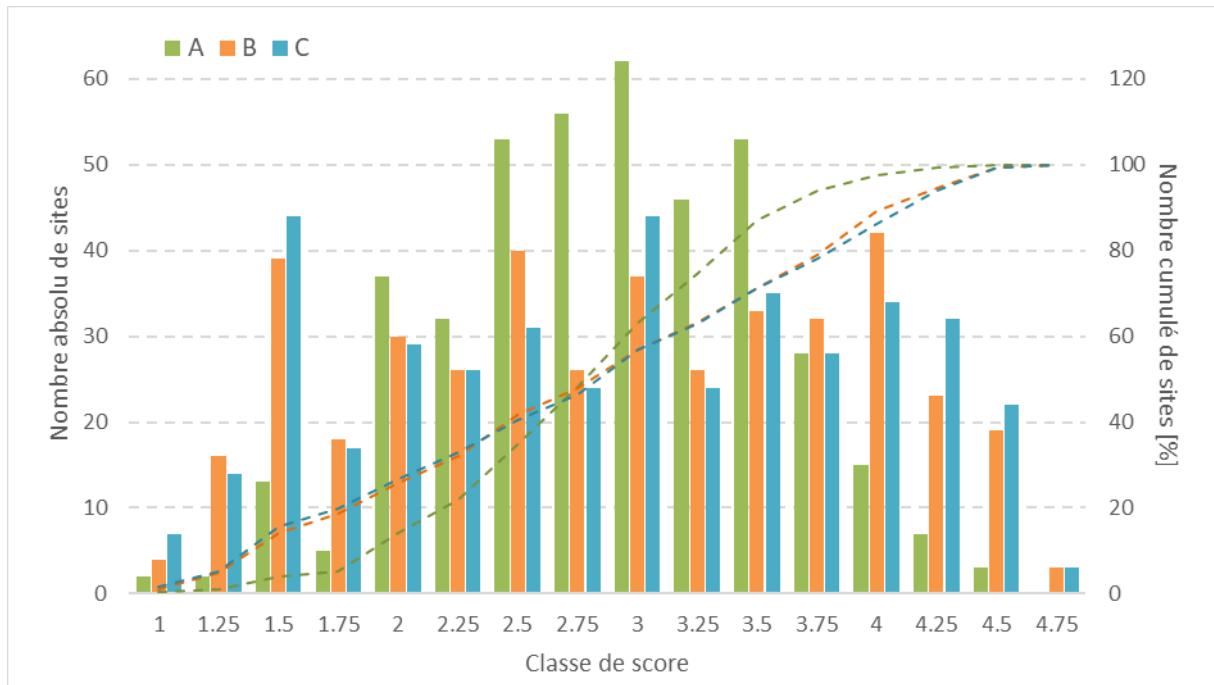


Figure 17 : Illustration de la distribution par classes des scores finaux des différents sites potentiels selon les trois scénarios de pondération des paramètres (bâtonnet – occurrences absolues ; ligne pointillée – occurrences cumulées).

2.2. Carte de distribution des sites potentiels

La carte générale de distribution des sites potentiels et des sites retenus (Figure 18) nous montre que la distribution géographique des sites en Wallonie est fortement liée à la distribution des cours d'eau et au relief, surtout à la présence de vallées encaissées, telles que sur la Meuse, l'Ourthe ou la Semois. Cette distribution est assez logique comme nous le confirme la carte d'un indice de position topographique représentant la différence en tout point du territoire entre l'altitude de ce point avec l'altitude moyenne dans un rayon d'un kilomètre (Figure 19). Cette différence d'altitude illustre indirectement la hauteur de chute potentielle à un endroit donné. On observe que ce sont les vallées des principaux cours d'eau wallon qui offrent nécessairement les meilleures conditions.

Les 33 sites préférentiels, parmi lesquels certains ont fait l'objet d'une visite, sont présentés dans la carte en Figure 20.

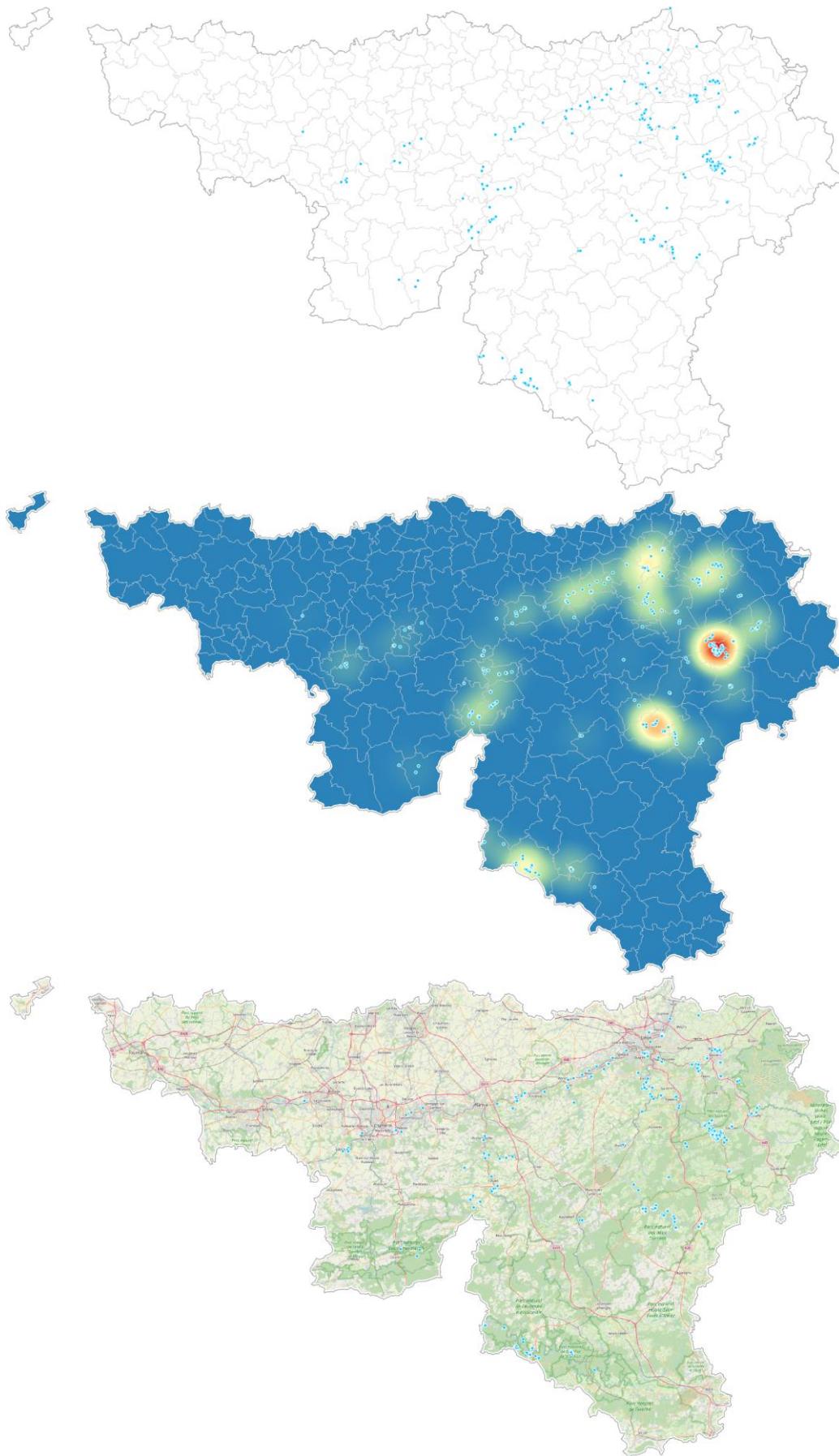


Figure 18 : Carte de distribution des sites potentiels d'implantation de STEPs en Wallonie (points bleus sur fond de délimitations des entités communales, sous forme de carte de densité et sur fond de plan (OpenStreetMap).

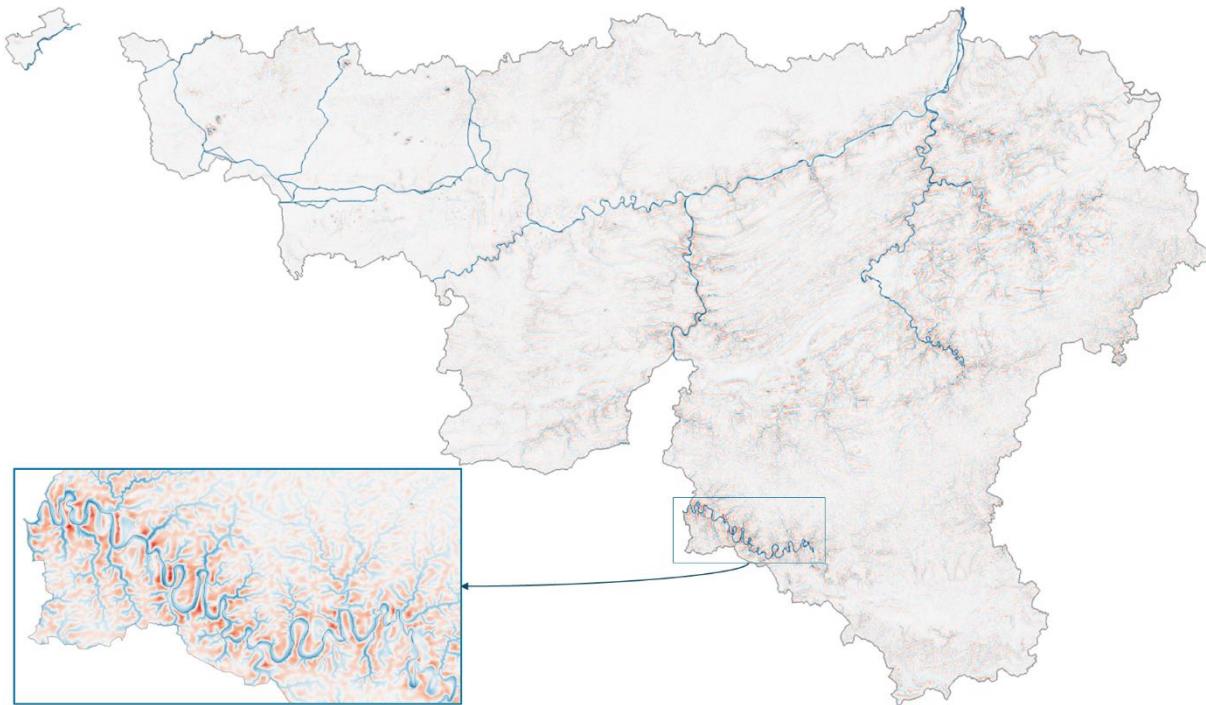


Figure 19 : Carte de l'indice de position topographique (TPI) et des voies navigables de Wallonie (traits bleus).
 TPI : Soustraction de l'altitude en un endroit donné et de l'altitude moyenne dans un rayon d'un kilomètre autour de cet endroit pondérée par la distance au carré. Plus l'indice est marqué (positivement [rouge] ou négativement [bleu]), plus les hauteurs de chute potentielles sont importantes.

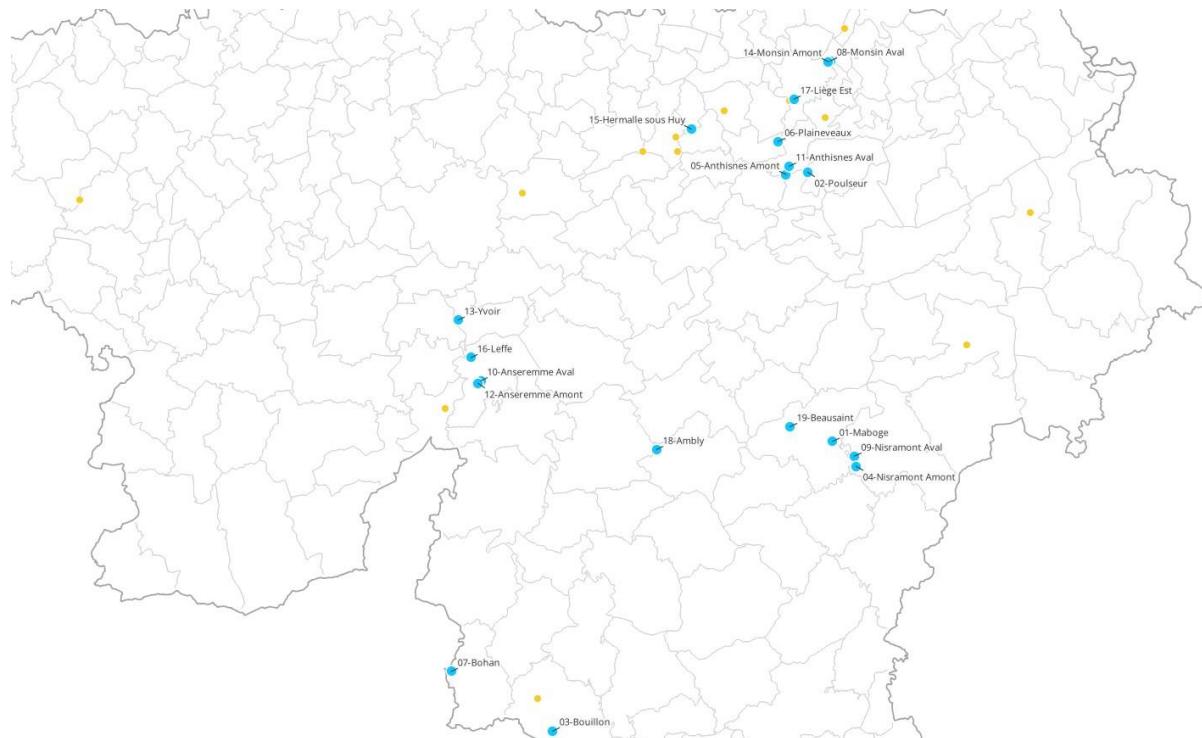


Figure 20 : Répartition géographique des 33 sites préférentiels sur le territoire wallon.
 En bleu, les 19 sites visités et, en jaune, les sites non visités. Les identifiants de sites en surimpression noire.

3. Discussion et recommandations

A l'issue de l'application de plusieurs itérations du processus, c'est un total de 6.554 zones blanches qui ressortent pour la construction de sites potentiels. La combinaison de ces zones blanches conduit à la rétention de 414 sites potentiels.

L'analyse cartographique menée n'a pour but que de rationaliser le ciblage des sites sur un jeu de contraintes fortes. Elle ne conduit pas à une estimation parfaitement fiable du potentiel des sites identifiés. En effet, bon nombre de raisons complémentaires conduisent encore au déclassement de certains sites (cf. § Sélection finale). La méthodologie cartographique reste donc perfectible en prenant en considération d'autres indicateurs (ex. configuration spatiale des zones blanches, densité d'habitat à proximité...), en affinant certaines fonctions (calcul de distance) ou en précisant certaines analyses (réduire les combinaisons multiples d'une même zone blanche vers plusieurs autres, limiter les sites semi-ouverts sur cours d'eau non navigable).

A l'issue de notre analyse, il n'est pas exclu non plus que certains sites n'apparaissent pas alors même que leur potentiel est déjà bien connu par certains. L'approche appliquée a été développée sur base de critères objectifs et sans aucun "calage" pour retrouver des sites connus. Cette méthodologie a ensuite été appliquée systématiquement à l'échelle du territoire de la Wallonie. Le site de la centrale de Coo apparaît naturellement dans les résultats comme le meilleur site wallon. Ce point souligne la pertinence et la validité de l'approche proposée.

Il faut garder en mémoire que ce sont surtout les jeux de données en entrée du processus et pas tant la méthodologie d'analyse cartographique qui impactent les résultats. En effet, la qualité des jeux de données (précision spatiale, actualisation) et leur prise en considération ou non comme contrainte impacte directement le nombre de zones blanches obtenues. Un relâchement des contraintes reste bien entendu possible, mais il faut veiller à bien contrôler l'impact sur les coûts sous-jacents des projets d'implantation (ex. expropriations, difficulté d'octroi d'un permis d'environnement).

PARTIE D : Caractérisation technico-économique des principaux sites potentiels

1. Introduction

L'analyse cartographique a identifié 33 sites préférentiels. Une fois priorisés entre eux (PARTIE C : 1.2), nous avons procédés aux visites de terrains en partant des sites les mieux classés. L'objectif initial était de parvenir à l'analyse de 15 sites préférentiels maximum. Cependant, il fut décidé d'en visiter plus au cas où plusieurs de ces sites venaient à être considéré comme non-pertinent suite à la visite de terrain. C'est pourquoi nous avons procédé à la visite de 19 sites dont 2 ne sont finalement pas retenus.

Cette section reprend chaque fiche de visite de site, une évaluation croisée de l'ensemble des sites visités ainsi que finalement les conclusions générales de l'étude.

2. Fiches de visite des sites

2.1. Site 1 - Maboge

Référence : 18_1665_2747

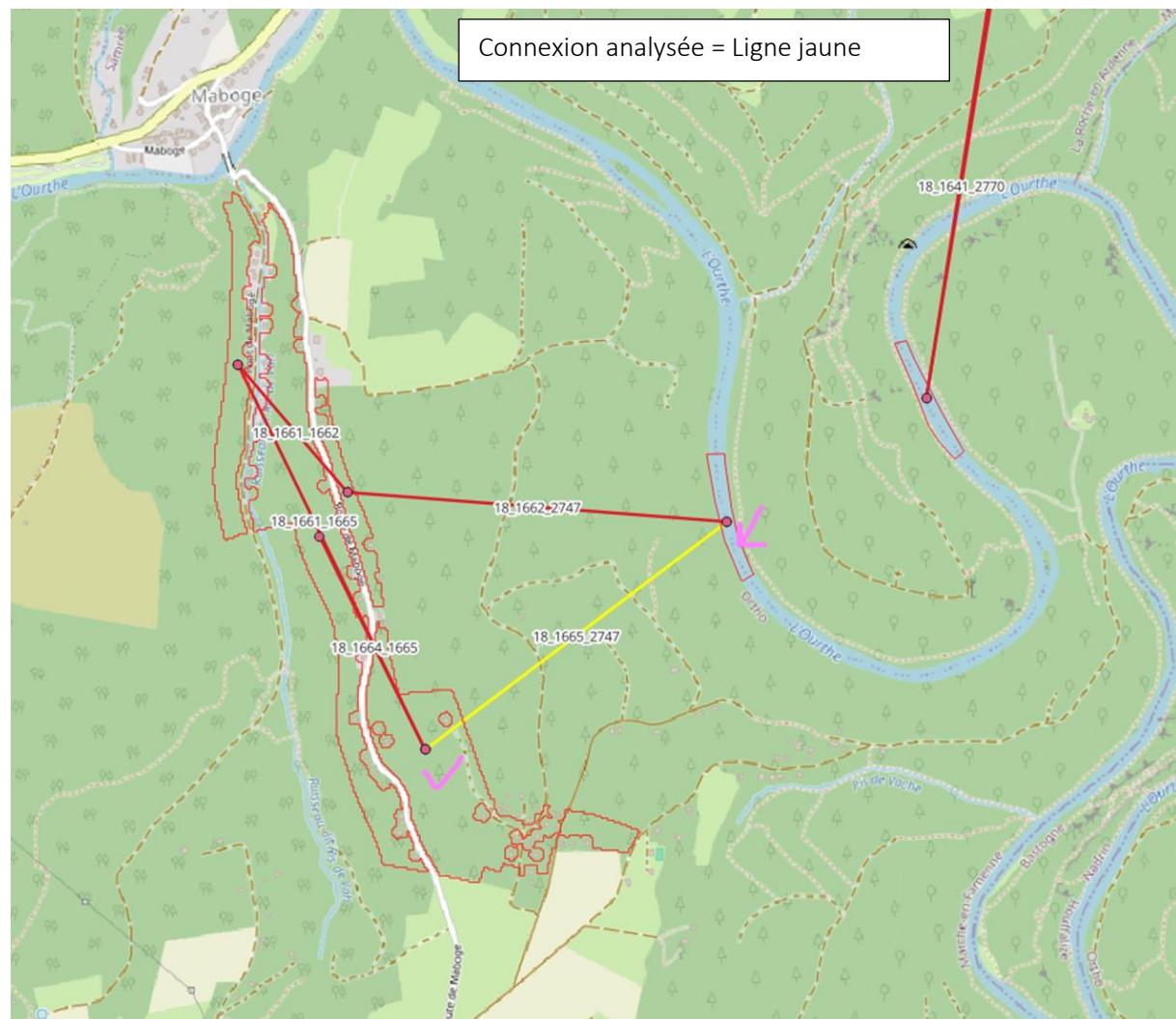
Commune(s) : Maboge

Localisation :

xLbt72	yLbt72	xGPS	yGPS
240771.5	94776.8	5.639066901746908	50.15715426254494

Système : semi-ouvert

Carrière : Non





Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[Mm³]	S [ha]	P[m]	V[Mm³]	[m]	[MWh]	[h]	[m³/s]	[MW]
N/A	N/A	-	11,0	10	1,1	144,9	305	6	51,1	65,3

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	SPW – Région Wallonne	Inconnu
Nature de l'exploitation	Aucune exploitation- Ourthe	Terrains en friche, un peu de bois, pas d'exploitation visible
Proximité réseau électrique	Non	Oui (moyenne tension)
Proximité réseau eau	Oui (Ourthe)	Non (mais pas un souci)
Proximité réseau routier	Non (accès compliqué)	Oui (aisé et peu utilisé)

Evaluation du site :

Très bon site bien que difficile à visiter car très loin d'accès.

Beaucoup de possibilités pour la constitution du réservoir supérieur. De nombreuses connexions sont aussi possible vers l'Ourthe depuis ce site supérieur mais aussi en tant que réservoir inférieur en utilisant en tout ou en partie l'Ourthe (avant La Roche).

L'accès vers les sites potentiels du réservoir supérieur est aisément. Il y a fort peu de voisinage, fort peu de passage. Peu de perturbations apparemment pour qui que ce soit lors de la construction du site supérieur et lors de l'exploitation ultérieure.

Le coin est très touristique mais un site hydro-électrique impacterait peu ce tourisme car il serait assez fort éloigné du hameau de Maboge voire invisible.

Il est probablement possible de creuser un réservoir supérieur plus étendu que 11 hectares.

La puissance du site sera conditionnée par la capacité du cours d'eau. Sur base d'une durée de turbinage de 6h, le débit est de 51 m³/s, soit le double du débit moyen du cours d'eau à cet endroit (25 m³/s).

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non (une partie du quartier Le Fays qui jouxte le bassin supérieur est soumis à ce statut)
Liaisons écologiques	Non	Non

Photos du site :

L'Ourthe à son entrée dans le hameau de Maboge



Vues de deux sites supérieurs potentiels (le premier est plus proche de Maboge)



2.2. Site 2 - Poulseur

Référence : 18_1516_2971

Commune(s) : Poulseur

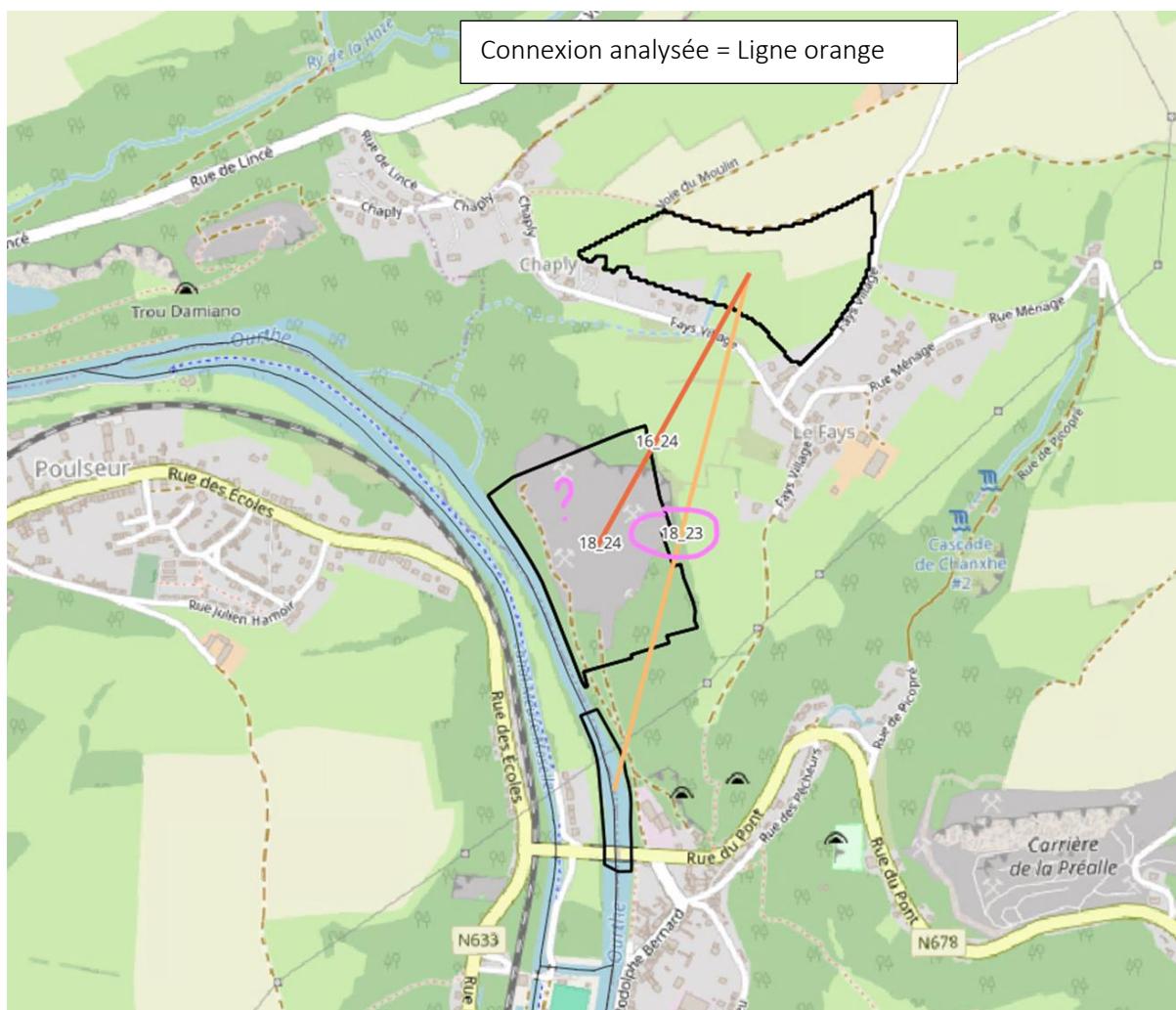
Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
237179,185	133811,493	5.597850183679826	50.50858667732283

Système : semi-ouvert

Carrière : Non

Site potentiel identifié via la cartographie



Site proposé après visite de terrain



Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[hm³]	S [ha]	P[m]	V[hm³]	[m]	[MWh]	[h]	[m³/s]	[MW]
N/A	N/A	-	3,2	10	0,3	141,8	87	6	14,8	18,5

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Service Public de Wallonie	Inconnu - Probablement privé
Nature de l'exploitation	Cours d'eau (Ourthe)	Prairies et cultures
Proximité réseau électrique	Ligne Moyenne Tension (ou Haute Tension) au-dessus du site	Ligne Moyenne Tension (ou Haute Tension) à 500 m
Proximité réseau eau	Oui (Ourthe)	Non
Proximité réseau routier	N633 en bordure du site	Voiries communales au sud et à l'est

Evaluation du site :

Le bassin supérieur est dans une zone d'habitat (village de Fays), mais sur des terrains qui semblent peu propices à l'urbanisation (zone humide, probablement sur un axe de ruissellement, avec point bas du côté sud). Le terrain du bassin supérieur présente une pente nord-sud et est en légère cuvette sur sa partie sud. La superficie utile est probablement de l'ordre de 3 ha.

Le bassin inférieur est l'Ourthe en amont de Poulseur. Possibilité d'extension dans le lit majeur du cours d'eau, en rive gauche. Présence de quelques habitations dans le lit majeur.

Le site est facilement accessible. Une ancienne carrière est sur le chemin direct entre les 2 bassins et pourrait servir pour localiser la centrale.

La puissance du site sera conditionnée par la capacité du cours d'eau. Sur base d'une durée de turbinage de 6h, on trouve un débit de 15 m³/s probablement compatible avec la capacité du cours d'eau.

Alternative :

Alternative de bassin inférieur dans une carrière actuellement exploitée par la société Eloy pour y déverser des gravats (perte de chute de l'ordre de 40m – site fermé).

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Non	Non

Photos du site :

Lieu du bassin supérieur



Lieu du bassin inférieur



2.3. Site 3 - Bouillon

Référence : 12_1352_1353

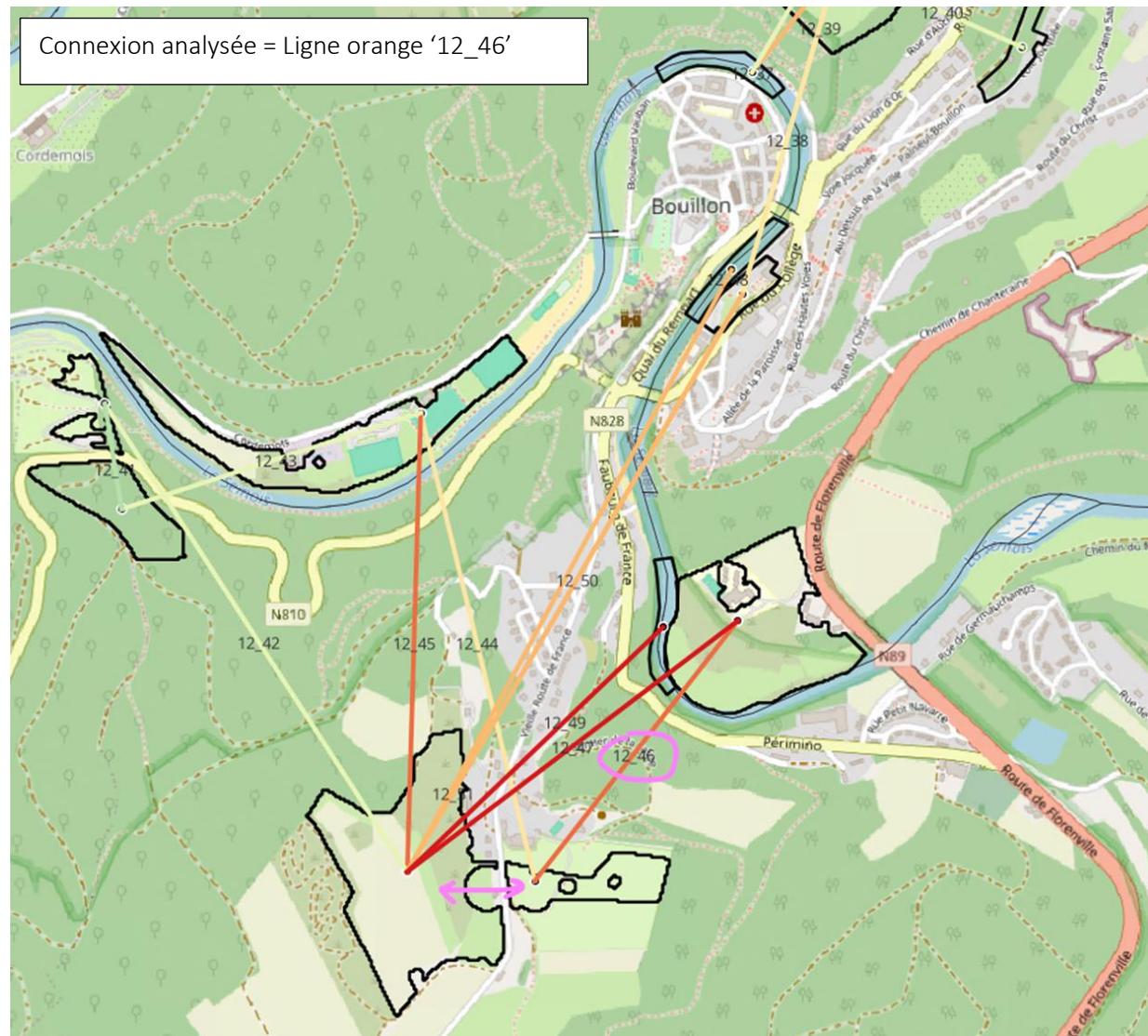
Commune(s) : Bouillon

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
200171,25	52737,762	5.065399150423577	49.78406509983658

Système : fermé

Carrière : Non





Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	[m]	[MWh]	[h]	[m ³ /s]	[MW]
10,4	10	1,04	2,8	10	0,28	125,8	67	6	13	14,4

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Semois et terrains de la commune de Bouillon (différents clubs de sport)	Bois, forêts (propriété inconnue)
Nature de l'exploitation	Sports	Aucune
Proximité réseau électrique	Oui, moyenne et haute tension	Non, rien directement mais pas important car peut être alimenté via le bassin inférieur.
Proximité réseau eau	Oui, Semois	Non
Proximité réseau routier	Oui, excellente déserte.	Oui mais très petite route (très pentue).

Evaluation du site :

Excellent site.

Les terrains de sport le long de la Semois sont probablement les plus prometteurs pour l'installation du bassin bas.

On est alors de l'autre côté de la colline par rapport aux habitations de la ville de Bouillon. Pas (ou très peu) d'habititations de ce côté de la ville de Bouillon, sauf l'Abbaye de Cordemois mais qui reste assez éloignée.

Site en sortie de la ville pour le cours de la Semois (en direction de la France).

Le site du bassin supérieur est aussi assez éloigné de toute habitation.

Le rapport distance horizontale est suffisant pour cette option également.

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non (mais jouxte une zone soumise à ce statut)
Liaisons écologiques	Non	Non

Photos du site :

La Semois près du site du réservoir bas



La rive de la Semois et la colline du réservoir haut



La carte du cours tourmenté de la Semois dans les environs après Bouillon



2.4. Site 4 – Nisramont amont

Référence : 18_1681_2808

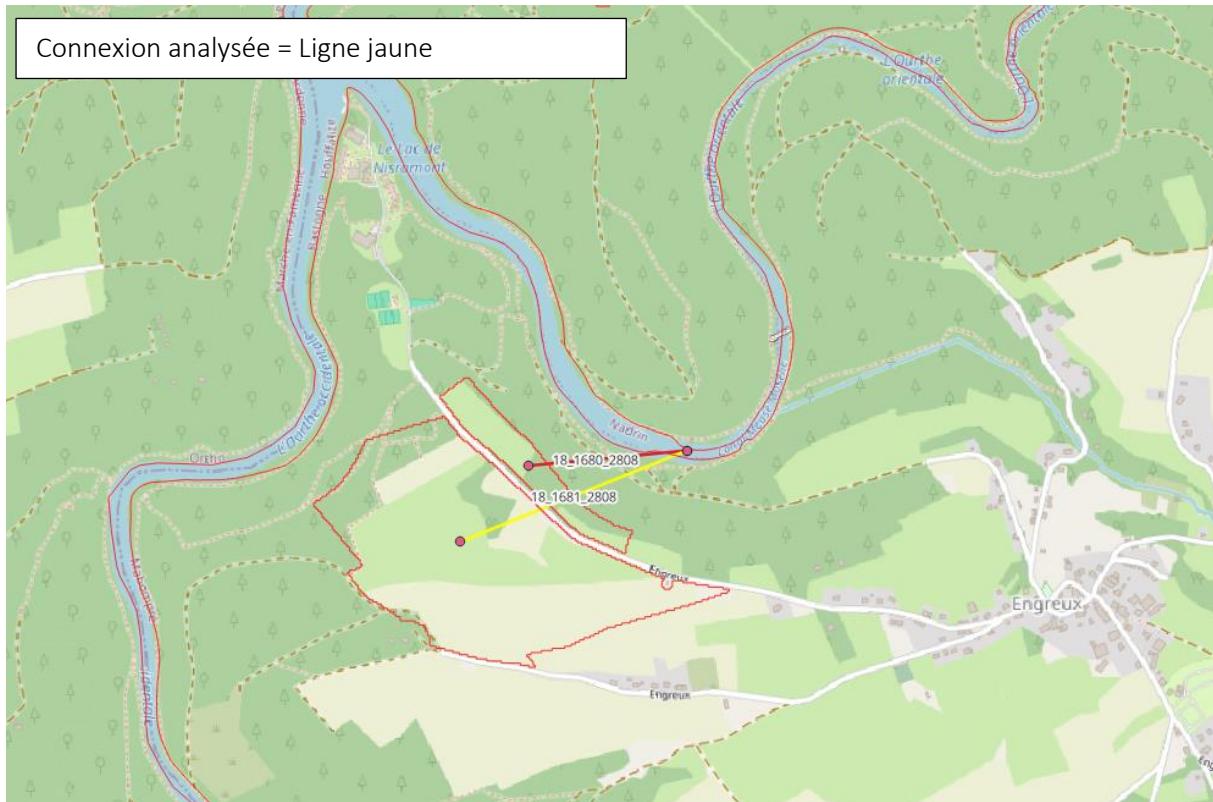
Commune(s) : Nisramont

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
244210,616	91155,319	5.686287554398237	50.124060981081875

Système : semi-ouvert

Carrière : Non





Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[m³]	S [ha]	P[m]	V[Mm³]	[m]	[MWh]	[h]	[m³/s]	[MW]
N/A	N/A	-	27,1	10	2,71	111,5	577	6	125,5	123,6

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Ourthe orientale ou occidentale – Région Wallonne	Prairies privées
Nature de l'exploitation	Retenue du barrage de Nisramont Réservoir d'eau potable (SWDE) – Activité touristique sur le lac - Centre Adeps d'Engreux Parc naturel des 2 Ourthes	Prairies exploitées par des fermiers locaux
Proximité réseau électrique	Très faible (Basse Tension seulement)	Très faible (Basse Tension seulement)
Proximité réseau eau	Oui (Ourthe - partie amont du barrage de Nisramont)	Non mais distance très raisonnable par rapport à l'Ourthe - Quelques maisons pas trop loin avec eau courante.
Proximité réseau routier	Moyennement accessible.	Oui. Aisé.

Evaluation du site :

Excellent site, avec un rapport distance horizontale sur hauteur verticale faible (5-6 environ).
 Terrain pour réservoir supérieur assez plat, facile d'accès via le village de Engreux.
 Présence de forêts pour arriver aux 2 Ourthes mais l'accès semble aisément.
 Le site de Nisramont aval est dans la même configuration que celle décrite ci-dessus (mais avec un accès vers le site situé avant le village d'Engreux).
 Les 2 réservoirs inférieurs (site Nisramont aval et Nisramont amont) sont constitués par le réservoir du barrage de Nisramont, dont le volume théorique est de 3 millions de m³. En conséquence, il est probablement nécessaire de surhausser le barrage si les 2 sites devaient être équipés afin d'obtenir un volume de réservoir inférieur suffisant. Ce surélèvement serait bénéfique aussi bien pour l'alimentation en eau potable que pour la gestion des crues de l'Ourthe en amont de La Roche.

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Oui	Non (mais liaison entre les deux bassins passe par une zone soumise à ce statut)
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Non	Non

Photos du site :

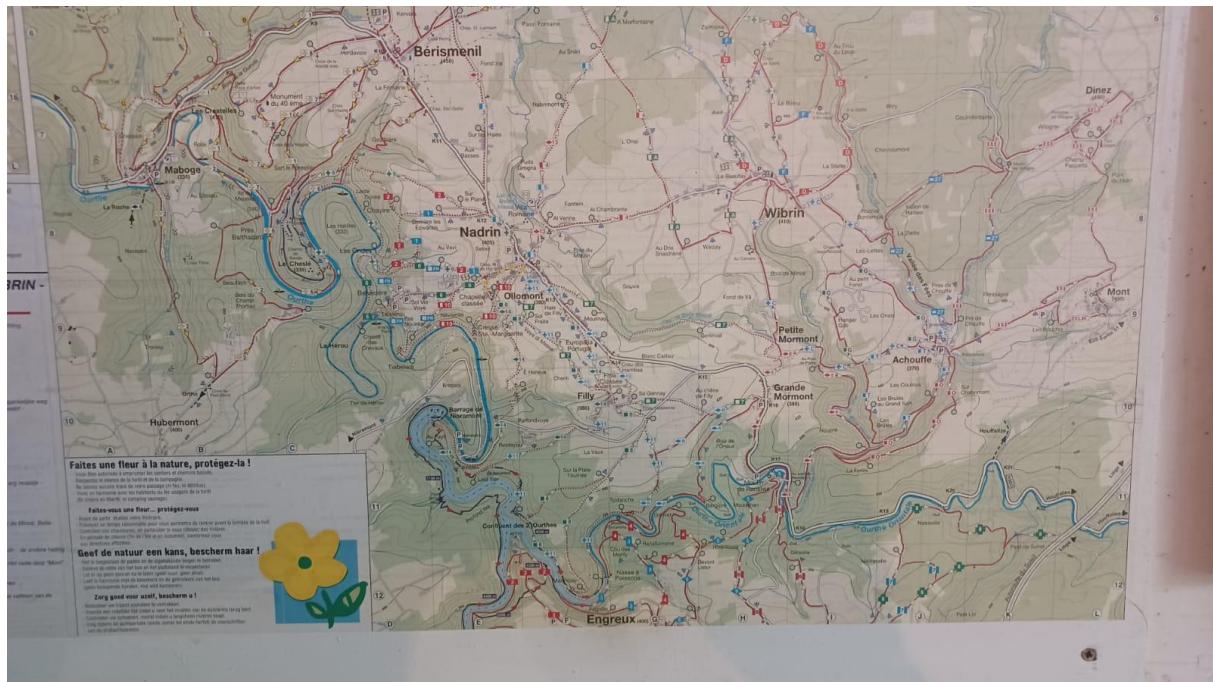
Ourthe Occidentale (réservoir bas de Nisramont amont) un peu avant son confluent avec l'Ourthe Orientale (réservoir bas de Nisramont aval)



Carte détaillée de la zone de confluence des deux Ourthes



Carte détaillée des 2 sites Nisramont amont et aval avec les courbes de niveau



2.5. Site 5 – Anthisnes amont

Référence : 16_1105_2311

Commune(s) : Anthisnes

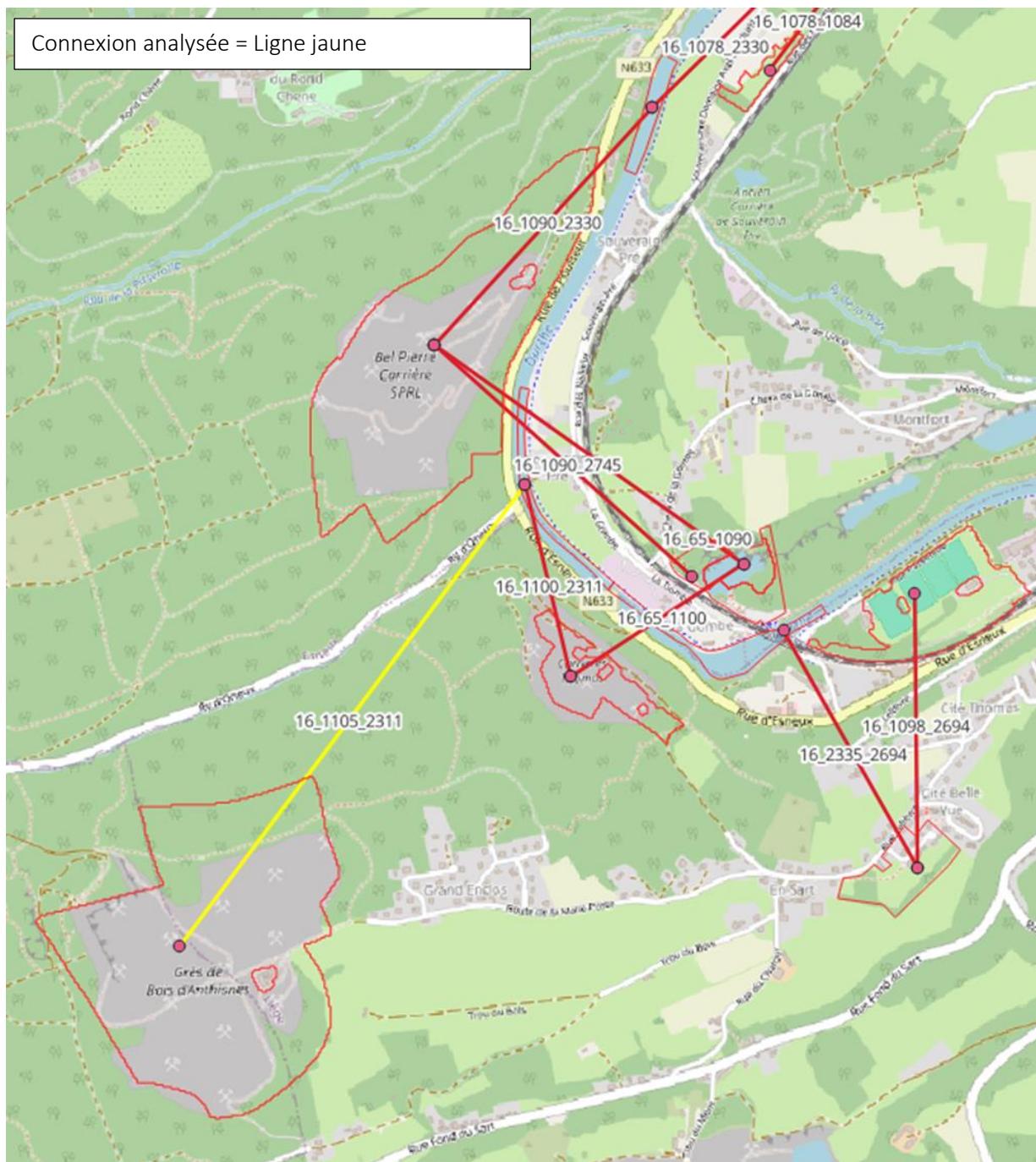
Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
234048,491	133485,794	5.553646169933029	50.506116722025396

Système : semi-ouvert

Carrière : Oui

Site potentiel identifié via la cartographie



Site proposé après visite de terrain



Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	[m]	[MWh]	[h]	[m ³ /s]	[MW]
N/A	N/A	-	2,8	10	0,3	171,4	92	6	13	19,6

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Service Public de Wallonie	Commune d'Anthisnes
Nature de l'exploitation	Cours d'eau (Ourthe)	Carrière en activité (Carrière du Grand Bois d'Anthisnes)
Proximité réseau électrique	Non	Non
Proximité réseau eau	Oui (Ourthe)	Non
Proximité réseau routier	N633 en bordure du site	Voiries d'accès de la carrière en activité

Evaluation du site :

Le bassin supérieur est à localiser dans une carrière en activité qui s'étend sur quelques dizaines d'hectares. 3 hectares en bordure nord du site pourraient peut-être servir à réaliser un bassin de 300 000 m³. La carrière a un projet d'extension vers le sud-ouest.

Le bassin inférieur est l'Ourthe en aval de Poulseur. Possibilité d'extension dans le lit majeur du cours d'eau, en rive droite. Présence de quelques habitations dans le lit majeur.

Variante : réalisation du bassin inférieur dans une friche (épaves de voitures) en rive gauche de l'Ourthe de 2,3 ha.

Les sites sont facilement accessibles.

La puissance du site sera conditionnée par la capacité du cours d'eau. Sur base d'une durée de turbinage de 6h, on trouve un débit de 13 m³/s probablement compatible avec la capacité du cours d'eau.

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Non	Non

Photos du site :

Zone du bassin supérieur



Zone du bassin inférieur sur l'Ourthe



2.6. Site 6 - Plaineveaux

Référence : 16_1064_2310

Commune(s) : Plaineveaux

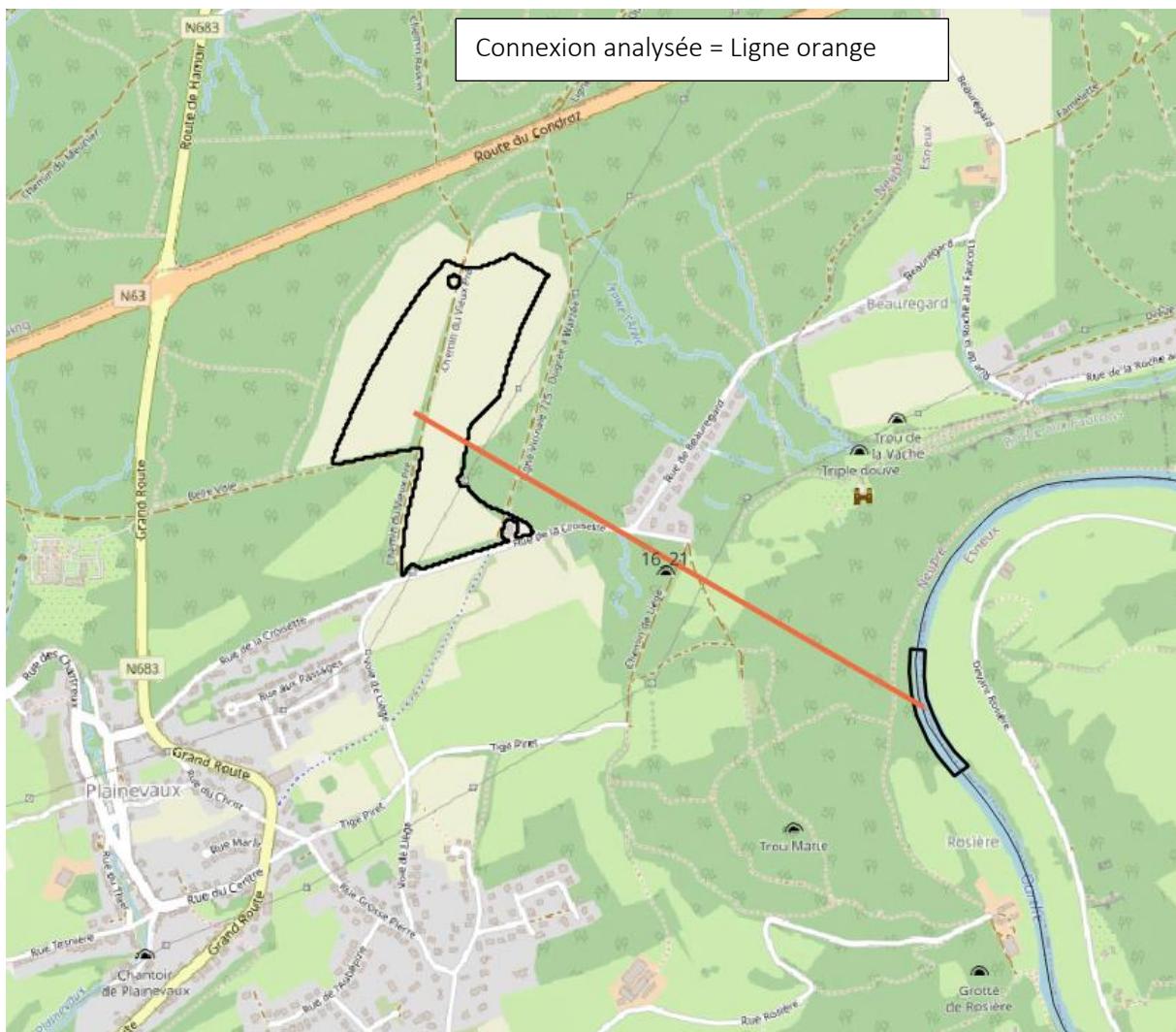
Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
232904,719	138269,786	5.538587310658404	50.54928333548044

Système : semi-ouvert

Carrière : Non

Site potentiel identifié via la cartographie



Site proposé après visite de terrain



Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[Mm³]	S [ha]	P[m]	V[Mm³]	[m]	[MWh]	[h]	[m³/s]	[MW]
3,5	10	0,4	16,2	10	1,6	179,5	120	6	16,2	25,7

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Inconnu	Inconnu
Nature de l'exploitation	Pâture	Culture
Proximité réseau électrique	Non	Oui. Ligne 70 kV sur le site (côté ouest)
Proximité réseau eau	Oui (Ourthe)	Non
Proximité réseau routier	Accès via route macadamisée (parfois étroite) qui longe l'Ourthe	Voiries communales en bordure de site sur le côté nord

Evaluation du site :

Le bassin supérieur serait idéalement situé sur des terres actuellement cultivées, au milieu de zones boisées. La zone est quasi horizontale, non boisée.

Le bassin inférieur serait soit l'Ourthe, soit un bassin construit dans son lit majeur en rive droite, dans une zone de pâture.

Les 2 sites sont plutôt isolés quoique facilement accessibles par des routes. Une ligne moyenne tension passe sur le côté nord du site du bassin supérieur.

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Non	Non

Photos du site :

Zone du bassin supérieur



Zone du bassin inférieur



2.7. Site 7 - Bohan

Référence : 10_948_2402

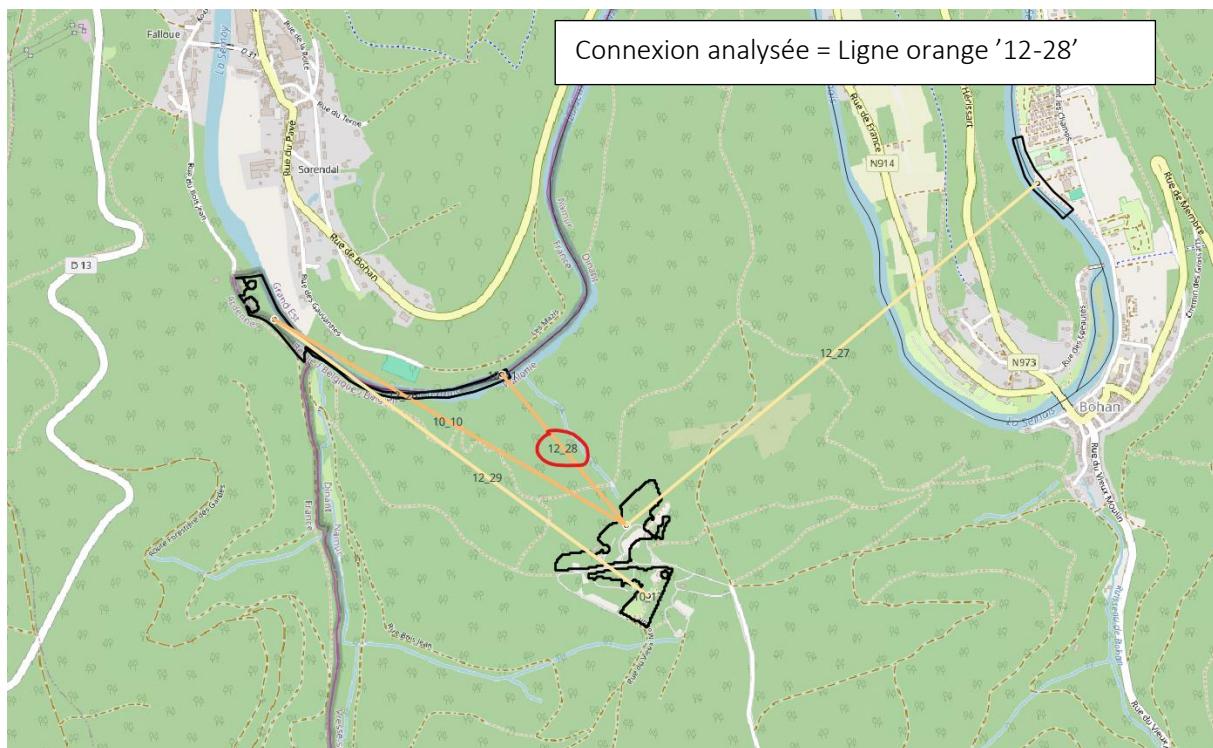
Commune(s) : Bohan

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
185468,046	61405,8464	4,862043122	49.863054709223576

Système : semi-ouvert

Carrière : Non





Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[m³]	S [ha]	P[m]	V[m³]	[m]	[MWh]	[h]	[m³/s]	[MW]
N/A	N/A	-	3,3	10	0,33	196,1	124	6	15,4	26,6

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	SPW – Région Wallonne Semois (il serait intéressant de voir si la proximité avec la France n'est pas un problème car il s'agit d'une zone qui est sur la frontière belgo-française et l'implantation du bassin inférieur dans la Semois pourrait bien impacter la situation en France. Or certains villages français sont très proches de Bohan et sont sur la Semois).	Site Les Dolimarts mais où le terrain semble maintenant avoir été acquis par la firme Thomas & Piron auprès de la Région Wallonne et de l'Etat Fédéral (situation devant certainement être éclaircie).
Nature de l'exploitation	Rivière (+/- 10 m de large) mais située fort à cheval entre la Belgique et la France (situation frontalière à vérifier)	Exploitation touristique des Dolimarts avec des cabanes résidentielles (dans les arbres) mais le site très grand. Un réservoir supérieur pourrait y être installé sans souci de voisinage.
Proximité réseau électrique	Réseau moyenne tension	Réseau moyenne tension
Proximité réseau eau	Oui (fin de la rivière Semois, proche de son confluent avec la Meuse)	Oui
Proximité réseau routier	Oui – Très bon	Oui – Très bon

Evaluation du site :

Site prometteur.

Le site du réservoir supérieur semblerait adapté pour un bassin / réservoir plus grand que celui estimé par le traitement cartographique. Vu la hauteur de chute importante, c'est à analyser plus en détail.

La présence de la firme Thomas & Piron sur le site du réservoir supérieur est potentiellement intéressante car ils sont certainement capables (et intéressés ?) d'y implanter une telle infrastructure de stockage d'énergie électrique.

La proximité avec la France (quelques centaines de mètres à certains endroits) doit être analysée plus en détails car un gros village français comme Sorendal est en bord de Semois et la Semois fait encore un assez long parcours en France (24 km) après Bohan.

Enfin, il faut insister sur le fait que, bien qu'en Province de Namur (extrême sud de la province), cet endroit est extrêmement isolé au niveau de toute infrastructure. Les lignes haute tension par exemple sont fort éloignées de Bohan et des Dolimarts. L'accès par route est très loin de l'autoroute, avec vraiment de petites routes au milieu de nulle part.

La puissance du site sera conditionnée par la capacité du cours d'eau. Sur base d'une durée de turbinage de 6h, le débit est de 15 m³/s, ce qui est alors compatible avec le débit de la rivière (30m³/s en ce point).

Rappelons que 80 MW en réserve secondaire (dite R2 ou aFRR) peut rapporter de l'ordre de 40 k€ par activation complète (il faudra certainement installer plusieurs unités de, par exemple 10 MW, pour avoir une utilisation de haute flexibilité pour le réseau électrique (GRT actuellement) et donc de l'ordre de 80 k€ par jour certainement ou encore 25 M€ par an au minimum.

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non (mais liaison entre les deux bassins passe par une zone soumise à ce statut)	Non (mais liaison entre les deux bassins passe par une zone soumise à ce statut)
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Non	Non

Photos du site :

Colline des Dolimarts (au-dessus de Bohan) en surplomb de la Semois



La Semois coulant vers la frontière française toute proche (ici à 1 km environ)



2.8. Site 8 - Monsin Aval

Référence : 18_1381_3183

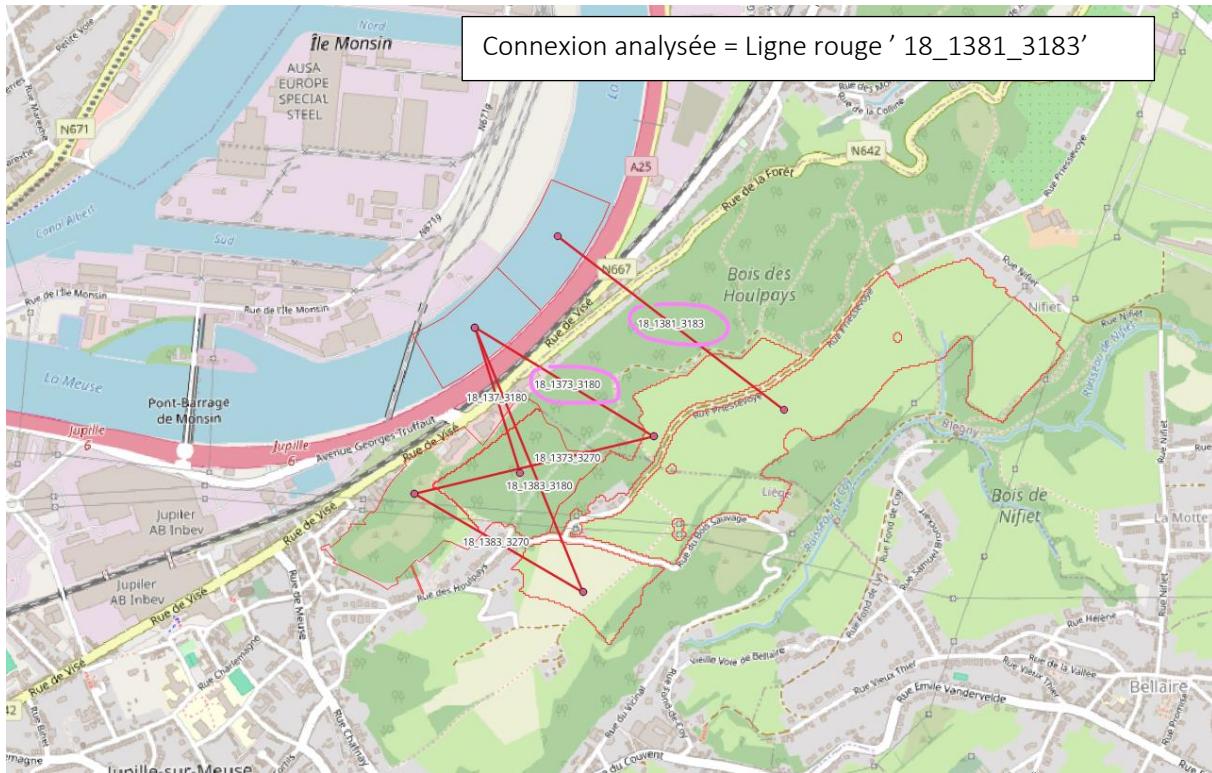
Commune(s) : Liège

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
240466,034	149959,243	5,648105398	50.65323605643655

Système : semi-ouvert

Carrière : Non





Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	[m]	[MWh]	[h]	[m ³ /s]	[MW]
N/A	N/A	-	28,1	10	2,8	114,5	613	6	129,9	131,1

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Service Public de Wallonie	Un fermier de Blegny
Nature de l'exploitation	Cours d'eau- La Meuse	Champs, prairie exploitée par un fermier (élevage bovin)
Proximité réseau électrique	Ligne 150kV ELIA à environ 1 km	Ligne 150kV ELIA (relais de transition de Bellaire) au sud-ouest du site
Proximité réseau eau	La Meuse situé en aval du barrage de Monsin	Cours d'eau souterrain enregistré par le SPW 
Proximité réseau routier	Autoroute A25 Chemin de fer	Accès par une route non goudronnée (Passage de tracteur) L'accès en camion ou voiture peut se faire par la rue Priessevoye (Blegny) et la rue de la Floresse (Blegny).

Evaluation du site :

Le site est prometteur. La zone du bassin supérieur appartiendrait à un agriculteur (élevage bovin). Elle est relativement plate et de très grande étendue.

Une ligne Haute Tension passe sur la zone du bassin supérieur et pourrait diminuer la surface utilisable d'environ 2.5 ha.

Il est à noter que le bassin supérieur du site de Monsin Amont pourrait s'agréger à ce bassin si le sentier (rue de la Floresse) pouvait être utilisé. Ce sentier est principalement utilisé par le fermier, impraticable en voiture « normale ».

Certains impétrants sont présents dans la zone : conduite d'air liquide pressurisé.

La puissance du site sera conditionnée par la capacité de la Meuse qui constituerait le bassin inférieur. Sur base d'une durée de turbinage de 6h, on trouve un débit de 130 m³/s probablement compatible avec la capacité du cours d'eau.

A noter :

- des chasses sont parfois organisées dans les bois des Houlpays à côté de la zone du bassin supérieur ;
- ELIA : 3 pylônes 150 kV et un poste de transition sont présents
- Conduite Air liquide présente sur le site

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non (bassin supérieur est bordé par des forêts soumises à ce statut)
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Non	Non

Photos du site :

Zone du bassin supérieur



2.9. Site 9 – Nisramont aval

Référence : 18_1674_2810

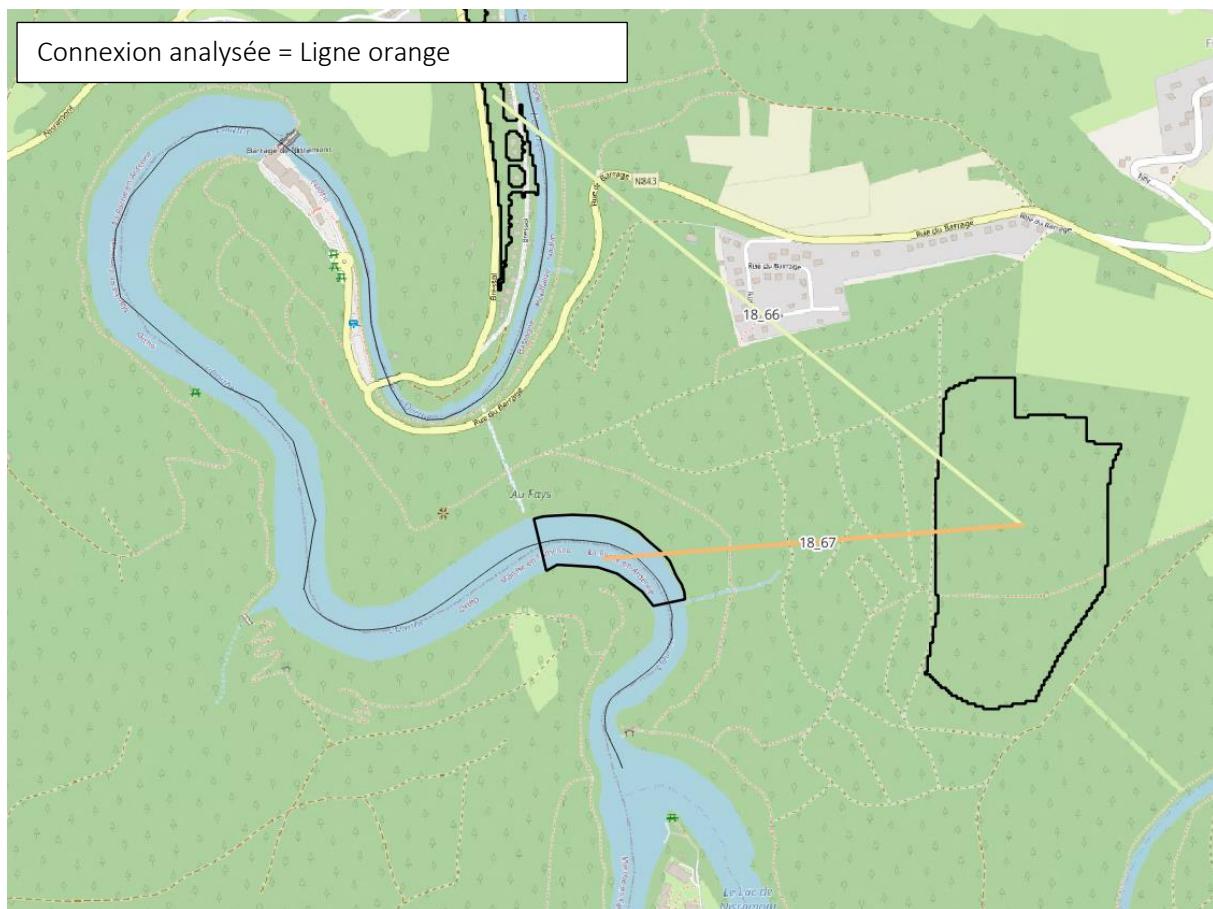
Commune(s) : Nisramont

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
243944,79	92630,6902	5.682936068334478	50.13736573912603

Système : semi-ouvert

Carrière : Non





Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[m³]	S [ha]	P[m]	V[Mm³]	[m]	[MWh]	[h]	[m³/s]	[MW]
N/A	N/A	-	16,6	10	1,7	128,8	408	6	76,8	87,3

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Ourthe Orientale – SPW Région Wallonne	Prairies privées puis forêts assez accessibles sur le dernier versant vers l'Ourthe.
Nature de l'exploitation	Retenue du barrage de Nisramont Réservoir d'eau potable (SWDE) – Activité touristique sur le lac - Centre Adeps d'Engreux	Prairies. L'accès vers l'Ourthe pour le site de Nisramont amont semble nettement plus aisé que pour le site aval.
Proximité réseau électrique	Faible voire inexistant (réseau basse tension uniquement) mais le barrage de Nisramont n'est pas fort éloigné.	Faible (réseau basse tension uniquement)
Proximité réseau eau	Oui. Ourthe Orientale.	Faible.
Proximité réseau routier	Non.	Oui.

Evaluation du site :

Voir également fiche de Nisramont amont car les deux sites présentent des intérêts sans pour autant pouvoir déterminer facilement lequel est le plus prometteur.

Nisramont aval est plus rural, n'est pas proche du centre Adeps d'Engreux et de sa base nautique et il n'y a ici aucune habitation ou centre de vacances proche du réservoir supérieur.

La valeur estimée de la superficie du réservoir supérieure semble potentiellement sous-estimée, ce qui serait un point positif pour ce site de Nisramont aval par rapport au site de Nisramont amont.

Les deux réservoirs inférieurs (Nisramont aval et Nisramont amont) sont constitués par le réservoir du barrage de Nisramont, dont le volume théorique est de 3 millions de m³. En conséquence, il est probablement nécessaire de surhausser le barrage si les 2 sites devaient être équipés afin d'obtenir un volume de réservoir inférieur suffisant. Ce surélèvement serait bénéfique aussi bien pour l'alimentation en eau potable que pour la gestion des crues de l'Ourthe en amont de La Roche.

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non (la connexion entre le bassin inférieur et supérieur passerait néanmoins dans une zone soumise à ce statut).	Non (bassin supérieur est bordé par des forêts soumises à ce statut)
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Non	Non

Photos du site :

Voir fiche de Nisramont amont.

2.10. Site 10 - Anseremme Aval

Référence : 12_916_2217

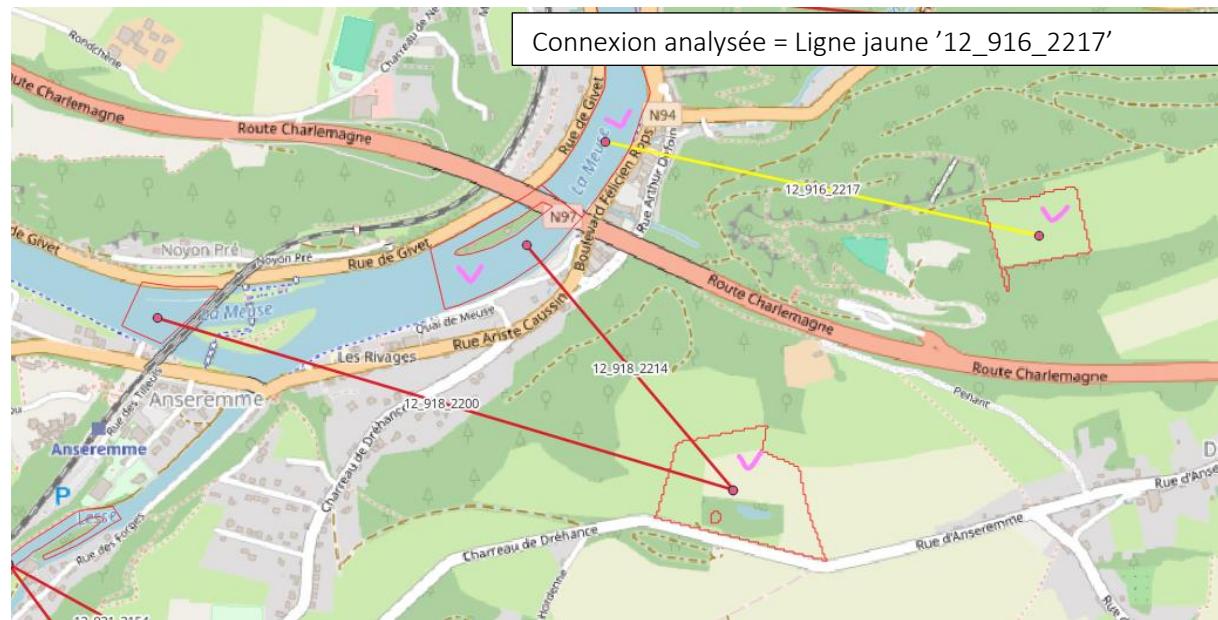
Commune(s) : Anseremme

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
189765,318	103566,676	4.926217097524524	50.24182339899166

Système : semi-ouvert

Carrière : Non





Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[Mm³]	S [ha]	P[m]	V[Mm³]	[m]	[MWh]	[h]	[m³/s]	[MW]
N/A	-	-	2,8	10	0,3	159,1	85	6	13	18,2

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

		Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site		Région Wallonne	Probablement privé
Nature de l'exploitation		Cours d'eau navigable	Activité agricole : prairies. Reconnu comme dépendance d'extraction au plan de secteur.
Proximité réseau électrique		Voir bassin supérieur. Distance par rapport au bassin inférieur : 2km.	Ligne haute tension et poste de transformation haute tension vers moyenne/basse tension (rue de Davisseau, Dinant) situés à 1,5km.
Proximité réseau eau		Situé sur la Meuse	Connexion indirecte via le bassin inférieur qui est situé sur la Meuse.
Proximité réseau routier		La N95 longe la Meuse en rive droite et la N96 en rive gauche.	Situé à 300 mètres à vol d'oiseau de la N97 mais à 3km du premier échangeur.

Evaluation du site :

Le **bassin supérieur** est situé sur une parcelle agricole actuellement utilisée comme prairie où pâturent des vaches. Il s'agit d'une parcelle probablement privée dont le propriétaire n'a pu être identifié. Il serait nécessaire de négocier avec ce propriétaire pour l'acquisition du terrain.

Le terrain présente une déclivité naturelle homogène (pente Nord-Sud), avec un effet cuvette en contre-bas vers la N97 et côté Est, qu'il serait nécessaire de compenser par des travaux d'aménagement.

Le périmètre du bassin présente une forme simple (rectangle) et ne présente aucun obstacle majeur. Autrement dit, la superficie identifiée par la cartographie serait facilement respectée.

Le terrain est bordé de forêts publiques - les parties nord et sud sont communales alors que la partie ouest est provinciale.

La connexion au réseau électrique semble aisée étant donné la présence d'une ligne haute-tension et d'un poste de transformation à 1,5km à vol d'oiseau. Cela se confirme par la présence d'une antenne télécom (~1km de distance) et d'éoliennes (~7km de distance).

Le bassin retenu n'est pas directement accessible par une route mais par un chemin pédestre. Seule une petite route connecte au début de la parcelle (Est). Actuellement, le réseau routier n'est pas fait pour accueillir camions et autres engins pour réaliser des travaux d'envergure. Cependant, la proximité à la N97 est bonne (~3km).

La distance avec le bassin inférieur est d'environ 1km à vol d'oiseau. La connexion entre les deux bassins devrait se faire par le site de l'ancienne carrière du Pelant, aujourd'hui exploité – de fait – par des activités de loisir (Dinant Aventure). Ce site fait l'objet d'un plan communal d'aménagement révisionnel depuis 13 ans²⁶ comme en atteste son statut au plan de secteur. Par ailleurs, ce site est également classé Natura 2000. Il serait donc nécessaire de voir quels types d'aménagement pourraient réellement être réalisés.

Le **bassin inférieur** est situé sur la Meuse. A cet endroit, le cours d'eau est large (100 mètres) et aucun obstacle n'est à signaler.

La puissance du site sera conditionnée par la capacité du cours d'eau. Sur base d'une durée de turbinage de 6h, on trouve un débit de 13 m³/s probablement compatible avec la capacité du cours d'eau.

²⁶ <https://www.canopea.be/carriere-du-penant-a-dinant-loisirs-et-nature-compatibles/>

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non : cependant, la forêt au nord est reconnue comme tel.
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Non : pas sur le site du bassin mais à proximité directe, il y a des liaisons de plaines alluviales reconnues.	Non

Photos du site :

Bassin inférieur :





Bassin supérieur :





2.11. Site 11 - Anthisnes

Référence : 16_1090_2330

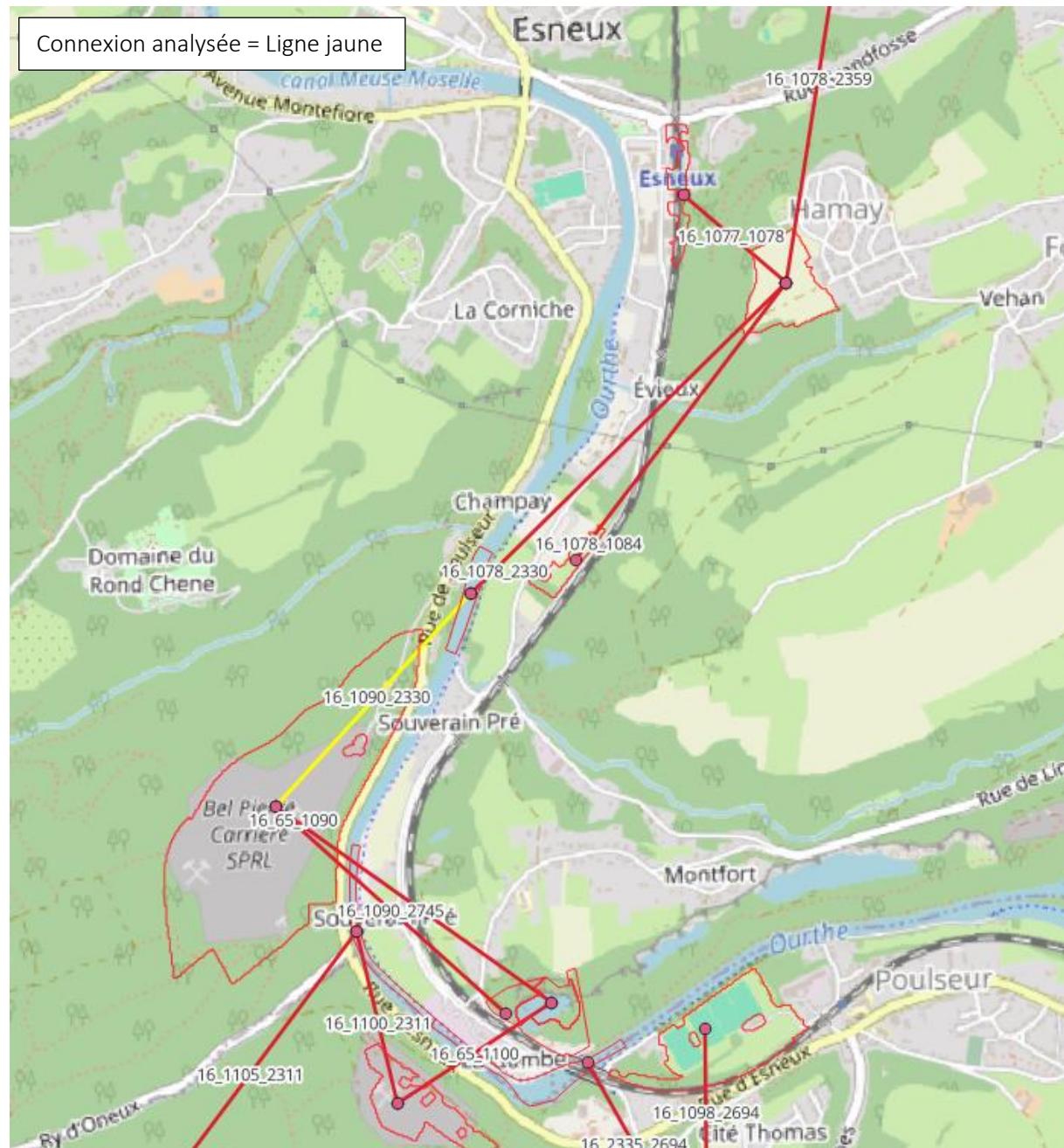
Commune(s) : Anthisnes

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
234522,557	134699,907	5,560603199	50.51696219017393

Système : semi-ouvert

Carrière : Oui





Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	[m]	[MWh]	[h]	[m ³ /s]	[MW]
N/A	N/A	-	1,6	10	0,2	130	40	6	7,4	8,5

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Service Public de Wallonie	Commune d'Esneux
Nature de l'exploitation	Cours d'eau (Ourthe)	Ancienne carrière
Proximité réseau électrique	Non	Non
Proximité réseau eau	Oui (Ourthe)	Non
Proximité réseau routier	N633 en bordure du site	Chemin empierré d'accès à la carrière depuis N633

Evaluation du site :

Le bassin supérieur est à localiser dans une ancienne carrière, toujours utilisée pour de la taille (Gris Pierre) mais sans extraction, qui s'étend sur quelques dizaines d'hectares. La partie nord du site, au sommet d'une bute, présente un dénivelé intéressant et pourrait peut-être servir à réaliser un bassin de 160 000 m³.

La commune d'Esneux envisagerait de vendre le site.

Le bassin inférieur est l'Ourthe en aval de Poulseur. Possibilité d'extension dans le lit majeur du cours d'eau, en rive droite. Présence de quelques habitations dans le lit majeur.

La puissance du site sera conditionnée par la capacité du cours d'eau. Sur base d'une durée de turbinage de 6h, on trouve un débit de 7,4 m³/s probablement compatible avec la capacité du cours d'eau.

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Non	Non

Photos du site :

Chemin d'accès à la zone du bassin supérieur



Zone du bassin inférieur



2.12. Site 12 - Anseremme Amont

Référence : 12_918_2214

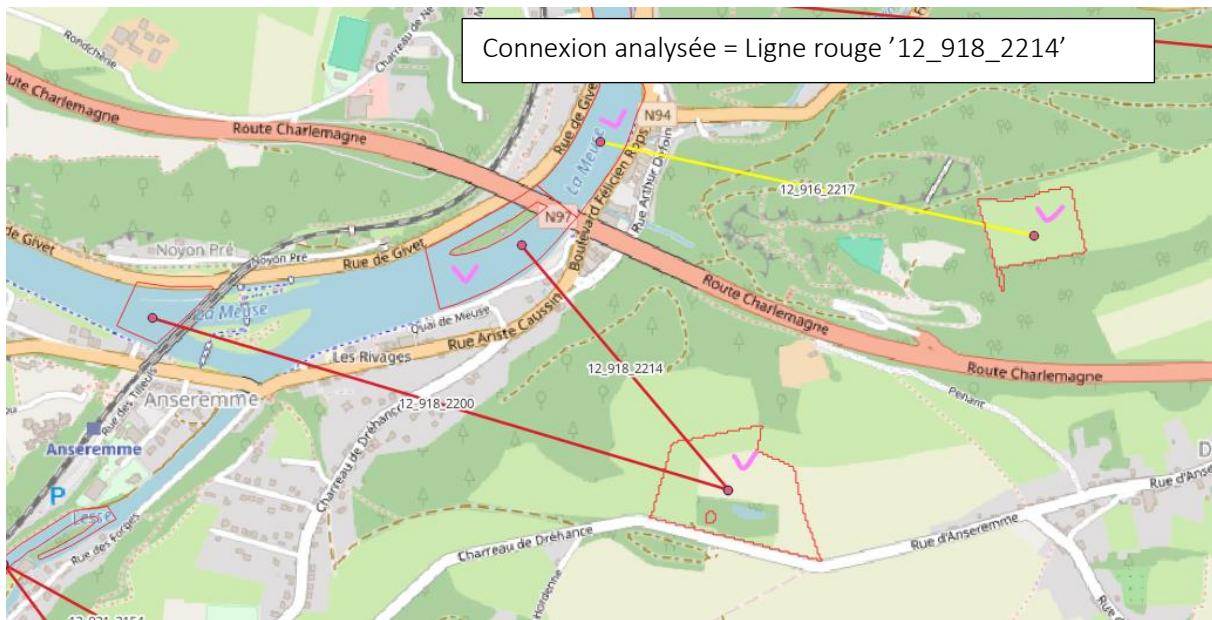
Commune(s) : Anseremme

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
189358,477	103188,28	4.920474312305469	50.238448864943294

Système : semi-ouvert

Carrière : Non





Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[Mm³]	S [ha]	P[m]	V[Mm³]	[m]	[MWh]	[h]	[m³/s]	[MW]
N/A	N/A	-	6,2	10	0,6	134,2	159	6	28,7	34

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Région Wallonne	Probablement privé
Nature de l'exploitation	Cours d'eau navigable	Activité agricole : mélange de prairies et de terres arables. Reconnu comme dépendance d'extraction au plan de secteur.
Proximité réseau électrique	Voir bassin supérieur. Distance par rapport au bassin inférieur : 2km.	Ligne haute tension et poste de transformation haute tension vers moyenne/basse tension (rue de Davisseau, Dinant) situés à 2,3km.
Proximité réseau eau	Situé sur la Meuse	Connexion indirecte via le bassin inférieur qui est situé sur la Meuse.
Proximité réseau routier	La N95 longe la Meuse en rive droite et la N96 en rive gauche.	Situé à 300 mètres à vol d'oiseau de la N97 mais à 3km du premier échangeur.

Evaluation du site :

Le **bassin supérieur** est situé sur une parcelle agricole actuellement utilisée comme prairies et terres arables. Il s'agit d'une parcelle probablement privée dont le propriétaire n'a pu être identifié. Il serait nécessaire de négocier avec ce propriétaire pour l'acquisition du terrain.

Le terrain est relativement plane et ne nécessiterait pas ou peu de travaux d'aménagement pour compenser une éventuelle déclivité.

Le périmètre du bassin présente une forme relativement simple (pentagone) et ne pas d'obstacle majeur si ce n'est une forêt. Autrement dit, la superficie identifiée par la cartographie serait facilement respectée.

La connexion au réseau électrique semble relativement aisée étant donné la présence d'une ligne haute-tension et d'un poste de transformation à 2,3km à vol d'oiseau. Cela se confirme par la présence d'éoliennes (~7km de distance).

Le bassin retenu est directement accessible par une route communale. En outre, la proximité à la N97 est bonne (~3km).

La distance avec le bassin inférieur est de moins d'1km à vol d'oiseau. La connexion entre les deux bassins devrait se faire en passant par une zone forestière et une zone d'habitat.

Le **bassin inférieur** est situé sur la Meuse. A cet endroit, le cours d'eau est large (100 mètres) et aucun obstacle n'est à signaler.

La puissance du site sera conditionnée par la capacité du cours d'eau. Sur base d'une durée de turbinage de 6h, on trouve un débit de 29 m³/s probablement compatible avec la capacité du cours d'eau.

Par rapport au site « Anseremme Aval », ce site-ci semble plus facile à mettre en œuvre et le potentiel énergétique est bien plus intéressant (près du double).

Contraintes additionnelles :

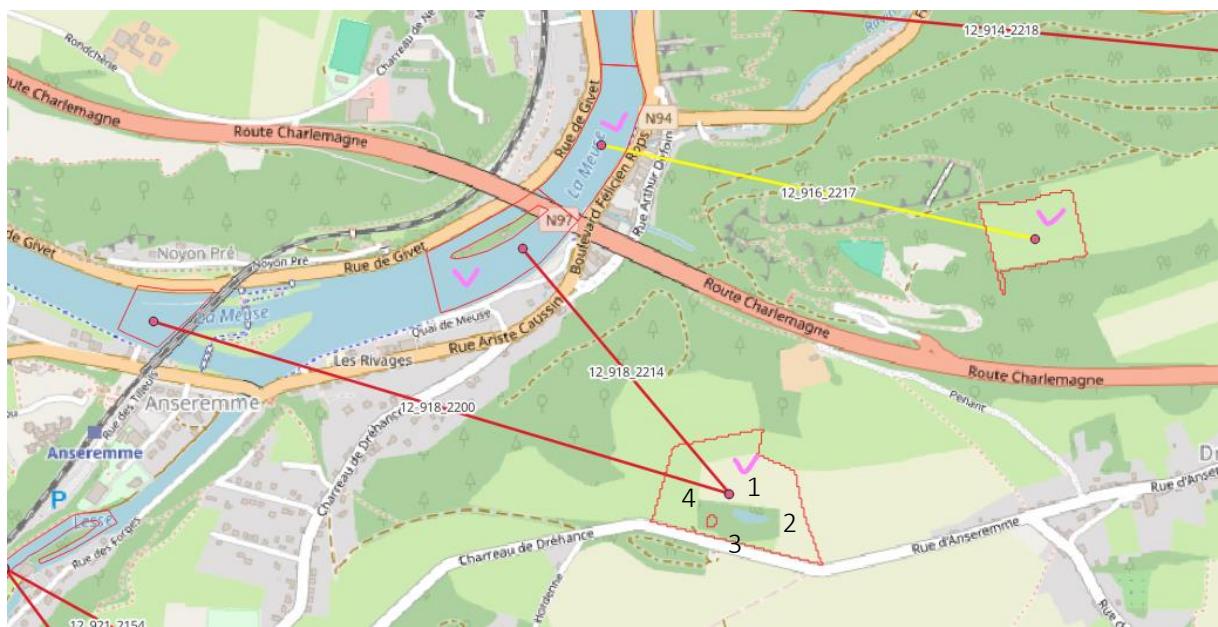
Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non : cependant, le quartier Dréhance en amont est reconnu comme tel.
Liaisons écologiques	Non : pas sur le site du bassin mais à proximité directe, il y a des liaisons de plaines alluviales reconnues.	Non

Photos du site :

Bassin inférieur :



Bassin supérieur :





2.13. Site 13 - Yvoir

Référence : 12_867_2307

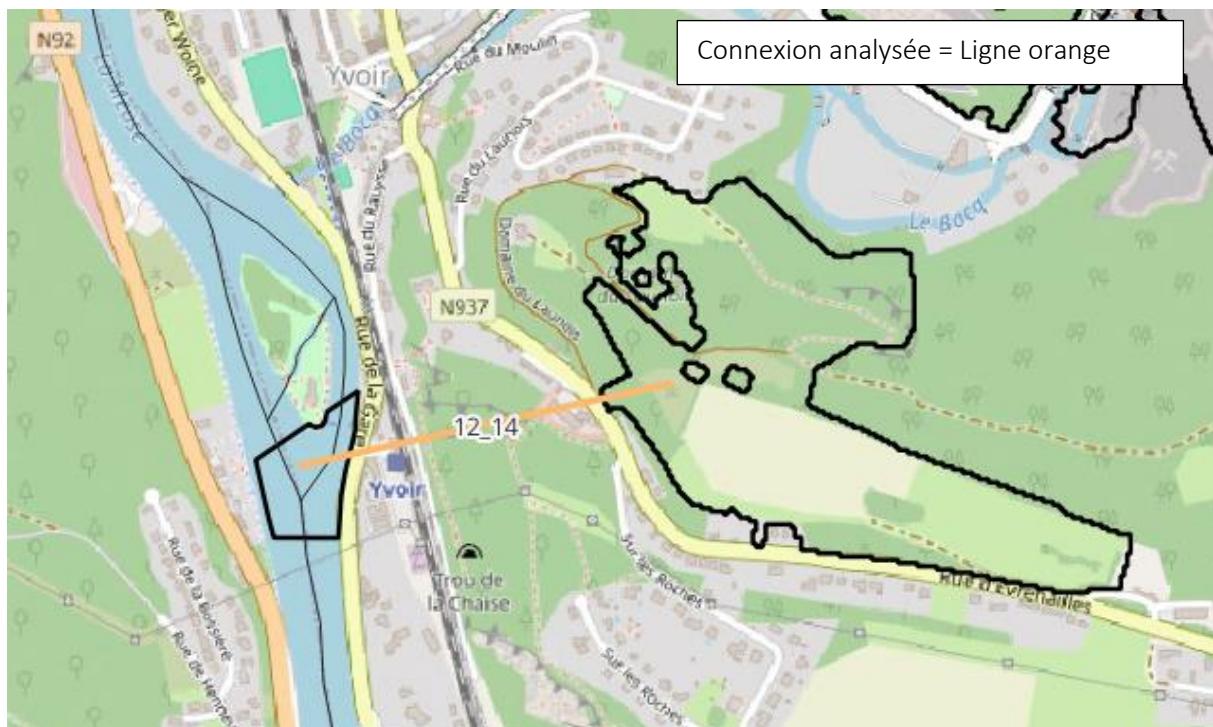
Commune(s) : Yvoir

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
186445,676	112369,605	4.880532002558064	50.321179098767445

Système : semi-ouvert

Carrière : Non





Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	[m]	[MWh]	[h]	[m ³ /s]	[MW]
N/A	N/A	-	23,1	10	2,3	92,8	408	6	106,8	87,5

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Région Wallonne	Probablement privé
Nature de l'exploitation	Cours d'eau navigable	Agriculture et forêt
Proximité réseau électrique	Voir bassin supérieur. Distance par rapport au bassin inférieur : 2,5 ou 8,5km.	Ligne haute tension à 200m au sud du bassin et poste de transformation haute tension situé à 3,5km de l'autre côté de la Meuse (Warnant) ou (probablement de) moyenne tension à 7km à Salazinne.
Proximité réseau eau	Situé sur la Meuse	Connexion indirecte via le bassin inférieur qui est situé sur la Meuse.
Proximité réseau routier	La N947 longe la Meuse en rive droite et la N92 en rive gauche.	La N937 longe le sud du bassin supérieur.

Evaluation du site :

Le **bassin supérieur** est actuellement partiellement utilisé comme parcelle agricole (champs et terres arables), forêt et zone abandonnée (selon les cartes d'utilisation du sol). Le plan de secteur divise l'ensemble comme zone de loisir mais aussi comme zone d'aménagement communal concerté où n'importe quelle affectation peut en être faite. Il s'agit de parcelles probablement privées dont le propriétaire n'a pu être identifié. Il serait nécessaire de négocier avec ce propriétaire pour l'acquisition du terrain.

L'ensemble du terrain n'a pu être accédé. La partie Sud-Est de la parcelle est relativement plane alors que la partie sud est relativement pentue (pente Nord-Sud). Cette partie présenterait quelques travaux d'aménagement pour compenser cette déclivité. La partie Nord n'a pas pu être visitée.

Tel qu'identifié par la cartographie, le périmètre du bassin ne présente pas une forme simple étant donné qu'il faut contourner certains obstacles (bâti existant). Cependant, l'utilisation des sols indique qu'il s'agit d'une zone abandonnée, ce qui pourrait potentiellement justifier la destruction de ce bâti. Néanmoins, il n'est pas garanti que la superficie identifiée par la cartographie serait facilement respectée. En outre, le bassin supérieur jouxterait une zone habitée sur sa partie Nord.

Le terrain est bordé de forêts publiques - les parties nord et sud sont communales alors que la partie ouest est provinciale.

Sans être complexe, la connexion au réseau électrique n'est pas la plus directe. Une ligne haute-tension passe à environ 200 mètres de l'extrémité Sud du bassin supérieur mais le poste de transformation haute tension le plus proche est à 3,5km à vol d'oiseau et se situe de l'autre côté de la Meuse (Warnant). Comme alternative, un poste de transformation – probablement de moyenne tension – se situe à 7km, au pied des éoliennes de Salazinne.

Le bassin retenu est directement accessible par la route (N937) par sa partie Sud.

La distance avec le bassin inférieur est d'environ 700m à vol d'oiseau. La connexion entre les deux bassins devrait se faire en passant par des zones forestières et d'habitat. Par ailleurs, une partie de la forêt en bordure de Meuse – et donc au pied du bassin supérieur – est une zone Natura 2000. Il serait donc nécessaire de voir quels types d'aménagement pourraient réellement être réalisés pour connecter les deux bassins.

Le **bassin inférieur** est situé sur la Meuse. A cet endroit, le cours d'eau est large (100-150 mètres) mais est directement adjacent à l'île d'Yvoir qui est exploitée économiquement avec un restaurant. Un des deux passages autour de l'île y est d'ailleurs condamné au passage des bateaux.

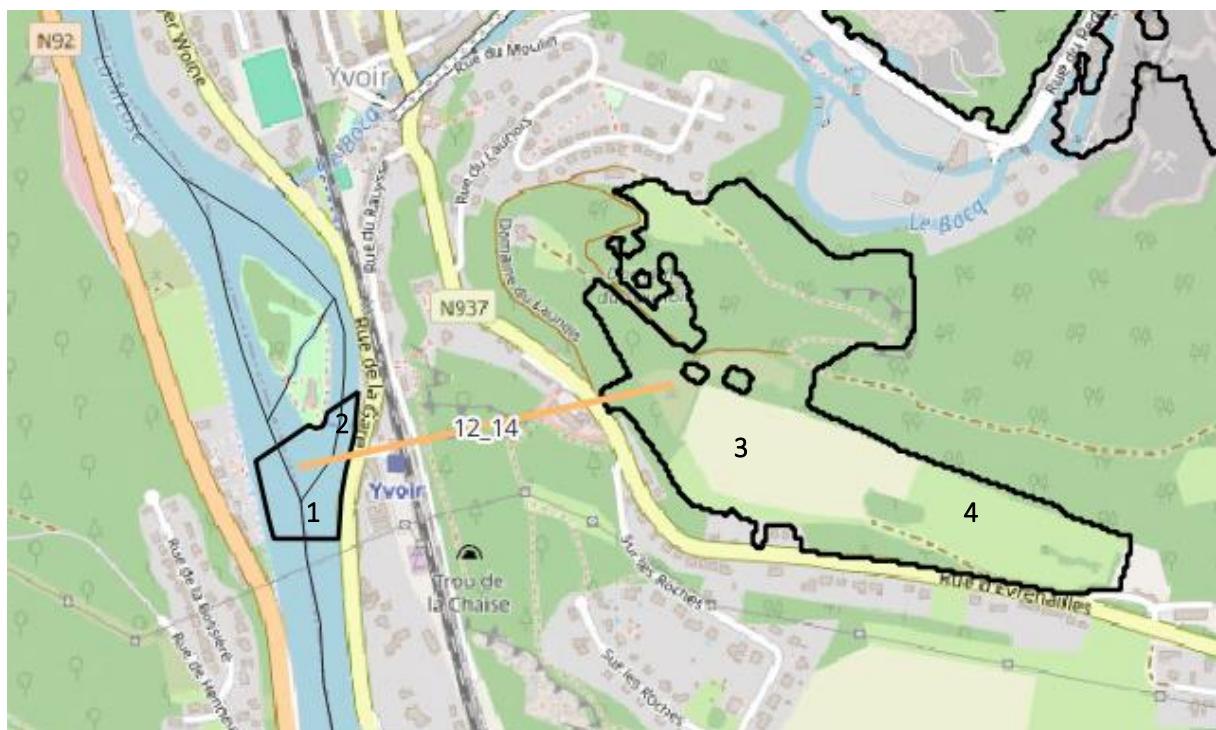
La puissance du site sera conditionnée par la capacité du cours d'eau. Sur base d'une durée de turbinage de 6h, on trouve un débit de 107 m³/s peut être trop important par rapport à la capacité du cours d'eau. Il conviendrait donc d'allonger la durée de turbinage, au détriment du débit et donc de la puissance.

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non : cependant, la forêt en aval à flanc de falaise l'est.
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Oui : plaines alluviales et pelouses calcaires	Non

Photos du site :



Bassin inférieur :



Bassin supérieur



2.14. Site 14 - Monsin Amont

Référence : 18_1373_3180

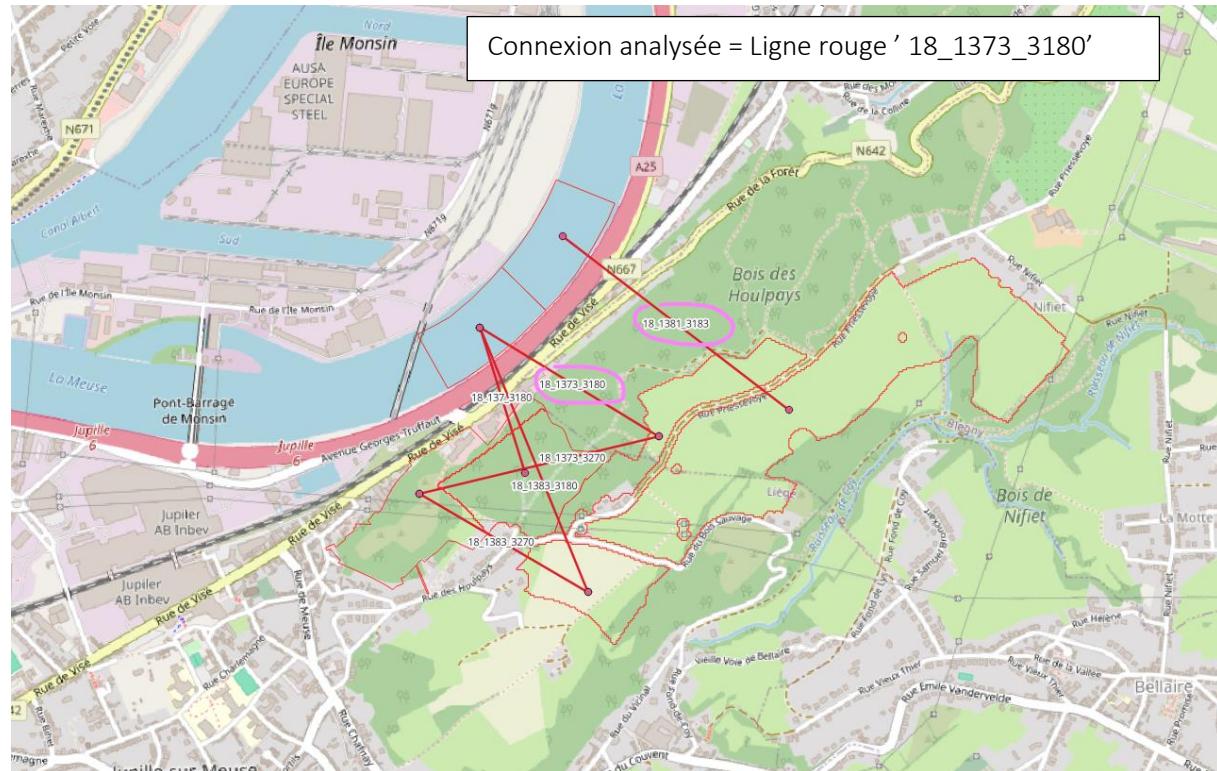
Commune(s) : Liège

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
240194,652	149809,032	5.644231810497213	50.65192786104788

Système : semi-ouvert

Carrière : Non





Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	[m]	[MWh]	[h]	[m ³ /s]	[MW]
N/A	N/A	-	6,2	10	0,6	108,7	129	6	28,7	27,5

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Service Public de Wallonie	En partie un fermier de Blegny. Reste inconnu
Nature de l'exploitation	Cours d'eau- La Meuse	Champs, prairie exploitée par un fermier (élevage : vache) Et en partie, un terrain boisé (bois et végétation dense)
Proximité réseau électrique	Ligne 150kV ELIA à environ 1 km	Ligne 150kV ELIA (relais de transition de Bellaire) au sud-ouest du site
Proximité réseau eau	La Meuse situé en aval du barrage de Monsin	
Proximité routier	Autoroute A25 Chemin de fer	Accès par une route non goudronnée (Passage de tracteur) L'accès en camion ou voiture peut se faire par la rue Priessevoye (Blegny) et la rue de la Floresse (Blegny).

Evaluation du site :

Le site est prometteur. La zone du bassin supérieur appartiendrait à un agriculteur (élevage bovin). Elle est relativement plate et de très grande étendue.

Une ligne Haute Tension passe à proximité de la zone du bassin supérieur.

A combiner avec le site de Monsin aval si le sentier (rue de la Floresse) peut être utilisé. Ce sentier, principalement utilisé par le fermier, impraticable en voiture « normale ».

Certains impétrants sont présents dans la zone : conduite d'air liquide pressurisé.

La puissance du site sera conditionnée par la capacité de la Meuse qui constituerait le bassin inférieur. Sur base d'une durée de turbinage de 6h, on trouve un débit de 29 m³/s très probablement compatible avec la capacité du cours d'eau.

A noter :

- Chasse parfois organisée dans le bois des Houlpays à côté des bassins supérieurs 'Monsin Aval' et 'Monsin Amont' ;
- ELIA : 3 pylônes 150 kV et un poste de transition
- Conduite Air liquide (contact : photos jointes)

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non (bassin supérieur est bordé par des forêts soumises à ce statut)
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Non	Non

Photos du site :

Zone du bassin supérieur





2.15. Site 15 - Hermalle Sous Huy

Référence : 14_592_1924

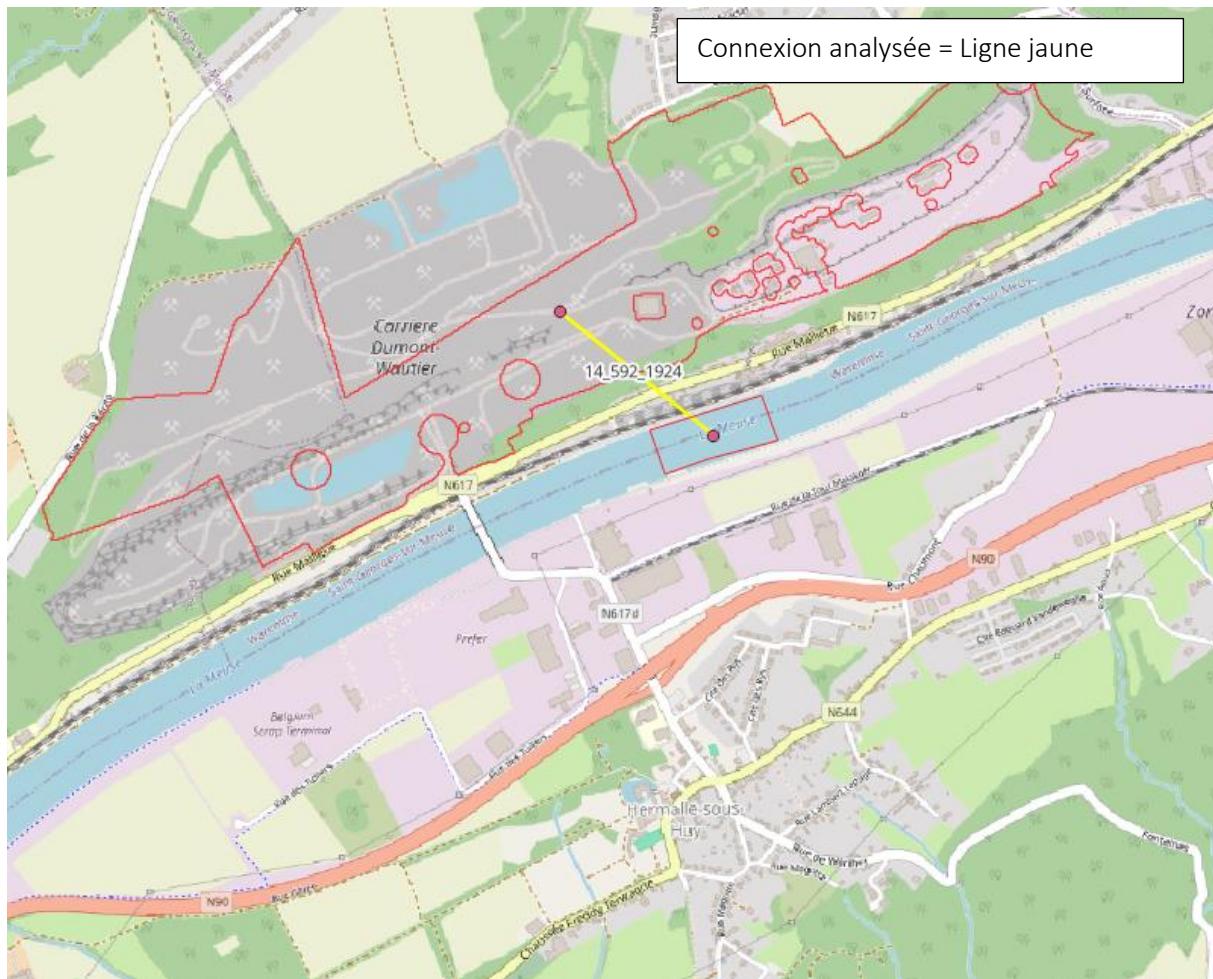
Commune(s) : Hermalle Sous Huy

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
220273,621	140085,039	5.360719876487122	50.56725499438529

Système : semi-ouvert

Carrière : Oui





Potentiel énergétique :

Non évalué car site non-retenu.

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Service Public de Wallonie	Lhoist
Nature de l'exploitation	Cours d'eau – La Meuse	Carrière, relief très variable (70 m d'altitude proche de la carrière -> 230 m) 
Proximité réseau électrique	Non analysé	Non analysé
Proximité réseau eau	Oui	La Meuse borde le site
Proximité réseau routier	La N617 borde le site	Proche de la N617

Evaluation du site :

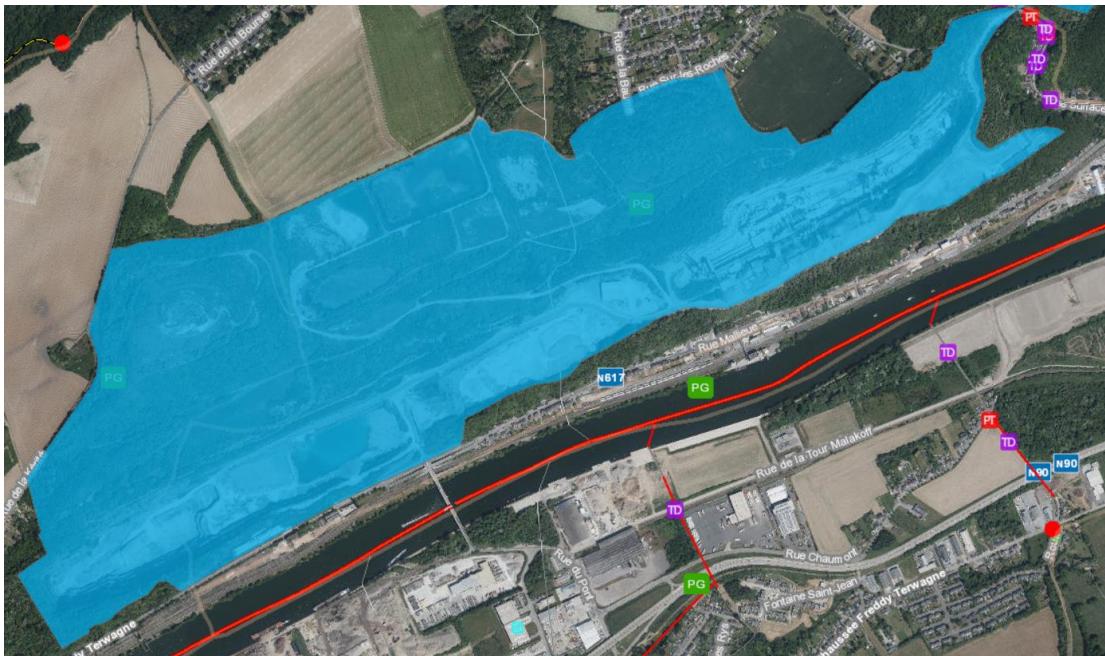
Le site possède un potentiel altimétrique intéressant, mais qui est fort fragmenté et variable spatialement.

Dans la zone identifiée suite au screening automatique, seule la moitié (57 ha), Figure 1, possède une hauteur de chute significative (100 m) par rapport à la Meuse qui ferait office de réservoir bas. Une alternative serait de créer un ou des sites fermés, mais avec les mêmes contraintes de fragmentation des surfaces intéressantes auxquelles vient s'ajouter la présence d'installations industrielles en activité. En effet, la totalité de la zone (Figure 1) appartient au groupe Lhoist qui l'exploite activement comme carrière (environ 1 camion entrant et sortant du site toutes les 10 minutes).

En conclusion, il s'agit d'un site au potentiel probablement intéressant mais pour lequel il est difficile d'imaginer à ce stade une solution d'équipement en STEP. Le site n'a donc pas été retenu.

Figure 1

Figure 2



Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Non	Non



<https://www.lifeinquiries.eu/> Le site de Hermalle-sous-Huy a fait partie du projet « Life quarries » consistant à encourager la biodiversité de la faune sur les sites d'extraction. Dans une vision à long terme, les partenaires de ce projet dont l'exploitant de la carrière (Lhoist), ont signés des chartes les mandatant à pérenniser la gestion dynamique de la biodiversité des sites actuels avec le Département Nature et Forêts de la Région wallonne (DNF).

Photos du site :



2.16. Site 16 - Leffe

Référence : 12_908_2145

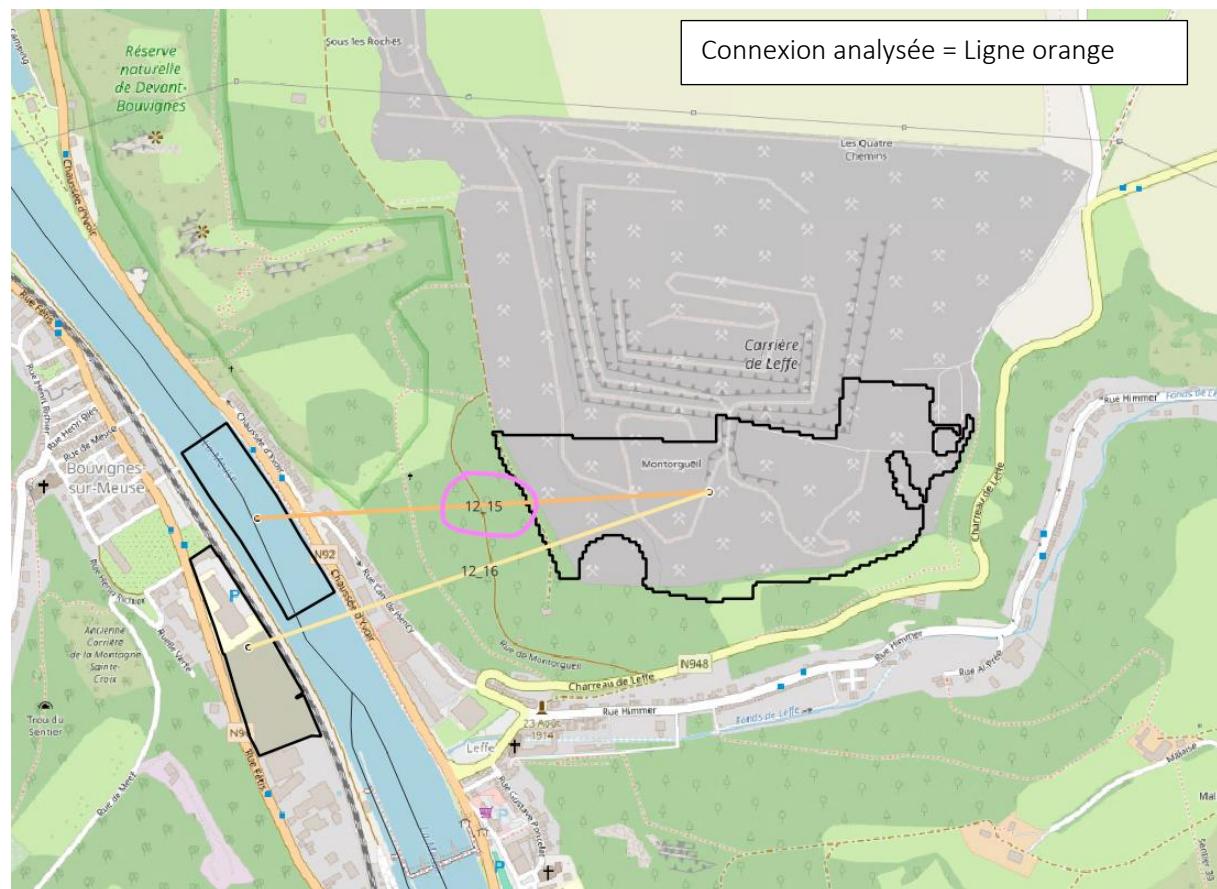
Commune(s) : Leffe

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
188321,041	106930,299	4.906312183384233	50.272159119540405

Système : semi-ouvert

Carrière : Oui





Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[Mm³]	S [ha]	P[m]	V[Mm³]	[m]	[MWh]	[h]	[m³/s]	[MW]
N/A	N/A	-	13,5	10	1,4	101,5	262	6	62,6	56,1

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Région Wallonne	Holcim
Nature de l'exploitation	Cours d'eau navigable	Carrière
Proximité réseau électrique	Voir bassin supérieur	Ligne haute tension passe dans le champs en bordure de carrière. La carrière est également située à 3km d'un poste de transformation haute tension vers moyenne/basse tension (rue de Davisseau, Dinant)
Proximité réseau eau	Situé sur la Meuse	Connexion indirecte via le bassin inférieure qui est situé sur la Meuse.
Proximité réseau routier	La N92 longe la Meuse en rive droite et la N96 en rive gauche.	La carrière est directement connectée à la N948 qui relie directement la E411 à Senenne.

Evaluation du site :

Le **bassin supérieur** de ce site est la carrière de Leffe. La partie pertinente correspond au sud de la parcelle. Environ 1/3 de ce bassin correspond aux usines (voir « 1 » sur la photo en fin de fiche) qui, d'ici environ 5 ans, seront démontées et seront déplacées dans le champs au nord de la parcelle pour poursuivre l'exploitation de la carrière vers le nord. Le permis d'exploitation prévoit que la zone actuelle des usines soit remise en état, ce qui signifie qu'elle sera libre d'usage. Cette zone est plate et propose un dénivelé intéressant par rapport à la Meuse. Les 2/3 restants constituent une partie de la fosse de la carrière. L'altitude y est donc moindre. Cela signifie que la superficie renseignée par l'exercice cartographique n'est pas équivalente en tout point du bassin et qu'il faudrait rehausser cette partie.

La carrière a un bail emphytéotique long ; la fin de l'exploitation n'est pas proche et ce d'autant plus qu'elle a obtenu un permis d'exploitation récemment. Par ailleurs, elle fait partie du projet « Life in quarries » qui vise l'accueil et la pérennisation de la biodiversité dans les sites carriers partenaires. Sans qu'il ne s'agisse d'un statut de protection, il sera probablement nécessaire de composer avec le respect de certaines normes et règles en la matière.

La distance entre la carrière et le bassin inférieur est relativement courte et ne présente des obstacles (habitations et routes) qu'en bordure de Meuse. Entre les deux bassins, il s'agit essentiellement de coteaux arborés.

Le **bassin inférieur** est situé sur la Meuse. A cet endroit, le cours d'eau est large (100 mètres) et aucun obstacle n'est à signaler.

La puissance du site sera conditionnée par la capacité de la Meuse qui constituerait le bassin inférieur. Sur base d'une durée de turbinage de 6h, on trouve un débit de 63 m³/s probablement compatible avec la capacité du cours d'eau.

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non : cependant, les flancs de falaise menant à la carrière le sont pour partie
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Oui : Plaines alluviales	Oui : Pelouses calcaires et milieux associés

Photos du site :

Bassin inférieur :



Bassin supérieur :

Etant donné le caractère sensible, nous sommes tenus à ne pas diffuser les photos des infrastructures de la carrière. Nous reprenons l'image Google Maps.



2.17. Site 17 - Liège Est

Référence : 16_1039_2539

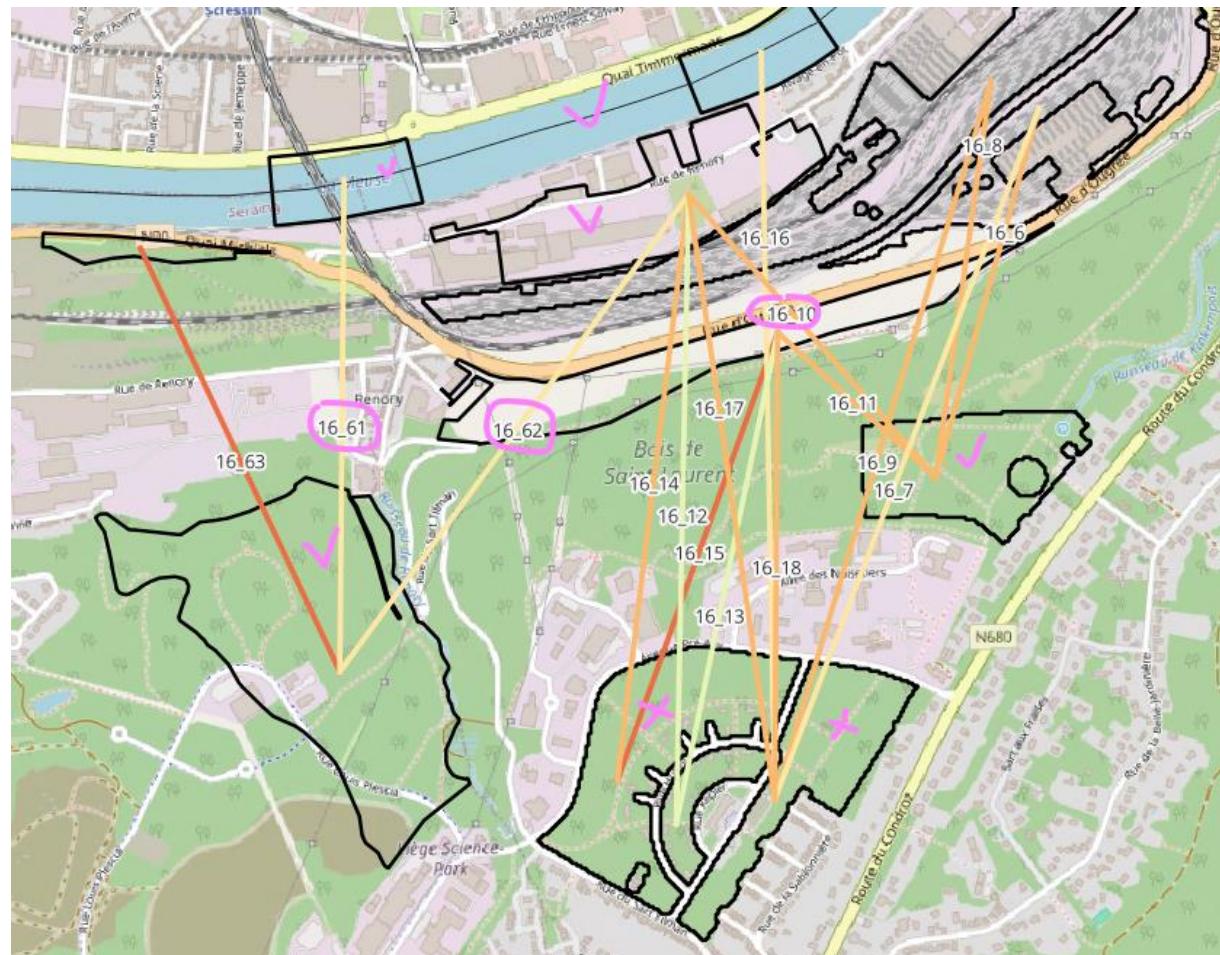
Commune(s) : Liège

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
235180,366	144417,166	5.572099078828479	50.60421462196756

Système : fermé

Carrière : Non



Connexion analysées = Ligne orange '16_10'. Les lignes '16_61' et '16_62' pourraient constituer des alternatives si elles s'y prêtent mieux.

Le site inférieur est reconnu comme Site à Réaménager²⁷.

²⁷ Réaménagement de biens ou ensemble de biens immobiliers qui ont été ou sont destinés à accueillir des activités (autres que le logement) et dont l'état actuel est contraire au bon aménagement des lieux ou qui constituent une déstructuration du tissu urbanisé.



Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	[m]	[MWh]	[h]	[m ³ /s]	[MW]
4	10	0,4	13,5	10	1,4	126,8	97	6	18,5	20,7

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur (non Meuse)	Bassin supérieur (16-61 ou 62)	Bassin supérieur (16-10)
Propriétaire supposé du site	<p>Il s'agit principalement d'entrepôts de stockages. Voici les sociétés présentes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • RENORY HALL • KINKEMPOIS • Liège Container terminal • Solucious – Liège • Favoris E-commerce 	<p>La commune de Liège</p> <p>Attention présence de bureau d'entreprise sur le site :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lasea • Technord 	La commune de Liège
Nature de l'exploitation	Entrepôts, conteneurs	<p>Végétation assez dense (bois, forêt)</p> <p>Surface d'environ 25 ha</p> <p>Bois de Saint Laurent</p>	<p>Bois de Saint Laurent</p> <p>Surface d'environ 10 ha</p>
Proximité réseau électrique	Proche d'une zone résidentielle et présence d'un pylône électrique et de panneaux photovoltaïques sur le toit des bâtiments	Le réseau est relativement proche. Une ligne 150 kV passe également dans la zone (1 pylône électrique).	Proche d'une zone résidentielle et proche d'un parc d'entreprises
Proximité réseau eau	La Meuse passe le long du site. Transport de conteneur par bateau et remorque camion	<p>Un cours d'eau souterrain sur la frontière Est du domaine est enregistré par le SPW.</p> 	Pas de cours d'eau passant sur le terrain
Proximité réseau routier	Le site est proche de la N90	<p>Le site englobe une partie de la rue Louis Plessia. Le site est situé à 2 km de la N680.</p>	Le site est situé à 3,5 km de la N90 et 2,8 km de la N63

Evaluation du site :

Les zones des bassins supérieurs sont localisées dans le parc scientifique du Sart Tilman. Ce sont des zones en grande partie non encore occupées, mais qui pourraient faire partie d'extensions futures.

La zone du bassin inférieur est occupée par de nombreux halls d'entreprises. Le site n'est donc probablement pas pertinent. Une alternative serait d'utiliser le bief de Meuse Monsin-Ivoz comme bassin inférieur. Dans ce cas, la puissance du site sera conditionnée par la capacité du fleuve.

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Non	Non

Photos du site :

Bassin supérieur (liaison 16-61 ou 62) :

Occupation partielle du site par les bâtiments de Lasea et Technord :



Au sud-ouest des entreprises (Lasea et Technord) :



Bassin supérieur liaison (16-10) :



Bassin inférieur (entrepôts) :



2.18. Site 18 - Ambly

Référence : 14_802_811

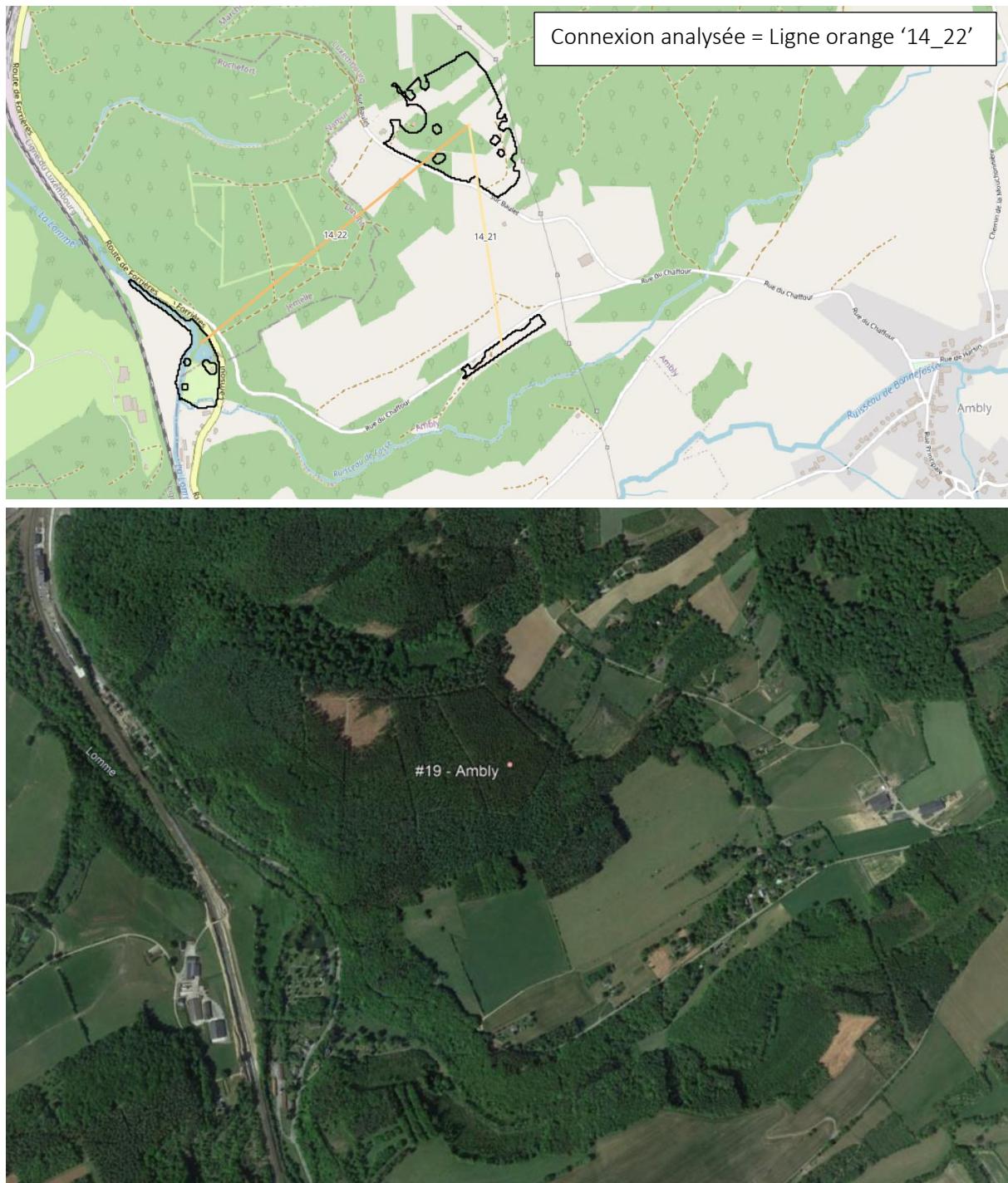
Commune(s) : Ambly

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
215248,75	93601,2498	5.281723550972364	50.149962158359465

Système : fermé

Carrière : Non



Potentiel énergétique :

Non évalué car site non-retenu.

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Non évalué	Non évalué
Nature de l'exploitation	Non évalué	Non évalué
Proximité réseau électrique	Non évalué	Non évalué
Proximité réseau eau	Non évalué	Non évalué
Proximité réseau routier	Non évalué	Non évalué

Evaluation du site :

Le site du bassin supérieur potentiel est fort éloigné de la rivière (bassin inférieur). Nettement plus de 2 km à vol d'oiseau. De plus, il existe une forte exploitation forestière sur la partie supérieure de ce site et la distance entre le site supérieur potentiel et la Lhomme est quasi essentiellement couvert de forêt.

Le site supérieur est quasi totalement dépourvu d'eau. Dans toute cette partie de la commune, les habitants ne sont pas desservis en eau courante, il n'existe que quelques réservoirs d'eau de pluie rendue potable sur la partie supérieure (où irait le bassin supérieur) pour les desservir.

Sur la partie inférieure du site, la rivière Lhomme est vraiment très petite. Elle est ces dernières années souvent quasi à sec en été selon les habitants du coin. C'est une rivière nettement plus faible en débit que les Deux Ourthe (Ourthe orientale et occidentale) ou la Semois.

Ce site n'est pas adapté. Trop de points négatifs et obstacles ajoutés les uns aux autres.

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non (mais liaison entre les deux bassins borde une zone soumise à ce statut)	Non (mais liaison entre les deux bassins borde une zone soumise à ce statut)
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Non	Non

Photos du site :

Partie supérieure du site.



Partie inférieure du site avec la rivière Lhomme en arrière-plan.



2.19. Site 19 – Beausaint

Référence : 16_1299_2092

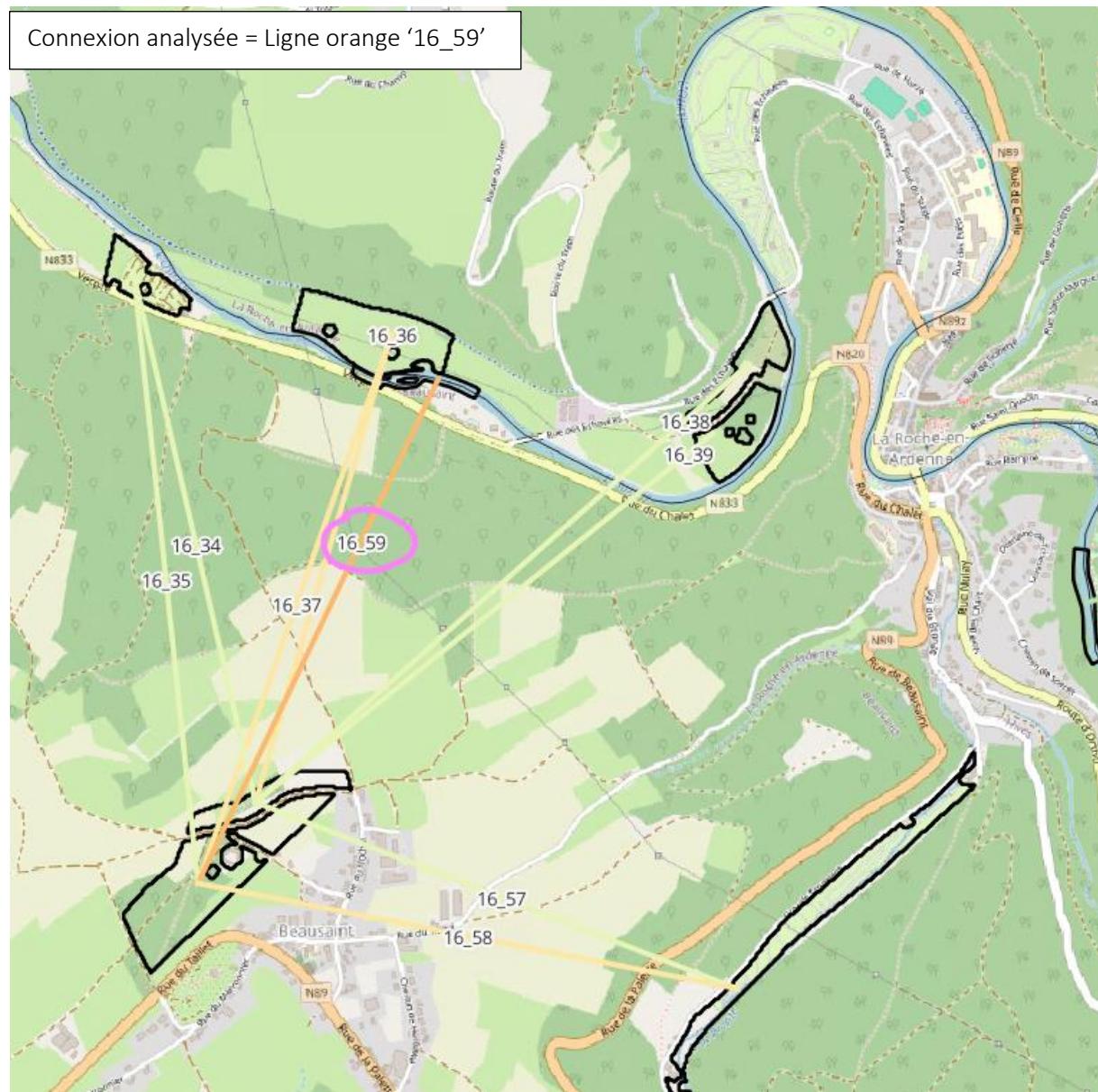
Commune(s) : Beausaint

Localisation :

xCombi	yCombi	xGPS	yGPS
234616,227	96931,3753	5.553422503525577	50.17743790146503

Système : semi-ouvert

Carrière : Non





Potentiel énergétique :

Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance**
S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	S [ha]	P[m]	V[Mm ³]	[m]	[MWh]	[h]	[m ³ /s]	[MW]
1,06	-	-	7,78	10	0,8	180	267	6	36	57,1

*Energie calculée sur base d'un rendement de cycle de 0,7

**Puissance en turbinage calculée sur base d'un rendement de 0,9

Autres caractéristiques :

	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Propriétaire supposé du site	Ourthe (mais de l'autre côté de la route dans le bas de la vallée)	Fermiers (grands terrains agricoles, champs de maïs, froment, ...)
Nature de l'exploitation	Néant	Agriculture
Proximité réseau électrique	Basse tension (moyenne ?)	Moyenne tension (pas directement tout près)
Proximité réseau eau	Oui (rivière de haut débit)	Non
Proximité réseau routier	Oui (aisé)	Oui (aisé via le centre du village de Beausaint situé juste à côté).

Evaluation du site :

Site difficilement exploitable.

La distance horizontale est très élevée et le rapport distance horizontale sur hauteur de chute peu encourageant.

Situation compliquée pour parvenir depuis le site du réservoir haut au site de l'Ourthe en contrebas, avec notamment, un bois privé dense et difficile à franchir.

Sur le site du réservoir haut, ce sont des terres agricoles fortement exploitées et il y a un quartier résidentiel (en expansion) à proximité d'une grande exploitation agricole.

Présence d'une route avec une forte circulation venant de La Roche et adjacente à la rivière avant d'arriver sur le site du réservoir inférieur sur l'Ourthe.

La puissance du site sera conditionnée par la capacité du cours d'eau. Sur base d'une durée de turbinage d'une durée de 6h, le débit est de 36 m³/s, comparable au débit moyen du cours d'eau à cet endroit (25 m³/s)

Contraintes additionnelles :

Contraintes pouvant présenter des difficultés en vue de l'obtention d'un permis mais non appliquées lors du traitement cartographique.

Contrainte	Bassin inférieur	Bassin supérieur
Périmètres d'intérêt paysager	Non	Non
Périmètres d'intérêt culturel, historique ou esthétique	Non	Non
Liaisons écologiques	Non	Non

Photos du site :

Champs sur le site du réservoir supérieur (l'Ourthe est sur la gauche en contrebas)



3. Evaluation globale des sites visités

Suite aux visites de terrains des 19 sites retenus à l'issue de la phase 2, deux sites ont été jugés irréalistes soit à cause de la configuration topographique réelle du site à laquelle s'ajoute une exploitation industrielle en cours, soit à cause de l'inadéquation de la zone inférieure pour la réalisation d'un réservoir "bas". Ce sont donc 17 fiches qui ont été plus amplement détaillées. Les principales caractéristiques des sites visités sont synthétisées dans le Tableau 3.

Il en ressort que la majorité des sites sont des sites ouverts (14 sur 17) pour lesquels l'Ourthe (7), la Meuse (6) ou la Semois (1) constituent le bassin inférieur. Cela implique que la puissance des sites est contrainte par la capacité du cours d'eau à absorber des variations de débit. Les estimations réalisées sur base de cycles de 6 heures conduisent pour chaque site à des débits qui semblent réalistes eu égard à la taille du cours d'eau. Si des cycles plus courts sont envisagés, le débit - et donc la puissance - augmente proportionnellement (par exemple, pour un cycle 3 fois plus court de 2 heures, le débit et la puissance sont multipliés par 3). Cela conduit souvent à des débits qui ne pourront pas être absorbés instantanément par le cours d'eau.

Le potentiel de stockage cumulé des 17 sites est de 3.836 MWh (la moitié du potentiel de Coo) et la puissance de 822 MW, soit presque une tranche nucléaire. La Figure 21 synthétise la répartition de la capacité de stockage et de la puissance. Le plus petit site présente une capacité de stockage de 40 MWh et une puissance de 8,5 MW alors que le plus grand possède une capacité de 613 MWh et une puissance de 131 MW.

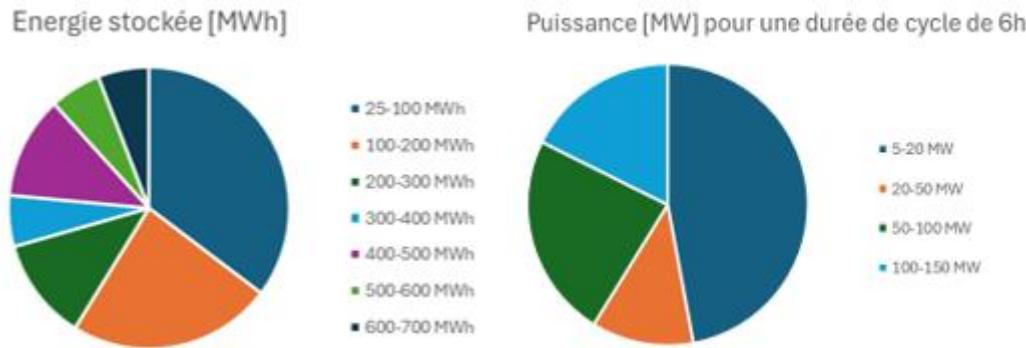


Figure 21 : Répartition du potentiel énergétique et de la puissance des 17 sites visités et retenus

Site n°	Nom	Bassin inférieur			Bassin supérieur			Chute	Energie*	Durée cycle	Débit	Puissance **	Type de système
		S [ha]	P[m]	V[m³]	S [ha]	P[m]	V[hm³]						
1	Maboge	Ourthe			11,0	10	1,1	144,9	305	6	51,1	65,3	Ouvert
2	Poulseur	Ourthe			3,2	10	0,3	141,8	87	6	14,8	18,5	Ouvert
3	Bouillon	10,4	10	1,04	2,8	10	0,3	125,8	67	6	13,0	14,4	Fermé
4	Nisramont amont	Ourthe			27,1	10	2,7	111,5	577	6	125,5	123,6	Ouvert
5	Anthisnes amont	Ourthe			2,8	10	0,3	171,4	92	6	13,0	19,6	Ouvert
6	Plaineveaux	3,5	10	0,35	16,2	10	1,6	179,5	120	6	16,2	25,7	Fermé
7	Bohan	Semois			3,3	10	0,3	196,1	124	6	15,4	26,6	Ouvert
8	Monsin aval	Meuse			28,1	10	2,8	114,5	613	6	129,9	131,3	Ouvert
9	Nisramont aval	Ourthe			16,6	10	1,7	128,8	408	6	76,8	87,3	Ouvert
10	Anseremme aval	Meuse			2,8	10	0,3	159,1	85	6	13,0	18,2	Ouvert
11	Anthisnes aval	Ourthe			1,6	10	0,2	130,0	40	6	7,4	8,5	Ouvert
12	Anseremme amont	Meuse			6,2	10	0,6	134,2	159	6	28,7	34,0	Ouvert
13	Yvoir	Meuse			23,1	10	2,3	92,8	408	6	106,8	87,5	Ouvert
14	Monsin amont	Meuse			6,2	10	0,6	108,7	129	6	28,7	27,5	Ouvert
15	Hermalle sous Huy				Non retenu (carrière en exploitation et topographie peu intéressante)								
16	Leffe	Meuse			13,5	10	1,4	101,5	262	6	62,6	56,1	Ouvert
17	Liège est	4,0	10	0,4	13,5	10	1,4	126,8	97	6	18,5	20,7	Fermé ou ouvert
18	Ambly				Non retenu (débit cours d'eau trop faible et configuration trop complexe)								
19	Beausaint	Ourthe			7,8	10	0,8	179,8	267	6	36,0	57,1	Ouvert

* Sur base d'un rendement de cycle de 70%

** Sur base d'un rendement en turbinage de 90%

Tableau 3 : Synthèse des caractéristiques des 19 sites visités

En termes économiques, le coût de réalisation d'une STEP peut s'envisager comme la somme du coût de réalisation d'une centrale hydroélectrique, typiquement lié à la puissance de l'installation, et le coût de réalisation des réservoirs, qui dépend de leur surface et du volume de terre à manipuler.

Le coût de réalisation d'une centrale hydroélectrique varie de 2 millions à 10 millions d'euros du MW installé (US EIA, IRENA...). Cette fourchette assez large inclut des aménagements de toutes tailles et de toutes puissances. Sur base d'estimations du coût de remblais/déblais et d'étanchéisation du réservoir, le coût de réalisation des réservoirs tels qu'imaginés dans cette étude varie de 0,5 million à 1,5 millions d'euros à l'hectare.

Sur base d'un coût de réalisation de 5 millions d'euros au MW installé et de 1 millions d'euros à l'hectare de réservoir, l'estimation du coût des 17 projets listés ci-dessus s'étend de 45 à 685 millions d'euros pour le plus petit, respectivement le plus grand, site. Le coût de réalisation des réservoirs représente de l'ordre de 5 à 10% de ce coût.

PARTIE E : Conclusion

Dans un contexte de changement climatique global, la Wallonie s'est engagée sur la voie de la transition énergétique. A l'horizon 2050, le recours aux énergies renouvelables sera prédominant. Parmi celles-ci, l'éolien et le photovoltaïque sont intermittentes et non pilotables. Il est donc nécessaire d'identifier des solutions de stockage pour assurer l'adéquation entre la future offre et demande d'électricité.

A l'heure où le gestionnaire de réseau de transport d'électricité (Elia) connaît également des difficultés à accepter de nouvelles capacités sur son réseau existant et à créer de nouvelles lignes, les solutions de stockage étudiées offrent des perspectives supplémentaires pour la sécurisation du réseau électrique.

Cette étude, mandatée par le Cluster H2O, s'est attelée à identifier des sites prometteurs en Wallonie pour y implémenter des unités de stockage d'énergie par pompage-turbinage hydraulique (STEP). Le relief wallon représente en effet une opportunité pour développer de tels projets de stockage d'énergie électrique modulables et réactifs. Le périmètre d'analyse s'est limité à couvrir les sites en surface (zones naturelles au relief propice, carrières, ouvrages hydrauliques existants) mais exclut les sites souterrains, considérés dans une étude antérieure (SmartWater).

Enfin, l'étude a consisté en :

- **Une analyse objective systématique du potentiel wallon pour l'implantation de STEP sur base de contraintes physiques et réglementaires** : les critères physiques minimaux à rencontrer (hauteur de chute, surface des réservoirs, ratio distance horizontale entre deux réservoirs et la hauteur de chute, pente du terrain) ont été arrêtés a priori, de même que les contraintes réglementaires à respecter ;
- **La particularisation de l'analyse pour 17 sites parmi les plus pertinents** : l'analyse cartographique a identifié 414 sites potentiels qui ont ensuite été classés entre eux. Les plus prometteurs ont fait l'objet d'une visite de terrain pour valider les résultats cartographiques. Ensemble, ces 17 sites représentent un potentiel de stockage de l'ordre de 3.800 MWh/cycle, soit un peu plus de la moitié du potentiel de la centrale de Coo

La méthodologie suivie pour cette étude permet l'évaluation rigoureuse et uniforme du territoire wallon. Celle-ci repose néanmoins sur une série d'hypothèses qui conditionnent les résultats. D'une part, cela implique que tous les sites potentiels identifiés ne sont pas tous totalement pertinents. C'est pourquoi nous avons procédé à une validation manuelle des résultats cartographiques et à des visites de terrain pour confirmer les résultats finaux. D'autre part, des acteurs (industriels) avec d'autres critères pourraient obtenir des résultats différents. Autrement dit, des sites ici non-identifiés pourraient être pertinents pour d'autres acteurs ayant leurs propres besoins et usages.

Enfin, cette étude ne constitue qu'une première étape pour démontrer d'un potentiel wallon pour l'implantation de solutions de stockage d'énergie par pompage turbinage. Elle appelle à la réalisation d'études plus détaillées qui devront notamment mieux caractériser la faisabilité technico-économique de projets de ce type.

Annexes

Les sites préférentiels (33) et retenus pour visite (19) sont disponibles dans le fichier Excel joint au présent rapport, mais également à travers les différentes couches cartographiques associées.

Références

Articles scientifiques

Ahmed A., Mohamed M., Saleh S., 2021, A GIS model for exploring the water pumped storage locations using remote sensing data, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 2021(24), pp. 515–523. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.09.006>

Ali S., Stewart R. A., Sahin O., 2021, Drivers and barriers to the deployment of pumped hydro energy storage applications: Systematic literature review, *Cleaner Engineering and Technology*, 2021(5), <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100281>.

Ali S., Stewart R. A., Sahin O., Silva Vieira A., 2023, Integrated GIS-AHP-based approach for off-river pumped hydro energy storage site selection, *Applied Energy*, 2023(337), <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120914>

Connolly D., MacLaughlin S., Leahy M., 2010, Development of a computer program to locate potential sites for pumped hydroelectric energy storage, *Energy* (35), pp. 375–381. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.10.004>

Krassakis P., Karavias A., Zygouri E., Roumpos C., Louloudis G., Pyrgaki K., Koukouzas N., Kempka T., Karapanos D., 2023, GIS-Based Assessment of Hybrid Pumped Hydro Storage as a Potential Solution for the Clean Energy Transition: The Case of the Kardia Lignite Mine, Western Greece, *Sensors* 23(2), 593, <https://doi.org/10.3390/s23020593>

Kucukali S., 2014, Finding the most suitable existing hydropower reservoirs for the development of pumped-storage schemes: An integrated approach, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014(37), pp. 502–508, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.052>.

Lu B., Stocks M., Blakers A., Anderson K., 2018, Geographic information system algorithms to locate prospective sites for pumped hydro energy storage, *Applied Energy*, 2018(222), pp. 300–312, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.177>

Rogea A., Girard R., Kariniotakis G., 2017, A generic GIS-based method for small Pumped Hydro Energy Storage (PHES) potential evaluation at large scale, *Applied Energy*, 2017(197), pp. 241–253 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.103>

Nzotcha U., Kenfack J., Manjia M.B., 2019, Integrated multi-criteria decision making methodology for pumped hydroenergy storage plant site selection from a sustainable development perspective with an application, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019 (112), pp. 930–947, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.035>

Tractebel, C. Regy, L. Diougoant, D. D'orazio, Solution de stockage avec une micro-station de transfert d'énergie par pompage dans les carrières/mines, *HydroEs*, 22-24 septembre 2021.

Autres sources

ELIA, Règles de fonctionnement du marché relatif à la compensation des déséquilibres quart-horaire, 2020.

Energie Plus le Site, Les 3 types de réserves en cas de déviation de la fréquence du réseau en Belgique, Effacement énergétique - Dernière consultation le 06/02/2024. <https://energieplus-lesite.be/gerer/reseau-electrique3/flexibilite-electrique/effacement-energetique/>

**Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable asbl**

Boulevard Frère Orban 4
B-5000 NAMUR
00 32 81 25 04 80
www.icedd.be
icedd@icedd.be

N° registre de commerce : sans objet
N° TVA : BE0407.573.214
Représenté par : Gauthier Keutgen, Secrétaire Général
N° de compte bancaire : BE59 5230 4208 3426 / BIC TRIOBEBB