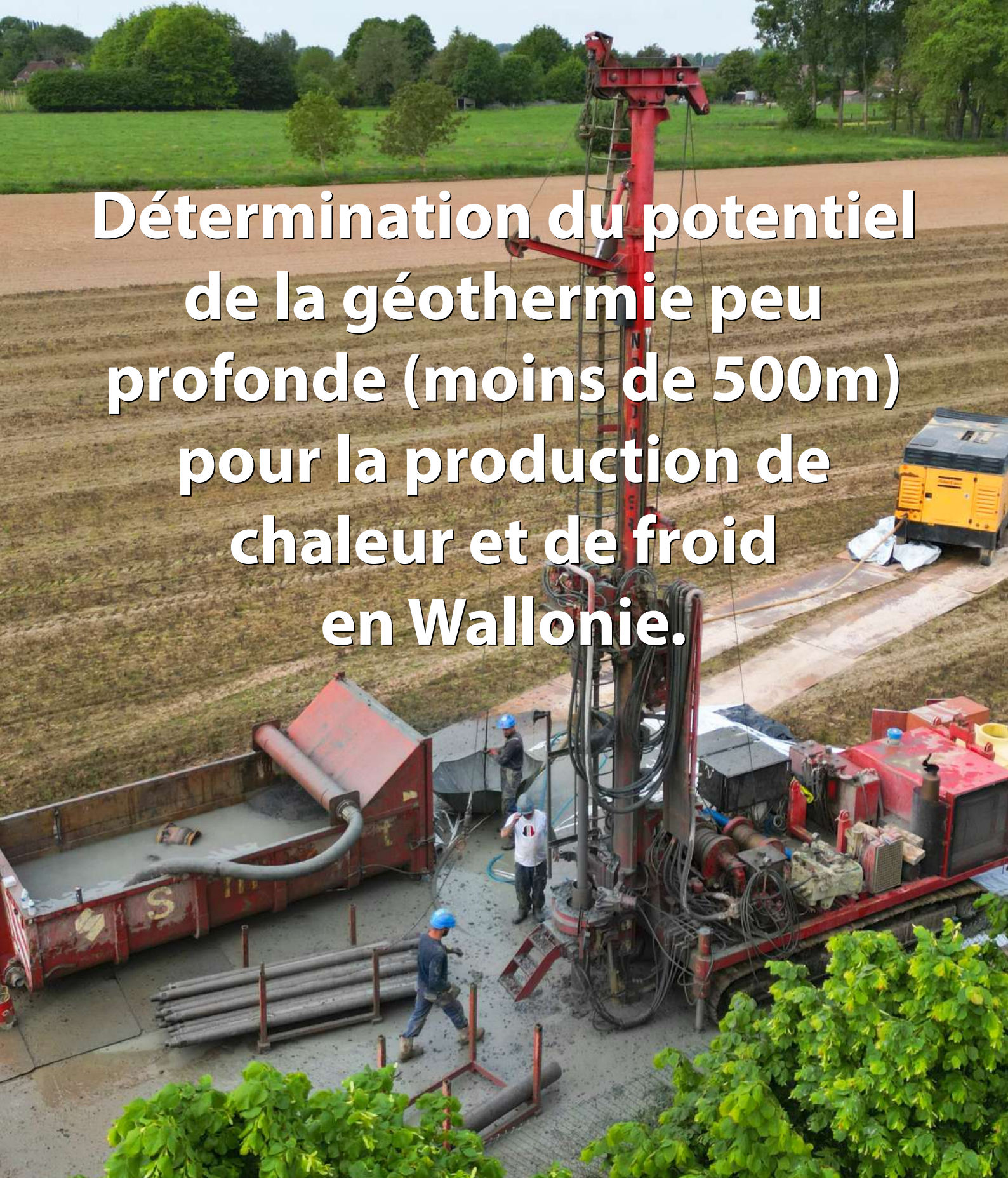


# Détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie.



Wallonie



# DÉTERMINATION DU POTENTIEL DE LA GÉOTHERMIE PEU PROFONDE (MOINS DE 500M) POUR LA PRODUCTION DE CHALEUR ET DE FROID EN WALLONIE.

---

Etude réalisée pour le SPW Energie (SPW TLPE)

Février 2023

Elaboré et rédigé par : Harcouët-Menou Virginie, Dirix Katrijn, Karolien Vermeiren, Inge Uljee, Petitclerc Estelle, Baudinet Camille, Vercruysse Jacques, Orban Philippe, Dassargues Alain, Pauk Charlotte, Descamps Alexandre, Yasse Sébastien, Nicolas Cuvelier





## SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>VI</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>VIII</b>
<b>LISTE D'ABRÉVIATIONS</b> .....	<b>X</b>
<b>SYNTHÈSE</b> .....	<b>XI</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>1. La géothermie peu profonde</b> .....	<b>3</b>
1.1. Introduction .....	3
1.2. Utilisations de la géothermie peu profonde .....	3
1.3. Les dispositifs de production.....	5
1.3.1. PAC géothermique : production de chaud.....	5
1.3.2. PAC géothermique réversible : production de chaud et de froid alternée ou production de froid active.....	5
1.3.3. Thermofrigopompes : production de chaud et de froid simultanée.....	5
1.3.4. Géocooling : production de froid passive .....	6
1.4. Types de systèmes de géothermie peu profonde.....	6
1.4.1. Systèmes fermés .....	6
1.4.2. Systèmes ouverts.....	12
<b>2. Collecte des données existantes</b> .....	<b>19</b>
2.1. Inventaire des installations existantes.....	19
2.2. Données sous-sol .....	19
2.2.1. Définition des données collectées .....	19
2.2.2. Collecte et traitement des données sous-sol .....	20
2.3. Données surface.....	30
2.3.1. Définition des données collectées .....	30
2.3.2. Sectorisation du parc wallon.....	31
2.3.3. Détermination des besoins thermiques en chaud et en froid par secteur.....	32
2.3.4. Traitement des données de surface.....	35
<b>3. Constitution de la base de données et traitement des données collectées</b> .....	<b>37</b>
3.1. Constitution d'une base de données.....	37
3.2. La base de données géothermie .....	37
3.2.1. Structure .....	37
3.2.2. La constitution des 'views' pour faciliter l'utilisation de la bd .....	39
<b>4. Détermination des potentiels technique et net à l'échelle de la Wallonie</b> .....	<b>40</b>
4.1. Introduction .....	40



4.2. Définition des différents potentiels.....	40
4.3. Étude des meilleures pratiques des méthodologies d'évaluation du potentiel de la géo-thermie peu profonde.....	40
4.3.1. Système fermés.....	44
4.3.2. Système ouverts.....	47
4.4. Spécificités de la Wallonie.....	49
4.5. Méthodologies pour la détermination des potentiels en Wallonie.....	49
4.5.1. Potentiel technique sous-sol.....	49
4.5.2. Potentiel net.....	58
4.5.3. Croisement des cartes de demande de chaleur et de potentiel technique sous-sol.....	65
<b>5. Cartographie du potentiel géothermique peu profond en Wallonie.....</b>	<b>66</b>
5.1. Introduction.....	66
5.2. Points d'attention pour la cartographie du potentiel de la géothermie peu profonde.....	66
5.2.1. Stratégie de cartographie et contenu des cartes.....	66
5.2.2. Utilisateurs visés.....	66
5.2.3. Prise en compte des incertitudes.....	67
5.2.4. Durabilité et potentiel d'utilisation.....	67
5.3. Outil utilisé pour la cartographie.....	67
5.4. Résultat de la cartographie.....	68
5.4.1. Cartes et Notices.....	68
5.4.2. Focus sur quelques points mis en évidence par les cartes.....	68
<b>6. Rédaction d'une notice de référence d'aide à l'exécution en matière de géothermie peu profonde.....</b>	<b>80</b>
<b>7. Proposition d'un plan d'actions concret pour promouvoir le développement durable de cette filière en Wallonie.....</b>	<b>81</b>
7.1. Introduction.....	81
7.2. Analyse SWOT (strengths, weaknesses, opportunities, threats): forces, faiblesses opportunités et menaces.....	81
7.2.1. acceptabilité des système géothermique peu profond et disposer d'un cadastre énergétique du bâti wallon.....	83
7.2.2. Actions économiques / financières.....	84
7.2.3. Actions législatives et réglementaires.....	89
7.2.4. Actions de Communication.....	92
7.3. Conclusion : Les Mesures essentielles pour le développement de la filière en Wallonie ...	93
<b>8. Conclusions.....</b>	<b>95</b>
<b>9. Références.....</b>	<b>97</b>
<b>Annexe A : Dynamic Energy Atlas.....</b>	<b>99</b>
A.1. Méthodologie DEA.....	100



A.2. Résultats du DEA.....	102
A.3. DEA Informations techniques .....	102
<b>Annexe B : Traitement des données sous-sol : systèmes fermés .....</b>	<b>103</b>
B.1. Valeurs de conductivités thermiques des mesures de (E)TRT et des divers projets de recherches .....	103
B.2. Moyennes des valeurs de conductivités thermique mesurées et proposition de classe	104
<b>Annexe C : Structure de la BD.....</b>	<b>105</b>
<b>Annexe D : Résultats de la demande couvrable pour les secteurs résidentiel et tertiaire pour les 262 communes .....</b>	<b>106</b>
D.1. Secteur Résidentiel .....	106
D.2. Secteur Tertiaire .....	118
<b>Annexe E : GUIDE POUR REALISER UN PROJET DE GEOTHERMIE PEU PROFONDE .....</b>	<b>130</b>
<b>Annexe F : Cartes pour les systèmes fermés : classe de conductivité thermique, profondeur de la zone non saturée, et débit d'exploitation par forage et potentiel géothermique ....</b>	<b>131</b>
F.1. Critères.....	131
F.2. Potentiel des systèmes fermés .....	131
F.2.1 Classes de potentiel .....	131
F.2.2 Potentiel technique sous-sol .....	132
F.2.3 Potentiel net .....	133
F.3. Cartes .....	134
<b>Annexe G : Cartes des critères pour les systèmes ouverts : profondeur d'accès à la ressource, débit de production possible et potentiel géothermique.....</b>	<b>158</b>
G.1. Critères .....	158
G.2. Potentiel des systèmes ouverts .....	159
G.2.1 Classes de potentiel .....	159
G.2.2 Potentiel technique sous-sol .....	160
G.2.3 Potentiel net .....	161
G.3. Cartes .....	161



## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Illustration d'un système fermé (source : geothermie.brussels- projet BRUGEO)) .....	7
Figure 2 : Conductivités thermiques moyennes (en conditions sèches et saturées en eau) dans les lithologies principales du Massif de Brabant. ....	8
Figure 3 : Illustration du principe de fonctionnement des systèmes ouverts. Source : Dassargues 2018 & 2020, chapitre 11. Dans le cas présenté, l'eau est prélevée dans la nappe à partir de 2 puits de production et est réinjectée dans un troisième puits. Le nombre de puits, ainsi que le design global des installations dépendent notamment de la demande et des propriétés du sous-sol. ....	14
Figure 4 : Illustration du principe de fonctionnement des systèmes ouverts (source : geothermie.brussels- projet BRUGEO)) .....	15
Figure 5 : Localisation des mesures de TRT et ETRT fournies par les différentes entreprises .....	22
Figure 6 : Localisation des mesures de TRT et ETRT superposé au fond géologique.....	22
Figure 7 : Histogrammes empilés présentant le nom attribué, la valeur de conductivité thermique $\lambda$ mesurée, la succession lithologique, les pourcentages des différentes lithologies et stratigraphies associées qui composent les forages.....	23
Figure 8 : Structure de la BD SERAN .....	27
Figure 9 : Carte présentant l'ensemble des ouvrages et projets encodés dans la BD SERAN. ....	28
Figure 10 : Méthodologie de création de la couche d'épaisseur de zone non saturée en fonction du degré de connaissance de l'aquifère (de Thomas et al, 2019) .....	29
Figure 11 : Carte d'épaisseur de la zone non saturée (source : Projet APSU-GIS). ....	29
Figure 12 : Phases principales de l'analyse des données de surface.....	30
Figure 13 : Bilan général 2020 de la géothermie peu profonde présentant la répartition des nouvelles PAC par secteur de marché en France « La géothermie en France - Étude de filière » AFGP 2021).31	31
Figure 14 : Schéma de répartition présentant les différents usages de la géothermie peu profonde pour les secteurs du résidentiel collectif et du tertiaire en France (source : dernières études d'Observ'ER, figure publiée dans « La géothermie en France - Étude de filière » AFGP 2021). 32	32
Figure 15 : Densité de demande de chaleur totale pour le secteur résidentiel : exemple de résultat de l'approche Top-down.....	35
Figure 16 : Densité de demande de chaleur pour les hôpitaux (MWh/ha): illustration de l'approche Bottom-up (l'emprise au sol des hôpitaux est multipliée par les facteurs énergétiques définis dans le Tableau 10) .....	36
Figure 17 : Structure de la base de données pour les données sous-sol, incluant les données pour les systèmes ouverts et fermés. Pour plus d'informations sur les différentes tables : voir Annexe C.....	39
Figure 18 : Carte d'isopaques du Crétacé (SGB) superposée à la carte d'affleurement du Quaternaire, Tertiaire et Crétacé (OneGeology) du Bassin de Mons. ....	51
Figure 19 : Carte des isohypses de la base du Crétacé (SPW) superposée à la carte d'affleurement du Quaternaire, Tertiaire et Crétacé (OneGeology) du Bassin de Mons.....	52
Figure 20 : Extension de la carte d'isohypse du toit du Crétacé en Wallonie (SGB) .....	54
Figure 21 : Extension de la carte d'isopaques du Socle Paléozoïque en Wallonie (SGB).....	55

Figure 22 : Extension des isohypses de la base du Crétacé (SPW) et des isohypses du toit du Socle Paléozoïque (SGB) dans le Bassin de Mons.....	56
Figure 23 : Combinaison des cartes de potentiel technique sous-sol et de densité de demande pour obtenir des cartes croisées de potentiel sous-sol versus demande de chaleur .....	65
Figure 24 : Illustration de l'interface utilisateur du DEA incluant le module complémentaire développé pour permettre la cartographie du potentiel en Wallonie. ....	68
Figure 25 : Carte de densité de demande de chaleur totale. ....	69
Figure 26 : Carte de densité de demande de chaleur brute du secteur résidentiel en 2022. ....	69
Figure 27 : Carte de densité de demande de chaleur brute du secteur tertiaire en 2022. ....	70
Figure 28 : Classification du potentiel des systèmes géothermiques fermés peu profonds en Wallonie selon 6 classes de potentiel. ....	71
Figure 29 : Carte de potentiel technique sous-sol des systèmes géothermiques fermés peu profonds en Wallonie estimé en MWh/ha. Les hypothèses suivantes ont été faites : nombre d'heures d'utilisation annuel fixé à 2000h, puissance d'extraction fixée à 25 W/m pour la classe A ayant une épaisseur supérieure à 50 m non saturée, 47,5 W/m pour la classe A saturée ayant une épaisseur supérieure à 50 m et 55 W/m pour la classe A ayant une épaisseur inférieure à 50 m et la classe B, une longueur de sonde de 100m et en incluant le fait qu'une surface de 100m <sup>2</sup> nécessaire autour de chaque sonde.....	71
Figure 30 : Classification du potentiel des systèmes géothermiques ouverts peu profonds en Wallonie selon 5 classes de potentiel. ....	72
Figure 31 : Carte de débit de production pour les systèmes géothermiques ouverts peu profonds en Wallonie.....	73
Figure 32 : Carte de potentiel technique sous-sol des systèmes géothermiques ouverts peu profonds en Wallonie estimé en MWh/ha, sur base des hypothèses suivantes : nombre d'heures d'utilisation annuel fixé à 2000h, un delta de température de 6°C, la densité et la capacité calorifique sont celles de l'eau pure fixées à 1000 kg/m <sup>3</sup> et 4200 J/kg/K. De plus, pour les lithologies homogènes la surface nécessaire à l'installation d'un doublet est supposée égale à 20.000m <sup>2</sup> et à 40.000 m <sup>2</sup> pour les lithologies hétérogènes.....	73
Figure 33 : Carte du potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds en Wallonie estimé en MWh/ha pour le scénario 2022 favorable – Secteur résidentiel. ....	74
Figure 34 : Carte du potentiel net des systèmes géothermiques fermés (en haut) et ouverts (en bas) peu profonds en Wallonie estimé en MWh/ha pour le scénario 2022 favorable- Secteur tertiaire. ....	75
Figure 35 : Evolution des potentiels des systèmes géothermiques fermés peu profonds du secteur résidentiel - 2022-2030-2050 comparée à la demande brute du secteur pour le chauffage....	76
Figure 36 : Evolution des potentiels des systèmes géothermiques fermés peu profonds du secteur tertiaire - 2022-2030-2050 comparée à la demande brute du secteur pour le chauffage. ....	77
Figure 37 : Evolution des potentiels des systèmes géothermiques ouverts peu profonds du secteur tertiaire - 2022-2030-2050 comparée à la demande brute du secteur pour le chauffage. ....	78
Figure 38 : Carte croisée potentiel technique sous-sol des systèmes ouverts versus demande de chaleur du secteur tertiaire (scénario favorable 2022). ....	79

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Différents types d'utilisation de la géothermie peu profonde .....	4
Tableau 2 : Puissances d'extraction typiques en fonction du type de lithologie .....	9
Tableau 3 : Différents types de sondes pour la géothermie des systèmes fermés et leurs caractéristiques. (*) Le rendement des sondes double U est considéré comme référence, ainsi une sonde coaxiale PE aura un rendement 5% supérieur à celui d'une sonde double U. ....	11
Tableau 4 : Influence du fluide caloporteur sur divers aspects de la géothermie des systèmes fermés. Comparaison entre le glycol 33% et de l'eau. ....	11
Tableau 5 : Synthèse des propriétés des systèmes ouverts et fermés utilisés en géothermie peu profonde pour la production de chaud, de froid ou le stockage d'énergie thermique .....	17
Tableau 6 : Nom des foreurs ou bureaux d'études ayant fourni des données de TRTs. (*) GEO-GREEN fait partie du consortium réalisant cette étude. ....	21
Tableau 7 : Valeurs de conductivité thermique de références par projet.....	24
Tableau 8 : Valeurs de références de conductivité thermique récupérées dans divers projets, N/A signifie non applicable .....	25
Tableau 9 : Extrait du tableau récapitulatif rassemblant les données de conductivités thermiques issues des mesures de TRT et des divers projets de recherches.....	25
Tableau 10 : Consommations spécifiques par affectation, * Sur le site de Bruxelles environnement les besoins en froid sont estimés à 10 kWh/m <sup>2</sup> pour des bureaux neufs et à 15 kWh/m <sup>2</sup> pour des bureaux rénovés.....	34
Tableau 11 : Lien entre les données inventoriées et la structure de la bd. ....	38
Tableau 12 : Sélection de certaines des meilleures pratiques utilisées dans le cadre de la détermination et de la cartographie du potentiel de la géothermie peu profonde en Europe. ....	41
Tableau 13 : Avantages et applicabilité ou non au cas de la Wallonie de certaines des meilleures pratiques utilisées dans le cadre de la détermination et de la cartographie du potentiel de la géothermie peu profonde en Europe.....	43
Tableau 14 : Valeurs de puissance thermique par unité de longueur extractibles (W/m) en fonction de la charge horaire de fonctionnement du système, source VDI 4640 (2000). ....	44
Tableau 15 : valeurs de puissance thermique extractible par longueur unitaire de sonde (W/m), source VDI 4640 (2015).....	45
Tableau 16 : Coefficients de chaleur et de froid spécifiques définis par formation géologique pour les systèmes fermés de géothermie peu profonde.....	47
Tableau 17 : Définition de 3 classes de débits et de la note attribuée aux mailles de 500 m en fonction de celui-ci.....	48
Tableau 18 : Définition des classes de profondeur de nappe aquifère et de la note attribuée aux mailles de 500 m en fonction de celle-ci. ....	48
Tableau 19 : Définition de 3 classes de potentiel géothermique .....	49
Tableau 20 : Débits de production possibles estimés en fonction du type de lithologie. ....	57



Tableau 21 : Ensemble des contraintes, hypothèses et facteurs de pondération pour les scénarios favorables et défavorables définis pour le secteur résidentiel pour les PACs aérothermiques (source : Rapport SPW : Détermination du potentiel des pompes à chaleur aérothermiques à l'échelle des communes wallonnes Secteurs résidentiel & tertiaire (2023)).	61
Tableau 22 : Ensemble des contraintes, hypothèses et facteurs de pondération pour les scénarios favorables et défavorables définis pour le secteur tertiaire pour les PACs aérothermiques (source : Rapport SPW : Détermination du potentiel des pompes à chaleur aérothermiques à l'échelle des communes wallonnes Secteurs résidentiel & tertiaire (2023)).	62
Tableau 23 : Ensemble des contraintes, hypothèses et facteurs de pondération pour les scénarios favorables et défavorables définis pour le secteur résidentiel pour les PACs géothermiques (adapté depuis source : Rapport SPW : Détermination du potentiel des pompes à chaleur aérothermiques à l'échelle des communes wallonnes Secteurs résidentiel & tertiaire (2023)).	63
Tableau 24 : Ensemble des contraintes, hypothèses et facteurs de pondération pour les scénarios favorables et défavorables définis pour le secteur tertiaire pour les PACs géothermiques (adapté depuis source: Rapport SPW : Détermination du potentiel des pompes à chaleur aérothermiques à l'échelle des communes wallonnes Secteurs résidentiel & tertiaire (2023)).	64
Tableau 25 : Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds – Secteur Résidentiel.	76
Tableau 26 : Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profond – Secteur Tertiaire.	77
Tableau 27 : Potentiel net des systèmes géothermiques ouverts peu profond – Secteur Tertiaire.	77
Tableau 28 : Classe de potentiel en fonction du croisement des critères retenus pour les systèmes fermés.	132
Tableau 29 : Puissance d'extraction typique en fonction du type de lithologie.	133
Tableau 30 : Débits de production possibles estimés en fonction du type de lithologie.	158
Tableau 31 : Classe de potentiel en fonction de la note obtenue après croisement des critères retenus pour les systèmes ouverts. Un poids de 90% et de 10 % sont respectivement attribués aux critères de débit de production possible et de profondeur de la nappe/aquifère.	160

## LISTE D'ABRÉVIATIONS

<b>BD</b>	Base de données
<b>CSTC</b>	Centre scientifique et technique de la construction
<b>DEA</b>	Dynamic Energy Atlas
<b>SPW-ARNE</b>	Service public de Wallonie- Agriculture Ressources Naturelles Environnement (SPW ARNE)
<b>SPW-TLPE</b>	Service public de Wallonie - Territoire Logement Patrimoine Energie (SPW TLPE)
<b>SGB</b>	Service Géologique de Belgique (Institut des Sciences Naturel)
<b>DESO</b>	Direction des Eaux Souterraines du SPW-ARNE
<b>PAC</b>	Pompe à chaleur
<b>RW</b>	Wallonie
<b>SPW</b>	Service Public de Wallonie
<b>TRT</b>	Test de réponse thermique
<b>HGE – ULiège</b>	Hydrogéologie & Géologie de l'Environnement - ULiège
<b>SERAN</b>	Etablissement des valeurs représentatives par type d'aquifère des paramètres hydrogéologiques intervenant dans l'Évaluation des risques pour les eaux souterraines en application du Décret du 5 décembre 2008 relatif à la Gestion des Sols (Service Public de Wallonie, DGARNE Direction de l'Assainissement des Sols), en partenariat avec la société Geolys, 2015-2016
<b>APSU-GIS</b>	Développement d'un module SIG de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines et de risques et application aux principales masses d'eau souterraine de Wallonie (projets APSUGIS 1 & 2), convention avec le Service public de Wallonie, DGO3 (DGARNE) – DEE – Direction des eaux souterraines, en partenariat avec Gembloux Agro-Bio Tech (2016-2018 et 2019-2022)
<b>ATES</b>	Stockage thermique en aquifère (Aquifer Thermal Energy Storage)
<b>BHE</b>	Sonde géothermique/échangeur thermique vertical (Borehole Heat Exchangers)
<b>BTES</b>	Stockage thermique sur (champs de) sonde (Borehole Thermal Energy Storage)
<b>COP</b>	Coefficient de performance
<b>GREG</b>	Guide de Référence pour l'Étude de Risques

## SYNTHÈSE

L'étude a été menée dans le cadre d'un marché public s'inscrivant dans la politique énergétique de la Région wallonne qui vise à promouvoir et développer des énergies renouvelables et durables. Elle vise à promouvoir le développement de la géothermie peu profonde en Wallonie.

En effet, malgré ces nombreux avantages, la géothermie peu profonde reste une solution trop peu valorisée et visible en Wallonie pour assurer la production de froid et de la chaleur renouvelable. La présente étude avait pour objectifs de déterminer le potentiel de la géothermie peu profonde (<500m), le cartographier et à proposer un plan d'actions concret pour promouvoir le développement durable de cette filière dans la région.

L'évaluation du potentiel géothermique peu profonde en Wallonie a été réalisée à partir des données existantes relatives au sous-sol et à la surface. Les données collectées ont ensuite été stockées dans une base de données relationnelle (BD) développée à cet effet. Des méthodologies permettant de déterminer le potentiel de la géothermie peu profonde à partir des données disponibles en Wallonie pour les systèmes fermés et ouverts ont été proposées.

Le logiciel de cartographie utilisé est le Dynamic Energy Atlas, un outil permettant de cartographier la répartition géographique de la demande d'énergie, de la production d'énergie (renouvelable) et de la production potentielle d'énergie (renouvelable). Un module complémentaire développé pour permettre l'adaptation de l'outil original aux besoins de la Wallonie a permis le traitement spécifique des données disponibles et collectées dans ce projet. Des cartes de demande d'énergie par secteur, de potentiel technique sous-sol pour les systèmes fermés et ouverts, de potentiel net et des cartes croisées ont été générées à partir de données d'entrée dynamiques de divers formats. La taille des mailles pour la cartographie est de taille 100 m x 100 m. Les cartes constituent une aide à la décision pour déterminer la possibilité d'utiliser la géothermie peu profonde par le biais de l'installation de systèmes fermés ou ouverts lors d'un choix énergétique.

La cartographie démontre qu'à l'échelle de la Wallonie, le potentiel géothermique des systèmes fermés est favorable à très favorable sur la majorité du territoire. Quelques zones très limitées ont un potentiel qualifié de moins favorable, en raison de la présence de lithologies ayant une conductivité thermique supposée inférieure à 2,2 W/m/K et une épaisseur non saturée supérieure à 50m. Le potentiel technique sous-sol minimal estimé est de l'ordre de 500 MWh/ha dans ces zones, sur le reste du territoire la valeur estimée du potentiel technique sous-sol est d'environ 1000 MWh/ha. Concernant les systèmes ouverts, bien que le potentiel soit plus hétérogène que celui des systèmes fermés, il est considéré comme favorable sur une large partie du territoire. Les différences de débit de production possible sont la cause principale de cette large hétérogénéité. Les graviers le long du trajet de la Sambre et de la Meuse correspondent à des zones de potentiel très favorable en raison de la faible profondeur de la nappe et de débits d'exploitation élevés. Le potentiel technique sous-sol minimal estimé est proche de 0 MWh/ha dans les zones où les débits de production sont extrêmement faibles et est proche de 250 MWh/ha dans les zones les plus favorables. L'analyse des cartes souligne le fait que la géothermie peu profonde doit être considérée comme une solution énergétique intéressante sur la quasi-totalité de la Wallonie.

Le croisement des données de demande en chaud en surface considérée comme couvrable par la technologie PACs géothermiques avec les données de potentiel technique sous-sol permet de plus d'estimer le potentiel net des systèmes fermés et ouverts pour les secteurs résidentiel et tertiaire. L'analyse a été réalisée sur base d'estimation de la demande couvrable pour divers scénarii définis comme favorable ou défavorable pour 2022 et aux horizons 2030 et 2050. Les potentiels nets estimés pour les secteurs résiden-



tiel et tertiaire sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Secteur	Type de systèmes	2022		2030		2050	
		Favorable	Défavorable	Favorable	Défavorable	Favorable	Défavorable
Résidentiel	Systemes fermés	9300 GWh	4163 GWh	10852 GWh	7315 GWh	10435 GWh	8877 GWh
Tertiaire	Systemes fermés	3842 GWh	1712 GWh	3054 GWh	1513 GWh	2749 GWh	1600 GWh
	Systemes fermés	1746 GWh	1066 GWh	1545 GWh	978 GWh	1452 GWh	1017 GWh

De plus, dans le cadre de ce projet un guide de bonnes pratiques en matière de géothermie peu profonde a été rédigé. Il s'adresse : aux guichets de l'énergie, au grand public, aux développeurs de projets et architectes, aux bureaux d'études et aux facilitateurs Energie industrie et facilitateurs URE indépendants.

Enfin, un plan d'actions concret a été proposé pour promouvoir et s'assurer du développement du secteur de la géothermie peu profonde en Wallonie. Il a été développé sur base d'une analyse SWOT et comprend des actions économiques et financières, des actions législatives et réglementaires et des actions de communication.

Les cartes réalisées seront disponibles en accès libre via le géoportail de la Wallonie.

## INTRODUCTION

L'étude a été menée dans le cadre d'un marché public s'inscrivant dans la politique énergétique de la Région wallonne qui vise à promouvoir et développer des énergies renouvelables et durables (énergie solaire, éolienne, hydroélectricité, géothermie, biomasse...).

En effet, la Wallonie, tout comme l'ensemble des pays et régions du monde, doit orienter sa politique énergétique vers une diminution drastique de l'utilisation des énergies fossiles et du rejet associé de gaz à effet de serre. Ce changement s'inscrit dans le cadre des accords de Paris (COP21) et son implémentation avec les accords de la COP23. En particulier, les régions doivent décarboner les secteurs du chauffage et de la climatisation d'ici 2050. Ce qui implique que les combustibles fossiles seront remplacés par des sources renouvelables à grande échelle. Par ailleurs, le Plan Wallon Energie-Climat constitue la contribution wallonne au PNEC présentant notamment des objectifs à atteindre en matière d'énergie renouvelable et d'efficacité énergétique. La Déclaration de Politique Régionale (DPR) a établi les orientations politiques du nouveau Gouvernement wallon pour la législature 2019-2024. En matière d'énergie et d'électricité, le focus continue d'être porté sur **la promotion et le développement de la production d'énergie verte**.

Dans ce contexte, l'une des solutions envisageables pour sécuriser l'approvisionnement en énergie et réduire l'impact environnemental et climatique du chauffage et du refroidissement est le développement de systèmes énergétiques utilisant la géothermie peu profonde.

Ce type de géothermie présente de nombreux avantages :

- Ressource renouvelable
- Production de chaud, froid et stockage
- Large disponibilité géographique
- Exploitation aisée dans des zones urbanisées et urbanisables
- Maturité de la technologie
- Nombreuses applications existantes

Actuellement, la connaissance des capacités géothermiques très basse énergie en Wallonie est limitée notamment par l'absence de modèle géologique 3D compréhensif du sous-sol Wallon. La complexité structurale et de la diversité en termes de lithologies du sous-sol compliquent la tâche de dimensionnement adéquat de des systèmes géothermiques basse énergie et l'analyse de la rentabilité des investissements dans les projets de grande envergure. De plus, ce qui fait défaut à ce jour est la traduction de toutes les connaissances actuelles en potentiel géothermique. Cette tâche est rendue compliquée par des sources de données multiples de formats, de natures et de qualités très variés.

La demande du SPW-Energie (Direction de la Promotion de l'Energie durable) consiste donc à déterminer le potentiel technique sous-sol et le potentiel net de la géothermie peu profond (<500m), à le cartographier et à proposer un plan d'actions concret pour promouvoir le développement durable de cette filière dans la région. L'objectif visé est de mettre en place une méthodologie permettant de déterminer le potentiel géothermiques technique du sous-sol et le potentiel net de la géothermie peu profonde et de cartographier le potentiel en se basant sur les données existantes.

L'étude inclut les phases suivantes :

- Collecte et analyse des données existantes
- Constitution d'une base de données
- Détermination du potentiel technique sous-sol et du potentiel net estimé à l'échelle de la Wallonie
- Réalisation d'une cartographie du potentiel géothermique peu profond en Wallonie
- Rédaction d'un guide bonnes pratiques d'aide à l'exécution en matière de géothermie peu profonde
- Proposition d'un plan d'actions concret pour promouvoir le développement durable de cette filière en Wallonie

Dans ce rapport, le chapitre 1 fournit un rappel concernant les utilisations de la géothermie peu profonde, les dispositifs de production associés et décrit de façon détaillée les deux types de systèmes géothermiques analysés (fermés et ouverts). Le chapitre 2 présente l'inventaire des installations existantes avant de se concentrer sur l'identification, la collecte et le traitement des données nécessaires à la détermination du potentiel géothermique en Wallonie. Le chapitre 3 présente la base de données géothermie développée dans le cadre de ce projet et dans laquelle les données collectées ont été stockées. Après une revue des meilleures pratiques européennes, les méthodologies proposées pour déterminer le potentiel des deux types de systèmes géothermiques sur base des données disponibles en Wallonie sont exposées dans le chapitre 4 et la cartographie du potentiel est détaillée dans le chapitre 5. Le guide de bonnes pratiques pour l'installation d'un système de géothermie peu profonde constitue le chapitre 6 de ce rapport. Enfin, le chapitre 7 propose un plan d'actions pour promouvoir le développement durable de la filière en Wallonie.



# 1. LA GÉOTHERMIE PEU PROFONDE

---

## 1.1. INTRODUCTION

La géothermie peu profonde (< 500m) correspond typiquement à l'utilisation des ressources géothermiques dont la température est inférieure à 30 °C. Ce type de géothermie est utilisable pour couvrir les besoins de chaleur ou de refroidissement des bâtiments. La géothermie peu profonde nécessite la réalisation de forages verticaux ayant une profondeur typique de 10 m à 300 m pour capter ou dissiper (en fonction des besoins à couvrir) la chaleur dans le sous-sol. Au vu des températures limitées du sous-sol à ces profondeurs en Belgique, l'utilisation d'une pompe à chaleur (PAC) est nécessaire pour exploiter la ressource pour le chauffage, un simple échangeur de chaleur n'est pas suffisant. De plus, sous certaines conditions géologiques, le système peut être réversible. La chaleur stockée dans le sous-sol en été peut être réutilisée pour le chauffage en hiver. Pour les besoins de refroidissement, le froid peut être produit par échange direct avec le sous-sol, on parle alors de géocooling (ou de climatisation passive) ou par l'utilisation d'une pompe à chaleur réversible (climatisation active).

## 1.2. UTILISATIONS DE LA GÉOTHERMIE PEU PROFONDE

La géothermie peu profonde présente l'avantage de pouvoir couvrir en totalité ou partiellement, de façon simultanée ou alternée, des besoins de :

- Chauffage
- Eau chaude sanitaire
- Climatisation
- Rafraîchissement

Elle est adaptée à divers types de bâtiments et de secteurs (neuf, ancien, résidentiel, tertiaire, industriel ou agricole) et s'applique à une gamme de tailles allant de la maison individuelle aux grands immeubles du tertiaire.

Ce type de géothermie est donc apte à répondre aux besoins du particulier, des secteurs collectifs ou des secteurs tertiaires. Elle est utilisée notamment dans les secteurs des hôpitaux, ou des zonings commerciaux qui présentent aussi bien des besoins en chaud qu'en froid et ce tout au long de l'année mais est aussi adaptée au chauffage en hiver et du refroidissement en été d'habitations, de bureaux ou d'immeubles. Elle peut également couvrir les besoins de procédés industriels nécessitant de la chaleur, notamment dans le domaine agro-alimentaire.

Le Tableau 1 présente les différents types d'utilisation de la géothermie peu profonde, les systèmes de production associés aux différents types de besoins à couvrir et les types d'utilisateurs visés.

Tableau 1 Différents types d'utilisation de la géothermie peu profonde

Type d'utilisation	Application(s)	Système de production	Type d'utilisateurs
Production de chaud	Chauffage de Bâtiments	PAC géothermique	Maison individuelle, chauffage collectif, espaces tertiaires ou écoquartiers
	Chauffage de Bâtiments + Production d'eau chaud sanitaire	PAC double service	Maison individuelle, chauffage collectif, espaces tertiaires ou écoquartiers
	Production d'eau chaud sanitaire	Chauffe-eau thermodynamique par géothermie (CET géothermique)	Maison individuelle, chauffage collectif, espaces tertiaires ou écoquartiers
	Chauffage des bâtiments d'élevages et serres	PAC géothermique	Usages agricoles
Production de froid ou de frais	Production de froid actif	PAC réversibles	Maison individuelle, chauffage collectif, espaces tertiaires ou écoquartiers
	Production de frais avec géocooling	Echangeur de chaleur et pompe de circulation	Bâtiments
Production de chaud et de froid	Production de chaud/froid simultanée : chauffage de l'eau des bassins, des spas, vestiaires et bureaux production d'eau chaude sanitaire; froid pour déshumidification de l'air ambiant.	Thermofrigopompe	Piscines publiques
	Production de froid pour leurs plateaux techniques toute l'année, production d'eau chaude sanitaire et chauffage l'hiver, production de froid pour une partie des locaux en été.	Thermofrigopompe	Etablissements de santé (hôpitaux et cliniques, maisons de repos)
	Chauffage et rafraîchissement des locaux + contribution à la fourniture de l'énergie nécessaire aux procédés de fabrication notamment dans les procédés de refroidissement	Thermofrigopompe, PAC réversibles, PAC géothermique, géocooling	Usages industriels
	Chauffage ou climatisation, en alternance, de volumes simples à des températures peu élevées et sans amplitude importante.	PAC géothermique réversibles	Surface de distribution, hall d'expositions
	Production de chaud et de froid pour les caves et les procédés de vinification	PAC géothermique réversibles, Thermofrigopompes	Secteur viticole

### 1.3. LES DISPOSITIFS DE PRODUCTION

Le dispositif de production qui permet de valoriser l'énergie du sous-sol afin de couvrir les besoins de chaud et/ou de froid est l'un des éléments importants constituant une installation de géothermie de surface. Celui-ci intervient après que le dispositif de captage/injection ait ramené les calories du sous-sol vers la surface (ou vice-versa) soit par le biais d'un système ouvert qui vise dans ce cas une nappe aquifère soit par le biais d'un système fermé qui extrait alors l'énergie du milieu souterrain (détaillés dans la section 0). Selon les besoins à couvrir, le dispositif de production varie.

#### 1.3.1. PAC GÉOTHERMIQUE : PRODUCTION DE CHAUD

Dans le cas de production de chaud uniquement, la température naturelle de la ressource thermique est insuffisante pour permettre l'échange direct de chaleur, l'utilisation de pompes à chaleur est nécessaire. La PAC géothermique permet de prélever l'énergie de la ressource basse température (eau glycolée) afin d'augmenter la température d'un fluide secondaire (eau) jusqu'à une température définie par l'application et l'usage visé.

#### 1.3.2. PAC GÉOTHERMIQUE RÉVERSIBLE : PRODUCTION DE CHAUD ET DE FROID ALTERNÉE OU PRODUCTION DE FROID ACTIVE

Dans le cas de production uniquement de froid ou de frais, si le froid est produit de manière « active » alors une PAC réversible sera nécessaire. Ce type de PAC permet aussi de produire de la chaleur en hiver et du froid en été.

Lors de la production de froid, le cycle du fluide frigorigène est inversé. Le condenseur devient ainsi évaporateur et inversement. La chaleur du bâtiment refroidit est alors rejetée dans le milieu extérieur (nappe ou sous-sol par exemple).

L'avantage d'utiliser le système pour produire alternativement du chaud et du froid de façon équilibrée est que la recharge thermique du sous-sol est favorisée en hiver comme en été, ce qui permet d'augmenter la performance des installations. Ce type d'utilisation assure alors un refroidissement durable et, d'autre part, évite l'épuisement du sous-sol par régénération pour autant que les apports et extraction de calories se compensent.

A noter que l'utilisation des PAC réversible est relativement marginales en Wallonie, le géocooling (production de froid passive) est l'option privilégiée pour le refroidissement. Il n'existe pas de subside pour l'installation d'une PAC réversible, l'utilisation de celle-ci entraînant une consommation d'électricité jugée trop importante et liée non pas à une nécessité (contrairement au chauffage) mais à un confort.

#### 1.3.3. THERMOFRIGOPOMPES : PRODUCTION DE CHAUD ET DE FROID SIMULTANÉE

Une PAC est capable de produire simultanément du chaud et du froid pour couvrir de façon simultanée des besoins de chauffage et de climatisation. Dans ce cas, on la désigne sous le terme de thermofrigopompe (TFP). L'énergie utile est alors à la fois celle qui est rejetée sur la source chaude et celle qui est prélevée à la source froide. L'énergie excédentaire ou manquante pour les besoins du bâtiment est récupérée via l'échangeur géothermique. Les TFP permettent ainsi une production simultanée de chaud et de froid, en transférant les calories entre les circuits de chauffage et de refroidissement plutôt qu'avec le sous-sol. Cinq modes de fonctionnement sont alors possibles : froid seulement, chaud seulement, chaud et froid avec rejet froid sur le forage, chaud et froid avec rejet chaud sur le forage, et chaud et froid sans rejet. Un dimensionnement et une conception corrects du système sont nécessaires afin de garantir la pérennité de celui-ci en évitant l'épuisement du sous-sol. En effet, il faudra toujours s'assurer que sur le long terme, l'apport en calories et en frigories dans le sous-sol est équilibré afin de ne pas aboutir à un réchauffement ou un refroidissement de celui-ci.



### 1.3.4. GÉOCOOLING : PRODUCTION DE FROID PASSIVE

La géothermie peu profonde peut permettre de valoriser directement la température du sous-sol pour le rafraîchissement naturel d'un bâtiment en été. Cette technique s'appelle le géocooling.

En association avec une PAC géothermique, après extraction du chaud et rejet du froid dans le sous-sol, le froid s'accumule dans le sous-sol qui peut ensuite être utilisé pendant les mois d'été comme «refroidissement gratuit». Pour cela, seule une pompe de circulation est utilisée pour amener le froid dans le bâtiment. Le principe est de transférer la fraîcheur qui provient du système géothermique placé dans le sous-sol, directement dans le réseau du bâtiment via un échangeur thermique, améliorant ainsi le confort d'été. La solution est particulièrement économique puisque la pompe à chaleur n'est pas sollicitée pendant la saison de refroidissement. A noter que la PAC peut néanmoins continuer à produire l'eau chaude sanitaire en parallèle. En système fermé, l'utilisation du géocooling peut entraîner un réchauffement du sous-sol autour des sondes, mais le rayon d'influence se limite généralement à quelques mètres (typiquement 4 à 5 m). A Evre, une température de 19°C a été reportée en fin d'été au niveau d'une sonde géothermique utilisée pour du géocooling dont la température est mesurée en continu. Celle-ci est ensuite redescendue aux alentours de 12-13 °C dès les mois de Septembre/Octobre.

## 1.4. TYPES DE SYSTÈMES DE GÉOTHERMIE PEU PROFONDE

L'énergie du sous-sol peut être prélevée par le biais de divers dispositifs, au moyen de capteurs horizontaux ou verticaux, de pieux de fondations, ou via le pompage de l'eau d'aquifères peu profonds au moyen de forages. Associées à une pompe à chaleur réversible, ces techniques de captage permettent de chauffer et/ou de refroidir tous types de bâtiments.

Le choix du système géothermique à mettre en place va dépendre principalement du sous-sol (son potentiel énergétique, sa disponibilité et son accessibilité), du contexte et de l'environnement du projet mais aussi du budget disponible, et des contraintes réglementaires. Il n'y a pas de solution meilleure qu'une autre, tout dépend des conditions et contraintes locales. En l'absence d'aquifère (i.e. milieu souterrain saturé et de grande perméabilité), les systèmes fermés de type sondes verticales peuvent être une solution idéale. Les systèmes ouverts, quant à eux sont très performants en termes de puissance et de besoins à couvrir, alors que les systèmes fermés de type pieux énergétiques pourraient être une solution intéressante pour des constructions neuves nécessitant des pieux de fondations. La phase de préparation du projet est cruciale afin de proposer la réponse technique la plus adaptée au contexte géologique et hydrogéologique et le bon dimensionnement des systèmes en fonction des besoins thermiques à satisfaire.

Dans ce rapport, les systèmes de géothermie peu profonde sont présentés selon deux catégories à savoir les systèmes fermés ou les systèmes ouverts (cf. ci-dessus).

### 1.4.1. SYSTÈMES FERMÉS

#### 1.4.1.A. Principe de fonctionnement :

Un système fermé est constitué de plusieurs échangeurs de chaleur longiformes (sondes géothermiques) placés dans des forages à faible profondeur (typiquement < 300 m) qui récupèrent l'énergie thermique du sous-sol. Les sondes géothermiques contiennent un fluide caloporteur circulant en circuit fermé (eau ou eau glycolée). Une pompe fait circuler ce fluide dans les boucles afin d'emmagasiner la chaleur du sous-sol. L'énergie du sous-sol est alors récupérée par la pompe à chaleur.

En régime de chauffe, le fluide caloporteur est circulé dans la sonde à une température inférieure à la température du terrain et se réchauffe au contact du sous-sol. Sa température de sortie du circuit est su-

périeure à celle d'entrée. La différence de température ainsi générée est captée par la pompe à chaleur géothermique dans laquelle le fluide caloporteur se refroidit avant d'être recirculé dans la boucle fermée. En régime de refroidissement, le processus s'inverse par rapport à celui du régime de chauffe. Le froid peut être produit par échange direct avec le sous-sol si le fluide caloporteur est circulé dans le circuit à une température supérieure à la température du terrain permettant la dissipation de la chaleur dans le sous-sol. On parle alors de géocooling (ou de climatisation passive). Une alternative consiste à produire le froid en utilisant une pompe à chaleur réversible.

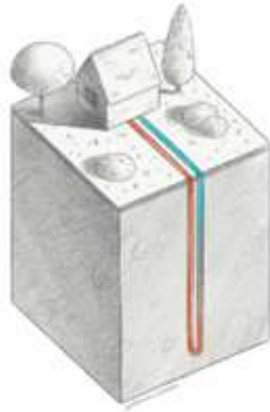


Figure 1: Illustration d'un système fermé (source : [geothermie.brussels](http://geothermie.brussels)- projet BRUGEO))

### 1.4.1.B. Installation

Les différentes étapes lors de la mise en place d'un système fermé sont les suivantes :

- Réalisation d'un forage vertical par un foreur agréé par la Région wallonne
- Mise en place d'une sonde géothermique dans le forage.
- Injection d'un mélange de bentonite pour reboucher le forage
- Répétition du processus dans le cas d'un champ de sondes.

### 1.4.1.C. Paramètres influençant l'efficacité des systèmes fermés :

Plusieurs facteurs liés au sous-sol impactent la performance des systèmes fermés :

1. Les paramètres thermiques du sous-sol (conductivité thermique ( $\lambda$ ), diffusivité thermique et capacité thermique)
2. La température initiale du sol
3. La nature du sous-sol (la lithologie)
4. L'hydrogéologie
5. Le type de sonde géothermique

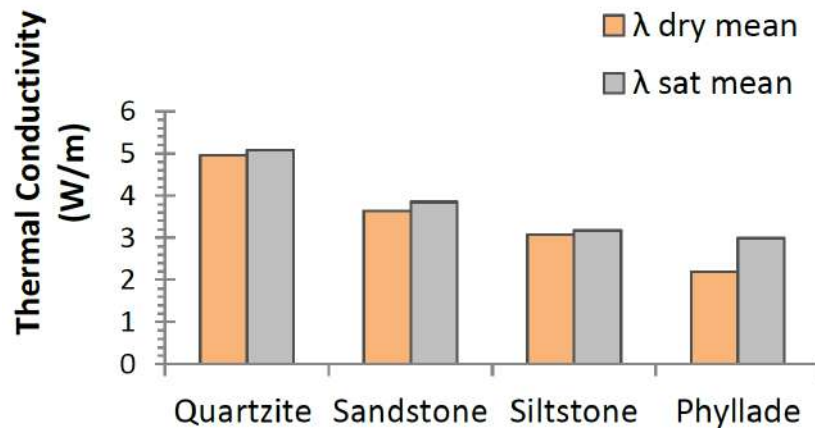
#### 1. Les Paramètres thermiques du sous-sol

##### *Conductivité Thermique*

La conductivité thermique ( $\lambda$ ) [ $W/(m \cdot K)$ ] est un flux thermique qui, en régime stationnaire, passe à travers le matériau, par unité de longueur et par degré de différence de température dans ce matériau. La conductivité thermique du sous-sol dépend de la composition minéralogique de celui-ci (quartz, minéraux argileux, ...), de la porosité, de la teneur en eau et de la température. Ainsi, elle diminuera en présence d'une porosité croissante (volume de pores), mais augmentera si les pores sont saturés d'eau. La conductivité thermique varie entre 0,5  $W/(m \cdot K)$  pour les sous-sols argileux non saturés et plus de 5  $W/(m \cdot K)$  pour les quartzites. La conductivité thermique du sous-sol a un impact important sur le dimensionnement d'un

champ de sondes géothermiques. En effet, une conductivité thermique importante signifie que l'énergie est rapidement transportée vers l'échangeur géothermique.

Ce paramètre crucial présente une grande variabilité au sein d'une même formation géologique qui regroupe souvent plusieurs lithologies. La Figure 2 illustre la variabilité de ce paramètre dans les lithologies principales de la Formation de Tubize du Massif de Brabant.



**Figure 2: Conductivités thermiques moyennes (en conditions sèches et saturées en eau) dans les lithologies principales du Massif de Brabant.**

Vu qu'elle dépend de la nature de sous-sol (sable, argile, ...), la conductivité thermique moyenne est influencée par la succession et l'épaisseur des différentes lithologies et de leur niveau de saturation.

### TRT

Pour les systèmes complexes et plus importants, un test de réponse thermique (TRT) doit être réalisé in situ. De la chaleur est diffusée dans le sous-sol par le biais d'un échangeur géothermique. La mesure de la température d'entrée et de sortie du fluide circulant permet alors de déterminer le flux de diffusion de la chaleur. Grâce à ce test, il est possible de déterminer la conductivité thermique résultante (i.e., entre l'échangeur et le sous-sol) sur toute la longueur de l'échangeur. Le résultat peut être influencé par l'écoulement de l'aquifère. Outre la conductivité thermique, on peut également déterminer la résistance thermique des forages ( $R$ ) à l'aide d'un TRT. Le résultat du TRT classique n'est qu'une valeur moyenne de la conductivité thermique sur toute la profondeur de l'échangeur géothermique. Le Distributed TRT (DTRT) et l'Enhanced TRT (ETRT) donnent une idée plus précise de la conductivité thermique et de la résistance du forage en fonction de la profondeur.

### Capacité thermique

La capacité thermique ( $c$ ) [J/K] est la quantité de chaleur nécessaire pour augmenter la température du sous-sol d'un degré. On parle souvent de la capacité thermique massique ou spécifique ( $C_p$ ) [J/(kg·K)] exprimant la quantité de chaleur nécessaire pour augmenter d'un degré (avec une pression constante) la température d'un milieu présentant une masse unitaire. La capacité thermique volumique ( $\rho C_p$ ) [J/(m<sup>3</sup>·K)] est également utilisée à de nombreuses reprises (volume constant). Il s'agit de la quantité de chaleur [J] devant être ajoutée à un milieu présentant un volume unitaire [m<sup>3</sup>] pour élever sa température d'un degré [K].

La capacité thermique apparaît dans certaines formules pour le calcul de la résistance du forage du TRT. Les valeurs types de la capacité thermique volumique du sous-sol (argile à sable) varient entre 2 et 3,4 MJ/(m<sup>3</sup>·K). L'erreur introduite dans le calcul de la résistance du forage à la suite de la prise en considération de la valeur de la capacité thermique volumique est toutefois limitée par rapport aux erreurs induites par d'autres paramètres, tels que la conductivité thermique. Pour cette raison, une valeur extraite de la littérature est généralement utilisée au lieu de déterminer la capacité thermique en laboratoire.

*Diffusivité thermique*

La diffusivité thermique ( $\alpha$ ) [ $m^2/s$ ] est calculée comme suit :  $\alpha = \lambda / \rho C_p$  [ $m^2/s$ ]

où :

- $\lambda$  = la conductivité thermique [ $W/(m \cdot K)$ ]
- $\rho C_p$  = la capacité thermique volumique [ $J/(m^3 \cdot K)$ ].

Le résultat constitue en quelque sorte une mesure de l’inertie thermique d’un matériau et un paramètre essentiel pour la caractérisation du transport thermique transitoire. Une faible conductivité thermique diminue la diffusivité thermique et, par conséquent, la vitesse à laquelle l’objet se réchauffe ou se refroidit. La diffusivité thermique diminue si une quantité plus importante d’énergie (chaleur) doit être ajoutée au corps pour modifier sa température (et donc pour une valeur plus élevée de la capacité thermique volumique). Vu que la présence d’eau accroît la conductibilité thermique, la diffusivité thermique va, elle aussi, augmenter. Ce paramètre est particulièrement important dans le cas de stockage de chaleur dans le sous-sol (BTES).

*La puissance d’extraction*

La quantité d’énergie pouvant être extraite du sol par unité de temps (c.-à-d. la  $P_{\text{extraction}}$ ) et la vitesse à laquelle la température du sous-sol se rétablit dépendent de même des facteurs suivants:

- La conductivité, capacité et diffusivité thermique du sous-sol
- L’hydrogéologie
- La température du sol initiale

**Tableau 2: Puissances d’extraction typiques en fonction du type de lithologie**

Type de lithologie	Puissance d’extraction (W/m)
Sable sec	< 25
Sable saturé	60
Argile sec	25
Argile humide	35
Calcaires	55
Grès	60
Schistes	50
Quartzites	70

Cette puissance exprimée en W/m (i.e., watts par mètre de sonde) est de ce fait variable en fonction du type de sous-sol. Elle correspond à la puissance extractible par mètre linéaire de sonde géothermique et est calculée pour une durée annuelle de fonctionnement de la pompe à chaleur. Pour le chauffage, on estime des durées de 1800 h à 2400 h de fonctionnement annuel pour la PAC avec une moyenne de 2000h. Le géocooling peut être associé comme option passive de refroidissement, n’entraînant dans ce cas pas d’utilisation directe de la PAC mais simplement la circulation d’un flux de froid. Annuellement, le géocooling peut être utilisé sur des durées de 3000 h ou 4000 h. Le Tableau 2 illustre les variations de puissances d’extraction typiques en fonction du type de lithologie. A noter qu’en Flandres on utilise typiquement la valeur de 40 W/m comme estimation de la puissance d’extraction.

### **2. La température initiale du sous-sol**

La température souterraine (non perturbée) est la température moyenne du sous-sol dans lequel l'échangeur géothermique est installé. Elle se situe en moyenne autour de 11-12 °C à une profondeur de 50 à 100m mais sous les villes peut atteindre 14°C. Jusqu'à une profondeur de 10 m, la température ne dépend pas uniquement de la localisation et du type de sous-sol, mais également des saisons. Le fait que la température souterraine varie à proximité de la surface a peu d'impact sur la conception du champ de sondes géothermiques, car le pourcentage de la longueur qu'il représente est limité. A des profondeurs plus importantes, la température augmente de 2 à 3 °C tous les 100 mètres (gradient géothermique). La température annuelle moyenne constitue, en principe, un bon indice de la température souterraine. En zone urbaine, celle-ci peut toutefois être sensiblement supérieure (2,5 à 3,5 °C) à celle des zones rurales. Les villes sont notamment caractérisées par un profil de température inverse. Cela signifie que la température diminue au fur et à mesure que la profondeur augmente et qu'elle remonte ensuite à partir d'une profondeur plus importante. La température souterraine moyenne est déterminée au début du TRT, en laissant circuler le fluide caloporteur durant un certain temps et en mesurant ensuite sa température.

### **3. La nature du sous-sol (la lithologie)**

Selon la lithologie rencontrée, la composition minéralogique, la porosité, la saturation, ainsi que le degré de compaction, d'altération et de fracturation va varier et influencer le transfert de chaleur entre la sonde et la roche ou le sédiment. Les roches les plus conductrices thermiquement sont celles qui présentent une phase minéralogique siliceuse dominante (quartzites et grès), à l'inverse les schistes, craies et marnes par exemple, le sont beaucoup moins. Du fait de leur minéralogie et leur porosité moindre, la plupart des sédiments (argiles, sables) possèdent une conductivité thermique inférieure à 2 W/m.K. La compaction et la saturation ont une influence très importante sur la conductivité thermique des sédiments, et moins importante sur les roches consolidées.

Au sein d'une même lithologie, la variabilité des propriétés thermiques reste très importante et difficile à caractériser de façon précise. Les moyennes de conductivité thermiques par lithologie renseignées dans la littérature ou dans cette étude sont toujours à prendre avec beaucoup de précaution et permettent seulement de dessiner les grandes tendances.

### **4. Influence de l'hydrogéologie**

Pour le dimensionnement d'un système d'échangeur géothermique, la circulation de l'eau dans le sous-sol à un endroit donné joue un rôle non négligeable. Un écoulement souterrain important peut en effet déplacer l'énergie thermique stockée localement dans le sous-sol, afin qu'elle ne puisse qu'être partiellement extraite. Un tel écoulement peut toutefois avoir un impact positif sur la régénération naturelle d'un système géothermique présentant un déséquilibre thermique. La température initiale du sous-sol se rétablira en effet plus rapidement. Si l'on suspecte des écoulements d'eau importants, il convient de mettre en œuvre des piézomètres dans les aquifères concernés pour surveiller les écoulements souterrains. Il est conseillé de réaliser une étude détaillée de l'effet de l'écoulement d'eau sur la température si un écoulement réel supérieur à 5 m/an est attendu. Cette étude peut être exécutée à l'aide de certains logiciels spécialisés (Modflow, par ex.).

### **5. Les sondes géothermiques**

L'efficacité de la géothermie fermée est aussi influencée par la sonde géothermique et en particulier :

- Le diamètre de forage qui doit être le plus petit possible ;
- La résistivité thermique ( $R_b$ ) de la sonde qui doit être la plus faible possible ;
- Le coefficient de dilatation de la sonde qui doit être le plus faible possible.

Il existe différents types de sondes : tube en U, double U ou spirale en polyéthylène ou sondes coaxiales.

Les caractéristiques des différentes sondes sont résumées dans le Tableau 3. La solution la plus courante est celle d'une boucle de tubes en double U introduite dans un forage d'environ 150 mm de diamètre et scellée par un coulis de scellement présentant de bonnes propriétés thermiques pour minimiser la résistance thermique de la sonde et ainsi maximiser les échanges thermiques entre le fluide caloporteur et le sous-sol.

**Tableau 3: Différents types de sondes pour la géothermie des systèmes fermés et leurs caractéristiques. (\*) Le rendement des sondes double U est considéré comme référence, ainsi une sonde coaxiale PE aura un rendement 5% supérieur à celui d'une sonde double U.**

Type	Diamètre du puits (mm)	Rb K/(W/m)	Expansion (mm/m/°)	Rendement*
Double U (PE)	125 – 160	0,08 – 0,12	0,020	/
Double U (PE-Xa)	125 - 160	0,08 – 0,12	0,015	/
Coax PE	100	0,06 – 0,12	0,020	+ 5%
Coax Inox	63 - 90	0,03 – 0,06	0,0015	+ 5 à 30 %

Enfin, l'efficacité de la géothermie fermée est influencée par le fluide caloporteur (Tableau 4). L'utilisation de l'eau par rapport à celle du glycol 33% présente un avantage certain en termes de pollution et de coût.

**Tableau 4: Influence du fluide caloporteur sur divers aspects de la géothermie des systèmes fermés. Comparaison entre le glycol 33% et de l'eau.**

	Glycol 33%	Eau
Pertes charge	+ 20%	0
Point de congélation	- 14 °C	0°C
Conductivité (W/m/K)	0,483	0,58
Pollution	-/+	+++
Coût placé	3 €/l	0 €/l

#### 1.4.1.D. Conception et règles de dimensionnement d'un système fermé

##### Profondeur des forages

Lors de la conception d'un système fermé de géothermie peu profonde il est nécessaire d'évaluer la profondeur de forage nécessaire à l'installation des sondes géothermiques. Cette profondeur dépend de la 'puissance froid' de la pompe à chaleur ( $P_{froid}$ ) qui correspond à la puissance qui va être fournie par la ou les sondes géothermiques.

L'évaluation de la profondeur de forage se base sur :

- La 'puissance chaud' de la PAC ( $P_{chaud}$ ) qui correspond à la puissance thermique restituée par la pompe à chaleur. Elle est indiquée sur les documentations commerciales des fabricants.
- La puissance électrique du compresseur ( $P_{elec}$ ) qui correspond à la puissance absorbée de la PAC.
- Le COP est le coefficient de performance de la PAC : Le coefficient de performance (COP) indique quelle quantité d'énergie sera produite par une pompe à chaleur pour une unité d'électricité consommée. C'est donc le rapport de la puissance calorifique à la puissance absorbée effective de l'appareil, exprimé en Watt/Watt. Une pompe à chaleur avec un COP de 5 distribue 5 kWh de chaleur dans le bâtiment en n'utilisant que 1 kWh d'électricité.
- La puissance que l'on peut extraire selon la qualité de l'interaction sous-sol-sonde ( $P_{extraction}$ ).



$$P_{\text{élec}} = P_{\text{chaud}} / \text{COP}$$

$$P_{\text{froid}} = P_{\text{chaud}} - P_{\text{élec}} = P_{\text{chaud}} [1 - (1 / \text{COP})]$$

$$\text{Profondeur de forage (m)} = P_{\text{froid}} [\text{W}] / P_{\text{extraction}} [\text{W/m}]$$

### Exemple de calcul

Si la pompe à chaleur dont a besoin une habitation restitue 10 kW, et qu'elle a un COP de 5 :

$$P_{\text{élec}} = 10 / 5 = 2 \text{ kW}$$

$$P_{\text{froid}} = 10 - 2 = 8 \text{ kW}$$

Ce qui signifie qu'il faut récupérer 8 kW thermique à partir de la sonde géothermique.

Si le forage est réalisé dans un sable saturé pour lequel la puissance d'extraction est estimée à 60 W/m (Tableau 2) alors la profondeur de forage sera :

$$\text{Profondeur du forage (m)} = 8000 \text{ W} / 60 = 133 \text{ m}$$

Alors que si le forage est réalisé dans des argiles secs, en se basant sur la valeur de  $P_{\text{extraction}}$  fournie à titre indicatif dans le Tableau 14 alors la profondeur sera :

$$\text{Profondeur du forage (m)} = 8000 \text{ W} / 25 = 320 \text{ m}$$

La longueur du forage nécessaire à l'installation de sondes géothermiques pour chauffer cette habitation avec cette pompe à chaleur sera donc de 133 mètres dans le cas d'un terrain constitué de sable saturé alors que la profondeur nécessaire serait de 320 mètres dans un terrain argileux sec. A noter qu'il est aussi possible de réaliser 2 forages au lieu d'un forage unique, dans le deuxième cas de figure, la longueur des forages serait alors de l'ordre de 160 mètres.

### **Espacement des sondes**

L'espacement entre sondes est un paramètre important pour éviter les interférences thermiques. En Wallonie, la distance moyenne est de 10 m entre deux forages, en Flandres celle-ci varie typiquement de 6 à 10 m. La différence entre les régions est principalement due à la géologie rencontrée et à l'espace disponible pour l'installation des sondes. Des calculs précis, se basant sur le transport de chaleur en milieu souterrain partiellement ou totalement saturé, peuvent être réalisés pour trouver exactement la distance optimale (minimale) entre sondes.

## **1.4.2. SYSTÈMES OUVERTS**

### **1.4.2.A. Principe de fonctionnement**

Dans le cas d'un système ouvert, l'eau souterraine pompée d'une nappe aquifère passe par une pompe à chaleur, et est réinjectée généralement dans la nappe à partir de laquelle elle a été prélevée.

En régime de chauffe, l'eau souterraine pompée est refroidie par la pompe à chaleur et est réinjectée à une température inférieure à la température initiale de l'aquifère. La chaleur ainsi captée par la pompe à chaleur est utilisée pour le système de chauffage. En régime de refroidissement, le système est inversé. L'eau souterraine captée est réchauffée par la pompe à chaleur ou circulée en 'geocooling' et est réinjectée à une température supérieure à la température initiale de l'aquifère. Un déséquilibre thermique peut apparaître dans l'aquifère lorsque l'apport de frigories et de calories n'est pas équivalent où que la recharge ther-

mique n'a pas le temps de s'effectuer entre les périodes d'utilisation (i.e., écoulement lent dans l'aquifère). Dans ce cas, la température moyenne dans celui-ci est modifiée. Dans la mesure du possible, il faut donc veiller à avoir un équilibre entre la demande de chaleur et de froid et permettre une recharge thermique suffisante de l'aquifère. Grâce à une utilisation saisonnière du système, il est notamment possible de prélever, en été, de la chaleur du bâtiment pour la rejeter dans l'aquifère, ce qui présente l'avantage de «recharger» thermiquement le sous-sol et ainsi d'augmenter la performance des installations pour la saison suivante. En hiver le cycle est inversé, le puits qui servait de puits d'injection pendant l'été est alors utilisé comme puits de production pour fournir de la chaleur au bâtiment. De manière générale, comparés aux systèmes fermés, les systèmes ouverts sont plus adaptés pour des projets requérant des puissances importantes (e.g. : immeuble de bureau, hôpitaux, habitats groupés, etc).

### 1.4.2.B. Installation

Un système géothermique ouvert valorise l'énergie de l'eau souterraine et nécessite généralement minimum deux forages (doublet). Un premier forage ("puits de production") est utilisé pour le pompage de l'eau souterraine qui après avoir été acheminée à un échangeur thermique est généralement réinjectée dans un second forage ("puits d'injection") dans son milieu d'origine.

La mise en place d'un système ouvert implique :

- la réalisation et l'équipement de forages pour le pompage et la réinjection;
- la réalisation de tests de pompage.

La puissance extractible pour les systèmes ouverts dépend du débit pompé qui lui dépend de la conductivité hydraulique et de l'épaisseur saturée de l'aquifère effectivement crépinée dans le puits de production. Le développement d'un tel système requiert donc une étude et un dimensionnement adapté. Des tests de pompage (éventuellement complétés d'essais de traçages thermiques) sur le terrain sont indispensables afin de déterminer la conductivité hydraulique de l'aquifère étudié, de quantifier les volumes d'eau exploitables, d'étudier les impacts de la mise en place d'un tel système sur l'aquifère et de vérifier la viabilité à long terme d'un tel système.

La puissance de l'installation (P) correspond à :

*Equation 1*

$$P = \frac{Q\Delta T\rho_w c_w}{\left(1 - \frac{1}{COP}\right)} = \frac{P_{gw}}{\left(1 - \frac{1}{COP}\right)}$$

Avec :

Q : le débit

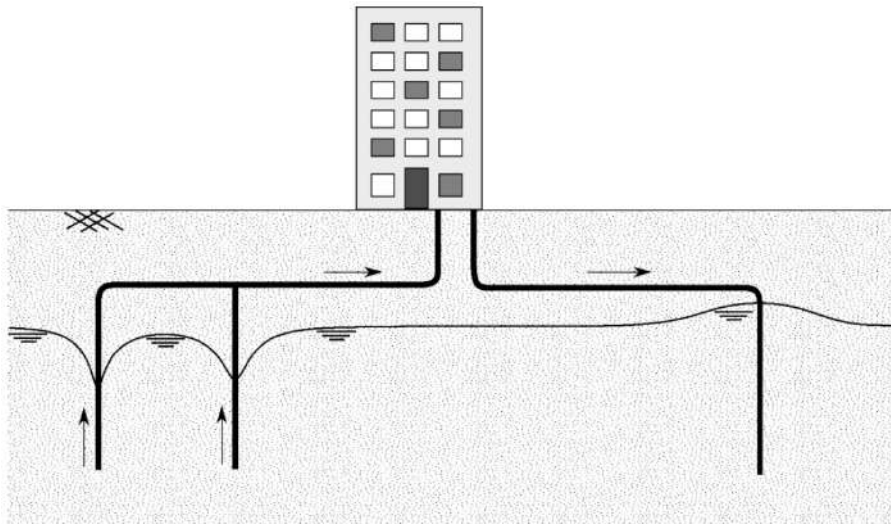
$\Delta T$  : la différence de température

$\rho_w$  : la densité de l'eau

$c_w$  : la capacité calorifique de l'eau

COP : le coefficient de performance

$P_{gw}$  : la puissance qui va être fournie par le système géothermique.



*Figure 3: Illustration du principe de fonctionnement des systèmes ouverts. Source : Dassargues 2018 & 2020, chapitre 11. Dans le cas présenté, l'eau est prélevée dans la nappe à partir de 2 puits de production et est réinjectée dans un troisième puits. Le nombre de puits, ainsi que le design global des installations dépendent notamment de la demande et des propriétés du sous-sol.*

#### 1.4.2.C. Paramètres influençant l'efficacité des systèmes ouverts

Dans le cas des systèmes ouverts, le paramètre déterminant est la conductivité hydraulique ( $K$ ). L'efficacité du système sera en effet impactée directement par ce facteur puisque :

- $K$  faible impliquera un débit  $Q$  insuffisant
- $K$  élevée permettra d'obtenir un débit  $Q$  suffisant

De plus, si le système est utilisé pour le stockage (saisonnier), les facteurs déterminants seront la vitesse d'advection notée  $v_a$  et la balance thermique. Ainsi les limites des systèmes en fonction de ces deux paramètres seront les suivantes :

- Si  $v_a$  est grande, alors cette situation favorise le rendement instantané mais pas le stockage saisonnier
- Si  $v_a$  est petite, ceci favorise le stockage local mais diminue le rendement instantané
- Si les besoins ne sont pas équilibrés thermiquement, le stockage saisonnier est difficile

La vitesse d'advection dépend du rapport  $\frac{K}{n_e}$  et du gradient hydraulique  $\nabla h$  :

Equation 2

$$v_a = \frac{K}{n_e} \nabla h$$

Avec :

- $v_a$  : la vitesse d'advection
- $K$  : la conductivité hydraulique
- $\nabla h$  : le gradient hydraulique
- $n_e$  : la porosité effective d'eau mobile

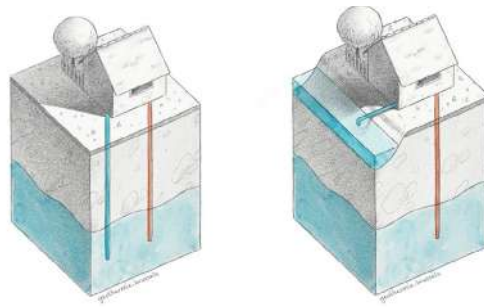


Figure 4: Illustration du principe de fonctionnement des systèmes ouverts (source : geothermie.brussels-projet BRUGEO))

Il est alors légitime de se poser la question suivante :

*Comment déterminer et cartographier un 'potentiel' pour la géothermie peu profonde ouverte ?*

*Quels facteurs souhaite-t-on privilégier ou mettre en avant ?*

- Pour un rendement optimal immédiat sans prendre en compte la notion de stockage saisonnier? Dans ce cas de figure, il faudra s'intéresser à l'échelle de transmissivité ( $T$ ) avec  $T = Ke$ , où « e » correspondant à l'épaisseur saturée de la nappe aquifère.
- Pour un rendement optimal avec stockage ? Il faudra alors trouver le compromis idéal entre la conductivité hydraulique  $K$  et la vitesse d'advection  $v_a$  (elle-même dépendante de  $K$ ).

#### 1.4.2.D. Conception et règles de dimensionnement d'un système ouvert

La conception et le dimensionnement des systèmes ouverts doivent plus tenir compte des conditions hydrogéologiques que pour les systèmes fermés. Ils nécessitent donc une étude approfondie. Un certain nombre de règles de base peuvent cependant être appliquées.

Il faut au minimum :

- Analyser les données hydrogéologiques disponibles pour s'assurer de la présence et de la disponibilité d'un aquifère (sans conflits d'usage) ;
- Forer des puits de reconnaissance et effectuer des essais de pompage afin de s'assurer que ces puits soient suffisamment productifs (débit d'exploitation, etc.) et déterminer les propriétés hydrauliques de l'aquifère (principalement la conductivité hydraulique)
- Effectuer des calculs de prédimensionnement afin de déterminer le nombre de puits nécessaires à l'installation pour couvrir les besoins ;
- Optimiser le dispositif afin d'assurer sa pérennité incluant le choix des caractéristiques finales (nombre de puits, profondeur, débit, configuration, ...).
- Analyser l'impact que le système peut avoir sur son environnement à moyen et long terme.

#### Exemple de calcul

Le nombre de doublets dépend de la 'puissance froid' de la pompe à chaleur ( $P_{gw}$ ) qui correspond à la puissance qui va être fournie par le système géothermique, de la différence de température, du débit total nécessaire et du débit critique de l'aquifère.

L'évaluation du nombre de doublet se base sur :

- La puissance chaud de la PAC ( $P$ ) qui correspond à la puissance thermique restituée par la pompe à chaleur. Elle est indiquée sur les documentations commerciales des fabricants.
- La puissance électrique du compresseur ( $P_{elec}$ ) qui correspond à la puissance consommée par la PAC. Le COP est le coefficient de performance de la PAC.
- Le débit d'exploitation que l'on peut extraire par puits de production de l'aquifère ( $Q_{expl}$ ). A noter, qu'on n'exploite jamais un puits de pompage à son débit critique (déterminé par les essais de

pompage) mais à son débit d'exploitation qui correspond à environ 75% du Q critique.

$$P_{\text{élec}} = P / \text{COP}$$

$$P_{\text{gw}} = P - P_{\text{élec}} = P [1 - (1 / \text{COP})]$$

$$\text{Nombre de doublets} = \frac{Q_{\text{tot}}}{Q_{\text{expl}}}$$

Avec :

$P_{\text{élec}}$  : la puissance électrique du compresseur

$P$  : la 'puissance chaud' de la PAC

COP : le coefficient de performance de la PAC

$P_{\text{gw}}$  : la 'puissance froid' de la pompe à chaleur ( $P_{\text{gw}}$ ) qui correspond à la puissance qui va être fournie par le système géothermique

$Q_{\text{tot}}$  : le débit total nécessaire de l'installation

$Q_{\text{expl}}$  : le débit d'exploitation que l'on peut extraire par puits de production de l'aquifère

Si la puissance de la PAC est de 250 kW et que  $\Delta T$  est de 6°C, alors le débit total nécessaire de l'installation sera de l'ordre de 43 m<sup>3</sup>/h.

$$Q_{\text{tot}} = \frac{P \left(1 - \frac{1}{\text{COP}}\right)}{\Delta T \rho_w c_w}$$

Avec :

$\Delta T$ : la différence de température

$\rho_w c_w$  : la densité de l'eau

$c_w$  : la capacité calorifique de l'eau

Si le débit d'exploitation du puits de pompage est de l'ordre de 12 m<sup>3</sup>/h, alors le nombre de doublet total nécessaire sera égal à :

$$\text{Nombre de doublets} = \frac{Q_{\text{tot}}}{Q_{\text{expl}}} = 4$$

#### 1.4.2.E. Contraintes supplémentaires des systèmes ouverts par rapport aux systèmes fermés

Ce type de captage nécessite la présence d'une nappe aquifère peu profonde ou superficielle permettant de capter un débit suffisant et stable dans le temps pour le bon fonctionnement de la pompe à chaleur. Un entretien régulier est à prévoir pour nettoyer l'échangeur primaire des éventuelles impuretés amenées par l'eau.

Une analyse de la qualité de l'eau doit être réalisée préalablement par un laboratoire afin de déterminer le type d'échangeur à utiliser.

L'Association Française des Professionnels de la Géothermie considère qu'au-delà d'une profondeur de 30 m, le COP de l'installation est fortement impacté du fait de la consommation de la pompe de captage et déconseille de puiser dans des aquifères dont le niveau d'eau est plus profond.

La réinjection éventuelle de l'eau captée nécessite des études complémentaires afin de garantir l'absence d'impact ou des impacts limités de cette réinjection (en termes de température ou de pression). A ce jour, il n'y a pas de norme fixe en Région Wallonne, l'estimation de l'impact est donc réalisée au cas par cas, par les agents de l'Administration compétente (SPW-ARNE).

Lors du pompage, il est conseillé de ne pas mélanger des eaux souterraines dont les conditions redox

(i.e., conditions d'oxydoréduction) sont différentes. En effet, lors de la réinjection des précipitations d'hydroxydes de fer et de manganèse seraient observées et provoqueraient des colmatages des puits de réinjection (Possemiers, 2014).

### 1.4.2.F. Avantages des systèmes ouverts

Les principaux avantages des systèmes géothermiques ouverts sur aquifère sont :

- Leur stabilité en termes de rendement : les pertes thermiques dans le réseau hydraulique sont limitées du fait de l'utilisation de la basse température ;
- Leur aspect écologique permettant de valoriser une énergie renouvelable ;
- Leur possibilité de faire du rafraîchissement gratuit et direct par géocooling, par by-pass de la pompe à chaleur.

Résumé des caractéristiques des différents systèmes de géothermie peu profonde

Tableau 5 résume les caractéristiques des deux grandes catégories de systèmes de géothermie peu profonde abordées dans ce rapport. L'accent est mis sur la couverture des besoins en chaud et en froid et non sur la production d'eau sanitaire, celle-ci est cependant possible sous certaine condition comme mentionné dans le Tableau 1.

**Tableau 5: Synthèse des propriétés des systèmes ouverts et fermés utilisés en géothermie peu profonde pour la production de chaud, de froid ou le stockage d'énergie thermique**

Type de systèmes	Systèmes ouverts		Systèmes fermés			
Dispositifs de captage	Captage sur nappe aquifère		Echangeurs horizontaux	Echangeurs verticaux		
Type d'applications	ATES	Extraction de chaleur	Extraction de chaleur	BTES	Extraction de chaleur	Pieux énergétiques
Transfert de calories via	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau glycolée	Eau /Eau glycolée	Eau /Eau glycolée	Eau /Eau glycolée
Extraction/						
Stockage	Stockage	Extraction	Extraction	Stockage	Extraction	Stockage
Chaud/Froid/						
les deux	C + F	C	C	C + F	C	C + F
Type d'installation pour chauffage	Chauffage BT	Chauffage BT	Chauffage BT	Chauffage BT	Chauffage BT	Chauffage BT
Type de refroidissement	RTE	/	/	RTE	/	RTE
Surface nécessaire	Petite	Petite	Grande	Petite	Petite	Petite
Contrainte géologique	Aquifère	Aquifère	/	/	/	/
Flexibilité	Importante	Importante	Limité	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Performance énergétique	Très bonne	Bonne	Moins bonne	Très bonne	Bonne	Bonne
Résidentiel Particulier	-	+	+	+	+	-
Résidentiel Collectif	+	+	+			
Tertiaire	+	0/+	-/0	+	0/+	+
Industriel	+	+	-	+	-	0



RTE: Refroidissement à température élevée ;

CBT : Chauffage à basse température ;

(-) : non adapté ;

(0) : peut être adapté mais n'est pas fréquent ;

(+) : est parfaitement adapté

Chauffage BT : système d'émission de chaleur basse température tels que radiateurs basse température, planchers chauffants ou ventilo-convecteurs

## 2. COLLECTE DES DONNÉES EXISTANTES

---

L'objectif de la tâche 1 est de définir et de collecter les données nécessaires à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde en Wallonie et de réaliser l'inventaire des installations existantes. Elle se focalise dans un premier temps sur les données sous-sol qui sont directement liées à la ressource géothermique et se penche ensuite sur les données surface de consommation des logements qui permettent de qualifier la demande.

### 2.1. INVENTAIRE DES INSTALLATIONS EXISTANTES

Les données relatives aux installations existantes, qui correspondent à ce jour à des sondes géothermiques (systèmes fermés) à l'exception de l'unique système ouvert installé sur le site de Bavière à Liège, comprennent principalement les données des sondes géothermiques. Idéalement, pour chaque système, la date d'installation, le nombre de sondes installées, leurs coordonnées X et Y et profondeur ainsi que la puissance de la PAC sont collectées.

Le service des eaux souterraines (SPW ARNE – DESO) a fourni l'inventaire (plus ou moins) exhaustif des sondes géothermiques mises en œuvre à ce jour en Wallonie. Les données ont été partagées sous forme de fichier Excel comprenant les champs suivants :

- Code ouvrage
- Identifiant Région Wallonne
- Commune
- Dénomination de l'ouvrage
- Coordonnées X et Y
- Nature de l'ouvrage (SG= sonde géothermique)
- Profondeur
- Code de la nappe
- Description de la nappe (e.g. Cambro-Silurien du massif du Brabant : nappe de fissures profonde, craies de Hesbaye, sables bruxelliens)
- Remarques (contient parfois la puissance de la PAC, le nombre de sondes installées)
- Date de réalisation ou date approximative de réalisation

L'inventaire comprend à ce jour 1444 entrées, avec un degré de détails assez hétérogène notamment en ce qui concerne la description de la nappe. Il contient 3 ouvrages abandonnés ou qui n'ont pas obtenu de permis.

De plus, les informations concernant les déclarations de classe 3 ont été prises en compte mais la date de déclaration doit encore être encodée par l'administration.

### 2.2. DONNÉES SOUS-SOL

#### 2.2.1. DÉFINITION DES DONNÉES COLLECTÉES

Dans un premier temps, les données à collecter pour déterminer le potentiel respectif des deux types de systèmes principalement utilisés en géothermie peu profondes ont été définies.

Les données collectées pour les systèmes fermés comprennent les données de tests de réponse thermiques (TRT) et les logs de forage géothermiques associés à partir desquels la conductivité thermique par lithologie peut être déterminée. De plus, les données géologiques du sous-sol wallon disponibles au

Service Géologique de Belgique (isohypses, carte OneGeology) et les données accessibles via le site du service géologique de Wallonie<sup>1</sup> et la Base de données de forages représentent aussi une source importante d'informations utile au traitement des données et à la qualification du potentiel. Enfin, les installations existantes, essentiellement des systèmes fermés, à l'exception d'un système ouvert à Bavière, ont été inventoriées.

L'efficacité des systèmes géothermiques ouverts (avec pompage et réinjection de l'eau souterraine) est principalement dépendante du débit et par conséquent des propriétés hydrogéologiques des unités hydrogéologiques. La profondeur de la nappe visée aura quant à elle une incidence l'accessibilité de la ressource et sur la rentabilité économique des systèmes. La collecte des données pour ce type de systèmes s'est donc principalement concentrée sur les données piézométriques et les données de conductivités hydrauliques par lithologie/masse d'eau souterraine. Initialement, le consortium envisageait de collecter et d'utiliser principalement les informations récoltées lors de la réalisation de la carte hydrogéologique de la Wallonie qui sont actuellement stockées dans la base de données « Dix-sous » du SPW ARNE ainsi que dans la banque de données hydrogéologiques géo-relationnelle « BDHydro ». Cependant, après discussion avec la Direction des Eaux Souterraines (DESO-SPW), il a été convenu que l'utilisation de la base de données SERAN serait plus adaptée à la présente mission. L'extraction d'informations à partir des BD « Dix-sous » et « BDHydro » a été réalisée ponctuellement par la DESO afin de compléter le jeu de données pour certaines des lithologies.

### 2.2.2. COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNÉES SOUS-SOL

#### 2.2.2.A. Données géologiques

##### **Données disponibles au niveau du Service géologique Wallon et de la Direction des eaux souterraines (SPW ARNE)**

Seules les informations disponibles en ligne à ce jour ont été utilisées dans le cadre de la mission. La carte géologique de Wallonie permet d'apporter de l'information uniquement à faible profondeur mais ne fournit pas d'informations concernant les épaisseurs des différentes lithologies rencontrées en surface. En complément, il existe quelques modèles 3D (à l'échelle locale) le service géologique de Wallonie a jugé que les modèles 3D existants ne sont pas exploitables en l'état, ils ont donc été exclus de la collecte des données.

##### **Données géologiques complémentaires**

La carte 'OneGeology' représente une alternative intéressante par rapport à la carte géologique détaillée de la Wallonie. Elle présente l'avantage d'être simplifiée tout en apportant de l'information à l'échelle globale de la Wallonie sur les principales lithologies rencontrées en Wallonie. Cependant, tout comme la carte géologique détaillée, elle n'apporte pas d'informations en profondeur.

La Base de données de forages permet quant à elle de compléter l'information géologique ponctuelle en profondeur. Lorsque le log de forage géothermique est manquant, la géologie est complétée par celle d'un voire plusieurs forages de la Base de données situés dans le même périmètre.

D'autre part les cartes d'isopaques et d'isohypses ont été utilisées. Des shapefiles d'isohypses ont été fournis par le SPW, alors que des cartes d'isopaques et d'isohypses du Crétacé et du toit du Paléozoïque sont des données du SGB encore non publiées issues du projet Massif du Brabant (SGB, 2006).

Le Modèle Numérique de Terrain 2013-2014 disponible sur le Géoportail de la Wallonie a également été utilisé.

1 <http://geologie.wallonie.be/home.html>

### 2.2.2.B. Données de propriétés thermiques

#### Collecte des données de tests de réponse thermique

Dans le cadre de ce projet, les résultats issus de 2 types de tests in-situ caractérisant les propriétés thermiques du sous-sol ont été collectés, à savoir le test de réponse thermique (TRT) et le test de réponse thermique amélioré (ETRT).

Les TRTs standards permettent de déterminer, au sein d'une sonde géothermique test, la conductivité thermique moyenne du système sonde-sous-sol et la température initiale moyenne du sous-sol le long du forage, ainsi que la résistance thermique de la sonde. Les ETRTs permettent quant à eux de fournir l'évolution de la conductivité thermique tous les 0.5 m le long d'un forage grâce à la mesure du profil de température dans le sous-sol. Ces derniers présentent de ce fait l'avantage de fournir une information plus précise que le TRT et permettent d'observer la variation de conductivité thermique en fonction de la lithologie ou de la teneur en eau.

Tous les foreurs figurant dans la liste des foreurs agréés en Wallonie et présentant une activité dans le domaine de la géothermie peu profonde ont été contactés, cependant une majorité d'entre eux n'avaient pas réalisé de TRT. D'autres, malgré une réponse initiale positive, n'ont finalement pas fourni de données au consortium malgré de nombreuses relances. Finalement, 5 entreprises ont partagé les données de leurs TRTs ainsi que les logs de forage associés quand ces derniers étaient disponibles. La liste des acteurs du secteur ayant fourni des données est présentée dans le Tableau 6.

La majorité des données collectées auprès des acteurs du secteur wallon sont des tests de réponses thermiques standards. Une seule entreprise a pu fournir des données provenant de ETRT.

**Tableau 6: Nom des foreurs ou bureaux d'études ayant fourni des données de TRTs. (\*) GEO-GREEN fait partie du consortium réalisant cette étude.**

Entreprise	Nombre de mesures utilisables
<b>Verbeke</b>	9 TRT
<b>Geolys</b>	19 TRT
<b>Geo-Green</b>	40 TRT
<b>ICM Engineering</b>	6 TRT
<b>CSTC/WTCB</b>	4 ETRT

Parmi l'ensemble des données récoltées, 78 mesures, dont 4 données de ETRT, ont été intégrées au projet. Certaines n'ont pu être utilisées par manque d'information indispensable, tel qu'une localisation géographique précise. La distribution spatiale des points de mesures de TRT récoltées recouvre l'ensemble de la Wallonie (Figure 5), bien que certaines zones présentent une densité de TRTs moins élevée. La profondeur des forages dans lesquels les mesures de TRT ont été effectuées se situe entre 41 et 155 m.

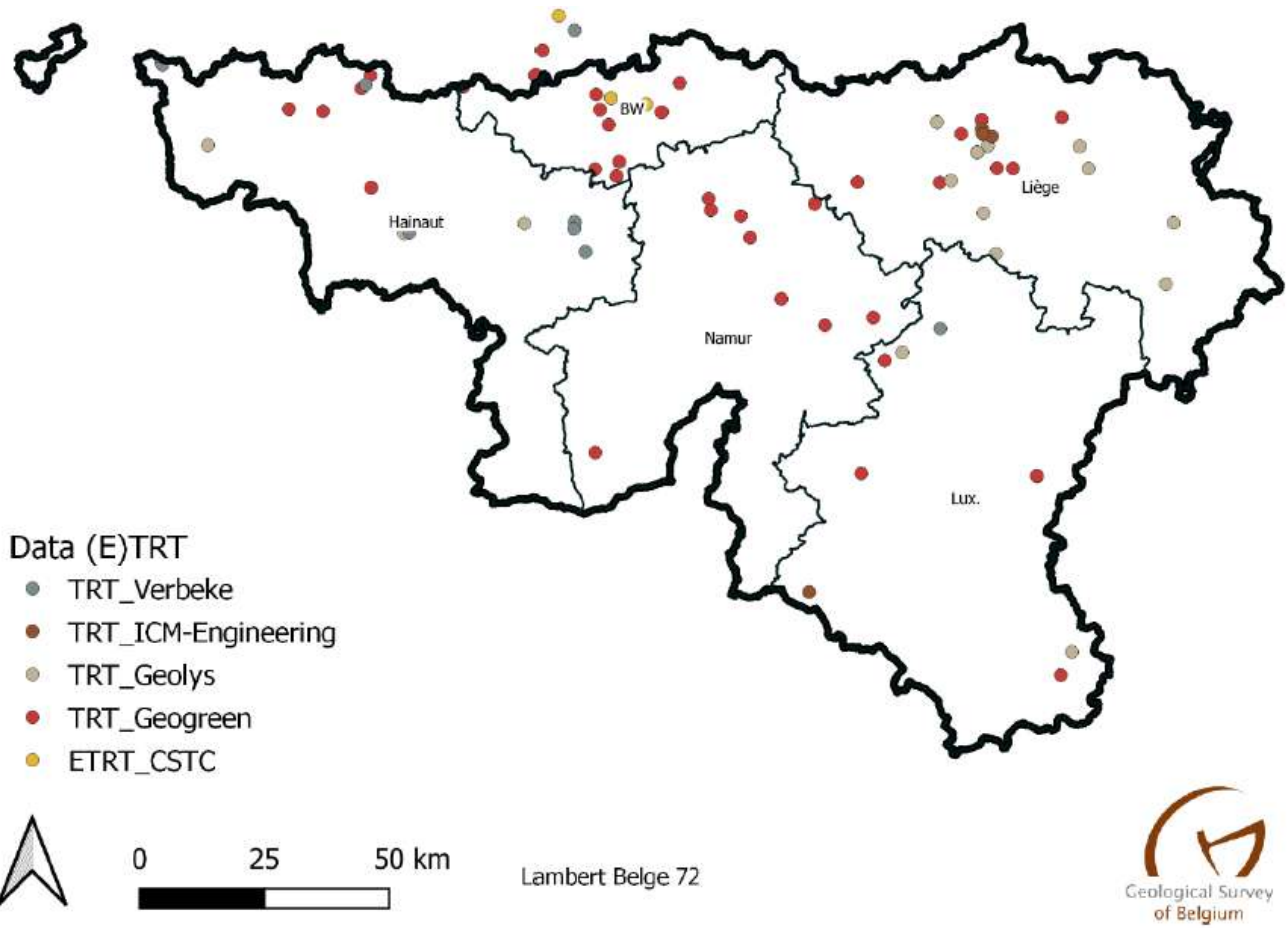


Figure 5 : Localisation des mesures de TRT et ETRT fournies par les différentes entreprises

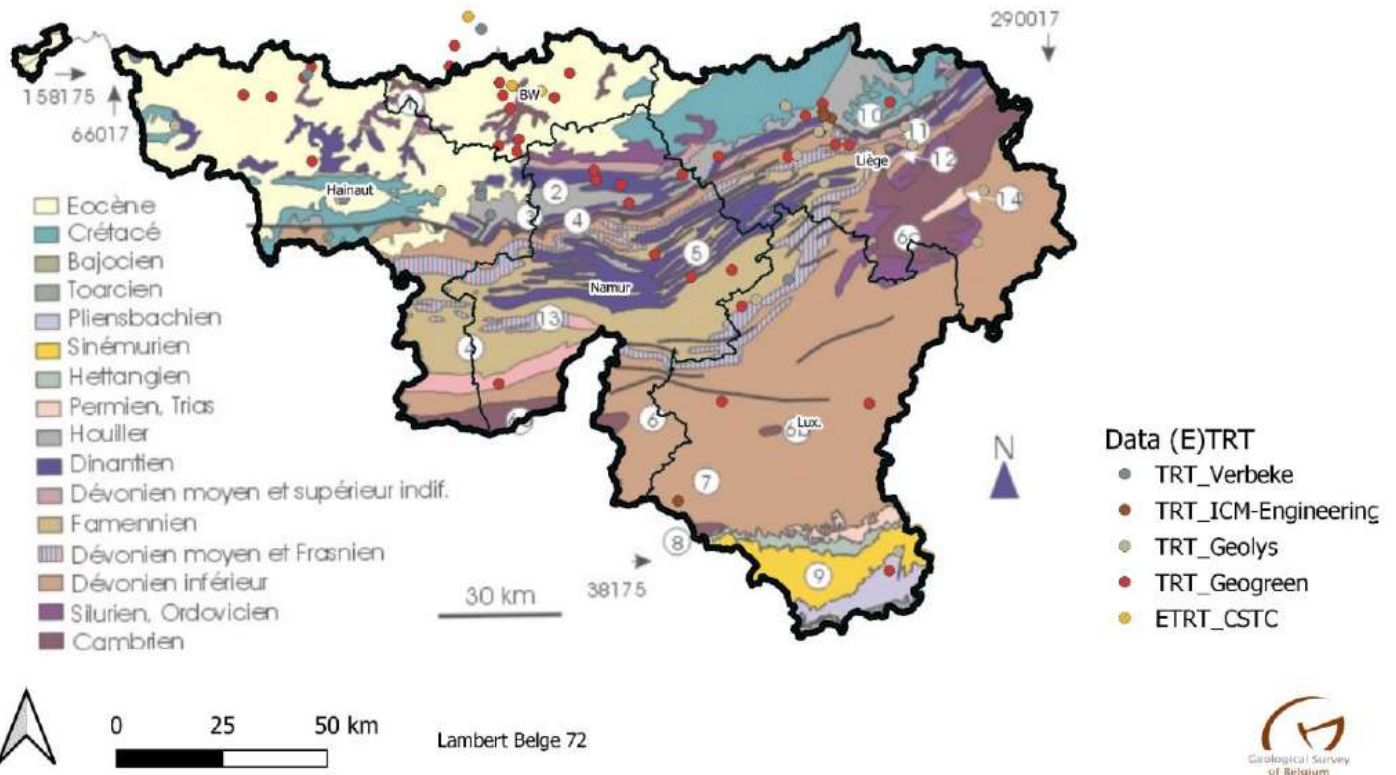


Figure 6 : Localisation des mesures de TRT et ETRT superposé au fond géologique

### Traitement des données de propriétés thermiques

Le traitement des données récoltées a été réalisé par le biais de 5 fichiers Excel, chacun correspondant aux données d'une entreprise. Chaque fichier comprend les champs suivants : le nom attribué au point de mesure, sa référence, la commune, l'adresse, les coordonnées (x, y et z), les dates de début et de fin de prise de mesure, la profondeur du forage, la température moyenne initiale de terrain, la température moyenne de l'air, la valeur de conductivité thermique, le niveau d'eau statique ainsi que la résistance équivalente de la sonde géothermique. Cependant, toutes les informations ne sont pas fournies par toutes les entreprises. Lorsque des valeurs de coordonnées x, y et z des points de mesures de TRT manquaient, celles-ci ont été récupérées sur internet à partir des adresses des chantiers. L'information a été ajoutée dans les fichiers Excel et la cellule contenant cette information est de couleur orange afin de conserver la provenance des informations. L'information stratigraphique a d'abord été complétée à partir des rapports de forage fournis par les entreprises. Ensuite, les cartes géologiques disponibles en lignes via le portail de la Wallonie ainsi que la banque de données des forages sont venues compléter l'information stratigraphique. Afin de connaître la provenance des informations ajoutées, un code couleur a également été utilisé dans les fichiers Excel. Une couleur de remplissage orange de cellule représente une information issue des logs de forage et/ou des cartes géologiques, et une couleur verte, une information issue de la base de données de forage. Ensuite sur les fichiers Excel, l'épaisseur de chaque couche a été représentée sous forme de pourcentage, permettant de visualiser les données sous forme d'histogrammes empilés (Figure 7). Chaque histogramme fait référence à un forage, mentionnant son nom attribué, la valeur de conductivité thermique  $\lambda$  mesurée, la succession lithologique, les pourcentages des différentes lithologies qui le compose ainsi que les stratigraphies associées. Les lithologies présentes sous un taux inférieur à +/- 10 % ne sont pas décrites dans les histogrammes afin de ne pas surcharger les graphes.

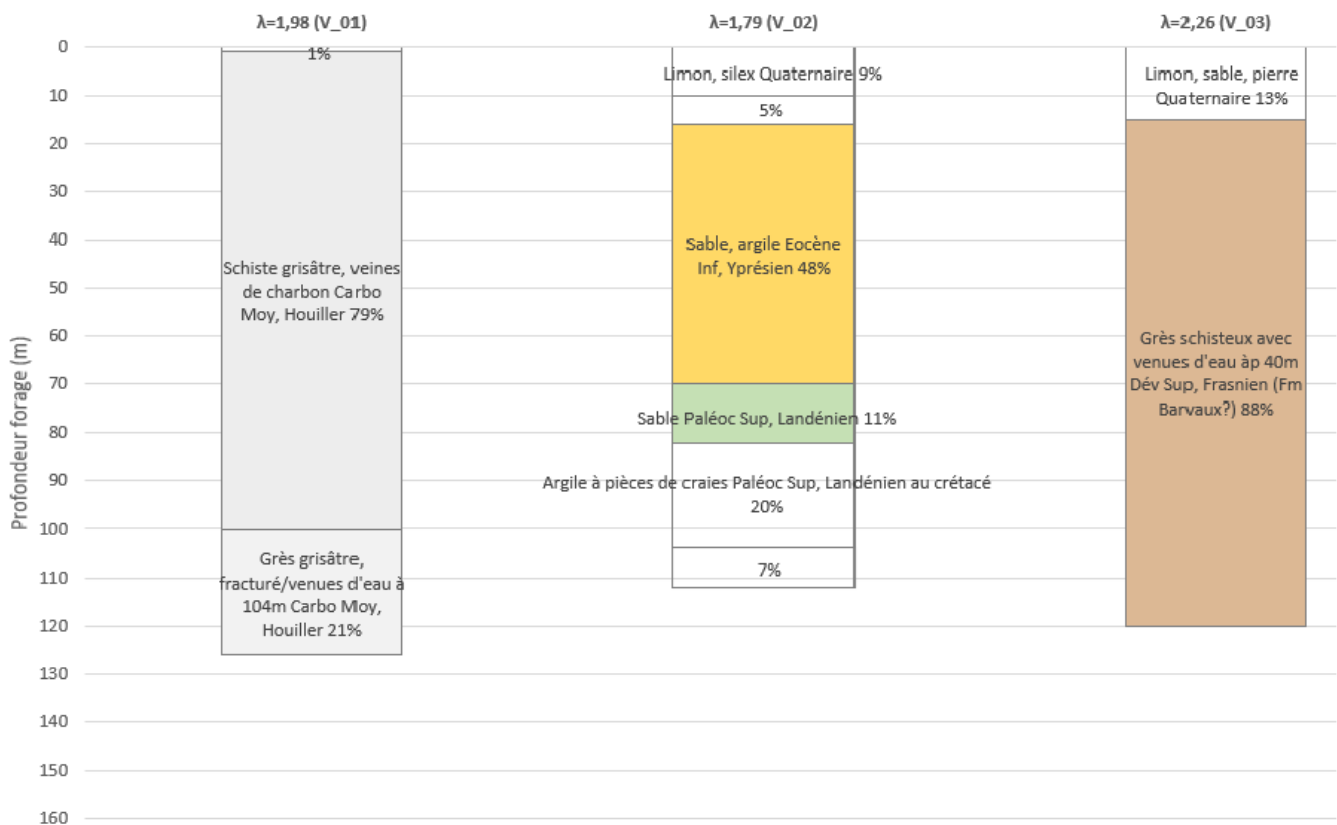



Figure 7 : Histogrammes empilés présentant le nom attribué, la valeur de conductivité thermique  $\lambda$  mesurée, la succession lithologique, les pourcentages des différentes lithologies et stratigraphies associées qui composent les forages.



Des valeurs de conductivités thermiques issus dans divers projets en relation avec la géothermie en Wallonie ont également été récupérées. Elles seront comparées aux valeurs récoltées afin d'évaluer leur pertinence.

**Tableau 7: Valeurs de conductivité thermique de références par projet**

Nom du projet	Nombre et type de données
FEDER-RBC Brugeo 	26 TRT (21 à Bruxelles - 4 en Flandre – 1 en Wallonie) 5 ETRT (3 à Bruxelles – 2 en Wallonie)
BeTemper (projet Belspo)	44 échantillons analysés au TCS pour le Frasnien/Famennien
Forage Grand-Halleux	17 échantillons analysés au TCS pour le Cambrien
Forage Havelange	10-11 échantillons analysés au TCS pour le Famennien

Le projet FEDER-RBC Brugeo, finalisé en 2020, avait pour objectif de mettre en place une méthodologie pour déterminer la conductivité thermique des formations géologiques du sous-sol de la Région de Bruxelles-Capital en vue d'installer des sondes géothermiques en systèmes fermés. Au total, 26 mesures de TRT et 5 ETRT ont permis de construire un tableau de valeurs de conductivité thermique par formation en distinguant les zones (non)-saturées et en faisant l'hypothèse qu'au sein d'une même unité stratigraphique, la teneur en eau au-dessus de la nappe est constante et homogène à l'échelle de la région de Bruxelles-Capitale.

Le projet BeTemper est un projet Belspo qui avait pour objectif la caractérisation du potentiel géothermique de la Belgique jusqu'à 150 m de profondeur. En 2014, des mesures de conductivités thermiques ont été réalisées à l'aide du 'Thermal Conductivity Scanning' (TCS) sur 44 échantillons représentant les principales lithologies du Dévonien supérieur. Ces mesures ont permis de définir des valeurs moyennes de conductivité thermique pour les étages du Famennien et du Frasnien. En 2013, un post doctorant s'est penché sur les 17 échantillons extraits entre 1960 et 1966 du forage de Grand-Halleux. Les analyses du TCS ont permis de déterminer des valeurs de conductivités thermiques pour la Formation de Deville.

Des analyses sont également effectuées sur les échantillons du forage de Havelange de 1984. Les analyses des échantillons au TCS ont permis de déterminer une valeur moyenne de conductivité thermique pour la Formation d'Esneux qui date du Famennien.

Le Tableau 8 rassemble les valeurs de conductivités thermiques issues des différents projets de recherches géothermiques. Une distinction est faite entre les valeurs issues de zones (non)-saturées si l'information est mentionnée.

**Tableau 8: Valeurs de références de conductivité thermique récupérées dans divers projets, N/A signifie non applicable**

Ere	Système	Stratigraphie	$\lambda$ (W/m,K)		
			Non saturé	Saturé	N/A
Cénozoïque	Quaternaire	Quaternaire	1,9 (Brugeo)	2,2 (Brugeo)	
	Paléogène	Eocène Moy, Lédien	1,65 (Brugeo)	2,6 (Brugeo)	
		Eocène Moy, Lutétien (Bruxellien)	1,65 (Brugeo)	2,6 (Brugeo)	
		Eocène Moy, Lutétien (Bruxellien, Fm Bruxelles)	1,65 (Brugeo)	2,6 (Brugeo)	
		Eocène Inf, Yprésien (Fm Tielt)	1,6 (Brugeo)	1,8 (Brugeo)	
		Eocène Inf, Yprésien (Fm Courtrai)	* (Brugeo)	1,7 (Brugeo)	
		Eocène Inf, Yprésien (Fm Courtrai/Mb de St_Maure)	* (Brugeo)	1,45 (Brugeo)	
		Paléoc Sup, Landénien	* (Brugeo)	2,0 (Brugeo)	
Paléoc Sup, Landénien (Fm Hannut)	* (Brugeo)	2,0 (Brugeo)			
Mésozoïque	Crétacé	Crétacé Sup	** (Brugeo)	2,2 (Brugeo)	
Paléozoïque	Dévonien	Dév Sup, Fammenien			2,885 (BeTemper)
		Dév Sup, Fammenien (Fm Esneux)	2,49 (Havelange)		
		Dév Sup, Frasnien			2,59 (BeTemper)
	Cambrien	Cambrien, Dévillien	** (Brugeo)	2,95 (Brugeo)	
	*	Aquifères saturées/captives/↑ % de hauteurs saturées			
	**	Abs d'information. Hypothèse : une teneur en eau homogène et constante			

Les données de conductivité thermique issues des mesures de TRT ainsi que celles issues des divers projets de recherches ont été combinés dans un fichier Excel récapitulatif présent dans l'Annexe B.1. Un extrait de ce tableau est illustré dans le Tableau 9 représenté ci-dessous afin d'expliquer les éléments qui le compose.

**Tableau 9 : Extrait du tableau récapitulatif rassemblant les données de conductivités thermiques issues des mesures de TRT et des divers projets de recherches.**

Ere	Système	Stratigraphie	Tc moy DE REFERENCE (W/m,K)			Tc moy RECOLTEES (W/m,K)	
			Non saturé	Saturé	N/A	N/A	
Paléozoïque	Ordovicien	Ordo Moy (Fm Tribotte)				6,2 (Gg_27)	
	Cambro-Ordovicien					2,95 (Gy_14)	
	Cambrien	Cambrien					2,4 (Gg_16)
		Cambrien (Fm Mousty)					3,25 (Gg_32)
		Cambrien, Dévillien	** (Brugeo)	2,95 (Brugeo)			2,63 (Gg_08) / 4,83 (Gg_23) / 3,89 (CC_02) / 2,91 (CC_04)
		Cambrien, Dévillien (Fm Tubize)					3,68 (CC_04)
		Cambrien, Dévillien Inf (Assise de Blanmont)					8,63 (Gg_09) / 3,16 (Gg_10)

Toutes les stratigraphies apparaissant dans les fichiers Excel des données de TRT ont été listées dans la colonne « Stratigraphie » du fichier Excel récapitulatif. Les couleurs utilisées dans les histogrammes empilés sont équivalentes aux couleurs de remplissage des cellules situées dans les colonnes « Système » et « Stratigraphie ». Cela permet une claire visualisation de l'appartenance stratigraphique. Les valeurs de références de conductivité thermique (Tc) récupérées dans divers projets apparaissent dans les colonnes « Tc moyenne de référence ». Les valeurs de conductivité thermique issues des mesures de TRT sont regroupées dans « Tc moyenne récoltées ». Les noms attribués aux points de mesures font référence aux entreprises auxquelles elles appartiennent : V\_xx pour Verbeke ; Gy\_xx pour Geolys ; Gg\_xx pour Geo-Green ; ICM\_xx pour ICM Engineering et CC\_xx pour CSTC/WTCB. Les valeurs écrites en noir sont des valeurs dont plus de 70% du forage est caractérisé par une certaine stratigraphie, alors que la stratigraphie majoritaire des va-

leurs apparaissant en gris représente moins de 70% du forage. Des moyennes de conductivité thermique ont été calculées afin d'attribuer une valeur par Age ou Système, dépendamment du nombre de valeurs disponibles. 4 valeurs de conductivité thermique (V\_07, Gy\_13, Gg\_06 et Gg\_35) sur le 78 étudiées n'ont pas été retenues pour les calculs car les lithologies qui composent le forage sont très hétérogènes et donc la valeur de conductivité thermique ne peut être associée à l'une en particulier. Les valeurs apparaissant en rouge sont des valeurs étonnantes qui généralement n'ont pas été retenues pour les calculs de moyenne. Un premier calcul a été effectué en considérant uniquement les valeurs de conductivité thermique dont plus de 70% du forage est caractérisé par la stratigraphie correspondante (valeurs écrites en noir). Ensuite, les valeurs grises ont été intégrées dans le calcul. Les résultats obtenus ont été comparés et complétés avec les valeurs de conductivités thermiques issus des projets de recherches et des valeurs issues de la littérature lorsque le nombre de mesures disponibles était trop faible pour effectuer le calcul. L'Annexe B.2 indique les moyennes des valeurs de conductivités thermiques calculées. Ainsi, pour chacun des âges ou regroupements une classe de conductivité est proposée. Deux classes de conductivité thermique ont été définies, séparant les valeurs moyenne de conductivité thermique supérieurs et inférieurs à 2,2 W/m.K. Le choix de ce critère pour délimiter les classes est précisé dans le chapitre détaillant la méthodologie utilisée pour déterminer le potentiel brut des systèmes fermés.

### **2.2.2.C. Données de conductivités hydrauliques et de piézométrie**

Les données « Eau souterraine » collectées sont les conductivités hydrauliques par lithologie/Masse d'eau souterraine (MESO), elles proviennent de la banque de données SERAN complétée par quelques données issues de rapports en lien avec des demandes de permis pour des prises d'eau. En effet, bien que de nombreuses données de conductivité hydraulique soient disponibles dans la BDHydro associée aux cartes hydrogéologiques de Wallonie, celles-ci ne sont pas directement exploitables vu le format d'encodage de ces données.

Concernant la piézométrie, il n'existe pas de cartes piézométriques à l'échelle de la région wallonne, le consortium a donc décidé d'utiliser la carte d'épaisseur de la zone non saturée reconstituée dans le cadre du projet en cours de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines APSU-GIS.

#### **Données de conductivités hydrauliques**

Le projet SERAN consistait à établir des valeurs représentatives par type d'aquifère des paramètres hydrogéologiques intervenant dans l'évaluation des risques pour les eaux souterraines en application du Décret du 5 décembre 2008 relatif à la Gestion des Sols. L'étude a été réalisée par le consortium regroupant HGE – ULiège et Geolys avec un financement SPW-ARNE -DAS.

Le projet incluait les tâches suivantes :

- Etablissement d'une méthodologie permettant une détermination pertinente des valeurs représentatives par type d'aquifère des paramètres hydrogéologiques (notamment la conductivité hydraulique) intervenant dans la partie C du Guide de Référence pour l'Etude de Risques (GRER) ;
- Réalisation d'un inventaire, par type d'aquifère et par masse d'eau souterraine, des sources de données pertinentes (études, rapports, publications, bases de données, etc.) disponibles et valorisables pour l'évaluation des valeurs représentatives par type d'aquifère des paramètres hydrogéologiques intervenant dans le GRER ;
- Développement d'une base de données adaptée pour l'encodage et la consultation de l'inventaire des sources de données et des données hydrogéologiques valorisées ;
- Encodage, dans la base de données développée, des sources de données et des données hydrogéologiques valorisées ;
- Détermination, à partir des sources de données identifiées et selon la méthodologie retenue, des valeurs représentatives par type d'aquifère des paramètres hydrogéologiques intervenant dans le GRER partie C ;

Les données de conductivité hydraulique compilées dans le cadre du projet SERAN ont donc été réutilisées dans le cadre du présent projet. Dans ce projet, peu de données de conductivité hydraulique étaient disponibles pour les formations du socle Cambro-Silurien du Massif du Brabant. Des données complémentaires issues d'une vingtaine de rapports en lien avec des demandes de permis pour des prises d'eau dans ces formations ont été compilées.

Les données hydrogéologiques proviennent en grande partie de la BD SERAN (BD Access + géodatabase personnelle (PGDB) ARCGIS). La structure relationnelle de la BD SERAN est présentée en Figure 8.

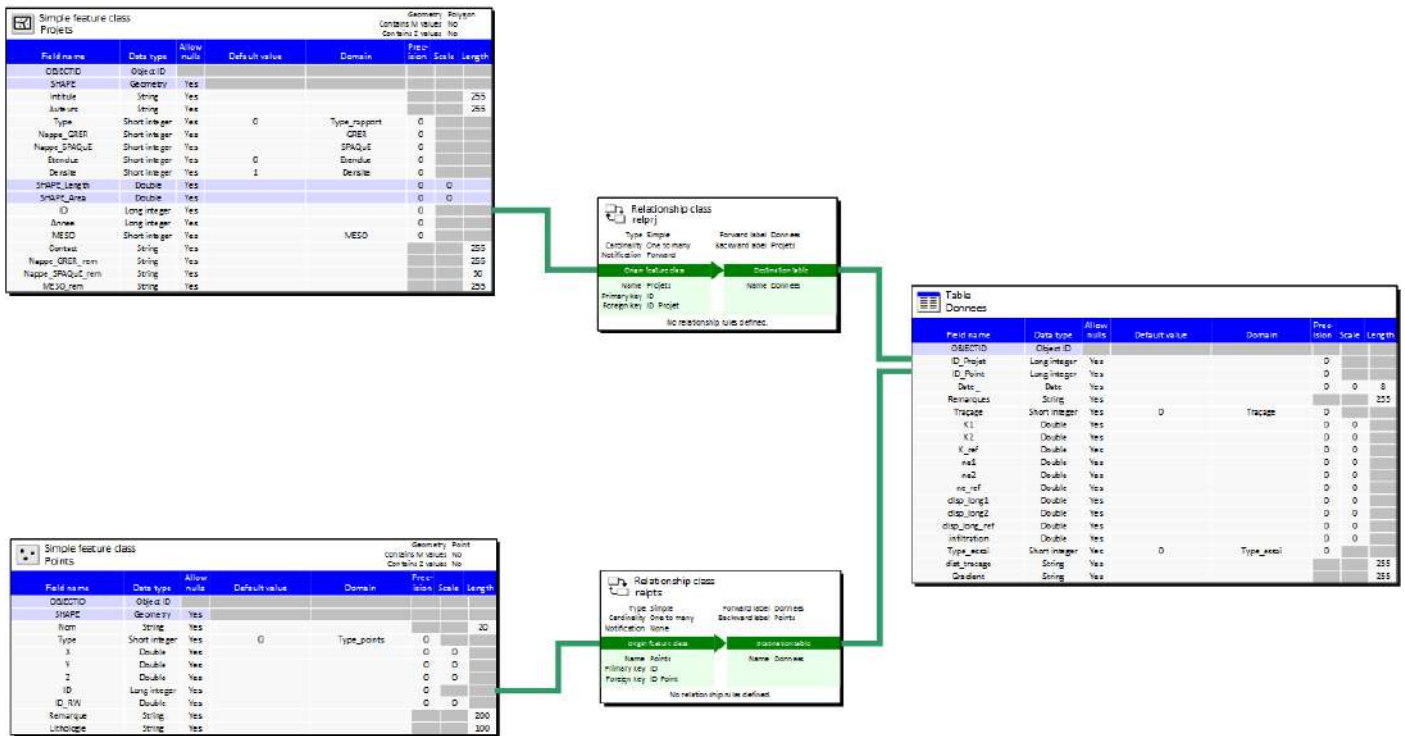


Figure 8: Structure de la BD SERAN



La BD SERAN contient 773 points avec des valeurs de conductivité hydraulique (Figure 9).

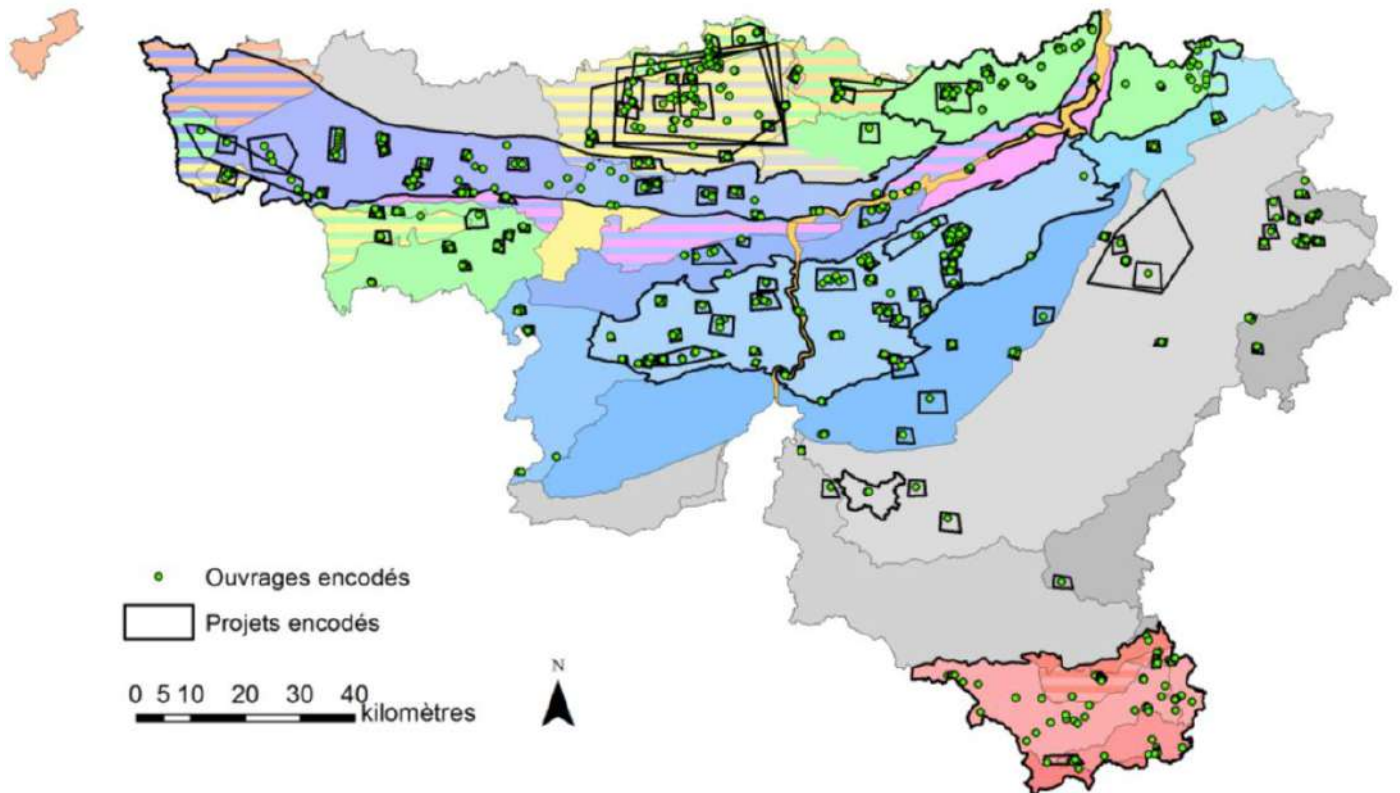


Figure 9: Carte présentant l'ensemble des ouvrages et projets encodés dans la BD SERAN.

### Données de piézométrie

La carte d'épaisseur de la zone non saturée du premier horizon géologique rencontré reconstituée dans le cadre du projet en cours de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines APSU-GIS constitue la source de données principale du projet en ce qui concerne la piézométrie. Il est important de noter que les données actuellement disponibles (mesure de profondeur d'eau, cartes piézométriques) ne permettent pas de définir, ni d'interpoler ou extrapoler l'épaisseur de la zone non saturée en tous points de la Wallonie. Dans le cadre du projet de cartographie de la vulnérabilité de la Wallonie, cette valeur d'épaisseur de la zone non saturée a donc été estimée sur base de différentes données et hypothèses. Suivant le degré de connaissance (ou de fiabilité) de la donnée, les données d'épaisseur de la zone non saturée sont classées en 5 classes (Figure 1) :

- Classe 5 : l'épaisseur de la zone non saturée est calculée sur base des cartes piézométriques régionales tracées sur base des données de piézométrie. Ceci est par exemple le cas pour l'aquifère des craies du bassin du Geer, les calcaires du Tournaisis.
- Classe 4 : l'épaisseur de la zone non saturée est calculée sur base des cartes piézométriques calculées à l'aide de modèles numériques simulant les écoulements d'eau souterraine à l'échelle régionale. Ceci est par exemple le cas pour l'aquifère des craies du bassin de la Haine, les grès et calcaires de la Masse d'Eau Souterraine RWM021.
- Classe 3 : l'épaisseur de la zone non saturée est calculée sur base d'une piézométrie extrapolée sur base des niveaux de sources. Ceci est par exemple le cas pour l'aquifère des sables du paléocène recouvrant les Calcaires de Peruwelz-Ath-Soignies
- Classe 2 : L'épaisseur de la zone non saturée est estimée sur base de la valeur médiane des épaisseurs estimées dans les ouvrages existants.
- Classe 1 : L'épaisseur de la zone non saturée est définie, sur base de jugement d'expert. Ceci est réalisé en l'absence ou quand peu de données est disponible.

Pour chaque masse d'eau, l'information sur le mode d'estimation de la piézométrie est disponible par lithologie.

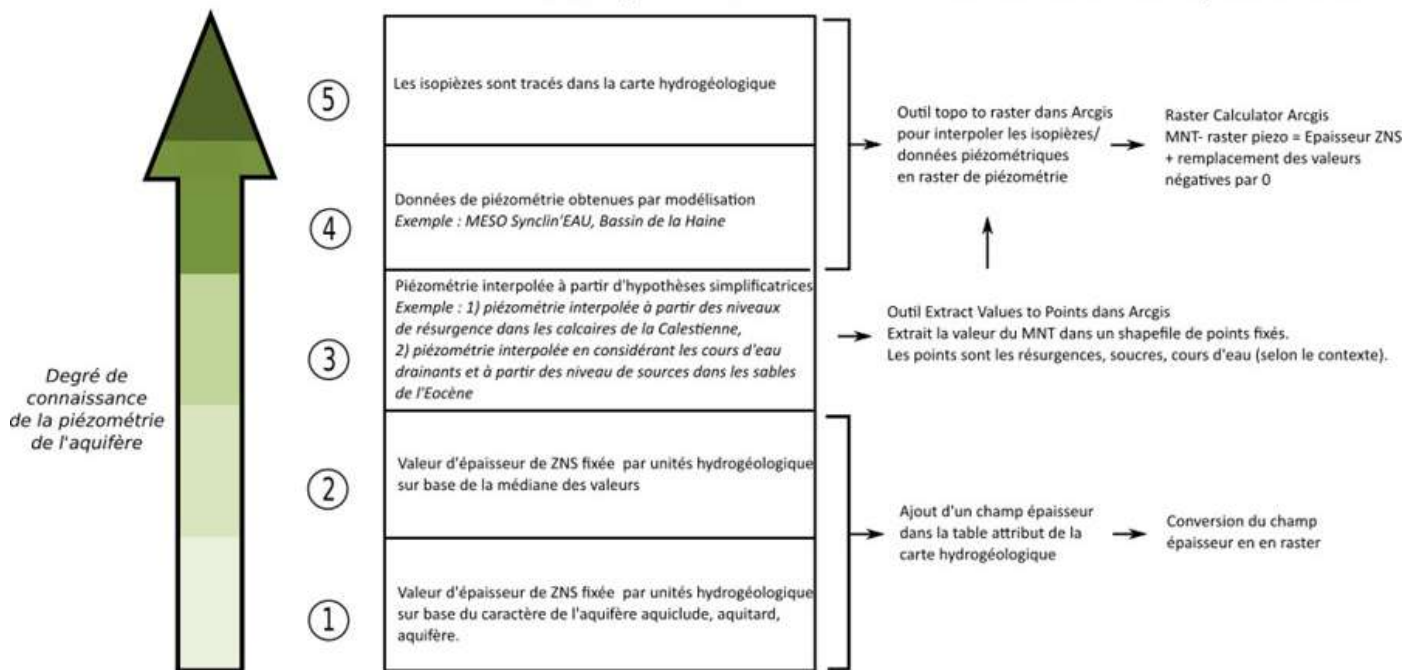


Figure 10: Méthodologie de création de la couche d'épaisseur de zone non saturée en fonction du degré de connaissance de l'aquifère (de Thomas et al, 2019)

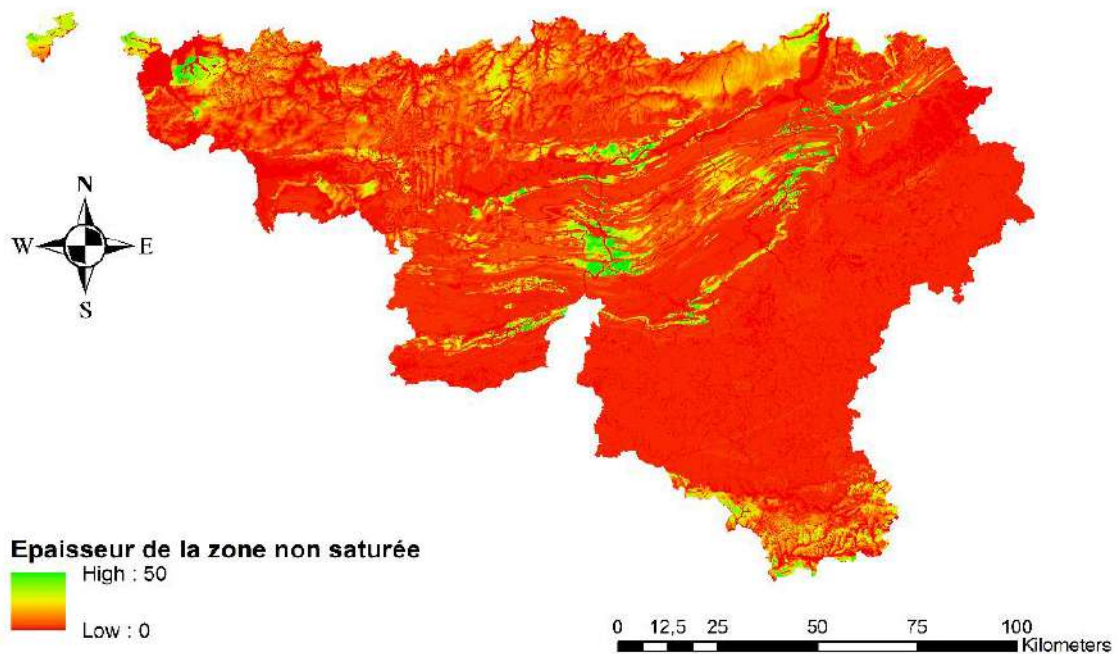


Figure 11 : Carte d'épaisseur de la zone non saturée (source : Projet APSU-GIS).



## 2.3. DONNÉES SURFACE

### 2.3.1. DÉFINITION DES DONNÉES COLLECTÉES

Les données de surface collectées doivent permettre de déterminer les besoins énergétiques sur le territoire wallon et in fine de caractériser la demande en chaud et/ou en froid.

Les données collectées dans le cadre de cette étude comprennent :

- Les données du bilan énergétique de la Wallonie 2019
- Les données provenant du travail réalisé par le bureau Deplasse et Associés dans le cadre de l'article 14 de la Directive 2012/27/EU (Etude 2020)
- Les données provenant du travail réalisé par le bureau Deplasse et Associés dans le cadre de l'étude : « Détermination du potentiel des pompes à chaleur aérothermiques à l'échelle des communes wallonnes Secteurs résidentiel & tertiaire » (Etude 2022)
- La matrice cadastrale comprenant l'ensemble des parcelles cadastrales et une description du/des bâtiment(s) présents sur les différentes parcelles.

En théorie, la demande peut être estimée à différents niveaux. Ainsi, il est courant de déterminer la demande par type de secteurs (ex. secteur résidentiel, industriel, ...) mais on peut aussi s'intéresser à la demande pour un type précis de bâtiment (ex. hôpitaux, écoles, ...). A noter que le niveau de détails pouvant être atteint dépend largement du degré de précision de description des bâtiments dans la matrice cadastrale et du type de données d'entrée. Certaines données de la matrice sont accessibles publiquement d'autres requièrent une autorisation spécifique.

Dans cette étude, l'analyse relative aux données de surface est divisée en deux phases distinctes 1) la sectorisation du parc wallon et 2) la détermination des besoins (Figure 12).

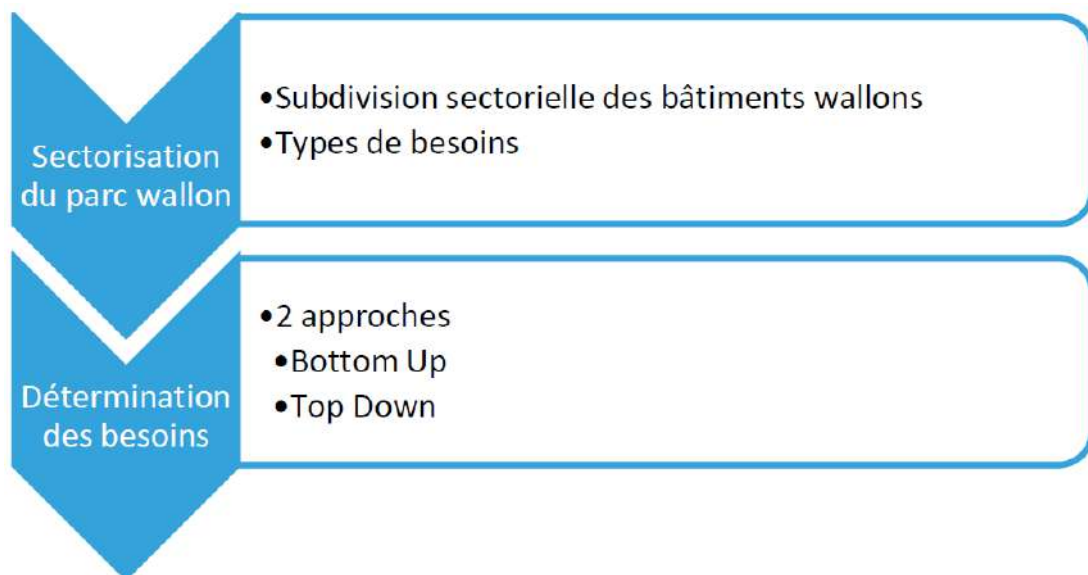


Figure 12: Phases principales de l'analyse des données de surface.

## 2.3.2. SECTORISATION DU PARC WALLON

### 3.3.2.A. Subdivision sectorielle : Utilisation de la géothermie peu profonde en fonction des secteurs

En Wallonie, la géothermie peu profonde est actuellement principalement utilisée dans le secteur résidentiel individuel mais l'ambition est de développer son utilisation aussi dans le secteur tertiaire et le résidentiel collectif. Dans la présente étude, l'accent a donc été mis sur la demande énergétique des secteurs du résidentiel et du tertiaire.

A titre informatif, l'étude de la filière géothermie en France publiée en 2021 (AFPG, 2021) montre la répartition par secteur de marché des PAC installées depuis 2001 et en 2020, ainsi que de la puissance installée. La comparaison avec le développement de la filière géothermie peu profonde en France est intéressante. En effet, là-bas le marché de la géothermie qualifiée de minime importance est actuellement principalement porté par le secteur tertiaire. Cette nouvelle tendance contraste avec le parc total de PAC, principalement constitué de PAC individuelles, dont le marché s'est amoindri ces dernières années. Ainsi les ventes de PAC géothermiques individuelles se cantonnent désormais à un marché de niche. Alors que le marché du collectif, lui, progresse d'année en année. Sa progression actuelle est estimée à environ 10 % par an. Les dernières études d'Observ'ER (l'Observatoire des Energies renouvelables) ont permis d'en estimer les proportions en fonction des types d'utilisations (Figure 13). Pour les secteurs individuel et collectif, les installations se font principalement en rénovation (à hauteur de 60 %). Il est mentionné qu'à cela s'ajoutent quelques installations industrielles et agricoles qu'il est difficile de dénombrer. La géothermie peu profonde est en effet parfois utilisée dans des exploitations agricoles ou sur des sites industriels afin de contribuer à l'amélioration énergétique des process eux-mêmes. En France, les secteurs y ayant recours comprennent les secteurs agro-alimentaire, cuirs et textiles, de la mécanique, du papier carton, de la chimie. Cependant dans la plupart des cas, elle concerne principalement les opérations thermiques élémentaires de chauffage et rafraîchissement des locaux.

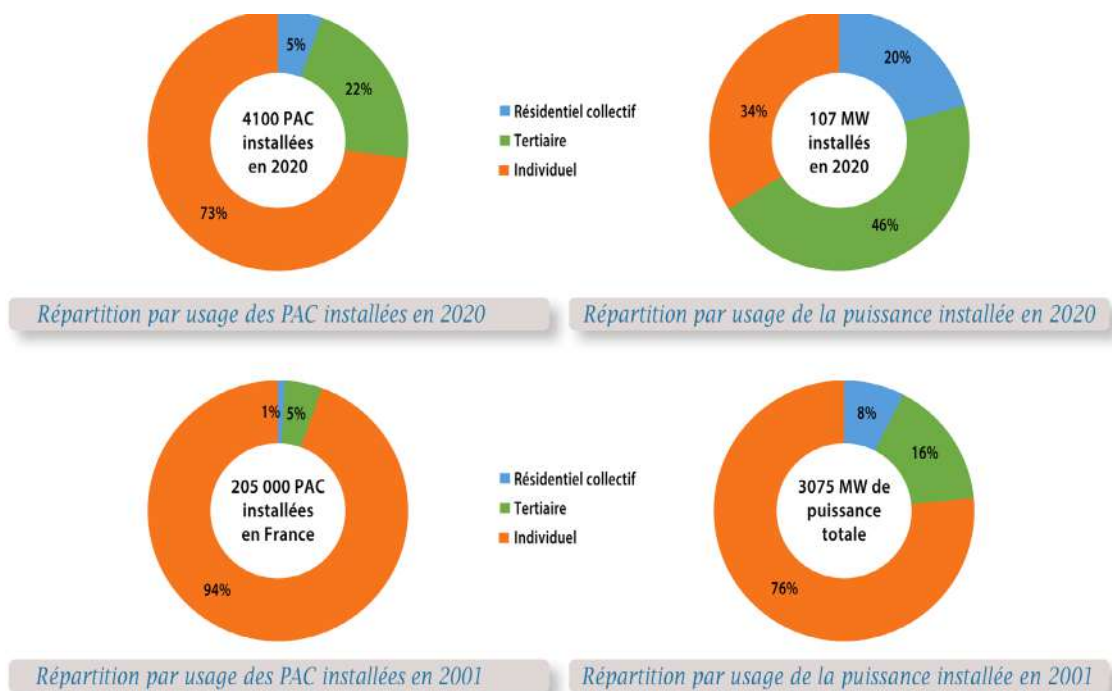
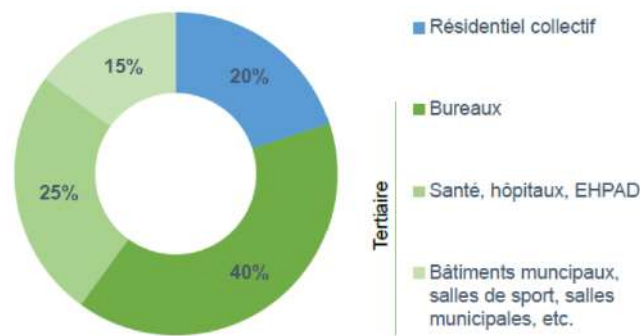


Figure 13 : Bilan général 2020 de la géothermie peu profonde présentant la répartition des nouvelles PAC par secteur de marché en France « La géothermie en France - Étude de filière » AFPG 2021).



**Figure 14 : Schéma de répartition présentant les différents usages de la géothermie peu profonde pour les secteurs du résidentiel collectif et du tertiaire en France (source : dernières études d'Observ'ER, figure publiée dans « La géothermie en France - Étude de filière » AFPG 2021).**

La demande des secteurs industriel et agricole pour des process particuliers est considérée comme plus marginale et doit être examinée au cas par cas. En outre, les données relatives à celle-ci ne sont généralement pas accessibles publiquement dans la majeure partie des cas. Pour l'industrie, les besoins liés à des process ou pour lesquels des températures très élevées sont nécessaires ne peuvent être couverts par des PACs géothermiques. Ces deux secteurs ne sont pas couverts par la présente étude.

### 3.3.2.B. Besoins énergétiques en Wallonie

Les besoins énergétiques (de chaleur) sont reportés sous forme de bilans annuels communaux pour les secteurs suivants : **résidentiel et économiques (regroupant agriculture, industrie, tertiaire, transport)**. Les secteurs résidentiel et tertiaire correspondent aux secteurs estimés comme prioritaires pour l'utilisation de la géothermie peu profonde.

#### Besoins en chaud

Dans les secteurs résidentiel et tertiaire, le besoin de chaleur concerne spécialement les besoins pour le chauffage principal et l'eau chaude sanitaire.

#### Besoins en froid

Le besoin de froid dépendra, quant à lui, des installations de froid présentes au sein des bâtiments et est largement fonction du secteur considéré.

- Le secteur résidentiel ne présente en général pas ou très peu de besoins de production de froid actif. A ce titre, il ne semble pas intéressant de prendre ce besoin en compte pour le secteur résidentiel individuel.
- Les bâtiments de type bureaux, à l'inverse, ont parfois des besoins de froid actif, ces derniers sont fonction de l'occupation en journée et de l'exposition des façades au soleil et peuvent parfois même atteindre, ou dépasser, les besoins de chaud (densité d'occupation et surfaces vitrées importantes). Dans les secteurs tertiaire et industriel, ces besoins incluent non seulement la climatisation (notamment pour les bureaux et surfaces commerciales) mais également les installations frigorifiques utilisées dans les supermarchés et autres machines de froid médicales (présentes dans les hôpitaux).

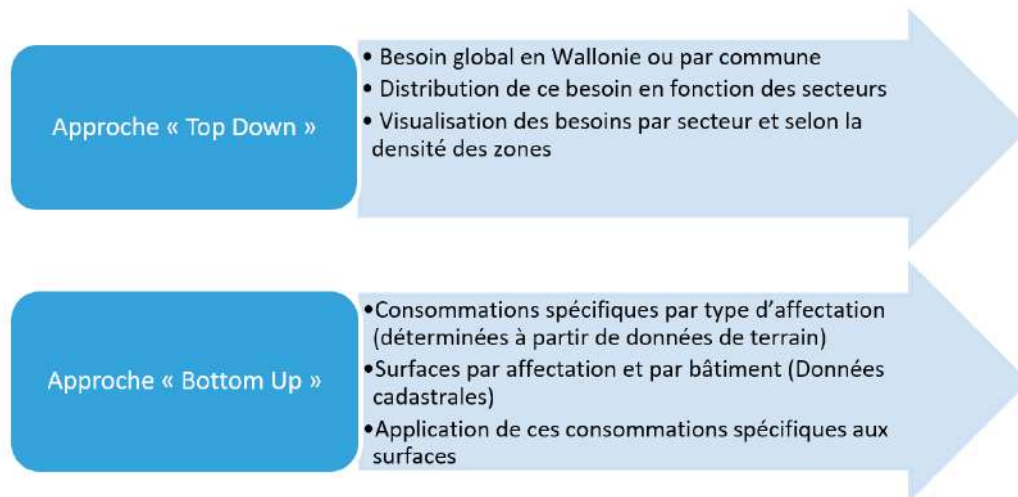
### 2.3.3. DÉTERMINATION DES BESOINS THERMIQUES EN CHAUD ET EN FROID PAR SECTEUR

La détermination des besoins thermiques en chaud et en froid peut se faire selon deux approches distinctes mais complémentaires.

L'approche dite « Top Down » se base sur les besoins de chaleur en Wallonie à l'échelle communale. Les besoins par commune sont ensuite distribués directement par secteurs sur base d'une distribution pondérée

prenant en compte l’emprise au sol des différents bâtiments des secteurs concernés. On obtient ainsi une visualisation de la densité de la demande des différents secteurs en Wallonie au niveau de cellules de taille 100mx100m.

L’approche dite « Bottom Up », quant à elle, part des consommations spécifiques [kWh/m<sup>2</sup>] déterminées par secteur. Le Tableau 10 présente des consommations spécifiques utilisables pour ce type d’approche. Les valeurs présentées dans ce tableau reposent sur un croisement entre données théoriques et données de terrain (provenant principalement d’audits énergétiques réalisés). Une fois les consommations spécifiques déterminées, les données sont croisées avec celles des surfaces utiles de chaque bâtiment, fournies par le cadastre.



### 2.3.3.A. Besoins en froid

Les besoins globaux de froid ne sont pas répertoriés dans les bilans énergétiques et ne sont donc pas disponibles pour la Wallonie actuellement. L’approche Top-down n’est donc pas adaptée pour cartographier la demande de froid. Seule l’approche Bottom Up est applicable de façon théorique dans ce cas. Les besoins de froid sont alors calculés en se basant sur les consommations spécifiques des différents types de bâtiments présentées dans le tableau 9 et les données de surface utile des bâtiments présents sur les plans cadastraux. L’information concernant la surface utile des bâtiments est stockée au niveau du code construction des bâtiments. A noter qu’à ce jour, le SPW ne dispose pour la majorité des bâtiments que de l’emprise au sol des bâtiments et n’a pas à sa disposition d’informations de surface utile ce qui entraîne dans la majorité des cas une estimation faussée de la surface des bâtiments, la surface utile étant généralement supérieure à l’emprise au sol du bâtiment. Pour cette raison les résultats de l’approche Bottom-up ne sont pas présentés dans ce rapport. En revanche, le SPW-Energie dispose du script pour calculer les besoins en froid à partir de l’approche Bottom-up à partir des données d’emprise au sol.

Tableau 10 : Consommations spécifiques par affectation, \* Sur le site de Bruxelles environnement les besoins en froid sont estimés à 10 kWh/m<sup>2</sup> pour des bureaux neufs et à 15 kWh/m<sup>2</sup> pour des bureaux rénovés

		Consommations spécifiques de chaud			Consommations spécifiques de froid
		Bilan énergétique Wallon (2019)	Données Audits	Données retenues	Données retenues (Audits)
Secteur	Sous division par secteur	Consommation Combustibles (KWh/m <sup>2</sup> ) (échantillons)	Consommation Combustibles (KWh/m <sup>2</sup> )	Consommation Combustibles (KWh/m <sup>2</sup> )	Consommation Electricité utilisée en froid (KWh/m <sup>2</sup> )
Résidentiel individuel	Maison individuelle 1 façade				/
	Maison individuelle 2 façades		115	115	
	Maison individuelle 3 façades		137	137	
	Maison individuelle 4 façades		143	143	
Résidentiel collectif	Logement social			101,8	/
	2 logements		85		
	Plus de 2 logements		85		
	Résidence pour étudiants		101,8		
Commerce	Commerce de gros et de détail de 400 à 2500 m <sup>2</sup>	119 (40)	69	119	10
	Commerce de gros et de détail > 2500 m <sup>2</sup>	66 (23)		66	
	Commerce toutes surface confondues	77 (69)		77	
	Shopping avec supermarché		28	28	20
	Shopping sans supermarché				2
Grandes surfaces	Supermarché	129 (18)	91	129	200
	Hypermarché	104 (19)		104	
HoReCa	Restaurant		563	186	20
	Hôtel	231 (9)	186		
Bureau	Bureau privé	83 (18)	97	97	15*
	Bureau public	124 (86)		124	
Enseignement	Enseignement communautaire	120 (58)	179	179	/
	Enseignement officiel	110 (43)			
	Enseignement libre ou privé	94 (63)			
	Enseignement tous secteurs confondus ( hors université et recherche)	105 (163)			
Hôpital	Hôpital (ancien)	155 (47)	210	210	16
	Hôpital (confort)				34
Maison de repos	Maison de repos, tous secteurs confondus	153 (80)	147	147	20
	Maison de repos du secteur public	153 (42)			
	Maison de repos du secteur privé associatif	150 (23)			
	Maison de repos du secteur privé commercial	154 (7)			
Centre culturel	Centre culturel	86 (29)	177	177	/
Piscine (par m <sup>2</sup> de plan d'eau)	Piscine	1987 (43)	2352	2352	/
Complexe sportif	Complexe sportif	161 (32)	151	151	/

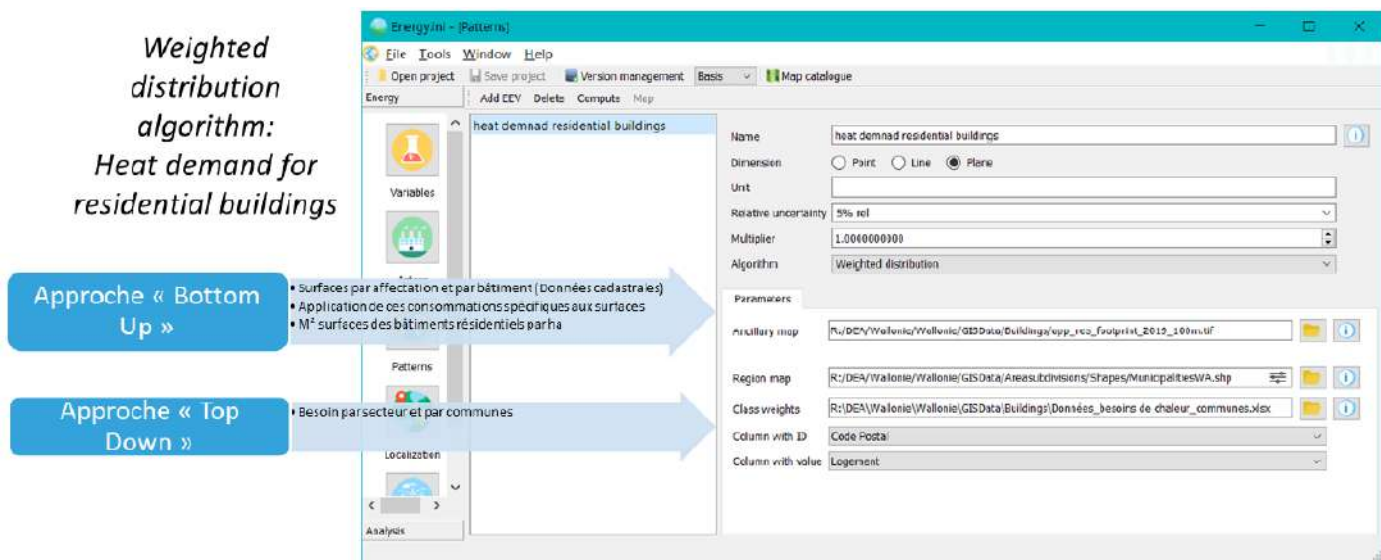
### 2.3.3.B. Besoins en chaud

Pour les besoins de chaud, les deux approches sont théoriquement applicables. Cependant comme pour l'estimation des besoins de froid par affectations par la méthode « Bottom-up », le SPW doit disposer de la surface utile des bâtiments concernés pour avoir une estimation réaliste de la demande en chaud.



### 2.3.4. TRAITEMENT DES DONNÉES DE SURFACE

Enfin, l'ensemble des données est ensuite compilé afin de générer des cartes de densité ou encore des « Heat Maps » sur lesquelles sera visible la densité de demande de chaud et de froid, en MWh par hectare (ha) ou dans le cas de cette étude, la densité de demande de chaleur estimée couvrable par PACs géothermiques. Le Dynamic Energy Atlas (DEA), présenté en détail en Annexe A, est utilisé pour réaliser de telles cartes.



Les Figure 15 et Figure 16 illustrent les cartes pouvant être obtenues à partir des données de surface collectées pour les deux types d'approches.

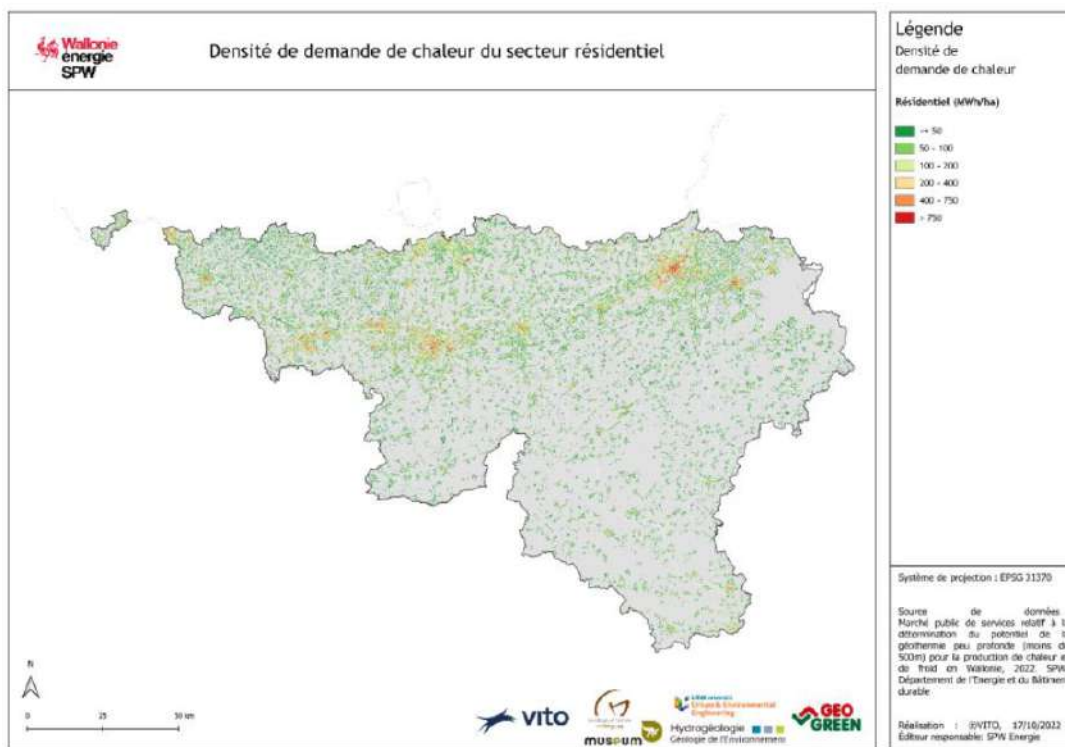


Figure 15: Densité de demande de chaleur totale pour le secteur résidentiel : exemple de résultat de l'approche Top-down



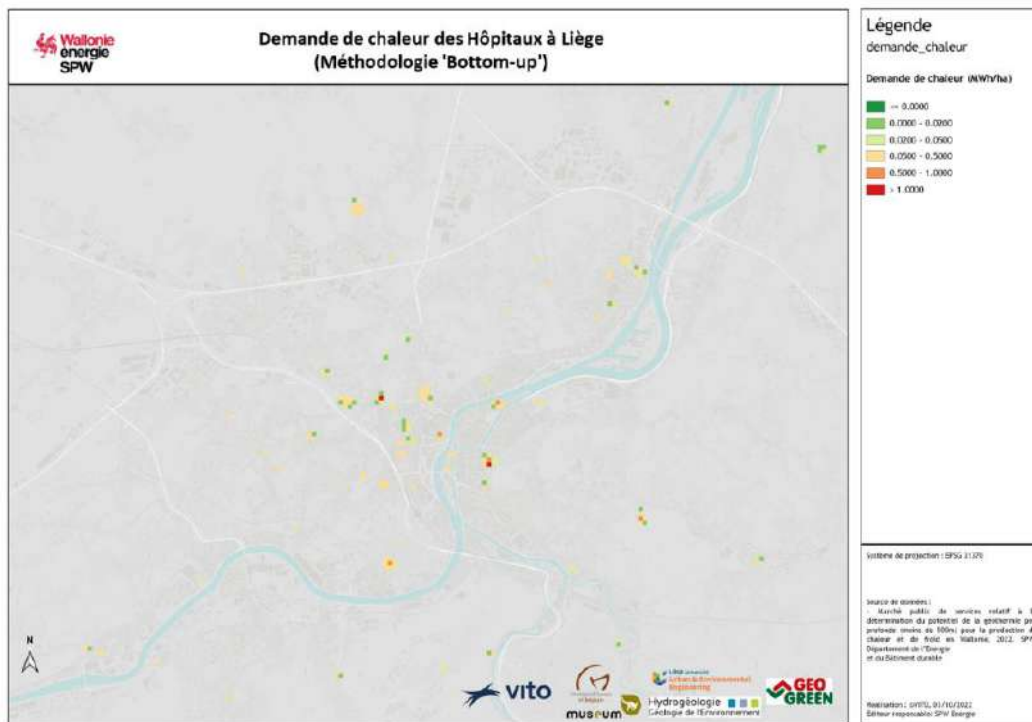


Figure 16: Densité de demande de chaleur pour les hôpitaux (MWh/ha): illustration de l'approche Bottom-up (l'emprise au sol des hôpitaux est multipliée par les facteurs énergétiques définis dans le Tableau 10)

## 3. CONSTITUTION DE LA BASE DE DONNÉES ET TRAITEMENT DES DONNÉES COLLECTÉES

---

### 3.1. CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNÉES

Les données sous-sol collectées sont stockées dans une base de données relationnelle (BD). Elle contient les données relatives aux systèmes fermés et ouverts. De plus, les données comprenant les informations de surface, sont elles aussi stockées dans la base de données. Le croisement entre les données relatives au sous-sol pour les 2 types de systèmes géothermiques, les données de consommation par typologie de bâtiments ainsi que les contraintes réglementaires et barrières environnementales sera ainsi facilité. La BD est structurée d'une manière générique, pour faciliter :

- L'échange des données avec les autres BD existantes,
- La réutilisation de la BD dans de futurs projets,
- L'ajout de nouvelles données à la BD,
- L'extension de la BD avec de nouvelles tables

La BD est construite dans PostgreSQL- PostGIS. PostgreSQL est un système de base de données relationnelle et objet (SGBD) open source. Utiliser ce type de système relationnel a plusieurs avantages, y compris l'option de mettre des contraintes sur les données (contraintes d'unicité, clés primaire, clés étrangères, contraintes de non nullité) qui garantissent une structure stable et standardisée pour la BD. PostGIS est une extension spatiale du PostgreSQL, permettant du support géographique des objets et des requêtes et manipulations spatiales.

La bd sera hébergée sur les serveurs du SPW Digital, afin de garantir une utilisation aisée par les deux administrations SPW Energie et SPW ARNE pour de futurs projets.

### 3.2. LA BASE DE DONNÉES GÉOTHERMIE

#### 3.2.1. STRUCTURE

Pour arriver à une structure générique pour la BD, les données collectées sont décomposées dans diverses tables. Le lien entre les tables est assuré par des 'clés étrangères'.

Le **forage** est choisi comme structure de base. On émet en effet l'hypothèse que pour chaque type de mesure relative au sous-sol, un forage est nécessaire et associé. La table forage contient des attributs génériques, tels que les coordonnées X, Y, la profondeur, etc. C'est à cette table, que le champ spatial 'geom' est ajouté. Ensuite, un forage peut être développé de diverses manières, par exemple, en tant que **piézomètre**. Un piézomètre est défini dans la BD du présent projet comme toute installation ayant une interaction avec les eaux souterraines par le biais d'une crépine. De nouveau, un piézomètre a des attributs spécifiques, tels que la profondeur du toit et la base de la crépine.

De la même manière, un forage peut être développé en tant que **système géothermique**. La table système géothermique fermé contient, entre autres, des champs liés au dimensionnement du système, tels que le nombre de puits, la puissance électrique de la pompe à chaleur, et le type d'application (BTES, extraction de chaleur, pieux énergétiques, etc.). De plus, la BD prévoit deux tables spécifiques 'système fermé' et 'système ouvert' dans lesquelles des attributs spécifiques à ces types de systèmes peuvent être renseignés. A noter que la BD n'a pas structure prévue pour les systèmes ouverts sans réinjection.

Pour les systèmes fermés, les **mesures TRTs et ETRTs** donnent l'information sur la conductivité et la résistance thermiques du sous-sol.

Pour les systèmes ouverts combinant pompage et réinjection, un seul système est opérationnel en Wallonie (Bavière). Les informations de **valeurs de conductivité hydraulique** (K) disponibles en Région wal-

lonne sont donc issues principalement de bases de données existantes. La BD 'SERAN' et partiellement la bd 'dixsous' ont été utilisées comme source d'information. Ces mesures sont, naturellement, associées à la table 'piézomètre'.

Pour la **stratigraphie et la lithologie**, la BD permet de :

Associer un log stratigraphique et/ou lithologique à chaque forage (e.g. 0-20 m : Quaternaire, 20-10 m : Crétacé)

- Spécifier la stratigraphie et/ou la lithologie rencontrée(s) au droit des crépines d'un piézomètre.

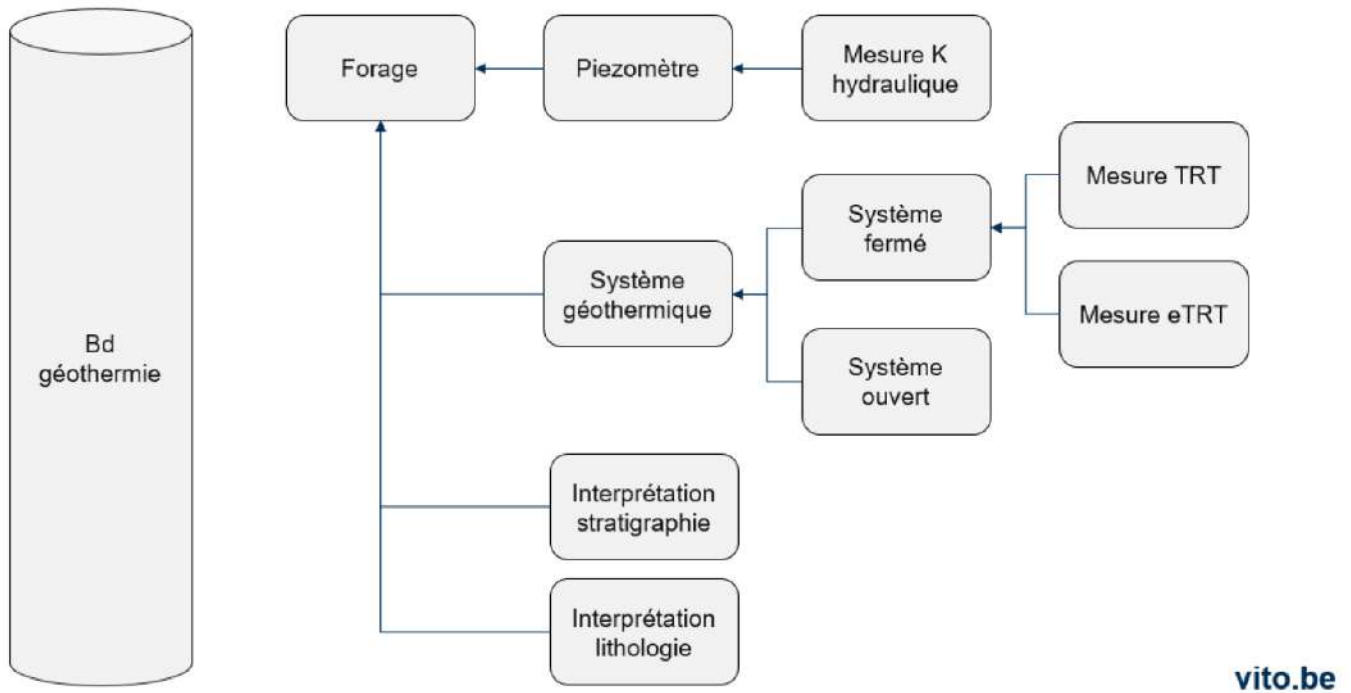
Il est important de noter qu'il existe de multiples systèmes stratigraphiques géologiques et hydrogéologiques. Dans la BD, ils ont tous été retenus et le mapping avec le système de 'one geology' est prévu. La stratigraphie est un attribut typé dans ce projet, ce qui signifie que le domaine des valeurs que peut prendre l'attribut est fixé a priori. La bd contient plusieurs tables stratigraphiques codées (en gris dans la Figure 17), et seules les entrées stratigraphiques présentes dans ces tables peuvent être introduites comme interprétation stratigraphique associée au forage ou au piézomètre. Par contre, le champ 'lithologie' est un champ de texte libre, non codé.

Source d'infos	Bd table 1	Bd table 2	Bd table 3	Bd table 4	Bd table 5
<b>BD SERAN</b>	Forage	Piézomètre	Mesure_K		
<b>BD dixsous (15 mesures K)</b>	Forage	Piézomètre	Mesure_K		
<b>BD dixsous (syst fermées)</b>	Forage	Système géothermique	Système géothermique fermé		
<b>BD SGB (mesures TRT)</b>	Forage	Système géothermique	Système géothermique fermé	- Mesure TRT - Mesure ETRT	- Interprétation stratigraphique - Interprétation lithologique
<b>Syst ouvert Bavière</b>	Forage	Système géothermique	Système géothermique ouvert		

**Tableau 11: Lien entre les données inventoriées et la structure de la bd.**

La BD du projet contient également une table 'demande chaud commune', qui stocke les informations concernant la demande de chaleur sectorielle par commune.

La structure telle que décrite en Figure 17 est avantageuse car elle présente une large flexibilité. Ainsi, il sera aisé dans le futur d'ajouter une table contenant des coordonnées pour des systèmes ouverts et des mesures associées si cela est jugé nécessaire. En Annexe C, un diagramme entité-relation est fourni.



**Figure 17: Structure de la base de données pour les données sous-sol, incluant les données pour les systèmes ouverts et fermés. Pour plus d'informations sur les différentes tables : voie Annexe C**

La transformation du format 'spreadsheet' des informations collectées vers la structure de la BD est réalisée en utilisant des scripts en langage python, ce qui rend le processus très flexible. Au cours du processus, pour uniformiser le résultat, le nom de divers colonnes a été modifié. En annexe C le mapping entre les colonnes des données collectées et la BD est fourni. Pour faciliter le lien avec des bd déjà existantes, plusieurs champs avec identifiants (code\_dixsous, id\_seran, ...) sont retenus et utilisés dans la BD.

### 3.2.2. LA CONSTITUTION DES 'VIEWS' POUR FACILITER L'UTILISATION DE LA BD

Bien que la répartition des données dans plusieurs tables permette de créer une structure générique et flexible, pour l'utilisateur final, il est souvent pratique de travailler avec des tables combinant certaines tables de la BD. Ce type de combinaison est prévu dans la structure de postgresSQL et dénommé 'views'. Dans le cadre du projet, quelques 'views' ont déjà été préparées, elles donnent un aperçu de ce qu'il est possible de faire mais il est important de garder à l'esprit qu'il existe beaucoup d'autres possibilités.

## 4. DÉTERMINATION DES POTENTIELS TECHNIQUE ET NET À L'ÉCHELLE DE LA WALLONIE

---

### 4.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, dans un premier temps, les potentiels estimés dans le cadre de l'étude sont définis. Une étude des meilleures pratiques européennes utilisées pour la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde est ensuite présentée. Parmi les meilleures pratiques présentées, les deux méthodologies les plus adaptées à la détermination du potentiel en RW pour les systèmes géothermiques peu profonds ouverts et fermés, respectivement, sont détaillées. Leur transposition au cas wallon est discutée. La qualité et la résolution spatiale des données collectées (notamment en termes de couverture géographique et en profondeur) influencent largement le choix de la méthodologie à adopter.

### 4.2. DÉFINITION DES DIFFÉRENTS POTENTIELS

Différentes définitions du terme « potentiel géothermique » sont utilisées dans la littérature. Cependant, de manière générale, le potentiel géothermique correspond à la puissance thermique qui peut être extraite d'un réservoir de manière soutenable sur le long terme. Contrairement à la production d'électricité, la notion de demande sur site est aussi essentielle et représente un paramètre crucial à prendre en compte lors de l'estimation du potentiel. En effet, en l'absence de demande en surface la ressource ne sera jamais exploitée car elle ne peut être transportée sur de longues distances. De la même manière, les contraintes réglementaires peuvent affecter, elles aussi, le potentiel de la ressource.

En fonction des contraintes techniques, réglementations ou du contexte économique l'estimation du potentiel géothermique « peu profond » peut intégrer divers aspects tels que :

- L'intérêt économique de l'exploitation géothermique, par ex. longueur de puits à forer pour satisfaire une certaine demande de chaleur ;
- La densité soutenable des installations géothermiques peu profondes ;
- Le débit maximal à prélever et à réinjecter dans un aquifère (en cas de systèmes ouverts).




Dans le cadre de la présente étude, deux types de potentiels sont déterminés. Dans un premier temps, le **potentiel technique sous-sol** a été évalué, il correspond à la ressource disponible, indépendamment de toute contrainte réglementaire ou économique. Il prend en compte un certain nombre d'hypothèses concernant les paramètres géologiques, hydrogéologiques ou thermiques du sous-sol ainsi que certains paramètres liés au design des systèmes (détaillés dans la partie décrivant les méthodologies utilisées). Le **potentiel net**, quant à lui, représente le potentiel technique sous-sol valorisable. Il est déterminé à partir du croisement du potentiel technique du sous-sol et de la demande en surface estimée couvrable par la technologie PACs géothermiques.

### 4.3. ÉTUDE DES MEILLEURES PRATIQUES DES MÉTHODOLOGIES D'ÉVALUATION DU POTENTIEL DE LA GÉOTHERMIE PEU PROFONDE


Une étude des meilleures pratiques européennes a été réalisée afin d'évaluer certaines des méthodologies mises en place dans les états membres pour la caractérisation et la cartographie du potentiel géothermique de très faible température (<30°C). En effet, différentes stratégies existent et présentent divers avantages, inconvénients et limites. Les meilleures pratiques (à notre connaissance) utilisées dans le cadre de la détermination et de la cartographie du potentiel de la géothermie peu profonde en Europe et analysées dans le cadre du présent projet sont présentées dans le Tableau 12. A noter que seules les pratiques

les plus pertinentes pour le présent projet sont répertoriées. Les avantages et l'applicabilité de certaines de ces méthodologies au cas de la Wallonie sont résumés dans le Tableau 13.

**Tableau 12 : Sélection de certaines des meilleures pratiques utilisées dans le cadre de la détermination et de la cartographie du potentiel de la géothermie peu profonde en Europe.**

Projet	Résultats	Méthodologie
 <p><b>Brugeo</b></p>	<p><b>Site web:</b> <a href="#">BrugeoTool : L'application «sous-sol et géothermie» de la région de Bruxelles-Capitale   Professionnel - Bruxelles Environnement</a></p> <p><b>Outil géoscientifique professionnel « tout en un »</b>, <a href="#">Brugeotool</a> permet l'exploration détaillée de la géologie, de l'<b>hydrogéologie</b> et des <b>potentiels géothermiques</b> en région bruxelloise au travers d'outils de <b>visualisation 1D, 2D et 3D</b>.</p>	<p>Basé sur modèle géologique Brustrati 3D (SGB), 2 modèles hydrogéologiques (HydroBru et Hydroland), collecte eTRT et données acquises lors de la phase d'exploration.</p>
 <p><b>GeoPLAS-MA-CE</b></p>	<p>Système d'information Web transnational présentant le potentiel géothermique ainsi que les facteurs de risque et les conflits d'utilisation des terres pour l'utilisation géothermique peu profonde dans six zones pilotes en Autriche, en République tchèque, en Allemagne, en Pologne, en Slovaquie et en Slovénie.</p>	<p>Modélisation de la structure géologique 3D du sous-sol pour chaque zone pilote. Calcul du potentiel géothermique pour les systèmes en boucle ouverte et fermée. Cartographie thématique (visualisation des risques, des conflits et de l'adéquation générale aux systèmes en boucle ouverte et fermée). Harmonisation de la méthodologie et des flux de travail.</p>
 <p><b>GRETA</b></p>	<p><a href="http://greta.eurac.edu/">http://greta.eurac.edu/</a></p> <p>Le livrable D4.2.1 se concentre sur la cartographie à l'échelle locale du potentiel géothermique peu profond en boucle fermée (Borehole Heat Exchangers, BHEs) et open-loop (Groundwater Heat Pumps, GWHPs) dans 6 zones d'étude de cas.</p> <p>Les résultats se présentent sous forme de <b>cartes du potentiel géothermique exprimé en MWh/an</b>. En ce qui concerne le potentiel en boucle ouverte, des cartes de potentiel de débit volumique technique (l/s) et de puissance (kW) ont également été réalisées.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Le WebGIS GRETA « Potentiel géothermique - Cerkno » identifie l'estimation du potentiel en boucle fermée de la commune de Cerkno. Ce potentiel géothermique est exprimé en énergie (MWh / an) pour un échangeur de chaleur correspondant à un forage de 100 m de long.</li> <li>2. Le WebGIS GRETA « Potentiel géothermique - Oberallgäu » identifie l'estimation du potentiel géothermique en boucle ouverte de la haute vallée de l'Iller. Le potentiel est basé sur le rendement maximum extractible d'un seul puits, indiqué comme débit volumique technique. Les différentes valeurs de rendement ont été calculées en fonction de deux distances de puits en doublet différentes: 10 et 100 m. Les couches géothermiques boucle ouverte représentent la puissance échangeable maximale à partir d'un doublet unique. Il est basé sur le rendement mentionné ci-dessus, et calculé en fonction d'une baisse de température des eaux souterraines de 5 °C. Le potentiel géothermique boucle ouverte représente la quantité annuelle d'énergie extractible pour une période de chauffage à pleine charge de 2000 heures et est exprimé en MWh/an.</li> </ol> <p>Les autres couches disponibles ont été utilisées pour l'estimation du potentiel géothermique.</p>	<p>Parmi les différentes méthodes de cartographie existantes, la méthode G.POT (développée par POLITO) a été choisie pour le potentiel en boucle fermée tandis que, pour la boucle ouverte, une méthode a été développée dans le cadre du projet.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Système boucle fermée :</b> Le potentiel géothermique de chaque zone a été calculé en MWh / an, ce qui représente la quantité annuelle d'énergie échangeable durablement avec le sous-sol par le biais d'un forage unique aux caractéristiques définies. Les couches utilisées pour l'estimation du potentiel géothermique sont la conductivité thermique, la capacité thermique, la température et la durée de la saison de chauffage.</li> <li>2. <b>Système boucle ouverte :</b> Les données de base sont : Piézométrie, modèle d'élévation digital, données de conductivité hydraulique des aquifères, température du sous-sol. Les données spatiales utilisées pour l'estimation du potentiel géothermique boucle ouverte de la haute vallée de l'Iller sont : Épaisseur de la masse d'eau souterraine saturée - Le gradient hydraulique - La profondeur de la nappe- Les différences de température légalement autorisées pour le chauffage et le refroidissement</li> </ol>



<p><b>Dynamic Energy Atlas</b></p> 	<p><b>Modèle spatial</b> pour surveiller la demande et la production d'énergie (renouvelable) présente et future potentielle. <b>Outil de soutien politique</b> (à l'échelle régionale) pour la politique énergétique, <b>développé sous forme de logiciel</b>.</p>	<p><i>Méthodologie générique</i>  <i>Développé sur base du modèle géologique 3D de la Flandres Production d'énergie (Potentiel) (par emplacement) =</i>  <i>facteur de production énergétique ×</i>  <i>distribution spatiale × faisabilité</i>                  Le <b>facteur de production énergétique</b> est fonction de la technologie et/ou de l'emplacement (systèmes ouverts/fermés et caractéristiques de la géologie locale.                  La <b>distribution spatiale</b> prend en compte l'emplacement où la technologie peut être mise en place (par exemple dans les jardins résidentiels mais pas dans les zones d'extraction d'eau protégées).                  La <b>faisabilité</b> couvre les faisabilités technique, économique, ... e.g. rentabilité.</p>
<p><b>Atlas des ressources géothermiques sur nappe et carte du potentiel géothermique sur sonde. Région Centre Val de Loire</b></p>	<p>En 2006 des cartes ont été produites. La ressource en eau souterraine a été définie entre 0 et 100 m de profondeur. Le territoire de la région a été découpé en mailles de 500 m de côté renseignées par les informations : formations aquifères rencontrées, débits disponibles, profondeur de la nappe et note de la productivité géothermale attribuée. Pour un lieu spécifié, la présentation des résultats est faite à 2 niveaux :1/ simple et synthétique avec une note de productivité (FORTE-MOYENNE-FAIBLE) et 2/ plus détaillée, sous forme d'une coupe hydrogéologique avec ses données.                  En 2017, l'atlas a été actualisé. Les systèmes de types « sondes géothermiques verticales » ont notamment été inclus, pour ces systèmes une carte des conductivités thermiques moyennes pour 3 tranches de profondeur (0-50m, 0-100m et 0-200m) est proposée. De plus le potentiel géothermique a été estimé jusqu'à une profondeur de 200 m à la fois pour les projets de type doublet et pour les sondes géothermiques verticales.</p>	<p><i>Version 2006 :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <i>Atlas géothermique des ressources en eau souterraine de la région</i></li> <li>· <i>Profondeur investiguée 100m</i></li> <li>· <i>Territoire découpé en mailles de 500m *500m</i></li> <li>· <i>Analyse multicritère permettant de fournir une note unique et globale de productivité basée sur :</i></li> <li>· <i>Les valeurs de débit disponible (3 seuils : &lt; 5m<sup>3</sup>/h, de 5 à 15 m<sup>3</sup>/h et &gt;15 m<sup>3</sup>/h)</i></li> <li>· <i>La profondeur minimale de la nappe (3 seuils : &lt;15m, de 15 à 30m et &gt; 30m)</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ <i>aucune note attribuée lorsque l'une ou l'autre des données n'est pas connue</i></li> </ul> </li> <li>· <i>Données de base collectées</i></li> <li>· <i>L'étude cartographique et statistique des débits spécifiques des forages d'eau</i></li> <li>· <i>Géométrie et niveaux piézométriques des principales formations aquifères</i></li> <li>· <i>Profondeurs des formations géologiques</i></li> <li>· <i>Premier aquifère rencontré en forage</i></li> </ul> <p><i>Version 2017 :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <i>Utilisation des données du modèle géologique de la région (données géométriques du toit et du mur des principales formations)</i></li> <li>· <i>Ajout des nouvelles cartes piézométriques (période 2007-2016)</i></li> <li>· <i>Profondeur investiguée 200m</i></li> <li>· <i>Ajout d'un module de calcul de la puissance géothermique exploitable par la technique des sondes géothermiques verticales.</i></li> <li>· <i>Sondes verticales : 10m de distance minimale entre sondes</i></li> <li>· <i>Conductivité thermique moyenne fournie sur 3 niveaux de profondeur 50, 100 ou 200m de profondeur</i></li> </ul>

**Tableau 13 : Avantages et applicabilité ou non au cas de la Wallonie de certaines des meilleures pratiques utilisées dans le cadre de la détermination et de la cartographie du potentiel de la géothermie peu profonde en Europe.**

Projet	Avantages	Applicabilité ou non au cas de la Wallonie
<b>GeoPLASMA-CE</b> 	Présentation du potentiel géothermique ET des facteurs de risque ET des conflits d'utilisation des terres pour l'utilisation géothermique peu profonde. Méthodologie harmonisée.	En Wallonie absence de modèle géologique 3D à l'échelle de la région, la méthodologie n'est donc pas transposable.
<b>Brugeo</b> 	Outil géo-scientifique professionnel « tout en un », résultat en tout point de la région Bruxelloise.	En Wallonie absence de modèle géologique 3D à l'échelle de la région, la méthodologie n'est donc pas transposable.
<b>Dynamic Energy Atlas (DEA)</b> 	Méthodologie générique	En Wallonie l'absence de modèle géologique 3D à l'échelle de la région prescrit la transposition directe de la méthodologie appliquée dans le cadre du DEA. Cependant le fait que la méthodologie du DEA soit générique lui confère une large flexibilité. Les outils développés dans le cadre du DEA pourront notamment être utilisés pour générer les cartes de potentiel. Des règles méthodologiques simples devront être établies et appliquées aux données compilées dans la BD développée dans le présent projet. Le croisement des données collectées sera en effet grandement facilité grâce aux différents scripts existants. Ces derniers pourront être modifiés afin de prendre en compte la spécificité des données wallonnes. Le logiciel pourra être utilisé aussi bien dans le cas des systèmes ouverts que fermés. La seule condition limitante sera que des critères clairs soient formulés pour permettre l'analyse multicritères et le croisement des données utilisées pour déterminer les classes de potentiel.
<b>Atlas des ressources géothermiques sur nappe et carte du potentiel géothermique sur sonde. Région Centre Val de Loire</b>	Méthodologie ne nécessitant pas une modèle 3D mais se basant sur une analyse multicritère pour les systèmes ouverts.	Cette méthode semble transposable au cas de la Wallonie pour déterminer le potentiel des systèmes ouverts. Elle nécessitera probablement une adaptation des classes définies par le BRGM mais semble être l'alternative la plus adaptée à la détermination du potentiel en RW pour ce type de systèmes.

### 4.3.1. SYSTÈME FERMÉS

#### 4.3.1.A. Exemple d'utilisation de tableaux de puissance thermique extractible pour les sondes géothermiques (BHE)

Les méthodes à utiliser en première intention (méthodes empiriques) pour déterminer le potentiel géothermique peu profond se basent sur l'utilisation de tableaux de puissance thermique extractible par unité de longueur de forage (W / m). Bien que ces méthodes aient été développées pour la conception de petites installations (par exemple, inférieures à 30 kW), elles ont également été appliquées dans plusieurs projets de cartographie du potentiel géothermique peu profond. Trois méthodes sont décrites dans le livrable 4.2.1 du projet GRETA (2018) : la norme allemande VDI 4640 avec sa première version livrée en 2000 et une mise à jour en 2015, et la norme britannique MIS 3005 (2011). Ces méthodes de conception pourraient également être appliquées à des fins de cartographie.

#### Norme allemande : VDI 4640 (BHE)

VDI 4640 est une norme développée par le VDI (Verein Deutsche Ingenieure, Union allemande des ingénieurs) pour fournir une ligne directrice pour les installations géothermiques peu profondes. Sa première version est sortie en 2000, la norme est ensuite mise à jour tous les 5 ans ; L'objectif de la VDI 4640 est de rassembler en un seul document les aspects environnementaux, les exigences de faisabilité et d'applicabilité et les aspects technologiques.

La norme présente aussi quelques méthodes pour la conception de petits champs de sondes géothermiques. Ainsi, selon VDI 4640, les champs de sondes ayant une puissance thermique inférieure à 30 kW peuvent être dimensionnés en fonction de la lithologie et des heures de fonctionnement annuelles de l'installation. Le Tableau 14 indique les valeurs de puissance thermique par unité de longueur (W / m) pouvant être extraites du sous-sol en considérant un programme d'exploitation de 1800 heures et 2400 heures par an. A noter que le programme d'exploitation le plus court (1800 heures / an) est typique des climats doux (estimé à environ 2000 HDD selon ASHRAE ou Eurostat), tandis que 2400 heures / an est typique d'un climat assez froid (estimé à environ 3000 HDD selon ASHRAE ou Eurostat). Dans le contexte Wallon, une charge de 1800 h à 2000 h devrait être adaptée.

**Tableau 14: Valeurs de puissance thermique par unité de longueur extractibles (W/m) en fonction de la charge horaire de fonctionnement du système, source VDI 4640 (2000).**

Type de sous-sol	Conductivité thermique (W/m/K)	Puissance extractible (W/m)	
		1800 h	2400 h
<b>Valeurs indicatives générales :</b>			
Sous-sol pauvre (sédiment sec)	<1,5	25	20
Roches et terrains incohérents saturés	1,5-3,0	60	50
Roches conductivité thermique élevée	> 3,0	84	70
<b>Typologie individuelle :</b>			
Gravier, sable, sec		< 25	< 20
Gravier, sable, saturé d'eau		65–80	55–65
Argile, sol humide		35–50	30–40
Calcaire (massif)		55–70	45–60
Grès		65–80	55–65
Magma siliceux (par exemple, granite)		65–85	55–70
Magma basique (par exemple, basalte)		40–65	35–55
Gneiss		70–85	60–70

La méthode VDI 4640, dans sa première version (2000), a été adoptée dans un certain nombre de méthodes de cartographie de potentiel de géothermie peu profonde. Entre autres, Ondreka et al (2007) l'ont adopté pour la cartographie du potentiel géothermique peu profond dans le sud-ouest de l'Allemagne. Sur la base de la stratigraphie du sous-sol, ils ont calculé les valeurs moyennes en profondeur de l'extraction de chaleur spécifique et ont fourni des cartes de puissance thermique pour un forage de 50 m et 100 m de profondeur.

Une mise à jour du tableau de dimensionnement du VDI 4640 a été livrée en 2015 et est rapportée dans Tableau 15. La nouveauté du VDI 4640 (2015) par rapport à sa version de 2000 est qu'il propose plusieurs tableaux de puissance maximale extractible par longueur unitaire de sonde, en fonction de deux critères principaux :

- L'utilisation de la chaleur pour la combinaison du chauffage et de l'eau chaude sanitaire ou pour le mode chauffage seul;
- La température à la sortie de la pompe à chaleur.

**Tableau 15: valeurs de puissance thermique extractible par longueur unitaire de sonde (W/m), source VDI 4640 (2015).**

Heures annuelles à pleine charge	Nombre de sondes	Conductivité thermique du sous-sol			
		Puissance thermique extractible par unité de longueur de sonde (W/m)			
		1,0 W/(m·K)	2,0 W/(m·K)	3,0 W/(m·K)	4,0 W/(m·K)
1500 h/a	1	28,6	41,2	49,7	55,8
	2	25,8	37,9	46,4	52,7
	3	23,9	35,6	44,1	50,4
	4	22,6	33,9	42,3	48,7
	5	21,8	33,0	41,4	47,8
1800 h/a	1	25,3	37,7	46,3	52,6
	2	22,6	34,3	42,8	49,3
	3	21,2	32,1	40,5	46,9
	4	19,6	30,4	38,6	45,1
	5	18,8	29,5	37,6	44,1
2100 h/a	1	22,8	34,9	43,5	50,0
	2	20,2	31,6	39,9	46,4
	3	18,5	29,3	37,5	44,0
	4	17,3	27,7	35,6	42,0
	5	16,7	26,7	34,6	41,0
2400 h/a	1	21,0	32,8	41,3	47,9
	2	18,5	29,4	37,7	44,2
	3	16,9	27,2	35,2	41,6
	4	15,8	25,5	33,3	39,6
	5	15,1	24,5	32,1	38,5

De plus, comparé à la version de 2000, le type de sous-sol a été remplacé par des valeurs de conductivité thermique. En outre, des valeurs précises d'extraction de chaleur spécifique sont fournies, au lieu des larges plages de la version précédente. Différentes valeurs sont fournies en fonction du nombre d'échangeurs thermiques pour tenir compte de l'interférence entre forages voisins. Une interpolation linéaire est suggérée pour les valeurs intermédiaires de conductivité thermique et / ou de nombre d'heures / an de fonctionnement.

L'application de la méthode VDI 4640, à la fois dans sa version de 2000 et de 2015, présente une limitation majeure : la température non perturbée du sous-sol n'est pas prise en compte, fournissant ainsi la même valeur d'extraction de chaleur spécifique pour un sous-sol chaud (e.g. 14 °C) et un sous-sol froid (e.g. 8 °C). Une telle limitation est surmontée par des méthodes telles que celle proposée par la méthode MIS 3005 (DECC, 2011), dont la description est fournie dans le livrable 4.2.1 du projet GRETA (2018).

### 4.3.1.B. Exemple Méthode utilisée dans le Dynamic Energy Atlas pour déterminer le potentiel de la géothermie peu-profonde des systèmes fermés

En ce qui concerne la géothermie peu profonde, dans le cadre du DEA une distinction a été faite entre usage non particulier (> 50 kW) et usage particulier (<=50 kW). Le potentiel maximum (brut) par systèmes (ouverts, fermés et particulier) par emplacement a été calculé sur la base du modèle de couche 3D. Ces trois résultats ont ensuite été agrégés en une seule couche cartographique basée sur la carte d'occupation des sols VITO. Les résultats pour les systèmes privés sont appliqués dans les zones résidentielles (existantes), pour les autres zones le potentiel maximum entre les systèmes de type ouverts/fermés est pris en compte, car dans la pratique, le système le plus favorable sera également installé.

Dans les paragraphes suivants est décrite la méthodologie utilisée pour les systèmes fermés :

1. A chaque endroit du Brabant flamand, une coupe du sous-sol peut être réalisée à l'aide du modèle de couche 3D, avec un résumé des différentes formations géologiques qui s'y trouvent ;
2. Le critère de profondeur pour l'exécution des forages verticaux pour le stockage d'énergie thermique (article 55.1 Vlarem – consultable via Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV)) a été utilisé pour fixer la limite de profondeur.  
De plus, pour des raisons techniques, la base de la formation Hannut est utilisée comme limite inférieure. Dans de nombreux endroits, le critère de profondeur sera inférieur à cette limite inférieure, mais les formations sous-jacentes (craie, solide, ...) doivent être évitées (techniquement très difficile à forer pour cette technologie) ;
3. Pour les systèmes fermés, une relation établie entre la valeur de conductivité thermique moyenne de la formation et la chaleur et le froid spécifiques est utilisée. Le Tableau 16 résume les coefficients utilisés pour les différentes formations principales définies en Flandre.  
A chaque formation correspond une valeur de conductivité thermique moyenne  $\lambda$  (W/K.m) à laquelle une valeur de puissance extractible moyenne est associée (en se basant sur les données collectées par Terra Energy). Pour obtenir le coefficient de chaleur/froid spécifique, la puissance extractible moyenne par mètre de formation est alors multipliée par le nombre d'heures de fonctionnement pour le chauffage et divisée par le nombre de m<sup>2</sup> nécessaire en moyenne par forage. Cette surface est supposée correspondre à environ 64 m<sup>2</sup> par forage (il s'agit d'une valeur plutôt conservatrice car de nombreux systèmes ont des distances de forage plus courtes).

Par exemple, s'il a été considéré qu'en moyenne 45 W / m de forage peuvent être extraits lorsque  $\lambda = 2,5 \text{ W / mK}$ , et que le nombre d'heures de fonctionnement de chauffage est de 2500 heures, alors la puissance extractible est de  $45 \cdot 2500 / 64 = 1.76 \text{ kWh/m}_{\text{form}}/\text{m}^2$ .

Pour le refroidissement, le même calcul est effectué, mais en se basant sur le retour d'expérience en Flandre on considère que la quantité de refroidissement spécifique sera inférieure de 1/3 à celle du chauffage.

Ensuite en utilisant le modèle 3D de sous-sol, on peut déduire l'épaisseur de chaque formation et calculer ainsi la quantité d'énergie potentielle extractible par m<sup>2</sup>. Par exemple, si on considère une sonde 150 m à un emplacement pour lequel on a 100 m de formation de Diest (sable gris vert à brunâtre) et 50 m de formation argile de Boom, alors la chaleur spécifique est de 245 kWh/m<sup>2</sup> (= 100.1,8 + 50.1,3).

**Tableau 16: Coefficients de chaleur et de froid spécifiques définis par formation géologique pour les systèmes fermés de géothermie peu profonde**

Chronostratigraphie	Formation	Lambda [W/m/K]	Chaleur spécifique par mètre carré [(kWh/m <sub>form</sub> )/m <sup>2</sup> ]	Froid spécifique par mètre carré [(kWh/m <sub>form</sub> )/m <sup>2</sup> ]
Quaternaire	Quaternaire	1.5	1.05	0.70
Tertiaire-Néogène-Miocène	Diest	2.5	1.76	1.16
Tertiaire- Paléogène-Oligocène-vroeg	Boom	1.8	1.26	0.83
Tertiaire- Paléogène-Oligocène-	Bilzen	2.4	1.69	1.11
Tertiaire- Paléogène-Oligocène-	Borgloon	2.2	1.55	1.02
Tertiaire- Paléogène- Oligocène-	Sint-Huibrechts-Hern	2.4	1.69	1.11
Tertiaire-Paléogène-Eocène-laot	Maldegem	2	1.40	0.93
Tertiaire-Paléogène-Eocène-moyen	Lede	2.3	1.62	1.07
Tertiaire-Paléogène-Eocène-moyen	Brussel	2.2	1.55	1.02
Tertiaire-Paléogène-Eocène-vroeg	Gentbrugge	2.1	1.48	0.97
Tertiaire-Paléogène-Eocène-vroeg	Tielt	1.7	1.19	0.79
Tertiaire-Paléogène-Eocène-vroeg	Kortrijk	1.6	1.12	0.74
Tertiaire-Paléogène-Paléocène-laot	Tienen	2	1.40	0.93
Tertiaire-Paléogène-Paléocène-laot	Hannut	1.8	1.26	0.83

#### 4.3.1.C. Densité des systèmes géothermiques fermés

Les études décrites précédemment se réfèrent principalement à la puissance thermique qui peut être prélevée et/ou injectée dans le sous-sol par mètre de longueur de sonde, ou par forage. Cependant, l'installation de plusieurs échangeurs de chaleur doit respecter certaines règles. En particulier une distance minimale doit être assurée pour minimiser leurs interférences thermiques réciproques. Par exemple, Haehnlein et al. (2010) rapportent que la réglementation européenne prescrit des distances minimales entre échangeurs de 3 à 15 m, la plupart des valeurs étant comprises entre 5 et 7 m. Dans la présente étude, une distance de 10m (correspondant à la valeur moyenne en Wallonie actuellement) est fixée entre les échangeurs.

#### 4.3.2. SYSTÈME OUVERTS

##### 4.3.2.A. Exemple : Méthodologie proposée par le BRGM – Région Centre

Le BRGM a proposé une méthode relativement simple pour déterminer le potentiel de la géothermie peu profonde pour les systèmes ouverts dans la Région centre. Cette méthodologie a pour objectif de cartographier, par pixel de 500m x 500m, sur base de critères simples, en trois classes (faible, moyen, fort) le potentiel de mise en œuvre d'un système ouvert. La méthodologie se base sur la combinaison de deux critères :

- Le débit de production possible ;
- La profondeur du forage à réaliser pour atteindre la nappe aquifère. Dans le cas d'une nappe libre, cette profondeur correspond à la profondeur nécessaire pour atteindre le toit de la nappe aquifère. Dans le cas d'une nappe captive, cette profondeur est la profondeur nécessaire pour atteindre le toit de la formation aquifère captive.



### Débit de production possible

Un débit de production possible a été défini par aquifère sur base de la distribution statistique des débits spécifiques des forages connus pour cet aquifère. Ce débit correspond au percentile 25 (P25) de la distribution des débits spécifiques (correspondant à 75% de probabilité d'avoir au moins le débit disponible). Trois classes de débit ont été définis selon les critères suivants :

- Débit de moins de 5m<sup>3</sup>/h : en dessous de cette valeur les risques d'avoir un échec de production sont élevés, la ressource est considérée comme faible.
- Débit de 5 à 15 m<sup>3</sup>/h : cette gamme de débit permet d'envisager le chauffage d'un ou deux pavillons dans de bonnes conditions économiques.
- Débit de plus de 15m<sup>3</sup>/h : au-dessus de cette valeur, le chauffage de grands bâtiments ou d'un ensemble de plusieurs pavillons est envisageable.

Une note a ensuite été attribuée par classe de débit (Tableau 17).

**Tableau 17: Définition de 3 classes de débits et de la note attribuée aux mailles de 500 m en fonction de celui-ci.**

Débit (m <sup>3</sup> /h)	Note
Plus de 15	3
De 5 à 15	2
Moins de 5	1

### Profondeur de la nappe aquifère

Le second critère intègre la profondeur du forage à réaliser pour atteindre la zone saturée (cas d'un aquifère libre superficiel) ou le toit d'un aquifère (cas d'un aquifère captif sous couverture). Pour chaque cellule de 500 m \* 500 m la profondeur de la nappe aquifère a donc été définie afin de déterminer la profondeur possible du forage à réaliser pour capter la ressource géothermale. La profondeur de la nappe aquifère a été estimée d'après les cartes piézométriques disponibles ou de la géométrie des aquifères sous recouvrement.

Pour ce paramètre, 4 classes de profondeur ont été retenues :

- Forage de moins de 15m de profondeur : forage de moindre coût permettant la réalisation économique d'un projet de PAC pour un pavillon (maison individuelle 4 façades).
- Forage de 15 à 30m de profondeur : le coût du forage commence à peser assez fortement sur l'économie du projet de PAC pour un pavillon.
- Forage de plus de 30 m de profondeur : le coût ne peut être amortis que par une forte consommation en surface (grand bâtiment ou ensemble de plusieurs pavillons).
- Forage de plus de 100 m de profondeur : considérée comme géothermie profonde dans le cadre de cette étude particulière.

**Tableau 18: Définition des classes de profondeur de nappe aquifère et de la note attribuée aux mailles de 500 m en fonction de celle-ci.**

Profondeur (m)	Note
moins de 15	3
De 15 à 30	2
Plus de 30	1
Supérieur à 100	0

### Combinaison des critères et attribution de la potentialité géothermique

Pour chaque cellule de 500 m \* 500 m, une note globale a été attribuée, elle correspond à la somme de la note 'Débit' et de la note 'Profondeur de nappe'. De la même manière que pour le débit de production possible et la profondeur de la nappe aquifère, 3 classes ont été définies pour la note globale (Tableau 19). Le potentiel géothermique est qualifié de fort, moyen ou faible en fonction de la note globale.

Si une des données est manquante alors la potentialité est considérée comme étant inconnue. Si au niveau d'une cellule il y a plusieurs aquifères superposés, la potentialité cartographiée est celle de l'aquifère qui a le potentiel le plus important.

Tableau 19: Définition de 3 classes de potentiel géothermique

Note globale	Potentialité géothermique
5 et 6	Forte
4	Moyenne
≤3	Faible

## 4.4. SPÉCIFICITÉS DE LA WALLONIE

Les meilleures pratiques présentées dans les sections précédentes ne sont pas transposables directement au cas de la Wallonie en raison notamment de :

- L'absence de modèle 3D détaillé du sous-sol ;
- La complexité géologique, les terrains sont le plus souvent faillés et plissés (l'épaisseur des différentes unités ne peut pas être déterminée sur l'ensemble du territoire).
- La limitation voire l'absence de données pour des profondeurs au-delà de 100-150 m sur une grande partie du territoire (en dehors des zones dans lesquelles les mines ont été exploitées)

Une approche simplifiée a donc été proposée pour le cas spécifique de la Wallonie.

## 4.5. MÉTHODOLOGIES POUR LA DÉTERMINATION DES POTENTIELS EN WALLONIE

### 4.5.1. POTENTIEL TECHNIQUE SOUS-SOL

A partir des données géologiques et des propriétés hydrogéologiques et thermiques collectées (voir 2.2) et rassemblées dans la base de données (voir 3.2), il est possible d'estimer le potentiel technique sous-sol pour chacun des systèmes géothermiques (ouverts et fermés). Ce potentiel est déterminé avec une résolution qui dépend de celle des données d'entrée.

#### 4.5.1.A. Systèmes fermés

La méthodologie proposée dans cette étude pour déterminer le potentiel brut de la géothermie peu profonde (systèmes fermés) en Wallonie ne correspond pas directement à l'une des meilleures pratiques présentées cependant elle s'en inspire. En effet, l'approche pour déterminer le potentiel brut pour les systèmes fermés en Wallonie développée ici se base principalement sur l'évaluation de la conductivité thermique du sous-sol, l'épaisseur des terrains les moins conducteurs (relatif) et l'identification des zones pour lesquelles le potentiel brut serait favorable ou très favorable tenant compte de la saturation des terrains. Il est à noter, qu'au vue des données récoltées, le potentiel brut est favorable partout en Wallonie pour l'installation de sondes géothermiques. Toutefois, afin d'aider au dimensionnement approprié de ces systèmes, il apparait important d'arriver à discriminer les zones pour lesquelles le potentiel pourrait être un peu moins favo-

nable. Diverses méthodologies utilisées par le BRGM entre autres ont été étudiées. Cependant, l'absence d'information géologique en profondeur en Wallonie qui pourrait être apportée via des cartes d'isohypses, d'isopaques ou par modèle 3D ne permet pas d'utiliser directement les méthodologies proposées par le BRGM.

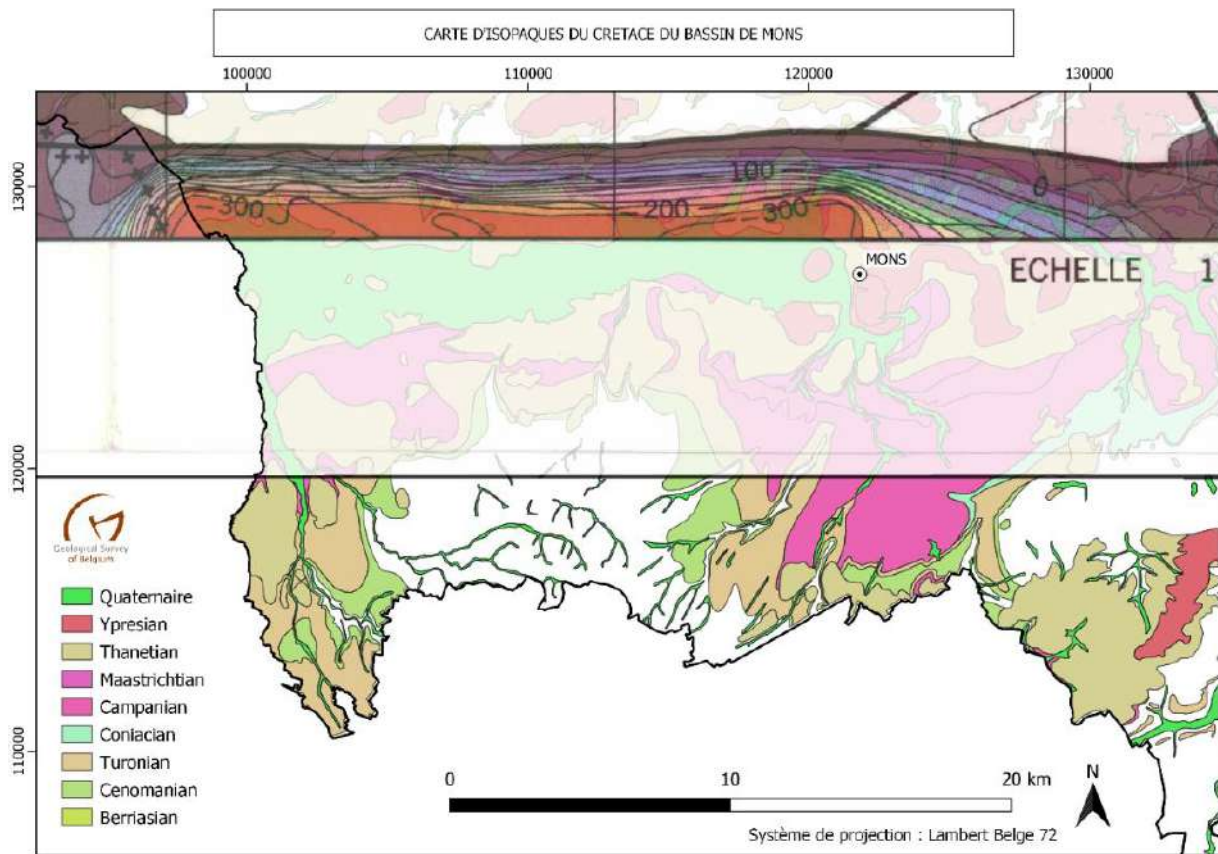
### Etapes suivies

- Classification du territoire de la Wallonie en grands domaines géologiques selon la base de One-Geology.
- Attribution d'une conductivité thermique moyenne par âge géologique (certains regroupements d'unités géologiques ont été réalisés) à partir des données récoltées (TRT, mesures en laboratoire et littérature).
- Détermination de 2 classes de conductivité thermique ( $\lambda$ ) :
  - Classe A pour les roches de conductivité thermique inférieure à 2,2 W/m.K ;
  - Classe B pour les roches de conductivité thermique supérieure à 2,2W/m.K.
- Travail cartographique pour l'extension en profondeur du Tertiaire et du Crétacé afin d'évaluation et cartographier les zones où l'épaisseur de ces couches est supérieure à 50m.
- Croisement avec l'épaisseur de la zone non saturée supérieure à 50m. L'épaisseur de la zone non saturée est un facteur non négligeable dans la détermination de la conductivité thermique du sous-sol. L'intervalle de valeurs indicatives pour la porosité des craies est situé entre 0.5 et 45% (Mengeot et al., 2017 d'après Dassargues, 2010). Dans des conditions de non-saturation, cela équivaut à une composition maximum de 45% d'air, ce qui impacte considérablement la stabilité et la conductivité thermique de la roche.
- Détermination des zones où le potentiel brut est intéressant (favorable) et très intéressant (ou très favorable).
  - Potentiel brut intéressant
    - = zone où l'épaisseur de la classe A ( $\lambda < 2,2$  W/m.K) est supérieure à 50m
    - = zone où l'épaisseur de la zone non saturée est supérieure à 50m
  - Potentiel brut très intéressant
    - = zone ou l'épaisseur de la classe A est inférieure à 50m
    - = zone où l'épaisseur de la zone non saturée est inférieure à 50m.

### Travail cartographique pour l'extension en profondeur du Tertiaire et du Crétacé

Le but de ce travail cartographique est de mettre en évidence les lieux où l'épaisseur des couches du Crétacé et du Tertiaire (en négligeant l'épaisseur du Quaternaire) est supérieure à 50m. Au-delà de cette épaisseur, il est estimé que l'influence du potentiel moins favorable de ces couches serait majoritaire dans la mesure d'un TRT. Différentes méthodes ont été utilisées afin d'étudier l'extension en profondeur des couches du Tertiaire et du Crétacé.

A la Figure 18, la carte de OneGeology indique les lieux où affleurent les roches du Quaternaire, Tertiaire et Crétacé dans le Bassin de Mons. La superposition de la carte des isopaques du Crétacé (SGB) permet de tracer un polygone comprenant des roches du Crétacé dont l'épaisseur est supérieure à 50m.



**Figure 18 : Carte d'isopaques du Crétacé (SGB) superposée à la carte d'affleurement du Quaternaire, Tertiaire et Crétacé (OneGeology) du Bassin de Mons.**

L'extension limitée de la carte des isopaques du Crétacé (SGB) nécessite une autre méthode de caractérisation pour le reste du Bassin de Mons. Etant donné que l'altitude en surface ne descend pas en dessous de 0m, tout ce qui est situé sous les isohypses de la base du Crétacé (SPW) -50m représente plus de 50m d'épaisseur de couches du Tertiaire et du Crétacé (Figure 19). Ce polygone est ensuite affiné par une autre méthode. La couche des isohypses de la base du Crétacé (SPW) est croisée avec le MNT (Modèle Numérique de Terrain) de la Wallonie afin de définir la limite où l'épaisseur est encore supérieure 50m. On voit également à la Figure 2 que l'extension de isohypses de la base du Crétacé (SPW) est limitée. Des zones hachurées ont été dessinées aux endroits où l'étude de l'extension en profondeur des couches ne peut pas être définie.



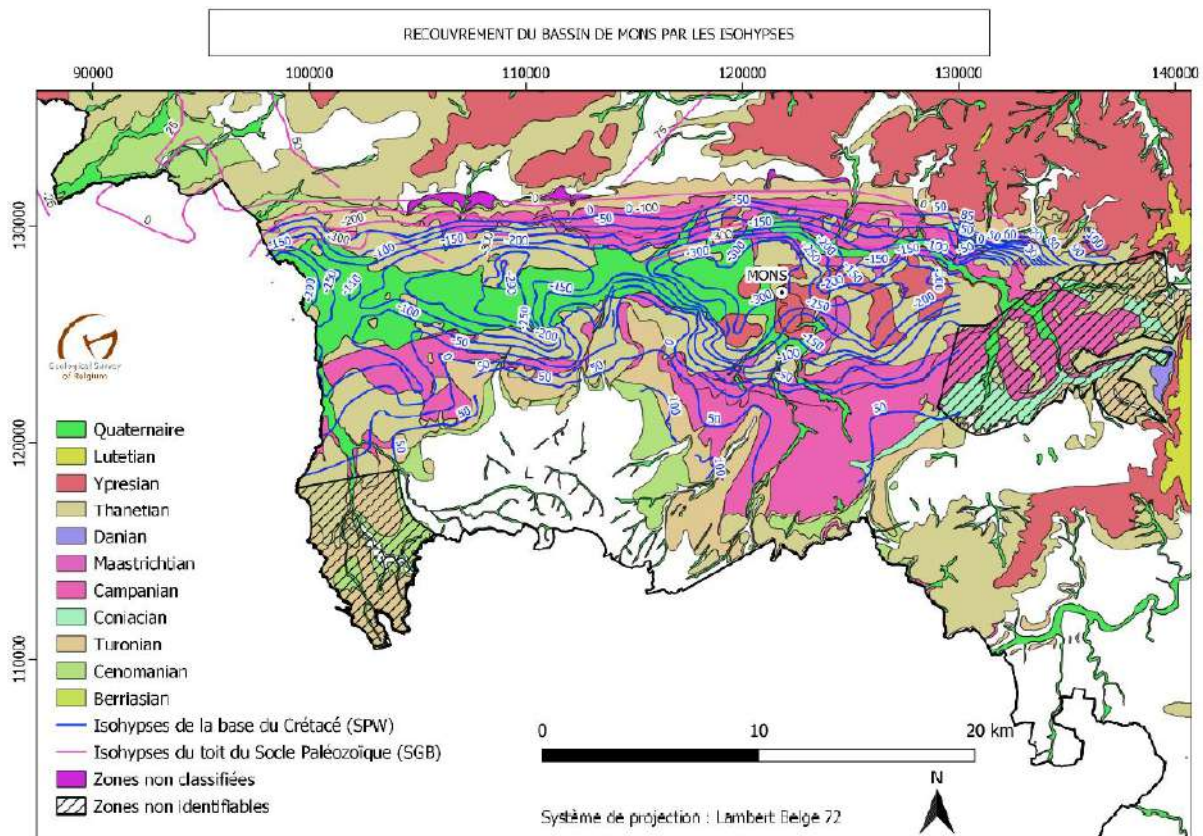


Figure 19 : Carte des isohypses de la base du Crétacé (SPW) superposée à la carte d’affleurement du Quaternaire, Tertiaire et Crétacé (OneGeology) du Bassin de Mons.

Du côté de Liège, des polygones d’épaisseur ont pu être tracés sur base des isopaques du Crétacé (SGB) et des isohypses de la base du Crétacé (indifférencié) (SPW).

Pour le reste du Nord de la Wallonie où affleure le Crétacé et le Tertiaire, le même travail a été accompli sur base des isohypses du toit du Socle (SGB). D’abord, ceux-ci ont été complétés entre Frasne et Wavre à partir des informations disponibles sur le raster « Isohyps-Sokkel » de Legrand (Carte du Relief du Socle Paléozoïque - Militair Geografisch Instituut – Brussels 1968). Ensuite, le polygone où l’épaisseur de couches du Tertiaire et du Crétacé est supérieure à 50m a été tracé en croisant les informations d’isohypses du toit du Socle (SGB) et le MNT.

Les « Zones non classifiées » représentent les âges géologiques et/ou les regroupements d’unités géologiques auxquels aucune conductivité thermique n’a pas pu être attribuée. Malgré les données récoltées et la recherche bibliographique effectuée, ont été rassemblés dans cette catégorie le Berriasien (Crétacé Inférieur), qui affleure au Nord du Bassin de Mons sur une petite superficie, ainsi que le Jurassique Inférieur, le Toarcien et le Sinémurien qui affleurent qu’à l’extrême Sud du Pays et représentent le bord Nord du Bassin de Paris. Les shapefiles compris dans la catégorie « Epaisseurs QTC non identifiables » correspondent aux zones où le Crétacé affleure, mais leurs extensions ne sont pas recouvertes par les isohypses permettant donc l’étude de l’épaisseur en profondeur. Ces zones sont situées au SW de Dour, au S de La Louvière ainsi qu’au N et au S d’Eupen. Ces couches datent du Crétacé Supérieur, Santonien, Campanien, Coniacien, Turonien et du Cénomanién.

La pertinence des polygones d’épaisseur du Tertiaire et du Crétacé tracés dans le cadre du travail cartographique de l’extension en profondeur a été vérifiée. La corrélation avec les logs des mesures de TRT utilisées dans le cadre de cette étude a été effectuée. Sur les 31 points de mesures situés dans les polygones tracés, 27 d’entre eux corréllent avec les polygones dans lesquels ils sont situés, équivalant à 87% de corrélation.

## Hypothèses

Lors de l'analyse des données de TRT récoltées, si une stratigraphie représentait plus de 70% de l'ensemble du forage, la valeur de conductivité thermique du TRT était entièrement associée à cette stratigraphie. Cette valeur limite de pourcentage a été choisie de manière arbitraire. Très peu de mesures caractérisent parfois la valeur de conductivité thermique moyenne assignée aux différents âges ou regroupement. 3 valeurs définissent la moyenne de la conductivité thermique du Trias supérieur. Pour le Givetien et l'Eifelien, une seule mesure de TRT a pu être récupérée pour chacun des âges. Ces âges sont présents à plus de 70% dans les forages mais cela reste insuffisant pour calculer une valeur moyenne pertinente. L'hypothèse de classer ces âges dans la classe B ( $\lambda > 2,2 \text{ W/m.K}$ ) a été posée mais des analyses supplémentaires devraient être effectuées à l'aide d'un scanner de conductivité thermique (TCS, *Thermal Conductivity Scanner*). Le Service Géologique possède le matériel et les échantillons nécessaires pour le faire. Un range d'erreur, d'incertitude de 10% a été défini pour les valeurs de conductivité thermique moyenne retenue par rapport aux valeurs moyennes pour les âges et les regroupements.

Aucune distinction lithologique n'a été faite au sein des âges et des regroupements effectués dans la classification de la carte de OneGeology. Pourtant on notera à titre d'exemple que les formations du Crétacé possèdent des caractéristiques distinctes. Les formations crayeuses du Bassin de Mons diffèrent de celles du Pays de Herve qui sont plus sableuses et argileuses. La Smectite de Herve est une argile indurée et calcaire qui constitue une base imperméable (Dassargues et Monjoie, 1993). Ce sont des particularités qui peuvent influencer de manière directe et indirecte la conductivité thermique. D'autres paramètres influençant la conductivité thermique n'ont pas été pris en compte dans cette étude : la diffusivité et capacité thermique qui dépendent de la porosité, la densité, la perméabilité, de la compaction, de l'altération, et de la fracturation...

Pour le travail cartographique de l'extension en profondeur du Tertiaire et du Crétacé, il a été défini de manière arbitraire qu'à partir de 50m d'épaisseur, ces zones basculent en zones moins favorables. L'épaisseur du Quaternaire n'a pas été considérée dans ce travail cartographique. Son épaisseur variant au sein de la Wallonie n'est pourtant pas négligeable. Dans les environs de Nil-Saint-Vincent, situé dans la région de Wavre, on peut retrouver jusqu'à 20m de limons (Rekk et al., 2017). Les formations quaternaires sont également représentées par des limons d'origine éolienne. Leur épaisseur est variable mais un manteau loessique de 20m d'épaisseur peut recouvrir les plateaux dans les régions de Chastre-Gembloux (Ruthy et Dassargues, 2015), de Wasseiges-Braives (Sorel et al, 2015), d'Alleur-Liège (Ruthy et Dassargues, 2006) et d'Andenne Couthuin (Goffinet et al., 2014). Le traçage des polygones d'épaisseur des couches du Tertiaire et du Crétacé a été effectué sur base de la soustraction relative des isohypses du toit du Socle (SGB) du MNT. Cette méthode possède une certaine incertitude et une marge d'erreur de 20m est estimée. Au sein du Massif du Brabant, les vallées du Quaternaire où affleurent le Socle Paléozoïque n'ont pas été extraits des cartes vu le degré d'incertitude déjà présent. La fracturation du terrain n'a pas été prise en compte pour l'étude de l'extension en profondeur du Tertiaire et du Crétacé. Pourtant, des cavités sous diverses formes existent dans le sous-sol Wallon, que ce soit, par exemple, des anciennes galeries minières, d'anciennes exploitation de filon métallique ou des cavités naturelles dans des craies phosphatées. Ces cavités sont de tailles diverses. Dans le Bassin de Mons, le tuffeau de Ciply, la craie phosphatée et les craies blanches présentent de nombreuses et parfois vastes poches karstiques. Celles-ci se présentent sous forme d'entonnoirs irréguliers, pouvant atteindre 10 à 20 m de diamètre à la tête de la craie et la racine peut descendre à 30 m sous la surface (Pacyna & Kheffi, 2018). Toutes ces différentes cavités peuvent contenir des quantités importantes d'eau et ainsi influencer la conductivité thermique du terrain. Le Géoportail de la Wallonie offre un accès librement à WalOnMap qui permet de visualiser la cartographie de tous types de données tel que les concessions minières.

Pour terminer, exprimer le potentiel des systèmes fermés en puissance extractible en W/m implique de poser des hypothèses sur le fonctionnement de la pompe à chaleur.



## Limitations

A la vue des données géologiques disponibles en profondeur, il paraît difficile de fournir un travail cartographique de qualité notamment en raison du manque d'information concernant les horizons les moins conducteurs (toit, base et épaisseurs du Crétacé et Tertiaire). La Figure 20 illustre ainsi le faible recouvrement de la carte des isohypses du toit du Crétacé (SGB) en Wallonie. La carte ne reprend pas l'entièreté du bassin de Mons, ni le territoire à l'Est de Liège. Ce manque d'information implique une impossibilité de cartographier ces zones. Il en va de même pour la carte d'isopaques du Socle Paléozoïque en Wallonie (SGB) illustré à la Figure 21.

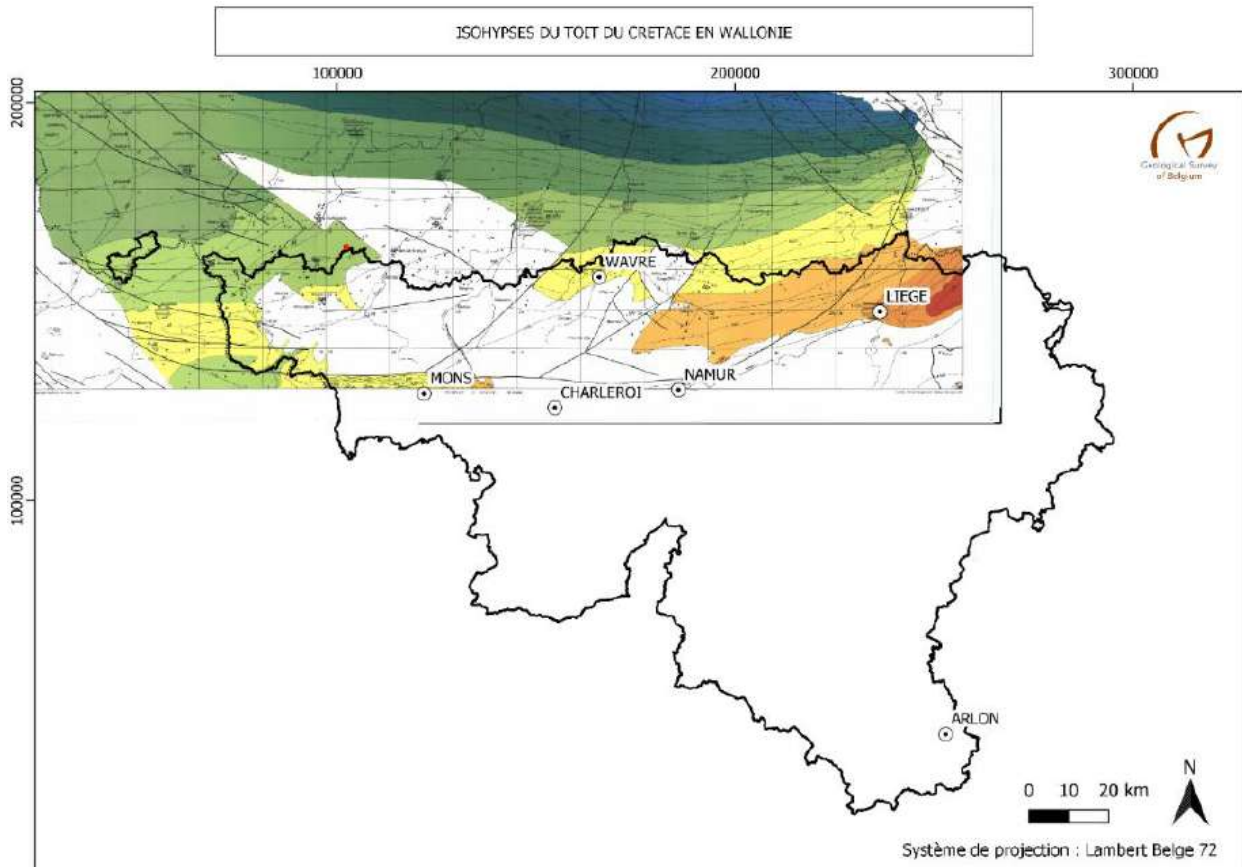
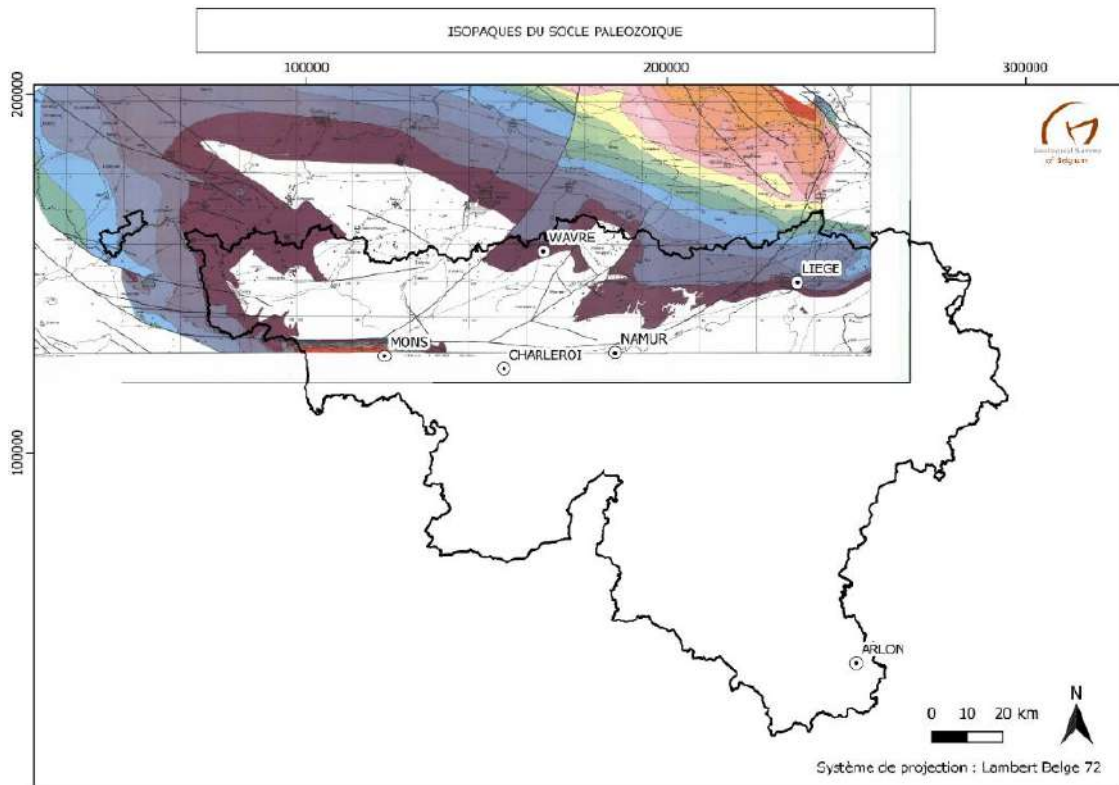


Figure 20: Extension de la carte d'isohypse du toit du Crétacé en Wallonie (SGB)



**Figure 21: Extension de la carte d'isopaques du Socle Paléozoïque en Wallonie (SGB)**

De plus, des incohérences existent entre les valeurs d'isohypse du toit du Paléozoïque (SGB) et celles de la base du Crétacé (SPW). A la Figure 22, on peut voir que jusqu'à 100m séparent les isohypses de la base du Crétacé (SPW) et des isohypses du toit du Socle Paléozoïque (SGB) au nord du Bassin de Mons.

Ces deux jeux de données n'ont également pas le même degré de précision. L'équidistance entre les courbes d'isohypses issus du SPW est de 5m et 25m pour celles du SGB. Les lignes d'isopaques sont également tracés par 25m d'épaisseur. Vu que l'étude de l'extension en profondeur de la classe A en Wallonie a été travaillée avec une combinaison de données de degré de précision différentes, l'extrapolation n'est pas la même.

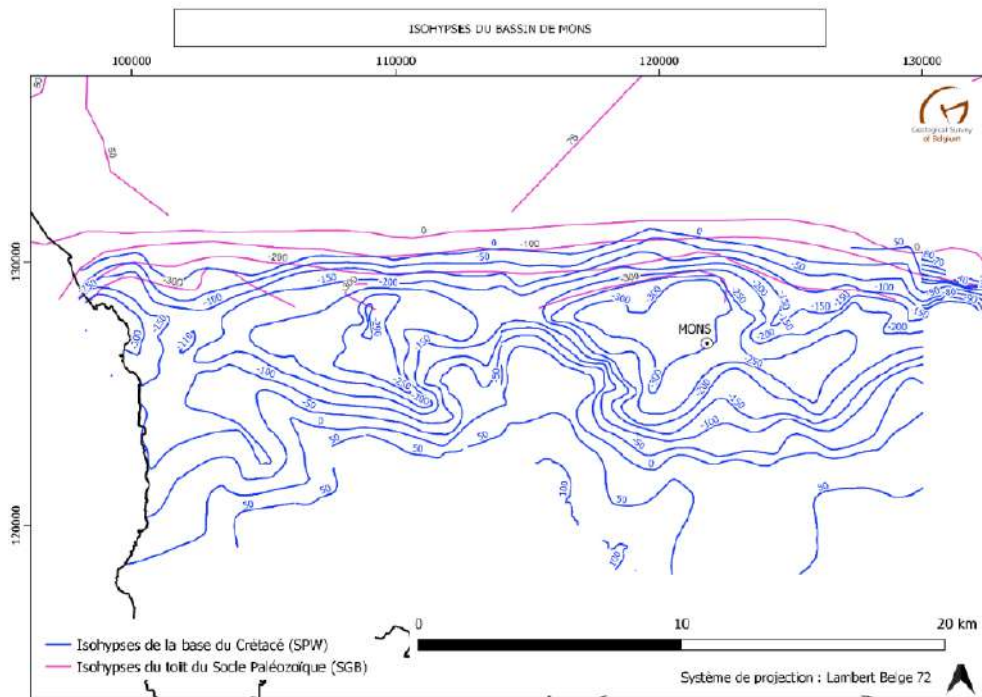


Figure 22: Extension des isohypses de la base du Crétacé (SPW) et des isohypses du toit du Socle Paléozoïque (SGB) dans le Bassin de Mons.

### Recommandations techniques

- Pour des terrains de valeurs de conductivité thermique plus faible, les objectifs de puissance peuvent être atteints de différentes manières tel qu'en adaptant le dimensionnement du système c'est à dire en forant plus profond et/ ou en augmentant les longueurs totales de sondes. Il apparaît primordial que le dimensionnement des systèmes fermés tienne mieux compte à l'avenir des propriétés intrinsèques du sous-sol.
- La "forabilité" des terrains est également un paramètre important à prendre en compte. L'installation de systèmes géothermiques fermés dans des quartzites du Cambrien tels que les formations de Blanmont et de Tubize possèdent d'excellents résultats. Leur potentiel géothermique est très performant (excellente conductivité thermique) mais la mise en oeuvre du forage est plus exigeante. Le délai d'exécution est plus important et les outils de forages sont plus spécifiques, augmentant considérablement le prix du forage au mètre.

#### 4.5.1.B. Systèmes ouverts

La méthode proposée par le BRGM pour la Région centre a été jugée particulièrement intéressante et présente l'avantage de pouvoir être appliquée moyennant adaptation aux spécificités de la Wallonie. Elle n'est en effet pas directement transposable en raison de l'absence de certaines informations, notamment celles concernant les débits spécifiques par aquifère ou la superposition des aquifères. Cette information n'est malheureusement pas disponible sur base des cartes géologiques et hydrogéologiques disponibles à ce jour en Wallonie.

La méthodologie proposée repose sur les étapes suivantes :

- Attribution de débits de production possibles par lithologie sur base des informations définies dans la base de données issues du projet SERAN.
- Croisement avec les données cartographiques de lithologies pour attribuer en chaque cellule une valeur de débit de production possible.
- Détermination de la profondeur de la nappe aquifère/de l'aquifère en se basant sur la carte d'épaisseur de la zone non saturée ou de la profondeur du toit des aquifères.

### Débits de production possibles

Contrairement au cas présenté par le BRGM, il n'y a pas à l'échelle de la Wallonie de données statistiques concernant les débits spécifiques disponibles. Néanmoins, le calcul des débits de production possibles peut être réalisé en utilisant des statistiques sur les conductivités hydrauliques (données disponibles via la Convention SERAN), la formule de Dupuit et des hypothèses sur la hauteur saturée (H) et le rabattement supposé/admissible ( $\Delta$ ) :

$$Q = 1.366 * K * \frac{\Delta(2H - \Delta)}{\log \frac{R}{r}}$$

Où :

- $K$ = la conductivité hydraulique
- $\Delta$ = le rabattement supposé/admissible [m]
- $H$  = la hauteur saturée [m]
- $R$ = le rayon d'action du puits [m]
- $r$ = le rayon du puits [m]

**Tableau 20: Débits de production possibles estimés en fonction du type de lithologie.**

Lithologie	P25_K (m/s)	H (m)	$\Delta$ (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)
Gravier	$1,2 \times 10^{-3}$	10	1	36,8
Sable	$7,8 \times 10^{-5}$	20	2,5	12,0
Craie	$9,5 \times 10^{-6}$	50	5	7,4
Calcaire	$1,1 \times 10^{-5}$	100	5	17,3
Grès	$7,2 \times 10^{-6}$	100	5	11,5
Schisto-gréseux	$1,4 \times 10^{-6}$	100	5	2,2
Schisto-gréseux du Massif du Brabant	$2,7 \times 10^{-6}$	100	5	4,3
Argile	$1,0 \times 10^{-7}$	50	5	0,1

Le Tableau 20 donne le résultat de ce calcul pour les différentes lithologies rencontrées en Wallonie.

Il est important de noter que les débits de production possibles proposés sont des indications et qu'ils sont à utiliser avec précaution. Avant d'implanter un système géothermique ouvert sur un site une étude locale à pompage reste nécessaire. En effet, lors de l'étude SERAN, une forte dispersion des valeurs de conductivité hydraulique a été observée traduisant l'importance de l'hétérogénéité du sous-sol wallon. Chaque site est donc spécifique et les valeurs de débit de production possible doivent donc être définies site par site.

### Croisement avec les données cartographiques sur la lithologie

La carte "Onegeology" permet de définir en chaque point du territoire la géologie existant en surface. En croisant cette information avec les données issues de l'étude SERAN, il est ainsi possible d'associer à chaque point du territoire un débit indicatif de production possible. Les hypothèses utilisées pour établir la correspondance entre les lithologies de la carte "OneGeology" et celles utilisées dans la BD SERAN sont reprises en Annexe D.

La carte "Onegeology" ne donne cependant pas d'information sur les formations géologiques existant sous les formations les plus superficielles. Dans le cas où ces formations superficielles sont peu épaisses, peu perméables et surmontent des formations géologiques perméables, se baser uniquement sur cette carte conduirait à sous-estimer le potentiel géothermique pour les systèmes ouverts. Ce cas de figure se rencontre :

- Dans l'Ouest de la Wallonie, où les sédiments cénozoïques principalement argileux recouvrent partiellement les craies du bassin de la Haine et les calcaires du Tournaisis et de Perulwez-Ath-Soignies. Dans cette zone, les shapefiles définissant le contour des craies du bassin de la Haine et des Masses d'Eau Souterraines RWE013 et RWE060 ont été utilisées pour remplacer la géologie définie dans la carte 'OneGeology'.
- Dans le Sud de la province du Luxembourg où les formations du Sinémurien qui ont un grand potentiel d'exploitabilité sont recouvertes par des formations moins perméables. Pour cette zone, la même lithologie que celle de l'aquifère du Sinémurien est considérée.

En ce qui concerne les alluvions, seules les alluvions de la Meuse et de la Sambre ont été prises en compte et une lithologie de type 'gravier' leur a été associée. Les autres alluvions sont considérées comme présentant un potentiel très faible. Le potentiel pour la géothermie pour ces zones recouvertes d'alluvions est à lier avec la lithologie existant sous les alluvions.

### **Profondeur de la nappe aquifère**

Le critère de profondeur de nappe aquifère a pour objectif de pénaliser les zones dans lesquelles la profondeur des forages nécessaires pour atteindre la nappe ou le toit d'un aquifère est importante. Si le potentiel géothermique du premier horizon géologique est cartographié, les données de profondeurs de la nappe, disponibles à l'échelle de la Wallonie via le projet 'vulnérabilité' peuvent être utilisées. Cependant il est important de noter que la fiabilité de la donnée est variable selon qu'il s'agisse de données en provenance de cartes piézométriques mesurées, de résultats de modèles, ou d'hypothèses.

Dans le cas où le potentiel cartographié est celui d'un aquifère sous couverture, le critère pénalisant n'est plus la profondeur de la nappe du premier horizon géologique mais la profondeur du toit de l'aquifère qui définit la profondeur minimale du forage à réaliser pour atteindre cet aquifère. Dans la zone à l'Ouest de la Wallonie où le potentiel des craies et des calcaires sous couvertures est cartographié, la profondeur de la nappe est estimée sur base des classes d'épaisseurs des sédiments tertiaires et quaternaires définies dans ce projet faute de données plus précises. Si l'épaisseur de ces sédiments est inférieure à 50m, la profondeur du toit de l'aquifère est considérée comme égale à 25 m. Si l'épaisseur est supérieure à 50 m, la profondeur du toit de l'aquifère est considérée comme égale à 50 m.

### **Classification**

Les deux critères de débit de production possible et de profondeur de la nappe aquifère ont été normalisés entre 0 et 1. La valeur de 1 correspond au débit de production le plus important et à la profondeur de nappe aquifère la plus faible respectivement pour les critères de débit de production possible et de profondeur de la nappe aquifère.

Ces deux critères sont ensuite combinés en les additionnant et en les pondérant. Un poids de 90% et de 10 % sont respectivement attribués aux critères de débit de production possible et de profondeur de la nappe aquifère. Ceci traduit la prépondérance de la lithologie et du débit de production possible pour définir les potentialités de la géothermie par systèmes ouverts.

Le potentiel de géothermie pour les systèmes ouverts est alors défini en 5 classes.

### **4.5.2. POTENTIEL NET**

Dans la présente étude, le potentiel net est déterminé en croisant le potentiel technique sous-sol avec les données relatives à la demande en surface estimée comme couvrable par la technologie PACs géothermiques.



Théoriquement pour estimer ce potentiel net la contrainte réglementaire doit aussi être prise en compte pour exclure les zones dans lesquels les systèmes géothermiques ne sont pas autorisés. Cependant en Wallonie, bien que les classes de permis diffèrent en fonction des zones d'implantation des projets, la réglementation n'est pas restrictive sensu stricto et il n'existe pas dans la réglementation de zones d'exclusion à l'implantation d'un projet de géothermie peu profonde. On pourra rappeler que dans le cas des systèmes fermés, depuis octobre 2019, une simple déclaration d'environnement de classe 3<sup>2</sup> est suffisante pour la réalisation des forages destinés à recevoir une sonde géothermique, en dehors d'une zone de protection de captage dans laquelle un permis d'environnement de classe 2 est toujours nécessaire.

Dans le cas des systèmes ouverts, certaines contraintes environnementales peuvent malgré tout avoir une incidence significative sur la faisabilité d'un projet géothermique et notamment si le projet se situe :

- En zone de protection de captage ;
- A proximité d'une zone Natura 2000, d'une réserve naturelle ou d'une réserve forestière ;
- A proximité d'une autre prise d'eau souterraine ou d'un autre système géothermique ouvert ou fermé existant.

De ce fait, seul le critère relatif à la demande énergétique considérée comme couvrable par PACs géothermiques est pris en compte dans l'exercice de cartographie du potentiel net, la réglementation ne représentant pas un critère spatial permettant d'exclure des zones à priori.

### **4.5.2.A. Estimation théorique des besoins en chaud des secteur résidentiel et tertiaire couvrables par des PACs géothermiques**

La première étape pour calculer le potentiel net consiste à estimer de façon théorique la demande énergétique considérée comme couvrable par les PACs géothermiques pour les secteurs résidentiel et tertiaire.

En effet, comme pour les PACs aérothermiques, certaines contraintes de surface, associées principalement aux caractéristiques des bâtiments, peuvent impacter l'applicabilité des PACs géothermiques. Même en considérant un potentiel sous-sol illimité, l'entièreté de la demande en chaud (et en froid) des secteurs résidentiel et tertiaire ne peut être couverte par des PACs géothermiques, en raison par exemple d'un trop faible degré d'isolation des bâtiments. Notons cependant que des essais sont en cours, financés par les institutions européennes, visant à chauffer des bâtiments non ou très peu isolés (comme des immeubles classés) par des PAC géothermiques "haute température" (projet Geo4Civhic).

La part de la demande des secteurs résidentiel et tertiaire susceptible d'être couverte par les PACs géothermiques peut néanmoins être estimée en pondérant la demande brute de ces secteurs. Une telle approche a été développée et appliquée par Deplasse et Associés dans le cadre de l'étude réalisée pour le SPW Energie concernant la détermination du potentiel des PACs aérothermiques. Dans cette récente étude, un certain nombre de critères ont été pris en compte pour estimer le potentiel net des PACs aérothermiques qui correspond au potentiel technique valorisable, compte tenu de certaines contraintes réglementaires, techniques et environnementales.

### **Résumé de la méthodologie développée pour les PACs aérothermiques**

La méthodologie proposée pour les PACs aérothermiques permet de déterminer le potentiel net à partir de la demande des secteurs résidentiel et tertiaire en chaud par commune en y appliquant différentes contraintes de nature à limiter l'implantation des pompes à chaleur dans les bâtiments.

Dans un premier temps, la demande brute ou demande totale en chaud (dénommée « **potentiel brut** ») de l'ensemble des secteurs résidentiels et tertiaires pour chacune des 262 communes wallonnes est estimée à partir de l'analyse de l'ensemble des bilans communaux.

Ensuite, les différentes contraintes considérées comme limitant l'implantation des pompes à chaleur dans 100% des bâtiments résidentiels et tertiaire ainsi que les pondérations à leur attribuer sont définies. Le potentiel brut est alors multiplié par les différents facteurs de pondération pour obtenir le potentiel net. Celui-ci correspond alors au pourcentage de la demande considérée comme couvrable par la technologie PACs aérothermiques. Dans chaque cas, un scénario favorable et un scénario défavorable est pris en compte afin d'obtenir une fourchette avec une borne haute et une borne basse entre lesquelles le potentiel de consommation net se situe.

En plus de l'année 2022, l'estimation du potentiel net a été réalisée aux horizons 2030 et 2050. Pour ce faire, les besoins de chaleurs à ces horizons (« potentiels bruts ») ont été estimés en prenant en compte l'évolution du parc résidentiel (et particulièrement du nombre de logements) et l'évolution du degré d'isolation du parc résidentiel (voir rapport SPW (2022) pour les détails concernant le calcul).

Les contraintes identifiées lors de la détermination du potentiel des PACs aérothermiques correspondent aux contraintes limitant l'application de la technologie à l'ensemble des bâtiments des secteurs concernés. Pour le secteur résidentiel, 4 contraintes techniques distinctes ont été définies :

- Le degré d'isolation
- La température de base
- La puissance électrique demandée
- Le bruit et espace disponible

**Tableau 21 : Ensemble des contraintes, hypothèses et facteurs de pondération pour les scénarios favorables et défavorables définis pour le secteur résidentiel pour les PACs aérothermiques (source : Rapport SPW : Détermination du potentiel des pompes à chaleur aérothermiques à l'échelle des communes wallonnes Secteurs résidentiel & tertiaire (2023)).**

Contrainte	Hypothèses	Méthodologie 2022	Méthodologie 2030	Méthodologie 2050
Isolation du bâti	L'efficacité énergétique des bâtiments doit être suffisante pour atteindre un rendement suffisant des PAC. Les boilers thermodynamiques n'étant pas dépendant du degré d'isolation, ils ont été considérés sur 10% de chaque label.	Les labels A et B sont considérés à 100%		
Température extérieure (+ évolution technologique)	La zone froide de la Wallonie atteignant des températures moyennes néfastes aux PAC, seule une partie des bâtiments en est équipé (en complément d'un autre producteur en hiver).	La zone tempérée est toujours considérée à 100%		
		❖ <b>Cas favorable</b> : la zone froide est considérée à 75%	❖ <b>Cas favorable</b> : la zone froide est considérée à 80%	❖ <b>Cas défavorable</b> : la zone froide est considérée à 60%
Surcharge du réseau électrique	Dans les villes les plus denses, une partie des bâtiments n'a pas accès aux pompes à chaleur étant donné la contrainte de saturation du réseau	35% des bâtiments résidentiels wallons sont considérés comme densément peuplés.		
Bruit et espace disponible	Afin de respecter ces normes, les conseils des auditeurs suivant les différentes typologies sont suivis	❖ <b>Cas favorable</b> : 100% de chaque ville dense a la possibilité de mettre une PAC		
		❖ <b>Cas défavorable</b> : Pour éviter la surcharge du réseau, seulement 70% des bâtiments ont la possibilité de mettre une PAC.		
Bruit et espace disponible	Afin de respecter ces normes, les conseils des auditeurs suivant les différentes typologies sont suivis	100% des maisons 3 et 4 façades sont considérés.		
		❖ <b>Cas favorable</b> : 100% des maisons 1 et 2 façades et 70% des appartements sont considérés.		
Bruit et espace disponible	Afin de respecter ces normes, les conseils des auditeurs suivant les différentes typologies sont suivis	❖ <b>Cas défavorable</b> : 80% des maisons 1 et 2 façades et 50% des appartements sont considérés.		

De la même manière, pour le secteur tertiaire, 4 contraintes techniques distinctes ont été identifiées :

- Le secteur d'affectation
- Le degré d'isolation
- La température de base
- La puissance électrique totale demandée

L'ensemble des contraintes et leur pondération pour le secteur résidentiel et tertiaire sont résumés dans le Tableau 21 et le Tableau 22, respectivement.



**Tableau 22 : Ensemble des contraintes, hypothèses et facteurs de pondération pour les scénarios favorables et défavorables définis pour le secteur tertiaire pour les PACs aérothermiques (source : Rapport SPW : Détermination du potentiel des pompes à chaleur aérothermiques à l'échelle des communes wallonnes Secteurs résidentiel & tertiaire (2023)).**

Contrainte	Hypothèses	Méthodologie 2022	Méthodologie 2030	Méthodologie 2050
<b>Affectation</b>	Ne sont considérés qu'un certain pourcentage de bâtiments par affectation en fonction du profil de consommation	❖ <b>Cas favorable :</b> - Commerces : 100 % - Bureaux : 100 % - Enseignement : 90 % - Santé : 90 % - Culture & sport : 80 %		❖ <b>Cas défavorable :</b> - Commerces : 80 % - Bureaux : 80 % - Enseignement : 70 % - Santé : 70 % - Culture & sport : 60 %
<b>Isolation du bâti</b>	L'efficacité énergétique des bâtiments doit être suffisante pour atteindre un rendement suffisant des PAC.  Répartition du caractère isolé des bâtiments suivant leur période de construction / rénovation	❖ <b>Cas favorable :</b> - Bien isolés : 100% - Moyennement isolé : 50% - Peu/mal isolé : 30%		❖ <b>Cas défavorable :</b> - Bien isolés : 80% - Moyennement isolé : 30% - Peu/mal isolé : 10%
<b>Température extérieure (+ évolution technologique)</b>	La zone froide de la Wallonie atteignant des températures moyennes néfastes aux PAC, seule une partie des bâtiments en est équipé (en complément d'un autre producteur en hiver).	La zone tempérée est toujours considérée à 100%		
		2022 & 2030  ❖ <b>Cas favorable :</b> la zone froide est considérée à 75% ❖ <b>Cas défavorable :</b> la zone froide est considérée à 50%		2050  ❖ <b>Cas favorable :</b> la zone froide est considérée à 80% ❖ <b>Cas défavorable :</b> la zone froide est considérée à 60%
<b>Surcharge du réseau électrique</b>	Dans les villes les plus denses, une partie des bâtiments n'a pas accès aux pompes à chaleur étant donné la contrainte de saturation du réseau	❖ <b>Cas favorable :</b>  100% de chaque ville dense a la possibilité de mettre une PAC		❖ <b>Cas défavorable :</b>  Pour éviter la surcharge du réseau, seulement 70% des bâtiments ont la possibilité de mettre une PAC

### Adaptation de la méthodologie au cas des PACs géothermiques

Dans la présente étude, la méthodologie appliquée aux PACs aérothermiques a été adaptée pour refléter les contraintes spécifiques aux PACs géothermiques. Cet exercice a pour but de déterminer, de façon théorique, la part de la demande pouvant être couverte par les PACs géothermiques en prenant en compte les contraintes de surface, indépendamment du potentiel technique du sous-sol.

La demande brute des secteurs résidentiel et tertiaire prise en compte est la même que celle estimée dans l'étude des PACs aérothermiques pour 2022 et aux horizons 2030 et 2050. Les détails concernant le calcul de cette demande brute (dénommé « potentiel brut ») sont fournis dans le rapport de cette étude aux cha-

pitres 2 et 3, pour les secteurs résidentiel et tertiaire, respectivement.

Les contraintes de surface identifiées comme limitant l'application de la technologie PACs géothermiques dans le secteur résidentiel sont les suivantes :

- Le degré d'isolation
- La puissance électrique demandée
- L'espace disponible

De la même manière, pour le secteur tertiaire, seules 3 contraintes techniques distinctes ont été identifiées:

- Le secteur d'affectation
- Le degré d'isolation
- La puissance électrique totale demandée

Les contraintes retenues pour limiter l'implantation des PACs géothermiques dans les bâtiments résidentiels sont donc liées principalement au degré d'isolation des bâtiments, à la typologie des bâtiments concernés et à la puissance électrique totale demandée. La température extérieure qui était considérée comme une contrainte à prendre en compte pour les PACs aérothermiques est ainsi exclue puisque la technologie PACs géothermiques n'y est pas sensible.

En suivant cette méthodologie, la demande théoriquement couvrable par PACs géothermiques a ainsi été calculée à partir de la demande brute pour les secteurs résidentiel et tertiaire pour 2022 et aux horizons 2030 et 2050. L'ensemble des contraintes et leur pondération pour le secteur résidentiel et tertiaire proposés dans la présente étude pour les PACs géothermiques sont résumés dans le Tableau 23 et le Tableau 24, respectivement. Les résultats de demande couvrable sont présentés en Annexe D pour les secteurs résidentiel et tertiaire pour les 262 communes wallonne.

**Tableau 23 : Ensemble des contraintes, hypothèses et facteurs de pondération pour les scénarios favorables et défavorables définis pour le secteur résidentiel pour les PACs géothermiques (adapté depuis source : Rapport SPW : Détermination du potentiel des pompes à chaleur aérothermiques à l'échelle des communes wallonnes Secteurs résidentiel & tertiaire (2023)).**

Contrainte	Hypothèses	Méthodologie 2022	Méthodologie 2030	Méthodologie 2050
<b>Isolation du bâti</b>	L'efficacité énergétique des bâtiments doit être suffisante pour atteindre un rendement suffisant des PAC.	Les labels A et B sont considérés à 100% → <b>Cas favorable</b> : 30% des autres labels → <b>Cas défavorable</b> : 10% des autres labels		
<b>Surcharge du réseau électrique</b>	Dans les villes les plus denses, une partie des bâtiments n'a pas accès aux pompes à chaleur étant donné la contrainte de saturation du réseau	35% des bâtiments résidentiels wallons sont considérés comme densément peuplés. → <b>Cas favorable</b> : 100% de chaque ville dense a la possibilité de mettre une PAC → <b>Cas défavorable</b> : Pour éviter la surcharge du réseau, seulement 70% des bâtiments ont la possibilité de mettre une PAC		
<b>Typologie des bâtiments</b>	L'applicabilité des PACs géothermiques est fonction de la typologie des bâtiments qui est aussi lié à l'espace disponible pour les sondes et forages.	100% des maisons 3 et 4 façades sont considérés. → <b>Cas favorable</b> : 100% des maisons 1 et 2 façades et 50% des appartements sont considérés. → <b>Cas défavorable</b> : 80% des maisons 1 et 2 façades et 50% des appartements sont considérés.		



**Tableau 24 : Ensemble des contraintes, hypothèses et facteurs de pondération pour les scénarios favorables et défavorables définis pour le secteur tertiaire pour les PACs géothermiques (adapté depuis source: Rapport SPW : Détermination du potentiel des pompes à chaleur aérothermiques à l'échelle des communes wallonnes Secteurs résidentiel & tertiaire (2023)).**

Contrainte	Hypothèses	Méthodologie 2022	Méthodologie 2030	Méthodologie 2050
<b>Affectation</b>	Ne sont considérés qu'un certain pourcentage de bâtiments par affectation en fonction du profil de consommation	→ <b>Cas favorable :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Commerces : 100 %</li> <li>· Bureaux : 100 %</li> <li>· Enseignement : 90 %</li> <li>· Santé : 90 %</li> <li>· Culture &amp; sport : 80 %</li> </ul> → <b>Cas défavorable :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Commerces : 80 %</li> <li>· Bureaux : 80 %</li> <li>· Enseignement : 70 %</li> <li>· Santé : 70 %</li> <li>· Culture &amp; sport : 60 %</li> </ul>		
<b>Isolation du bâti</b>	L'efficacité énergétique des bâtiments doit être suffisante pour atteindre un rendement suffisant des PAC. Répartition du caractère isolé des bâtiments suivant leur période de construction / rénovation	→ <b>Cas favorable :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Bien isolés : 100%</li> <li>· Moyennement isolé : 50%</li> <li>· Peu/mal isolé : 30%</li> </ul> → <b>Cas défavorable :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Bien isolés : 80%</li> <li>· Moyennement isolé : 30%</li> <li>· Peu/mal isolé : 10%</li> </ul>		
<b>Surcharge du réseau électrique</b>	Dans les villes les plus denses, une partie des bâtiments n'a pas accès aux pompes à chaleur étant donné la contrainte de saturation du réseau	→ <b>Cas favorable :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 100% de chaque ville dense a la possibilité de mettre une PAC</li> </ul> → <b>Cas défavorable :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Pour éviter la surcharge du réseau, seulement 70% des bâtiments ont la possibilité de mettre une PAC</li> </ul>		

#### 4.5.2.B. Estimation théorique de la densité de la demande en chaud des secteur résidentiel et tertiaire couvrable par des PACs géothermiques

Ensuite, l'approche « Top Down » (décrite précédemment, voir 2.3.3) est appliquée afin de distribuer les besoins de chaleur couvrables estimés par commune, par secteur et par hectare pour obtenir la densité de demande de chaleur sectorielle.

Pour ce faire, les besoins de chaleur couvrables estimés par commune sont désagrégées au niveau de cellules de 100 m par 100 m (1ha) pour les secteurs résidentiel et tertiaire en utilisant les données d'emprise au sol des bâtiments (basées sur les données cadastrales). L'algorithme utilisé pour réaliser cette étape se base sur une distribution pondérée de la demande (par commune) en fonction de l'emprise au sol des bâ-

timents des secteurs analysés. On obtient ainsi la visualisation pour les secteurs résidentiel et tertiaire de la densité de la demande couvrable par hectare sur l'ensemble de la Wallonie.

A noter que les emprises spatiales actuelles des différents bâtiments ont été utilisées pour estimer la densité de demande de chaleur aux horizons 2030 et 2050, la prise en compte de l'évolution de l'emprise au sol des divers bâtiments étant considérée comme au-delà du périmètre d'étude de la présente étude.

#### 4.5.2.C. Estimation du potentiel net

Le potentiel net est déterminé en croisant les cartes de densité de demande couvrable avec les cartes de potentiel technique sous-sol, en appliquant les règles suivantes :

- Si la demande couvrable est inférieure au potentiel technique sous-sol alors le potentiel net est égal à la demande.
- Si au contraire la demande couvrable est supérieure au potentiel technique sous-sol, alors ce dernier est un facteur limitant et le potentiel net est considéré comme étant égal au potentiel technique sous-sol.
- Si le potentiel technique sous-sol est inconnu le potentiel net est inconnu.

#### 4.5.3. CROISEMENT DES CARTES DE DEMANDE DE CHALEUR ET DE POTENTIAL TECHNIQUE SOUS-SOL

En plus des cartes classiques de potentiel technique sous-sol et net, une comparaison qualitative de (1) la densité de demande en surface et (2) le potentiel technique sous-sol aussi bien pour les systèmes fermés qu'ouverts a été réalisée pour le secteur tertiaire.

Ce type d'exercice permet de mettre en évidence des zones particulièrement intéressantes pour le développement de systèmes géothermiques peu profonds (« points chauds »). Elle souligne aussi les zones géographiques où le potentiel est relativement faible par exemple en raison d'une demande ou d'un potentiel technique sous-sol faible (« points froids »).

Pour ce faire, la densité de demande de chaleur et de potentiel technique sous-sol doivent dans un premier temps être qualifiés selon 4 classes : faible, moyen(ne), élevé(e), très élevé(e). Ensuite, les cartes de potentiel technique sous-sol et de densité de demande ainsi classifiées sont combinées, cellule par cellule, afin d'avoir une valeur d'output correspondant à un code couleur pour chaque combinaison, comme illustré en Figure 23 .

Ainsi les zones apparaissant en violet foncé sur les cartes croisées sont qualifiées de points chauds et correspondent aux zones particulièrement intéressantes pour la géothermie peu profonde, elles présentent une densité de demande très élevée et le potentiel y est aussi très élevé.

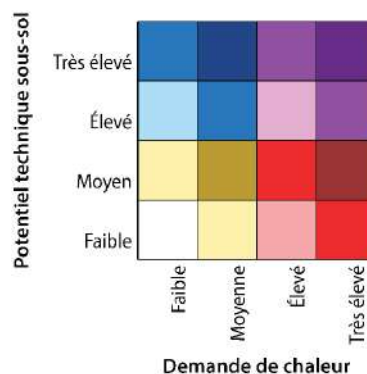


Figure 23 : Combinaison des cartes de potentiel technique sous-sol et de densité de demande pour obtenir des cartes croisées de potentiel sous-sol versus demande de chaleur

## 5. CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL GÉOTHERMIQUE PEU PROFOND EN WALLONIE

---

### 5.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre les points auxquels il est nécessaire de faire attention lors de la cartographie du potentiel de la géothermie peu profonde sont rappelés. Les cartes ont été réalisées en se basant sur les méthodologies pour les systèmes fermés et ouverts détaillées dans le chapitre précédent et sont présentées en Annexes D et E. Les cartes présentant un intérêt particulier pour la compréhension de l'évolution du développement de la géothermie peu profonde sont ensuite discutées.

### 5.2. POINTS D'ATTENTION POUR LA CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL DE LA GÉOTHERMIE PEU PROFONDE

#### 5.2.1. STRATÉGIE DE CARTOGRAPHIE ET CONTENU DES CARTES

Les stratégies à utiliser pour cartographier le potentiel de la géothermie peu profonde ainsi que le contenu des cartes dépendent de l'objectif global recherché. Quand un exercice de cartographie est réalisé, les facteurs principaux influençant les méthodes de travail et le contenu des cartes sont :

- Les types de systèmes géothermiques (e.g. systèmes fermés, systèmes ouverts) ;
- Les contraintes et les besoins régionaux ;
- La couverture géographique ;
- Les groupes cibles et les utilisations visées (e.g. : instruments politiques ou outils d'aide à la décision pour les acteurs)

La stratégie de cartographie reflète notamment la différence entre les cartes géo-scientifiques et les cartes pouvant être utilisées comme outil décisionnel. Dans la présente étude, différents types de cartes ont été réalisées.

Dans un premier temps des cartes géo-scientifiques présentant les valeurs clés soutenant le calcul du potentiel de la géothermie peu profonde ont été réalisées (e.g. conductivité thermique moyenne en fonction des lithologies principales rencontrées en Wallonie, débits de production possibles et profondeurs de la zone saturée des aquifères).

Ensuite, des cartes à but décisionnel ont été générées. Elles représentent quant à elles l'interprétation des cartes géo-scientifiques en tenant compte de la présence ou absence de contraintes réglementaires et des contraintes de demande en surface. A noter que ce dernier type de cartes peut changer drastiquement en traversant une frontière, en fonction des conditions aux limites régionales et nationales.

A signaler que les cartes à but décisionnel représentent aussi un outil de communication intéressant utilisables par les autorités locales par exemple pour promouvoir la géothermie peu profonde auprès du grand public et des investisseurs.

#### 5.2.2. UTILISATEURS VISÉS

Ce sont les utilisateurs finaux à qui s'adressent les cartes qui déterminent le contenu et l'échelle des cartes produites. Lors de la préparation des stratégies de cartographie l'accent a été mis du côté de l'utilisateur. La cartographie du potentiel de la géothermie peu profonde a pour but de fournir un outil d'aide à la décision, destiné au grand public, maîtres d'œuvres (bureaux d'études, architectes) et maîtres d'ouvrages afin qu'ils puissent évaluer la pertinence d'installer des systèmes géothermiques ouverts ou fermés lors d'un choix énergétique. Les informations représentées sur les cartes ont un caractère indicatif, une étude

de faisabilité réalisée par à un bureau d'études spécialisé sera nécessaire afin de déterminer la ressource localement.

Les utilisateurs visés pour les cartes géo-scientifiques sont principalement les bureaux d'études et experts sous-sol. Les cartes à but décisionnel et promotionnel les utiles sont quant à elles destinées aux autorités locales et décideurs politiques régionaux, aux investisseurs et au grand public.

### **5.2.3. PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES**

Les incertitudes relatives principalement au sous-sol ont été prises en compte dans les stratégies de cartographie et les cartes dérivées. Les cartes ou les ensembles de données produites contiennent des indications sur l'incertitude relative aux données. Par exemple, des classes de conductivités thermiques ont été fournies plutôt que des valeurs uniques pour les lithologies principales.

Ce rapport détaille de façon aussi détaillée que possible l'élaboration de cartes (tant géo-scientifiques qu'à visée décisionnelle) afin de décrire l'incertitude des cartes livrées. Seuls l'ensemble des deux (i.e., les cartes et les notes explicatives) permet un réel transfert des connaissances vers les utilisateurs.

### **5.2.4. DURABILITÉ ET POTENTIEL D'UTILISATION**

De nombreux projets sont confrontés au défi de préserver les interfaces Web établies (cartes, ensembles de données et systèmes d'aide à la décision) après l'expiration du financement dans la phase post-projet. La durabilité post-projet des cartes produites dans ce projet est considérée comme une priorité. A ce titre, le SPW dispose de tous les éléments pour mettre à jour les cartes générées si de nouvelles données sont disponibles dans le futur et est responsable de leur distribution.

## **5.3. OUTIL UTILISÉ POUR LA CARTOGRAPHIE**

Le Dynamic Energy Atlas (détaillé en Annexe A) a été utilisé pour réaliser la cartographie du potentiel. Cet outil a déjà permis de cartographier le potentiel de la géothermie peu profonde en Flandre. Cependant, comme tenu de l'absence d'un modèle 3D du sous-sol en Wallonie, un module complémentaire a été développé pour permettre l'adaptation de l'outil original aux besoins de la Wallonie. Ce module permet le traitement spécifique des données disponibles et collectées en Wallonie.

L'outil permet, entre autres, de générer des cartes de densité de demande énergétique par secteurs ou par typologie de bâtiments, de potentiel technique sous-sol, de potentiel net et des cartes croisées à partir de données d'entrée dynamique de divers formats. La Figure 24 illustre l'interface utilisateur du DEA dont dispose désormais le SPW pour générer et mettre à jour les cartes de potentiel.

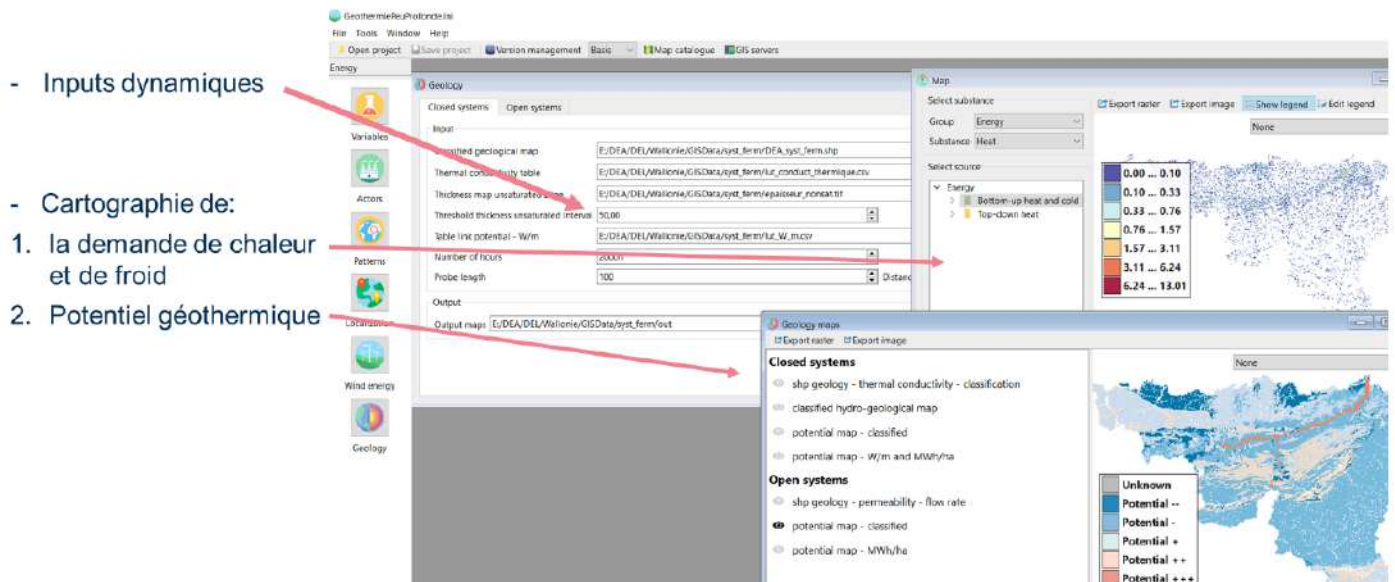


Figure 24: Illustration de l'interface utilisateur du DEA incluant le module complémentaire développé pour permettre la cartographie du potentiel en Wallonie.

## 5.4. RÉSULTAT DE LA CARTOGRAPHIE

### 5.4.1. CARTES ET NOTICES

Les résultats du projet incluent une composante dynamique puisqu'ils sont dépendants de paramètres choisis par l'utilisateur du DEA. En effet, certains paramètres d'entrée sont ajustables, permettant, par exemple, à l'utilisateur de générer des cartes supposant un nombre d'heures d'utilisation variable pour les systèmes de géothermie peu profonde. Les cartes réalisées ont donc été livrées au format GIS et .pdf au SPW. Les cartes ainsi que leur notice sont présentées en Annexes D et E. La méthodologie et les hypothèses principales faites pour les réaliser sont détaillées dans la section « Méthodologies pour la détermination des potentiels en Wallonie ». Les fichiers utilisés pour réaliser les cartes ont été livrés sous format modifiable avec un accès non protégé à l'ensemble des cellules.

### 5.4.2. FOCUS SUR QUELQUES POINTS MIS EN ÉVIDENCE PAR LES CARTES

#### 5.4.2.A. Densité de demande

La carte de densité de demande de chaleur totale (Figure 25) met en évidence le fait que la demande est fortement concentrée le long du trajet de la Sambre et Meuse. Cette zone est aussi la zone où la demande de chaleur des secteurs résidentiel et tertiaire est la plus élevée (Figure 26 et Figure 27). Au sud du sillon Sambre et Meuse, la demande est plus limitée. Ceci ne signifie pas pour autant que le potentiel de la géothermie est inexistant car les systèmes fermés sont particulièrement bien adaptés au secteur résidentiel qui est largement représenté aussi dans cette région.



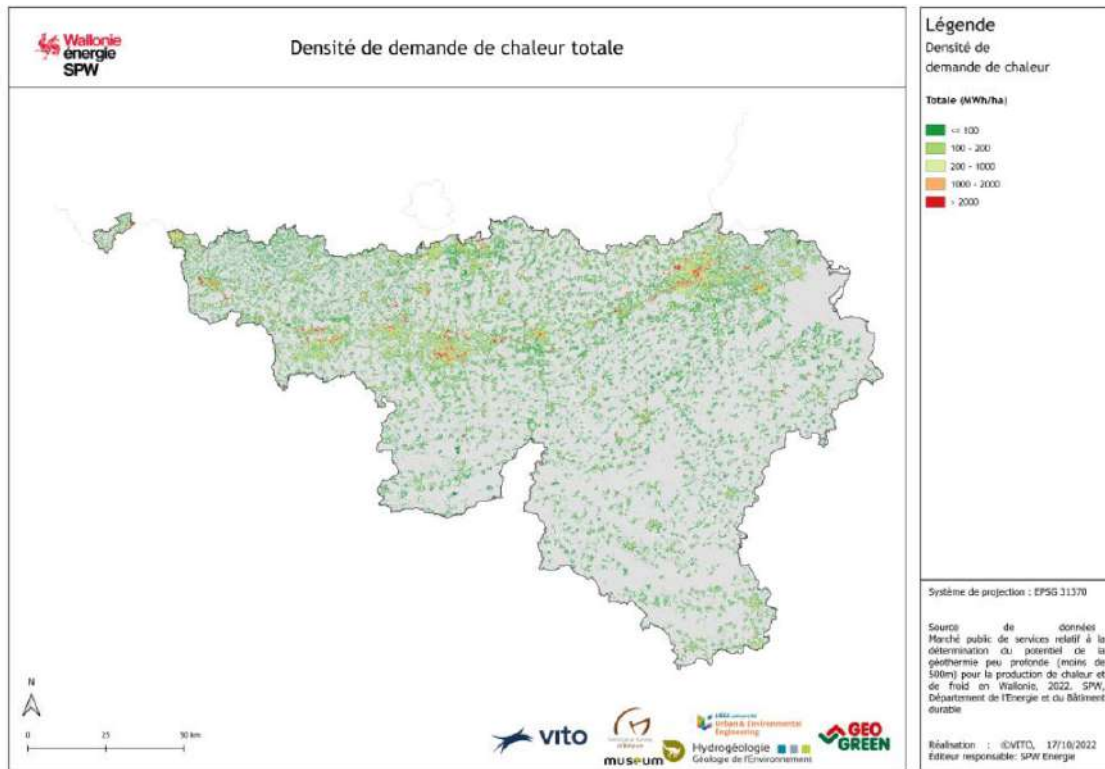


Figure 25: Carte de densité de demande de chaleur totale.

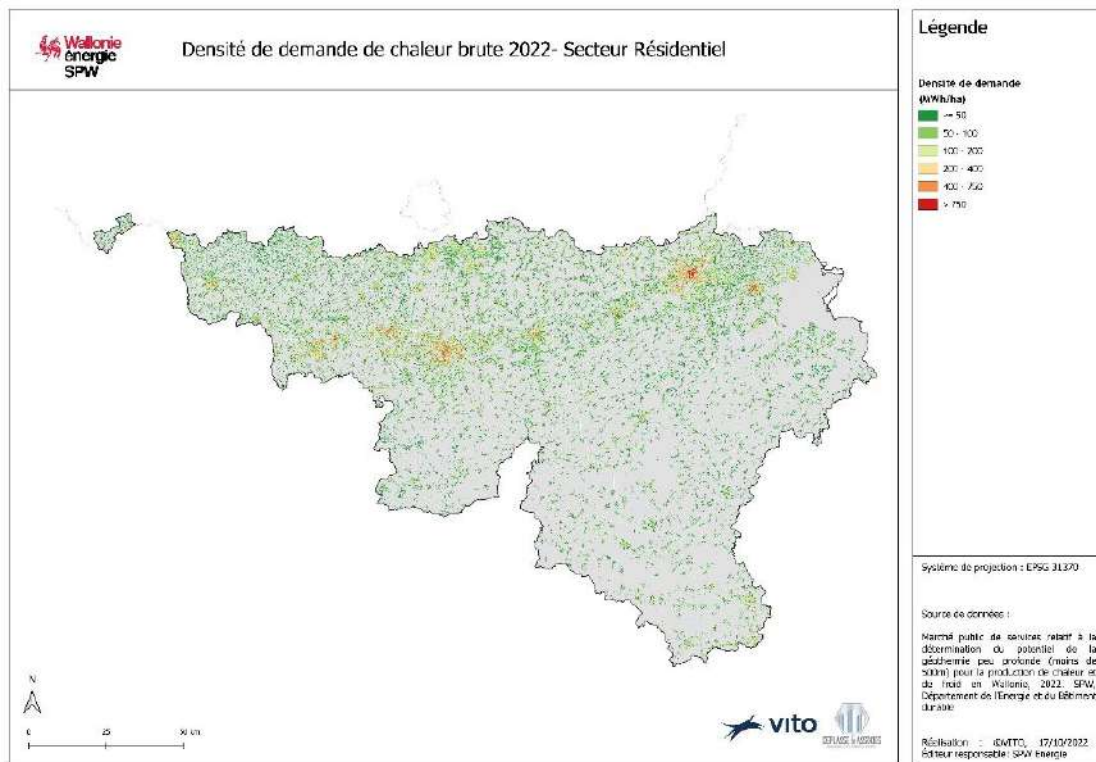


Figure 26: Carte de densité de demande de chaleur brute du secteur résidentiel en 2022.

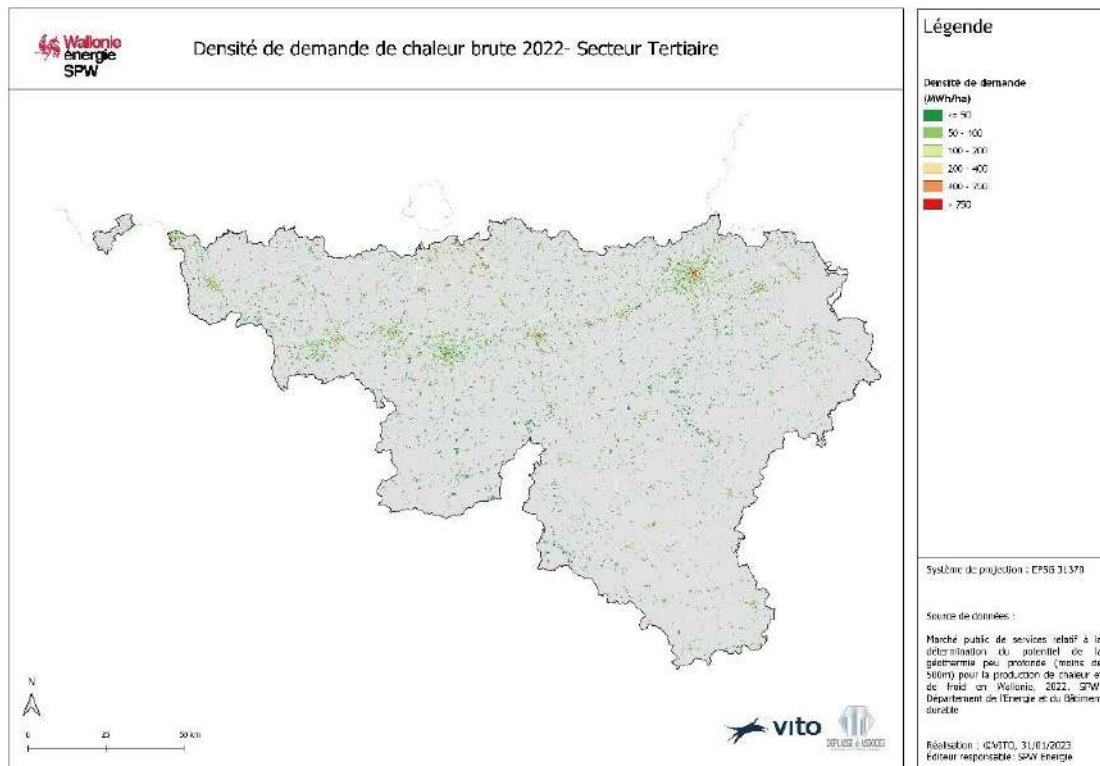


Figure 27: Carte de densité de demande de chaleur brute du secteur tertiaire en 2022.

#### 5.4.2.B. Potentiel technique sous-sol

##### Systemes fermés

La carte en Figure 28 illustre le fait que la géothermie peu profonde a un potentiel favorable sur la majorité du territoire wallon. Quelques zones très limitées (représentées en bleu foncé) ont un potentiel qualifié de plus limité, en raison de la présence de lithologies appartenant à la Classe A ( $\lambda < 2,2 \text{ W/m/K}$ ) ayant une épaisseur supérieure à 50 m et non saturée. Sur le reste du territoire, l'installation de systèmes de géothermie peu profonds présente un potentiel favorable à extrêmes favorable. Cette carte souligne le fait que la géothermie peu profonde doit être considérée comme une solution énergétique intéressante sur quasi toute la Wallonie.

Le potentiel technique sous-sol minimal estimé est de l'ordre de 500 MWh/ha dans les zones où la classe de conductivité thermique appartient à la classe A non saturée et présentant une épaisseur supérieure à 50m. Le valeur moyenne maximale est estimé à 1100 MWh/ha dans les zones ou la conductivité thermique appartient à la classe A saturée et dont l'épaisseur est inférieure à 50m ou à la classe B. A l'exclusion des zones considérées comme les moins favorables, la valeur estimée du potentiel technique sous-sol est donc d'environ 1000 MWh/ha.

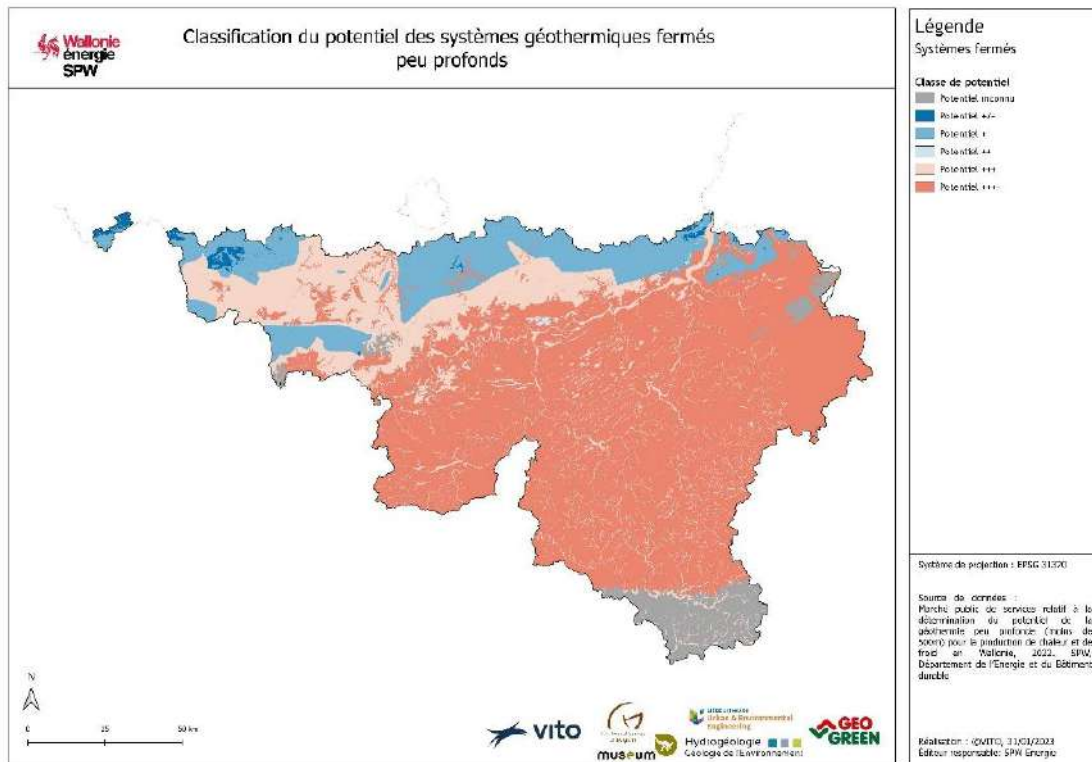


Figure 28: Classification du potentiel des systèmes géothermiques fermés peu profonds en Wallonie selon 6 classes de potentiel.

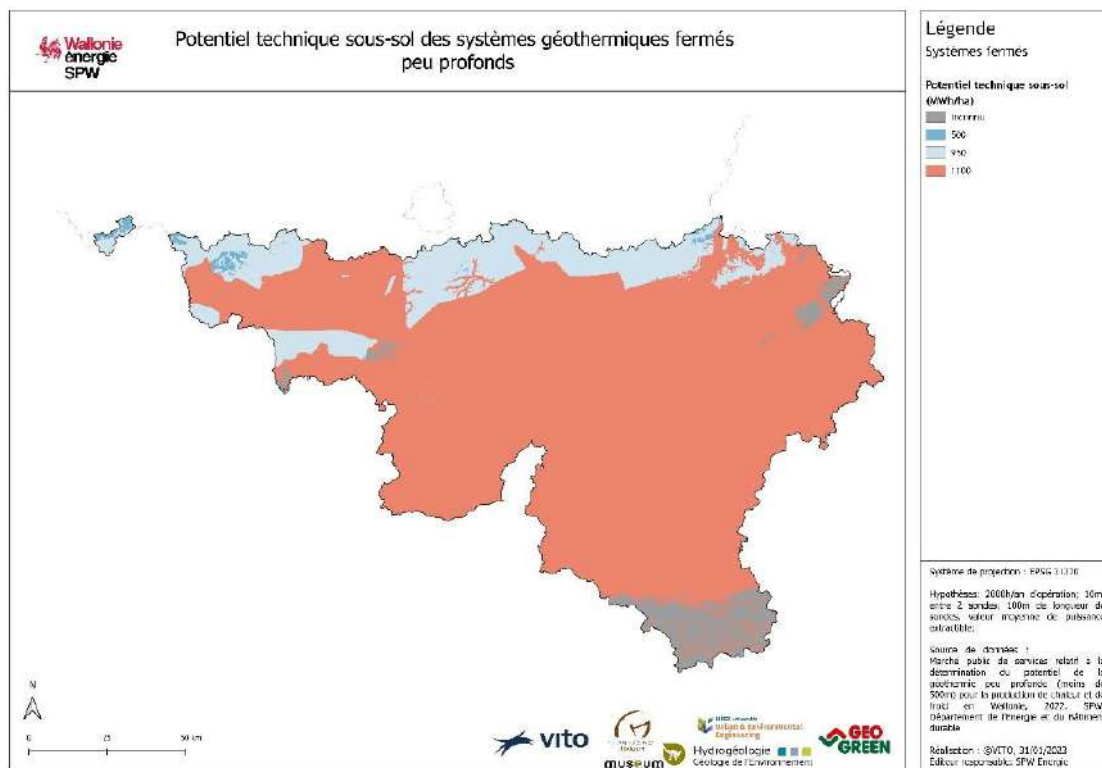
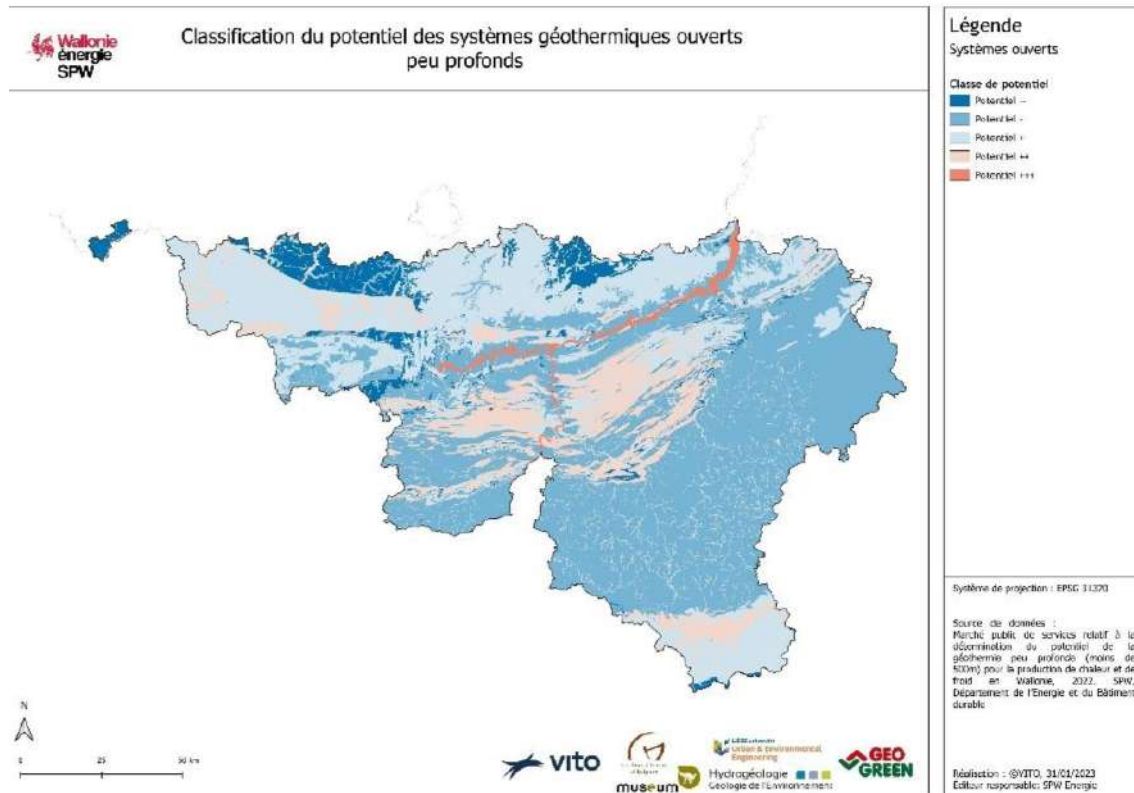


Figure 29: Carte de potentiel technique sous-sol des systèmes géothermiques fermés peu profonds en Wallonie estimé en MWh/ha. Les hypothèses suivantes ont été faites : nombre d'heures d'utilisation annuel fixé à 2000h, puissance d'extraction fixée à 25 W/m pour la classe A ayant une épaisseur supérieure à 50 m non saturée, 47,5 W/m pour la classe A saturée ayant une épaisseur supérieure à 50 m et 55 W/m pour la classe A ayant une épaisseur inférieure à 50 m et la classe B, une longueur de sonde de 100m et en incluant le fait qu'une surface de 100m<sup>2</sup> nécessaire autour de chaque sonde.

### Systèmes ouverts

La carte présentée en Figure 30 montre que le potentiel des systèmes ouverts est beaucoup plus variable que celui des systèmes fermés sur le territoire wallon. En effet, alors que le potentiel des systèmes fermés était favorable à extrêmement favorable sur l'ensemble de la Wallonie, il existe des zones clairement moins favorables pour l'installation de systèmes ouverts. Les différences de débit de production possible sont la cause principale de cette large hétérogénéité de potentiel (Figure 31). Par exemple, le long de la Sambre et de la Meuse le potentiel est le plus favorable en raison de la présence de graviers fluviatiles associés aux débits de production les plus élevés à une profondeur très intéressante.



**Figure 30: Classification du potentiel des systèmes géothermiques ouverts peu profonds en Wallonie selon 5 classes de potentiel.**

Le potentiel technique sous-sol minimal estimé est proche de 0 MWh/ha dans les zones où les débits de production sont extrêmement faibles et est proche de 250 MWh/ha dans les zones les plus favorables. Bien que cette valeur maximale soit inférieure à celle estimée pour les systèmes fermés, cela ne signifie pas que l'installation de systèmes ouverts présente un intérêt moindre. En effet, dans les zones où le potentiel est qualifié de favorable pour les systèmes ouverts il y a lieu de considérer cette option. En effet, pour rappel, leur installation représente un investissement moindre par rapport à un système fermé de puissance équivalente en raison de la capacité d'un doublet géothermique à produire la même quantité d'énergie que 20 à 100 sondes géothermiques de 100 m de profondeur. Leur performance énergétique sera aussi bien supérieure associée à des coûts opérationnels plus bas que ceux des systèmes fermés.



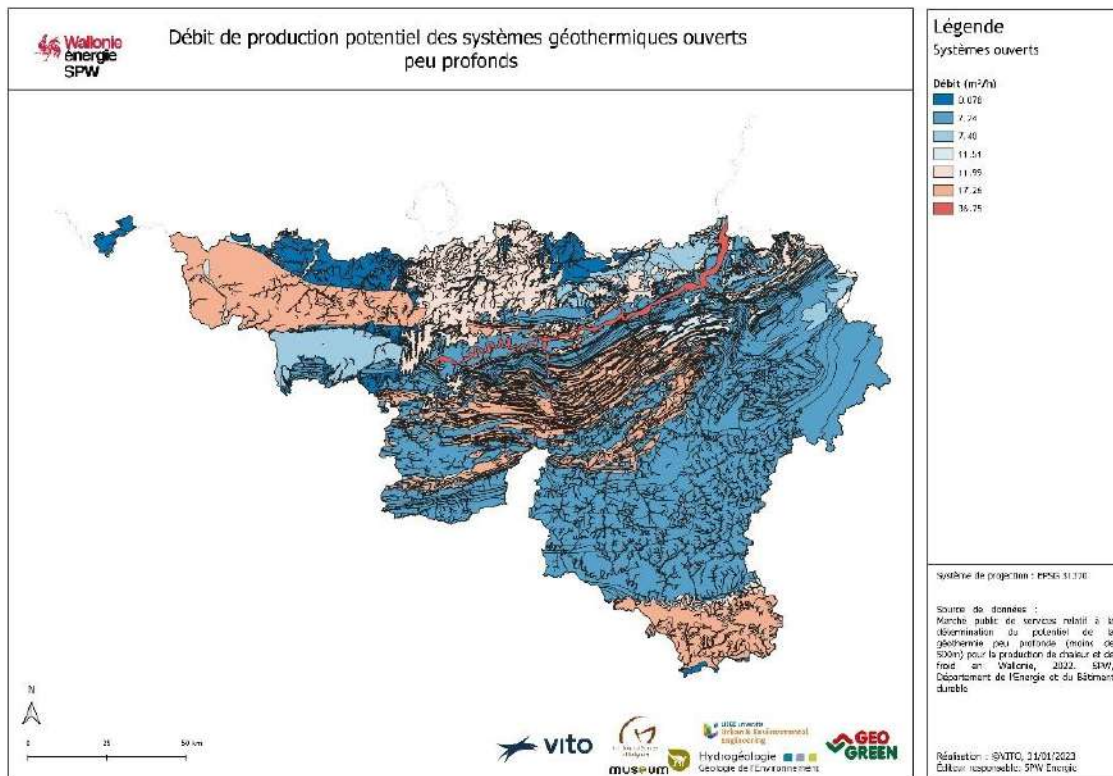


Figure 31: Carte de débit de production pour les systèmes géothermiques ouverts peu profonds en Wallonie.

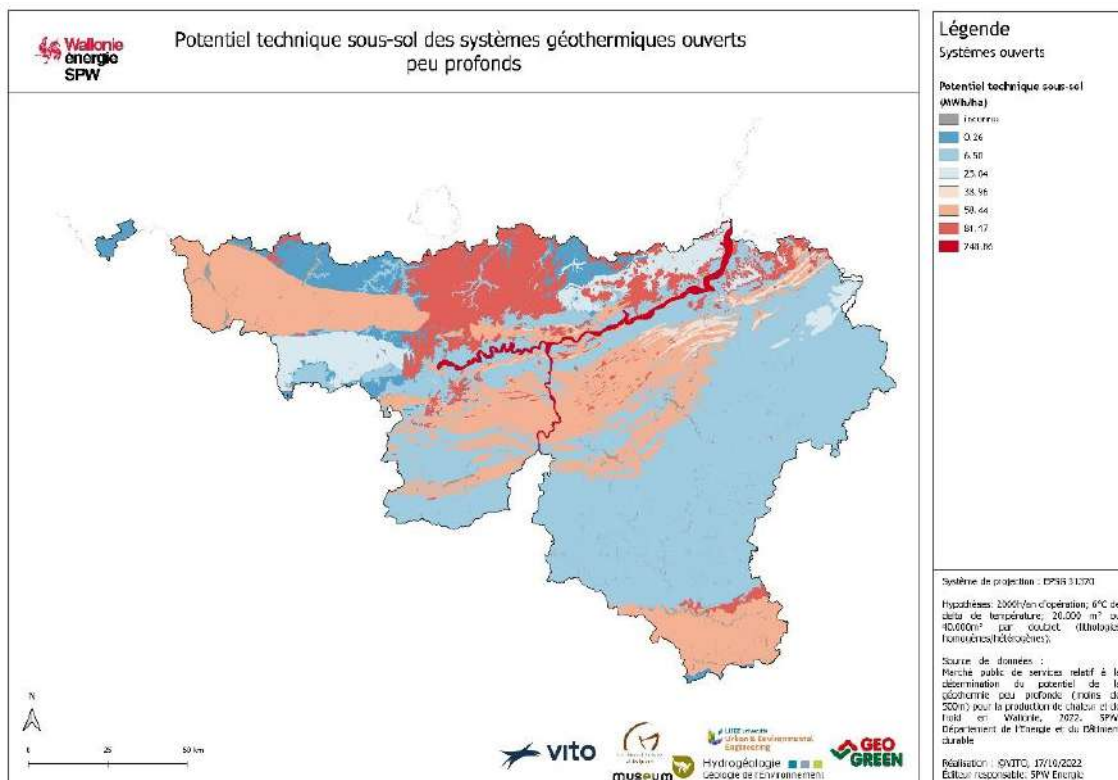
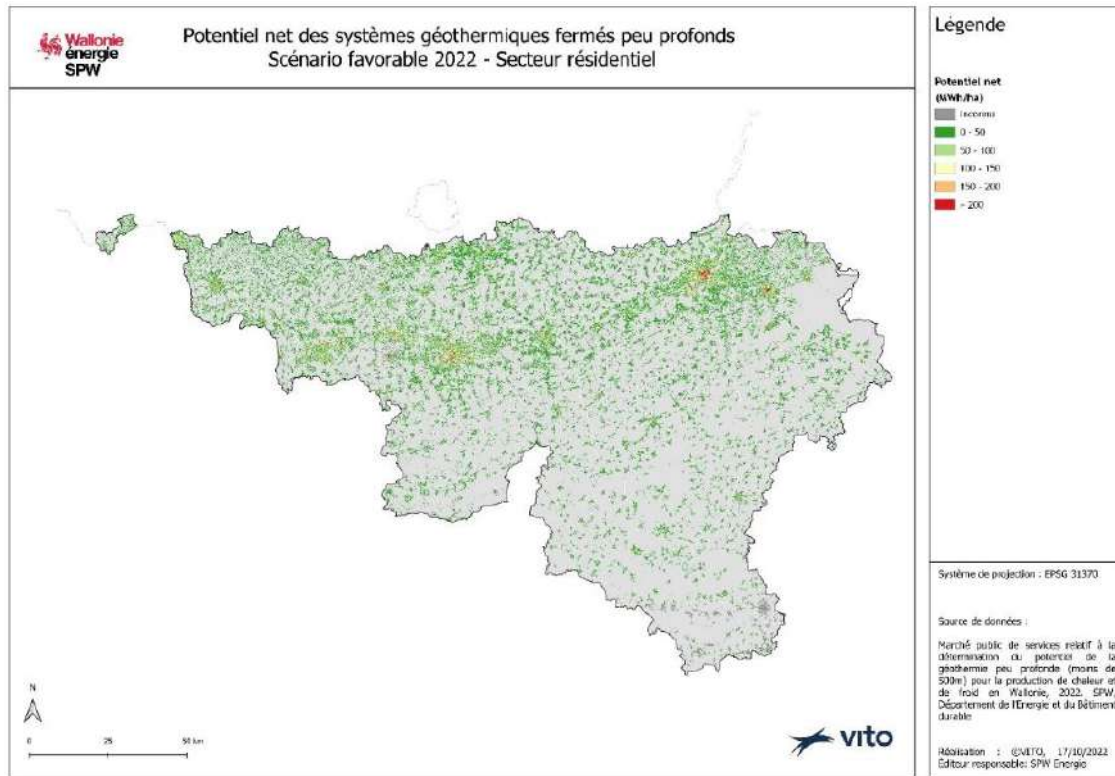


Figure 32: Carte de potentiel technique sous-sol des systèmes géothermiques ouverts peu profonds en Wallonie estimé en MWh/ha, sur base des hypothèses suivantes : nombre d'heures d'utilisation annuel fixé à 2000h, un delta de température de 6°C, la densité et la capacité calorifique sont celles de l'eau pure fixées à 1000 kg/m³ et 4200 J/kg/K. De plus, pour les lithologies homogènes la surface nécessaire à l'installation d'un doublet est supposée égale à 20.000m² et à 40.000 m² pour les lithologies hétérogènes.



### 5.4.2.C. Potentiel net

#### Systemes fermés/ Secteur résidentiel



**Figure 33: Carte du potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds en Wallonie estimé en MWh/ha pour le scénario 2022 favorable – Secteur résidentiel.**

A l'exception des zones où le potentiel technique sous-sol est inconnu, le potentiel technique sous-sol est toujours supérieur à la demande du secteur résidentiel, ce qui signifie que l'installation de systèmes de géothermie fermés peu profonds est une option technique à envisager partout lors de choix de solutions énergétiques pour ce secteur. Le potentiel net correspond à la demande couvrable par PACs, il est simplement considéré comme inconnu dans les zones où les données collectées ne permettent pas de déterminer le potentiel technique sous-sol des systèmes fermés. La Figure 33 présente, pour le secteur résidentiel, l'exemple du potentiel net pour les systèmes géothermiques fermés peu profonds.

Systèmes fermés et ouverts/ Secteur Tertiaire

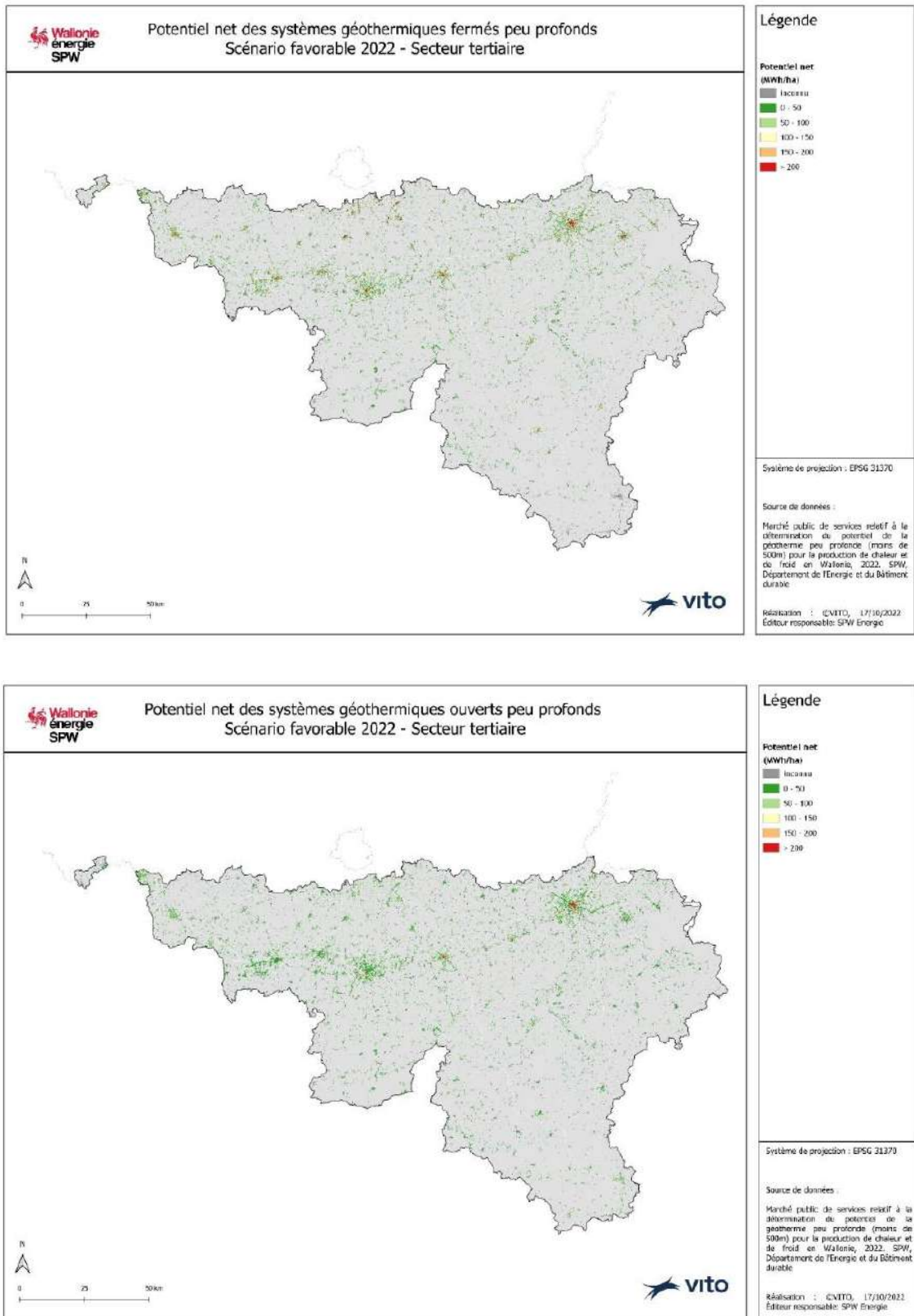


Figure 34: Carte du potentiel net des systèmes géothermiques fermés (en haut) et ouverts (en bas) peu profonds en Wallonie estimé en MWh/ha pour le scénario 2022 favorable- Secteur tertiaire.

Comme pour le secteur résidentiel, à l'exception des zones où le potentiel technique sous-sol est inconnu, le potentiel technique sous-sol des systèmes fermés est toujours supérieur à la demande du secteur tertiaire. La géothermie peu profonde est donc une option technique à envisager lors de choix de solutions énergétiques pour ce secteur. Là encore, le potentiel net du secteur résidentiel correspond à la demande couvrable par PACs, il est simplement considéré comme inconnu dans les zones où les données collectées ne permettent pas de déterminer le potentiel technique sous-sol. La Figure 34 (en haut) présente, pour le secteur tertiaire, l'exemple du potentiel net pour les systèmes géothermiques fermés peu profonds dans le cas du scénario favorable 2022.

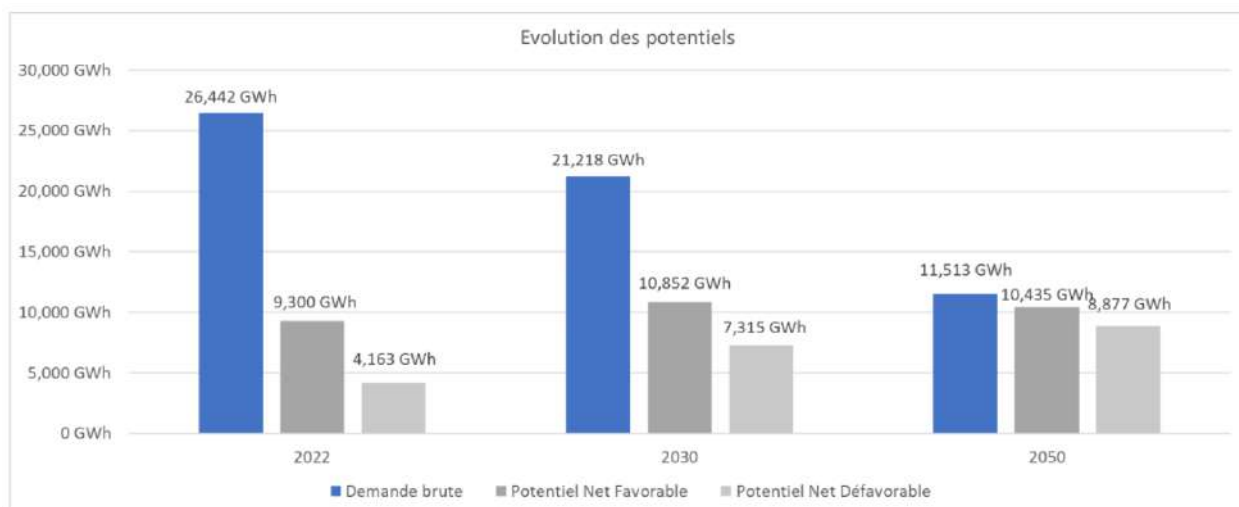
La Figure 34 (en bas) présente quant à elle le potentiel net pour les systèmes géothermiques ouverts. Le potentiel des systèmes ouverts est le plus intéressant autour de la région Sambre et Meuse là où les graviers fluviaux sont présents. Il est alors supérieur ou égal à la demande couvrable estimée des bâtiments tertiaires. Cependant, dans les zones où les graviers sont absents, le potentiel des systèmes ouverts (basés sur l'hypothèse de doublets) est inférieur à la demande. Ils ne sont capables de couvrir qu'une part de celle-ci. Les systèmes fermés représentent une alternative intéressante.

**Potentiel net des secteurs résidentiel et Tertiaire à l'échelle de la Wallonie**

Le DEA permet d'analyser les cartes de potentiel net obtenues et d'estimer le potentiel net global de la géothermie peu profonde en Wallonie pour les secteurs résidentiel et tertiaire pour les différents scénarii envisagés. Les résultats de cette analyse sont présentés pour le secteur résidentiel en prenant en compte les systèmes fermés et dans le pour le secteur tertiaire pour les systèmes fermés et ouverts.

**Tableau 25 : Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds – Secteur Résidentiel.**

Scenario	2022		2030		2050	
	Favorable	Défavorable	Favorable	Défavorable	Favorable	Défavorable
Demande brute (GWh)	26442		21218		11513	
Demande couvrable (GWh)	9594	4309	11194	7560	10765	9176
Potentiel Net (GWh)	9300	4163	10852	7315	10435	8877

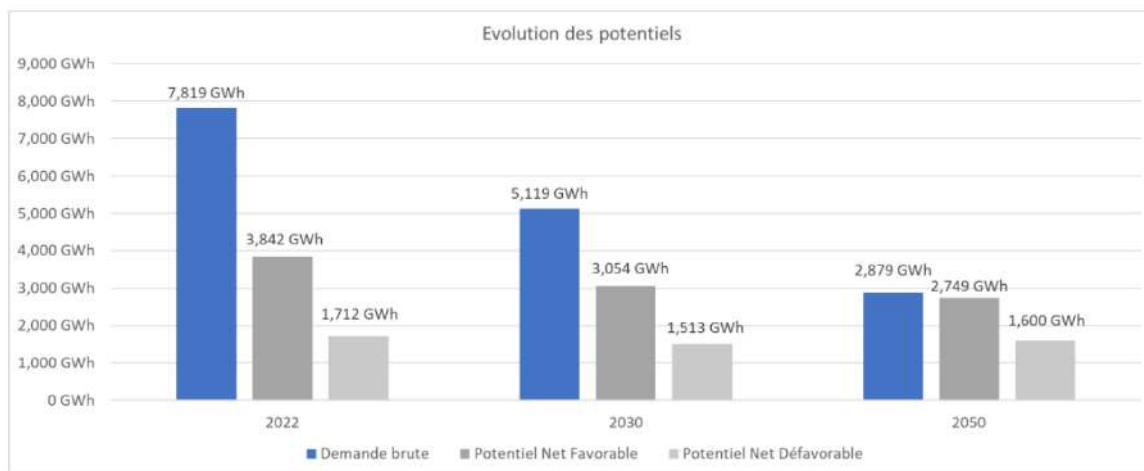


**Figure 35 : Evolution des potentiels des systèmes géothermiques fermés peu profonds du secteur résidentiel - 2022-2030-2050 comparée à la demande brute du secteur pour le chauffage.**

**Tableau 26 : Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profond – Secteur Tertiaire.**

	2022		2030		2050	
Scenario	Favorable	Défavorable	Favorable	Défavorable	Favorable	Défavorable
Demande brute (GWh)	7819		5119		2879	
Demande couvrable (GWh)	3933	1755	3126	1552	2815	1641
Potentiel Net (GWh)	3842	1712	3054	1513	2749	1600

**Figure 36 : Evolution des potentiels des systèmes géothermiques fermés peu profonds du secteur tertiaire - 2022-2030-2050 comparée à la demande brute du secteur pour le chauffage.**



	2022		2030		2050	
Scenario	Favorable	Défavorable	Favorable	Défavorable	Favorable	Défavorable
Demande brute (GWh)	7819		5119		2879	
Demande couvrable (GWh)	3933	1755	3126	1552	2815	1641
Potentiel Net (GWh)	1746	1066	1545	978	1452	1017

**Tableau 27 : Potentiel net des systèmes géothermiques ouverts peu profond – Secteur Tertiaire.**

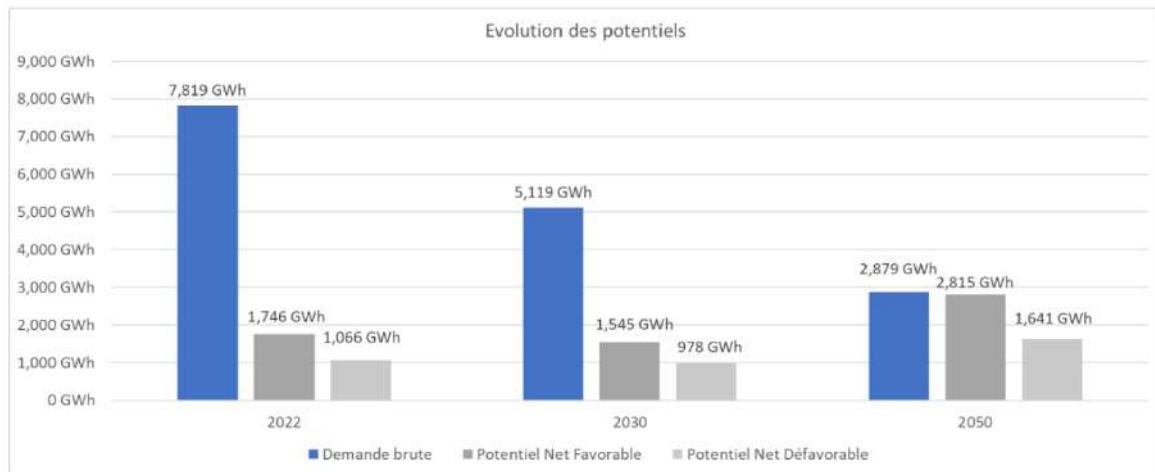


Figure 37 : Evolution des potentiels des systèmes géothermiques ouverts peu profonds du secteur tertiaire - 2022-2030-2050 comparée à la demande brute du secteur pour le chauffage.

#### 5.4.2.D. Cartes croisées

En plus des cartes de potentiel technique sous-sol et net, des cartes croisées peuvent être réalisées. Elles mettent en évidence 1/ des zones particulièrement intéressantes pour le développement de systèmes géothermiques peu profonds (« points chauds ») et 2/ des zones moins intéressantes en raison d'une demande ou d'un potentiel technique sous-sol faible (« points froids »).

Les cartes sont générées en croisant 2 cartes :

1. Une carte du potentiel net des systèmes fermés ou ouverts
2. Une carte de demande de chaleur ou de froid

Les cartes croisées sont élaborées en deux étapes :

- Dans un premier temps, les deux cartes d'entrée sont classées au moyen de la méthode des ruptures naturelles de Jenks (Jenks, 1967, McMaster 1997) en 4 catégories : mauvaise, limitée, bonne et très bonne
- Par la suite, les cartes catégorisées sont combinées au moyen d'une superposition SIG, pour distinguer les types sous forme d'une matrice 4 x 4

Quatre catégories générales sont mises en évidence par le biais de quatre couleurs principales :

- Catégorie violette : emplacements à forte à très forte demande et fort à très fort potentiel net.
- Catégorie rouge : emplacements à potentiel net élevé à très élevé mais limité à une demande moyenne
- Catégorie bleue : emplacements à demande forte à très forte mais potentiel net limité à moyen
- Catégorie jaune : emplacements avec à la fois un potentiel net et une demande limitée à moyens

Bien sûr, les emplacements de la catégorie violette sont mis en évidence comme des emplacements intéressants pour poursuivre ou encourager le développement d'installations d'énergie géothermique peu profondes.

#### Systemes ouverts / Secteur tertiaire

Les cartes croisées du potentiel technique sous-sol des systèmes ouverts avec la densité de demande de chaleur du secteur tertiaire (Figure 38) est particulièrement explicite. Elle met en évidence que :

- La région autour de la Sambre et de la Meuse présente des « points chauds » indicateurs de zones très favorables au développement de la géothermie peu profonde puisque le potentiel technique sous-sol des systèmes ouverts y est élevé à très élevé (en raison de la présence des graviers fluvia-



tiles) et que la demande y est aussi très élevée.

- Au Nord de Charleroi, la demande est élevée mais le potentiel technique sous-sol est plus faible en raison de l'absence des graviers fluviaux alors que la demande est très élevée.
- Au Sud du sillon Sambre et Meuse, le potentiel de développement est intéressant par endroits mais se limitent à quelques zones isolées.

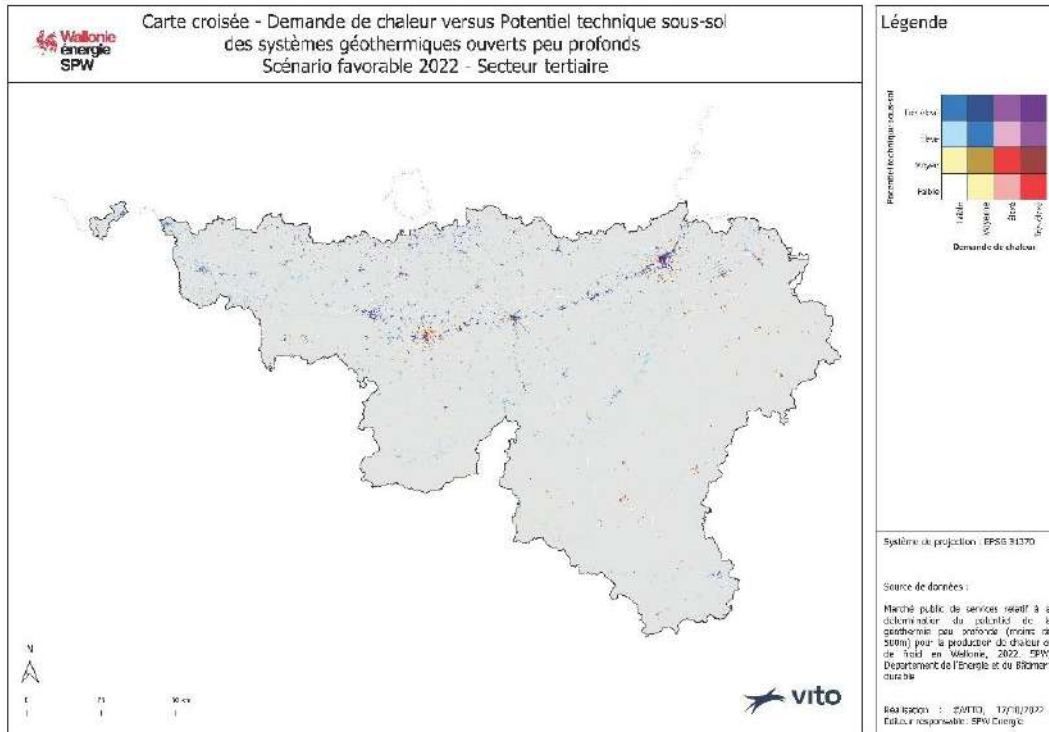


Figure 38: Carte croisée potentiel technique sous-sol des systèmes ouverts versus demande de chaleur du secteur tertiaire (scénario favorable 2022).

## **6. RÉDACTION D'UNE NOTICE DE RÉFÉRENCE D'AIDE À L'EXÉCUTION EN MATIÈRE DE GÉOTHERMIE PEU PROFONDE**

---

Une notice de référence d'aide à l'exécution en matière de géothermie peu profonde a été développée. Dans celle-ci sont repris l'ensemble des éléments récoltés au cours de l'étude ainsi que des indications claires sur la mise en place de ces systèmes géothermiques. Le guide pour réaliser un projet de géothermie peu profonde est publié sur [energie.wallonie.be](http://energie.wallonie.be).

## **7. PROPOSITION D'UN PLAN D' ACTIONS CONCRET POUR PROMOUVOIR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE DE CETTE FILIÈRE EN WALLONIE**

### **7.1. INTRODUCTION**

Ce chapitre a pour objectif de proposer un plan d'actions concrètes sur le plan administratif, légal, financier, technique, environnemental et sociétal pour promouvoir le développement durable de la géothermie peu profonde en Wallonie.

Une analyse SWOT est réalisée afin de mettre en évidence les forces, faiblesses, opportunités et menaces liées à l'activation de manière durable du potentiel de valorisation énergétique du sous-sol wallon. Cette analyse SWOT est réalisée en considérant le contexte actuel administratif, légal, financier, technique, environnemental et sociétal.

Les résultats de cette analyse permettent dans un deuxième temps de la définition d'un plan d'actions concrètes. Sur la base de l'analyse SWOT différentes mesures/actions sont proposées afin de surmonter les faiblesses et contrer les menaces auxquelles le développement du secteur doit faire face. Les propositions incluent des actions techniques, des actions juridiques et normatives, des actions financières, des actions de communication.

### **7.2. ANALYSE SWOT (STRENGTHS, WEAKNESSES, OPPORTUNITIES, THREATS): FORCES, FAIBLESSES OPPORTUNITÉS ET MENACES**

#### **1. Forces et faiblesses**

Les forces et faiblesses de la géothermie peu profonde décrivent les caractéristiques propres à la technologie (caractéristiques internes) qui représentent un aspect positif ou négatif. Ces aspects ont été analysés au regard des autres technologies de production de chaleur (chaudières à combustibles fossiles) et de froid (machines de froid). Les forces et les faiblesses citées ici sont donc des points positifs et négatifs par rapports aux technologies classiques de production de chaleur et de froid. L'analyse des forces permet de mettre en avant les avantages de la géothermie peu profonde par rapport aux technologies classiques et l'intérêt de son développement sur le territoire wallon. L'analyse SWOT souligne aussi les faiblesses à surmonter, associées à des aspects techniques, ou à des paramètres liés aux coûts.

#### **a. Forces**

- Source d'énergie décarbonée, sans impact sur la qualité de l'air
- Source d'énergie inépuisable et à disponibilité permanente (indépendante des conditions climatiques et saisonnières) si bien dimensionnée et gérée
- Large disponibilité géographique (territoire wallon)
- Source d'énergie pilotable
- Indépendance par rapport aux variations du marché de l'énergie et des du prix des énergies fossiles (hormis consommation électrique des pompes)
- Capacité à fournir du froid renouvelable (sans rejet de chaleur dans l'atmosphère)
- Capacité à fournir du froid avec une consommation énergétique très faible (géocooling)
- Stockage thermique potentiellement possible
- Exploitation silencieuse souterraine et intégrée dans le paysage
- Exploitation simple et à fort rendement en combinaison avec des PACs
- Energie locale
- Adaptable aux besoins

- Adapté à divers types de bâtiments (neufs, existants, résidentiels, tertiaires) et différents types d'usages
- Coûts de maintenance relativement faibles

#### b. Faiblesses

- Coûts d'investissement importants
- Incertitude géologique en profondeur rendant l'estimation du potentiel incertaine par endroits.
- Incertitude concernant les propriétés thermiques et hydrauliques du sous-sol
- L'eau des nappes aquifères peut être sollicitée par d'autres usages (pour systèmes ouverts)
- Contrainte d'espace (superficie disponible versus superficie nécessaire pour l'installation d'un champ de sondes ou d'un doublet géothermique pour les projets de taille conséquente)
- Technologie impliquant des chantiers plus importants par rapport aux installations de chauffage classiques
- Nécessité de réaliser des études de (pré-)faisabilité pour les projets de taille conséquente (coûts supplémentaires par rapport aux solutions classiques)
- Dans certains cas, projets de grosse puissance, nécessité d'un système d'appoint pour couvrir la demande de pointe
- Eventail de professionnels plus étendus requis pour la mise en œuvre par rapport aux solutions classiques (nécessite des compétences en géologie, hydrogéologie, HVAC, monitoring et gestion technique centralisée)
- L'intégration dans la rénovation du bâtiment nécessite une isolation thermique adaptée

## 2. Opportunités et menaces

Contrairement aux forces et faiblesses, les opportunités et menaces correspondent aux points positifs et négatifs inhérents à des facteurs externes à la technologie. Dans la présente étude, ils sont donc relatifs aux spécificités propres d'une part au territoire et d'autre part à la législation en Wallonie. Les opportunités représentent par conséquent des éléments structuraux de l'environnement qui vont faciliter/favoriser le développement de la géothermie peu profonde dans la Région, alors que les menaces sont des obstacles dont la suppression/modification contraindre le développement de la filière en Wallonie.

#### a. Opportunités

- Grand potentiel sous-terrain non encore exploité
- Présence de systèmes de subsides et de soutien pour les PACs
- Volonté de l'administration de disposer d'un outil d'aide à la décision dans une perspective à moyen et long terme pour les décideurs politiques, les professionnels du secteur et les maîtres d'ouvrage
- Volonté de la Wallonie de développer les énergies renouvelables sur le territoire
- Volonté de l'administration de mettre en place des mécanismes de soutien complémentaires et adaptés aux systèmes de géothermie peu profonde (pour le secteur résidentiel, tertiaire, et public)
- La mise en place de la formation certifiante relative aux systèmes superficiels géothermiques au niveau des centres agréés par la Wallonie.
- La simplification administrative au niveau de la législation relative au permis de réinjection
- Publication de la cartographie du potentiel de la géothermie peu profonde
- Augmentation des coûts de l'énergie rendant la géothermie peu profonde une solution incontournable dans le mix énergétique et pour décarboner la Wallonie

#### b. Menaces

- Manque d'information auprès des utilisateurs, des professionnels et des décideurs
- Manque de professionnels qualifiés au sein du secteur du chauffage

- Manque de soutien pour les coûts associés aux forages géothermiques
- Manque de données exhaustives sur les caractéristiques du sous-sol, et complétion des cartes géologiques
- Mauvais niveau d'isolation du bâti wallon ne permettant pas l'incorporation efficace du chauffage basse température
- Réalisation de forages en milieux urbains parfois complexe
- Démarches administratives conséquentes pour les systèmes ouverts (par rapport à celles associées aux technologies classiques)
- Concurrence avec les technologies fossiles

## **7.2.1. ACCEPTABILITÉ DES SYSTÈME GÉOTHERMIQUE PEU PROFOND ET DISPOSER D'UN CADASTRE ÉNERGÉTIQUE DU BÂTI WALLON**

### **7.2.1.A Améliorer l'acceptabilité des systèmes géothermiques peu profond par le bâti wallon**

L'état du bâti wallon est actuellement peu favorable à l'utilisation de technologies de production de chaleur basse température. En effet, beaucoup de bâtiments sont équipés d'émetteurs haute température ou avec des niveaux d'isolation insuffisants. Par conséquent les besoins des bâtiments en Wallonie sont généralement couverts par des moyens de production de chaleur haute température, dont les unités terminales (radiateurs) ne sont pas adaptées à une fourniture de chaleur basse température.

Afin de promouvoir le développement de la géothermie peu profonde en Wallonie, différentes mesures seraient intéressantes à mettre en place :

#### Réduire les besoins en chaleur du parc immobilier wallon existant

Le lancement de campagnes de rénovation énergétique permettrait d'améliorer le niveau d'isolation des bâtiments. Bien que des aides existent déjà pour l'isolation thermique des bâtiments, la communication sur ces dernières est relativement limitée. Une telle communication pourrait cibler en priorité les propriétaires de logements locatifs (bailleurs) pour lesquels le bénéfice d'une rénovation énergétique n'est pas toujours direct et évident. En effet, ils investissent alors dans la rénovation d'un bien qu'ils n'occupent pas et pour lequel les factures énergétiques sont prises en charge par les locataires. La mise en place de mécanismes incitatifs (déductibilité fiscale, baisse du revenu cadastral) et/ou réglementaires (obligations d'atteinte d'un certain niveau d'isolation, une consommation spécifique maximale, ...) permettrait de stimuler ces acteurs.

#### Imposer des standards techniques pour les bâtiments neufs et les rénovations lourdes

Lors de travaux de rénovation importants ou de construction de bâtiments neufs, il serait utile d'imposer un certain nombre de standards techniques ouvrant la possibilité d'une alimentation en chaleur basse température. En effet, il est plus aisé de mettre en place ce type de solutions dès la construction, ou lors de rénovations importantes, de manière à éviter la présence de freins (« lock-in ») bloquant un passage ultérieur à la géothermie.

Parmi les spécificités techniques pouvant être visées par les standards, nous soulignerons l'importance :

- D'un niveau d'isolation suffisant ;
- D'unités terminales adaptées ;
  - Ventilo-convecteurs.
  - Chauffage par le sol.
- D'une installation électrique suffisamment puissante pour alimenter la PAC et les installations géothermiques.



### **7.2.1.B Disposer d'un cadastre énergétique du bâti wallon complet et à jour**

L'estimation des besoins thermiques des bâtiments est nécessaire avant d'entreprendre l'installation d'une PAC géothermique et l'isolation thermique des bâtiments est un élément à prendre en compte dans cet exercice. Pour déterminer le potentiel de la géothermie peu profonde de façon précise, il serait donc utile d'avoir une connaissance approfondie du niveau d'isolation des bâtiments wallons et ainsi d'obtenir une cartographie réaliste à l'échelle de la région des besoins thermiques. La création d'un cadastre énergétique du bâti wallon complet et à jour serait un outil utile.

En effet, des besoins thermiques réduits étant une caractéristique favorisant la mise en place de solutions géothermiques, un cadastre de ce type permettrait d'identifier les zones où les bâtiments présentent des caractéristiques favorables à la géothermie peu profonde. Dès lors, si un potentiel géothermique est également présent dans de telles zones, ces dernières seraient à rendre prioritaire pour les campagnes de sensibilisation à la thématique de la géothermie peu profonde.

À l'inverse, l'identification de zones où un potentiel géothermique est présent dans laquelle les bâtiments ne disposent pas des caractéristiques favorables seraient à considérer prioritairement pour des campagnes de rénovation du bâti, de manière à pouvoir valoriser ce potentiel.

Pour ce faire, un premier travail pourrait être réalisé à partir de données déjà disponibles au sein de l'Administration, telles les données issues de la certification PEB des bâtiments. Bien que très théoriques, ces données fournissent un premier regard sur le niveau d'isolation des bâtiments. Ces données théoriques devront par la suite être affinées à l'aide d'autres moyens permettant l'estimation des besoins et du niveau d'isolation (thermographies aériennes, ...) et/ou de mesures de consommation réelles (audits et études énergétiques). Les bases de données existantes (PEB, permis d'environnement, etc) peuvent déjà fournir un socle de départ pour cette future analyse.

### **7.2.2. ACTIONS ÉCONOMIQUES / FINANCIÈRES**

Les systèmes de géothermie peu profonde s'accompagnent de frais d'investissement initiaux (CAPEX) non négligeables. Ces derniers sont essentiellement liés à l'investissement dans les forages et représentent un frein important à son développement. Dès lors, l'existence de mesures permettant de réduire ces coûts et/ou de rendre ces installations plus compétitives par rapport aux technologies classiques permettrait de lever ce frein, ou du moins de limiter son impact financier.

#### **7.2.2.A Mettre en place des aides et soutiens adaptés/pertinents**

Les installations géothermiques nécessitant un investissement de départ important, une aide à l'investissement permet de surmonter cette difficulté en mettant la géothermie sur un pied d'égalité avec les autres technologies de production de chaleur. Le choix de technologie peut alors se faire sur base d'arguments techniques (disponibilité de la ressource, acceptabilité par le bâtiment, etc.) plutôt que sur base d'arguments économiques. Notons que pour que cette aide soit efficace, elle devrait couvrir l'ensemble des investissements nécessaires à la mise en place des installations (tests de reconnaissance, forage, PAC, unités terminales, régulation, ...) et non pas uniquement les coûts liés au forage ou uniquement les coûts liés à la PAC.

Les systèmes d'aides actuellement d'application diffèrent selon l'affectation du bâtiment. Les bâtiments résidentiels peuvent faire appel au système des primes habitation. Les bâtiments d'affectation tertiaire quant à eux peuvent faire appel au mécanisme UDE et AMURE/UREBA.

### Utilisation du TCO comme base de calcul des aides

Le niveau de ces aides est estimé sur le surcoût d'investissement des technologies alternatives par rapport à une technologie de référence (fossile). Cependant, pour que cette aide permette une réelle mise sur pied d'égalité des différentes technologies, un soutien dont le niveau est estimé sur le Total Cost of Ownership (TCO), c'est-à-dire sur les coûts totalisés sur l'ensemble de la durée de vie des installations (coûts d'entretien, coûts liés à l'achat d'électricité pour les installations, ...), serait plus adapté. De cette manière, le soutien prendrait en compte non seulement l'investissement de départ (CAPEX), mais également les dépenses durant l'exploitation des installations (OPEX), et la comparaison avec les autres technologies, notamment fossile s'en verrait objectivée. Actuellement, les installations conventionnelles (fossiles) paraissent une solution intéressante à l'investissement (économie d'échelle à la production, infrastructure déjà en place, ...) mais les coûts opérationnels impactent négativement leur intérêt économique. Si ces dernières étaient correctement prises en compte, l'intérêt pour les installations alternatives, telles les installations géothermiques, s'en verrait augmenté.

### Intégration de l'ensemble des coûts dans les investissements éligibles

Concernant les primes habitations, les aides ne couvrent actuellement que les coûts liés aux pompes à chaleur. Une prise en compte des investissements liés aux forages et aux modifications éventuelles au sein du bâtiment (émetteurs, régulation, isolation, ...) faciliterait le déploiement de la géothermie peu profonde au sein du secteur résidentiel.

Concernant les bâtiments non résidentiels, les soutiens sont présents et plus adaptés. Le mécanisme UDE consiste en des aides à l'investissement, qui prennent en compte non seulement la PAC, mais également les forages et les forages test. Notons qu'un soutien à la mise en place d'unités terminales (émetteurs) adaptées au sein des bâtiments pourrait venir compléter ces aides.

## **7.2.2.B Intégrer les moyens de production de chaleur d'appoint au sein des aides et subsides**

Une installation de géothermie peu profonde peut nécessiter un appoint d'énergie conventionnelle. En effet la présence de générateurs de chaleur d'appoint permet de couvrir les pics de demande ponctuels en saison de chauffe. Elle évite le surdimensionnement des installations géothermiques et permettent de couvrir 100% des besoins tout au long de l'année.

En effet, le coût d'installation des infrastructures de géothermie étant conséquent, il convient de rationaliser la puissance installée. Lors du dimensionnement des installations, la puissance maximale de l'installation n'est en réalité requise que quelques heures par an (lorsque les températures extérieures sont très basses). Dès lors, plutôt que mettre en place une installation de géothermie de grande puissance, on peut minorer la puissance installée (ce qui permet de réduire le nombre de sondes ou la puissance du doublet) et prévoir un producteur de chaleur d'appoint qui sera mis en route pour apporter un complément de puissance durant les quelques heures durant lesquelles la température extérieure descend en dessous de ce que l'installation géothermique peut assumer. Néanmoins, ces générateurs de chaleur d'appoint, bien que pertinents, ne sont généralement pas intégrés au sein des investissements éligibles des différentes aides et subsides, ni aux calculs de leurs montants. L'intégration d'aides dédiées aux moyens de production de chaleur d'appoint aux mécanismes d'aide existants pour les systèmes géothermiques pourrait contribuer au développement de la filière.

## **7.2.2.C Soutenir les moyens de production d'ECS**

Les régimes de température propres au chauffage par des installations de géothermie peu profonde n'étant pas adaptés pour une production directe d'eau chaude sanitaire. En effet, l'ECS doit être portée à des températures proches de 60°C, bien au-dessus des températures associées au chauffage pour ce types d'installations. Dès lors, des mécanismes de soutien pour les moyens de production d'ECS sont nécessaires, notamment :

- Les boilers électriques
- Les boilers thermodynamiques
- Les systèmes « PAC Booster »

Même si des soutiens existent actuellement pour certaines de ces technologies, il reste important de les considérer comme faisant partie d'un paradigme propre (la facilitation du déploiement des technologies de chauffage basses températures, telle la géothermie peu profonde). Une cessation/diminution de ces subsides ne représenterait donc pas uniquement une diminution du soutien à la production d'ECS mais, de manière plus globale, un frein au développement des technologies basses températures en région wallonne.

#### **7.2.2.D Soutenir les travaux favorisant l'acceptabilité des installations géothermiques par les bâtiments du secteur tertiaire**

L'apport d'un soutien complémentaire aux travaux de rénovation favorisant l'acceptabilité des installations géothermiques par les bâtiments visant le secteur tertiaire serait positif pour le développement de la filière.

En effet, bien que le secteur résidentiel dispose de soutiens pour les travaux induisant la réduction des besoins de chaleur, via les primes habitations soutenant l'isolation des murs, sols et plafonds, ce n'est pas le cas du secteur non-résidentiel. La mise en place de soutien à l'isolation des bâtiments de ce secteur augmenterait le potentiel de pénétration des technologies géothermiques en son sein.

De même, un soutien pour le remplacement des unités terminales existantes pour permettre l'alimentation en chaleur basse température serait un soutien utile.

#### **7.2.2.E Soutenir les études préalables nécessaires**

La géothermie peu profonde étant une technologie dont la mise en place requière certaines conditions, aussi bien au niveau du bâtiment (acceptabilité technique) qu'au niveau des caractéristiques du sous-sol (potentiel géothermique), des études préalables sont nécessaires afin de s'assurer que ces caractéristiques sont bien rencontrées.

Pour le secteur non-résidentiel, le système de chèque entreprise (lié au mécanisme AMURE) permet la subvention des prestations des auditeurs pour les audits énergétiques et les études de faisabilité. Cependant, l'inclusion des frais liés aux forages tests au sein des investissements éligibles de ce mécanisme pourrait en augmenter l'impact et favoriser le développement de ces technologies dans ce secteur en Wallonie.

Au sein du secteur résidentiel, la réalisation d'un audit logement par un auditeur agréé est subsidiée. En revanche pour ce secteur il convient de distinguer les secteurs résidentiels particulier et collectif. Le résidentiel particulier nécessite en effet principalement des petites installations géothermiques, et ne requiert donc pas d'étude faisabilité. Le résidentiel collectif peut quant à lui impliquer des installations de tailles conséquentes (e.g. nécessitant des puissances thermiques supérieures à 50 KW). Dans ce cas, l'audit logement ne permettra d'obtenir ni la finesse de résultat ni les données nécessaires pour faire office d'étude de faisabilité pour l'installation de systèmes géothermiques. Un soutien plus direct aux études de potentiel et de (pré)faisabilité pourrait avoir un impact positif.

Pour le secteur non-résidentiel, le système de chèque entreprise (lié au mécanisme AMURE) permet la subvention des prestations des auditeurs pour les audits énergétiques et les études de faisabilité. Cependant, l'inclusion des frais liés aux forages tests au sein des investissements éligibles de ce mécanisme pourrait en augmenter l'impact et favoriser le développement de ces technologies dans ce secteur en Wallonie.

### **7.2.2.F Fournir des prêts à taux intéressants**

Compléter les aides à l'investissement (UDE) par l'octroi de financement (prêts) à faible taux d'intérêt permettrait également de réduire les freins liés aux CAPEX importants associés aux installations de géothermie peu profonde. Notons que ce type de prêts existe déjà en Wallonie (Rénopack), mais qu'il est disponible uniquement pour les particuliers (secteur résidentiel) et ne peut servir que pour le financement de certains investissements éligibles. Parmi ceux-ci, on retrouve l'isolation thermique du bâtiment et l'installation d'une PAC, mais les forages en sont exclus. Élargir les investissements éligibles à l'ensemble des travaux requis pour la mise en place d'installations géothermiques favoriserait bien entendu le développement de ces dernières.

### **7.2.2.G Soutenir les installations combinant géothermie peu profonde et moyens d'autoproduction d'électricité**

Les installations d'autoproduction d'électricité, telles les installations photovoltaïques, permettent de fournir une électricité verte et bon marché pour les installations de géothermie peu profonde et leurs composantes systèmes associés. Cette électricité autoproduite peut être valorisée non-seulement lors du fonctionnement quotidien des installations (fonctionnement des pompes, de la pompe à chaleur, etc.), mais aussi au niveau de l'appoint utilisé lors des pics de demandes (booster électrique) et pour la production d'ECS (boiler électrique, boiler thermodynamique, PAC booster).

Les moyens d'autoproduction d'électricité représentent donc un complément idéal à une installation de géothermie peu profonde. Ils permettent entre autres de les rendre encore plus rentables et indépendantes face aux variations du marché de l'énergie et des du prix des énergies fossiles. Néanmoins, même si le retour sur investissement est court les CAPEX importants liés la mise en place de ces moyens freinent parfois encore leur déploiement.

Bien que le photovoltaïque soit une technologie rentable sans soutien, dans le cas de la mise en place d'installations combinant géothermie peu profonde et moyens d'autoproduction d'électricité des soutiens permettant de dépasser les obstacles liés aux CAPEX élevé (prêts à taux zéro ou autre) représenterait un levier intéressant à explorer.

### **7.2.2.H Intérêt de la combinaison de moyens d'auto-production d'électricité et de systèmes de régulation**

Afin d'améliorer les bilans économiques et écologiques des installations de géothermie peu profonde, la mise en place de moyens d'autoproduction d'électricité (photovoltaïque, éolien, hydroélectrique, cogénération, ...) se révèle pertinente. En effet, alimenter les installations géothermiques, pour les pompes du puit ou le fonctionnement de la PAC, en électricité autoproduite et renouvelable, améliore encore leur bilan écologique. Il en va de même pour les moyens de production d'ECS (boiler thermodynamique / électrique) lorsque ceux-ci sont associés à ce type d'installations.

De plus, la production locale d'électricité donne accès à une électricité moins couteuse que celle prélevée sur le réseau, cette autoproduction réduit les coûts de fonctionnement (OPEX) des installations, et améliore de ce fait la rentabilité du système. Enfin, le non-recours au réseau pour la fourniture d'électricité permet d'assurer une fourniture à un prix stable au cours du temps, et donc de s'abroger des fluctuations du marché de l'énergie.

Notons qu'une des problématiques liées aux moyens d'auto-production d'électricité est leur caractère intermittent. En effet, la production des installations photovoltaïques ou éoliennes est dépendante des conditions climatiques (présence de soleil ou de vent). Dès lors, il est difficile de planifier les moments de production afin d'y faire coïncider une consommation. De ce fait, une grande partie de la production

d'électricité de ces installations est alors réinjectée sur le réseau, ce qui peut mener à des surtensions du réseau. Afin d'éviter ces phénomènes, et d'optimiser l'autoconsommation de l'électricité produite, le recours à des système de régulation permet de coordonner la production de chaleur de la PAC à la production d'électricité locale. Lorsque l'ensemble de l'électricité produite n'est pas entièrement consommé par le bâtiment, le surplus peut alors servir à alimenter l'installation géothermique, plutôt qu'être réinjecté sur le réseau. De plus, même sans dispositifs de stockage de la chaleur dédiés, il est possible de découpler la production de la chaleur de la demande. En effet, les bâtiments au sein desquels se trouvent les installations étant généralement bien isolés, il est possible de mettre en place des consignes régissant la production de chaleur en la liant à la production locale d'électricité : comme dit ci-dessus, lorsque l'électricité autoproduite n'est pas entièrement autoconsommée, le surplus peut être redirigé vers la PAC de manière à produire de la chaleur plutôt que de réinjecter cette électricité sur le réseau. Même si cette production de chaleur se déroule lorsqu'il n'y a pas de demande (par exemple en journée lorsque les bâtiments résidentiels ne sont pas occupés), le niveau d'isolation du bâtiment permet de conserver la chaleur produite en son sein jusqu'à ce qu'elle soit requise (on peut produire de la chaleur en journée, elle sera encore présente le soir au retour des occupants du bâtiment).

### **7.2.2.1 Stopper/diminuer les soutiens aux technologies fossiles**

Malgré le contexte actuel de réduction de la dépendance aux énergies fossiles et de réduction de gaz à effet de serre, il subsiste néanmoins des aides favorisant les technologies fossiles. C'est notamment le cas pour les aides soutenant le passage à une chaudière à condensation (UREBA, Renopack, Feder, déduction fiscale UDE/SER), les aides à l'investissement pour les chaudières mazout/gaz et les chauffe-eau gaz (MEBAR), le soutien à la cogénération fossile (AMURE, UDE, certificats verts), les soutiens à l'achat de combustible fossile (fonds social chauffage, tarif social énergie), les aides pour la mise en conformité des installations gaz (Primes habitation). Bien que ces aides permettent généralement de passer à des technologies plus performantes, telle la condensation, elles impliquent la mise en place de technologies fossiles qui resteront présentes durant de longues périodes (la durée de vie d'une chaudière est de plus de 20 ans). Les installations mises en place aujourd'hui impacteront donc les objectifs de demain (2030, 2050).

De manière générale, les aides citées ci-dessus rendant les technologies fossiles plus rentables et compétitives, elles défavorisent le développement des technologies alternatives telle la géothermie peu profonde. Afin de réduire le différentiel de compétitivité, il serait donc intéressant de mettre fin, ou a minima diminuer ce soutien aux technologies fossiles. Parmi les aides problématiques, nous pointerons notamment les aides pour le remplacement de chaudières atmosphériques par des chaudières à condensation : bien que le passage à la condensation représente bien une réduction de la consommation et donc des émissions liées au chauffage, cette solution ne devrait être envisagée que s'il n'y a pas d'autre solution renouvelables envisageables. Cette condition pourrait être mise en place par l'obligation de réalisation d'une étude d'opportunité lors du remplacement de chaudières atmosphériques (à minima pour les bâtiments présentant une consommation ou surface importante, ou pour les bâtiments publics). Ce type d'études permettrait de faire connaître et mettre en avant la solution géothermique dans les zones où elle est pertinente.

De même, il existe encore des aides pour l'achat de combustible fossile (fonds social chauffage, tarif social gaz), rendant donc les solutions fossiles plus intéressantes économiquement parlant. Bien entendu, la suppression de ces aides nécessite une réflexion plus large, ces dernières étant en grande partie sollicitées par des consommateurs disposant de faibles moyens financiers. Cependant, elles ne constituent que des solutions ponctuelles à une problématique de plus grande envergure. La mise en place de soutiens plus structurels (aides à l'isolation, soutien aux technologies alternatives) permettrait d'apporter des solutions avec une portée à plus long terme à ces problématiques on ne peut plus d'actualité. Une réflexion pourrait être réalisée pour le remplacement des générateurs de chaleur par des solutions renouvelables au préalable à l'octroi de l'aide. Le soutien de la Région pourrait se situer au niveau du financement des nouvelles installations plutôt que pour l'achat d'un combustible fossile.



Enfin, outre le soutien direct aux technologies fossiles, l'accès à la ressource fossile est également à considérer lors de la comparaison avec les technologies renouvelables. En effet, la mobilisation de la ressource présente en sous-sol représente un coût, notamment associé aux forages. A contrario, l'accès à la ressource fossile (que ça soit pour le gaz ou le mazout) est généralement beaucoup plus facile et moins coûteux. De plus, ce différentiel de coûts est parfois encore accentué lorsque les fournisseurs de ressources fossiles en bradent l'accès aux consommateurs, notamment lorsque des alternatives pouvant potentiellement leur coûter des parts de marché se développent sur le territoire. Pour ne citer qu'un exemple, il est arrivé que des consommateurs présents sur le tracé d'un futur réseau de chaleur se voient proposer un raccordement au réseau de gaz à prix très avantageux, mettant en cause leur potentiel raccordement au réseau de chaleur en réflexion.

L'accès à la ressource fossile est donc également à considérer lors de la réflexion visant à réduire le déficit de compétitivité observé entre la ressource fossile et la ressource renouvelable dans son ensemble (et la géothermie peu profonde plus particulièrement).

### **7.2.3. ACTIONS LÉGISLATIVES ET RÉGLEMENTAIRES**

#### **7.2.3.A Modifier le système de permis d'environnement relatif à la géothermie peu profonde sur nappe (systèmes ouverts avec réinjection)**

La mise en œuvre et l'exploitation d'installations géothermiques (systèmes ouverts ou fermés) requière l'obtention d'autorisations qui s'inscrivent dans le régime du Permis d'Environnement. La plupart des systèmes fermés (sondes géothermiques verticales) nécessitent une simple déclaration d'environnement de classe 3 (délai d'obtention : 2 à 4 semaines ; permis d'environnement de classe 2 requis en zone de prévention). La mise en œuvre et l'exploitation d'installations géothermiques en systèmes ouverts requiert quant à eux, pour le forage et l'exploitation des ouvrages de prise ou de réinjection d'eau souterraine, l'obtention de permis d'environnement de classe 2 (délai d'obtention : minimum 3 à 4 mois). Le rejet éventuel de l'eau prélevée dans un exutoire de surface (généralement un cours d'eau) requiert également un permis d'environnement de classe 2.

Le principal frein réglementaire actuel au développement de la géothermie peu profonde concerne les systèmes géothermiques ouverts avec réinjection de l'eau souterraine prélevée, après son usage à des fins géothermiques. En effet, à ce jour, l'activité de réinjection d'eau souterraine est assimilée à (et parfois confondue avec) la recharge artificielle de nappe d'eau souterraine. Elle est par conséquent considérée par le Permis d'Environnement comme une activité de classe 1 qui, pour pouvoir être autorisée, requiert une procédure plus longue, plus lourde et plus coûteuse qu'en classe 2, qui dissuade souvent les porteurs de tels projets et est trop régulièrement mal anticipée par ceux-ci pour assurer sa compatibilité avec la conception même des projets, les aspects urbanistiques, les modalités de financement, ...

Les démarches administratives ayant déjà été significativement simplifiées en 2019 pour la plupart des systèmes géothermiques fermés (passage de la classe 2 à la classe 3, sauf en zone de prévention), la principale mesure réglementaire qui devrait être mise en œuvre afin de promouvoir le développement de la géothermie peu profonde en Wallonie serait de faciliter l'obtention des autorisations requises pour permettre les études de faisabilité et la mise en exploitation de systèmes géothermiques ouverts avec réinjection.

*Faire passer de la classe 1 à la classe 2 la réinjection d'eau souterraine dans le cadre de la géothermie sur nappe (systèmes ouverts avec réinjection)*

A la date de finalisation du présent rapport, un projet de modification du système de permis d'environnement relatif à la géothermie peu profonde sur nappe (systèmes ouverts avec réinjection) a été soumis au Gouvernement wallon et est en cours d'examen. Le volet '*Prise d'eau souterraine*' étant déjà suffisamment réglé par le Permis d'Environnement, ce projet de modification porte, partant d'une redéfinition claire des notions de recharge artificielle de nappe d'eau souterraine d'une part et de réinjection d'eau souterraine

d'autre part, sur le passage de cette dernière en classe 2 au Permis d'Environnement, en particulier pour la géothermie sur nappe. L'altération sensible de l'eau souterraine prélevée, après usage géothermique ( $\Delta T^\circ$  limité à quelques degrés et équilibres physico-chimiques associés), et sa réinjection locale dans la même nappe, constituent en effet des pressions qualitative et quantitative jugées suffisamment faibles pour justifier de ne pas devoir réaliser une étude d'incidences sur l'environnement (EIE).

### **7.2.3.B Faire évoluer la réglementation PEB**

La réglementation PEB régulant les installations techniques au sein des bâtiments peut directement ou indirectement influencer sur le développement des installations de géothermie peu profonde. En effet, une réglementation contraignante du point de vue environnemental va diminuer l'attractivité et la compétitivité des installations fossiles, favorisant ainsi les technologies alternatives, comme la géothermie peu profonde. De même, des dispositions peuvent être prises au sein de la réglementation afin de faciliter l'acceptabilité de la géothermie peu profonde dans les bâtiments (niveaux d'isolation thermique, type d'émetteurs, etc.). Parmi les mesures concernant la réglementation PEB pouvant être prises, nous soulignerons :

#### Imposer un certificat PEB pour l'ensemble des bâtiments (pas uniquement lors de la revente/location)

Cette mesure permettrait d'avoir une vision claire de l'état des performances énergétiques de l'ensemble du parc wallon. Ces informations seraient utiles non seulement à l'administration, mais aussi pour les propriétaires/occupants des bâtiments. En effet, ces derniers ne sont pas toujours au fait des performances de leur bien et ce type de démarche leur permettrait de se situer par rapport à des valeurs témoins (moyenne régionale, objectifs 2030, objectifs 2050, ...). Face à un mauvais score, une réflexion pour un passage à des moyens de production de chaleur plus performant / écologiques pourrait être initiée par les propriétaires. De plus, cette base de données de certificat PEB permettrait l'identification des bâtiments peu performants, ouvrant la possibilité d'imposer des plans d'action en vue d'atteindre des seuils de performance à diverses échéances pour ces mauvais élèves.

#### Intégrer un bilan CO2 au sein du certificat PEB

Actuellement, le certificat PEB est essentiellement axé sur la dimension énergétique du bâtiment. Malheureusement, les informations en termes de données énergétiques ne sont pas parlantes pour un grand nombre de personnes (implications des valeurs renseignées, situation par rapport aux autres, etc.) Dès lors, ajouter une composante « émissions de CO2 » au sein des certificats ajouterait une composante écologique au bâtiment, pouvant être mise en comparaison avec d'autres bâtiments, d'autres technologies, et utilisée comme critère de décision. Cette facette relative aux émissions de CO2 aurait pour effet de mettre en avant les méthodes de production de chaleur peu émettrices, telle la géothermie peu profonde, incitant ainsi à la mise en place de telles installations et favorisant donc son développement au sein de la Région.

#### Intégrer les notions de coûts de fonctionnement (OPEX) dans le certificat PEB

La communication autour des coûts opérationnels des installations des bâtiments mis en location ou en vente pousserait les propriétaires à leur amélioration en vue d'en augmenter l'attractivité. Actuellement, l'amélioration des performances énergétiques, économiques et écologiques des installations présentes dans ces bâtiments ne présente qu'un intérêt très limité pour les propriétaires des bâtiments. En effet, bien qu'ils doivent assumer les investissements liés, ils ne profitent pas des bénéfices liés (réduction de la consommation et de la facture énergétique). Dès lors, la motivation à apporter ces améliorations reste faible. Afin de remédier à cette situation, une obligation de renseigner les coûts opérationnels liés aux installations techniques lors de la mise en location ou la mise en vente inciterait les propriétaires à réaliser des améliorations afin de rendre leur bien plus attractif. Notons toutefois qu'en raison de la volatilité des coûts énergétiques, il serait nécessaire que les références de coûts de fonctionnement soient revues et régulièrement adaptées afin de refléter la réalité de terrain. L'utilisation de référencement numérique, notamment

via la mise en place du Passeport Bâtiment, permettrait la mise à jour régulière des valeurs contenues dans les certificats PEB, même plusieurs années après la réalisation du certificat.

De même, cette réflexion est également applicable pour les promoteurs immobiliers. En effet, le prix étant généralement la caractéristique déterminante lors d'un achat immobilier, les promoteurs réduisent généralement au maximum leur investissement initial via la mise en place d'installations à CAPEX réduits (généralement associée à la combustion d'énergie fossile) afin d'améliorer l'attractivité de leurs biens et d'améliorer leurs marges. Une obligation de renseigner les coûts opérationnels des installations du bâtiment aurait donc un effet incitatif pour la mise en place d'installations à OPEX réduits, augmentant l'attractivité du bien. Notons qu'en Wallonie, plus de 60% des constructions neuves sont réalisées par des promoteurs clé sur porte pour lesquels la rentabilité économique prévaut généralement sur les autres aspects. Rendre les technologies alternatives plus attrayantes pour leurs clients aurait donc un effet incitatif à leur niveau.

### Durcir les exigences en termes de performance énergétique

Un durcissement des exigences de performance énergétique des bâtiments aurait comme conséquence de favoriser les moyens de production de chaleur renouvelable (dont la géothermie peu profonde) par rapport aux solutions fossiles. De plus, imposer des besoins de chaleur réduits (et donc une bonne isolation thermique) augmente l'acceptabilité de systèmes basses température au niveau des bâtiments.

Bien entendu, pour que ces mesures soient efficaces, il faudrait que les exigences soient imposables à tous les bâtiments lors de certains moments clés (travaux importants, dates butoir des plans énergétiques et climatiques, ...). De manière générale, il sera intéressant d'imposer la mise en place de feuilles de route visant à atteindre des valeurs de certificat minimales à échéances définies.

Bien évidemment, une imposition de l'utilisation d'énergies renouvelables et/ou une interdiction pure et simple de l'utilisation de combustibles fossiles auraient un impact important sur le développement durable de la filière de la géothermie peu profonde de Wallonie.

### Imposer un plan d'action d'améliorations énergétiques pour les bâtiments présentant de mauvaises performances

Les changements de propriétaires ou d'occupants sont des moments clés où des améliorations énergétiques peuvent plus facilement être réalisées. La certification PEB du bâtiment permet déjà d'obtenir une vision de l'état énergétique du bien, mais celle-ci reste informative. Dès lors, coupler cette fourniture d'informations à l'obligation d'atteinte de certains niveaux de performances à des échéances données pousserait les propriétaires à mettre en place des solutions énergétiques, parmi lesquelles la géothermie peu profonde aurait une place non-négligeable.

Une alternative pourrait consister en la mise en place de valeurs limites de performances énergétiques en dessous desquelles toute nouvelle domiciliation ne serait pas autorisée. Les propriétaires seraient donc tenus de réaliser des améliorations pour mettre en location ou emménager dans leur bien.

### **7.2.3.C Imposer la réalisation d'études d'opportunité lors de projets urbanistiques importants**

Inciter l'intégration d'études de faisabilité pour les systèmes de géothermie peu profonde au sein des plans d'urbanisme et plans énergétiques dans les zones urbanisées pourrait représenter un levier important pour le développement de ces technologies. Les systèmes de géothermie peu profonde présentent un potentiel important en zone urbanisée, notamment de par la densité de consommation importante et les profils de consommations variés. Néanmoins, les surfaces libres disponibles pour la réalisation des forages étant limitées, les réflexions et études préalables doivent être intégrées à des niveaux très en amont des réalisations de projet. C'est notamment le cas pour les constructions neuves, pour lesquelles les forages peuvent être réalisés préalablement à la construction. Mais ces systèmes peuvent également être

considérés lors de rénovations lourdes, lorsque des surfaces non bâties sont disponibles (jardins, parkings, ...). De même, une valorisation des espaces publics disponibles (parcs, parkings, ...) pourrait être étudiée, et systématiser l'analyse de pertinence de la mise en place d'installations géothermiques lors de projets de rénovation de quartier et plans de développement urbanistiques.

#### **7.2.4. ACTIONS DE COMMUNICATION**

##### **7.2.4.A Améliorer la communication et mettre en place des stratégies d'information à destination du grand public et des professionnels du secteur.**

Les installations de chauffage géothermique étant encore relativement méconnues du grand public, une campagne d'information à leur sujet leur permettrait d'être plus souvent considérées comme une alternative réaliste aux installations classiques de production de chaleur. Outre leur intérêt environnemental, il serait également intéressant de communiquer sur les avantages économiques qu'elles peuvent représenter : malgré un investissement initial non-négligeable, les faibles coûts opérationnels permettent de les rendre compétitives face aux installations classiques. De même, le grand public devrait être informé des conditions techniques à mettre en place au sein des bâtiments pour permettre leur alimentation en chaleur basse température (isolation, unités terminales, ...), de manière à ce que les bâtiments les intègrent, rendant ainsi la solution géothermique envisageable que ce soit pour des constructions neuves ou lors du remplacement des installations existantes.

Enfin, il faut faciliter l'accès aux données de potentiel technique sous-sol, afin que les maîtres d'ouvrages puissent facilement identifier si le bâtiment se situe dans une zone disposant d'un potentiel favorable et donc la pertinence locale d'un projet géothermique, au moins lors de la phase de préféabilité. La diffusion des résultats de la présente étude et notamment de la cartographie du potentiel va dans ce sens. Il sera important de mettre à jour cette cartographie à mesure que de nouvelles données seront disponibles. De même, le monitoring des installations existantes permettrait une récolte de données pouvant servir non seulement à l'administration pour ses statistiques énergétiques, mais aussi pour une détermination plus fine du potentiel local de par l'obtention des données de performances réelles relevées sur le terrain. Ce monitoring permettrait de suivre l'évolution du secteur et de répondre au mieux à ses besoins actuels et futurs

##### **7.2.4.B Communiquer sur les coûts réels de la géothermie peu profonde et les comparer à ceux des technologies alternatives**

De manière générale, le public n'a qu'une vision très floue des coûts opérationnels des installations techniques de chauffage. Le coût associé à la chaleur est souvent réduit au coût d'achat de combustible, en oubliant les investissements initiaux (achat du producteur de chaleur) et les autres frais opérationnels (entretien, ramonage, ...). Communiquer sur les coûts réels de la chaleur (coût du kWh prenant en compte le TCO des installations) permettrait la comparaison des différentes possibilités techniques existantes sur un pied d'égalité. Dans ce cas, la comparaison implique de prendre en compte pour les différentes technologies : les coûts d'achat (CAPEX), les coûts annuels (OPEX annuels), le coût de la chaleur produite (€/kWh), et ce, sur l'ensemble de la durée de vie de l'installations.

##### **7.2.4.C Créer une association des professionnels de la géothermie**

La création d'une association wallonne (ou belge) des professionnels de la géothermie permettrait d'accélérer et promouvoir le développement de la géothermie en région. Pour exemple, en France l'AFPG a pour mission de :

- Fédérer les professionnels de la filière
- Informer le grand public et les collectivités quant aux possibilités qu'offre la géothermie
- Accompagner les pouvoirs publics en matière de réglementation et certification.

Les rôles et missions d'une association wallonne devront être définis pour répondre aux spécificités de la région. Des contacts avec l'AFPG ou Géothermie suisse permettront de rendre ce processus d'autant plus efficace.

L'association pourra entre autres aider à l'organisation d'un évènement annuel autour du thème de la géothermie.

### 7.3. CONCLUSION : LES MESURES ESSENTIELLES POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE EN WALLONIE

- **Sensibiliser à la technologie**

La géothermie peu profonde étant encore mal connue, une communication efficace à son sujet permettrait de sensibiliser un public plus large à la solution technique qu'elle représente. Pour être efficace, cette sensibilisation devrait viser à la fois le grand public (potentiels utilisateurs), mais aussi les professionnels du secteur. Cette communication envers le grand public pourrait être réalisée non seulement via de campagnes de sensibilisation, mais aussi en s'appuyant sur les 40 guichets de l'Energie présents en Région Wallonne pour promouvoir la filière et fournir les informations aux particuliers.

Concernant les professionnels, outre l'organisation de formations dédiées, la création d'une association wallonne (ou belge) des professionnels de la géothermie permettrait d'accélérer et promouvoir le développement de la géothermie en Région

- **Faciliter le travail des professionnels**

En vue de promouvoir le développement de la géothermie peu profonde en Région wallonne, la facilitation du travail des professionnels du secteur représente un élément clé. Pour ce faire, la mise à disposition d'outils facilitateurs, telles des cartes et des bases de données référençant le potentiel géothermique, leur permettrait une détermination plus efficace de la pertinence des projets envisagés.

De même, un allègement des contraintes administratives, notamment au niveau des démarches du permis d'environnement, faciliterait grandement le travail des professionnels.

- **Mettre en place une stratégie régionale**

La définition d'objectifs régionaux clairs et ambitieux constituerait un message fort envers le secteur mais aussi envers le grand public. Le soutien affiché des autorités aide à la mise en place d'un climat de confiance autour de la technologie.

En parallèle, le développement d'outils permettant la réalisation des stratégies, tels des outils permettant de cibler les zones à considérer de manière prioritaire, permettrait de conforter cet engagement des autorités.

- **Améliorer l'efficacité énergétique du bâti pour une meilleure acceptabilité de la géothermie peu profonde**

L'état énergétique du bâti wallon représentant un obstacle non négligeable pour le développement de la géothermie peu profonde, la mise en place de moyens permettant de lever cette difficulté serait un vrai plus pour le développement de la technologie sur le territoire. Pour ce faire, le développement (ou le maintien) de soutiens financiers favorisant la mise en place d'installations géothermiques (aide à l'isolation, soutiens pour le remplacement des émetteurs de chaleur, ...) est intéressant. Cependant, pour augmenter l'efficacité de ces soutiens, il est nécessaire de les accompagner de contraintes réglementaires, notamment au niveau de la réglementation PEB, de manière à maximiser leurs effets.

- **Améliorer la compétitivité économique**

Afin de rendre la géothermie peu profonde plus attractive économiquement parlant, affiner les systèmes de subvention existants, afin qu'ils couvrent la majorité des investissements liés à la mise en place des installations, permettrait de réduire le frein lié aux coûts importants de mise en place de ces installations. De même, mettre fin ou réduire les aides existantes soutenant les technologies fossiles permettrait de réduire le déficit de compétitivité que peut parfois présenter la géothermie peu profonde face à celles-ci.



En Wallonie une série de mesures jugées prioritaires ont été identifiées. Elles sont résumées comme suit :

- Définir des objectifs clairs et ambitieux pour le secteur de la géothermie peu profonde (pour la chaleur et le froid renouvelables).
- Promouvoir la géothermie peu profonde en développant la communication grand-public notamment en mettant en place des campagnes de sensibilisation présentant les avantages nombreux de la géothermie et les coûts réels de la technologie.
- Créer une association wallonne (ou belge) des professionnels de la géothermie afin d'accélérer et promouvoir le développement de la géothermie en région.
- Publier et mettre à disposition des professionnels du secteur les cartes de potentiel.
- S'appuyer sur les 40 guichets de l'Energie présents en région Wallonne pour promouvoir la filière et fournir les informations aux particuliers et développeurs de projets (aspects règlementaires et techniques de base). Cet accompagnement personnalisé les aidera lors de l'engageront des démarches administratives.
- Développer des outils permettant de déterminer les zones prioritaires pour la rénovation afin de faciliter le déploiement de la géothermie peu profonde par la suite.
- Mettre en place un système de monitoring efficace des installations afin de suivre l'évolution du secteur et de répondre au mieux à ses besoins actuels et futurs.
  - Un monitoring des systèmes fermés imposé par l'administration permettrait de suivre le l'exploitation dès la mise en fonctionnement des installations. Le suivi consisterait à étudier l'évolution de la température dans sous-sol via des capteurs. Cela permettrait également d'optimiser les systèmes à l'avenir et d'éviter d'éventuels problèmes d'interactions thermiques entre des systèmes très proches. Un rapport au bout de 2 ou 3 ans de fonctionnement permettrait d'évaluer qualitativement le système.
- Réduire / faciliter les démarches administratives
  - Liées au permis d'environnement
- Améliorer l'acceptabilité du bâti wallon pour les technologie basse température
  - Imposer/durcir les normes et exigences
  - Promouvoir la rénovation énergétique
  - Limiter l'utilisation du fossile
- Améliorer la compétitivité de la filière
  - Soutenir la filière via des aides à l'investissement
    - ▶ D'un montant adapté, permettant de contrer les
    - ▶ Comprenant l'ensemble des couts, y compris les études et installations accessoires
    - ▶ Augmentant l'acceptabilité des technologies basses température (soutien à l'isolation thermique, soutien à la mise en place d'unités terminales adaptées).
  - Mettre fin au / réduire le soutien des technologies fossiles
  - Durcir les exigences énergétiques pour les bâtiments (neufs et existants)
  - Imposer l'atteinte de standards énergétiques et environnementaux à échéances précises.
- Améliorer la connaissance du sous-sol :
  - Du point de vue des données géologiques, développer un modèle 3D de la Wallonie décrivant l'altitude du toit et l'épaisseur de chacune des couches apparait à ce jour indispensable. Une valeur moyenne de conductivité thermique pourrait être assignée à chacune des couches en distinguant les valeurs en fonction de la saturation du terrain. Des jeux de données complets d'isohypses toit et base des couches serait facilement extractibles du modèle 3D.
  - Continuer à soutenir des programmes d'exploration par les pouvoirs publics. Le focus pourra être mis dans un premier temps sur les zones pour lesquelles les données géologiques et les propriétés thermiques et hydrogéologiques sont insuffisantes

## 8. CONCLUSIONS

---

Malgré ces nombreux avantages, la géothermie peu profonde reste une solution trop peu valorisée et visible en Wallonie pour assurer la production de froid et de la chaleur renouvelable. La présente étude visait donc à déterminer le potentiel de la géothermie peu profonde (<500m), à le cartographier et à proposer un plan d'actions concret pour promouvoir le développement durable de cette filière dans la région.

L'évaluation du potentiel géothermique peu profonde en Wallonie a été réalisée à partir des données existantes. Une attention particulière a été portée au travail d'identification, de collecte et de traitement de ces données disponibles. Les données collectées comprennent des données relatives au sous-sol et à la surface.

Les données collectées ont ensuite été stockées dans une base de données relationnelle (BD) développée à cet effet. Cette BD permet le stockage des données relatives aux systèmes fermés et ouverts et des informations concernant la demande d'énergie en surface. Elle est structurée d'une manière générique, afin de faciliter 1/l'échange des données avec les autres bd existantes, 2/ la réutilisation de la bd dans de futurs projets, 3/ l'ajout de nouvelles données à la bd et 4/ l'ajout de nouvelles tables.

Un volet majeur de cette étude portait sur le développement de méthodologies permettant de déterminer le potentiel de la géothermie peu profonde en Wallonie pour les systèmes fermés et ouverts. Une étude des meilleures pratiques européennes a été réalisée dans un premier temps. L'analyse démontre que celles-ci s'appuient fréquemment sur l'existence de modèle géologique 3D du sous-sol, ce qui malheureusement fait défaut en Wallonie. Les méthodologies jugées les plus adaptées ont été discutées et adaptées afin de permettre la détermination du potentiel en RW à partir des données disponibles.

L'outil utilisé pour la cartographie du potentiel est le Dynamic Energy Atlas. Il s'agit d'un système d'information générique développé à l'origine pour la Flandre pour cartographier la répartition géographique de la demande d'énergie, de la production d'énergie (renouvelable) et de la production potentielle d'énergie (renouvelable). Un module complémentaire a été développé pour permettre l'adaptation de l'outil original aux besoins de la Wallonie. Ce module permet le traitement spécifique des données disponibles et collectées dans ce projet. Le DEA ainsi adapté a permis de générer des cartes de demande d'énergie par secteurs, de potentiel technique sous-sol, de potentiel net et des cartes croisées à partir de données d'entrée dynamique de divers formats. Les fichiers utilisés pour réaliser les cartes ont été livrés sous format modifiable avec un accès non protégé à l'ensemble des cellules. La taille des mailles pour la cartographie est de taille 100 m x 100 m. Les cartes constituent une aide à la décision pour déterminer la possibilité d'utiliser la géothermie peu profonde par le biais de l'installation de systèmes fermés ou ouverts lors d'un choix énergétique.

La cartographie démontre qu'à l'échelle de la Wallonie, le potentiel géothermique des systèmes fermés est favorable à très favorable sur la majorité du territoire. Quelques zones très limitées ont un potentiel qualifié de moins favorable, en raison de la présence de lithologies ayant une conductivité thermique supposée inférieure à 2,2 W/m/K et une épaisseur non saturée supérieure. Le potentiel technique sous-sol minimal estimé est de l'ordre de 500 MWh/ha dans ces zones, sur le reste du territoire la valeur estimée du potentiel technique sous-sol est d'environ 1000 MWh/ha. Concernant les systèmes ouverts, bien que le potentiel soit plus hétérogène que celui des systèmes fermés, il est considéré comme favorable sur une large partie du territoire. Les différences de débit de production possible sont la cause principale de cette large hétérogénéité. Les graviers le long du trajet de la Sambre et de la Meuse correspondent à des zones de potentiel très favorable en raison de la faible profondeur de la nappe et de débits d'exploitation élevés. Le potentiel technique sous-sol minimal estimé est proche de 0 MWh/ha dans les zones où les débits de production sont extrêmement faibles et est proche de 250 MWh/ha dans les zones les plus favorables. L'analyse des

cartes souligne le fait que la géothermie peu profonde doit être considérée comme une solution énergétique intéressante sur la quasi-totalité de la Wallonie.

Le croisement des données de demande en chaud en surface considérée comme couvrable par la technologie PACs géothermiques avec les données de potentiel technique sous-sol permet de plus d'estimer le potentiel net des systèmes fermés et ouverts pour les secteurs résidentiel et tertiaire. L'analyse a été réalisée sur base d'estimation de la demande couvrable pour divers scénarii définis comme favorable ou défavorable pour 2022 et aux horizons 2030 et 2050. Les potentiels nets estimés pour les secteurs résidentiel et tertiaire sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Secteur	Type de systèmes	2022		2030		2050	
		Favorable	Défavorable	Favorable	Défavorable	Favorable	Défavorable
Résidentiel	Systèmes fermés	9,300 GWh	4,163 GWh	10,852 GWh	7,315 GWh	10,435 GWh	8,877 GWh
Tertiaire	Systèmes fermés	3,842 GWh	1,712 GWh	3,054 GWh	1,513 GWh	2,749 GWh	1,600 GWh
	Systèmes ouverts	1,746 GWh	1,066 GWh	1,545 GWh	978 GWh	1,452 GWh	1,017 GWh

Démontrer l'existence d'un potentiel constitue une étape clé mais elle n'est pas suffisante pour s'assurer du développement de la filière dans la région. Des mesures complémentaires permettant d'accompagner et de faciliter la mise en place de systèmes géothermiques sont aussi utiles. Ainsi, un guide de bonnes pratiques en matière de géothermie peu profonde ayant cette vocation a été rédigé. Il s'adresse : aux guichets de l'énergie, au grand public, aux développeurs de projets et architectes, aux bureaux d'études et aux facilitateurs Energie industrie et facilitateurs URE indépendants. Il s'agit d'un guide évolutif qui devra être mis à jour dans le cas d'évolution des réglementations ou des aides financières, de nouvelles certifications ou d'innovations technologiques notables

Enfin, l'un des résultats majeurs de cette étude est la proposition d'un plan d'actions concret pour promouvoir et s'assurer du développement du secteur de la géothermie peu profonde en Wallonie. Il a été développé sur base d'une analyse SWOT et comprend des actions économiques et financières, des actions législatives et règlementaires et des actions de communication.

Les résultats de l'étude sont en grande partie destinés au grand public, aux maîtres d'œuvres et aux maîtres d'ouvrages qui envisagent l'installation d'un systèmes géothermiques associée à une pompe à chaleur lors du choix d'une solution d'approvisionnement énergétique. Les outils et cartes ont aussi vocation à servir d'aide à la décision pour l'administration wallonne. Les cartes réalisées seront disponibles en accès libre via le Géoportail de la Wallonie.

## 9. RÉFÉRENCES

---

AQUAWAL & CDHE, (2015) Étude sur les consommations résidentielles d'eau et d'énergie en Wallonie. Rapport final. Étude réalisée pour le compte du SPW – DGO3 – DEMNA.

Carte d'isohypses de la base du Crétacé (SPW)

Carte d'isopaques du Crétacé (SGB)

Carte d'isohypses de la base du Crétacé (indifférencié) (SPW)

Dassargues, A. (2010). Hydrogéologie, Notes de cours. Université de Liège

Dassargues, A., & Monjoie, A. (1993). Les aquifères crayeux en Belgique. Hydrogéologie, (2).

Dassargues A., 2018. Hydrogeology: groundwater science and engineering, chapter 11, Taylor & Francis CRC press, Boca Raton.

Dassargues A. 2020. Hydrogéologie appliquée : science et ingénierie des eaux souterraines, chapitre 11, Dunod. Paris.

DECC, MCS 022: Ground Heat Exchanger look-up tables. Supplementary material to MIS 3005. Issue 1.0, 2011, Department of Energy and Climate Change (DECC), United Kingdom. p. 22.

François, L., Van den Bossche, P., Van Lysebetten, G. (2017). NIT 259 CSTC: Géothermie peu profonde. Conception et mise en œuvre de systèmes avec échangeurs en forme de U, 108 p.

Givry n°45/7-8 (notice explicative). Ed. Service public de Wallonie, Direction des Eaux.

Goffinet F., Ruthy I., César E., Dassargues A. (2014). Carte hydrogéologique de Wallonie, Planchettes Andenne - Couthuin n° 48/1-2. Ed. Service public de Wallonie, Direction des Eaux Souterraines (SPW ARNE), Belgique. Dépôt légal D/2014/12.796/5. ISBN 978-2-8056-0151-4.

GRETA, Interreg project (2018). Deliverable D.4.2.1 – Local-scale maps of the NSGE potential in the Case Study areas. [https://www.alpine-space.org/projects/greta/deliverables/d4.2.1\\_local-scale-maps-of-the-nsge-potential-in-the-case-study-areas.pdf](https://www.alpine-space.org/projects/greta/deliverables/d4.2.1_local-scale-maps-of-the-nsge-potential-in-the-case-study-areas.pdf)

Haehnlein, S., P. Bayer, and P. Blum, (2010). International legal status of the use of shallow geothermal energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14(9): p. 2611-2625.

Mengeot, A., Roland, S. et Rorive, A. (2017). Carte hydrogéologique de Wallonie, Planchettes Mons- Givry n° 45/7-8. Ed. Service public de Wallonie, Direction des Eaux Souterraines (SPW ARNE), Belgique. Dépôt légal D/2017/12.796/8. ISBN 978-2-8056-0232-0.

Ondreka, J., et al., GIS-supported mapping of shallow geothermal potential of representative areas in south-western Germany—Possibilities and limitations. Renewable Energy, 2007. 32(13) : p. 2186-2200.

Pacyna, D. & Kheffi, A. (2018). Annexe 3 Les marnières souterraines, carrières souterraines de craie et de «tuffeau», carrières souterraines mixtes silex/«tuffeau» et carrières souterraines de craie phosphatée du Bassin de Mons. Crétacé de Hesbaye et du Bassin de Mons.

Possemiers, M. (2014). Aquifer Thermal Energy Storage under different hydrochemical and hydrogeological conditions, KULeuven.

Rekk S., Hallet V., Ruthy I., Dassargues A. (2017). Carte hydrogéologique de Wallonie, Planchettes Wavre – Chaumont-Gistoux n° 40/1-2. Ed. Service public de Wallonie, Direction des Eaux Souterraines (SPW ARNE), Belgique. Dépôt légal D/2017/12.796/13. ISBN 978-2-8056-0239-9.

Ruthy I., Dassargues A. (2006). Carte hydrogéologique de Wallonie, Planchettes Allieur - Liège n° 42/1-2. Ed. Service public de Wallonie, Direction des Eaux Souterraines (SPW ARNE), Belgique. Dépôt légal D/2006/12.796/3. ISBN 978-2-8056-0053-1.

Ruthy I., Dassargues A. (2015). Carte hydrogéologique de Wallonie, Planchettes Chastre - Gembloux n° 40/5-6. Ed. Service public de Wallonie, Direction des Eaux Souterraines (SPW ARNE), Belgique. Dépôt légal D/2015/12.796/2. ISBN 978-2-8056-0173-6.

Sorel A., Rekk S., Hallet V. (2015). Carte hydrogéologique de Wallonie, Planchettes Wasseiges - Braives n° 41/5-6. Ed. Service public de Wallonie, Direction des Eaux Souterraines (SPW ARNE), Belgique. Dépôt légal D/2015/12.796/5. ISBN 978-2-8056-0176-7.

Thomas, C., Orban, P., Dassargues, A., Brouyère, S. (2019). Convention Région wallonne et HGE-Liège - Développement d'un module SIG de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines et de risques et application aux principales masses d'eau souterraine de Wallonie, Délivrable D03 : Description des applications réalisées et cartes de vulnérabilité produites avec l'outil SIG, 104pp.

VDI, VDI 4640 - Thermal use of underground, 2010.

VDI, VDI 4640 - Thermal use of underground - Sheet 2, 2015



## ANNEXE A : DYNAMIC ENERGY ATLAS

---

L'Atlas dynamique de l'énergie (DEA) est un système d'information générique permettant de cartographier la répartition géographique de la demande d'énergie, de la production d'énergie (renouvelable) et de la production potentielle d'énergie (renouvelable).

Contrairement aux sources d'énergie traditionnelles, les sources d'énergie renouvelables sont généralement décentralisées et revendiquent l'espace disponible. De plus, l'exploitation de certaines technologies, comme la géothermie, nécessite de minimiser les distances entre producteurs et consommateurs. De même, la production décentralisée augmente le nombre d'installations. Le DEA cible précisément ces problèmes à l'interface entre la production et la consommation d'énergie, l'aménagement du territoire et les préoccupations environnementales.

Le DEA permet d'évaluer l'impact des contraintes naturelles (par exemple dans le cas de la géothermie peu profonde liées aux sous-sol) ainsi que des caractéristiques technologiques des installations sur la capacité de production.

Le DEA permet de résoudre les problématiques énergétiques, liées à la fois à la demande et à la production, dans un contexte pleinement géographique. Il s'agit d'un système d'information spatialement explicite applicable de manière générique, construit sur la base de modèles quantitatifs et de bases de données. Il représente la zone étudiée sous la forme d'un raster régulier d'entités cellulaires. Il est équipé de fonctionnalités SIG. C'est un outil d'aide à l'élaboration des politiques dans les domaines où la répartition géographique de la demande et de la production d'énergie est en cause.

L'Atlas Dynamique de l'Energie est utilisé entre autres pour :

- Surveiller la demande énergétique actuelle et la production d'énergie renouvelable dans la région ainsi que son évolution dans le temps
- Évaluer le potentiel inexploité d'énergies renouvelables basées sur l'énergie éolienne, solaire, biomasse, géothermique et hydraulique et suivre les progrès par rapport aux plans climatiques municipaux, provinciaux et régionaux conformément aux objectifs climatiques et énergétiques de l'UE et aux objectifs définis dans la Convention des maires ;
- Évaluer le potentiel des échanges thermiques et des réseaux de chaleur conformément à l'article 14 de la directive européenne 2012/27/CE relative à l'efficacité énergétique ;
- Concevoir et mettre en œuvre des politiques visant le développement et l'exploitation des paysages énergétiques en tenant dûment compte de l'aménagement du territoire et des contraintes environnementales ;
- Définir et mettre en œuvre des cadres législatifs régionaux et provinciaux en matière d'énergie éolienne.

Le Dynamic Energy Atlas comme système d'aide à la décision

Le DEA est une application conviviale qui gère l'allocation et la modélisation ascendante et/ou descendante de la demande d'énergie par les utilisateurs appartenant à divers secteurs, ainsi que la production d'énergie (existante et potentielle) basée sur la production centrale et la production décentralisée.

Pour chaque forme d'énergie, qu'il s'agisse d'électricité, de chaleur ou de combustibles, la DEA produit des cartes de la demande par (sous-)secteur, et de la production par (sous-)technologie au niveau des cellules du raster ainsi que sur des entités spatiales sélectionnées par l'utilisateur qui sont un multiple des unités cellulaires. La DEA produit également des rapports de totaux, par technologie, par industrie, par cellule ou groupe de cellules, ...

Le DEA propose des algorithmes d'allocation spécialisés qui prennent en compte les contraintes environnementales, de sécurité, spatiales et autres contraintes législatives imposées par la politique en ce qui concerne l'emplacement des installations de production d'énergie, et des algorithmes recherchant l'emplacement optimal des installations en fonction des contraintes spatiales, techniques et économiques. De tels algorithmes ont été développés pour et avec des clients tels que : la province du Brabant flamand, la province du Limbourg et les départements de l'aménagement du territoire (Ruimte Vlaanderen), de l'environnement (LNE) et de l'énergie (VEA) du gouvernement flamand.

La DEA est un important système d'aide à la décision pour les gouvernements, les producteurs, les distributeurs et les (gros) consommateurs d'énergie. Le DEA donne un meilleur aperçu des transitions en cours et futures et anticipe et juge les effets sur leur rôle dans le système. C'est certainement le cas lors de l'évaluation du potentiel de nouveaux sites de production d'énergie renouvelable.

### A.1. MÉTHODOLOGIE DEA

La méthodologie qui sous-tend le Dynamic Energy Atlas en fait un produit très flexible et ouvert. En effet, en fonction des besoins précis, des données disponibles et de la taille de la zone d'étude, l'utilisateur démarrant une nouvelle application peut décider de :

- Aspects du système énergétique à intégrer : demande d'énergie, production d'énergie installée, production d'énergie potentielle, ...
- Forme d'énergie : électricité, chaleur, combustibles de toutes sortes, ...
- Technologies (production d'énergie, producteurs) : carbonées, nucléaires, éoliennes, solaires, biomasse, géothermiques, hydrauliques, ..., subdivisées ou agrégées en fonction des besoins et de la disponibilité des données.
- Secteurs (demande d'énergie, consommateurs) : industrie, services, commerce, transports, ménages, ... subdivisés ou agrégés en fonction des besoins et de la disponibilité des données.
- Zone d'étude, résolution et entités spatiales : Pour chaque zone d'étude, une nouvelle application peut être mise en place. Elle peut varier de superficies mesurant quelques km<sup>2</sup> jusqu'à quelques millions de km<sup>2</sup>. La zone d'étude est représentée sous la forme d'une matrice de mailles carrées. Les résolutions peuvent varier de dizaines de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres selon la taille de la zone d'étude et les détails requis en sortie. Tous les calculs sont effectués au niveau de la grille et les cellules peuvent être agrégées à n'importe quelle entité spatiale définie par l'utilisateur.

À tout moment pendant la durée de vie d'une application, les informations peuvent être étendues, complétées, remplacées ou supprimées.

Bien que la demande et la production soient traitées dans des sections distinctes du DEA, la même méthodologie de base est utilisée pour représenter les différents secteurs demandeurs d'énergie et les technologies productrices d'énergie. La demande et la production sont organisées de manière hiérarchiquement imbriquée. Cinq niveaux hiérarchiques sont pris en charge, évoluant de la demande totale jusqu'à celle d'une activité spécifique (industrie, commercial, type de ménage, ...) ou de la production totale jusqu'à la production au moyen d'une technologie spécifique déployée dans une configuration définie, telle comme « panneaux photovoltaïques à petite échelle (< 10 KW) sur les toits des bâtiments résidentiels ».

Les données de base sont saisies au niveau le plus détaillé de l'arbre hiérarchique. A chaque niveau hiérarchique, les résultats de tous les calculs peuvent être consultés sous forme de cartes, de tableaux et de graphiques.

Une distinction est faite dans le DEA entre producteurs/consommateurs selon (1) la nature des données disponibles, (2) leur répartition dans l'espace. On distingue ainsi :

- Producteurs/consommateurs ponctuels. Producteurs/consommateurs pour lesquels l'emplacement précis (coordonnées X, Y) est connu et dont la production/demande précise est mesurée et signalée. Il s'agit le plus souvent d'unités de production plus importantes, telles que des éoliennes

terrestres, et/ou de plus gros consommateurs (industriels).

- Producteurs/consommateurs diffus. Producteurs/consommateurs dont la localisation précise n'est pas connue et doit être estimée aussi précisément que possible sur la base d'indicateurs géographiques, et/ou, dont la capacité de production ou de consommation n'est pas connue au niveau de la source, et doivent plutôt être estimées sur la base de coefficients techniques ou de données disponibles à un niveau d'agrégation supérieur. Par exemple, la consommation par les ménages qui est généralement une information non divulguée.

Le DEA utilise une formule générale indépendante de la technologie ou du secteur étudié pour calculer ou évaluer la quantité d'énergie par emplacement. La formule s'exprime comme suit :

Production ou consommation d'énergie (par pixel) =

- facteur de production d'énergie (spécifique à la technologie, au secteur et/ou au lieu) X
- schéma spatial (là où la technologie ou le secteur est/peut être situé) X
- faisabilité (technique, économique, soutien/résistance publique, rapport de performance...)

Pour les producteurs/consommateurs ponctuels, le DEA stocke des informations sur le producteur ou le consommateur individuel dans la base de données intégrée.

Pour les producteurs/consommateurs diffus, le DEA prend en charge une allocation de type ascendante (« bottom-up ») et descendante (« top-down ») de la production et de la consommation pour chaque technologie produisant de l'énergie ou secteur consommant de l'énergie :

- L'allocation ascendante part d'un emplacement aussi précis que possible des producteurs/consommateurs sur la carte et calcule sur la base des données précises disponibles, voire des meilleures informations techniques disponibles, la production/demande dans l'emplacement.
- L'allocation descendante part des données de production/demande disponibles à un niveau agrégé (national, régional, municipal) et les désagrègera en cellules de grille basées sur les meilleurs proxys géographiques disponibles et des algorithmes de cartographie avancés pour générer une carte des producteurs/consommateurs.

Le DEA est équipé d'un ensemble complet d'algorithmes d'allocation spatiale spécifiques mais applicables de manière générique, prêts à être sélectionnés par l'utilisateur en fonction du type de proxy et de couches cartographiques SIG disponibles. Un tel algorithme est destiné à définir les zones où une technologie spécifique, telle que les éoliennes à grande échelle, peut être déployée. Il permet à l'utilisateur de saisir et de compiler deux piles de couches cartographiques (voir illustration), l'une représentant les critères spatiaux positifs facilitant le déploiement de la technologie, et une seconde représentant les critères spatiaux négatifs interdisant le déploiement. Les critères sont une sélection de caractéristiques physiques, environnementales, d'aménagement du territoire ou législatives de la zone d'étude, chacune étant disponible sous forme de couche cartographique SIG.

En conséquence, l'algorithme permet de visualiser sur une carte les zones où la technologie est autorisée. En cochant des cases, l'utilisateur peut activer ou désactiver une couche de carte et ainsi explorer les effets de l'inclusion ou de l'exclusion d'un critère spatial positif ou négatif donné. De même, les critères peuvent être pondérés individuellement et une valeur seuil peut être définie afin qu'en fin de compte des zones soient disponibles ou non pour la technologie en fonction des poids totaux positifs et négatifs de tous les critères qui s'appliquent.

## A.2. RÉSULTATS DU DEA

Le DEA fournit à l'utilisateur des informations sur la demande et la production d'énergie à différents niveaux de détail et permet de suivre les évolutions. Les résultats les plus importants sont des cartes à travers lesquelles l'utilisateur peut découvrir les points où la demande ou de la production d'énergie est concentrée (hotspots) en appliquant des filtres spatiaux.

L'utilisateur peut consulter des informations sous différents formats et à différents niveaux de détail. Selon la configuration de l'application, des informations sont disponibles sur la demande d'énergie et la production d'énergie, à la fois installée et potentielle. Les informations peuvent être stockées et consultées à différents moments. Ainsi, un suivi de l'évolution de la demande et/ou de la production est possible. En ce qui concerne la production potentielle d'énergie, divers scénarios peuvent également être développés et stockés. Ils sont disponibles pour comparaison au sein de l'outil.

Toutes les informations peuvent être consultées et exportées à tous les niveaux de l'arborescence hiérarchique et de l'entité spatiale choisie par l'utilisateur. Ainsi, des informations peuvent être obtenues sur le potentiel total de production d'énergie jusqu'à celui d'une seule technologie. De même, des informations sur la demande totale d'énergie, jusqu'à celle d'un seul secteur ou activité. Cela peut être au niveau de la cellule individuelle, ou de tout agrégat de cellules, qu'il s'agisse d'entités administratives, physiques ou techniques.

Les résultats les plus importants de l'Atlas de l'énergie dynamique sont les cartes. Il s'agit essentiellement de cartes raster montrant les valeurs par cellule. Des filtres spatiaux de différentes sortes peuvent être appliqués sur les cartes raster afin de faire remonter à la surface les « hotspots » de la demande ou de la production d'énergie qui, autrement, seraient perdus dans les détails de la représentation raster.

Les cartes Choroplete au niveau municipal ou à d'autres niveaux administratifs sont également prises en charge. A cet effet, l'utilisateur saisit, dans le cadre de la saisie, une couche cartographique comportant les frontières des régions d'intérêt. Les légendes et les palettes de couleurs appliquées peuvent être définies de manière interactive pour produire des cartes apportant un message clair.

En plus des cartes, l'Atlas dynamique de l'énergie peut générer sous forme de tableau et de diagrammes à barres les « 10 principales » technologies produisant l'énergie, ou les secteurs consommant de l'énergie, par entité spatiale d'intérêt : zone d'étude totale, par province, par municipalité, etc.

## A.3. DEA INFORMATIONS TECHNIQUES

Le DEA est implémenté en C++ et fonctionne comme une application autonome sur la plate-forme PC sous Windows. Il dispose d'une interface utilisateur graphique prenant en charge l'intégration, le stockage et l'exportation de toutes les données, l'exécution des différentes analyses, la gestion des cartes et autres sorties générées par l'outil.

La taille de la zone d'étude, la résolution choisie pour la représenter, les secteurs, les technologies et les différentes formes d'énergie abordés, ... déterminent la capacité de traitement et de stockage et donc, le type de PC requis. Mais il est clair qu'un PC standard suffit pour exécuter l'Atlas dynamique de l'énergie dans le cas de régions constituées d'un million de cellules comportant des dizaines de technologies et de secteurs.

L'application peut s'exécuter sur un serveur, et est donc disponible pour plusieurs utilisateurs, cependant, elle ne peut être utilisée que par un seul utilisateur à la fois.

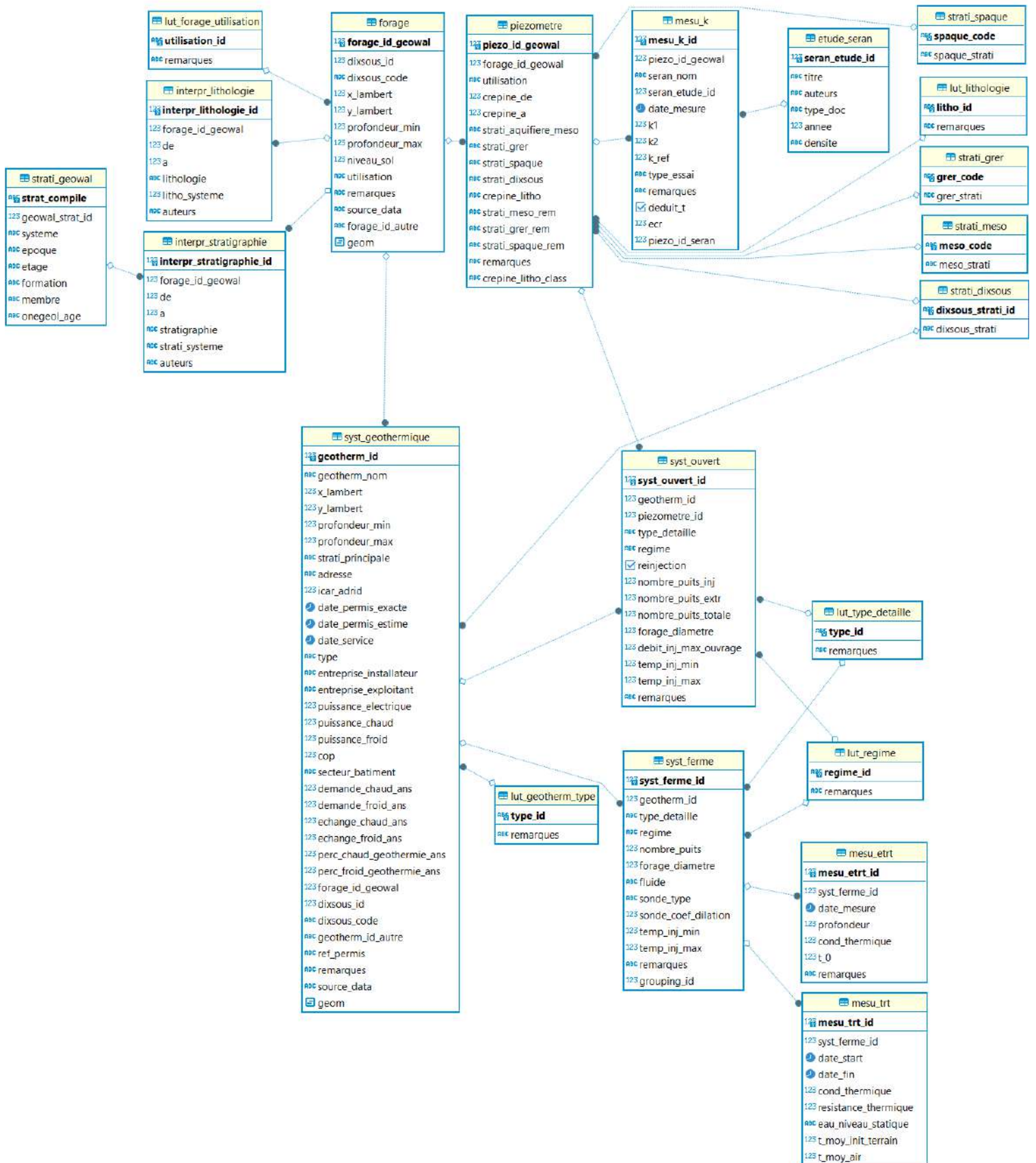




**B.2. MOYENNES DES VALEURS DE CONDUCTIVITÉS THERMIQUE MESURÉES ET PROPOSITION DE CLASSE**

Série	Age	Regroupement	Moy TC retenue (W/m.K)	Proposition Classe TC
Quaternaire	Quaternaire		1,9	A
Miocène supérieur	Tortonien	1,9	A	
Oligocène	Oligocène	1,76	A	
Eocène Supérieur	Priabonien	Eocène Sup	1,9	A
	Bartonien			
Eocène Moyen	Lutétien		1,7	A
Eocène Inférieur	Yprésien		1,9	A
Paléocène	Thanétien		2	A
Paléocène Inférieur	Danien		1,73	A
Crétacé Supérieur	Campanien		1,8	A
Crétacé Supérieur	Crétacé Supérieur	Crétacé Supérieur	1,93	A
Crétacé Supérieur	Maastrichtien			
Crétacé Supérieur	Santonien			
Crétacé Supérieur	Conianien			
Crétacé Supérieur	Turonien			
Crétacé Supérieur	Cénomaniens			
Crétacé Inférieur	Berriasien			
Jurassique Inférieur	Toarcien	Jurassique		
Jurassique Inférieur	Sinemurien			
Jurassique Inférieur	Jurassique inférieur			
Trias	Trias Supérieur		2,5	B
Permien	Permien			
Carbonifère Supérieur	Bashkirien		2,7	B
Carbonifère Inférieur	Viséen	Dinantien	2,8	B
Carbonifère Inférieur	Tournaisien			
Dévonien Supérieur	Famennien	Fm Ciney (grès)	2,9	B
Dévonien Supérieur	Frasnien		2,6	B
Dévonien Moyen	Givétien		2,8	B
Dévonien Moyen	Eifelien	Fm Couvin (calcaire)		B
Dévonien Inférieur	Emsien	Dévonien Inférieur	3,3	B
Dévonien Inférieur	Praguien			
Dévonien Inférieur	Lochkovien			
Silurien	Silurien	Silurien	2,5	B
Silurien	Wenlock			
Silurien	Telychien			
Silurien	Llandovery			
Ordovicien	Ordovicien Supérieur	Ordovicien	2,62	B
Ordovicien	Katien			
Ordovicien	Floian			
Ordovicien	Tremadocien			
Cambrien	Cambrien	Cambrien	3,3	B
Cambrien	Furogien			
Cambrien	Terreneuve			

## ANNEXE C : STRUCTURE DE LA BD



## ANNEXE D : RÉSULTATS DE LA DEMANDE COUVRABLE POUR LES SECTEURS RÉSIDENTIEL ET TERTIAIRE POUR LES 262 COMMUNES

### D.1. SECTEUR RÉSIDENTIEL

Commune	2022			2030			2050		
	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Aiseau-Presles	92 GWh	29 GWh	11 GWh	67 GWh	33 GWh	23 GWh	40 GWh	34 GWh	31 GWh
Amay	119 GWh	40 GWh	19 GWh	94 GWh	49 GWh	36 GWh	51 GWh	43 GWh	40 GWh
Amblève	51 GWh	19 GWh	10 GWh	41 GWh	22 GWh	17 GWh	24 GWh	21 GWh	20 GWh
Andenne	196 GWh	68 GWh	35 GWh	169 GWh	84 GWh	62 GWh	92 GWh	73 GWh	68 GWh
Anderlues	99 GWh	33 GWh	15 GWh	73 GWh	38 GWh	28 GWh	41 GWh	36 GWh	33 GWh
Anhée	70 GWh	22 GWh	9 GWh	52 GWh	27 GWh	19 GWh	30 GWh	26 GWh	24 GWh
Ans	187 GWh	59 GWh	17 GWh	140 GWh	67 GWh	31 GWh	85 GWh	68 GWh	41 GWh
Anthisnes	37 GWh	13 GWh	6 GWh	28 GWh	15 GWh	11 GWh	16 GWh	14 GWh	13 GWh
Antoing	65 GWh	21 GWh	9 GWh	47 GWh	24 GWh	17 GWh	27 GWh	24 GWh	21 GWh
Arlon	229 GWh	85 GWh	52 GWh	199 GWh	97 GWh	73 GWh	123 GWh	92 GWh	84 GWh
Assesse	65 GWh	23 GWh	11 GWh	55 GWh	29 GWh	22 GWh	31 GWh	26 GWh	25 GWh
Ath	241 GWh	83 GWh	43 GWh	203 GWh	102 GWh	75 GWh	112 GWh	91 GWh	83 GWh
Attert	50 GWh	21 GWh	13 GWh	43 GWh	24 GWh	19 GWh	26 GWh	22 GWh	21 GWh
Aubange	134 GWh	48 GWh	26 GWh	110 GWh	55 GWh	40 GWh	67 GWh	53 GWh	49 GWh
Aubel	35 GWh	12 GWh	6 GWh	29 GWh	14 GWh	10 GWh	17 GWh	13 GWh	12 GWh
Awans	65 GWh	23 GWh	12 GWh	51 GWh	27 GWh	20 GWh	29 GWh	25 GWh	23 GWh

Commune	2022			2030			2050		
	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Aywaille	96 GWh	33 GWh	17 GWh	76 GWh	39 GWh	29 GWh	43 GWh	36 GWh	34 GWh
Baelen	39 GWh	15 GWh	8 GWh	33 GWh	17 GWh	13 GWh	19 GWh	16 GWh	15 GWh
Bassenge	70 GWh	23 GWh	10 GWh	53 GWh	27 GWh	19 GWh	31 GWh	26 GWh	24 GWh
Bastogne	118 GWh	50 GWh	34 GWh	107 GWh	58 GWh	46 GWh	65 GWh	52 GWh	48 GWh
Beaumont	73 GWh	23 GWh	9 GWh	54 GWh	28 GWh	20 GWh	31 GWh	27 GWh	25 GWh
Beauraing	95 GWh	32 GWh	14 GWh	79 GWh	40 GWh	29 GWh	43 GWh	37 GWh	34 GWh
Beuvechain	50 GWh	19 GWh	10 GWh	42 GWh	22 GWh	17 GWh	25 GWh	21 GWh	20 GWh
Belœil	130 GWh	43 GWh	18 GWh	100 GWh	52 GWh	37 GWh	55 GWh	48 GWh	43 GWh
Berloz	24 GWh	8 GWh	4 GWh	19 GWh	10 GWh	8 GWh	11 GWh	9 GWh	9 GWh
Bernissart	103 GWh	34 GWh	13 GWh	81 GWh	42 GWh	29 GWh	44 GWh	39 GWh	35 GWh
Bertogne	33 GWh	13 GWh	8 GWh	29 GWh	16 GWh	12 GWh	16 GWh	14 GWh	14 GWh
Bertrix	86 GWh	29 GWh	15 GWh	71 GWh	36 GWh	26 GWh	40 GWh	33 GWh	31 GWh
Beyne-Heusay	83 GWh	26 GWh	7 GWh	60 GWh	31 GWh	15 GWh	35 GWh	30 GWh	19 GWh
Bièvre	42 GWh	13 GWh	5 GWh	33 GWh	17 GWh	12 GWh	18 GWh	16 GWh	15 GWh
Binche	284 GWh	96 GWh	43 GWh	212 GWh	109 GWh	77 GWh	124 GWh	105 GWh	94 GWh
Blegny	105 GWh	35 GWh	15 GWh	83 GWh	42 GWh	31 GWh	46 GWh	40 GWh	37 GWh
Bouillon	69 GWh	23 GWh	10 GWh	52 GWh	26 GWh	19 GWh	32 GWh	27 GWh	25 GWh
Boussu	151 GWh	48 GWh	19 GWh	114 GWh	58 GWh	27 GWh	65 GWh	55 GWh	33 GWh
Braine-l'Alleud	237 GWh	87 GWh	49 GWh	202 GWh	100 GWh	73 GWh	125 GWh	98 GWh	89 GWh
Braine-le-Château	77 GWh	28 GWh	15 GWh	63 GWh	33 GWh	25 GWh	36 GWh	31 GWh	29 GWh
Braine-Le-Comte	154 GWh	51 GWh	23 GWh	127 GWh	61 GWh	43 GWh	74 GWh	60 GWh	53 GWh
Braives	53 GWh	20 GWh	10 GWh	42 GWh	23 GWh	17 GWh	23 GWh	21 GWh	20 GWh
Brugelette	36 GWh	14 GWh	8 GWh	28 GWh	16 GWh	12 GWh	16 GWh	14 GWh	13 GWh
Brunehaut	73 GWh	24 GWh	10 GWh	53 GWh	28 GWh	21 GWh	30 GWh	27 GWh	26 GWh
Bullange	58 GWh	22 GWh	12 GWh	46 GWh	25 GWh	19 GWh	27 GWh	24 GWh	23 GWh

	2022			2030			2050		
Commune	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Burdinne	29 GWh	10 GWh	5 GWh	24 GWh	13 GWh	10 GWh	13 GWh	11 GWh	11 GWh
Burg-Reuland	48 GWh	15 GWh	7 GWh	37 GWh	18 GWh	13 GWh	22 GWh	19 GWh	18 GWh
Butgenbach	54 GWh	18 GWh	9 GWh	42 GWh	21 GWh	16 GWh	25 GWh	21 GWh	20 GWh
Celles	54 GWh	18 GWh	8 GWh	40 GWh	22 GWh	16 GWh	23 GWh	20 GWh	19 GWh
Cerfontaine	49 GWh	17 GWh	8 GWh	38 GWh	20 GWh	14 GWh	22 GWh	19 GWh	17 GWh
Chapelle-lez-Herlaimont	99 GWh	34 GWh	16 GWh	74 GWh	37 GWh	26 GWh	45 GWh	37 GWh	33 GWh
Charleroi	1,546 GWh	492 GWh	152 GWh	1,108 GWh	531 GWh	254 GWh	696 GWh	551 GWh	335 GWh
Chastre	47 GWh	18 GWh	10 GWh	41 GWh	22 GWh	16 GWh	23 GWh	20 GWh	19 GWh
Châtelet	275 GWh	86 GWh	24 GWh	197 GWh	95 GWh	44 GWh	123 GWh	100 GWh	61 GWh
Chaufontaine	147 GWh	48 GWh	23 GWh	112 GWh	56 GWh	41 GWh	66 GWh	55 GWh	51 GWh
Chaumont-Gistoux	86 GWh	30 GWh	15 GWh	68 GWh	35 GWh	26 GWh	40 GWh	34 GWh	33 GWh
Chièvres	61 GWh	20 GWh	8 GWh	49 GWh	25 GWh	18 GWh	27 GWh	23 GWh	22 GWh
Chimay	106 GWh	34 GWh	14 GWh	78 GWh	40 GWh	29 GWh	46 GWh	40 GWh	37 GWh
Chiny	69 GWh	23 GWh	10 GWh	52 GWh	27 GWh	19 GWh	30 GWh	27 GWh	25 GWh
Ciney	132 GWh	47 GWh	26 GWh	113 GWh	56 GWh	42 GWh	65 GWh	51 GWh	48 GWh
Clavier	51 GWh	19 GWh	10 GWh	42 GWh	23 GWh	18 GWh	23 GWh	20 GWh	19 GWh
Colfontaine	153 GWh	50 GWh	13 GWh	112 GWh	59 GWh	27 GWh	64 GWh	56 GWh	34 GWh
Comblain-au-Pont	43 GWh	13 GWh	5 GWh	32 GWh	16 GWh	12 GWh	18 GWh	16 GWh	15 GWh
Comines-Warneton	125 GWh	43 GWh	20 GWh	98 GWh	50 GWh	34 GWh	60 GWh	50 GWh	44 GWh
Courcelles	251 GWh	81 GWh	33 GWh	185 GWh	93 GWh	65 GWh	108 GWh	92 GWh	82 GWh
Court-Saint-Étienne	68 GWh	27 GWh	16 GWh	60 GWh	32 GWh	25 GWh	34 GWh	28 GWh	26 GWh



	2022			2030			2050		
Commune	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Couvin	117 GWh	38 GWh	17 GWh	87 GWh	44 GWh	32 GWh	52 GWh	45 GWh	41 GWh
Crisnée	24 GWh	8 GWh	4 GWh	20 GWh	10 GWh	8 GWh	10 GWh	9 GWh	8 GWh
Dalhem	60 GWh	25 GWh	16 GWh	51 GWh	29 GWh	23 GWh	29 GWh	24 GWh	23 GWh
Daverdisse	21 GWh	7 GWh	3 GWh	16 GWh	8 GWh	6 GWh	9 GWh	8 GWh	8 GWh
Dinant	112 GWh	36 GWh	17 GWh	88 GWh	42 GWh	30 GWh	52 GWh	41 GWh	37 GWh
Dison	102 GWh	34 GWh	11 GWh	77 GWh	37 GWh	17 GWh	49 GWh	39 GWh	24 GWh
Doische	37 GWh	12 GWh	5 GWh	27 GWh	14 GWh	10 GWh	15 GWh	14 GWh	13 GWh
Donceel	24 GWh	8 GWh	4 GWh	20 GWh	11 GWh	8 GWh	10 GWh	9 GWh	8 GWh
Dour	139 GWh	44 GWh	17 GWh	98 GWh	51 GWh	35 GWh	57 GWh	51 GWh	45 GWh
Durbuy	118 GWh	39 GWh	18 GWh	86 GWh	44 GWh	33 GWh	51 GWh	43 GWh	41 GWh
Écaussinnes	83 GWh	29 GWh	13 GWh	68 GWh	35 GWh	24 GWh	38 GWh	32 GWh	28 GWh
Éghezée	122 GWh	45 GWh	25 GWh	102 GWh	54 GWh	41 GWh	57 GWh	48 GWh	46 GWh
Ellezelles	65 GWh	21 GWh	9 GWh	49 GWh	26 GWh	19 GWh	27 GWh	24 GWh	23 GWh
Enghien	90 GWh	33 GWh	18 GWh	80 GWh	40 GWh	29 GWh	46 GWh	36 GWh	32 GWh
Engis	47 GWh	15 GWh	7 GWh	38 GWh	20 GWh	14 GWh	20 GWh	17 GWh	16 GWh
Érezée	40 GWh	13 GWh	6 GWh	29 GWh	15 GWh	11 GWh	17 GWh	15 GWh	15 GWh
Erquelinnes	102 GWh	33 GWh	12 GWh	75 GWh	39 GWh	28 GWh	42 GWh	37 GWh	34 GWh
Esneux	101 GWh	31 GWh	13 GWh	75 GWh	37 GWh	26 GWh	44 GWh	36 GWh	34 GWh
Estaimpuis	78 GWh	26 GWh	11 GWh	61 GWh	31 GWh	22 GWh	36 GWh	31 GWh	28 GWh
Estinnes	85 GWh	29 GWh	13 GWh	61 GWh	33 GWh	24 GWh	36 GWh	32 GWh	30 GWh
Étalle	51 GWh	19 GWh	10 GWh	43 GWh	23 GWh	16 GWh	25 GWh	22 GWh	20 GWh
Eupen	163 GWh	61 GWh	35 GWh	136 GWh	68 GWh	51 GWh	84 GWh	66 GWh	61 GWh
Faimés	38 GWh	13 GWh	6 GWh	29 GWh	15 GWh	12 GWh	16 GWh	14 GWh	14 GWh
Farciennes	85 GWh	27 GWh	8 GWh	59 GWh	30 GWh	15 GWh	35 GWh	30 GWh	19 GWh
Fauvillers	25 GWh	9 GWh	5 GWh	21 GWh	11 GWh	8 GWh	12 GWh	11 GWh	10 GWh

Commune	2022			2030			2050		
	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Fernelmont	64 GWh	25 GWh	14 GWh	56 GWh	30 GWh	24 GWh	30 GWh	26 GWh	25 GWh
Ferrières	48 GWh	16 GWh	7 GWh	38 GWh	20 GWh	15 GWh	21 GWh	18 GWh	17 GWh
Fexhe-le-Haut-Clocher	25 GWh	7 GWh	3 GWh	20 GWh	10 GWh	7 GWh	10 GWh	9 GWh	8 GWh
Flémalle	172 GWh	56 GWh	25 GWh	131 GWh	66 GWh	47 GWh	75 GWh	62 GWh	56 GWh
Fléron	118 GWh	40 GWh	14 GWh	92 GWh	46 GWh	23 GWh	54 GWh	44 GWh	28 GWh
Fleurus	190 GWh	64 GWh	29 GWh	142 GWh	72 GWh	51 GWh	86 GWh	72 GWh	65 GWh
Flobecq	33 GWh	12 GWh	6 GWh	26 GWh	14 GWh	10 GWh	14 GWh	13 GWh	12 GWh
Floreffe	65 GWh	23 GWh	11 GWh	52 GWh	28 GWh	21 GWh	29 GWh	25 GWh	24 GWh
Florennes	106 GWh	36 GWh	16 GWh	80 GWh	42 GWh	30 GWh	47 GWh	41 GWh	37 GWh
Florenville	74 GWh	25 GWh	11 GWh	57 GWh	29 GWh	20 GWh	33 GWh	28 GWh	26 GWh
Fontaine-l'Évêque	131 GWh	43 GWh	19 GWh	97 GWh	49 GWh	34 GWh	57 GWh	48 GWh	43 GWh
Fosses-la-Ville	90 GWh	30 GWh	14 GWh	73 GWh	37 GWh	27 GWh	41 GWh	35 GWh	33 GWh
Frameries	161 GWh	53 GWh	21 GWh	124 GWh	63 GWh	42 GWh	70 GWh	60 GWh	52 GWh
Frasnes-lez-Anvaing	119 GWh	39 GWh	16 GWh	91 GWh	48 GWh	35 GWh	50 GWh	44 GWh	41 GWh
Froidchapelle	33 GWh	11 GWh	5 GWh	26 GWh	13 GWh	10 GWh	15 GWh	12 GWh	12 GWh
Gedinne	64 GWh	20 GWh	8 GWh	48 GWh	25 GWh	18 GWh	27 GWh	23 GWh	22 GWh
Geer	28 GWh	10 GWh	5 GWh	24 GWh	12 GWh	9 GWh	12 GWh	10 GWh	10 GWh
Gembloux	160 GWh	65 GWh	43 GWh	138 GWh	73 GWh	58 GWh	82 GWh	65 GWh	61 GWh
Genappe	119 GWh	42 GWh	22 GWh	96 GWh	49 GWh	36 GWh	57 GWh	48 GWh	44 GWh
Gerpennes	113 GWh	38 GWh	17 GWh	91 GWh	46 GWh	33 GWh	53 GWh	45 GWh	42 GWh
Gesves	61 GWh	22 GWh	11 GWh	50 GWh	27 GWh	20 GWh	28 GWh	24 GWh	23 GWh
Gouvy	57 GWh	22 GWh	12 GWh	49 GWh	26 GWh	20 GWh	27 GWh	24 GWh	23 GWh
Grâce-Hollogne	150 GWh	49 GWh	22 GWh	113 GWh	57 GWh	41 GWh	65 GWh	54 GWh	49 GWh

	2022			2030			2050		
Commune	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Grez-Doiceau	102 GWh	36 GWh	19 GWh	87 GWh	45 GWh	34 GWh	49 GWh	41 GWh	39 GWh
Habay	80 GWh	29 GWh	15 GWh	66 GWh	34 GWh	25 GWh	40 GWh	33 GWh	31 GWh
Hamoir	34 GWh	10 GWh	4 GWh	26 GWh	13 GWh	9 GWh	14 GWh	12 GWh	11 GWh
Hamois	66 GWh	22 GWh	10 GWh	52 GWh	27 GWh	20 GWh	29 GWh	26 GWh	25 GWh
Ham-sur-Heure-Nalinnes	124 GWh	42 GWh	18 GWh	95 GWh	49 GWh	36 GWh	56 GWh	48 GWh	46 GWh
Hannut	121 GWh	42 GWh	23 GWh	103 GWh	52 GWh	39 GWh	56 GWh	45 GWh	42 GWh
Hastière	44 GWh	14 GWh	6 GWh	32 GWh	17 GWh	13 GWh	17 GWh	15 GWh	14 GWh
Havelange	56 GWh	19 GWh	8 GWh	45 GWh	24 GWh	17 GWh	24 GWh	21 GWh	20 GWh
Hélécine	30 GWh	10 GWh	5 GWh	25 GWh	13 GWh	10 GWh	13 GWh	12 GWh	11 GWh
Hensies	57 GWh	19 GWh	8 GWh	42 GWh	23 GWh	16 GWh	23 GWh	21 GWh	19 GWh
Herbeumont	24 GWh	8 GWh	4 GWh	18 GWh	9 GWh	7 GWh	10 GWh	9 GWh	9 GWh
Héron	47 GWh	16 GWh	8 GWh	39 GWh	21 GWh	16 GWh	20 GWh	18 GWh	17 GWh
Herstal	245 GWh	79 GWh	24 GWh	180 GWh	90 GWh	43 GWh	107 GWh	88 GWh	54 GWh
Herve	132 GWh	47 GWh	24 GWh	108 GWh	55 GWh	40 GWh	63 GWh	52 GWh	48 GWh
Honnelles	61 GWh	19 GWh	7 GWh	43 GWh	23 GWh	17 GWh	24 GWh	22 GWh	21 GWh
Hotton	47 GWh	15 GWh	7 GWh	40 GWh	20 GWh	15 GWh	21 GWh	17 GWh	16 GWh
Houffalize	69 GWh	23 GWh	11 GWh	56 GWh	28 GWh	21 GWh	33 GWh	28 GWh	26 GWh
Houyet	55 GWh	18 GWh	7 GWh	44 GWh	23 GWh	17 GWh	23 GWh	20 GWh	19 GWh
Ittre	56 GWh	20 GWh	11 GWh	46 GWh	24 GWh	18 GWh	26 GWh	22 GWh	21 GWh
Jalhay	85 GWh	32 GWh	18 GWh	69 GWh	36 GWh	28 GWh	41 GWh	34 GWh	33 GWh
Jemeppe-sur-Sambre	153 GWh	51 GWh	23 GWh	120 GWh	62 GWh	45 GWh	67 GWh	58 GWh	54 GWh
Jodoigne	99 GWh	37 GWh	21 GWh	85 GWh	44 GWh	33 GWh	49 GWh	40 GWh	37 GWh
Juprelle	65 GWh	22 GWh	10 GWh	52 GWh	26 GWh	20 GWh	29 GWh	24 GWh	23 GWh

Commune	2022			2030			2050		
	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Huy	165 GWh	54 GWh	27 GWh	130 GWh	61 GWh	44 GWh	78 GWh	59 GWh	53 GWh
Incourt	37 GWh	14 GWh	7 GWh	34 GWh	18 GWh	13 GWh	19 GWh	16 GWh	15 GWh
Jurbise	85 GWh	31 GWh	16 GWh	67 GWh	36 GWh	27 GWh	39 GWh	34 GWh	33 GWh
La Bruyère	70 GWh	24 GWh	11 GWh	56 GWh	29 GWh	21 GWh	32 GWh	28 GWh	27 GWh
La Calamine	76 GWh	27 GWh	14 GWh	62 GWh	31 GWh	23 GWh	38 GWh	30 GWh	28 GWh
La Hulpe	52 GWh	18 GWh	9 GWh	42 GWh	21 GWh	15 GWh	26 GWh	21 GWh	20 GWh
La Louvière	590 GWh	192 GWh	57 GWh	455 GWh	225 GWh	107 GWh	264 GWh	217 GWh	132 GWh
La Roche-en-Ardenne	60 GWh	19 GWh	8 GWh	43 GWh	21 GWh	15 GWh	26 GWh	22 GWh	21 GWh
Lasne	125 GWh	45 GWh	23 GWh	100 GWh	51 GWh	38 GWh	63 GWh	54 GWh	51 GWh
Le Rœulx	77 GWh	25 GWh	11 GWh	62 GWh	32 GWh	22 GWh	34 GWh	29 GWh	26 GWh
Léglise	52 GWh	19 GWh	10 GWh	44 GWh	24 GWh	18 GWh	25 GWh	22 GWh	21 GWh
Lens	44 GWh	14 GWh	6 GWh	35 GWh	18 GWh	13 GWh	20 GWh	17 GWh	16 GWh
Les Bons Villers	75 GWh	26 GWh	12 GWh	59 GWh	30 GWh	22 GWh	34 GWh	29 GWh	26 GWh
Lessines	157 GWh	51 GWh	21 GWh	120 GWh	62 GWh	43 GWh	67 GWh	58 GWh	52 GWh
Leuze-en-Hainaut	120 GWh	39 GWh	17 GWh	90 GWh	45 GWh	32 GWh	53 GWh	44 GWh	40 GWh
Libin	56 GWh	20 GWh	10 GWh	46 GWh	24 GWh	19 GWh	26 GWh	23 GWh	22 GWh
Lierneux	43 GWh	15 GWh	7 GWh	34 GWh	17 GWh	13 GWh	20 GWh	17 GWh	16 GWh
Limbourg	46 GWh	15 GWh	7 GWh	35 GWh	18 GWh	12 GWh	21 GWh	18 GWh	16 GWh
Lincet	24 GWh	8 GWh	3 GWh	20 GWh	10 GWh	7 GWh	10 GWh	9 GWh	8 GWh
Lobbès	56 GWh	19 GWh	9 GWh	41 GWh	22 GWh	16 GWh	24 GWh	21 GWh	20 GWh
Lontzen	41 GWh	16 GWh	10 GWh	35 GWh	19 GWh	15 GWh	21 GWh	18 GWh	17 GWh
Malmedy	109 GWh	39 GWh	21 GWh	91 GWh	46 GWh	34 GWh	52 GWh	43 GWh	40 GWh
Libramont-Chevigny	93 GWh	34 GWh	20 GWh	81 GWh	41 GWh	31 GWh	48 GWh	38 GWh	36 GWh

	2022			2030			2050		
Commune	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Liège	1,263 GWh	379 GWh	119 GWh	943 GWh	414 GWh	193 GWh	599 GWh	433 GWh	257 GWh
Manage	162 GWh	50 GWh	16 GWh	137 GWh	64 GWh	33 GWh	72 GWh	56 GWh	37 GWh
Manhay	45 GWh	16 GWh	7 GWh	35 GWh	19 GWh	14 GWh	20 GWh	18 GWh	17 GWh
Marche-en-Famenne	139 GWh	46 GWh	23 GWh	110 GWh	53 GWh	39 GWh	65 GWh	52 GWh	48 GWh
Marchin	52 GWh	17 GWh	7 GWh	41 GWh	21 GWh	16 GWh	22 GWh	19 GWh	18 GWh
Martelange	20 GWh	6 GWh	3 GWh	17 GWh	8 GWh	6 GWh	9 GWh	8 GWh	7 GWh
Meix-devant-Virton	36 GWh	12 GWh	5 GWh	26 GWh	14 GWh	10 GWh	15 GWh	14 GWh	13 GWh
Merbes-le-Château	43 GWh	14 GWh	5 GWh	31 GWh	16 GWh	12 GWh	18 GWh	16 GWh	15 GWh
Messancy	73 GWh	26 GWh	14 GWh	59 GWh	30 GWh	22 GWh	36 GWh	30 GWh	28 GWh
Mettet	125 GWh	44 GWh	22 GWh	101 GWh	53 GWh	40 GWh	57 GWh	49 GWh	46 GWh
Modave	46 GWh	16 GWh	8 GWh	37 GWh	20 GWh	15 GWh	20 GWh	18 GWh	17 GWh
Momignies	65 GWh	21 GWh	8 GWh	47 GWh	24 GWh	18 GWh	27 GWh	24 GWh	23 GWh
Mons	731 GWh	241 GWh	117 GWh	562 GWh	269 GWh	188 GWh	342 GWh	267 GWh	235 GWh
Mont-de-l'Enclus	32 GWh	11 GWh	5 GWh	24 GWh	13 GWh	9 GWh	13 GWh	12 GWh	11 GWh
Montigny-le-Tilleul	87 GWh	29 GWh	13 GWh	64 GWh	33 GWh	24 GWh	38 GWh	33 GWh	30 GWh
Mont-Saint-Guibert	45 GWh	17 GWh	11 GWh	40 GWh	20 GWh	16 GWh	23 GWh	18 GWh	17 GWh
Morlanwelz	154 GWh	50 GWh	21 GWh	114 GWh	58 GWh	40 GWh	67 GWh	56 GWh	50 GWh
Mouscron	353 GWh	125 GWh	42 GWh	296 GWh	149 GWh	70 GWh	174 GWh	142 GWh	84 GWh
Musson	41 GWh	14 GWh	6 GWh	32 GWh	17 GWh	12 GWh	18 GWh	16 GWh	15 GWh
Namur	724 GWh	248 GWh	137 GWh	610 GWh	288 GWh	212 GWh	361 GWh	270 GWh	246 GWh



	2022			2030			2050		
Commune	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Nandrin	49 GWh	16 GWh	7 GWh	39 GWh	20 GWh	15 GWh	22 GWh	19 GWh	19 GWh
Nassogne	56 GWh	18 GWh	8 GWh	43 GWh	22 GWh	16 GWh	25 GWh	21 GWh	20 GWh
Neufchâteau	76 GWh	27 GWh	13 GWh	64 GWh	33 GWh	24 GWh	37 GWh	32 GWh	30 GWh
Neupré	73 GWh	25 GWh	12 GWh	57 GWh	29 GWh	22 GWh	33 GWh	29 GWh	27 GWh
Nivelles	172 GWh	59 GWh	34 GWh	157 GWh	71 GWh	52 GWh	92 GWh	64 GWh	58 GWh
Ohey	50 GWh	18 GWh	9 GWh	43 GWh	23 GWh	17 GWh	23 GWh	20 GWh	19 GWh
Olné	33 GWh	11 GWh	5 GWh	27 GWh	14 GWh	11 GWh	15 GWh	13 GWh	12 GWh
Onhaye	33 GWh	11 GWh	5 GWh	26 GWh	13 GWh	10 GWh	15 GWh	13 GWh	12 GWh
Oreye	30 GWh	11 GWh	5 GWh	24 GWh	13 GWh	10 GWh	13 GWh	11 GWh	11 GWh
Orp-Jauche	72 GWh	27 GWh	14 GWh	60 GWh	32 GWh	24 GWh	33 GWh	29 GWh	27 GWh
Ottignies-Louvain-la-Neuve	202 GWh	63 GWh	40 GWh	172 GWh	69 GWh	53 GWh	111 GWh	68 GWh	64 GWh
Ouffet	28 GWh	9 GWh	4 GWh	23 GWh	12 GWh	9 GWh	12 GWh	11 GWh	10 GWh
Oupeye	158 GWh	54 GWh	27 GWh	127 GWh	65 GWh	47 GWh	71 GWh	59 GWh	54 GWh
Paliseul	61 GWh	22 GWh	11 GWh	49 GWh	26 GWh	19 GWh	28 GWh	24 GWh	23 GWh
Pecq	50 GWh	17 GWh	8 GWh	39 GWh	21 GWh	15 GWh	22 GWh	19 GWh	18 GWh
Pepinster	72 GWh	24 GWh	10 GWh	56 GWh	28 GWh	19 GWh	33 GWh	28 GWh	25 GWh
Péruwelz	157 GWh	53 GWh	23 GWh	116 GWh	60 GWh	43 GWh	68 GWh	59 GWh	54 GWh
Perwez	58 GWh	25 GWh	16 GWh	56 GWh	30 GWh	24 GWh	30 GWh	24 GWh	23 GWh
Philippeville	80 GWh	26 GWh	11 GWh	61 GWh	30 GWh	22 GWh	35 GWh	30 GWh	28 GWh
Plombières	79 GWh	27 GWh	13 GWh	63 GWh	32 GWh	24 GWh	36 GWh	31 GWh	29 GWh
Pont-à-Celles	133 GWh	45 GWh	20 GWh	102 GWh	53 GWh	36 GWh	60 GWh	52 GWh	46 GWh
Profondeville	101 GWh	34 GWh	17 GWh	84 GWh	43 GWh	32 GWh	47 GWh	39 GWh	37 GWh
Quaregnon	135 GWh	44 GWh	12 GWh	99 GWh	52 GWh	24 GWh	56 GWh	50 GWh	30 GWh
Quévy	86 GWh	28 GWh	11 GWh	63 GWh	33 GWh	24 GWh	36 GWh	32 GWh	30 GWh

Commune	2022			2030			2050		
	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Pont-à-Celles	133 GWh	45 GWh	20 GWh	102 GWh	53 GWh	36 GWh	60 GWh	52 GWh	46 GWh
Profondeville	101 GWh	34 GWh	17 GWh	84 GWh	43 GWh	32 GWh	47 GWh	39 GWh	37 GWh
Quaregnon	135 GWh	44 GWh	12 GWh	99 GWh	52 GWh	24 GWh	56 GWh	50 GWh	30 GWh
Quévy	86 GWh	28 GWh	11 GWh	63 GWh	33 GWh	24 GWh	36 GWh	32 GWh	30 GWh
Quiévrain	55 GWh	17 GWh	7 GWh	42 GWh	21 GWh	14 GWh	23 GWh	20 GWh	17 GWh
Raeren	100 GWh	35 GWh	19 GWh	82 GWh	41 GWh	31 GWh	50 GWh	42 GWh	40 GWh
Ramillies	53 GWh	18 GWh	9 GWh	44 GWh	23 GWh	17 GWh	24 GWh	21 GWh	20 GWh
Rebecq	82 GWh	29 GWh	13 GWh	67 GWh	35 GWh	25 GWh	38 GWh	33 GWh	30 GWh
Remicourt	45 GWh	16 GWh	8 GWh	36 GWh	19 GWh	14 GWh	20 GWh	17 GWh	16 GWh
Rendoux	28 GWh	9 GWh	4 GWh	20 GWh	10 GWh	8 GWh	11 GWh	10 GWh	10 GWh
Rixensart	145 GWh	51 GWh	19 GWh	122 GWh	61 GWh	32 GWh	73 GWh	59 GWh	39 GWh
Rochefort	126 GWh	43 GWh	21 GWh	103 GWh	52 GWh	38 GWh	58 GWh	49 GWh	46 GWh
Rouvroy	23 GWh	8 GWh	3 GWh	19 GWh	10 GWh	7 GWh	11 GWh	9 GWh	8 GWh
Rumes	50 GWh	16 GWh	6 GWh	36 GWh	19 GWh	14 GWh	21 GWh	18 GWh	17 GWh
Sainte-Ode	30 GWh	11 GWh	6 GWh	25 GWh	13 GWh	10 GWh	14 GWh	12 GWh	12 GWh
Saint-Georges-sur-Meuse	66 GWh	20 GWh	8 GWh	51 GWh	26 GWh	19 GWh	27 GWh	23 GWh	22 GWh
Saint-Ghislain	190 GWh	62 GWh	28 GWh	147 GWh	73 GWh	53 GWh	84 GWh	70 GWh	64 GWh
Saint-Hubert	67 GWh	22 GWh	9 GWh	50 GWh	25 GWh	18 GWh	31 GWh	27 GWh	24 GWh
Saint-Léger	35 GWh	12 GWh	5 GWh	29 GWh	14 GWh	10 GWh	17 GWh	14 GWh	13 GWh
Saint-Nicolas	151 GWh	47 GWh	13 GWh	114 GWh	56 GWh	26 GWh	66 GWh	54 GWh	32 GWh
Saint-Vith	87 GWh	30 GWh	16 GWh	73 GWh	36 GWh	27 GWh	44 GWh	35 GWh	34 GWh
Sambreville	232 GWh	75 GWh	33 GWh	178 GWh	89 GWh	63 GWh	101 GWh	84 GWh	77 GWh
Seneffe	90 GWh	29 GWh	13 GWh	75 GWh	37 GWh	26 GWh	41 GWh	35 GWh	32 GWh
Seraing	402 GWh	118 GWh	34 GWh	288 GWh	132 GWh	62 GWh	178 GWh	137 GWh	84 GWh

Commune	2022			2030			2050		
	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Silly	68 GWh	23 GWh	11 GWh	54 GWh	29 GWh	21 GWh	30 GWh	27 GWh	25 GWh
Sivry-Rance	57 GWh	19 GWh	8 GWh	43 GWh	22 GWh	16 GWh	25 GWh	22 GWh	21 GWh
Soignies	225 GWh	76 GWh	35 GWh	185 GWh	93 GWh	66 GWh	103 GWh	86 GWh	77 GWh
Sombreffe	64 GWh	21 GWh	9 GWh	51 GWh	26 GWh	19 GWh	29 GWh	25 GWh	23 GWh
Somme-Leuze	42 GWh	14 GWh	6 GWh	33 GWh	17 GWh	13 GWh	17 GWh	16 GWh	15 GWh
Soumagne	115 GWh	41 GWh	21 GWh	93 GWh	48 GWh	36 GWh	53 GWh	44 GWh	41 GWh
Spa	93 GWh	31 GWh	16 GWh	71 GWh	33 GWh	24 GWh	46 GWh	35 GWh	32 GWh
Sprimont	108 GWh	39 GWh	20 GWh	90 GWh	47 GWh	35 GWh	50 GWh	42 GWh	40 GWh
Stavelot	74 GWh	25 GWh	12 GWh	55 GWh	28 GWh	21 GWh	33 GWh	27 GWh	26 GWh
Stoumont	45 GWh	15 GWh	6 GWh	33 GWh	17 GWh	13 GWh	19 GWh	17 GWh	16 GWh
Tellin	26 GWh	9 GWh	4 GWh	20 GWh	11 GWh	8 GWh	12 GWh	10 GWh	10 GWh
Tenneville	35 GWh	13 GWh	7 GWh	29 GWh	15 GWh	11 GWh	17 GWh	14 GWh	13 GWh
Theux	101 GWh	35 GWh	17 GWh	78 GWh	40 GWh	30 GWh	46 GWh	40 GWh	37 GWh
Thimister-Clermont	44 GWh	15 GWh	8 GWh	36 GWh	18 GWh	14 GWh	21 GWh	17 GWh	16 GWh
Thuin	129 GWh	43 GWh	20 GWh	102 GWh	52 GWh	38 GWh	57 GWh	49 GWh	45 GWh
Tinlot	25 GWh	9 GWh	4 GWh	21 GWh	11 GWh	8 GWh	11 GWh	10 GWh	9 GWh
Tintigny	46 GWh	16 GWh	8 GWh	38 GWh	20 GWh	15 GWh	21 GWh	18 GWh	17 GWh
Tournai	565 GWh	195 GWh	97 GWh	426 GWh	213 GWh	152 GWh	267 GWh	216 GWh	194 GWh
Trois-Ponts	26 GWh	9 GWh	4 GWh	21 GWh	11 GWh	8 GWh	11 GWh	10 GWh	9 GWh
Trooz	69 GWh	22 GWh	9 GWh	52 GWh	26 GWh	18 GWh	30 GWh	25 GWh	23 GWh
Tubize	144 GWh	52 GWh	29 GWh	125 GWh	61 GWh	45 GWh	73 GWh	56 GWh	50 GWh
Vaux-sur-Sûre	52 GWh	20 GWh	12 GWh	46 GWh	25 GWh	19 GWh	26 GWh	22 GWh	22 GWh
Verlaine	33 GWh	13 GWh	8 GWh	28 GWh	16 GWh	12 GWh	15 GWh	13 GWh	13 GWh
Verviers	461 GWh	154 GWh	51 GWh	337 GWh	161 GWh	76 GWh	227 GWh	178 GWh	107 GWh

	2022			2030			2050		
Commune	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Vielsalm	90 GWh	30 GWh	14 GWh	73 GWh	36 GWh	27 GWh	42 GWh	35 GWh	33 GWh
Villers-la-Ville	86 GWh	31 GWh	15 GWh	69 GWh	36 GWh	27 GWh	40 GWh	35 GWh	33 GWh
Villers-le-Bouillet	56 GWh	19 GWh	8 GWh	44 GWh	23 GWh	17 GWh	25 GWh	22 GWh	21 GWh
Viroinval	64 GWh	21 GWh	8 GWh	47 GWh	24 GWh	17 GWh	27 GWh	24 GWh	21 GWh
Virton	110 GWh	35 GWh	15 GWh	83 GWh	40 GWh	28 GWh	51 GWh	42 GWh	38 GWh
Visé	119 GWh	44 GWh	24 GWh	95 GWh	50 GWh	37 GWh	55 GWh	45 GWh	41 GWh
Vresse-sur-Semois	47 GWh	14 GWh	5 GWh	35 GWh	17 GWh	12 GWh	20 GWh	17 GWh	16 GWh
Waimès	74 GWh	27 GWh	15 GWh	60 GWh	31 GWh	24 GWh	36 GWh	30 GWh	29 GWh
Walcourt	160 GWh	53 GWh	23 GWh	120 GWh	62 GWh	45 GWh	71 GWh	62 GWh	58 GWh
Walhain	50 GWh	20 GWh	11 GWh	44 GWh	24 GWh	18 GWh	25 GWh	21 GWh	20 GWh
Wanze	121 GWh	42 GWh	21 GWh	94 GWh	49 GWh	37 GWh	53 GWh	44 GWh	42 GWh
Waremme	110 GWh	38 GWh	22 GWh	94 GWh	45 GWh	34 GWh	54 GWh	40 GWh	37 GWh
Wasseiges	20 GWh	8 GWh	4 GWh	17 GWh	9 GWh	7 GWh	9 GWh	8 GWh	8 GWh
Waterloo	193 GWh	75 GWh	32 GWh	170 GWh	86 GWh	46 GWh	104 GWh	82 GWh	53 GWh
Wavre	199 GWh	76 GWh	47 GWh	174 GWh	86 GWh	66 GWh	107 GWh	81 GWh	75 GWh
Welkenraedt	67 GWh	25 GWh	15 GWh	57 GWh	29 GWh	22 GWh	34 GWh	27 GWh	25 GWh
Wellin	34 GWh	12 GWh	6 GWh	28 GWh	15 GWh	11 GWh	16 GWh	14 GWh	13 GWh
Yvoir	71 GWh	24 GWh	11 GWh	57 GWh	29 GWh	22 GWh	32 GWh	27 GWh	26 GWh

## D.2. SECTEUR TERTIAIRE

Commune	2022			2030			2050		
	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Aiseau-Presles	12.0 GWh	5.9 GWh	2.9 GWh	7.8 GWh	4.7 GWh	2.5 GWh	4.4 GWh	4.2 GWh	2.7 GWh
Amay	21.3 GWh	10.6 GWh	5.1 GWh	13.7 GWh	8.4 GWh	4.6 GWh	7.7 GWh	7.5 GWh	4.8 GWh
Amblève	9.4 GWh	4.8 GWh	2.4 GWh	6.3 GWh	3.8 GWh	2.1 GWh	3.6 GWh	3.5 GWh	2.2 GWh
Andenne	46.8 GWh	23.6 GWh	11.5 GWh	30.6 GWh	18.7 GWh	10.1 GWh	17.4 GWh	17.0 GWh	10.8 GWh
Anderlues	18.8 GWh	9.5 GWh	4.7 GWh	12.2 GWh	7.5 GWh	4.0 GWh	6.6 GWh	6.4 GWh	4.1 GWh
Anhée	11.5 GWh	5.8 GWh	2.9 GWh	7.6 GWh	4.7 GWh	2.6 GWh	4.4 GWh	4.4 GWh	2.8 GWh
Ans	58.3 GWh	29.7 GWh	10.2 GWh	38.7 GWh	23.7 GWh	9.0 GWh	22.1 GWh	21.7 GWh	9.7 GWh
Anthisnes	4.1 GWh	2.0 GWh	1.0 GWh	2.5 GWh	1.5 GWh	0.8 GWh	1.2 GWh	1.2 GWh	0.7 GWh
Antoing	13.5 GWh	6.7 GWh	3.2 GWh	8.9 GWh	5.4 GWh	2.9 GWh	5.2 GWh	5.1 GWh	3.2 GWh
Arlon	85.6 GWh	42.2 GWh	20.3 GWh	56.2 GWh	34.1 GWh	18.4 GWh	32.2 GWh	31.3 GWh	19.9 GWh
Assesse	15.1 GWh	7.6 GWh	3.7 GWh	9.9 GWh	6.1 GWh	3.3 GWh	5.8 GWh	5.8 GWh	3.7 GWh
Ath	66.5 GWh	33.6 GWh	16.4 GWh	43.6 GWh	26.7 GWh	14.5 GWh	24.7 GWh	24.2 GWh	15.4 GWh
Attert	4.3 GWh	2.1 GWh	1.0 GWh	2.9 GWh	1.8 GWh	1.0 GWh	1.8 GWh	1.8 GWh	1.1 GWh
Aubange	22.1 GWh	10.9 GWh	5.2 GWh	14.5 GWh	8.7 GWh	4.7 GWh	8.3 GWh	8.0 GWh	5.1 GWh
Aubel	14.8 GWh	7.6 GWh	3.7 GWh	9.8 GWh	6.1 GWh	3.3 GWh	5.6 GWh	5.5 GWh	3.5 GWh
Awans	23.7 GWh	12.2 GWh	6.0 GWh	15.3 GWh	9.5 GWh	5.1 GWh	8.3 GWh	8.1 GWh	5.2 GWh
Aywaille	30.7 GWh	15.5 GWh	7.6 GWh	19.8 GWh	12.1 GWh	6.6 GWh	10.7 GWh	10.4 GWh	6.6 GWh
Baelen	5.0 GWh	2.7 GWh	1.3 GWh	3.1 GWh	2.0 GWh	1.1 GWh	1.5 GWh	1.5 GWh	0.9 GWh
Bassenge	14.1 GWh	7.0 GWh	3.4 GWh	9.0 GWh	5.5 GWh	3.0 GWh	4.7 GWh	4.6 GWh	2.9 GWh
Bastogne	48.5 GWh	24.4 GWh	11.9 GWh	31.1 GWh	19.1 GWh	10.3 GWh	16.9 GWh	16.5 GWh	10.5 GWh
Beaumont	14.3 GWh	7.1 GWh	3.5 GWh	9.3 GWh	5.7 GWh	3.1 GWh	5.4 GWh	5.3 GWh	3.4 GWh
Beauraing	22.8 GWh	11.5 GWh	5.6 GWh	15.0 GWh	9.1 GWh	4.9 GWh	8.5 GWh	8.3 GWh	5.3 GWh
Beauvechain	10.3 GWh	5.1 GWh	2.5 GWh	6.6 GWh	4.0 GWh	2.2 GWh	3.7 GWh	3.6 GWh	2.3 GWh



Commune	2022			2030			2050		
	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Belœil	25.7 GWh	12.8 GWh	6.2 GWh	16.5 GWh	10.0 GWh	5.4 GWh	8.7 GWh	8.4 GWh	5.4 GWh
Berloz	2.1 GWh	1.0 GWh	0.5 GWh	1.3 GWh	0.8 GWh	0.4 GWh	0.7 GWh	0.7 GWh	0.4 GWh
Bernissart	16.3 GWh	8.2 GWh	4.0 GWh	10.4 GWh	6.4 GWh	3.5 GWh	5.6 GWh	5.5 GWh	3.5 GWh
Bertogne	2.6 GWh	1.3 GWh	0.6 GWh	1.6 GWh	1.0 GWh	0.5 GWh	0.8 GWh	0.8 GWh	0.5 GWh
Bertrix	18.3 GWh	9.2 GWh	4.5 GWh	11.9 GWh	7.3 GWh	3.9 GWh	6.7 GWh	6.5 GWh	4.2 GWh
Beyne-Heusay	14.4 GWh	7.3 GWh	2.5 GWh	9.3 GWh	5.7 GWh	2.2 GWh	5.1 GWh	4.9 GWh	2.2 GWh
Bièvre	8.8 GWh	4.5 GWh	2.2 GWh	6.0 GWh	3.6 GWh	1.9 GWh	3.4 GWh	3.4 GWh	2.1 GWh
Binche	54.3 GWh	27.6 GWh	13.5 GWh	35.4 GWh	21.8 GWh	11.8 GWh	19.8 GWh	19.4 GWh	12.4 GWh
Blegny	30.5 GWh	15.3 GWh	7.5 GWh	19.5 GWh	11.9 GWh	6.4 GWh	10.3 GWh	10.1 GWh	6.4 GWh
Bouillon	15.8 GWh	8.0 GWh	3.9 GWh	10.3 GWh	6.3 GWh	3.4 GWh	5.7 GWh	5.6 GWh	3.6 GWh
Boussu	34.1 GWh	17.1 GWh	8.4 GWh	21.7 GWh	13.3 GWh	7.2 GWh	11.7 GWh	11.4 GWh	5.1 GWh
Braine-l'Alleud	100.6 GWh	51.0 GWh	24.9 GWh	66.4 GWh	40.6 GWh	21.9 GWh	37.3 GWh	36.6 GWh	23.3 GWh
Braine-le-Château	20.7 GWh	10.6 GWh	5.2 GWh	13.5 GWh	8.3 GWh	4.5 GWh	7.4 GWh	7.3 GWh	4.7 GWh
Braine-Le-Comte	31.1 GWh	15.6 GWh	7.6 GWh	20.2 GWh	12.3 GWh	6.7 GWh	11.3 GWh	11.1 GWh	7.0 GWh
Braives	7.7 GWh	3.9 GWh	1.9 GWh	4.8 GWh	3.0 GWh	1.6 GWh	2.4 GWh	2.4 GWh	1.5 GWh
Brugelette	5.7 GWh	2.8 GWh	1.3 GWh	3.6 GWh	2.2 GWh	1.2 GWh	1.9 GWh	1.9 GWh	1.2 GWh
Brunehaut	11.8 GWh	5.9 GWh	2.8 GWh	7.5 GWh	4.6 GWh	2.5 GWh	4.0 GWh	3.9 GWh	2.5 GWh
Bullange	10.0 GWh	5.2 GWh	2.6 GWh	6.7 GWh	4.1 GWh	2.2 GWh	3.9 GWh	3.9 GWh	2.5 GWh
Burdinne	4.4 GWh	2.2 GWh	1.1 GWh	2.8 GWh	1.7 GWh	0.9 GWh	1.5 GWh	1.5 GWh	0.9 GWh
Burg-Reuland	3.1 GWh	1.6 GWh	0.8 GWh	1.9 GWh	1.2 GWh	0.7 GWh	0.9 GWh	0.9 GWh	0.6 GWh
Butgenbach	11.9 GWh	6.2 GWh	3.0 GWh	7.9 GWh	4.8 GWh	2.6 GWh	4.3 GWh	4.2 GWh	2.7 GWh
Celles	11.6 GWh	5.6 GWh	2.7 GWh	7.7 GWh	4.6 GWh	2.5 GWh	4.6 GWh	4.5 GWh	2.8 GWh
Cerfontaine	3.9 GWh	2.0 GWh	1.0 GWh	2.6 GWh	1.6 GWh	0.9 GWh	1.5 GWh	1.5 GWh	0.9 GWh

	2022			2030			2050		
Commune	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Chapelle-lez-Herlaimont	18.4 GWh	9.3 GWh	4.6 GWh	12.0 GWh	7.4 GWh	4.0 GWh	6.7 GWh	6.5 GWh	4.2 GWh
Charleroi	441.9 GWh	222.5 GWh	75.8 GWh	287.9 GWh	176.5 GWh	66.9 GWh	162.7 GWh	159.2 GWh	71.0 GWh
Chastre	10.5 GWh	5.1 GWh	2.5 GWh	6.6 GWh	4.0 GWh	2.2 GWh	3.5 GWh	3.4 GWh	2.1 GWh
Châtelet	54.5 GWh	27.6 GWh	9.4 GWh	35.8 GWh	22.0 GWh	8.3 GWh	20.4 GWh	20.0 GWh	8.9 GWh
Chaufontaine	45.3 GWh	23.0 GWh	11.2 GWh	30.7 GWh	18.7 GWh	10.1 GWh	18.2 GWh	17.9 GWh	11.4 GWh
Chaumont-Gistoux	22.1 GWh	11.2 GWh	5.4 GWh	14.7 GWh	9.0 GWh	4.8 GWh	8.4 GWh	8.3 GWh	5.3 GWh
Chièvres	13.0 GWh	6.4 GWh	3.1 GWh	8.6 GWh	5.2 GWh	2.8 GWh	5.0 GWh	4.9 GWh	3.1 GWh
Chimay	30.7 GWh	15.3 GWh	7.4 GWh	20.1 GWh	12.3 GWh	6.6 GWh	11.5 GWh	11.3 GWh	7.2 GWh
Chiny	9.3 GWh	4.6 GWh	2.2 GWh	6.0 GWh	3.6 GWh	1.9 GWh	3.2 GWh	3.1 GWh	2.0 GWh
Ciney	47.8 GWh	24.3 GWh	11.9 GWh	31.3 GWh	19.3 GWh	10.4 GWh	17.8 GWh	17.5 GWh	11.1 GWh
Clavier	4.2 GWh	2.2 GWh	1.1 GWh	2.6 GWh	1.6 GWh	0.9 GWh	1.4 GWh	1.4 GWh	0.9 GWh
Colfontaine	20.6 GWh	10.1 GWh	3.4 GWh	13.2 GWh	8.1 GWh	3.1 GWh	7.4 GWh	7.2 GWh	3.2 GWh
Comblain-au-Pont	9.2 GWh	4.5 GWh	2.2 GWh	5.9 GWh	3.6 GWh	1.9 GWh	3.2 GWh	3.1 GWh	2.0 GWh
Comines-Warneton	37.1 GWh	18.7 GWh	9.1 GWh	24.0 GWh	14.7 GWh	7.9 GWh	13.1 GWh	12.8 GWh	8.1 GWh
Courcelles	47.1 GWh	23.9 GWh	11.7 GWh	30.8 GWh	18.9 GWh	10.2 GWh	17.2 GWh	16.8 GWh	10.7 GWh
Court-Saint-Étienne	18.4 GWh	9.2 GWh	4.5 GWh	11.6 GWh	7.2 GWh	3.9 GWh	6.3 GWh	6.2 GWh	3.9 GWh
Couvin	33.9 GWh	17.0 GWh	8.3 GWh	22.5 GWh	13.6 GWh	7.3 GWh	12.6 GWh	12.3 GWh	7.8 GWh
Crisnée	5.5 GWh	2.8 GWh	1.4 GWh	3.3 GWh	2.1 GWh	1.1 GWh	1.6 GWh	1.5 GWh	1.0 GWh
Dalhem	9.7 GWh	5.0 GWh	2.5 GWh	6.2 GWh	3.8 GWh	2.1 GWh	3.2 GWh	3.1 GWh	2.0 GWh
Daverdisse	1.8 GWh	0.9 GWh	0.4 GWh	1.0 GWh	0.7 GWh	0.4 GWh	0.5 GWh	0.5 GWh	0.3 GWh

Commune	2022			2030			2050		
	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Dinant	43.0 GWh	21.4 GWh	10.3 GWh	28.1 GWh	17.1 GWh	9.2 GWh	15.8 GWh	15.3 GWh	9.7 GWh
Dison	20.5 GWh	10.4 GWh	3.5 GWh	13.2 GWh	8.1 GWh	3.1 GWh	7.2 GWh	7.1 GWh	3.2 GWh
Doische	4.2 GWh	2.0 GWh	0.9 GWh	2.8 GWh	1.6 GWh	0.9 GWh	1.6 GWh	1.5 GWh	1.0 GWh
Donceel	2.0 GWh	1.1 GWh	0.5 GWh	1.3 GWh	0.8 GWh	0.4 GWh	0.6 GWh	0.6 GWh	0.4 GWh
Dour	28.3 GWh	13.9 GWh	6.7 GWh	18.3 GWh	11.1 GWh	6.0 GWh	10.2 GWh	9.9 GWh	6.3 GWh
Durbuy	29.5 GWh	14.9 GWh	7.2 GWh	19.3 GWh	11.7 GWh	6.3 GWh	10.6 GWh	10.4 GWh	6.6 GWh
Écaussinnes	12.6 GWh	6.3 GWh	3.1 GWh	8.2 GWh	5.0 GWh	2.7 GWh	4.7 GWh	4.6 GWh	2.9 GWh
Éghezée	28.2 GWh	14.3 GWh	7.0 GWh	19.0 GWh	11.6 GWh	6.3 GWh	11.2 GWh	11.0 GWh	7.0 GWh
Ellezelles	8.8 GWh	4.4 GWh	2.1 GWh	6.0 GWh	3.6 GWh	1.9 GWh	3.5 GWh	3.4 GWh	2.2 GWh
Enghien	28.1 GWh	14.1 GWh	6.8 GWh	18.3 GWh	11.2 GWh	6.1 GWh	10.4 GWh	10.1 GWh	6.5 GWh
Engis	8.5 GWh	4.3 GWh	2.1 GWh	5.6 GWh	3.4 GWh	1.9 GWh	3.3 GWh	3.2 GWh	2.1 GWh
Érezée	5.4 GWh	2.6 GWh	1.3 GWh	3.4 GWh	2.0 GWh	1.1 GWh	1.8 GWh	1.7 GWh	1.1 GWh
Erquelinnes	19.3 GWh	9.5 GWh	4.6 GWh	12.6 GWh	7.6 GWh	4.1 GWh	7.1 GWh	6.9 GWh	4.4 GWh
Esneux	21.8 GWh	11.0 GWh	5.4 GWh	14.4 GWh	8.8 GWh	4.7 GWh	8.2 GWh	8.1 GWh	5.1 GWh
Estaimpuis	17.2 GWh	8.7 GWh	4.2 GWh	11.1 GWh	6.8 GWh	3.7 GWh	6.0 GWh	5.9 GWh	3.7 GWh
Estinnes	8.5 GWh	4.3 GWh	2.1 GWh	5.4 GWh	3.3 GWh	1.8 GWh	2.7 GWh	2.6 GWh	1.6 GWh
Étalle	12.9 GWh	6.4 GWh	3.1 GWh	8.7 GWh	5.2 GWh	2.8 GWh	5.1 GWh	4.9 GWh	3.1 GWh
Eupen	67.9 GWh	33.8 GWh	16.3 GWh	44.9 GWh	27.3 GWh	14.7 GWh	25.6 GWh	25.0 GWh	15.9 GWh
Faimés	3.6 GWh	1.8 GWh	0.9 GWh	2.1 GWh	1.3 GWh	0.7 GWh	1.0 GWh	0.9 GWh	0.6 GWh
Farciennes	11.7 GWh	5.8 GWh	2.0 GWh	7.7 GWh	4.7 GWh	1.8 GWh	4.4 GWh	4.3 GWh	1.9 GWh
Fauvillers	2.6 GWh	1.3 GWh	0.6 GWh	1.9 GWh	1.1 GWh	0.6 GWh	1.2 GWh	1.2 GWh	0.7 GWh
Fernelmont	16.9 GWh	8.6 GWh	4.2 GWh	11.1 GWh	6.8 GWh	3.7 GWh	6.1 GWh	6.0 GWh	3.8 GWh
Ferrières	10.0 GWh	5.0 GWh	2.4 GWh	6.1 GWh	3.8 GWh	2.0 GWh	3.1 GWh	3.0 GWh	1.9 GWh
Fexhe-le-Haut-Clocher	5.5 GWh	2.8 GWh	1.4 GWh	3.7 GWh	2.2 GWh	1.2 GWh	2.0 GWh	2.0 GWh	1.3 GWh

	2022			2030			2050		
Commune	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Flémalle	42.7 GWh	21.2 GWh	10.3 GWh	26.8 GWh	16.5 GWh	8.9 GWh	14.4 GWh	14.0 GWh	8.9 GWh
Fléron	31.2 GWh	15.8 GWh	5.4 GWh	20.4 GWh	12.5 GWh	4.7 GWh	11.4 GWh	11.2 GWh	5.0 GWh
Fleurus	44.5 GWh	22.8 GWh	11.1 GWh	29.3 GWh	18.0 GWh	9.8 GWh	16.5 GWh	16.3 GWh	10.4 GWh
Flobecq	5.8 GWh	2.8 GWh	1.4 GWh	3.6 GWh	2.2 GWh	1.2 GWh	1.8 GWh	1.7 GWh	1.1 GWh
Floreffe	17.9 GWh	8.9 GWh	4.3 GWh	11.8 GWh	7.1 GWh	3.8 GWh	6.8 GWh	6.7 GWh	4.2 GWh
Florennes	19.2 GWh	9.5 GWh	4.6 GWh	13.0 GWh	7.9 GWh	4.3 GWh	8.0 GWh	7.8 GWh	5.0 GWh
Florenville	15.5 GWh	7.8 GWh	3.8 GWh	10.1 GWh	6.2 GWh	3.3 GWh	5.6 GWh	5.5 GWh	3.5 GWh
Fontaine-l'Évêque	24.9 GWh	12.6 GWh	6.1 GWh	16.0 GWh	9.9 GWh	5.4 GWh	9.0 GWh	8.8 GWh	5.6 GWh
Fosses-la-Ville	18.5 GWh	9.5 GWh	4.6 GWh	12.1 GWh	7.4 GWh	4.0 GWh	6.6 GWh	6.5 GWh	4.2 GWh
Frameries	34.6 GWh	17.6 GWh	8.6 GWh	22.6 GWh	13.9 GWh	7.5 GWh	12.6 GWh	12.4 GWh	7.9 GWh
Frasnes-lez-Anvaing	20.4 GWh	10.2 GWh	5.0 GWh	13.8 GWh	8.4 GWh	4.6 GWh	8.4 GWh	8.2 GWh	5.3 GWh
Froidchapelle	8.0 GWh	4.0 GWh	1.9 GWh	5.1 GWh	3.0 GWh	1.6 GWh	2.5 GWh	2.4 GWh	1.5 GWh
Gedinne	11.2 GWh	5.7 GWh	2.8 GWh	7.6 GWh	4.7 GWh	2.5 GWh	4.6 GWh	4.5 GWh	2.9 GWh
Geer	4.7 GWh	2.4 GWh	1.2 GWh	3.0 GWh	1.9 GWh	1.0 GWh	1.7 GWh	1.6 GWh	1.0 GWh
Gembloux	75.0 GWh	37.9 GWh	18.5 GWh	49.9 GWh	30.4 GWh	16.4 GWh	28.7 GWh	28.2 GWh	17.9 GWh
Genappe	31.0 GWh	15.6 GWh	7.6 GWh	20.1 GWh	12.3 GWh	6.6 GWh	10.9 GWh	10.6 GWh	6.7 GWh
Gerpennes	29.3 GWh	14.7 GWh	7.2 GWh	19.5 GWh	11.9 GWh	6.4 GWh	11.2 GWh	10.9 GWh	6.9 GWh
Gesves	12.2 GWh	6.0 GWh	2.9 GWh	7.9 GWh	4.8 GWh	2.6 GWh	4.3 GWh	4.1 GWh	2.6 GWh
Gouvy	8.3 GWh	4.2 GWh	2.1 GWh	5.3 GWh	3.3 GWh	1.8 GWh	3.0 GWh	3.0 GWh	1.9 GWh
Grâce-Hollogne	38.5 GWh	19.7 GWh	9.6 GWh	25.0 GWh	15.5 GWh	8.4 GWh	14.1 GWh	13.9 GWh	8.8 GWh
Grez-Doiceau	29.8 GWh	15.0 GWh	7.3 GWh	19.3 GWh	11.8 GWh	6.4 GWh	10.4 GWh	10.1 GWh	6.5 GWh
Habay	16.2 GWh	8.0 GWh	3.8 GWh	10.5 GWh	6.4 GWh	3.4 GWh	6.0 GWh	5.8 GWh	3.7 GWh
Hamoir	5.3 GWh	2.6 GWh	1.3 GWh	3.4 GWh	2.0 GWh	1.1 GWh	1.8 GWh	1.7 GWh	1.1 GWh

Commune	2022			2030			2050		
	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Hamois	11.3 GWh	5.7 GWh	2.8 GWh	7.3 GWh	4.4 GWh	2.4 GWh	4.0 GWh	3.9 GWh	2.5 GWh
Ham-sur-Heure-Nalinnes	20.6 GWh	10.5 GWh	5.1 GWh	13.5 GWh	8.3 GWh	4.5 GWh	7.6 GWh	7.5 GWh	4.8 GWh
Hannut	42.0 GWh	21.3 GWh	10.4 GWh	27.3 GWh	16.8 GWh	9.1 GWh	15.2 GWh	15.0 GWh	9.5 GWh
Hastière	7.6 GWh	3.8 GWh	1.8 GWh	4.9 GWh	3.0 GWh	1.6 GWh	2.6 GWh	2.5 GWh	1.6 GWh
Havelange	10.4 GWh	5.3 GWh	2.6 GWh	6.9 GWh	4.2 GWh	2.3 GWh	3.9 GWh	3.8 GWh	2.4 GWh
Hélécine	2.7 GWh	1.4 GWh	0.7 GWh	1.6 GWh	1.0 GWh	0.5 GWh	0.6 GWh	0.6 GWh	0.4 GWh
Hensies	7.2 GWh	3.7 GWh	1.8 GWh	4.8 GWh	3.0 GWh	1.6 GWh	2.8 GWh	2.8 GWh	1.8 GWh
Herbeumont	1.2 GWh	0.6 GWh	0.3 GWh	0.9 GWh	0.5 GWh	0.3 GWh	0.6 GWh	0.6 GWh	0.4 GWh
Héron	6.1 GWh	3.1 GWh	1.5 GWh	3.9 GWh	2.4 GWh	1.3 GWh	2.1 GWh	2.0 GWh	1.3 GWh
Herstal	85.4 GWh	43.7 GWh	15.0 GWh	55.6 GWh	34.4 GWh	13.1 GWh	31.0 GWh	30.5 GWh	13.6 GWh
Herve	49.9 GWh	25.3 GWh	12.4 GWh	32.0 GWh	19.6 GWh	10.6 GWh	17.0 GWh	16.7 GWh	10.6 GWh
Honnelles	5.8 GWh	2.9 GWh	1.4 GWh	3.8 GWh	2.3 GWh	1.3 GWh	2.1 GWh	2.1 GWh	1.3 GWh
Hotton	13.3 GWh	6.7 GWh	3.2 GWh	8.6 GWh	5.2 GWh	2.8 GWh	4.6 GWh	4.5 GWh	2.9 GWh
Houffalize	11.2 GWh	5.6 GWh	2.7 GWh	7.4 GWh	4.5 GWh	2.4 GWh	4.2 GWh	4.1 GWh	2.6 GWh
Houyet	8.0 GWh	4.0 GWh	2.0 GWh	5.2 GWh	3.1 GWh	1.7 GWh	2.8 GWh	2.7 GWh	1.7 GWh
Huy	72.6 GWh	36.2 GWh	17.5 GWh	46.9 GWh	28.7 GWh	15.6 GWh	26.1 GWh	25.4 GWh	16.2 GWh
Incourt	8.5 GWh	4.3 GWh	2.1 GWh	5.4 GWh	3.3 GWh	1.8 GWh	2.7 GWh	2.6 GWh	1.7 GWh
Ittre	11.7 GWh	5.8 GWh	2.8 GWh	7.3 GWh	4.5 GWh	2.4 GWh	3.7 GWh	3.6 GWh	2.3 GWh
Jalhay	13.6 GWh	7.0 GWh	3.5 GWh	8.7 GWh	5.4 GWh	2.9 GWh	4.5 GWh	4.4 GWh	2.8 GWh
Jemeppe-sur-Sambre	26.7 GWh	13.6 GWh	6.7 GWh	17.4 GWh	10.7 GWh	5.8 GWh	9.7 GWh	9.6 GWh	6.1 GWh
Jodoigne	32.8 GWh	16.6 GWh	8.1 GWh	21.5 GWh	13.2 GWh	7.1 GWh	12.1 GWh	11.9 GWh	7.6 GWh
Juprelle	10.7 GWh	5.4 GWh	2.7 GWh	6.6 GWh	4.1 GWh	2.2 GWh	3.3 GWh	3.3 GWh	2.1 GWh

	2022			2030			2050		
Commune	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Jurbise	15.1 GWh	7.6 GWh	3.7 GWh	9.9 GWh	6.0 GWh	3.3 GWh	5.6 GWh	5.5 GWh	3.5 GWh
La Bruyère	13.5 GWh	6.9 GWh	3.4 GWh	9.1 GWh	5.5 GWh	3.0 GWh	5.2 GWh	5.1 GWh	3.3 GWh
La Calamine	16.6 GWh	8.2 GWh	4.0 GWh	10.7 GWh	6.5 GWh	3.5 GWh	5.8 GWh	5.7 GWh	3.6 GWh
La Hulpe	26.5 GWh	13.4 GWh	6.5 GWh	18.0 GWh	10.9 GWh	5.9 GWh	10.6 GWh	10.5 GWh	6.7 GWh
La Louvière	153.0 GWh	77.1 GWh	26.3 GWh	101.5 GWh	61.8 GWh	23.4 GWh	58.2 GWh	57.0 GWh	25.4 GWh
La Roche-en-Ardenne	12.5 GWh	6.3 GWh	3.1 GWh	8.0 GWh	4.8 GWh	2.6 GWh	4.2 GWh	4.1 GWh	2.6 GWh
Lasne	49.8 GWh	25.0 GWh	12.2 GWh	33.0 GWh	20.0 GWh	10.8 GWh	18.6 GWh	18.2 GWh	11.6 GWh
Le Rœulx	13.6 GWh	7.0 GWh	3.4 GWh	8.8 GWh	5.4 GWh	2.9 GWh	4.7 GWh	4.6 GWh	2.9 GWh
Léglise	6.0 GWh	3.0 GWh	1.4 GWh	4.0 GWh	2.4 GWh	1.3 GWh	2.3 GWh	2.2 GWh	1.4 GWh
Lens	4.9 GWh	2.5 GWh	1.2 GWh	3.3 GWh	2.0 GWh	1.1 GWh	2.0 GWh	2.0 GWh	1.3 GWh
Les Bons Villers	14.4 GWh	7.2 GWh	3.5 GWh	9.2 GWh	5.6 GWh	3.1 GWh	4.9 GWh	4.7 GWh	3.0 GWh
Lessines	22.5 GWh	11.4 GWh	5.5 GWh	14.9 GWh	9.1 GWh	4.9 GWh	8.6 GWh	8.4 GWh	5.4 GWh
Leuze-en-Hainaut	30.7 GWh	15.2 GWh	7.3 GWh	20.3 GWh	12.2 GWh	6.6 GWh	11.4 GWh	11.1 GWh	7.1 GWh
Libin	10.0 GWh	5.0 GWh	2.5 GWh	6.5 GWh	4.0 GWh	2.1 GWh	3.6 GWh	3.5 GWh	2.2 GWh
Libramont-Chevigny	48.6 GWh	24.4 GWh	11.9 GWh	31.9 GWh	19.6 GWh	10.6 GWh	18.4 GWh	18.0 GWh	11.5 GWh
Liège	630.5 GWh	315.1 GWh	107.0 GWh	412.7 GWh	250.5 GWh	94.6 GWh	231.1 GWh	225.1 GWh	100.2 GWh
Lierneux	4.2 GWh	2.1 GWh	1.0 GWh	2.5 GWh	1.6 GWh	0.9 GWh	1.3 GWh	1.2 GWh	0.8 GWh
Limbourg	10.6 GWh	5.2 GWh	2.5 GWh	6.8 GWh	4.1 GWh	2.2 GWh	3.8 GWh	3.7 GWh	2.4 GWh
Lincet	1.5 GWh	0.8 GWh	0.4 GWh	0.9 GWh	0.6 GWh	0.3 GWh	0.5 GWh	0.5 GWh	0.3 GWh
Lobbès	9.6 GWh	4.8 GWh	2.3 GWh	6.3 GWh	3.9 GWh	2.1 GWh	3.6 GWh	3.5 GWh	2.2 GWh



Commune	2022			2030			2050		
	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Lontzen	9.6 GWh	4.9 GWh	2.4 GWh	6.1 GWh	3.8 GWh	2.0 GWh	3.2 GWh	3.1 GWh	2.0 GWh
Malmedy	38.2 GWh	19.5 GWh	9.6 GWh	25.2 GWh	15.5 GWh	8.4 GWh	14.3 GWh	14.1 GWh	9.0 GWh
Manage	29.4 GWh	14.9 GWh	5.1 GWh	19.0 GWh	11.7 GWh	4.4 GWh	10.4 GWh	10.2 GWh	4.5 GWh
Manhay	7.9 GWh	4.0 GWh	1.9 GWh	5.3 GWh	3.2 GWh	1.7 GWh	3.0 GWh	3.0 GWh	1.9 GWh
Marche-en-Famenne	71.6 GWh	36.0 GWh	17.5 GWh	47.2 GWh	28.9 GWh	15.6 GWh	27.0 GWh	26.5 GWh	16.8 GWh
Marchin	6.8 GWh	3.3 GWh	1.6 GWh	4.0 GWh	2.4 GWh	1.3 GWh	1.7 GWh	1.7 GWh	1.0 GWh
Martelange	1.7 GWh	0.8 GWh	0.4 GWh	1.0 GWh	0.6 GWh	0.3 GWh	0.5 GWh	0.5 GWh	0.3 GWh
Meix-devant-Virton	1.7 GWh	0.9 GWh	0.4 GWh	1.0 GWh	0.7 GWh	0.4 GWh	0.5 GWh	0.5 GWh	0.3 GWh
Merbes-le-Château	5.7 GWh	2.8 GWh	1.4 GWh	3.7 GWh	2.3 GWh	1.2 GWh	2.1 GWh	2.1 GWh	1.3 GWh
Messancy	17.4 GWh	9.0 GWh	4.5 GWh	11.1 GWh	6.9 GWh	3.7 GWh	5.8 GWh	5.7 GWh	3.7 GWh
Mettet	20.2 GWh	10.2 GWh	5.0 GWh	13.4 GWh	8.2 GWh	4.4 GWh	7.6 GWh	7.4 GWh	4.7 GWh
Modave	6.0 GWh	3.0 GWh	1.4 GWh	3.7 GWh	2.2 GWh	1.2 GWh	1.8 GWh	1.8 GWh	1.1 GWh
Momignies	7.2 GWh	3.6 GWh	1.8 GWh	4.6 GWh	2.9 GWh	1.6 GWh	2.6 GWh	2.5 GWh	1.6 GWh
Mons	259.6 GWh	129.2 GWh	62.4 GWh	170.6 GWh	103.9 GWh	56.2 GWh	98.0 GWh	95.6 GWh	60.8 GWh
Mont-de-l'Enclus	3.4 GWh	1.8 GWh	0.9 GWh	2.3 GWh	1.4 GWh	0.8 GWh	1.3 GWh	1.2 GWh	0.8 GWh
Montigny-le-Tilleul	19.1 GWh	9.6 GWh	4.7 GWh	12.9 GWh	7.9 GWh	4.3 GWh	7.7 GWh	7.5 GWh	4.8 GWh
Mont-Saint-Guibert	34.3 GWh	17.3 GWh	8.4 GWh	23.5 GWh	14.3 GWh	7.7 GWh	14.3 GWh	14.2 GWh	9.0 GWh
Morlanwelz	25.9 GWh	13.0 GWh	6.3 GWh	16.7 GWh	10.2 GWh	5.5 GWh	9.0 GWh	8.8 GWh	5.6 GWh

	2022			2030			2050		
Commune	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Mouscron	119.4 GWh	60.4 GWh	20.6 GWh	78.7 GWh	48.2 GWh	18.3 GWh	44.9 GWh	44.1 GWh	19.7 GWh
Musson	3.9 GWh	1.9 GWh	0.9 GWh	2.4 GWh	1.5 GWh	0.8 GWh	1.3 GWh	1.3 GWh	0.8 GWh
Namur	370.9 GWh	185.0 GWh	89.4 GWh	247.2 GWh	150.3 GWh	81.1 GWh	144.7 GWh	141.7 GWh	90.2 GWh
Nandrin	9.8 GWh	5.1 GWh	2.5 GWh	6.3 GWh	4.0 GWh	2.2 GWh	3.4 GWh	3.3 GWh	2.1 GWh
Nassogne	6.8 GWh	3.4 GWh	1.7 GWh	4.5 GWh	2.8 GWh	1.5 GWh	2.6 GWh	2.5 GWh	1.6 GWh
Neufchâteau	20.8 GWh	10.5 GWh	5.1 GWh	13.5 GWh	8.3 GWh	4.5 GWh	7.7 GWh	7.6 GWh	4.8 GWh
Neupré	17.2 GWh	8.7 GWh	4.3 GWh	11.3 GWh	6.9 GWh	3.8 GWh	6.4 GWh	6.2 GWh	4.0 GWh
Nivelles	108.7 GWh	55.0 GWh	26.8 GWh	71.5 GWh	43.8 GWh	23.7 GWh	40.7 GWh	40.0 GWh	25.5 GWh
Ohey	7.8 GWh	4.0 GWh	2.0 GWh	5.1 GWh	3.1 GWh	1.7 GWh	2.9 GWh	2.8 GWh	1.8 GWh
Olné	4.9 GWh	2.4 GWh	1.2 GWh	3.2 GWh	1.9 GWh	1.0 GWh	1.7 GWh	1.7 GWh	1.1 GWh
Onhaye	3.9 GWh	2.0 GWh	1.0 GWh	2.5 GWh	1.5 GWh	0.8 GWh	1.3 GWh	1.3 GWh	0.8 GWh
Oreye	5.3 GWh	2.7 GWh	1.3 GWh	3.3 GWh	2.0 GWh	1.1 GWh	1.7 GWh	1.7 GWh	1.1 GWh
Orp-Jauche	8.4 GWh	4.3 GWh	2.1 GWh	5.4 GWh	3.3 GWh	1.8 GWh	2.8 GWh	2.8 GWh	1.8 GWh
Ottignies-Louvain-la-Neuve	115.4 GWh	57.5 GWh	27.8 GWh	77.2 GWh	46.4 GWh	25.0 GWh	44.3 GWh	43.1 GWh	27.4 GWh
Ouffet	5.1 GWh	2.5 GWh	1.2 GWh	3.3 GWh	2.0 GWh	1.1 GWh	2.0 GWh	1.9 GWh	1.2 GWh
Oupeye	35.1 GWh	17.7 GWh	8.6 GWh	23.1 GWh	14.2 GWh	7.7 GWh	13.1 GWh	12.8 GWh	8.1 GWh
Paliseul	11.4 GWh	5.8 GWh	2.8 GWh	7.6 GWh	4.7 GWh	2.5 GWh	4.5 GWh	4.4 GWh	2.8 GWh
Pecq	11.8 GWh	6.0 GWh	2.9 GWh	7.6 GWh	4.7 GWh	2.5 GWh	4.2 GWh	4.1 GWh	2.6 GWh
Pepinster	14.1 GWh	7.2 GWh	3.5 GWh	9.1 GWh	5.6 GWh	3.0 GWh	4.9 GWh	4.8 GWh	3.0 GWh
Péruwelz	38.2 GWh	19.1 GWh	9.3 GWh	25.3 GWh	15.5 GWh	8.4 GWh	14.4 GWh	13.9 GWh	8.8 GWh
Perwez	21.8 GWh	11.0 GWh	5.3 GWh	14.0 GWh	8.6 GWh	4.6 GWh	7.5 GWh	7.3 GWh	4.7 GWh

Commune	2022			2030			2050		
	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Philippeville	25.5 GWh	12.7 GWh	6.1 GWh	16.7 GWh	10.2 GWh	5.5 GWh	9.5 GWh	9.3 GWh	5.9 GWh
Plombières	13.4 GWh	6.7 GWh	3.3 GWh	8.7 GWh	5.3 GWh	2.9 GWh	4.9 GWh	4.8 GWh	3.0 GWh
Pont-à-Celles	20.2 GWh	10.0 GWh	4.8 GWh	13.2 GWh	8.0 GWh	4.3 GWh	7.6 GWh	7.4 GWh	4.7 GWh
Profondeville	23.2 GWh	11.7 GWh	5.7 GWh	15.4 GWh	9.4 GWh	5.1 GWh	8.9 GWh	8.7 GWh	5.5 GWh
Quaregnon	26.2 GWh	13.2 GWh	4.5 GWh	16.7 GWh	10.3 GWh	3.9 GWh	9.1 GWh	8.9 GWh	3.9 GWh
Quévy	11.9 GWh	6.0 GWh	3.0 GWh	7.8 GWh	4.7 GWh	2.6 GWh	4.2 GWh	4.1 GWh	2.6 GWh
Quiévrain	14.6 GWh	7.3 GWh	3.6 GWh	9.3 GWh	5.7 GWh	3.1 GWh	4.9 GWh	4.8 GWh	3.1 GWh
Raeren	18.1 GWh	9.1 GWh	4.4 GWh	12.0 GWh	7.3 GWh	3.9 GWh	6.8 GWh	6.6 GWh	4.2 GWh
Ramillies	5.6 GWh	2.9 GWh	1.4 GWh	3.5 GWh	2.2 GWh	1.2 GWh	1.9 GWh	1.9 GWh	1.2 GWh
Rebecq	12.8 GWh	6.5 GWh	3.2 GWh	8.2 GWh	5.0 GWh	2.7 GWh	4.3 GWh	4.1 GWh	2.6 GWh
Remicourt	5.8 GWh	3.0 GWh	1.5 GWh	3.8 GWh	2.4 GWh	1.3 GWh	2.1 GWh	2.1 GWh	1.3 GWh
Rendeux	4.7 GWh	2.4 GWh	1.2 GWh	3.1 GWh	1.9 GWh	1.0 GWh	1.6 GWh	1.5 GWh	1.0 GWh
Rixensart	52.6 GWh	26.5 GWh	9.1 GWh	35.2 GWh	21.4 GWh	8.1 GWh	20.3 GWh	19.9 GWh	8.9 GWh
Rochefort	35.4 GWh	17.6 GWh	8.5 GWh	22.7 GWh	13.7 GWh	7.4 GWh	12.1 GWh	11.7 GWh	7.4 GWh
Rouvroy	1.9 GWh	1.0 GWh	0.5 GWh	1.1 GWh	0.7 GWh	0.4 GWh	0.5 GWh	0.5 GWh	0.3 GWh
Rumes	7.3 GWh	3.7 GWh	1.8 GWh	4.6 GWh	2.9 GWh	1.6 GWh	2.6 GWh	2.5 GWh	1.6 GWh
Sainte-Ode	5.0 GWh	2.5 GWh	1.2 GWh	3.4 GWh	2.1 GWh	1.1 GWh	2.0 GWh	2.0 GWh	1.2 GWh
Saint-Georges-sur-Meuse	11.3 GWh	5.8 GWh	2.9 GWh	7.3 GWh	4.5 GWh	2.4 GWh	3.8 GWh	3.7 GWh	2.4 GWh
Saint-Ghislain	45.0 GWh	22.6 GWh	11.0 GWh	29.4 GWh	18.0 GWh	9.7 GWh	16.5 GWh	16.1 GWh	10.2 GWh
Saint-Hubert	15.1 GWh	7.4 GWh	3.5 GWh	9.8 GWh	5.9 GWh	3.2 GWh	5.5 GWh	5.3 GWh	3.4 GWh
Saint-Léger	3.2 GWh	1.5 GWh	0.7 GWh	2.1 GWh	1.2 GWh	0.6 GWh	1.2 GWh	1.1 GWh	0.7 GWh
Saint-Nicolas	21.7 GWh	10.9 GWh	3.7 GWh	14.0 GWh	8.6 GWh	3.3 GWh	7.8 GWh	7.6 GWh	3.4 GWh
Saint-Vith	37.6 GWh	19.1 GWh	9.3 GWh	25.0 GWh	15.3 GWh	8.3 GWh	14.2 GWh	14.0 GWh	8.9 GWh
Sambreville	53.2 GWh	26.7 GWh	13.0 GWh	35.0 GWh	21.4 GWh	11.6 GWh	20.1 GWh	19.6 GWh	12.5 GWh

	2022			2030			2050		
Commune	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Seneffe	23.8 GWh	12.1 GWh	5.9 GWh	15.4 GWh	9.5 GWh	5.2 GWh	8.6 GWh	8.5 GWh	5.4 GWh
Seraing	110.7 GWh	55.9 GWh	19.1 GWh	72.3 GWh	44.2 GWh	16.7 GWh	40.3 GWh	39.4 GWh	17.5 GWh
Silly	14.2 GWh	6.9 GWh	3.3 GWh	9.4 GWh	5.6 GWh	3.0 GWh	5.5 GWh	5.3 GWh	3.4 GWh
Sivry-Rance	12.0 GWh	5.7 GWh	2.7 GWh	7.6 GWh	4.6 GWh	2.5 GWh	4.1 GWh	4.0 GWh	2.5 GWh
Soignies	49.1 GWh	24.7 GWh	12.0 GWh	32.0 GWh	19.6 GWh	10.6 GWh	17.8 GWh	17.3 GWh	11.0 GWh
Sombreffe	19.0 GWh	9.6 GWh	4.6 GWh	12.8 GWh	7.8 GWh	4.2 GWh	7.6 GWh	7.4 GWh	4.7 GWh
Somme-Leuze	7.7 GWh	3.9 GWh	1.9 GWh	5.1 GWh	3.1 GWh	1.7 GWh	2.8 GWh	2.7 GWh	1.7 GWh
Soumagne	27.7 GWh	14.2 GWh	7.0 GWh	18.0 GWh	11.1 GWh	6.0 GWh	9.9 GWh	9.7 GWh	6.2 GWh
Spa	30.5 GWh	15.4 GWh	7.5 GWh	19.6 GWh	12.0 GWh	6.5 GWh	10.3 GWh	10.1 GWh	6.4 GWh
Sprimont	29.4 GWh	15.0 GWh	7.4 GWh	18.9 GWh	11.7 GWh	6.3 GWh	10.0 GWh	9.8 GWh	6.2 GWh
Stavelot	18.7 GWh	9.4 GWh	4.6 GWh	12.2 GWh	7.4 GWh	4.0 GWh	6.5 GWh	6.4 GWh	4.0 GWh
Stoumont	6.0 GWh	2.9 GWh	1.4 GWh	3.7 GWh	2.3 GWh	1.2 GWh	2.0 GWh	1.9 GWh	1.2 GWh
Tellin	1.9 GWh	1.0 GWh	0.5 GWh	1.2 GWh	0.7 GWh	0.4 GWh	0.6 GWh	0.6 GWh	0.4 GWh
Tenneville	5.6 GWh	2.8 GWh	1.4 GWh	3.8 GWh	2.3 GWh	1.2 GWh	2.2 GWh	2.1 GWh	1.3 GWh
Theux	25.5 GWh	12.8 GWh	6.2 GWh	16.2 GWh	9.9 GWh	5.4 GWh	8.6 GWh	8.4 GWh	5.3 GWh
Thimister-Clermont	13.9 GWh	7.2 GWh	3.6 GWh	8.8 GWh	5.5 GWh	3.0 GWh	4.6 GWh	4.5 GWh	2.9 GWh
Thuin	35.1 GWh	17.5 GWh	8.5 GWh	23.0 GWh	14.0 GWh	7.5 GWh	12.8 GWh	12.5 GWh	7.9 GWh
Tinlot	4.2 GWh	2.2 GWh	1.1 GWh	2.6 GWh	1.7 GWh	0.9 GWh	1.3 GWh	1.3 GWh	0.9 GWh
Tintigny	7.2 GWh	3.5 GWh	1.7 GWh	4.9 GWh	2.9 GWh	1.5 GWh	2.9 GWh	2.8 GWh	1.8 GWh
Tournai	220.0 GWh	110.1 GWh	53.4 GWh	144.4 GWh	88.0 GWh	47.6 GWh	82.1 GWh	80.1 GWh	50.9 GWh
Trois-Ponts	5.8 GWh	2.9 GWh	1.4 GWh	3.5 GWh	2.2 GWh	1.2 GWh	1.7 GWh	1.6 GWh	1.0 GWh
Trooz	7.7 GWh	4.0 GWh	2.0 GWh	4.8 GWh	3.0 GWh	1.7 GWh	2.6 GWh	2.6 GWh	1.6 GWh
Tubize	40.4 GWh	20.5 GWh	10.0 GWh	26.4 GWh	16.2 GWh	8.8 GWh	14.7 GWh	14.4 GWh	9.2 GWh

	2022			2030			2050		
Commune	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable	Demande brute	Demande couvrable Favorable	Demande couvrable Défavorable
Vaux-sur-Sûre	9.0 GWh	4.6 GWh	2.2 GWh	6.1 GWh	3.7 GWh	2.0 GWh	3.7 GWh	3.6 GWh	2.3 GWh
Verlaine	6.5 GWh	3.4 GWh	1.7 GWh	4.4 GWh	2.7 GWh	1.5 GWh	2.5 GWh	2.5 GWh	1.6 GWh
Verviers	145.9 GWh	73.2 GWh	24.9 GWh	96.3 GWh	58.9 GWh	22.3 GWh	55.5 GWh	54.2 GWh	24.1 GWh
Vielsalm	19.3 GWh	9.6 GWh	4.6 GWh	12.4 GWh	7.5 GWh	4.1 GWh	6.7 GWh	6.4 GWh	4.1 GWh
Villers-la-Ville	13.8 GWh	7.0 GWh	3.4 GWh	9.0 GWh	5.5 GWh	3.0 GWh	4.7 GWh	4.6 GWh	2.9 GWh
Villers-le-Bouillet	13.3 GWh	6.8 GWh	3.4 GWh	8.6 GWh	5.4 GWh	2.9 GWh	4.8 GWh	4.8 GWh	3.1 GWh
Viroinval	10.2 GWh	5.0 GWh	2.4 GWh	6.6 GWh	3.9 GWh	2.1 GWh	3.5 GWh	3.3 GWh	2.1 GWh
Virton	32.6 GWh	16.1 GWh	7.8 GWh	21.2 GWh	12.9 GWh	7.0 GWh	12.0 GWh	11.6 GWh	7.4 GWh
Visé	43.0 GWh	21.7 GWh	10.6 GWh	28.0 GWh	17.1 GWh	9.2 GWh	15.5 GWh	15.1 GWh	9.6 GWh
Vresse-sur-Semois	7.0 GWh	3.6 GWh	1.8 GWh	4.7 GWh	2.9 GWh	1.6 GWh	2.6 GWh	2.5 GWh	1.6 GWh
Waimes	19.4 GWh	9.8 GWh	4.8 GWh	12.4 GWh	7.6 GWh	4.1 GWh	6.7 GWh	6.6 GWh	4.2 GWh
Walcourt	25.6 GWh	13.0 GWh	6.3 GWh	16.9 GWh	10.4 GWh	5.6 GWh	9.7 GWh	9.5 GWh	6.0 GWh
Walhain	10.6 GWh	5.4 GWh	2.6 GWh	7.0 GWh	4.3 GWh	2.3 GWh	4.0 GWh	3.9 GWh	2.5 GWh
Wanze	23.4 GWh	11.8 GWh	5.8 GWh	14.9 GWh	9.1 GWh	4.9 GWh	7.8 GWh	7.6 GWh	4.8 GWh
Wareme	40.7 GWh	20.5 GWh	10.0 GWh	26.4 GWh	16.2 GWh	8.8 GWh	14.8 GWh	14.5 GWh	9.2 GWh
Wasseiges	1.6 GWh	0.8 GWh	0.4 GWh	1.0 GWh	0.6 GWh	0.3 GWh	0.5 GWh	0.5 GWh	0.3 GWh
Waterloo	104.9 GWh	53.7 GWh	18.4 GWh	70.2 GWh	42.9 GWh	16.2 GWh	40.4 GWh	39.8 GWh	17.8 GWh
Wavre	140.3 GWh	71.1 GWh	34.6 GWh	92.5 GWh	56.6 GWh	30.6 GWh	52.6 GWh	51.8 GWh	33.0 GWh
Welkenraedt	24.2 GWh	12.2 GWh	5.9 GWh	15.9 GWh	9.7 GWh	5.2 GWh	8.9 GWh	8.7 GWh	5.5 GWh
Wellin	6.2 GWh	3.1 GWh	1.5 GWh	4.0 GWh	2.4 GWh	1.3 GWh	2.1 GWh	2.1 GWh	1.3 GWh
Yvoir	12.8 GWh	6.3 GWh	3.1 GWh	8.2 GWh	5.1 GWh	2.7 GWh	4.7 GWh	4.5 GWh	2.9 GWh





## ANNEXE F : CARTES POUR LES SYSTÈMES FERMÉS : CLASSE DE CONDUCTIVITÉ THERMIQUE, PROFONDEUR DE LA ZONE NON SATURÉE, ET DÉBIT D'EXPLOITATION PAR FORAGE ET POTENTIEL GÉOTHERMIQUE

---

### F.1. CRITÈRES

Cartographie du potentiel géothermique à partir de la cartographie des critères suivants :

- Classe de conductivité thermique :
  - Classe A :  $\lambda < 2,2 \text{ W/m.K}$
  - Classe B :  $\lambda > 2,2 \text{ W/m.K}$
- Epaisseur de la classe A :
  - Epaisseur de la classe A  $> 50\text{m}$  : Potentiel intéressant
  - Epaisseur de la classe A  $< 50\text{m}$  : Potentiel très intéressant
- Piézométrie

L'épaisseur de la classe A est déterminée à partir du tracé des polygones d'épaisseur en superposant :

- Carte d'affleurement du T & C (OneGeology)
- Carte des isopaques du Crétacé (SGB)
- MTN de la Wallonie
- Isohypse de la base du Crétacé (SGB)
- Isohypse du toit du Socle Paléozoïque (SGB)

### F.2. POTENTIEL DES SYSTÈMES FERMÉS

#### F.2.1 CLASSES DE POTENTIEL

Le potentiel est déterminé qualitativement à partir du croisement des critères précédents et implique les étapes suivantes :

1. Evaluation de la conductivité thermique du sous-sol (Classe A et B)
2. Discrimination des zones moins favorable au sein de la Classe A (seuil à 50 m)
3. Saturation des terrain (seuil à 50m (critère variable dans le DEA))

Le potentiel est qualifié selon 6 classes :

- Potentiel inconnu
- Potentiel +/-
- Potentiel +
- Potentiel ++
- Potentiel +++
- Potentiel ++++

Les classes de potentiel sont définies comme présenté dans le Tableau 28.

Tableau 28: classe de potentiel en fonction du croisement des critères retenus pour les systèmes fermés

Classe de potentiel	Critères
Potentiel inconnu	Classe de conductivité inconnue, saturée Classe de conductivité inconnue, non saturée
Potentiel +/-	Classe A, épaisseur >50m, non saturée
Potentiel +	Classe A, épaisseur >50m, saturée
Potentiel ++	Classe A, épaisseur <50m, non saturée
Potentiel +++	Classe A, épaisseur <50m, saturée
Potentiel ++++	Classe B, non saturée Classe B, saturée

### F.2.2 POTENTIEL TECHNIQUE SOUS-SOL

Le potentiel technique sous-sol est déterminé quantitativement et exprimé en MWh/ha sur base :

1. Des classes de conductivité thermique du sous-sol
2. De la puissance extractible (W/m de sonde) attribuée aux différentes classes
3. D'hypothèses formulées concernant la longueur de sonde, la distance entre les sondes, le delta de température et le nombre d'heures annuel d'utilisation des systèmes

Il est calculé comme suit :

$$Potentiel_{technique-sous-sol} = \frac{l * P_{ex} * H}{S}$$

Où :

- $l$  = la longueur de sonde [m]
- $P_{ex}$  = la puissance extractible [W/m]
- $H$  = le nombre d'heures d'utilisation par an [h]
- $S$  = la surface nécessaire entre 2 forages [m<sup>2</sup>]

En faisant l'hypothèse suivante concernant la surface entre 2 forages :

$$S = l * l$$

Le potentiel technique sous-sol est calculé en fixant la longueur de sonde à 100m, la distance entre les sondes à 10m et le nombre d'heures d'utilisation à 2000h/an. Ces critères sont variables dans le DEA.

Les gammes de puissance extractible retenues pour cet exercice de cartographie ont été proposées en se basant sur les conductivités thermiques des lithologies couvertes par les classes A et B et sont les suivantes:

- Inconnue si la classe de conductivité thermique est inconnue
- 25 W/m : Classe A, épaisseur >50m, non saturée
- 35-60 W/m : Classe A, épaisseur >50m, saturée
- 40-70 W/m : Classe A, épaisseur <50m et Classe B

Les valeurs se recoupent car il existe une gamme de valeurs par lithologie en fonction de la saturation (Tableau 29).

Le potentiel technique sous-sol ainsi obtenu correspond alors aux gammes suivantes :

- Potentiel inconnu
- Potentiel < 500 MWh/ha
- Potentiel : 700 à 1200 MWh/ha
- Potentiel : 800-1400 MWh/ha

**Tableau 29: Puissance d'extraction typique en fonction du type de lithologie.**

Type de lithologie	Puissance d'extraction (W/m)
Sable sec	< 25
Sable saturé	60
Argile sec	25
Argile humide	35
Calcaires	55
Grès	60
Schistes	50
Quartzites	70

### F.2.3 POTENTIEL NET

Les cartes de potentiel net sont obtenues en croisant les cartes de densité de demande énergétique couvrable par PACs géothermiques (en tenant compte de contraintes de surface) en MWh/ha avec la carte de potentiel technique sous-sol considérant la valeur moyenne pour les 3 gammes de potentiel définies.

Le potentiel technique sous-sol moyen correspond alors aux valeurs suivantes :

- Potentiel inconnu
- Potentiel 500 MWh/ha
- Potentiel 950 MWh/ha
- Potentiel : 1100 MWh/ha

En chaque maille de 100m \* 100m, le potentiel net correspond à :

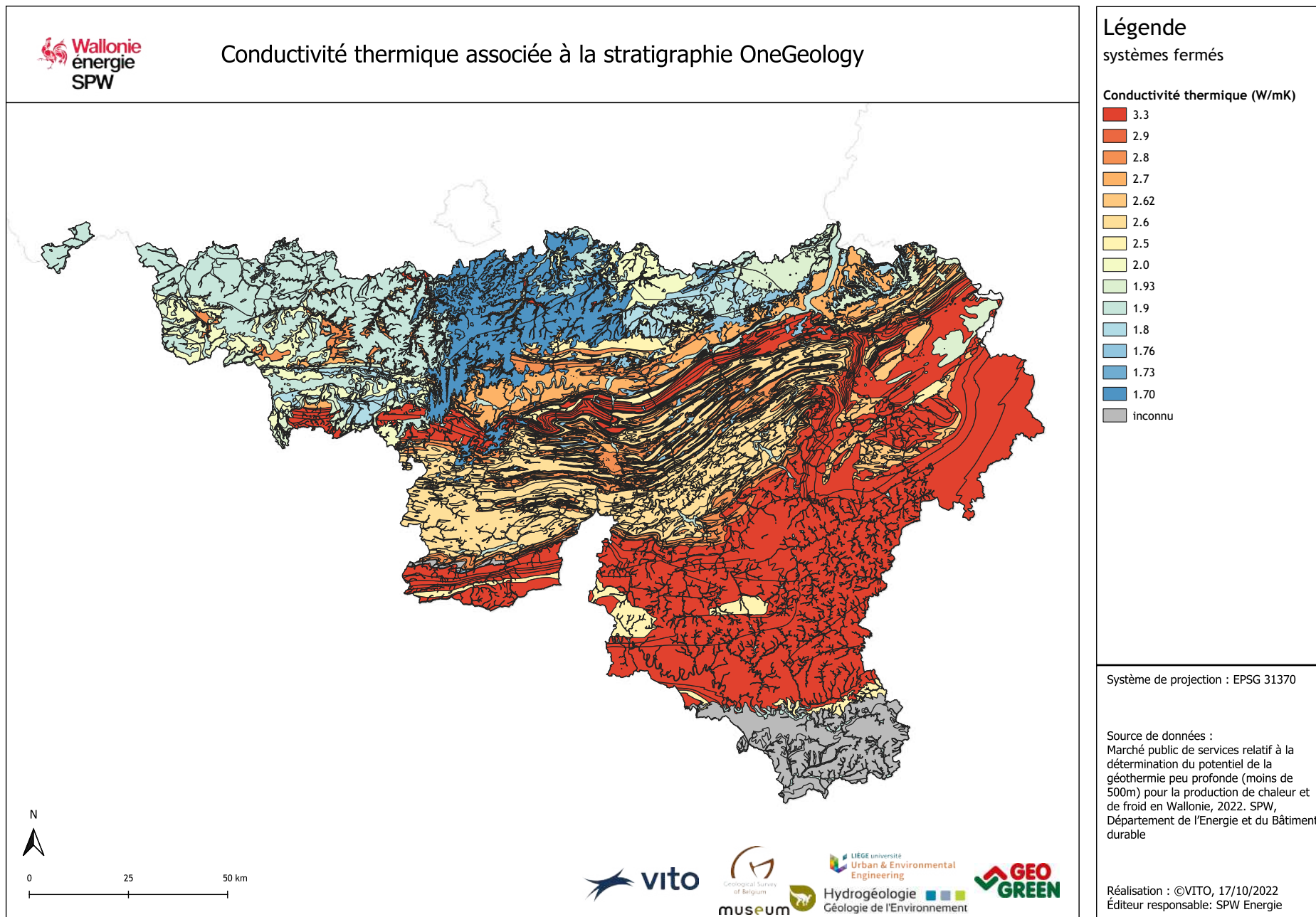
- $Potential_{net} = Potential_{technique-sous-sol-moyen}$  si demande couvrable > potentiel technique sous-sol moyen
- $Potential_{net} = Demande\ couvrable$ , si demande couvrable < potentiel technique sous-sol moyen

Cet exercice a été réalisé en croisant le potentiel technique sous-sol avec :

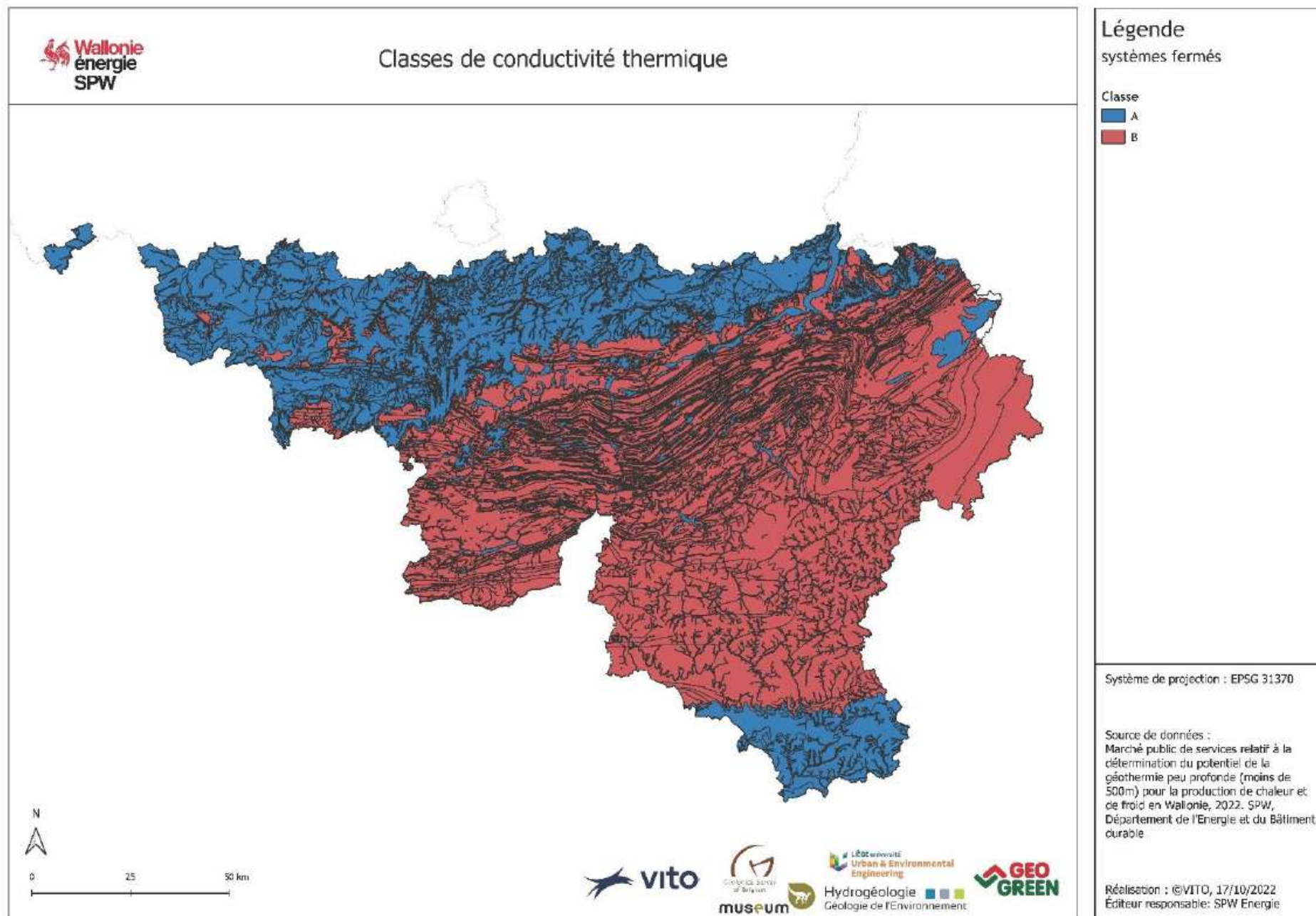
- La demande de chaleur couvrable du secteur résidentiel - scénario favorable 2022
- La demande de chaleur couvrable du secteur résidentiel - scénario défavorable 2022
- La demande de chaleur couvrable du secteur résidentiel - scénario favorable 2030
- La demande de chaleur couvrable du secteur résidentiel - scénario défavorable 2030
- La demande de chaleur couvrable du secteur résidentiel - scénario favorable 2050.
- La demande de chaleur couvrable du secteur résidentiel - scénario défavorable 2050
- La demande de chaleur couvrable du secteur tertiaire - scénario favorable 2022.
- La demande de chaleur couvrable du secteur tertiaire - scénario défavorable 2022
- La demande de chaleur couvrable du secteur tertiaire - scénario favorable 2030
- La demande de chaleur couvrable du secteur tertiaire - scénario défavorable 2030
- La demande de chaleur couvrable du secteur tertiaire - scénario favorable 2050
- La demande de chaleur couvrable du secteur tertiaire - scénario défavorable 2050

## F.3. CARTES

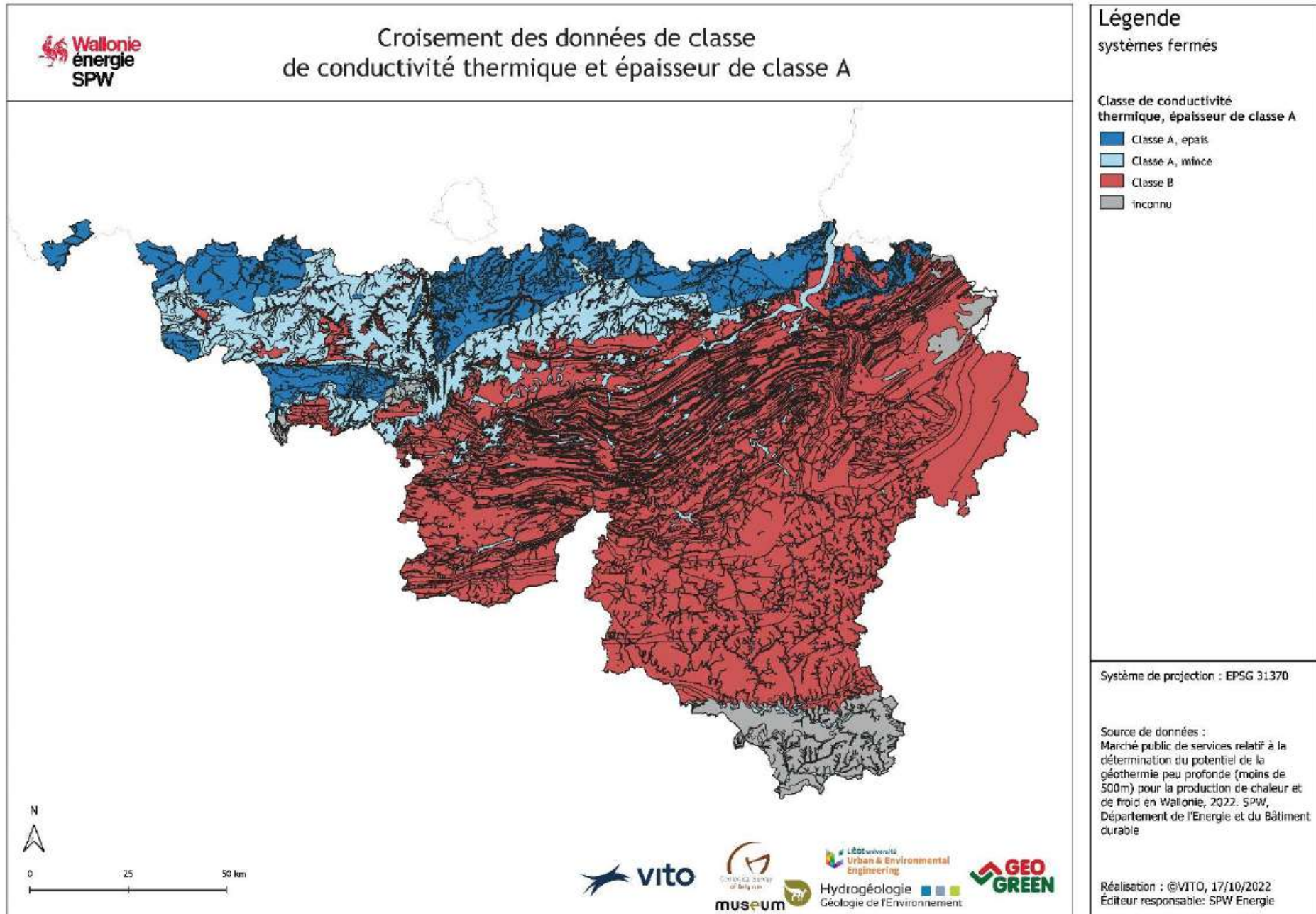
Cartes
Conductivité thermique associé à la stratigraphie OneGeology
Classe de conductivité thermique
Croisement classe de conductivité thermique, épaisseur de la classe A
Croisement classe de conductivité thermique, épaisseur de la classe A et piézométrie
Potentiel des systèmes géothermiques fermés peu profonds (classe de potentiel)
Potentiel technique sous-sol des systèmes géothermiques fermés peu profonds en MWh/ha
Densité de demande de chaleur brute du secteur résidentiel – 2022
Densité de demande de chaleur brute du secteur tertiaire – 2022
Densité de demande de chaleur couvrable du secteur résidentiel – scénario favorable 2022
Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds pour le secteur résidentiel scénario favorable 2022
Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds pour le secteur résidentiel scénario défavorable 2022
Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds pour le secteur tertiaire scénario favorable 2022
Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds pour le secteur tertiaire scénario défavorable 2022
Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds pour le secteur résidentiel scénario favorable 2030
Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds pour le secteur résidentiel scénario défavorable 2030
Densité de demande de chaleur couvrable du secteur tertiaire – scénario favorable 2022
Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds pour le secteur tertiaire scénario favorable 2030
Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds pour le secteur tertiaire scénario défavorable 2030
Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds pour le secteur résidentiel scénario favorable 2050
Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds pour le secteur résidentiel scénario défavorable 2050
Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds pour le secteur tertiaire scénario favorable 2050
Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds pour le secteur tertiaire scénario défavorable 2050



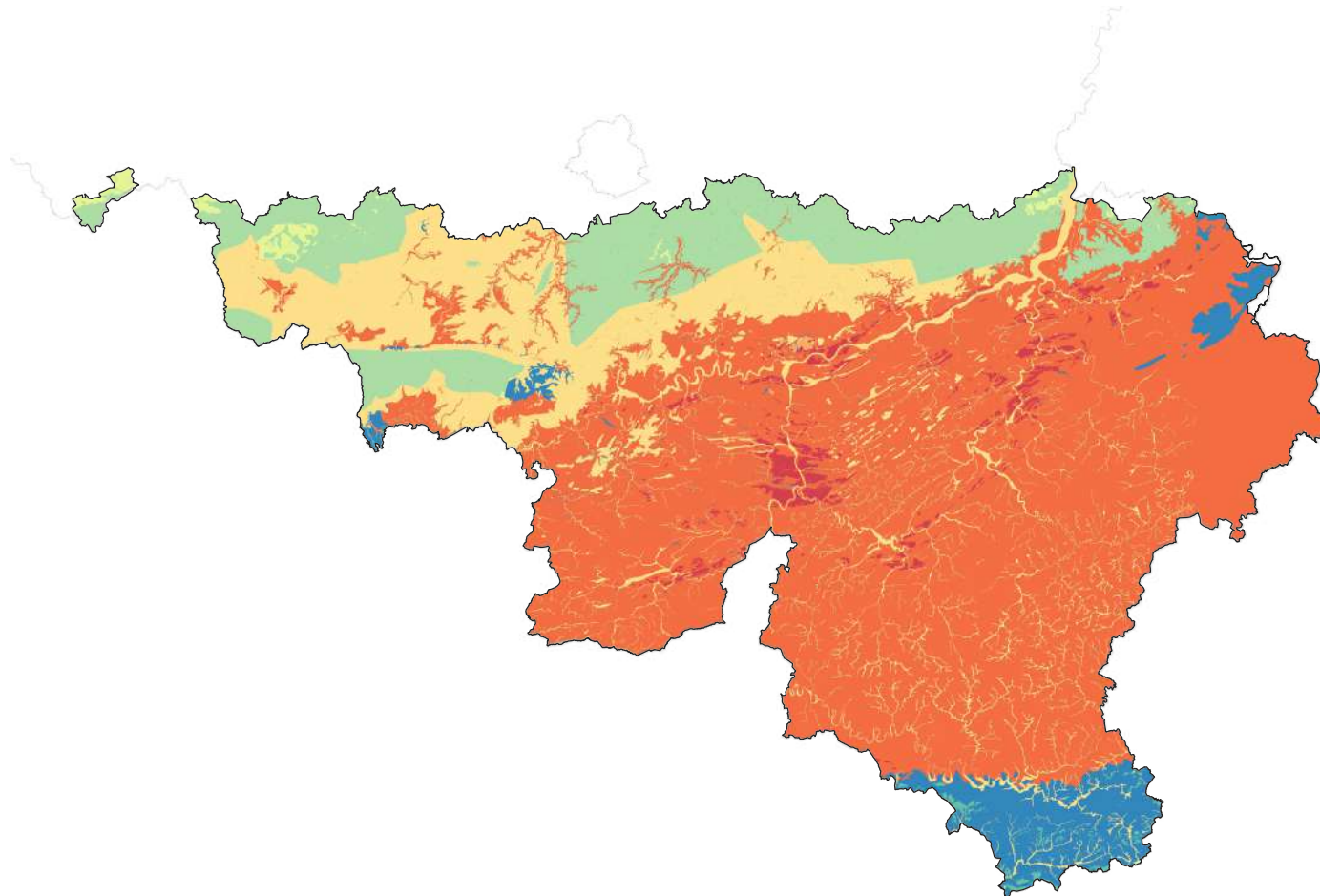








## Croisement des données classe de conductivité thermique et saturation



### Légende

Systèmes fermés

Classe de conductivité thermique, degré de saturation

- Classe inconnu, saturé
- Classe inconnu, non saturé
- Classe A épais, saturé
- Classe A épais, non saturé
- Classe A mince, saturé
- Classe A mince, non saturé
- Classe B, saturé
- Classe B, non saturé

Système de projection : EPSG 31370

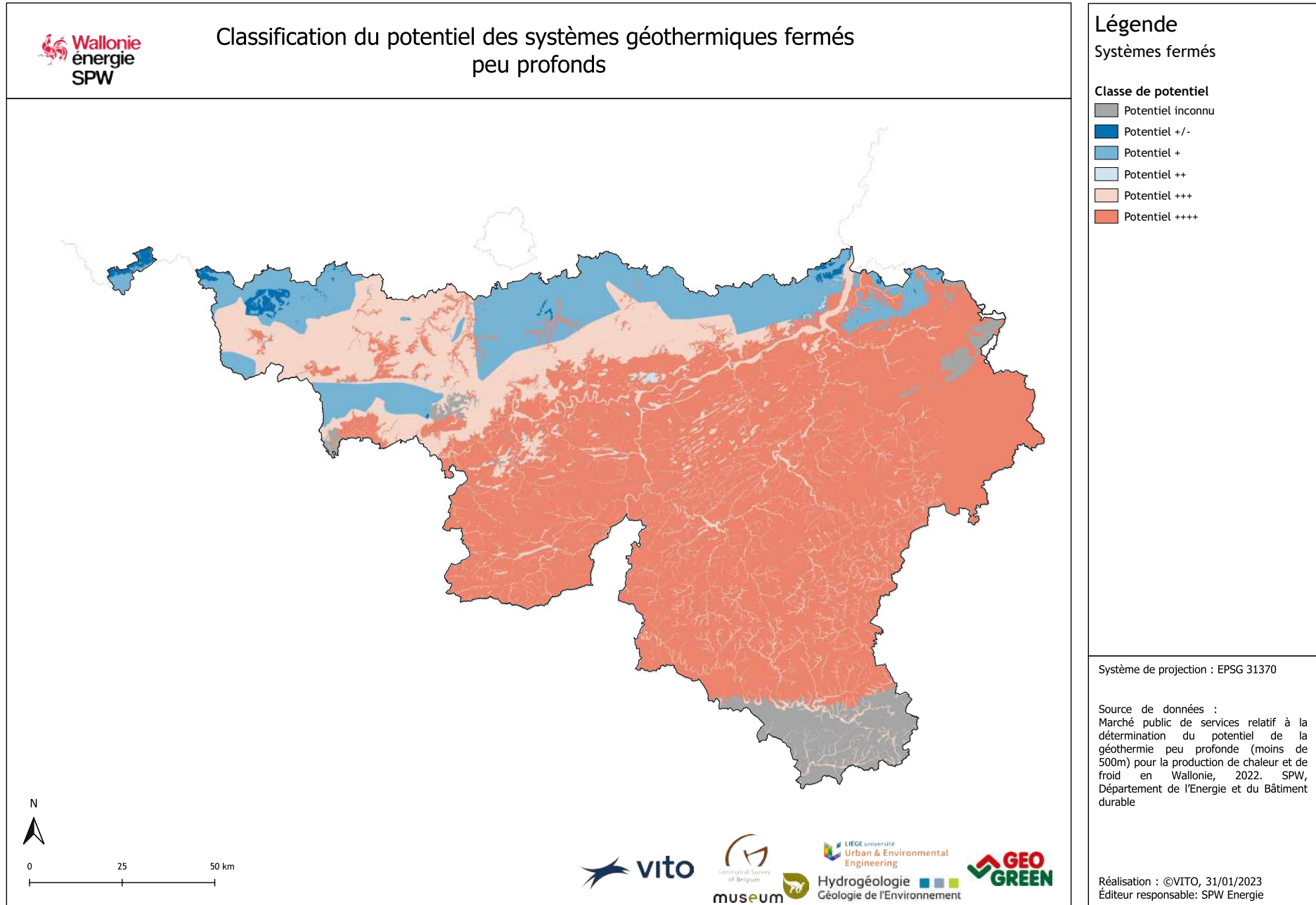
Hypothèses: seuil épaisseur zone non-saturée: 50m; potentiel classe B > potentiel classe A; potentiel saturé > potentiel non saturé

Source de données : Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Energie et du Bâtiment durable.

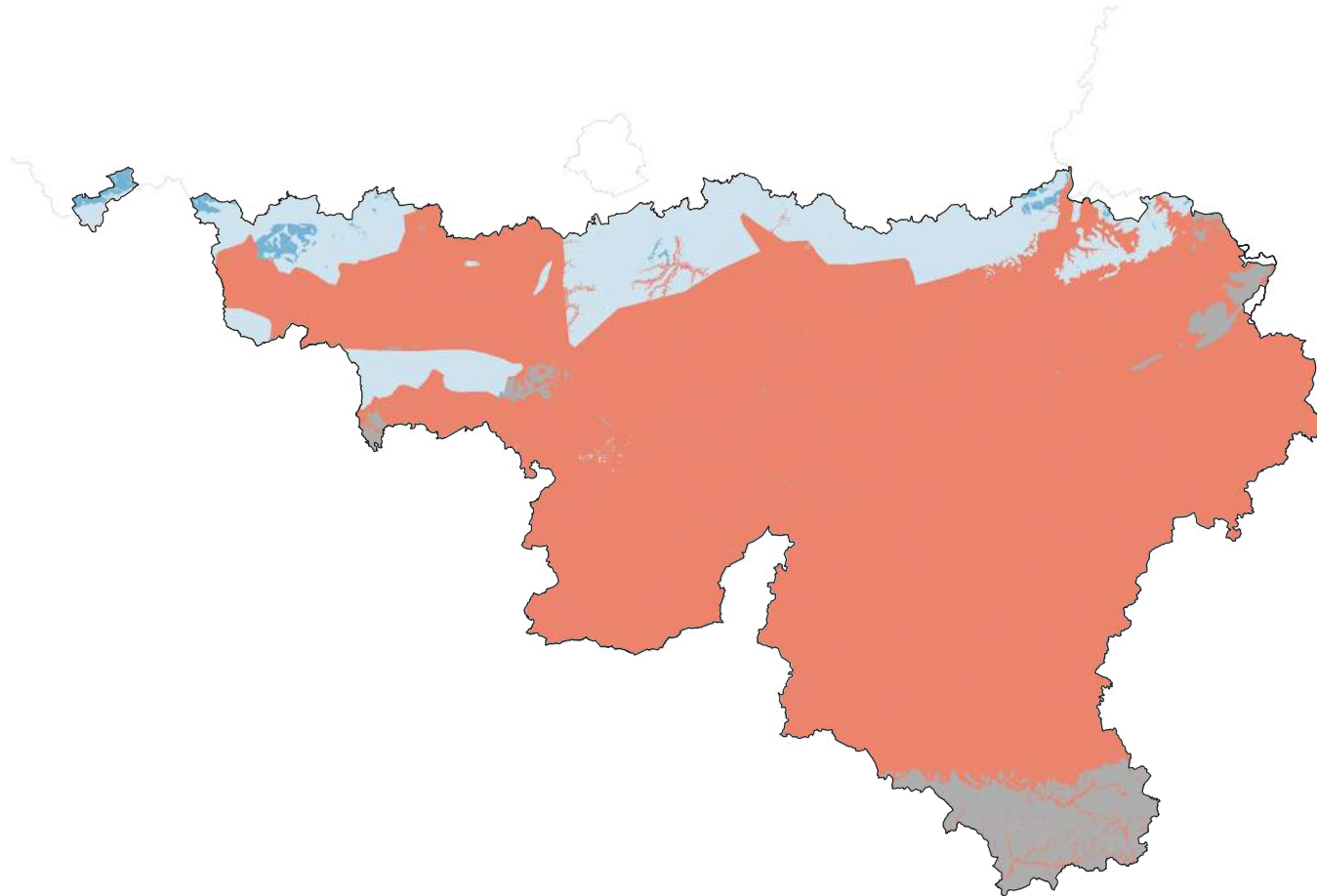
Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Energie



0 25 50 km



## Potentiel technique des systèmes géothermiques fermés peu profonds







0 25 50 km

### Légende

systèmes fermés

Potentiel technique

-  Inconnu
-  <math>< 25 \text{ W/m}</math>; <math>< 500 \text{ MWh/ha}</math>
-  <math>35 - 60 \text{ W/m}</math>; <math>700 - 1200 \text{ MWh/ha}</math>
-  <math>40 - 70 \text{ W/m}</math>; <math>800 - 1400 \text{ MWh/ha}</math>

Système de projection : EPSG 31370

Hypothèses: seuil épaisseur zone non saturée: 50m;  
heures d'opération: 2000; distance entre les sondes:  
10m, longueur des sondes: 100m

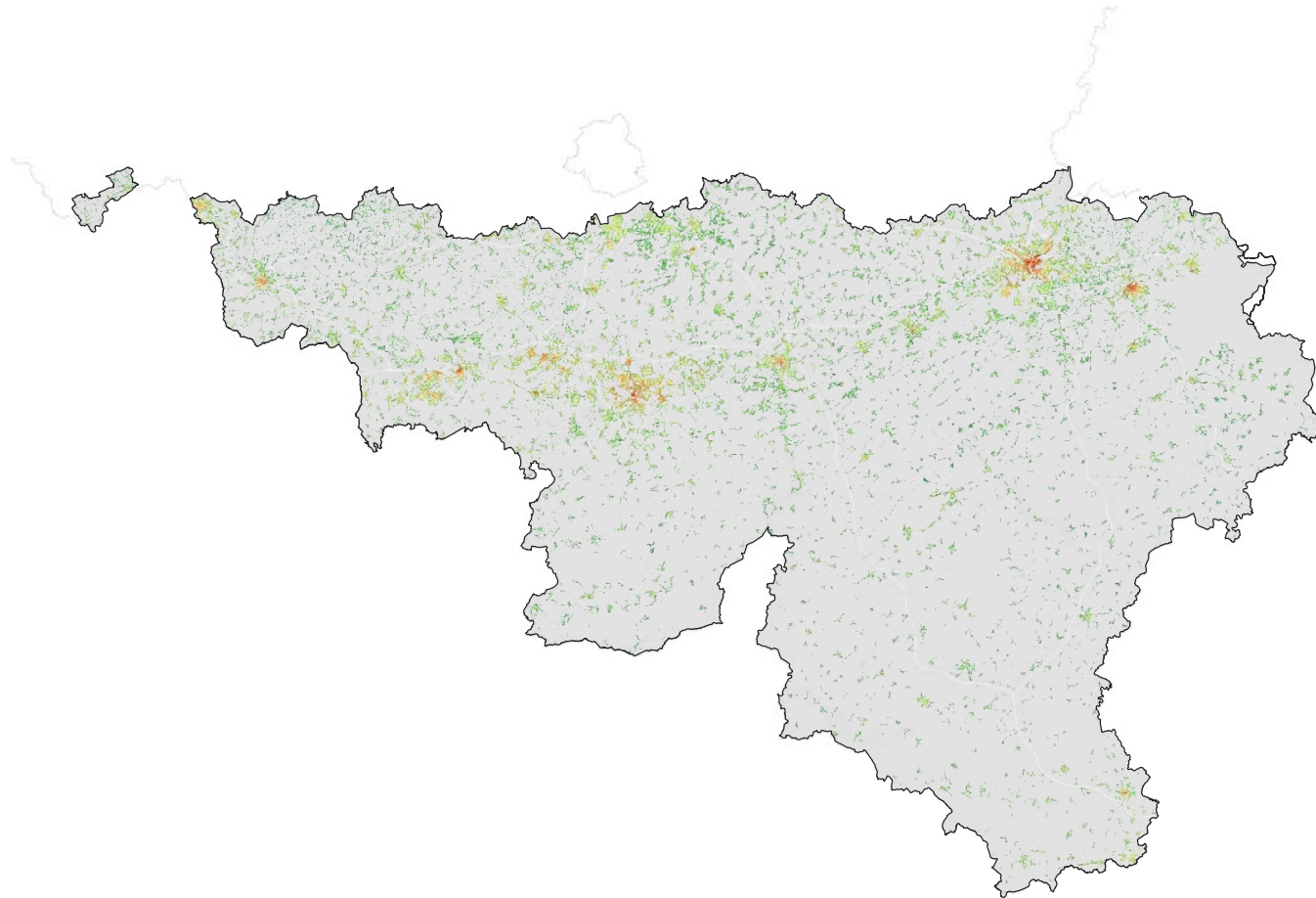
Source de données :

- Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 03/10/2022  
Éditeur responsable: SPW Energie

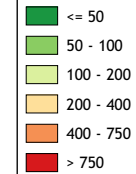


## Densité de demande de chaleur brute 2022- Secteur Résidentiel



### Légende

Densité de demande  
(MWh/ha)



Système de projection : EPSG 31370

Source de données :

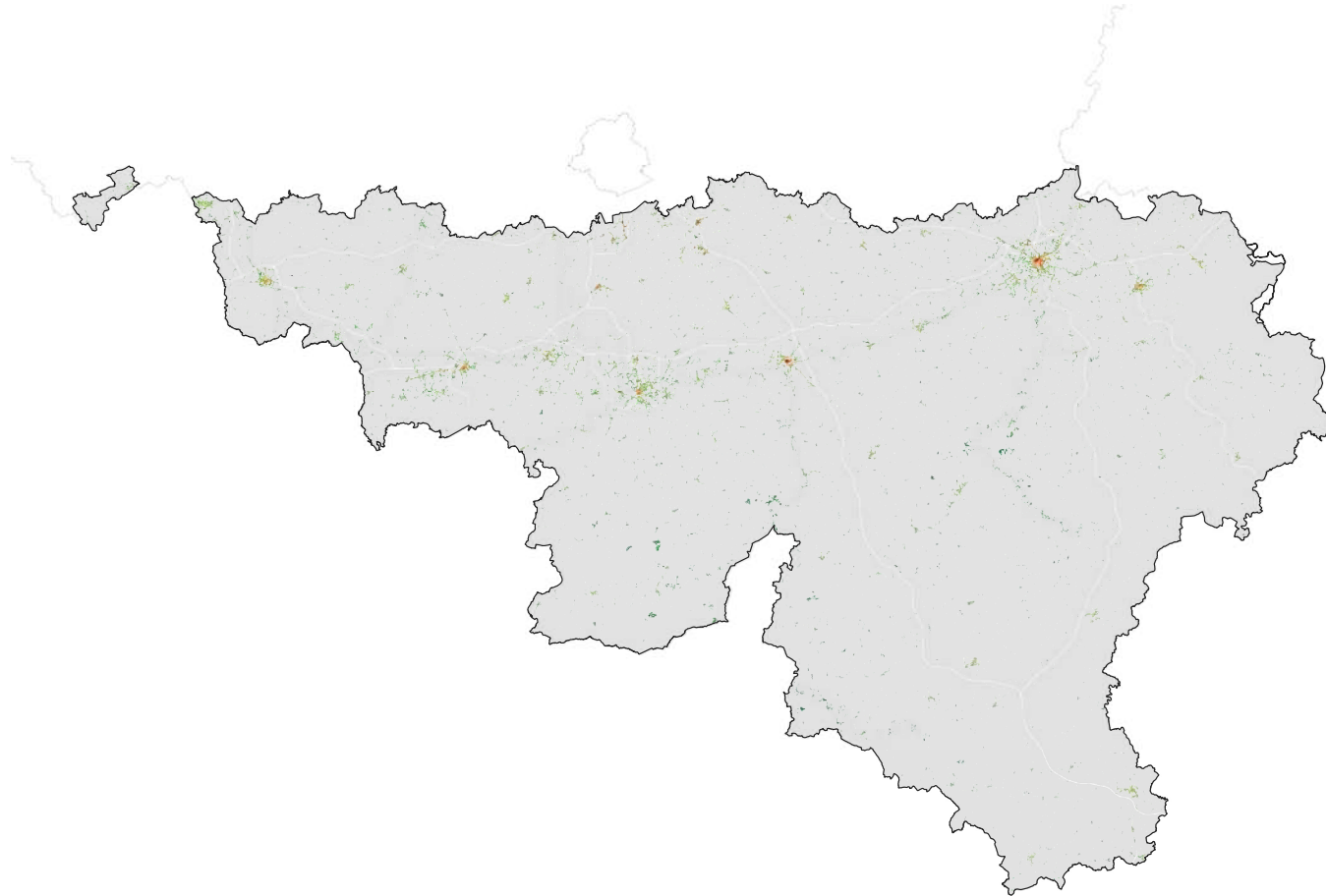
Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 17/10/2022  
Éditeur responsable: SPW Energie



0 25 50 km

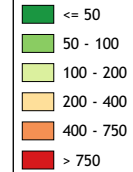
## Densité de demande de chaleur brute 2022- Secteur Tertiaire



0 25 50 km

### Légende

Densité de demande  
(MWh/ha)



Système de projection : EPSG 31370

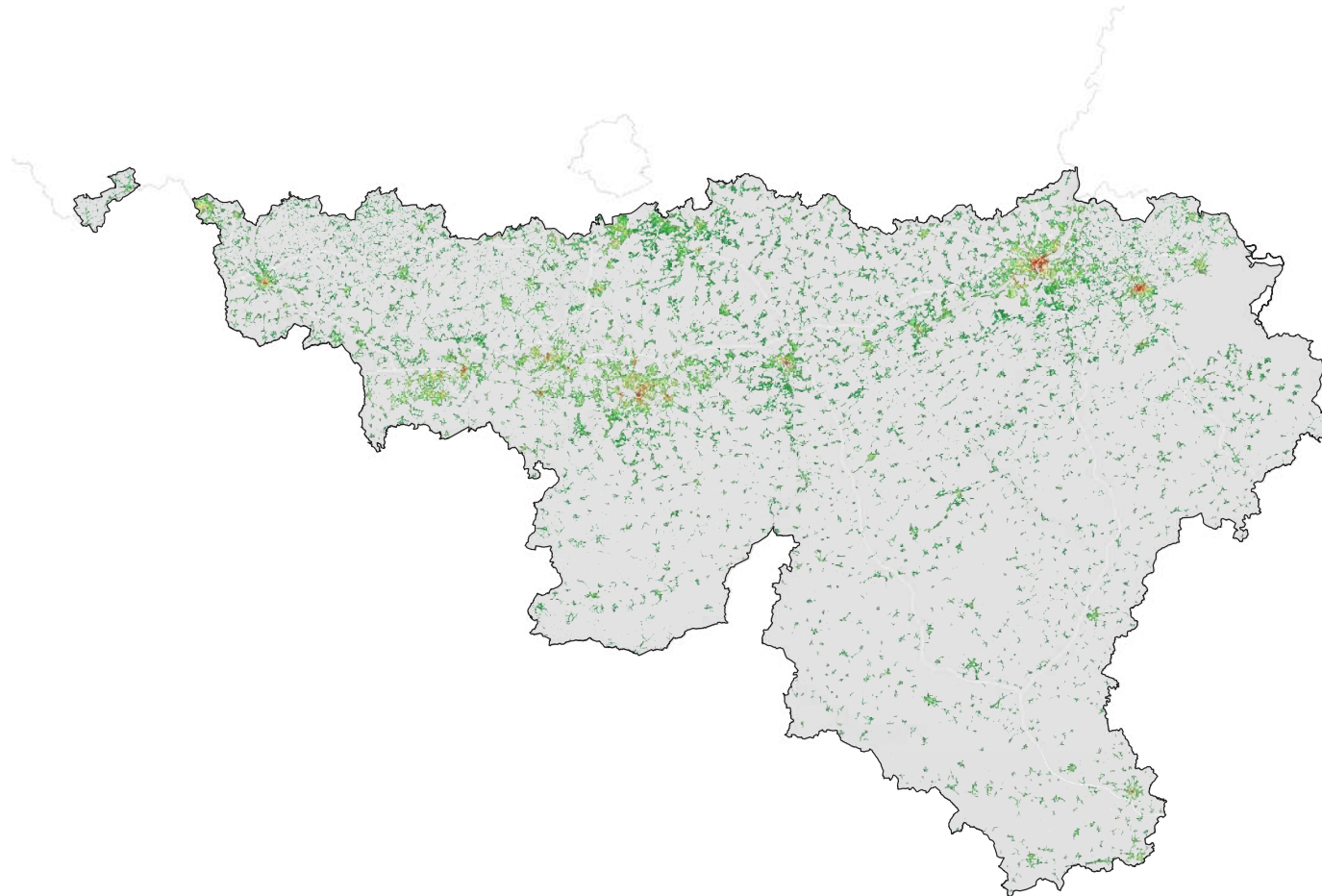
Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Énergie



## Densité de demande de chaleur couvrable par la technologie PACs géothermiques - Scénario favorable 2022 - Secteur résidentiel



0 25 50 km

### Légende

Densité de demande couvrable

(MWh/ha)

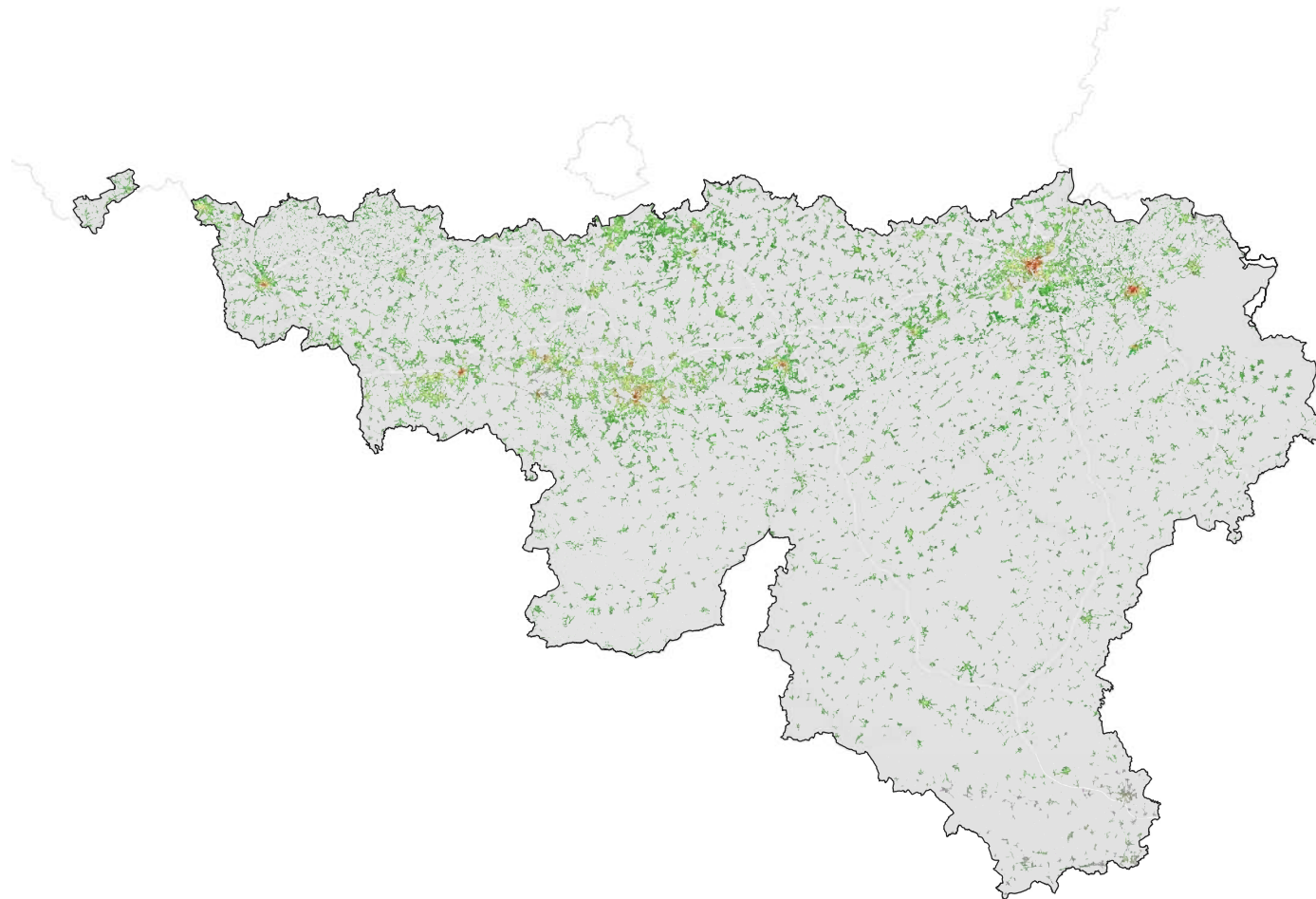
- <= 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200

Système de projection : EPSG 31370

Source de données  
Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 17/10/2022  
Éditeur responsable: SPW Énergie

## Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds Scénario favorable 2022 - Secteur résidentiel



0 25 50 km

### Légende

Potentiel net  
(MWh/ha)

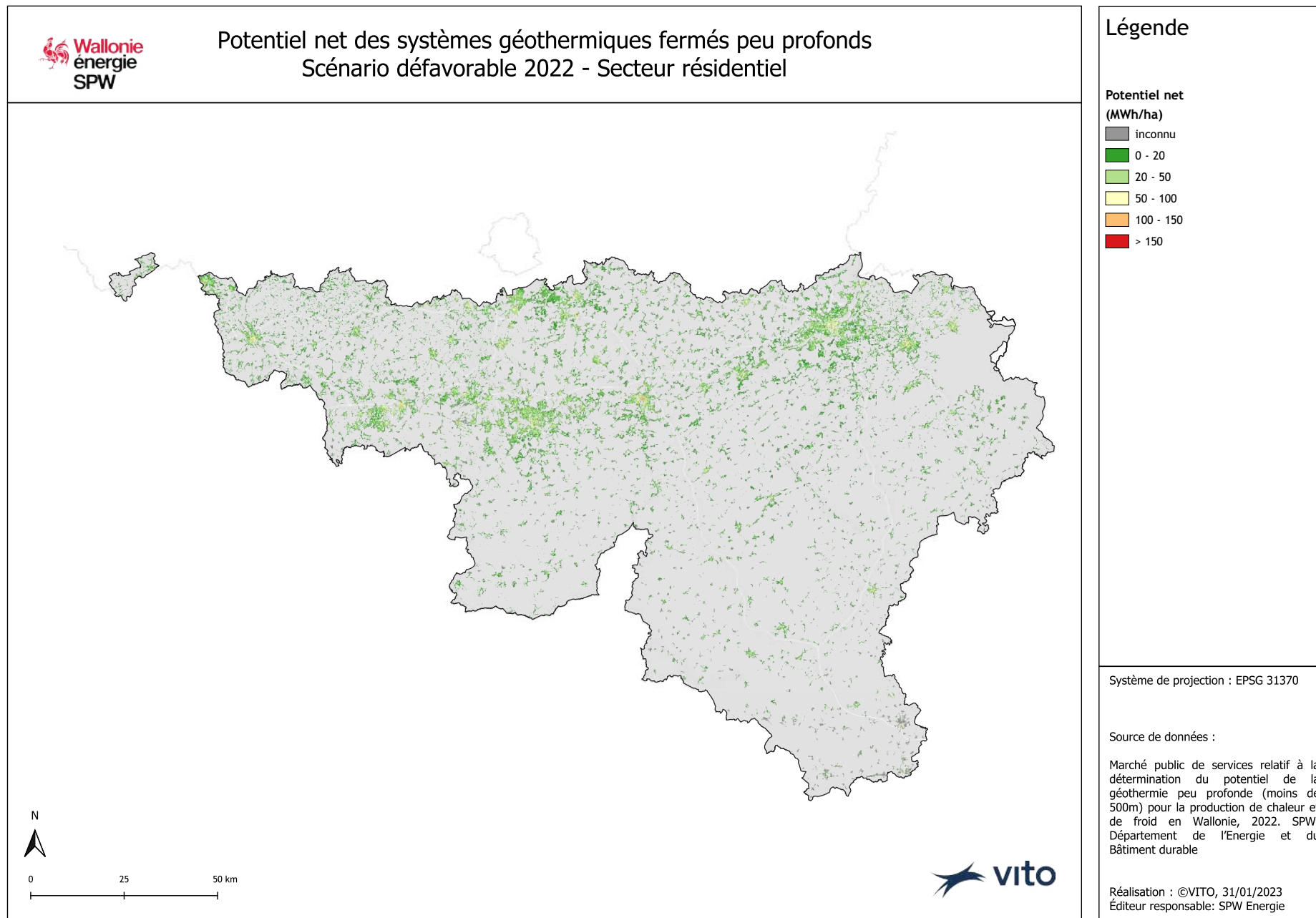
- inconnu
- 0 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200

Système de projection : EPSG 31370

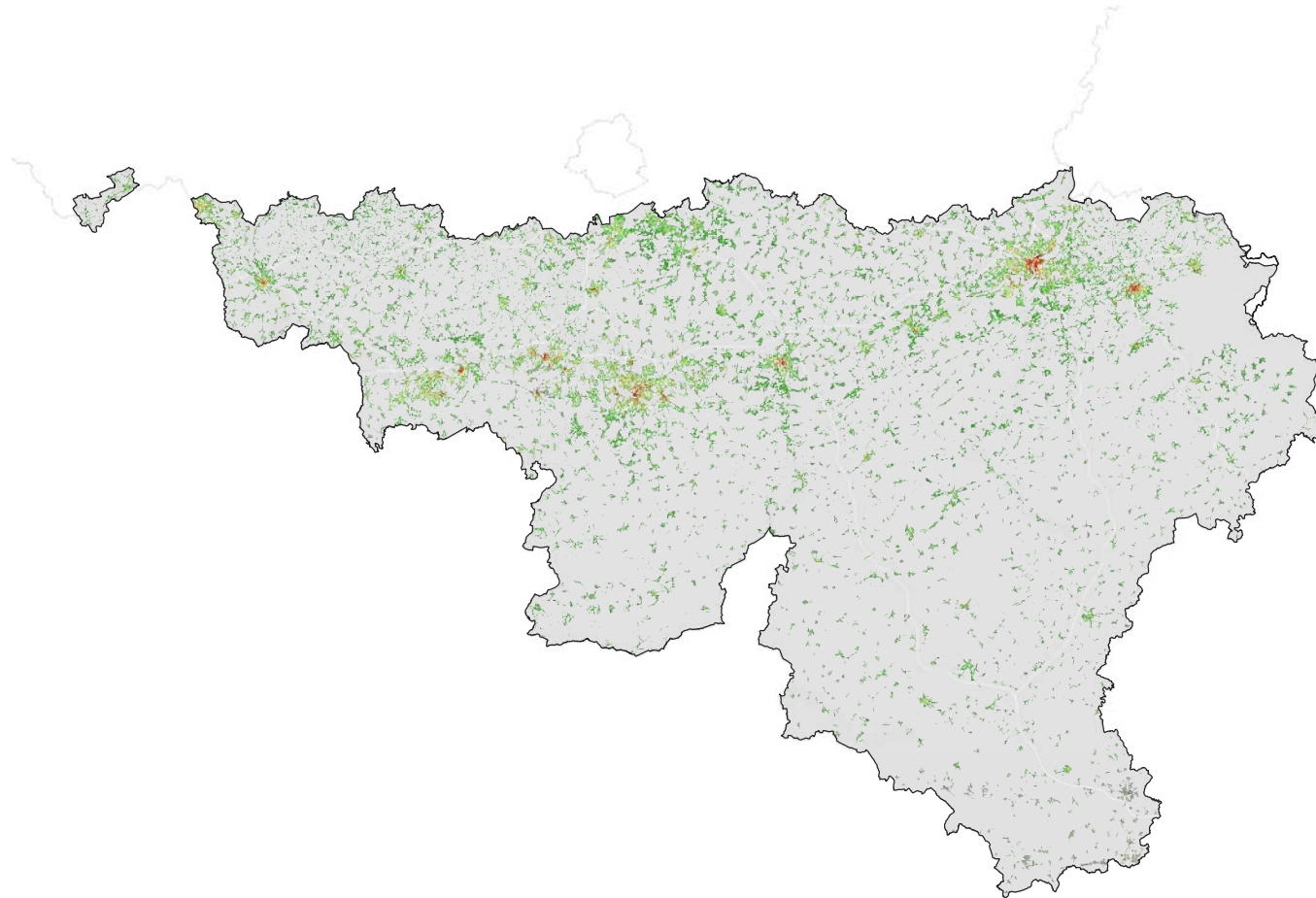
Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Energie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Energie



## Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds Scénario favorable 2030 - Secteur résidentiel



0 25 50 km

### Légende

#### Potentiel net (MWh/ha)

- inconnu
- 0 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200

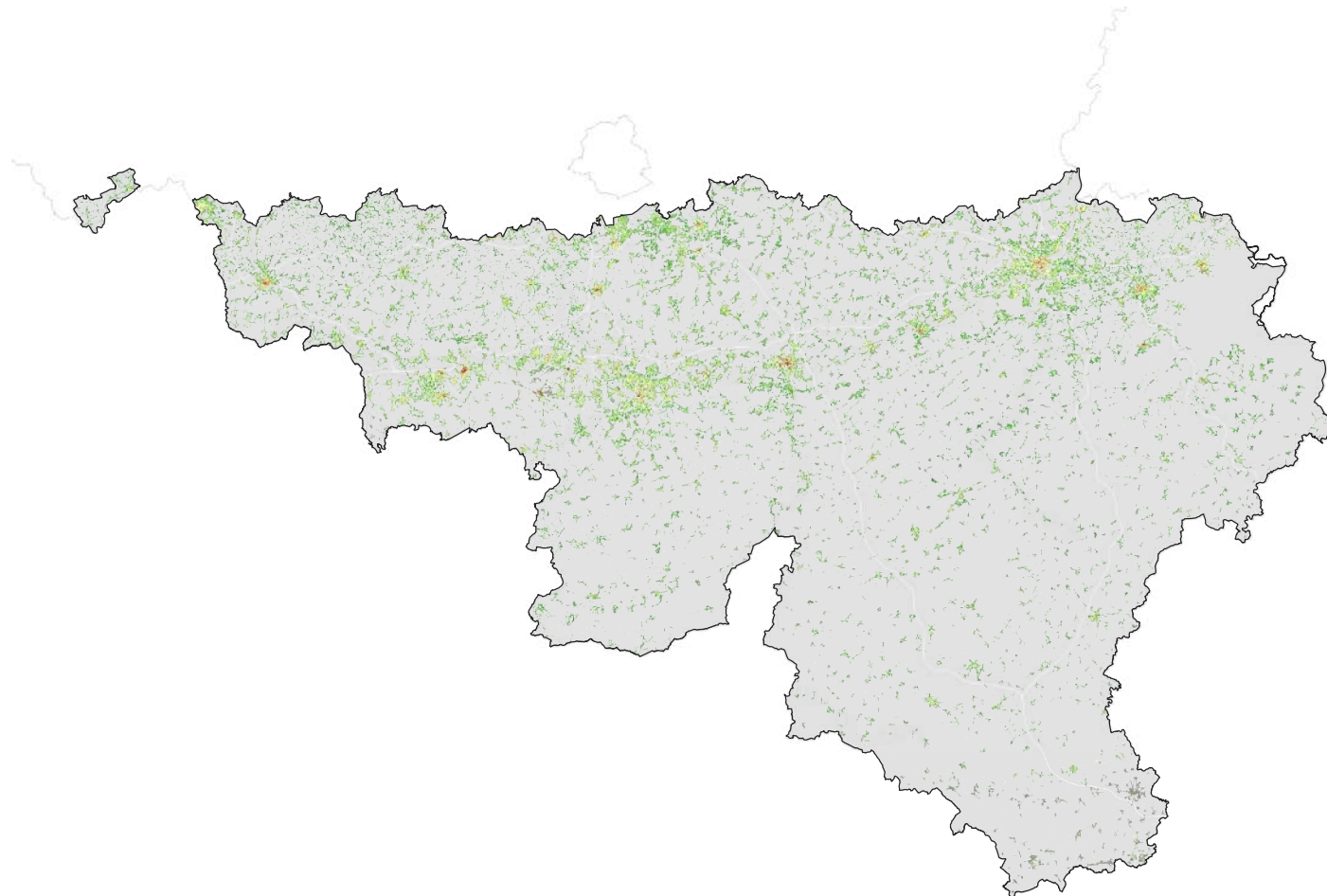
Système de projection : EPSG 31370

Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Énergie

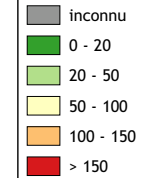
## Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds Scénario défavorable 2030 - Secteur résidentiel



0 25 50 km

### Légende

#### Potentiel net (MWh/ha)



Système de projection : EPSG 31370

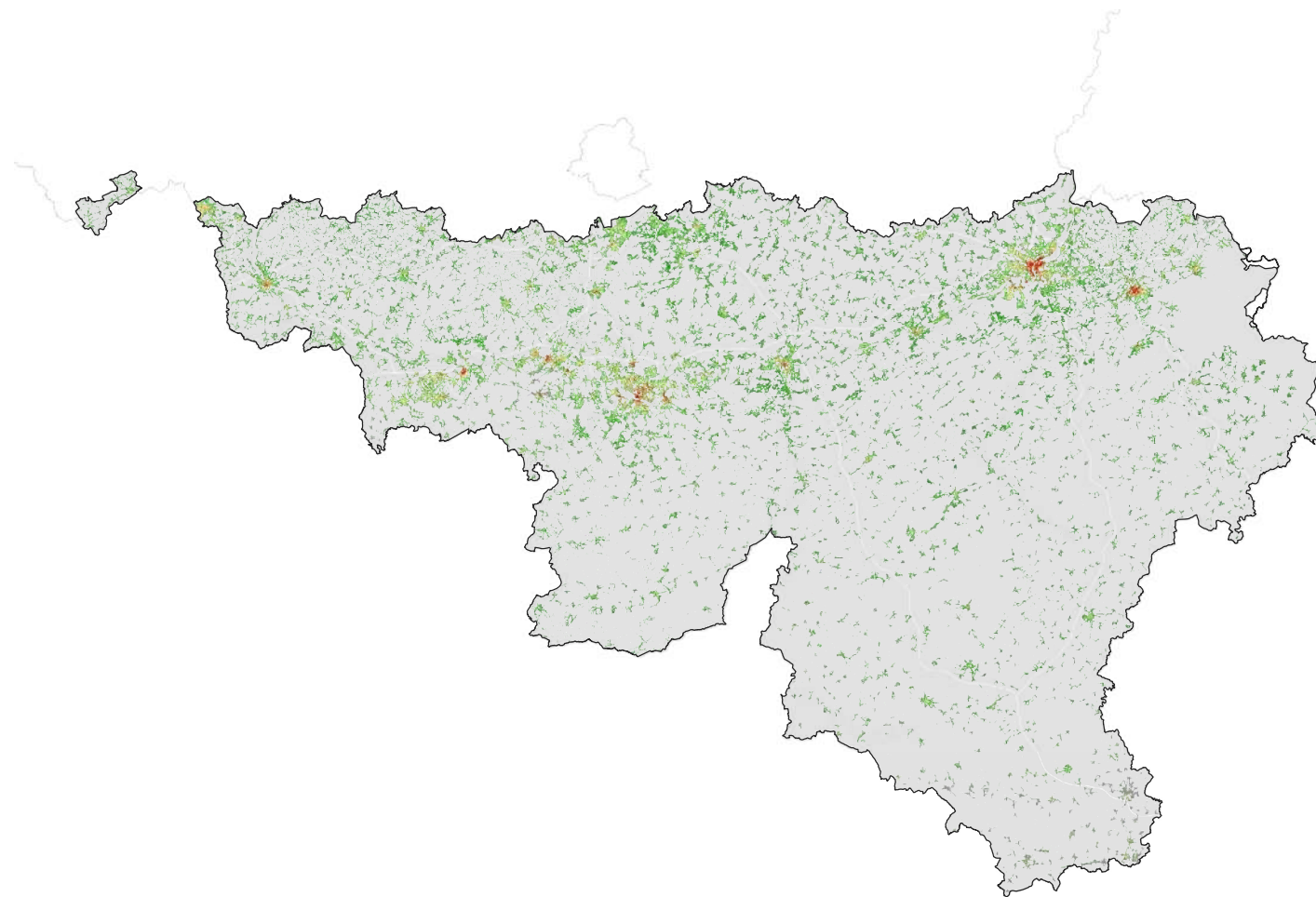
Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Énergie









## Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds Scénario favorable 2050 - Secteur résidentiel



### Légende

 ADMIN\_AGP\_RW

### Potentiel net (MWh/ha)

-  inconnu
-  0 - 50
-  50 - 100
-  100 - 150
-  150 - 200
-  > 200

Système de projection : EPSG 31370

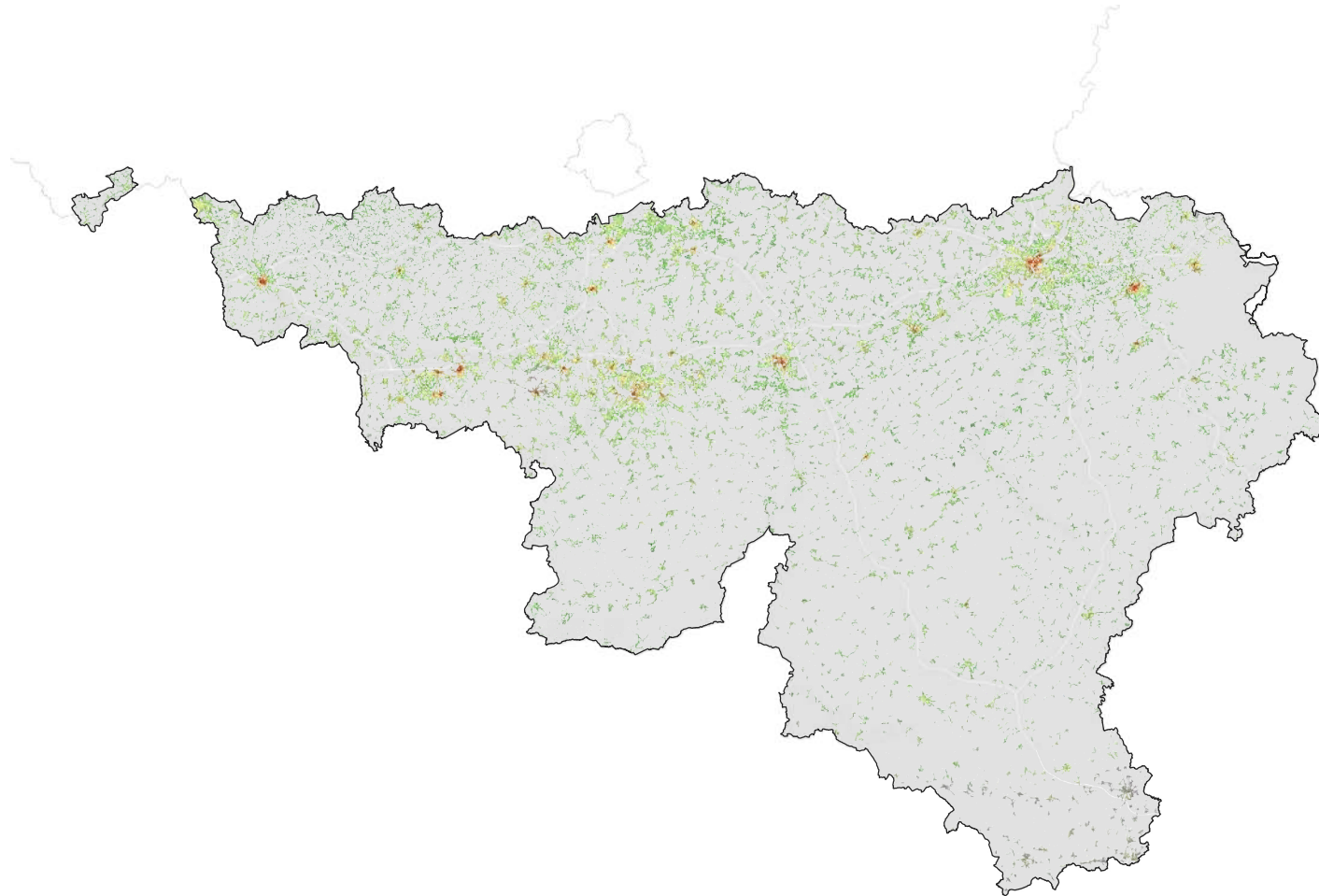
Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Énergie



## Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds Scénario défavorable 2050 - Secteur résidentiel



0 25 50 km

### Légende

Potentiel net (MWh/ha)

inconnu
0 - 20
20 - 50
50 - 100
100 - 150
> 150

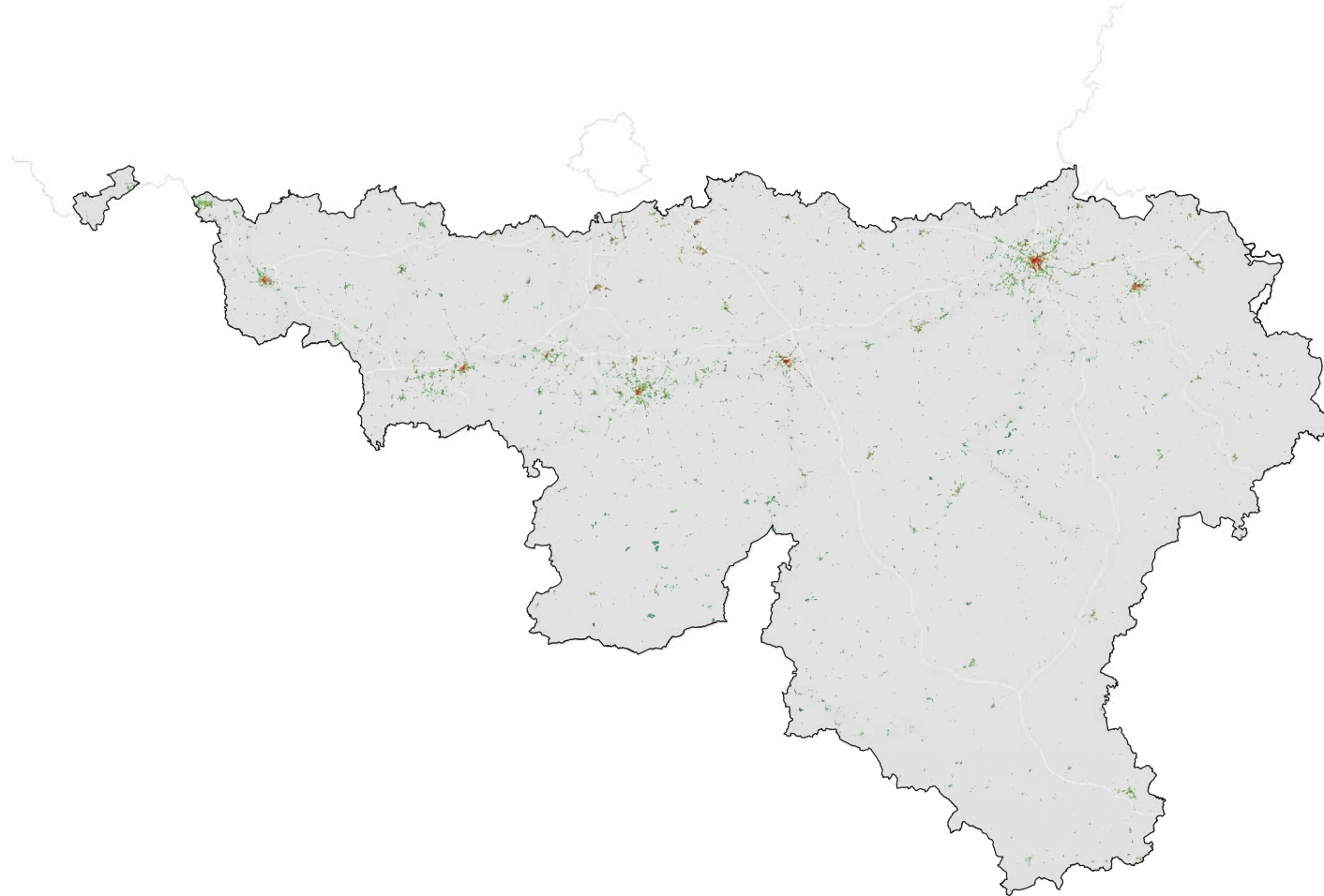
Système de projection : EPSG 31370

Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2022  
Éditeur responsable: SPW Énergie

## Densité de demande de chaleur couvrable par la technologie PACs géothermiques - Scénario favorable 2022 - Secteur tertiaire



0 25 50 km

### Légende

Densité de demande couvrable (MWh/ha)

- <= 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200

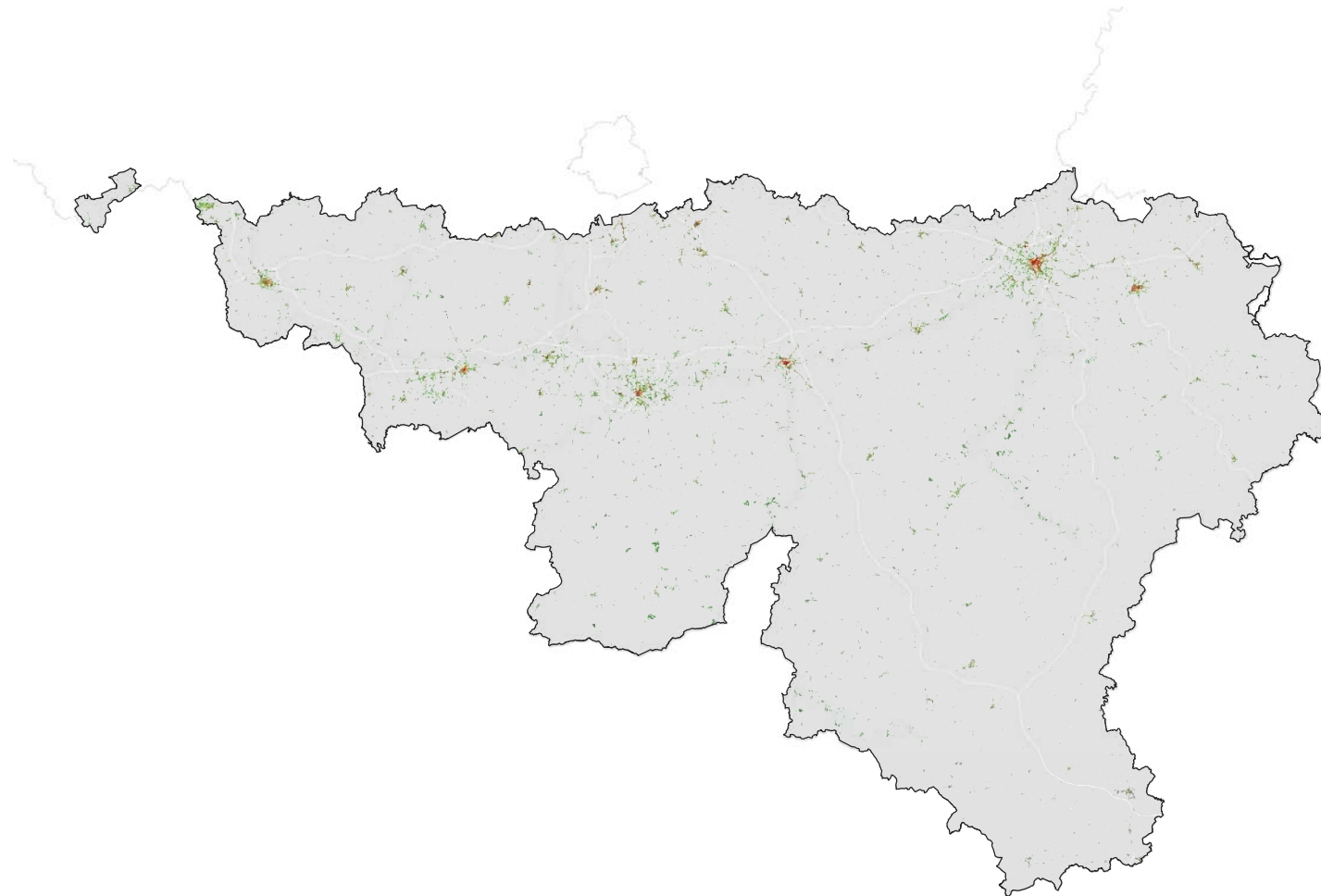
Système de projection : EPSG 31370

Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 17/10/2022  
Éditeur responsable: SPW Energie

## Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds Scénario favorable 2022 - Secteur tertiaire



0 25 50 km

### Légende

Potentiel net  
(MWh/ha)

- inconnu
- 0 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200

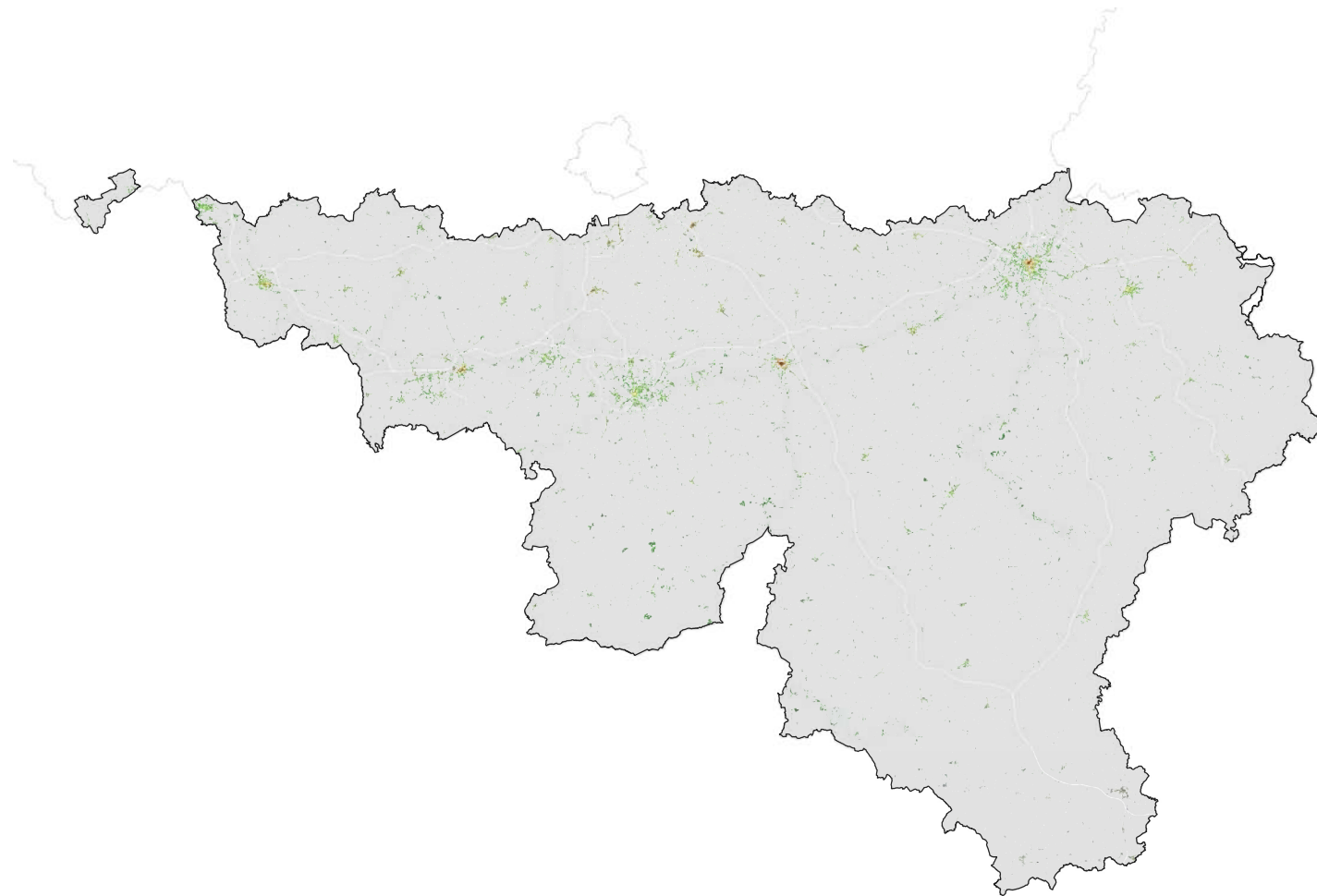
Système de projection : EPSG 31370

Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Énergie

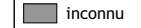
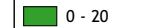
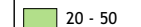


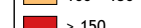
## Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds Scénario défavorable 2022 - Secteur tertiaire



0 25 50 km

### Légende

#### Potentiel net (MWh/ha)

-  inconnu
-  0 - 20
-  20 - 50
-  50 - 100
-  100 - 150
-  > 150

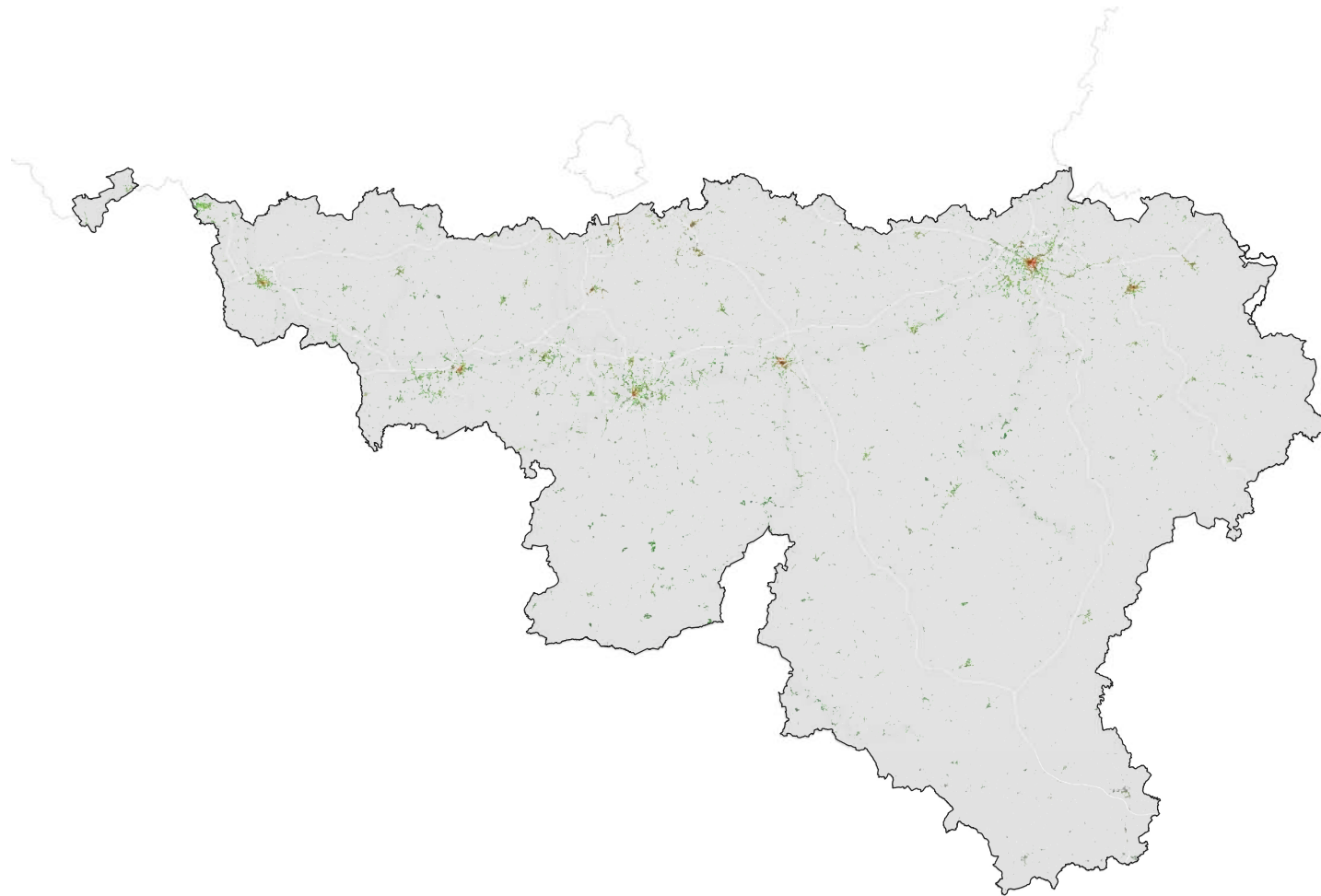
Système de projection : EPSG 31370

#### Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Énergie

## Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds Scénario favorable 2030 - Secteur tertiaire



0 25 50 km

### Légende

Potentiel net  
(MWh/ha)

- inconnu
- 0 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200

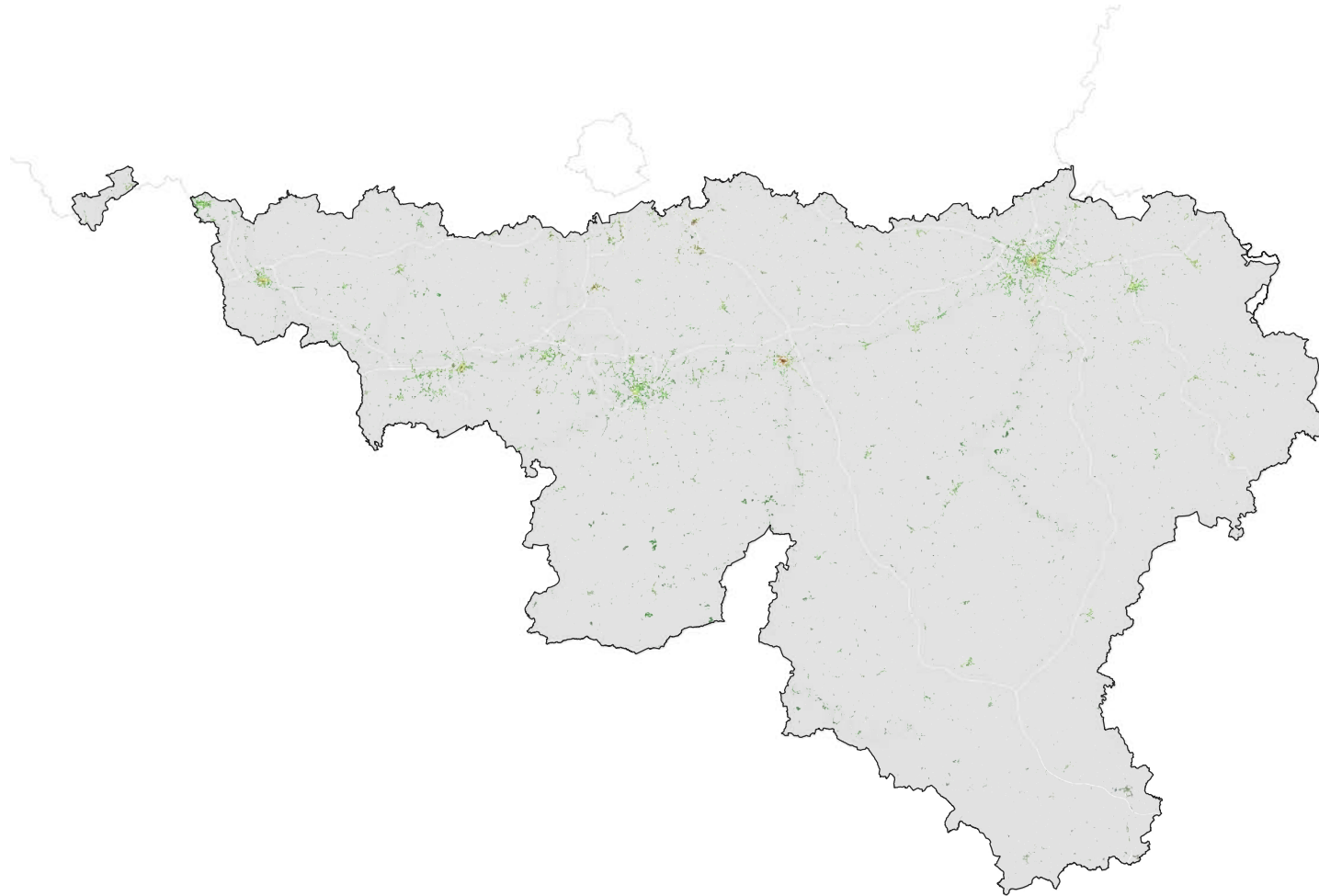
Système de projection : EPSG 31370

Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Énergie

## Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds Scénario défavorable 2030 - Secteur tertiaire



0 25 50 km

### Légende

Potentiel net  
(MWh/ha)

- inconnu
- 0 - 20
- 20 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- > 150

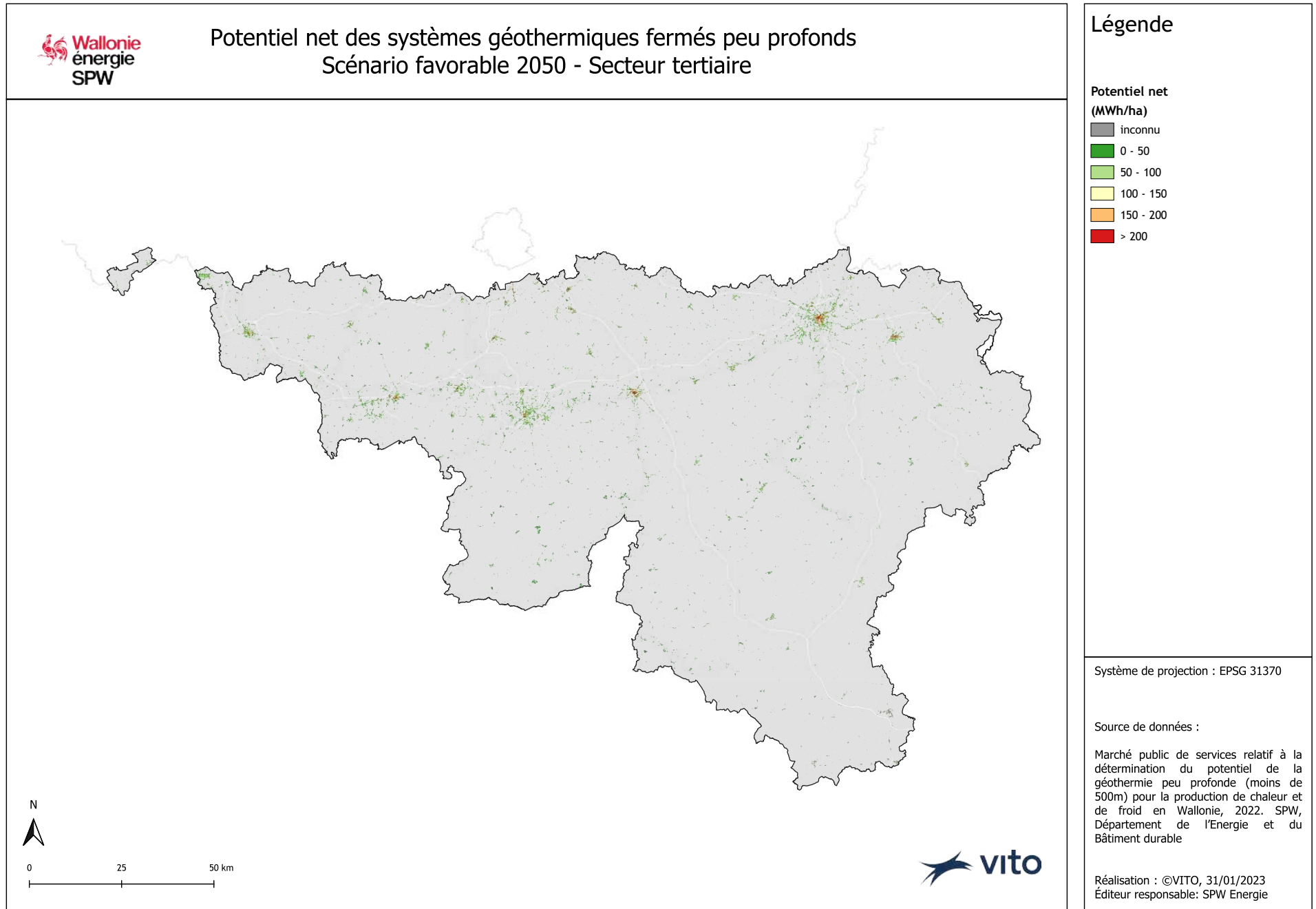
Système de projection : EPSG 31370

Source de données :

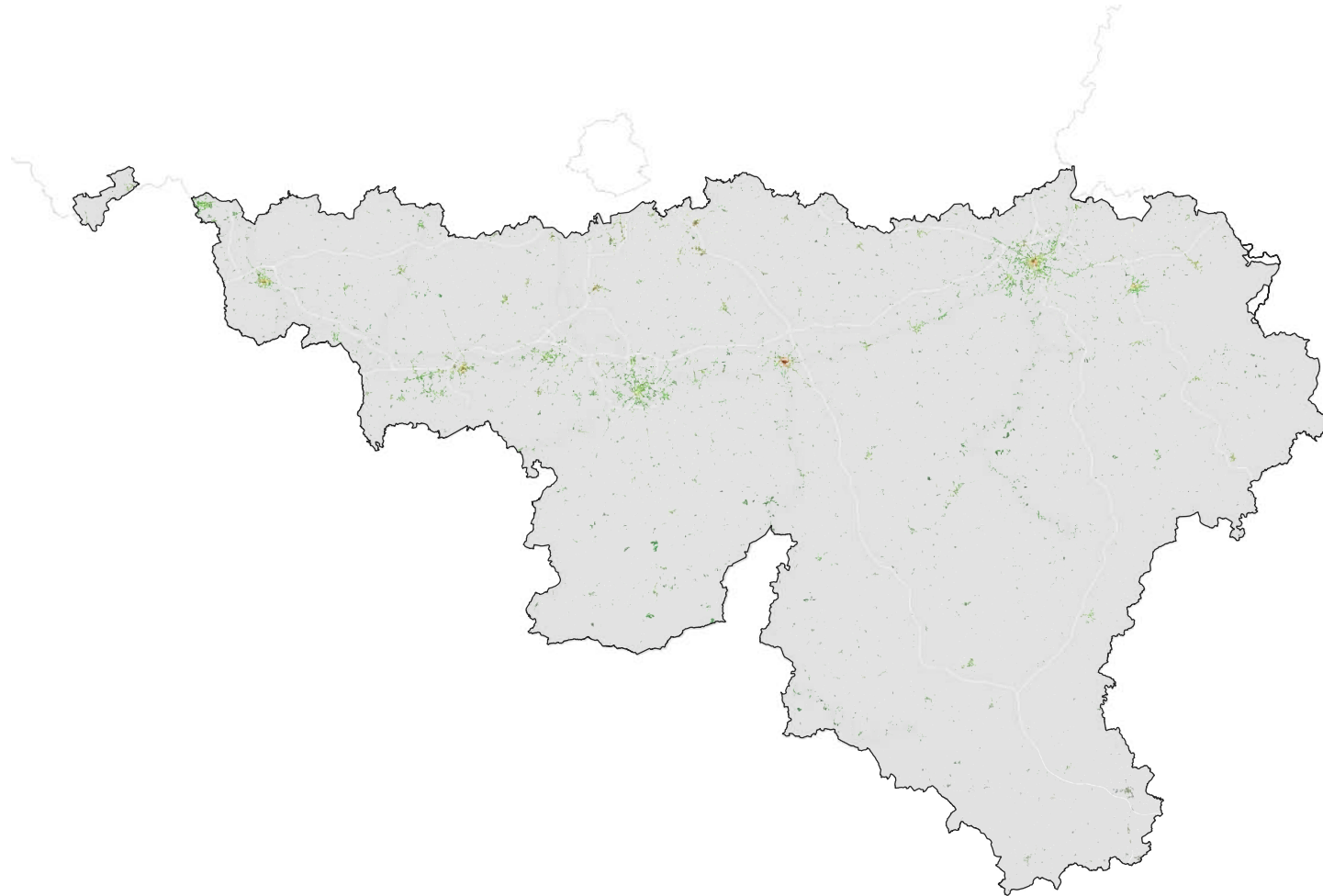
Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Énergie











## Potentiel net des systèmes géothermiques fermés peu profonds Scénario défavorable 2050 - Secteur tertiaire



0 25 50 km

### Légende

Potentiel net  
(MWh/ha)

-  inconnu
-  0 - 20
-  20 - 50
-  50 - 100
-  100 - 150
-  > 150

Système de projection : EPSG 31370

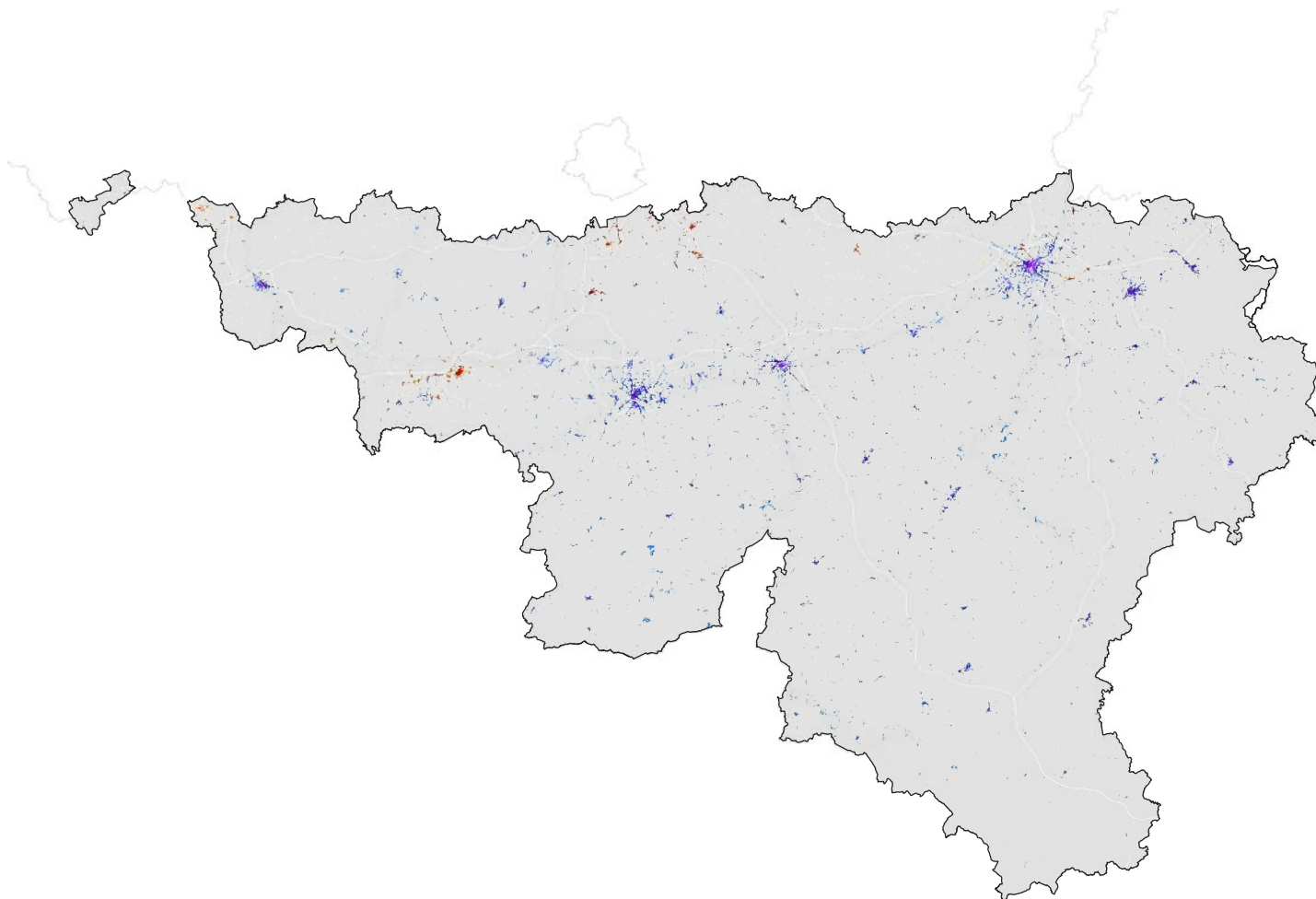
Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Énergie



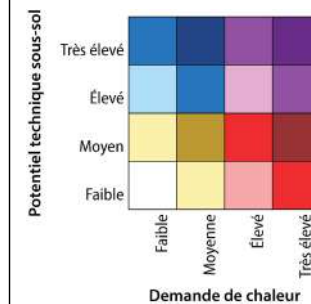
Carte croisée - Demande de chaleur versus Potentiel technique sous-sol  
des systèmes géothermiques fermés peu profonds  
Scénario favorable 2022 - Secteur tertiaire



0 25 50 km



### Légende



Système de projection : EPSG 31370

Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 17/10/2022  
Éditeur responsable: SPW Energie

## ANNEXE G : CARTES DES CRITÈRES POUR LES SYSTÈMES OUVERTS : PROFONDEUR D'ACCÈS À LA RESSOURCE, DÉBIT DE PRODUCTION POSSIBLE ET POTENTIEL GÉOTHERMIQUE

### G.1. CRITÈRES

La cartographie du potentiel géothermique des systèmes ouverts est réalisée à partir de la cartographie des critères suivants :

- Débit de production possible :
- Profondeur de la nappe aquifère

Le débit de production possible est estimé sur base de la carte OneGeology après l'attribution d'une lithologie 'SERAN' en tous points du territoire. Ensuite, pour chaque lithologie 'SERAN', le calcul des débits de production possibles peut être réalisé en utilisant des statistiques sur les conductivités hydrauliques (données disponibles via la Convention SERAN), la formule de Dupuit et des hypothèses sur la hauteur saturée et le rabattement supposé/admissible.

$$Q = 1.366 * K * \frac{\Delta(2H - \Delta)}{\log \frac{R}{r}}$$

Où :

- K= la conductivité hydraulique
- Δ= le rabattement supposé/admissible [m]
- H = la hauteur saturée [m]
- R= le rayon d'influence [m]
- r= le rayon du puits [m]

Le Tableau 30 donne le résultat de ce calcul pour les différentes lithologies rencontrées en Wallonie.

Il est important de noter que les débits de production possibles proposés sont des indications de débits possibles. Avant d'implanter un système géothermique ouvert sur un site une étude locale reste nécessaire. En effet, lors de l'étude SERAN, une forte dispersion des valeurs de conductivité hydraulique a été observée traduisant l'importance de l'hétérogénéité du sous-sol Wallon. Chaque site est donc spécifique et les valeurs de débit de production possible doivent donc être définies site par site.

**Tableau 30: Débits de production possibles estimés en fonction du type de lithologie.**

Lithologie	P25_K (m/s)	H (m)	Δ (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)
Gravier	1,2 × 10 <sup>-3</sup>	10	1	36,8
Sable	7,8 × 10 <sup>-5</sup>	20	2,5	12,0
Craie	9,5 × 10 <sup>-6</sup>	50	5	7,4
Calcaire	1,1 × 10 <sup>-5</sup>	100	5	17,3
Grès	7,2 × 10 <sup>-6</sup>	100	5	11,5
Schisto-gréseux	1,4 × 10 <sup>-6</sup>	100	5	2,2
Argile	1,0 × 10 <sup>-7</sup>	50	5	0,1

La carte OneGeology présentant les différentes lithologies à l'affleurement, certaines modifications ont été nécessaires pour permettre de prendre en compte la présence de lithologies en profondeur pertinentes

pour l'implantation de systèmes ouverts. Ces modifications incluent :

- La création d'un polygone couvrant la trajectoire de la Sambre et de la Meuse, et pour lequel la lithologie "graviers" a été attribuée
- L'attribution de la lithologie de type "alluvions" pour le reste du Quaternaire apparaissant sur la carte OneGeology
- La prise en compte à l'ouest de calcaires du Carbonifère inférieur et de craies qui sont sous couverture mais constituent l'aquifère le plus productif de la zone

La prise en compte de l'aquifère du Sinémurien dans sa partie captive vu qu'il constitue l'aquifère le plus productif de la zone

Cette carte a été transformé au format raster, et classifiée en utilisant les valeurs de débit de production (Q).

La carte piézométrique a quant à elle été modifiée pour tenir compte du fait que dans certaines zones, le deuxième aquifère est plus productif que le premier aquifère rencontré :

- Quand le tertiaire (T) et le quaternaire (Q) ont une épaisseur comprise entre 0 et 50 m et que la lithologie correspond à de l'argile, la profondeur de la nappe aquifère a été fixée à 25 m.
- Quand T et Q ont une épaisseur supérieure à 50 m et la lithologie correspond à de l'argile, la profondeur de la nappe aquifère a été fixée à 50 m.

La carte des profondeurs de nappe aquifère obtenue ensuite été divisée en 5 classes :

Note attribuée la classe	Profondeur de nappe (m)
0	85-200
1	75-85
2	60-75
3	40-60
4	20-40
5	0-20

## G.2. POTENTIEL DES SYSTÈMES OUVERTS

### G.2.1 CLASSES DE POTENTIEL

Le potentiel est déterminé qualitativement à partir du croisement pondéré de :

- La carte des débits de production possibles
- La carte de profondeur de la nappe

Les deux critères de débit de production possible et de profondeur de la nappe aquifère ont été normalisés entre 0 et 1. La valeur de 1 correspond au débit de production le plus important et à la profondeur de nappe aquifère la plus faible respectivement pour les critères de débit de production possible et de profondeur de la nappe aquifère.

Ces deux critères sont ensuite combinés en les additionnant et en les pondérant. Un poids de 90% et de 10 % sont respectivement attribués aux critères de débit de production possible et de profondeur de la nappe aquifère. Ceci traduit la prépondérance de la lithologie et du débit de production possible pour définir les potentialités de la géothermie par systèmes ouverts.

$$\text{Note}_{\text{combinée}} = (0.9 * \text{critère}_{\text{débit}} + 0.1 * \text{critère}_{\text{prof}}) / (0.9 * \text{max\_critère}_{\text{débit}} + 0.1 * \text{max\_critère}_{\text{prof}})$$

Le potentiel de géothermie pour les systèmes ouverts est alors défini en 5 classes :

- Potentiel - -
- Potentiel -
- Potentiel +
- Potentiel ++
- Potentiel +++

Les classes de potentiel sont définies comme présenté dans le Tableau 31.

**Tableau 31: Classe de potentiel en fonction de la note obtenue après croisement des critères retenus pour les systèmes ouverts. Un poids de 90% et de 10 % sont respectivement attribués aux critères de débit de production possible et de profondeur de la nappe/aquifère.**

Classe de potentiel	Note combinée
Potentiel - -	<0.3
Potentiel -	0.3 - 0.4
Potentiel +	0.4 - 0.6
Potentiel ++	0.6 - 0.8
Potentiel +++	> 0.8

### G.2.2 POTENTIEL TECHNIQUE SOUS-SOL

Le potentiel technique sous-sol est déterminé quantitativement et exprimé en MWh/ha sur base :

1. Des débits de production,
2. D'hypothèses formulées concernant la distance entre les puits du doublet, le nombre d'heures annuel d'utilisation des systèmes et le delta de température entre la température du fluide produite et celle du fluide réinjecté.

Il est calculé comme suit :

$$Potentiel_{technique-syst-ouverts} = \frac{Q * H * rho * dT * Cp}{S}$$

où :

- Q = le débit de production [m<sup>3</sup>/h]
- rho = la densité volumique de l'eau [kg/m<sup>3</sup>]
- Cp = la capacité calorifique de l'eau [J/kg/K]
- dT = le delta de température [°C]
- S = la surface nécessaire pour un doublet [m<sup>2</sup>]
- H = le nombre d'heures d'utilisation par an [h]

Le potentiel technique sous-sol est calculé en fixant le nombre d'heures d'utilisation à 2000h/an, le delta de température à 6°C et la surface nécessaire pour un doublet à 20.000 m<sup>2</sup> pour les lithologies homogènes (par exemple les sables) et à 40.000 m<sup>2</sup> pour les lithologies hétérogènes (milieux rocheux fissurés). Ces critères peuvent être modifiés lors de la création des cartes, ils sont traités comme des variables d'entrée dans le DEA. De plus, le fluide est supposé être de l'eau pure, on fait alors l'hypothèse que rho est égale à 1000 kg/m<sup>3</sup> et Cp est égale à 4200 J/kg/K.



### G.2.3 POTENTIEL NET

Les cartes de potentiel net sont obtenues en croisant les cartes de densité de demande énergétique couvrable par PACs géothermiques (en tenant compte de contraintes de surface) en MWh/ha avec la carte de potentiel technique sous-sol considérant les gammes de potentiel définies pour les systèmes ouverts en MWh/ha.

En chaque maille de 100m \* 100m, le potentiel net correspond à :

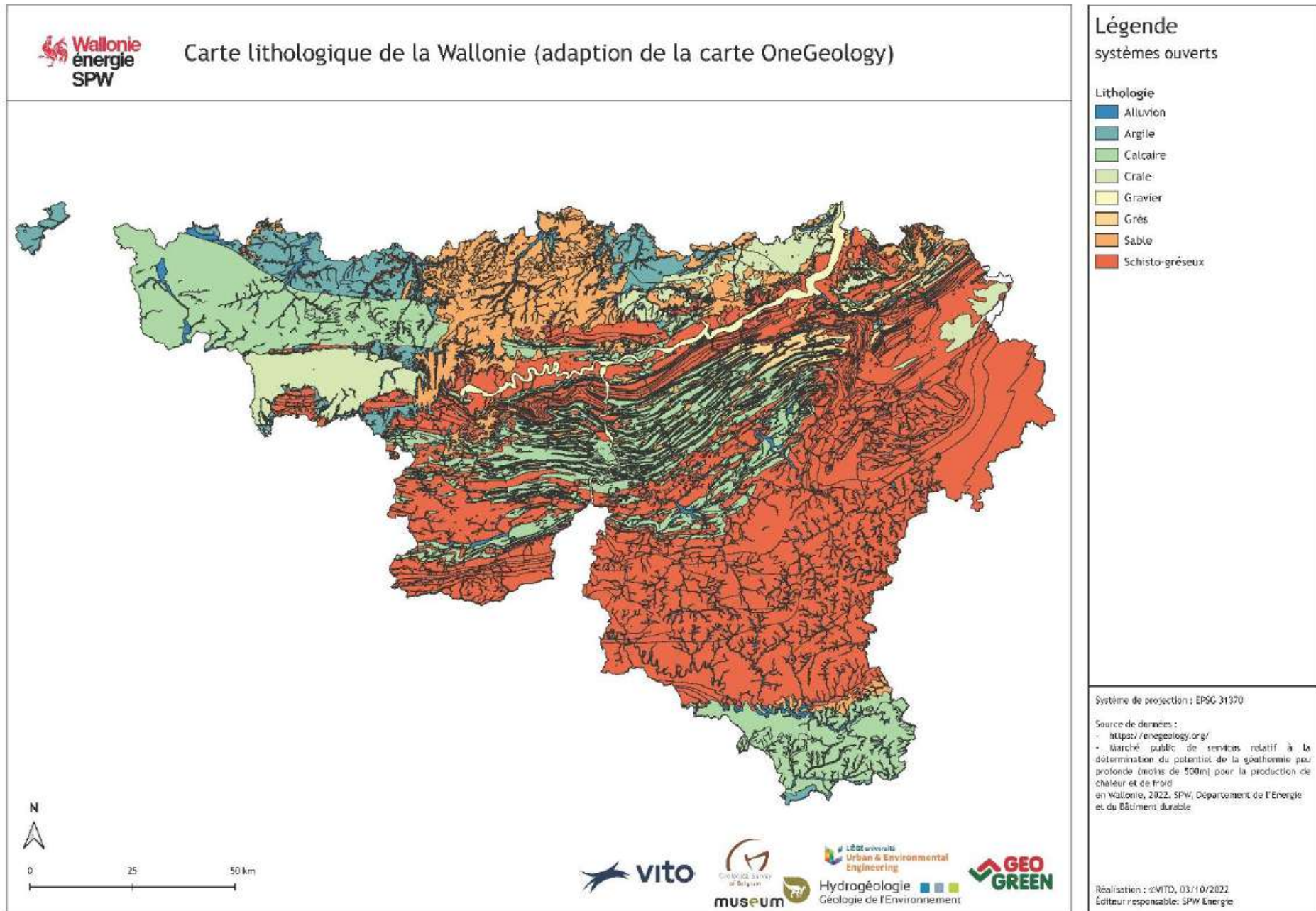
- $Potentiel_{net} = Potentiel_{technique-sous-sol-moyen}$ , si demande couvrable > potentiel technique sous-sol moyen
- $Potentiel_{net} = Demande\ couvrable$ , si demande couvrable < potentiel technique sous-sol moyen

Cet exercice a été réalisé en croisant le potentiel technique sous-sol avec :

- La demande de chaleur couvrable du secteur tertiaire - scénario favorable 2022.
- La demande de chaleur couvrable du secteur tertiaire - scénario défavorable 2022
- La demande de chaleur couvrable du secteur tertiaire - scénario favorable 2030
- La demande de chaleur couvrable du secteur tertiaire - scénario défavorable 2030
- La demande de chaleur couvrable du secteur tertiaire - scénario favorable 2050
- La demande de chaleur couvrable du secteur tertiaire - scénario défavorable 2050

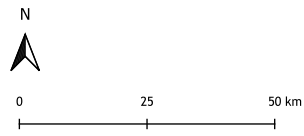
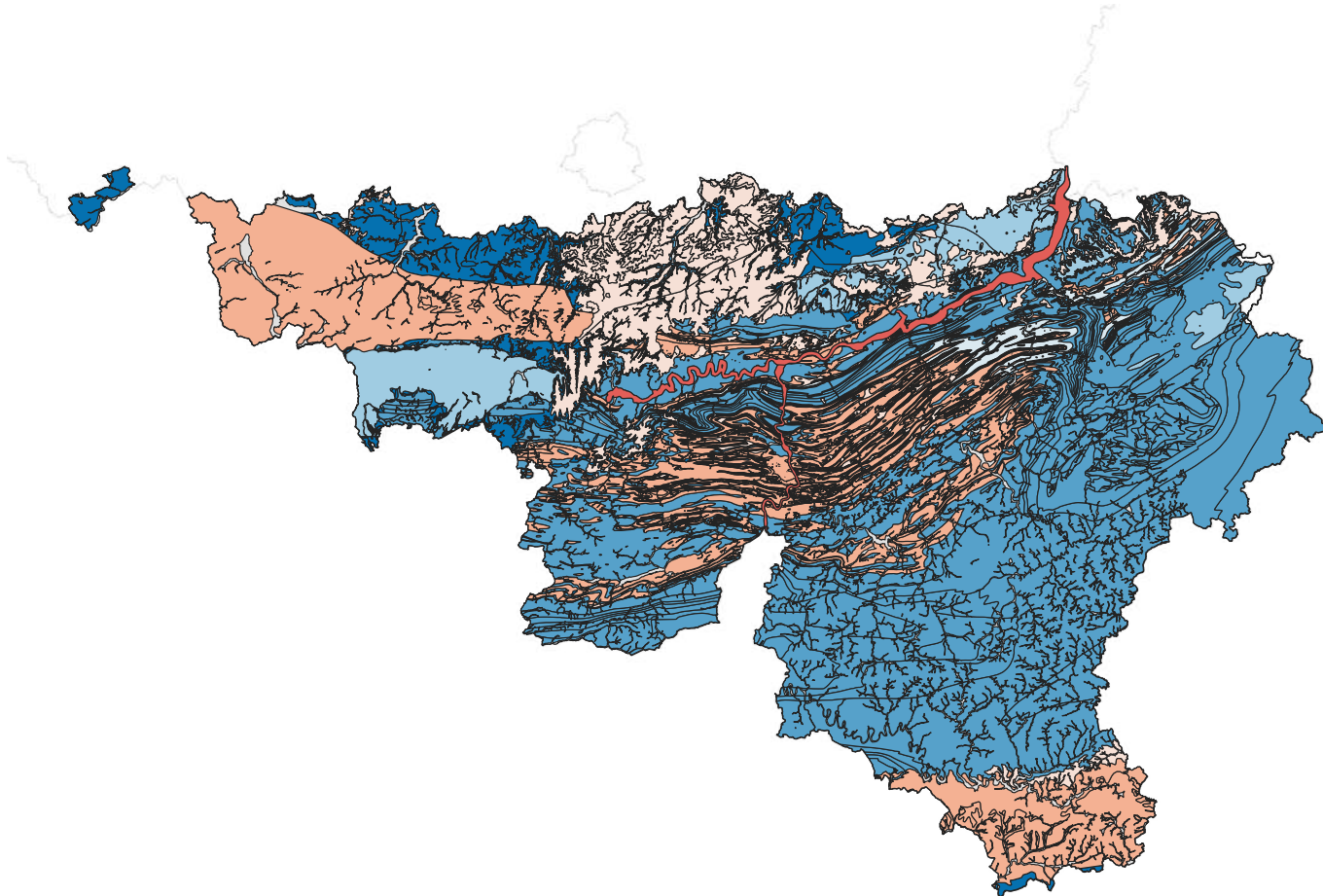
### G.3. CARTES

Cartes
Carte lithologique de la Wallonie adaptée de la carte de One Geology pour les systèmes géothermiques ouverts
Débit de production potentiel des systèmes géothermiques ouverts peu profonds
Epaisseur de la zone non saturée/ profondeur de l'aquifère (adaptation du projet APSU-GIS)
Classification du potentiel des systèmes géothermiques ouverts peu profonds en Wallonie
Potentiel technique sous-sol des systèmes géothermiques ouverts peu profonds en MWh/ha
Potentiel net des systèmes géothermiques ouverts peu profonds pour le secteur tertiaire scénario favorable 2022
Potentiel net des systèmes géothermiques ouverts peu profonds pour le secteur tertiaire scénario défavorable 2022
Potentiel net des systèmes géothermiques ouverts peu profonds pour le secteur tertiaire scénario favorable 2030
Potentiel net des systèmes géothermiques ouverts peu profonds pour le secteur tertiaire scénario défavorable 2030
Potentiel net des systèmes géothermiques ouverts peu profonds pour le secteur tertiaire scénario favorable 2050
Potentiel net des systèmes géothermiques ouverts peu profonds pour le secteur tertiaire scénario défavorable 2050





## Débit de production potentiel des systèmes géothermiques ouverts peu profonds



### Légende

Systèmes ouverts

Débit (m<sup>3</sup>/h)

- 0.078
- 2.24
- 7.40
- 11.51
- 11.99
- 17.26
- 36.75

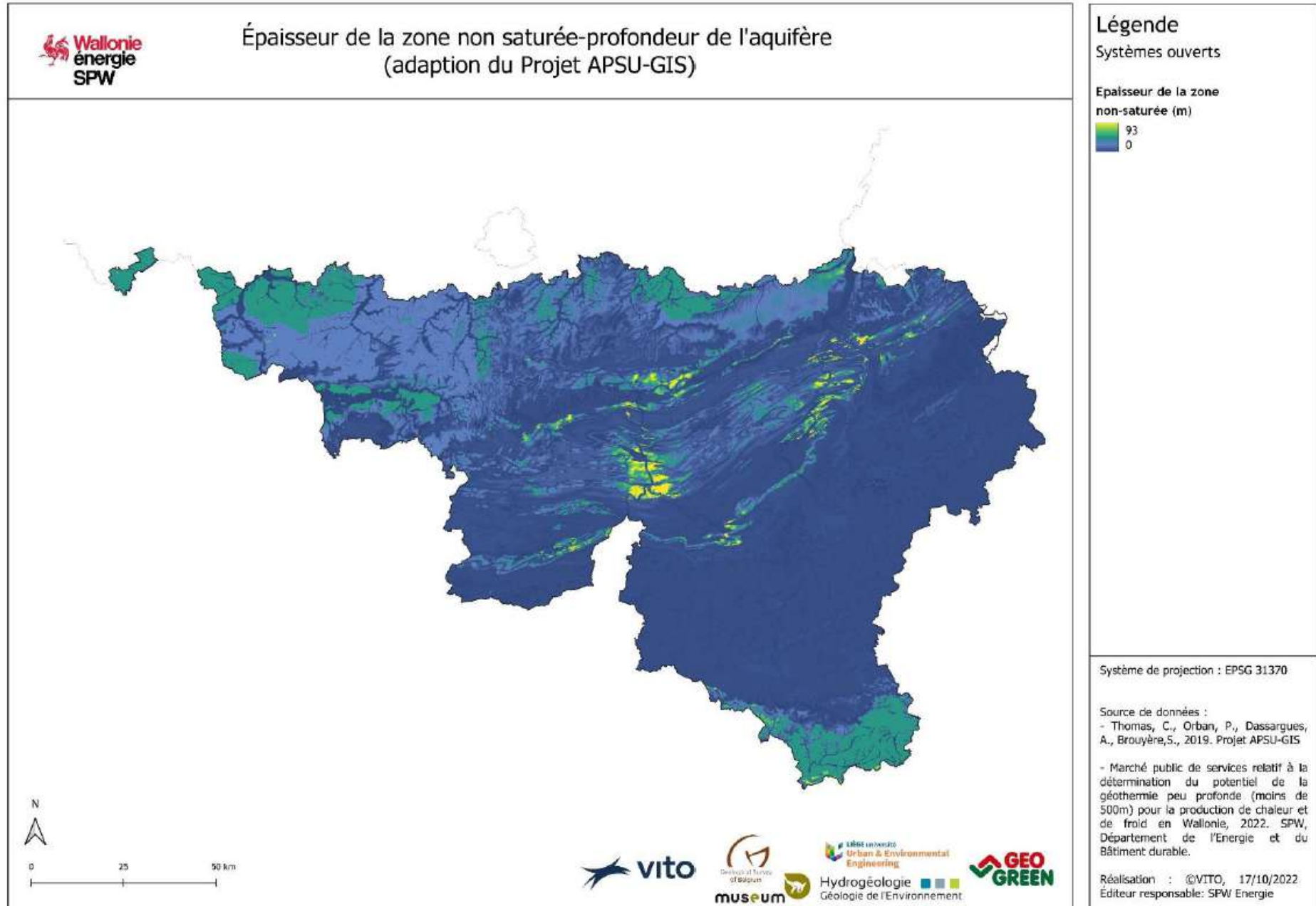
Système de projection : EPSG 31370

Source de données :  
 Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
 Éditeur responsable: SPW Énergie

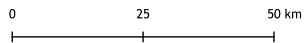
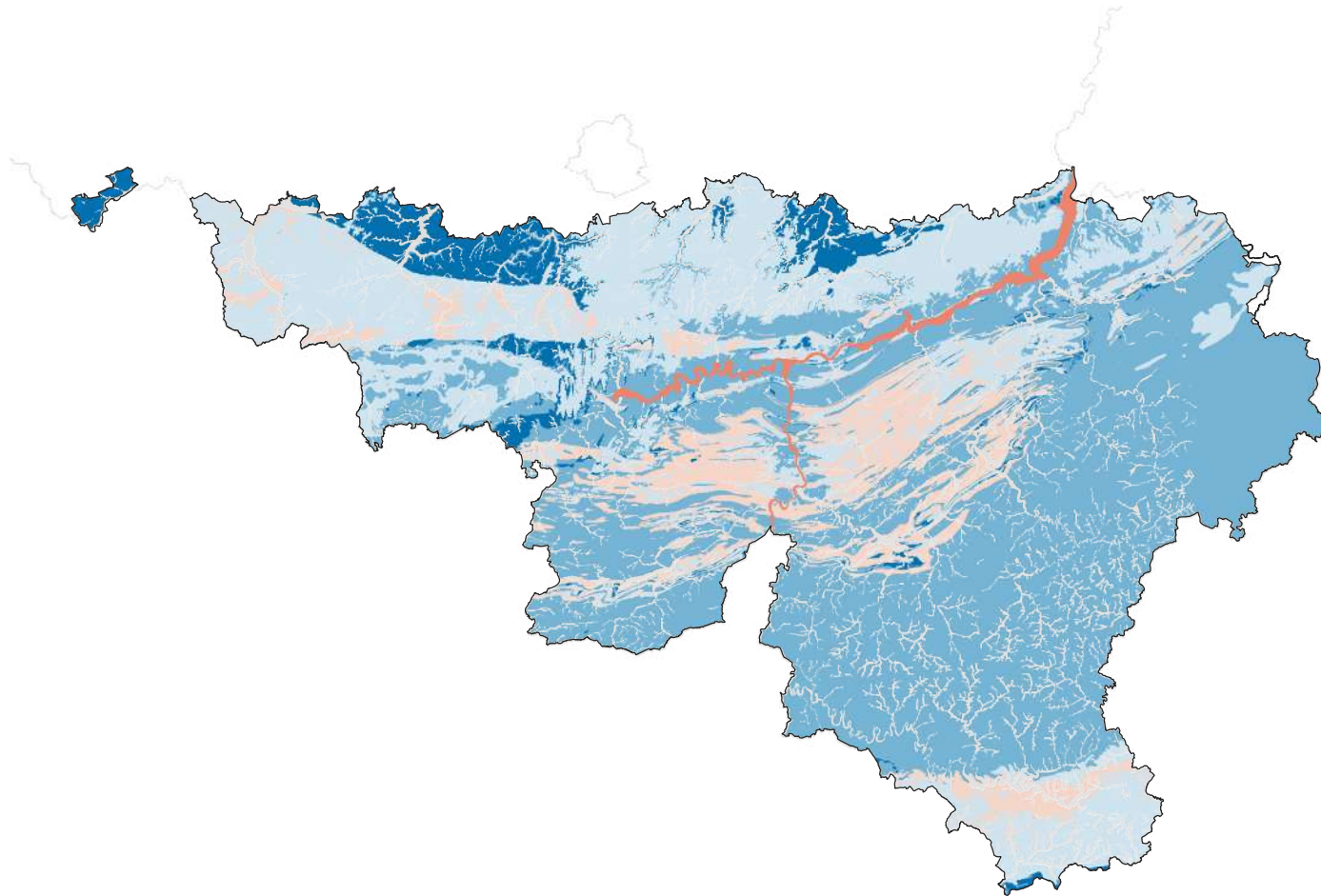








## Classification du potentiel des systèmes géothermiques ouverts peu profonds



### Légende

Systèmes ouverts

#### Classe de potentiel

- Potentiel --
- Potentiel -
- Potentiel +
- Potentiel ++
- Potentiel +++

Système de projection : EPSG 31370

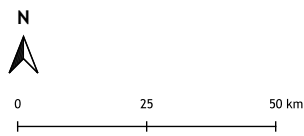
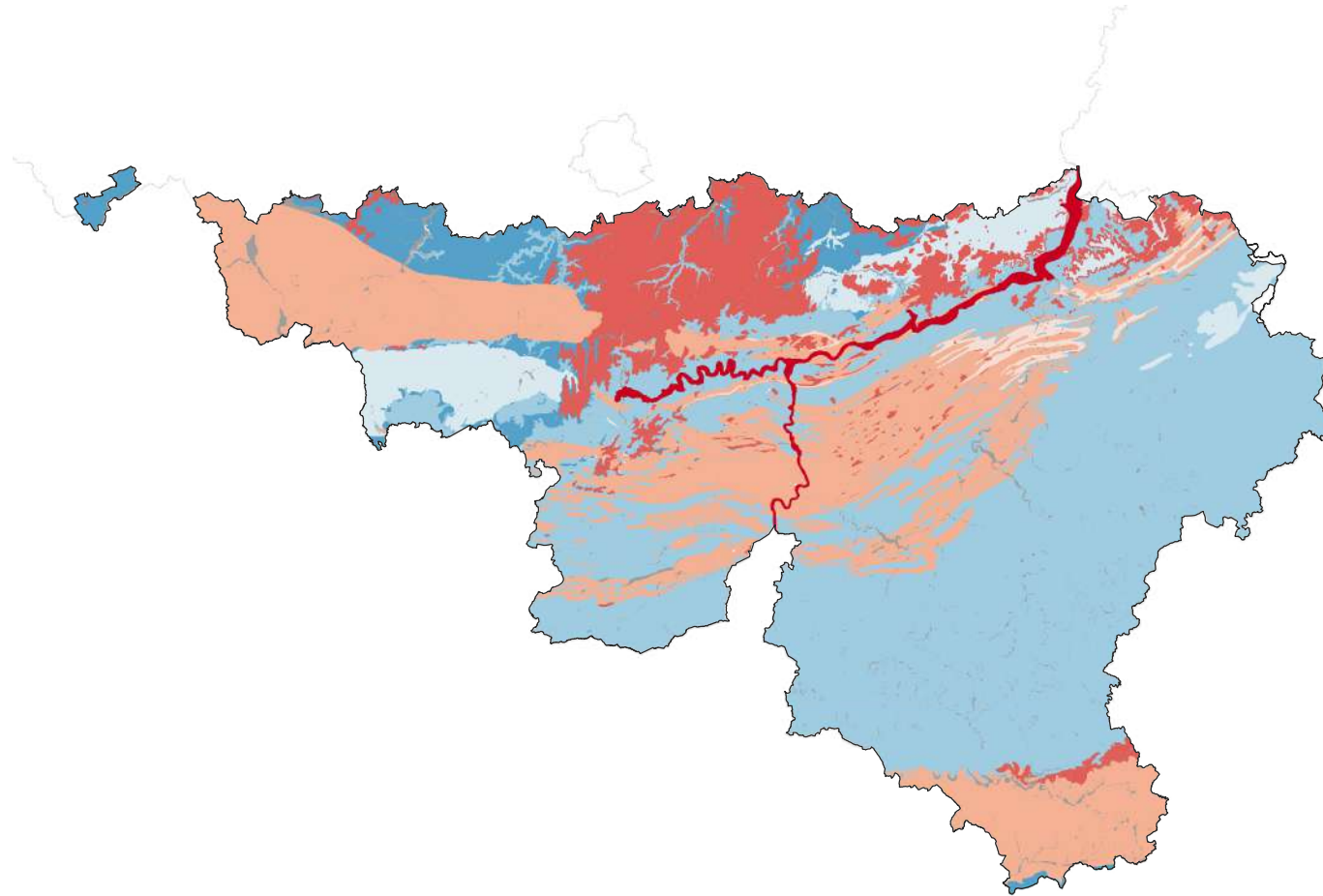
Source de données :  
 Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Energie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
 Éditeur responsable: SPW Energie





## Potentiel technique des systèmes géothermiques ouverts peu profonds



### Légende

systèmes ouverts

potentiel (MWh/ha)

- inconnu
- 0.26
- 6.50
- 25.04
- 38.96
- 58.44
- 81.17
- 248.86

Système de projection : EPSG 31370

Hypothèses: heures d'opération/ans: 2000; dT:6°C;  
 surface: 20 000m<sup>2</sup> (lithologies homogènes)  
 ou 40 000m<sup>2</sup> (lithologies hétérogènes)

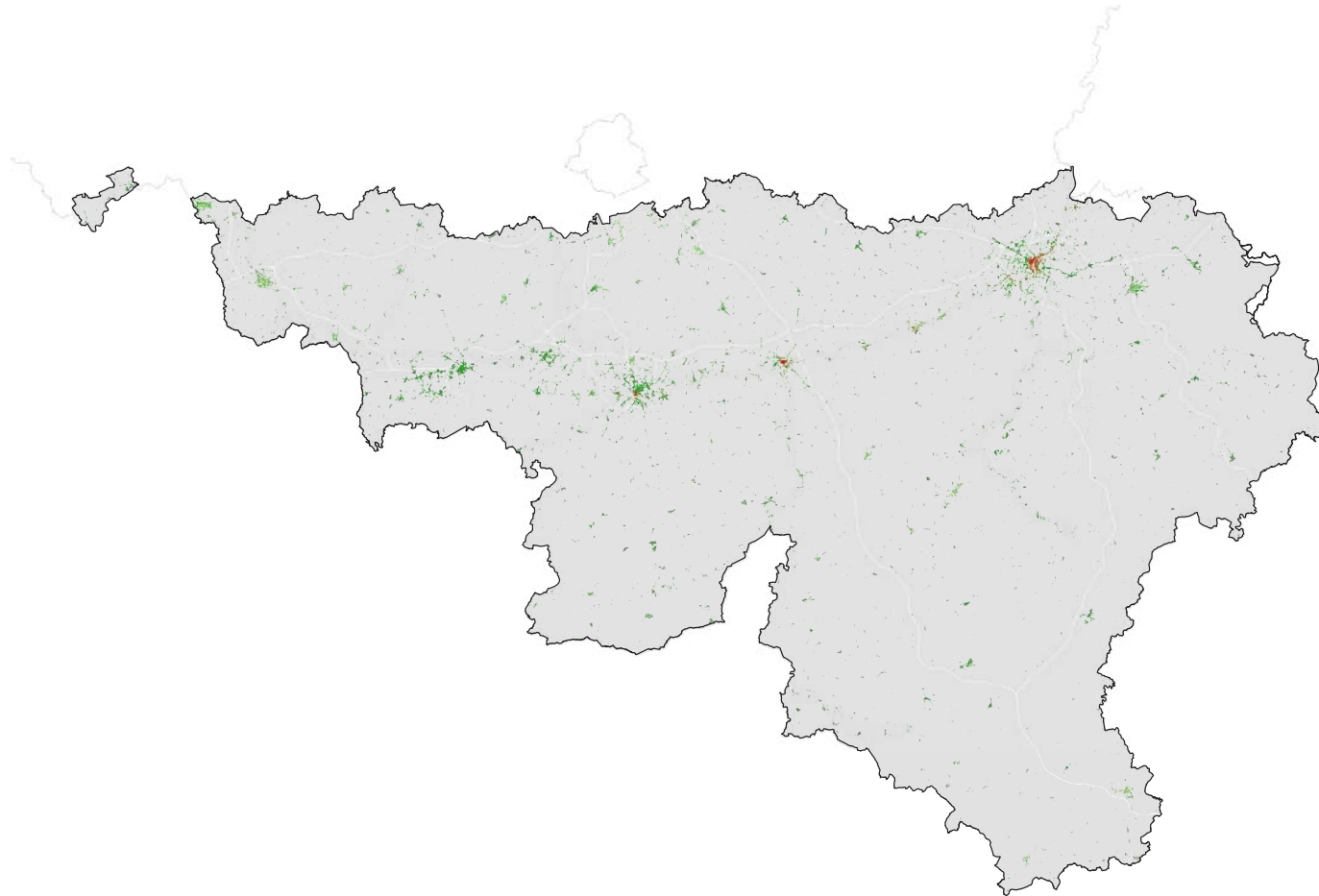
Source de données :  
 - Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 03/10/2022  
 Éditeur responsable: SPW Énergie





## Potentiel net des systèmes géothermiques ouverts peu profonds Scénario favorable 2022 - Secteur tertiaire



0 25 50 km

### Légende

#### Potentiel net (MWh/ha)

- inconnu
- 0 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200

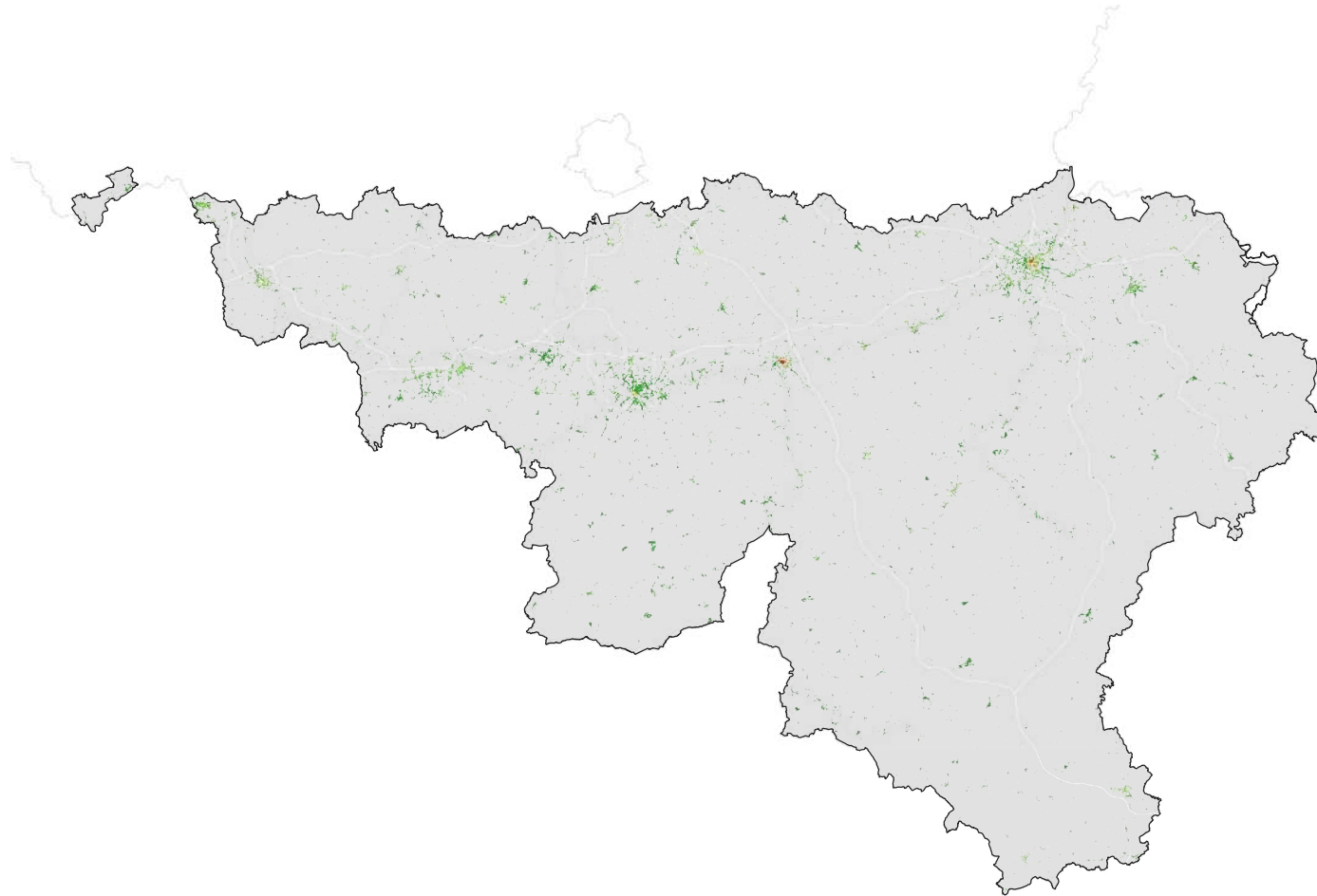
Système de projection : EPSG 31370

Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Énergie

## Potentiel net des systèmes géothermiques ouverts peu profonds Scénario défavorable 2022 - Secteur tertiaire



0 25 50 km

### Légende

Potentiel net  
(MWh/ha)

- inconnu
- 0 - 20
- 20 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- > 150

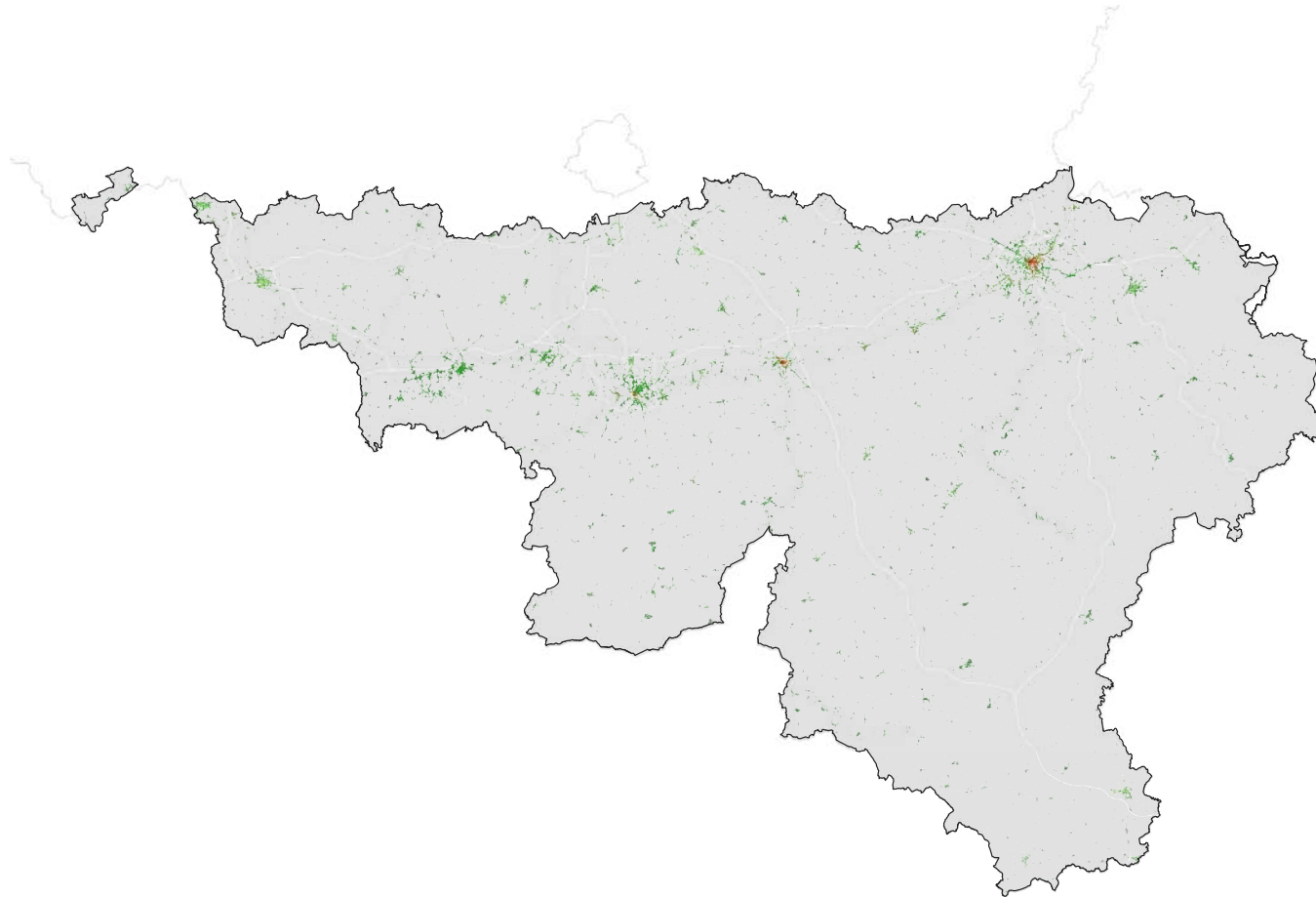
Système de projection : EPSG 31370

Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Energie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Energie

## Potentiel net des systèmes géothermiques ouverts peu profonds Scénario favorable 2030 - Secteur tertiaire



0 25 50 km

### Légende

Potentiel net  
(MWh/ha)

- inconnu
- 0 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200

Système de projection : EPSG 31370

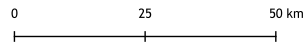
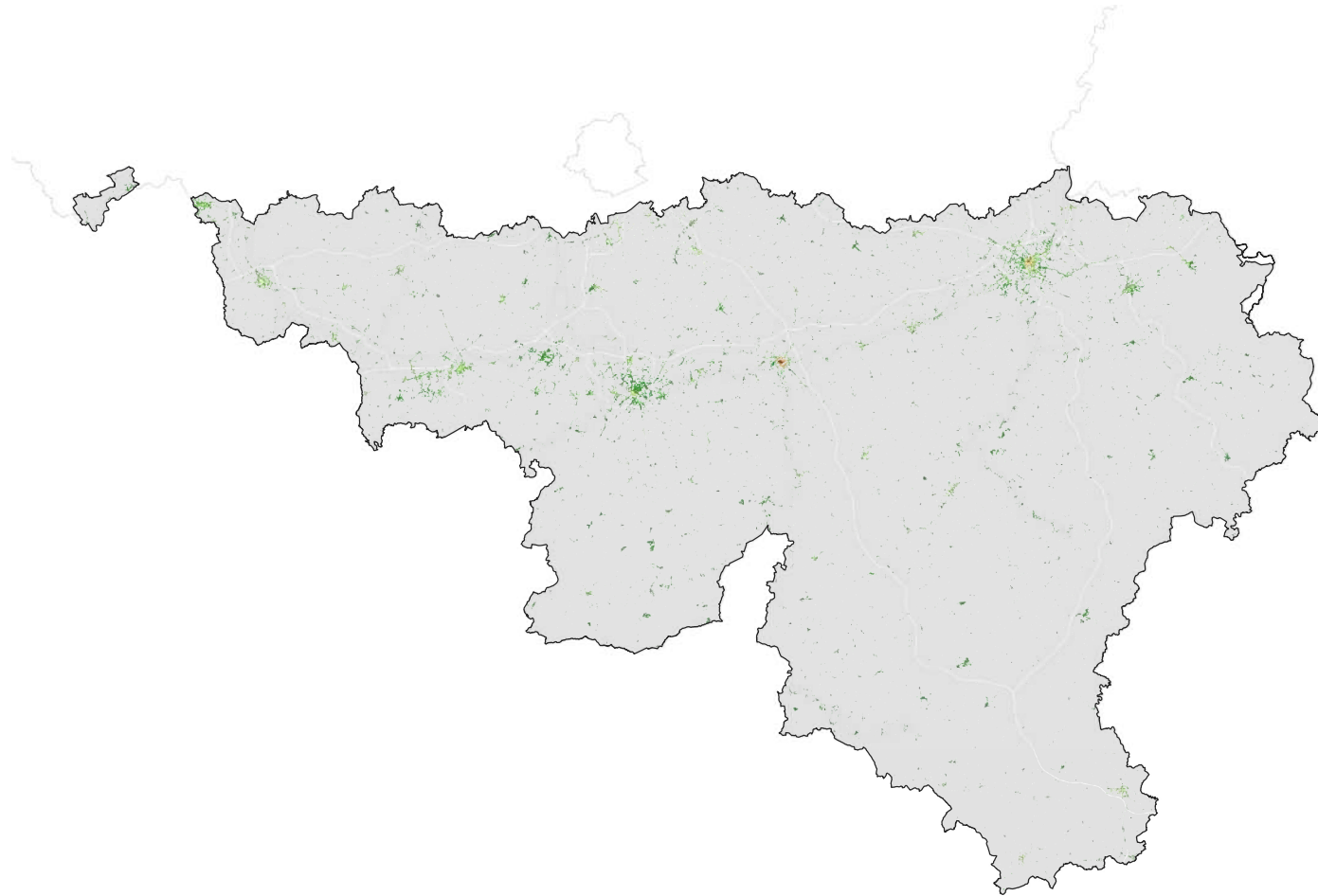
Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Énergie



Potentiel net des systèmes géothermiques ouverts peu profonds  
Scénario défavorable 2030 - Secteur tertiaire



Légende

Potentiel net (MWh/ha)

- inconnu
- 0 - 20
- 20 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- > 150

Système de projection : EPSG 31370

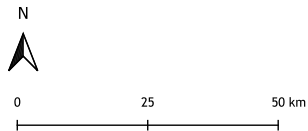
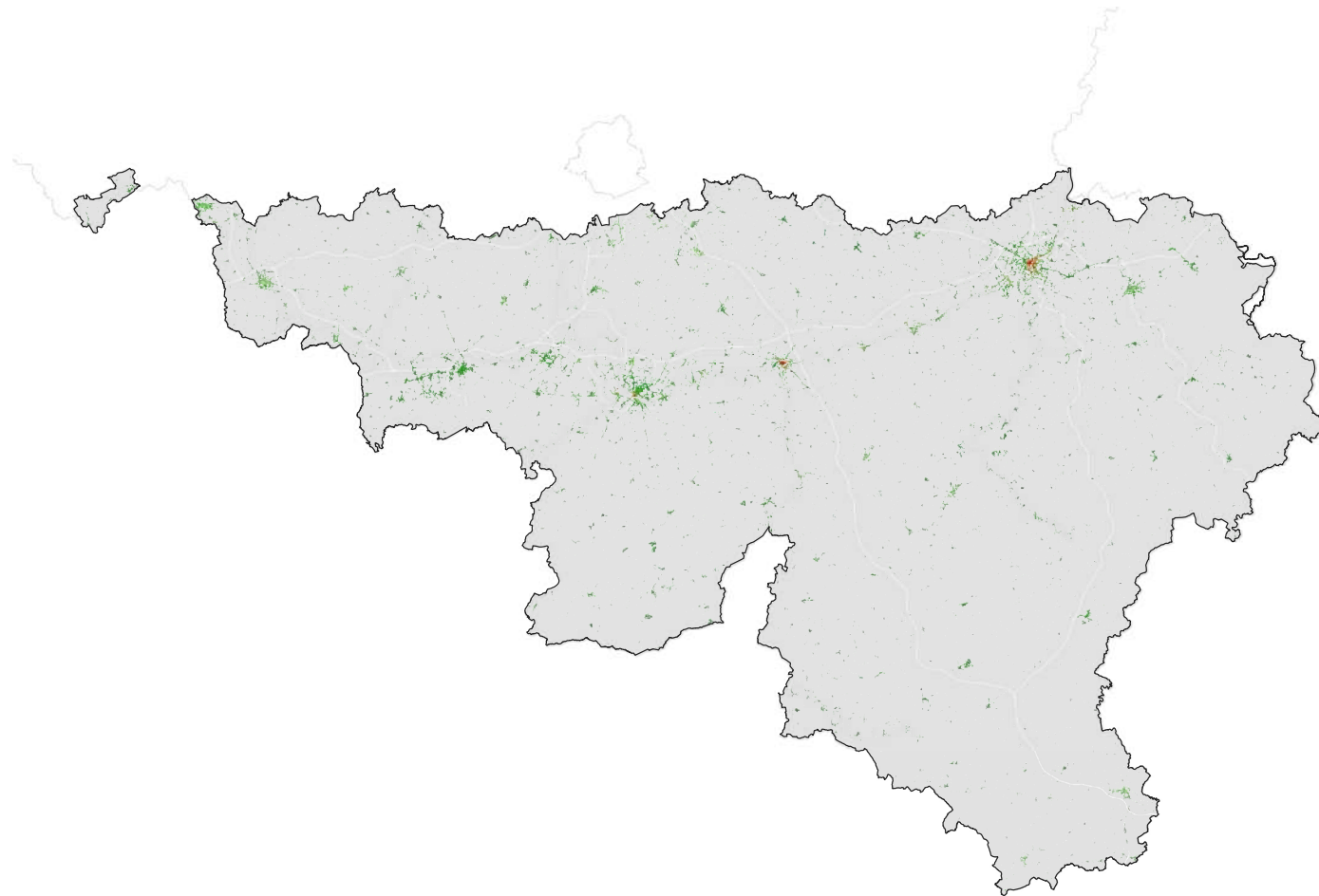
Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Energie



Potentiel net des systèmes géothermiques ouverts peu profonds  
Scénario favorable 2050 - Secteur tertiaire



Légende

Potentiel net  
(MWh/ha)

- inconnu
- 0 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200

Système de projection : EPSG 31370

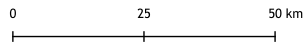
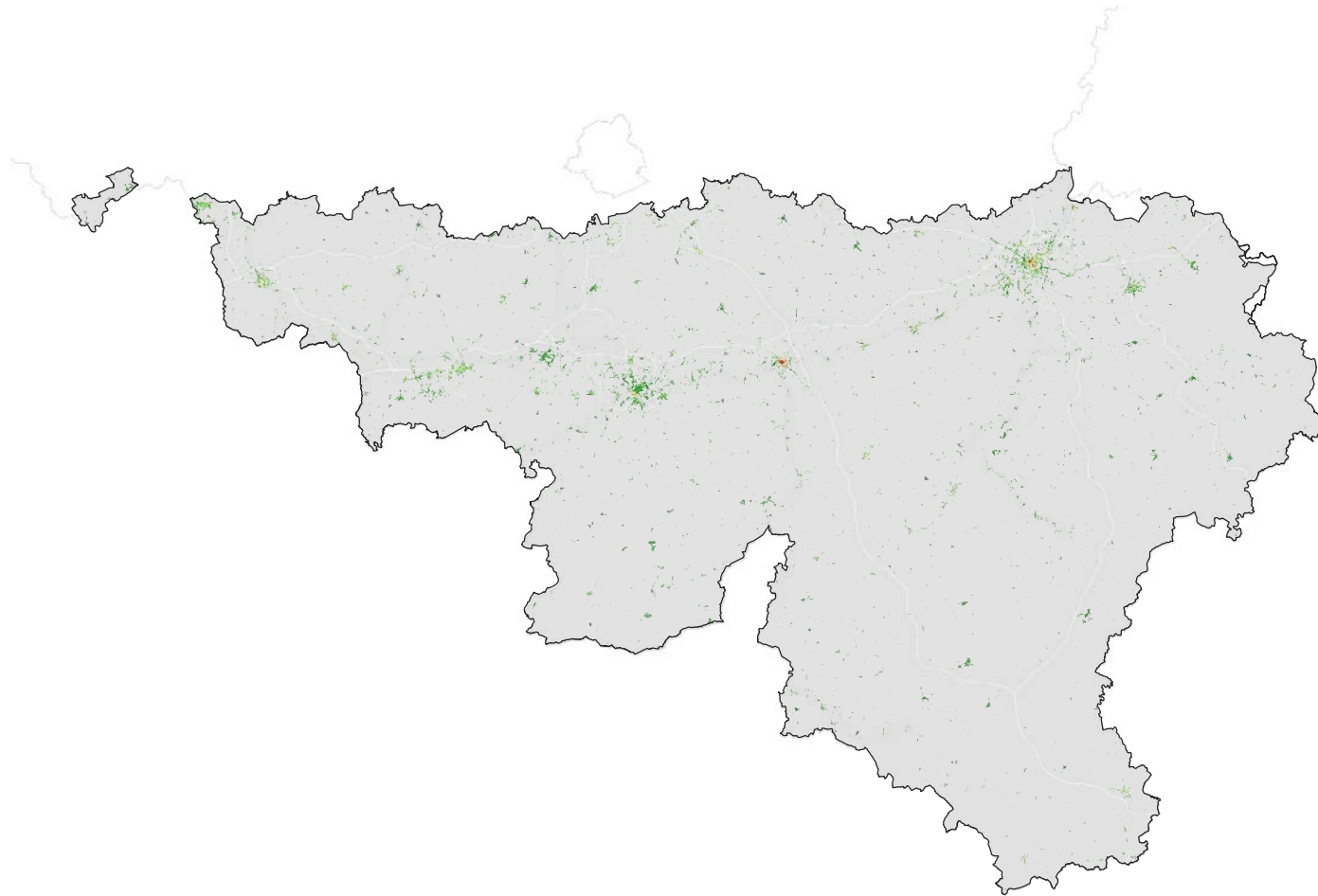
Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Énergie



Potentiel net des systèmes géothermiques ouverts peu profonds  
Scénario défavorable 2050 - Secteur tertiaire



Légende

Potentiel net (MWh/ha)

inconnu
0 - 20
20 - 50
50 - 100
100 - 150
> 150

Système de projection : EPSG 31370

Source de données :

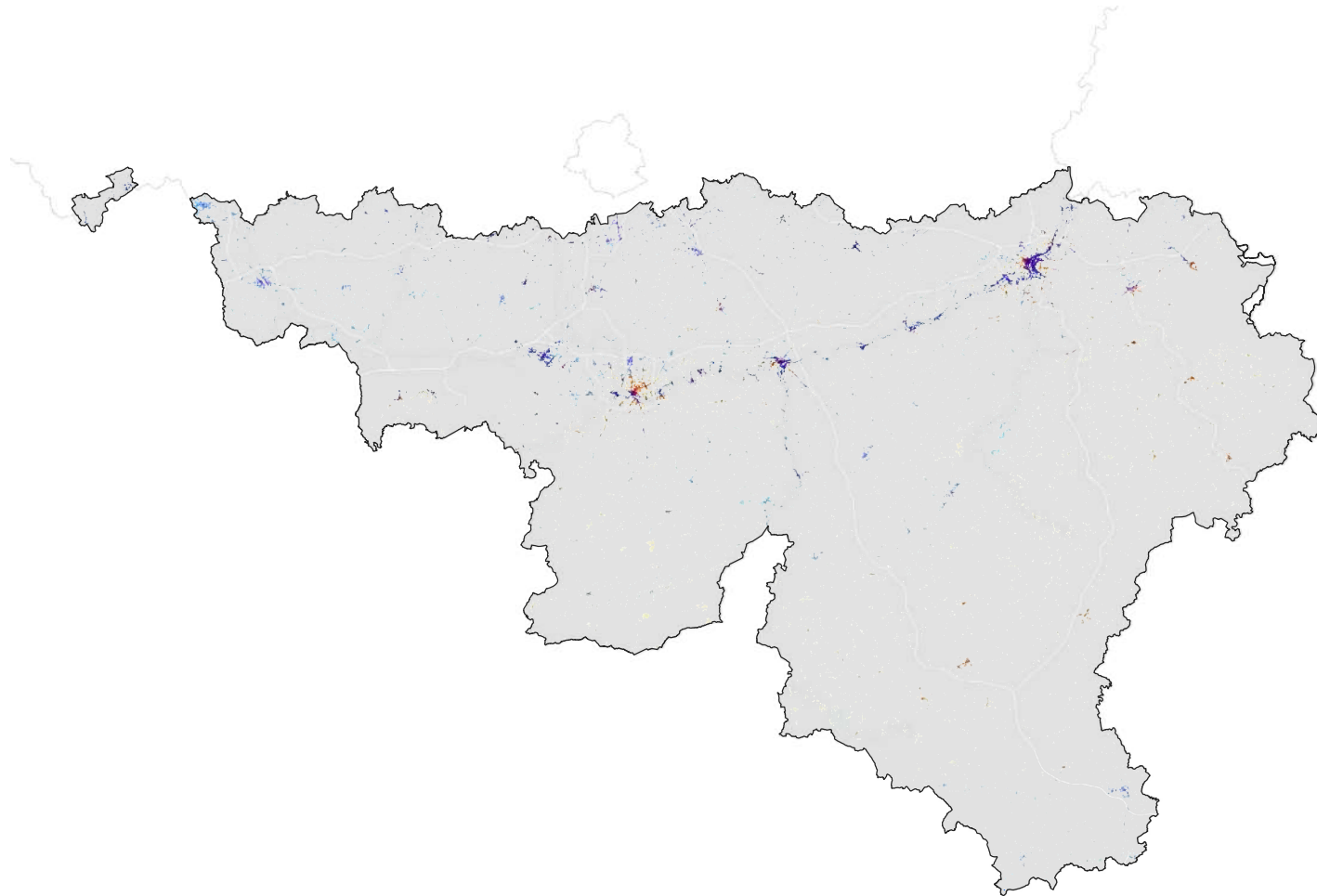
Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 31/01/2023  
Éditeur responsable: SPW Énergie





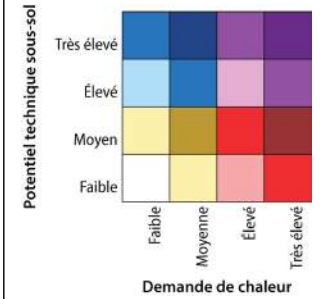
Carte croisée - Demande de chaleur versus Potentiel technique sous-sol  
des systèmes géothermiques ouverts peu profonds  
Scénario favorable 2022 - Secteur tertiaire



0 25 50 km



### Légende



Système de projection : EPSG 31370

Source de données :

Marché public de services relatif à la détermination du potentiel de la géothermie peu profonde (moins de 500m) pour la production de chaleur et de froid en Wallonie, 2022. SPW, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Réalisation : ©VITO, 17/10/2022  
Éditeur responsable: SPW Énergie