

L'hydrogéologie de Charleroi et de ses environs : cadre général, focus sur les principaux aquifères et retour d'expérience en terrains rocheux

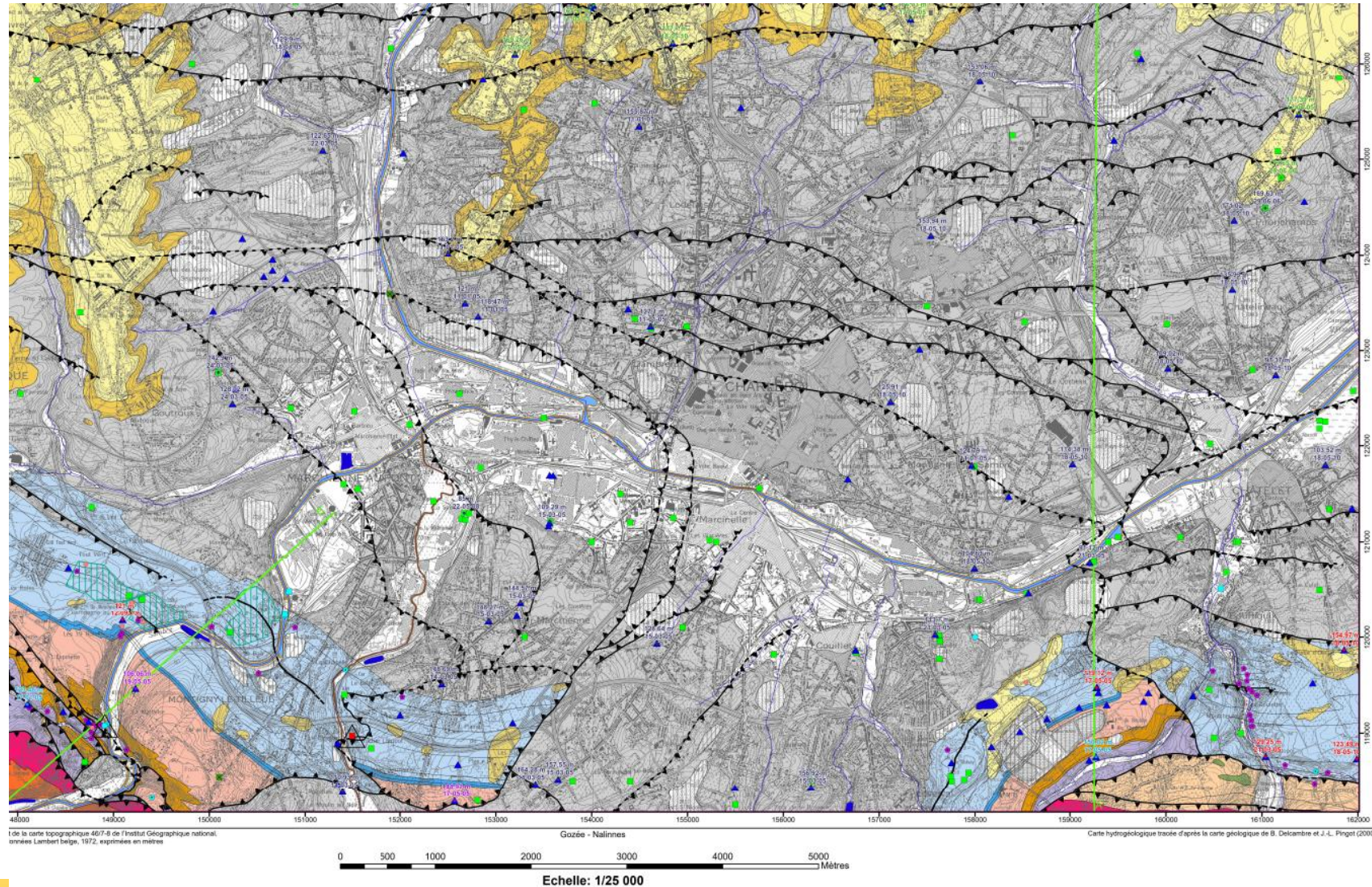


Structure de la présentation

- 1. Cadre hydrogéologique général : une introduction**
- 2. Focus sur les principaux aquifères**
- 3. Retour d'expérience : sources de pièges de l'hydrogéologie pour l'ingénieur**
- 4. Retour d'expérience : sources d'opportunités de l'hydrogéologie pour l'ingénieur**

1. Cadre hydrogéologique général (source : SPW)

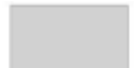
Extrait de la carte hydrogéologique 46 7/8 Fontaine-L'Evêque - Charleroi




1. Cadre hydrogéologique général

Synthèse selon la notice et la carte hydrogéologique 46 7/8 du SPW

Le sous-sol du centre-ville et environs immédiats de Charleroi se caractérise par la prédominance de formations rocheuses à caractère peu perméables du Groupe Houiller (HOU – Namurien à Westphalien, divisé en quatre formations distinctes : Chokier, Andenne, Châtelet, et Charleroi) ; ce bedrock est composé de ‘schistes’ et de grès avec couches de charbon ; K entre 10^{-5} et 10^{-8} m/s, eaux avec Fe et SO₄

 Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller

L'épaisseur totale du Houiller est de plus 1500 mètres (!) et l'exploitation historique des couches de charbon a induit une anthropisation intense (exploitation de mines, développement de l'industrie sidérurgique, érection de terrils, artificialisation de sols avec remblais et pollutions résiduelles locales).

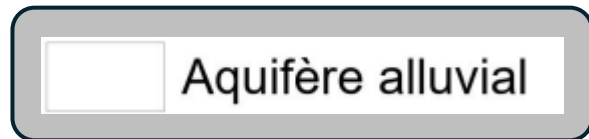
 Nappe de remblais

1. Cadre hydrogéologique général

A l'Ouest, au Sud (principalement) et à l'Est du centre-ville, ces terrains du Houiller (schistes, grès et leur faciès altérés / argilisés) ont été érodés par la Sambre (et ses principaux affluents : le Piéton au Nord et l'Eau d'Heure au Sud).

La vallée qui en résulte dessine au Sud une large plaine alluviale dont les alluvions modernes (AMO, Quaternaire) sont formées de graviers, sables et limons sur une épaisseur très variable, pouvant localement atteindre près de vingt mètres.

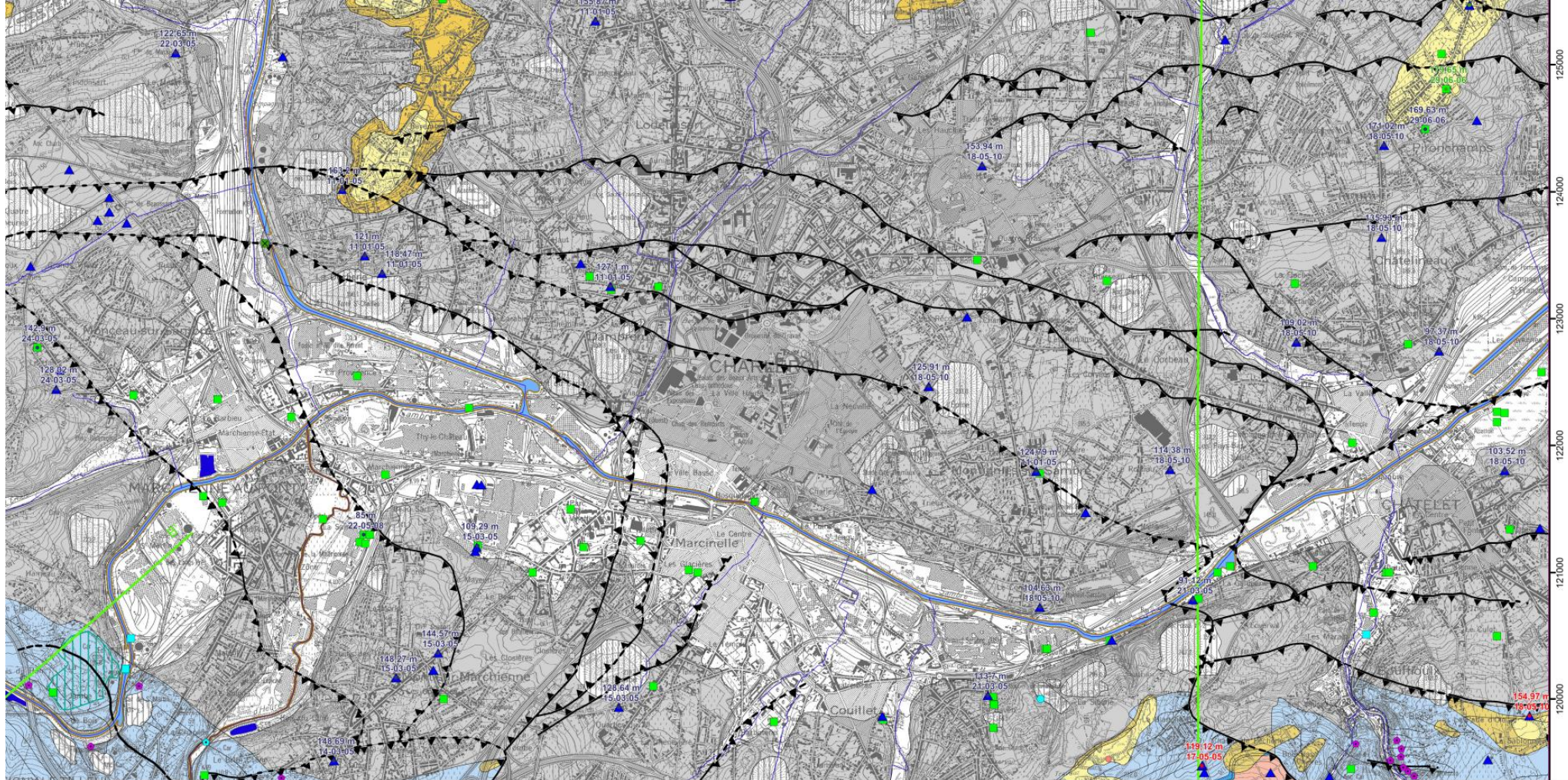
Quelques couches plus argileuses sont présentes, avec localement des débris végétaux (bois, tourbes...). Les niveaux piézométriques sont peu documentés et donc à caractériser in situ. Les nappes localement présentes dans le Houiller peuvent être discontinues et perchées (i.e. sans drainage nécessairement imposé par une rivière, dont la Sambre qui s'écoule à une cote voisine de $Z = 100$ m).



interpolations piézométriques

1. Cadre hydrogéologique général (source : SPW)


Extrait de la carte hydrogéologique 46 7/8 : zoom




1. Cadre hydrogéologique général

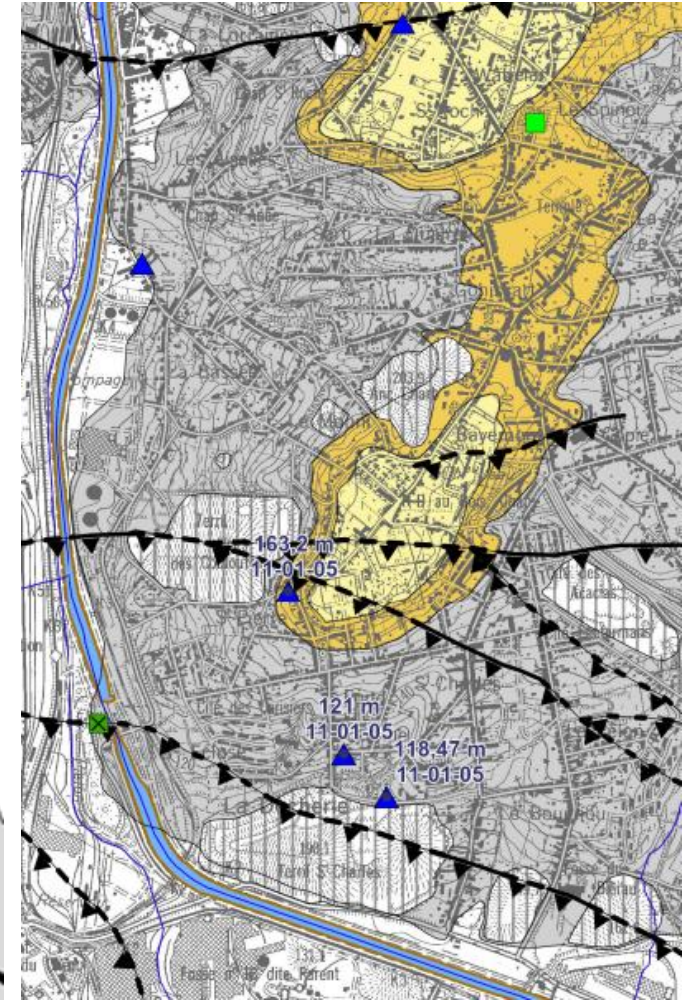
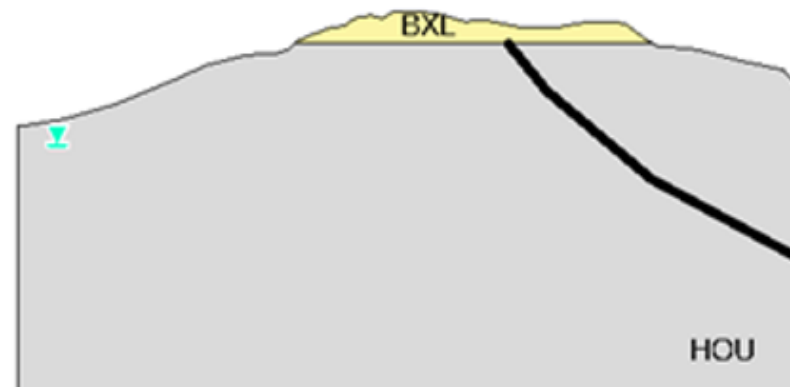
Au Nord-Ouest et Nord du centre-ville, les terrains du Houiller sont localement recouverts par des lambeaux de terrains meubles éocènes pouvant atteindre une vingtaine de mètres d'épaisseur :

- sédiments argileux à argilo-sableux, gris

 Aquiclude - Aquitard des argiles de l'Eocène

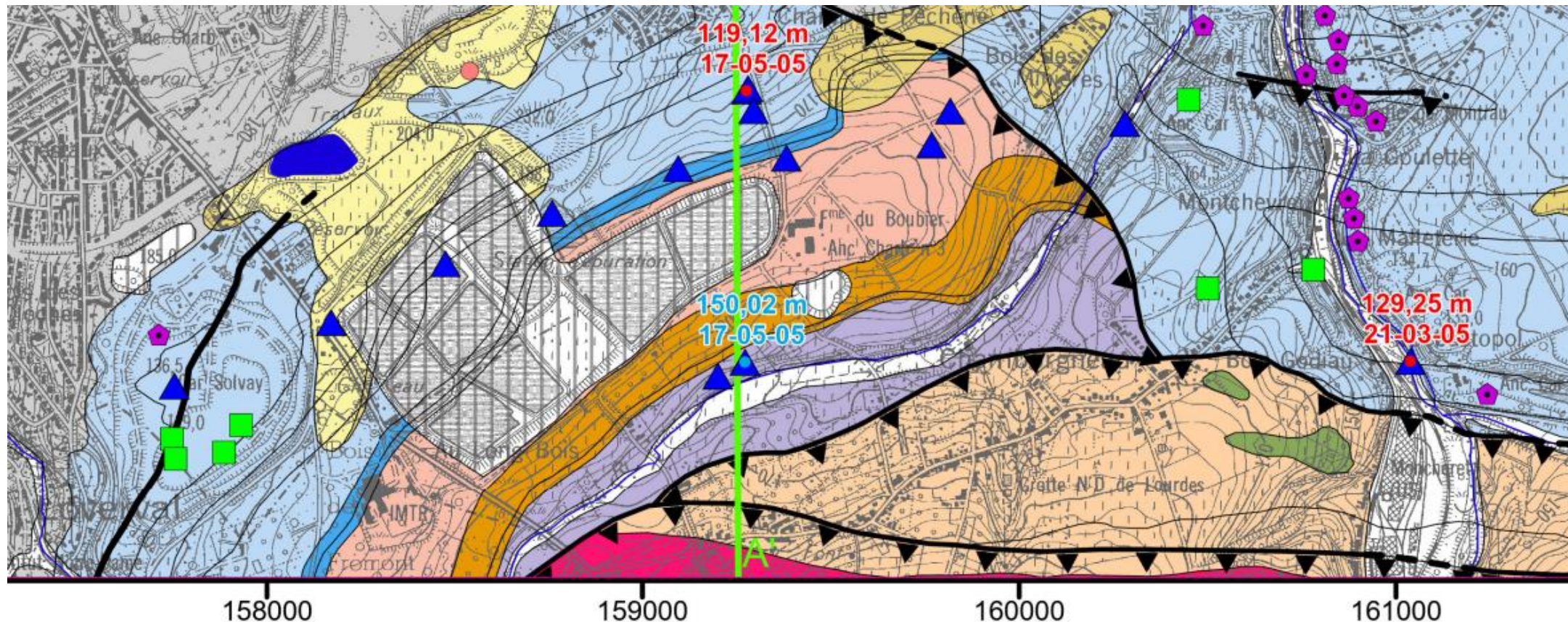
- sables clairs à jaunâtres, fins à plus grossiers avec localement des bancs de grès carbonatés

 Aquifère des sables de l'Eocène



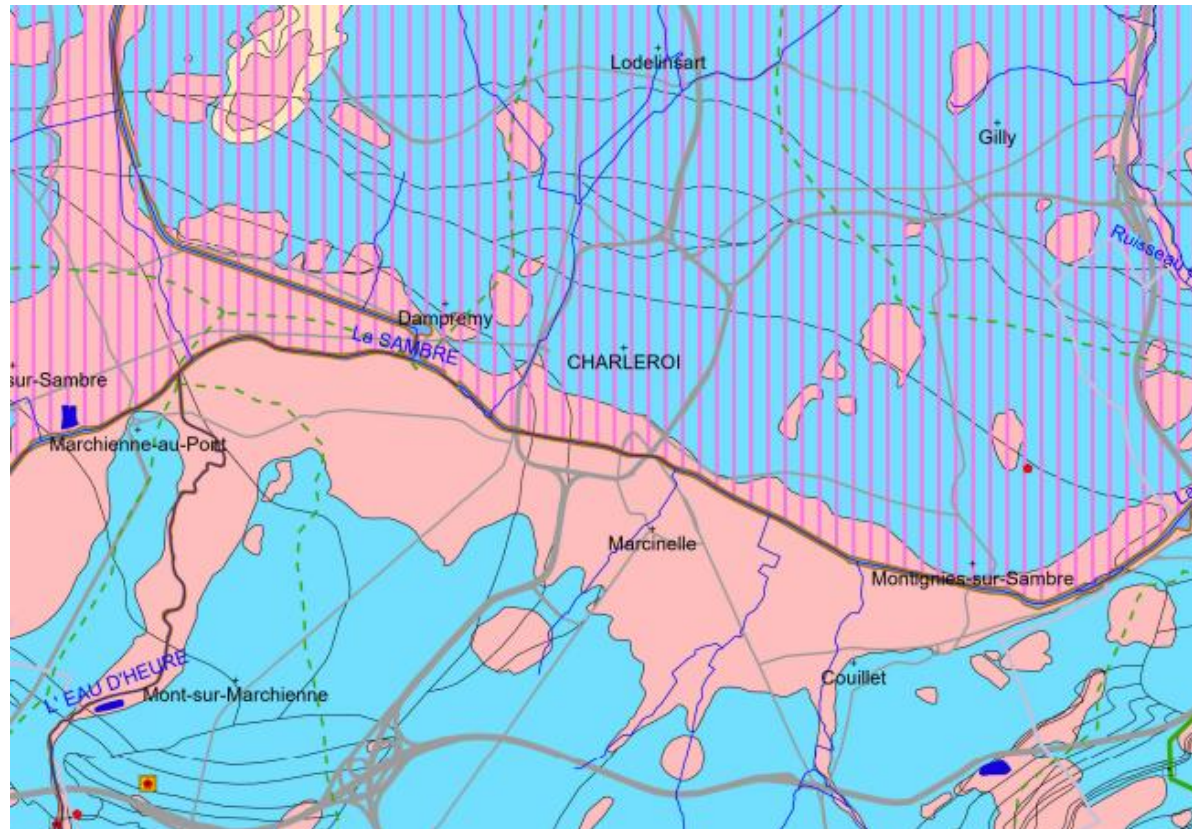
1. Cadre hydrogéologique général

Au Sud-Ouest et Sud-Est du centre-ville, des calcaires dévono-carbonifères affleurent au sein d'écaillés charriées ; ils constituent les plus importants aquifères, dont la roche et les eaux ont été et demeurent exploitées.



1. Cadre hydrogéologique général

La notice et carte hydrogéologique 46 7/8 du SPW présente les informations générales permettant de contextualiser l'hydrogéologie du site dans lequel s'inscrit le projet de l'ingénieur ; exemple : types des couvertures des nappes



ZONE VULNERABLE

Zone vulnérable aux nitrates

LIMITES GEOLOGIQUES

Limites des formations géologiques

TYPE DE COUVERTURE

Nappe à l'affleurement

Couverture perméable

Couverture imperméable

HYDROGRAPHIE ET INFRASTRUCTURE

Réseau hydrographique

Berges des rivières à large lit

Principaux lacs

Limites des bassins hydrographiques

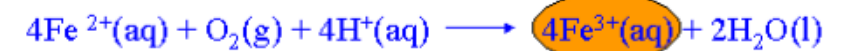
2. Focus sur les principaux aquifères et nappes

La nappe des alluvions sablo-graveleuses de la Sambre, bien développée au Sud du centre-ville, ne présente que localement de bonnes potentialités quantitatives ; les perméabilités sont classiquement comprises entre 10^{-4} et 10^{-7} m/s (caractère aquifère à aquitard).

Le chimisme est déterminé par celui des eaux de surface (Sambre et rejets anthropiques) et par les eaux à $\text{pH} < 7$ avec fer et en sulfate issus de l'oxydation des pyrites) du Houiller. Les eaux y sont donc en général de qualité médiocre et polluées et conviennent tout au plus pour un usage industriel.



- The ferrous & hydrogen ions are released into the waters that runoff from mine drainage tunnels or tailings piles.
- The ferrous ions are oxidized to form ferric ions

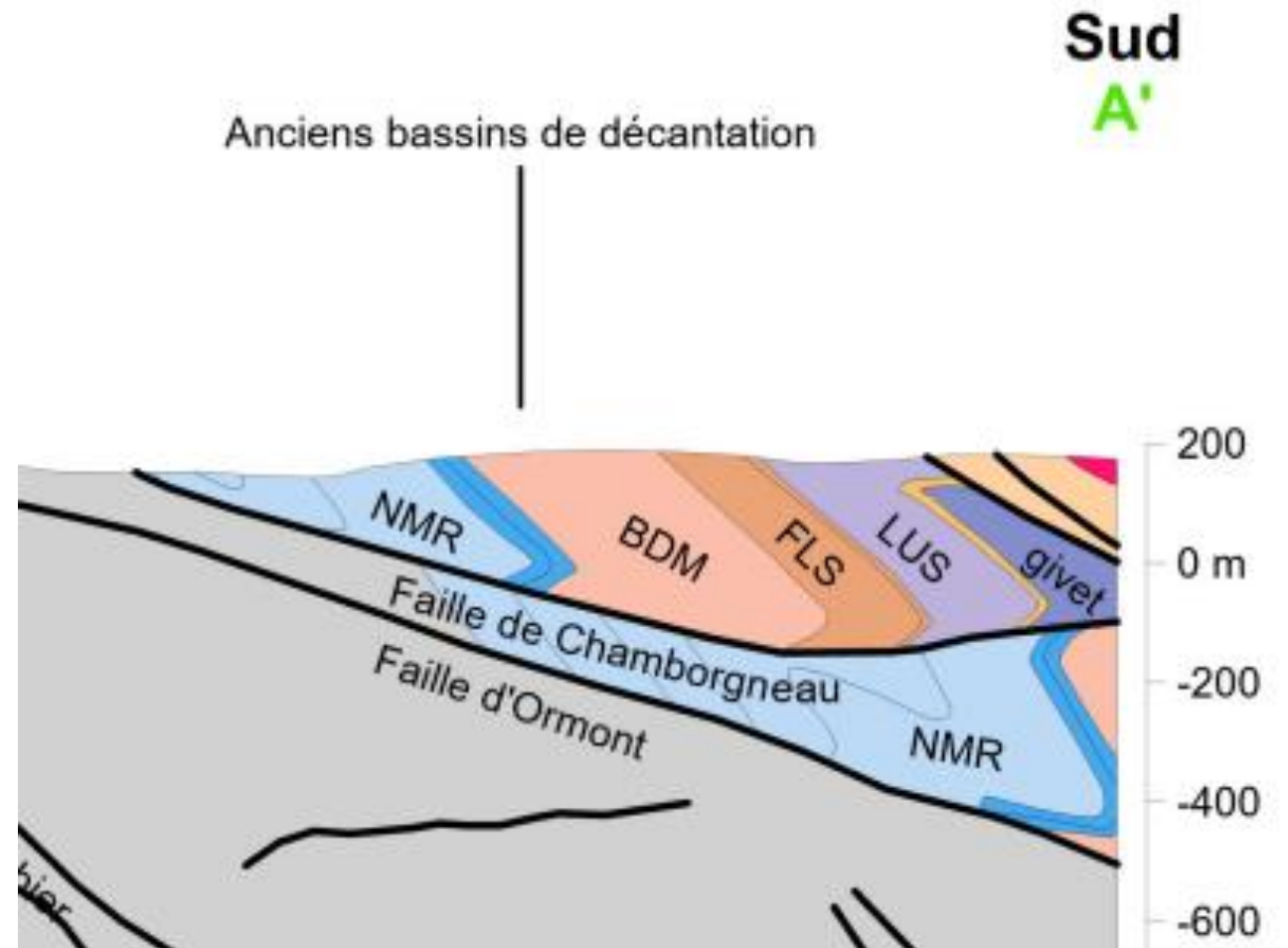


La nappe associée à l'aquifère des sables de l'Eocène n'est rencontrée que +/- 3 kilomètres au Nord de Charleroi ; elle demeure, dans ce secteur, fort exposée au tarissement en période sèche et à des pollutions de surface.

2. Focus sur les principaux aquifères et nappes

Les principaux aquifères sont donc associés aux calcaires dévono-carbonifères qui affleurent au Sud de Charleroi, avec des pendages généraux vers le Sud ; leurs nappes ne peuvent de ce fait être intersectées et exploitées via des forages très profonds depuis le centre-ville et ses environs.

Coupe hydrogéologique (extrait) au Sud-Est de Charleroi, au travers des calcaires dévono-carbonifères et du site Solvay de Couillet (ancienne carrière et bassins de décantation)



2. Focus sur les principaux aquifères et nappes

Carbonifère	Dinantien	Viséen	Warnantien	Hoyoux	Warnant	HOY	Calcaires à cherts	Aquifère des calcaires du Carbonifère	
					Anhée		Calcaires		
					Poivache		Calcaires		
					Thon - Samson		Calcaires		
	Dinantien	Viséen	Livien		Lives	Bouffloux	LIV		Calcaires
						Brèche			Brèches calcaires
						Calcaire de Lives			Calcaires
					Molinacien				Neffe
	Terwagne	TER	Calcaires						
	Tournaisien	Ivorien		Namur	Mont-sur-Marchienne	NMR	MSM		Calcaires, calcaires dolomitiques
					Pont-à-Nôle		PNL		Calcaires, calcaires dolomitiques
				Hastarien	Station de Gendron	Maurenne	MAU		SGD
Landelies						LAN	Calcaires		
Hastarien	Anseremme	Pont d'Arcole	PDA	ANS	Schistes				
		Hastièrre	HAS		Calcaires				
Dévonien	Supérieur		Famennien		Bois des Mouches	BDM	Grès, calcaires, siltites	Aquifère des grès du Famennien	
					Falisolle	FLS	Schistes	Aquiclude du Famennien - Frasnien	
					Frasnien	Aisemont	AIS	Schistes, calcaires	Aquifère des calcaires du Frasnien
						Lustin	LUS	Calcaires	Aquiclude du Frasnien
						Presles	PRE	Schistes	Aquifère des calcaires du Givétien (visible uniquement sur la coupe AA')
	Moyen		Givétien						
			Eifelien	Bois Godiau	BGD	Conglomérat à matrice gréseuse	Aquitard de l'Eifelien		

3. Retour d'expérience : sources de pièges pour l'ingénieur

3.1 Biais documentaires

La ressource disponible gratuitement en ligne via géoportail.wallonie.be et la notice de la carte hydrogéologique du SPW permet d'appréhender le contexte mais ne dispense pas d'une étude hydrogéologique d'une part spécifique au site et d'autre part éclairée par des chroniques de niveaux d'eaux d'assez longue durée et actualisées (aspect quantitatif) ainsi que par des analyses chimiques (aspect qualitatif) :

- les paramètres hydrodynamiques et hydrodispersifs qui caractérisent les formations en présence sont très hétérogènes : nécessité de disposer de valeurs empiriques et représentatives via des essais in situ ;
- l'édition disponible a été partiellement actualisée fin 2013, de nombreux niveaux d'eaux datent de la première édition de 2005 ... et ne tiennent pas compte ni de l'amélioration des connaissances ni d'évolutions résultant de la combinaison de facteurs anthropiques ainsi que des effets du changement climatique.

3. Retour d'expérience : sources de pièges pour l'ingénieur

3.2 Biais méthodologiques

Exemples de biais potentiels lors de l'estimation des incidences hydrogéologiques et débits à pomper pour un projet de parkings sous la nappe :

- **La compréhension du projet et des enjeux est-elle bien partagée / comprise ?**
- **La sphère d'incidences potentielles est-elle bien appréhendée ?**
- **La période d'étude est-elle adéquate (régime de basses, moyennes ou hautes eaux) ?**
- **Le nombre et la profondeur des carottages et piézomètres est-elle suffisante compte tenu de l'hétérogénéité des formations ? Leur équipement est-il correct (>< CPT) ?**
- **La durée des pompages d'essai est-elle suffisante pour permettre une interprétation univoque et conservative ?**
- **Les interactions avec les eaux de surface sont-elles bien considérées ?**

3. Retour d'expérience : sources de pièges pour l'ingénieur

3.3 Défaut d'anticipation

Exemples de défaut d'anticipation lors de l'estimation des incidences hydrogéologiques et débits à pomper pour un projet de parkings sous la nappe :

- Une procédure d'étude selon le Décret Sols requiert souvent plusieurs trimestres
- Des ouvrages pour pompages d'essais sont souvent soumis à un permis de classe 2 donc délai de l'ordre de 120 à 150 jours après l'introduction de la demande
- Le dimensionnement approprié des réseaux de rejets des eaux pluviales suppose une étude hydrologique couplée à celle de l'hydrogéologie sensu stricto
- La période et durée d'étude est-elle adéquate ? (ex : des profondeurs de niveau d'eau de nappe, même obtenues avec un réseau dense de piézomètres, sont à relativiser si elles suivent une sécheresse prolongée)

 **impliquer le bureau spécialisé en hydrogéologie dès l'amont du projet permet un gain qualitatif et une économie sensible en temps, coût et énergie de travail**

3. Retour d'expérience : sources de pièges pour l'ingénieur

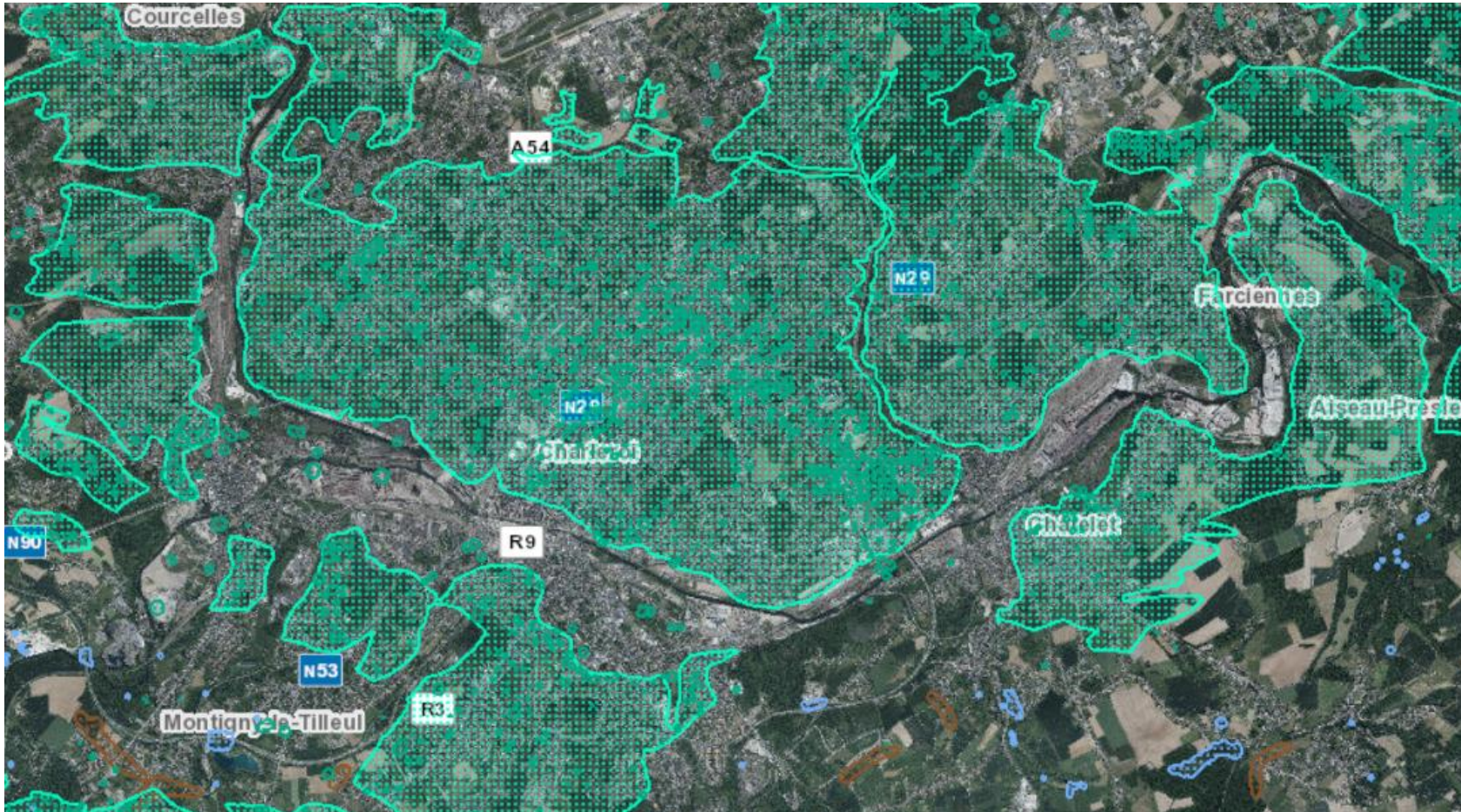
3.4 Contraintes hydrogéologiques / géotechniques

- **Présence locale d'argiles gonflantes et/ ou de lentilles tourbeuses (d'où nécessité de carottages >< forage destructif**
- **Axes préférentiels d'écoulements non liés à la géologie car d'origine anthropique (anciens réseaux d'égouttage ou miniers, anciennes dalles ou fondations profondes, anciens bras de rivière partiellement remblayés...)**
- **Qualité des eaux à pomper / rejeter non conforme à des valeurs seuils (à concerter également avec le gestionnaire de l'assainissement IGRETEC)**
- **Chimisme des eaux des terrains du Houiller classiquement acides et avec du fer (précipitation) et des sulfates (corrosion des bétons)**
- **Présence (à l'amont gradient) d'anciens terrils (avec fer, sulfates et HAP's issus du lessivage)**




3. Retour d'expérience : sources de pièges pour l'ingénieur

3.4 Contraintes hydrogéologiques / géotechniques

- Présence locale d'anciennes galeries ou puits de mines (ou de karst au Sud)



Cfr geoportail.wallonie.be
Consultation de la
DRIGME
et exposé
de Daniel Pacyna

-  Présence potentielle d'anciens puits de mines
-  Présence de puits de mines
-  Présence de karst

3. Retour d'expérience : sources de pièges pour l'ingénieur

3.4 Contraintes hydrogéologiques / géotechniques

Gestion des eaux : risque de corrosion bactérienne incluant divers consortia bactériens (SRB) (en relation avec la présence de fer et la réduction de sulfates)


Gestion des eaux de ruissellement : capacité généralement limitée de réinfiltration vu les faibles perméabilités des terrains de surface ; besoins de volumes réservés pour bassins de temporisation, noues, dispositifs enfouis type Tubao...

Au sein des aquifères carbonatés (et gréseux) présents plus au Sud :

- **saturation locale 'per ascensum' (depuis la nappe profonde des calcaires) de terrains superficiels, induisant des débits très importants (débit jusqu'à 100 m³/h si karst) à gérer en phase de chantier et d'exploitation**
- **présence locale de captages d'eaux de distribution, avec restrictions d'usages au sein de leur zone de prévention IIa et IIb**

4. Retour d'expérience : opportunités pour l'ingénieur

- Potentialités locales pour l'aquathermie (lit de la Sambre) ou la géothermie faible profondeur (exemple : un champ de 20 SGV peut fournir à une boucle tempérée environ 200 kW de puissance en froid et/ou en chaud, de manière stable toute l'année)
- Potentialités locales pour des réseaux de chaleur
- Plus au Sud de Charleroi : potentialités importantes pour l'hydrothermie faible profondeur (exemple : un débit pompé de 100 m³/h peut fournir à une boucle tempérée de 450 à 550 kW de puissance en froid et/ou en chaud, de manière stable toute l'année, avec un COP net compris entre 5 et 6)

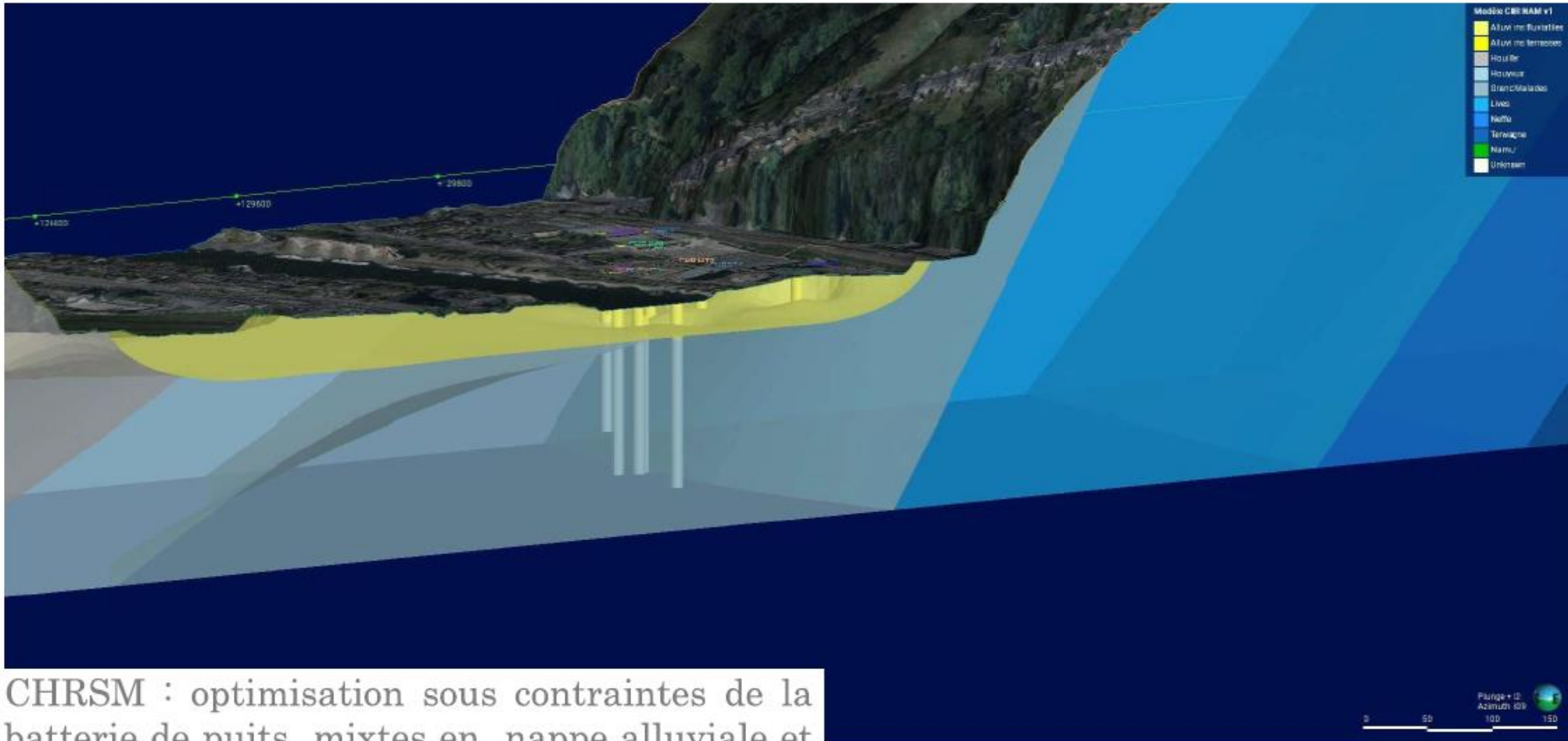
 D'où l'intérêt réel d'impliquer le bureau spécialisé en hydrogéologie dès l'amont du projet, afin de bien considérer également les opportunités que recèlent le sous-sol

4. Retour d'expérience : opportunités pour l'ingénieur

Dans le cadre du Plan de Relance de la Wallonie et dans l'optique de booster la filière, la Wallonie a lancé en septembre 2022 un appel à projets de géothermie peu profonde ... dont le CHRSM est à la fois lauréat et 'pilote' dès lors qu'il constitue la première installation opérationnelle et optimisée.



4. Retour d'expérience : opportunités pour l'ingénieur



CHRSM : optimisation sous contraintes de la batterie de puits mixtes en nappe alluviale et des calcaires : modélisation hydrogéologique



4. Retour d'expérience : opportunités pour l'ingénieur

Pour le CHRSM :

Q max autorisé 100 m³/h et ΔT max : 5°C P disponible = 580 kW

Avec Q max annuel de 540.000 m³/an pour couvrir les besoins

Le projet initial était d'implanter plus classiquement une batterie de 20 SGV (sondes géothermiques verticales, soit un système géothermique fermé) de chacune 100 mètres de profondeur, avec une puissance cumulée limitée à 200 kW (besoin en climatisation du seul nouveau service des urgences).





Merci pour votre attention !

AQUALE SRL
BUSINESS VILLAGE ECOLYS
AVENUE D'ECOLYS, 2
BOITE 24 – 5020 SUARLEE (NAMUR)

