

HYDROGÉOLOGIE ET FONCTIONNEMENT DES NAPPES

Généralités et spécificités du Bassin Houiller Lorrain

Murielle Chabart, Laurent Vaute, Nicolas Koeberlé (BRGM Nancy)

18 mars 2024

Programme

Partie 1 – Généralités sur l'hydrogéologie et le fonctionnement des nappes

- Carte hydrogéologique de la France
- Principales définitions en hydrogéologie
- Différents types de nappe en fonction de la géologie / lithologie
- Ecoulements souterrains
- Différents types de nappe et spécificités
- Pompages, exploitation, rabattement et exhaure
- Echanges nappes – rivières
- Cycle de l'eau souterraine (vidéo 2mn30s)
- Impact du changement climatique en Moselle
- Risques de remontée de nappe



Echanges et questions

Partie 2 - Cas particulier du Bassin Houiller Lorrain

- Carte hydrogéologique : zoom Grand-Est
- Quelles nappes concernées ?
- Quels impacts pendant l'activité minière ?
- Quels impacts après l'activité minière ?
- Synthèse des conséquences
- Synthèse du contexte et de la problématique en 2006 (vidéo 7 mn50s) et situation en 2023
- Pourquoi un modèle régional GTI ?
- Extension du modèle régional
- Prise en compte des prélèvements
- Partie du modèle sur le Bassin Houiller
- Réseau de surveillance DCE sur ADES



Echanges et questions



Partie 1 – Généralités sur l'hydrogéologie et le fonctionnement des nappes

SIGES Rhin-Meuse



InfoTerre

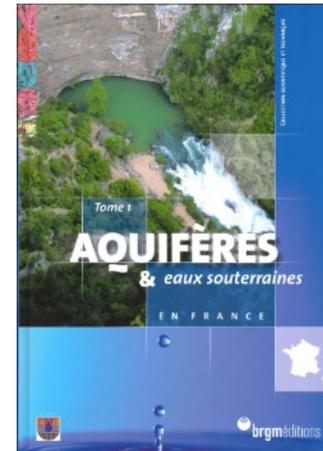
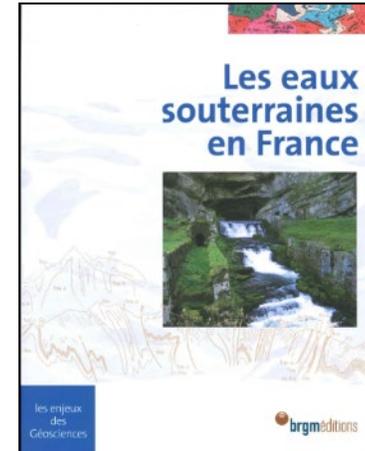
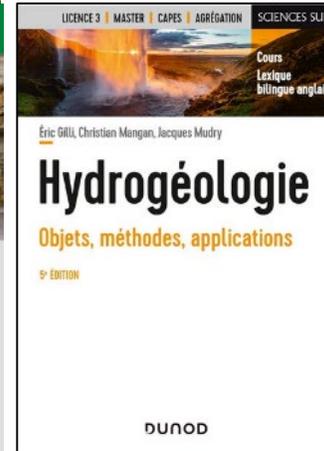
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES
*Liberté
Égalité
Fraternité*

BDLISA



OFB
OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ

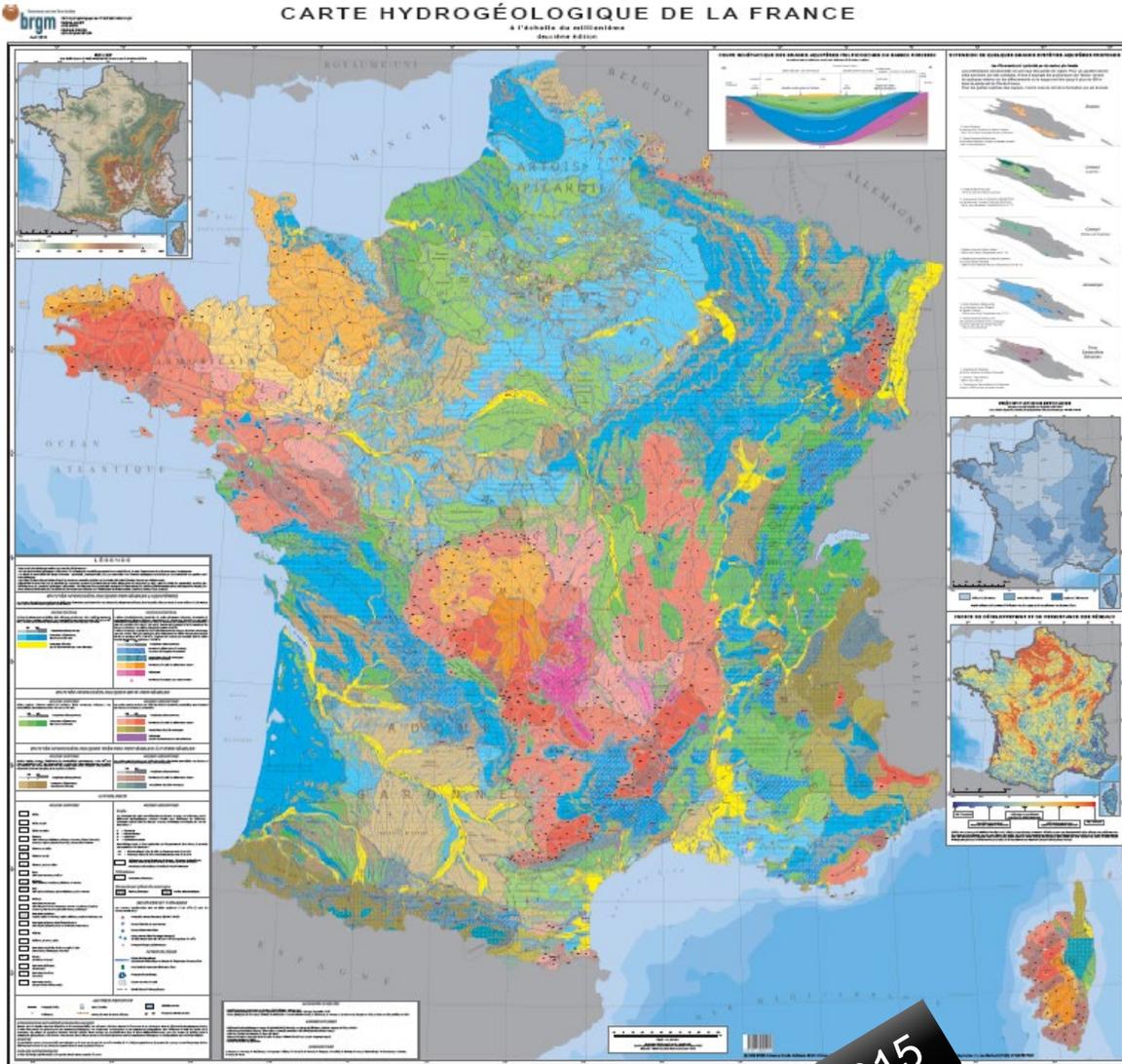
eaufrance



GESTION DURABLE DE L'EAU SOUTERRAINE
Fondamentaux et réglementation en hydrogéologie



Carte hydrogéologique de la France



2015

Quelles informations ?

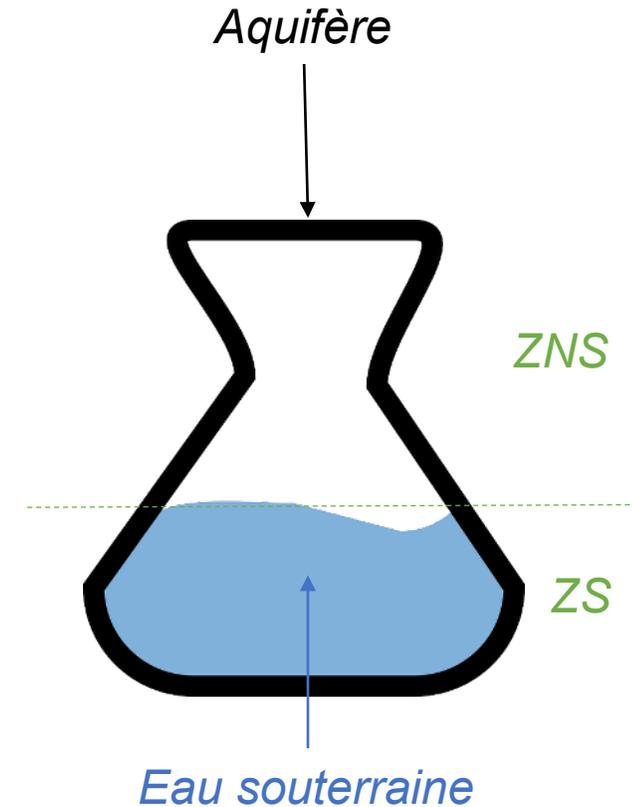
- ❑ Découpage du territoire en **unités hydrogéologiques** (référentiel BDLISA) définis selon critères suivants
 - la **géologie** (formations alluviales, sédimentaires, de socle, volcaniques, intensément plissée...)
 - La **lithologie** (sables, calcaires, grès, granites...)
 - La **perméabilité** (capacité à fournir de l'eau)
 - La **porosité** (proportion de vides)
 - L'**écoulement** (continu, discontinu)
- ❑ Indications sur la **recharge** des **aquifères** (part des précipitations qui réalimente les nappes)



Quelques termes à définir !

Principales définitions en hydrogéologie 1/2

- L'**hydrogéologie** étudie les **eaux souterraines** en interaction avec les milieux souterrains (sol, sous-sols, zone saturée, zone non saturée, roche, matrice, pores, fissures...) et les milieux superficiels (plans d'eau, cours d'eau, zone humides...)
- Les **eaux souterraines** : Toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol et qui transitent plus ou moins rapidement à travers le milieu souterrain en fonction de la structure (agencement dans l'espace de ses constituants) et de la **porosité** (volume des "vides") du sol/sous-sol
- L'**aquifère** (réservoir) : la formation géologique, continue ou discontinue, contenant de façon temporaire ou permanente de l'eau mobilisable, constituée de roches perméables (formation poreuses ou fissurées) et capable de la restituer naturellement ou par exploitation (drainage, pompage,...)
- La **nappe d'eau souterraine** : l'eau contenue dans les interstices ou les fissures d'une roche du sous-sol. Ensemble des eaux souterraines comprises dans la zone saturée (ZS) d'un aquifère

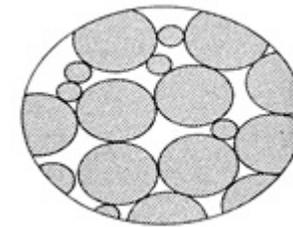


Zone non saturée ou ZNS : Zone du sous-sol dont la porosité n'est pas totalement saturée en eau

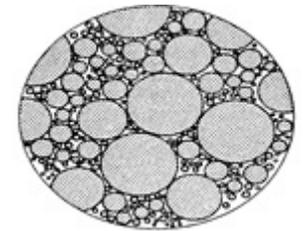
Zone saturée ou ZS : Zone du sous-sol dont la porosité est totalement saturée en eau

Principales définitions en hydrogéologie 2/2

- La **porosité totale** (%) d'une roche représente l'ensemble des vides présents dans une roche. Elle diminue avec l'hétérogénéité des grains et l'arrangement des grains.
- La **porosité efficace** (%) traduit le volume d'eau mobilisable par gravité (eau libre non liée aux grains de la roche par capillarité) et circulant dans les pores « ouverts ».
- La **perméabilité** (m/s) traduit l'aptitude de la roche à se laisser traverser par l'eau, sous l'effet d'une pression (ou gradient hydraulique). Plus la perméabilité est élevée, plus l'eau s'écoulera vite. Dépend de la porosité (pores interconnectés).
- La **transmissivité** (m²/s) est le produit du coefficient de perméabilité par la puissance de l'aquifère (épaisseur). Représente la capacité d'un aquifère à mobiliser l'eau qu'il contient. Se détermine par essai de pompage sur un forage.
- **Entités hydrogéologiques** = objets cartographiques avec des limites et des caractéristiques relativement homogènes définies par des hydrogéologues et régulièrement mis à jour. Appartiennent au référentiel [BDLISA](#) (Base de Donnée des Limites des Systèmes Aquifères) disponible en ligne.



Grains homogènes
(bien triés) →
porosité importante



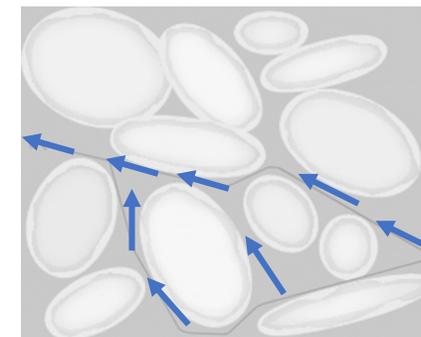
Grains hétérogènes
(mal triés) →
porosité faible



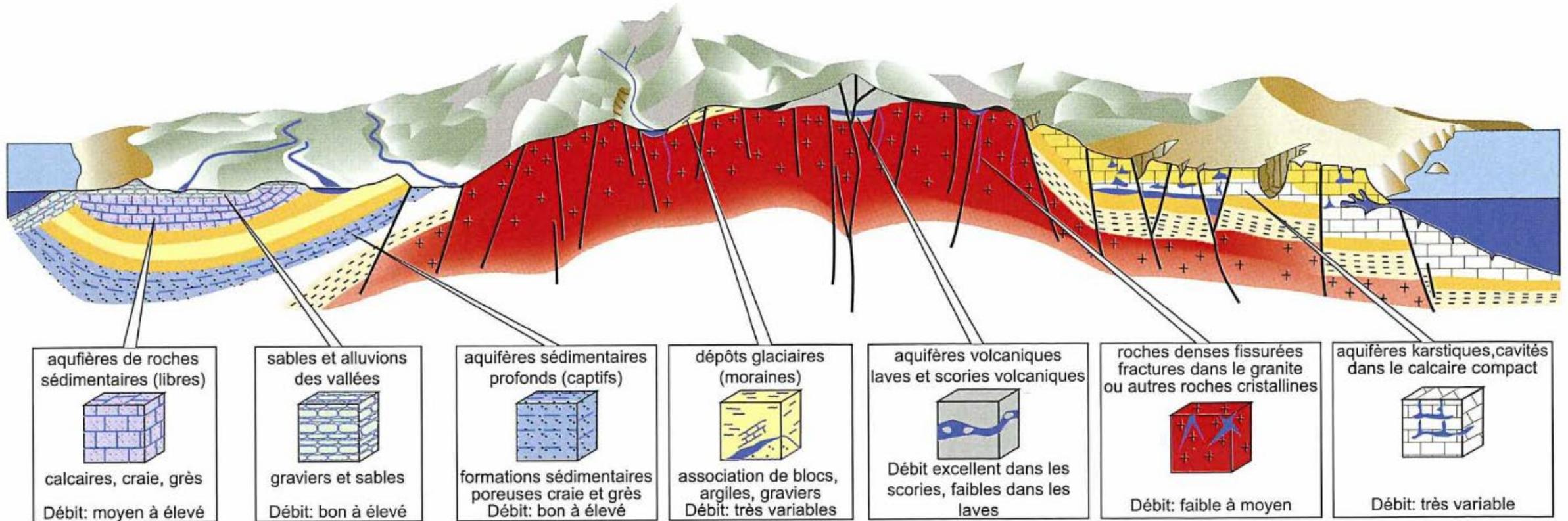
Grains non rangés
Nombreux vides
Porosité totale
importante



Grains rangés
Peu de vides
Porosité totale
faible



Différents types de nappe en fonction de la géologie / lithologie



Ecoulements souterrains

Milieu poreux (continu)

Roches variées comme sables, graviers, grès, schistes, craie, certains calcaires...

L'eau est contenue dans les pores des roches, saturées par les eaux infiltrées

Les circulations sont lentes

Milieu fissuré (intermédiaire)

Roches altérées telles que granite, gneiss...

Les circulations peuvent être rapides

Milieu karstiques (discontinu)

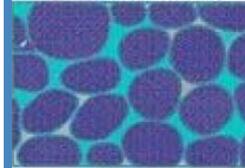
Roches crayeuses ou calcaires

L'action de l'eau est très intense avec des phénomènes de dissolution

Le relief est très caractéristique (canyon, grotte, aven, doline, source karstique, lapiaz, réseau...)

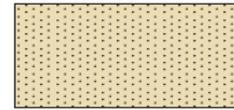
Les circulations sont globalement très rapides

Vitesses
d'écoulement



Lentes

MILIEU POREUX



Hétérogène à grande échelle
Homogène à petite échelle

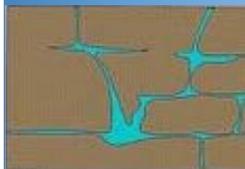


Rapides

MILIEU FISSURE



Hétérogène à grande échelle
Homogène à petite échelle

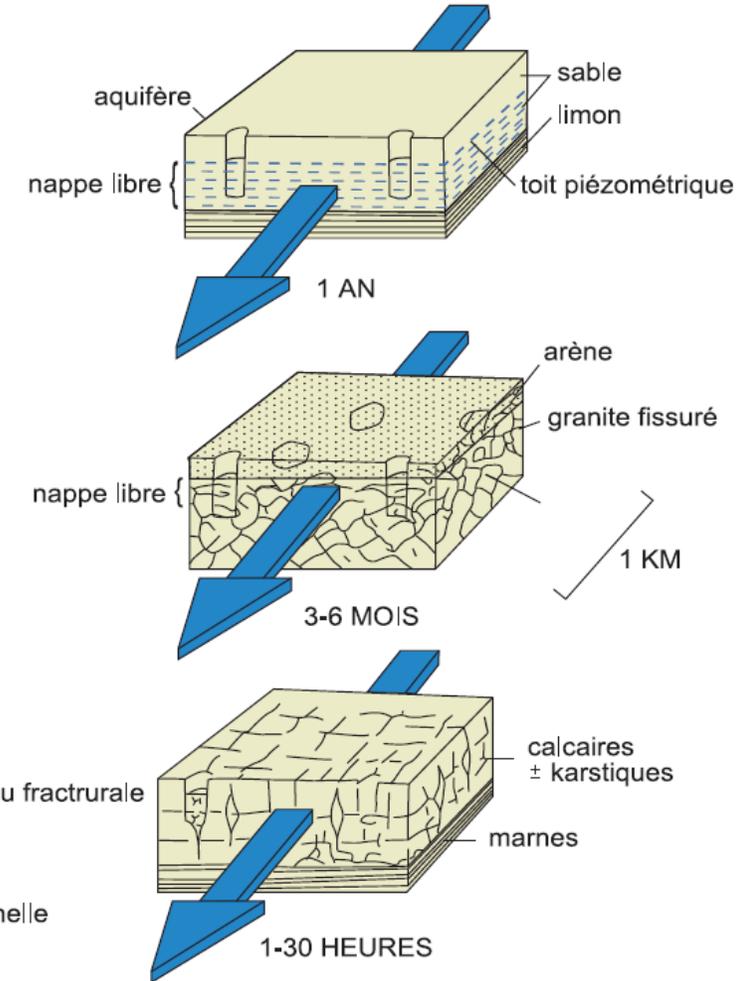


Très rapides

MILIEU KARSTIQUE

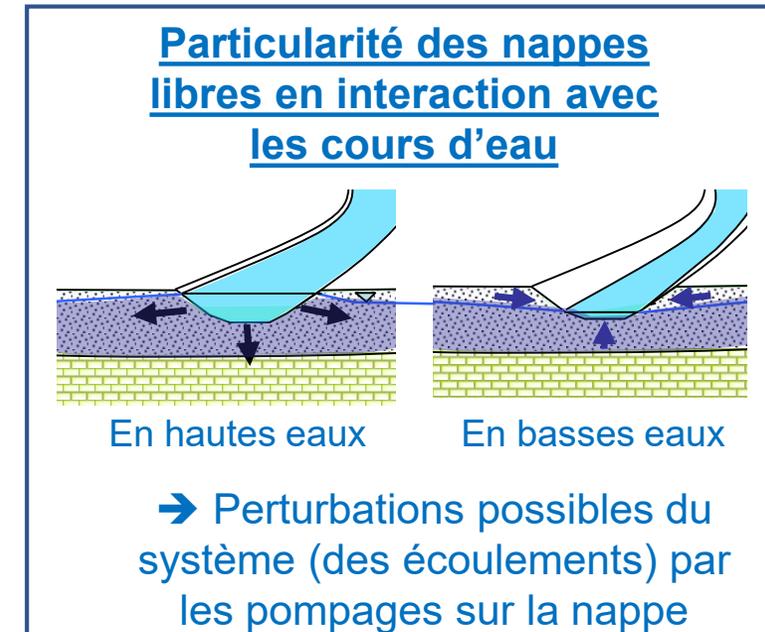
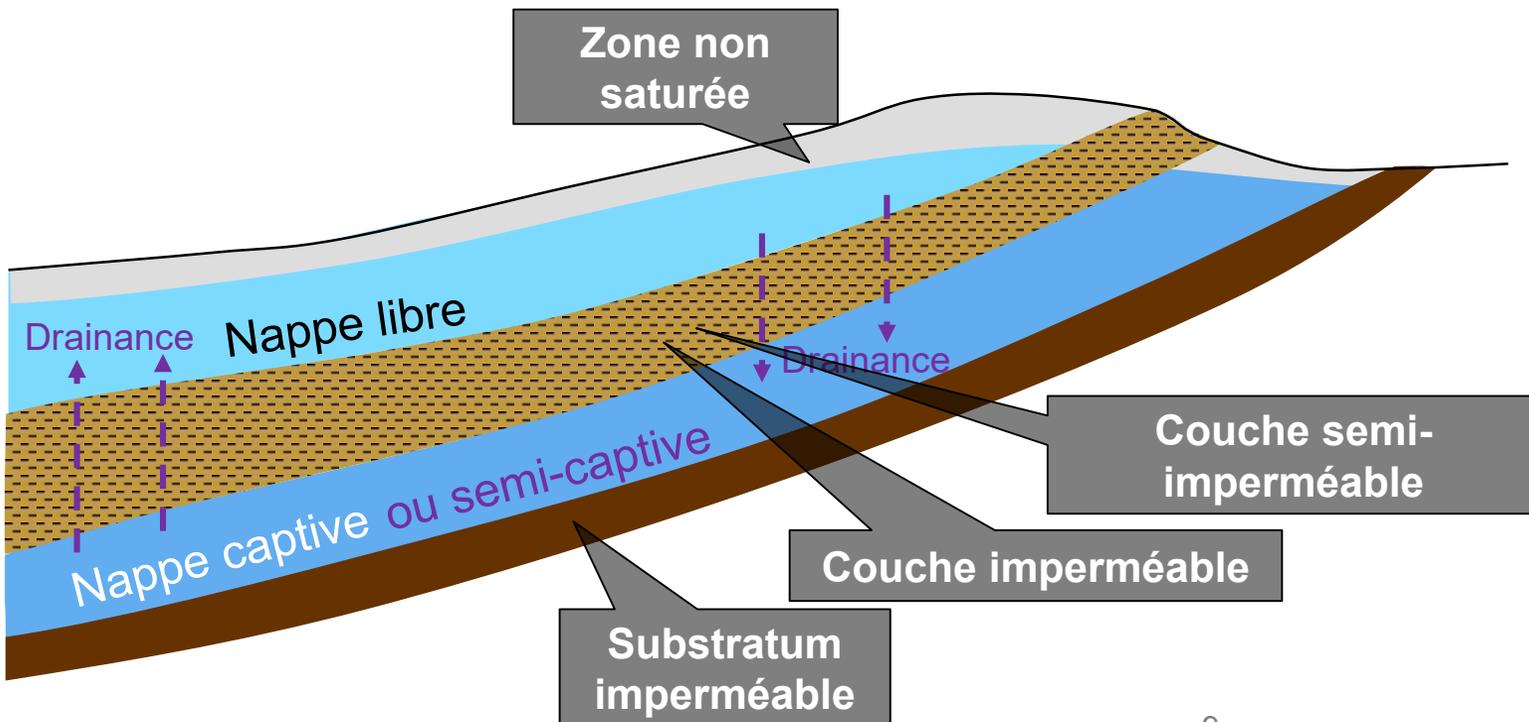


Hétérogène quelle que soit l'échelle



Différents types de nappe

- **Nappe libre** : Surmontée de terrains perméables et d'une zone non saturée (toit). Soutenue par un substratum imperméable (mur)
- **Nappe captive** : Entre 2 formations imperméables (toit et mur)
- **Nappe semi-captive** : Nappe surmontée d'une couche semi-perméable relativement mince et/ou surmontant une telle couche à travers laquelle l'eau peut pénétrer dans la formation aquifère ou en sortir (drainance ascendante/descendante).



Spécificités des différentes nappes

Impact des pompages sur la surface piézométrique et les cours d'eau

- **Nappe libre** : Niveaux d'eau souvent peu profonds et fluctuant sans contrainte (pression atmosphérique). Echanges avec les eaux superficielles. Zone de recharge.
- **Nappe captive** : Eau souterraine généralement sous pression (> pression atmosphérique). Nappe souvent profonde mais pas nécessairement les niveaux piézométriques dans les forages (remontée au-dessus de la cote du toit).
- **Nappe artésienne** : Nappe captive où le niveau piézométrique dans les forages est situé au-dessus de la surface du sol.

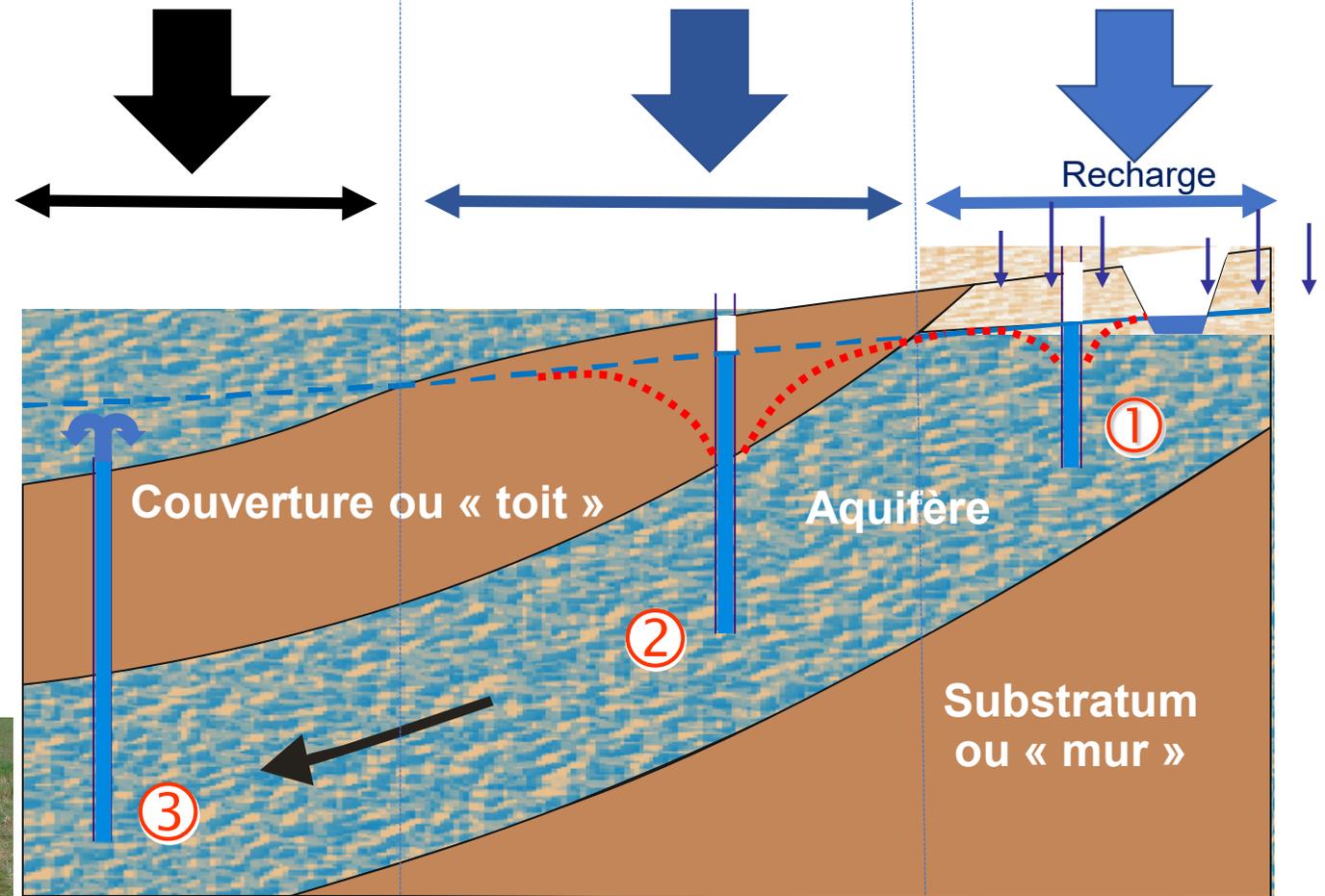
⇒ Une seule et même nappe peut présenter des gisements différents en fonction des spécificités locales (nappe des Grès du Trias inférieur ou GTI)



nappe artésienne

nappe captive

nappe libre



Pompages, exploitation, rabattement et exhaure

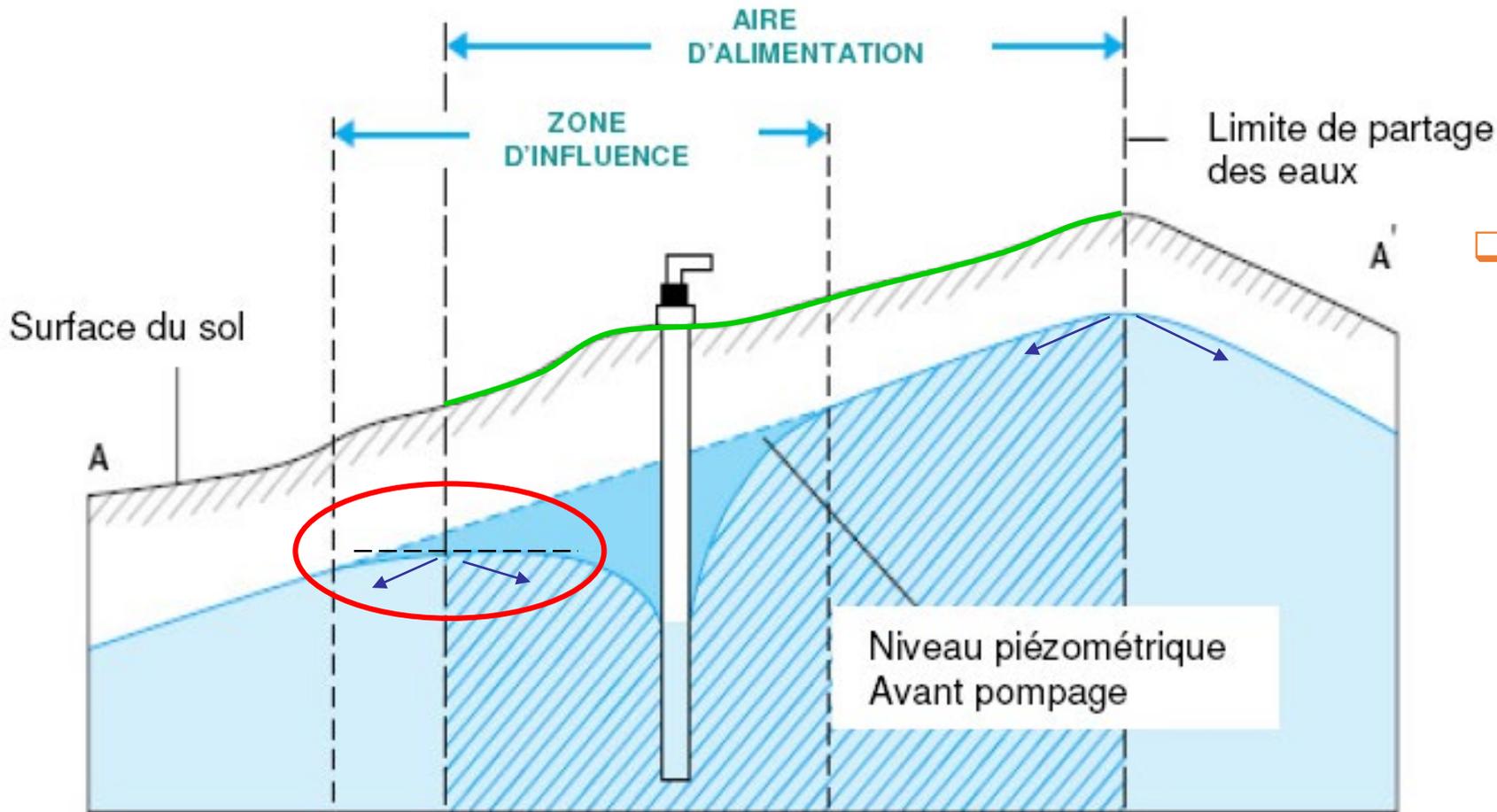


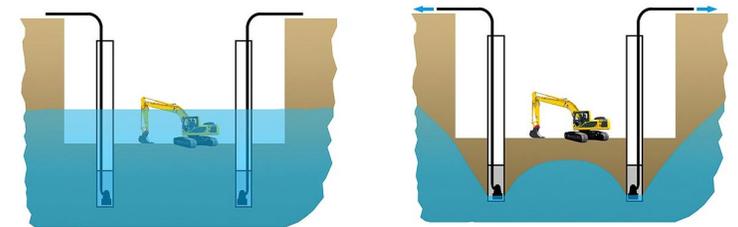
Illustration : DREAL Grand-Est

❑ Configuration standard

Création d'un forage, mise en œuvre d'un pompage pour exploiter la ressource en fonction de contraintes bien définies (protection de l'ouvrage, du milieu naturel, de la ressource).

❑ Configuration mise en sécurité

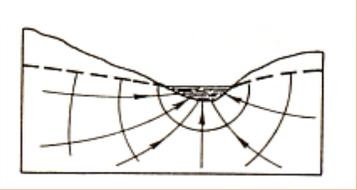
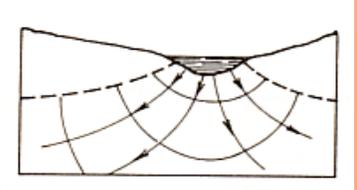
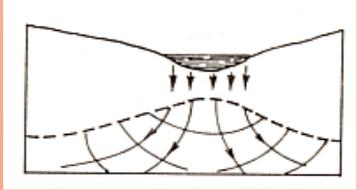
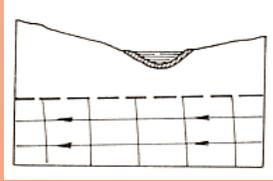
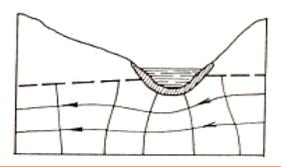
Le rabattement de nappe va permettre « temporairement » d'abaisser le niveau piézométrique de la nappe afin que les travaux se déroulent dans des conditions optimales (hors d'eau). En contexte minier on parle d'exhaure.



Illustrations : <https://www.dsl.fr/rabattement-de-nappe/>

Echanges nappes – rivières

Processus complexe en conditions naturelles et encore plus en contexte anthropisé...

Fonction du contexte géologique, du type de nappe et des positions relatives dans la saison → Analyse et caractérisation par tronçons	Liaison hydraulique directe entre la rivière et la nappe	Pas de liaison directe entre rivière et nappe → déconnectés	
		Cours d'eau perché	Cours d'eau isolé → couche imperméable
Cours d'eau est drainant Echange de la nappe vers la rivière			
Cours d'eau infiltrant Echange de la rivière vers la nappe			
Nappe et rivière sont indépendants			

Des outils de diagnostic : observations et mesures (statiques ou dynamiques), modélisation, géochimie...

Hydrogéologie et fonctionnement des nappes
Cycle de l'eau souterraine

https://youtu.be/s_8xU8anRrs



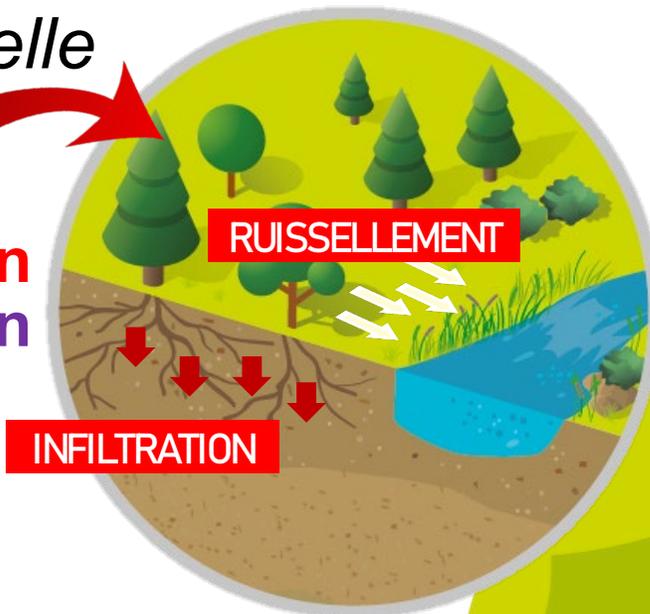
Impact du changement climatique sur le cycle de l'eau

Exemple de la Moselle

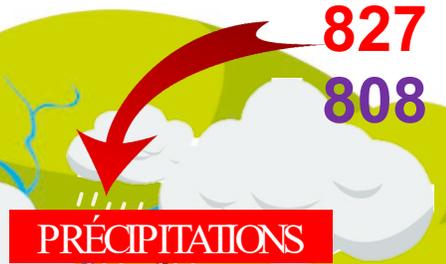
1960 > 1990

2000 > 2022

333 mm/an
278 mm/an



827 mm/an
808 mm/an



EVOLUTIONS ENTRE DEUX PÉRIODES

- EAU POUR LES PLANTES : +7%
- PRÉCIPITATIONS : -2%
- EAU POUR LES RIVIÈRES ET NAPPES (INFILTRATION/RUISSELLEMENT) : -17%
- STRESS POUR LES PLANTES : + 72%

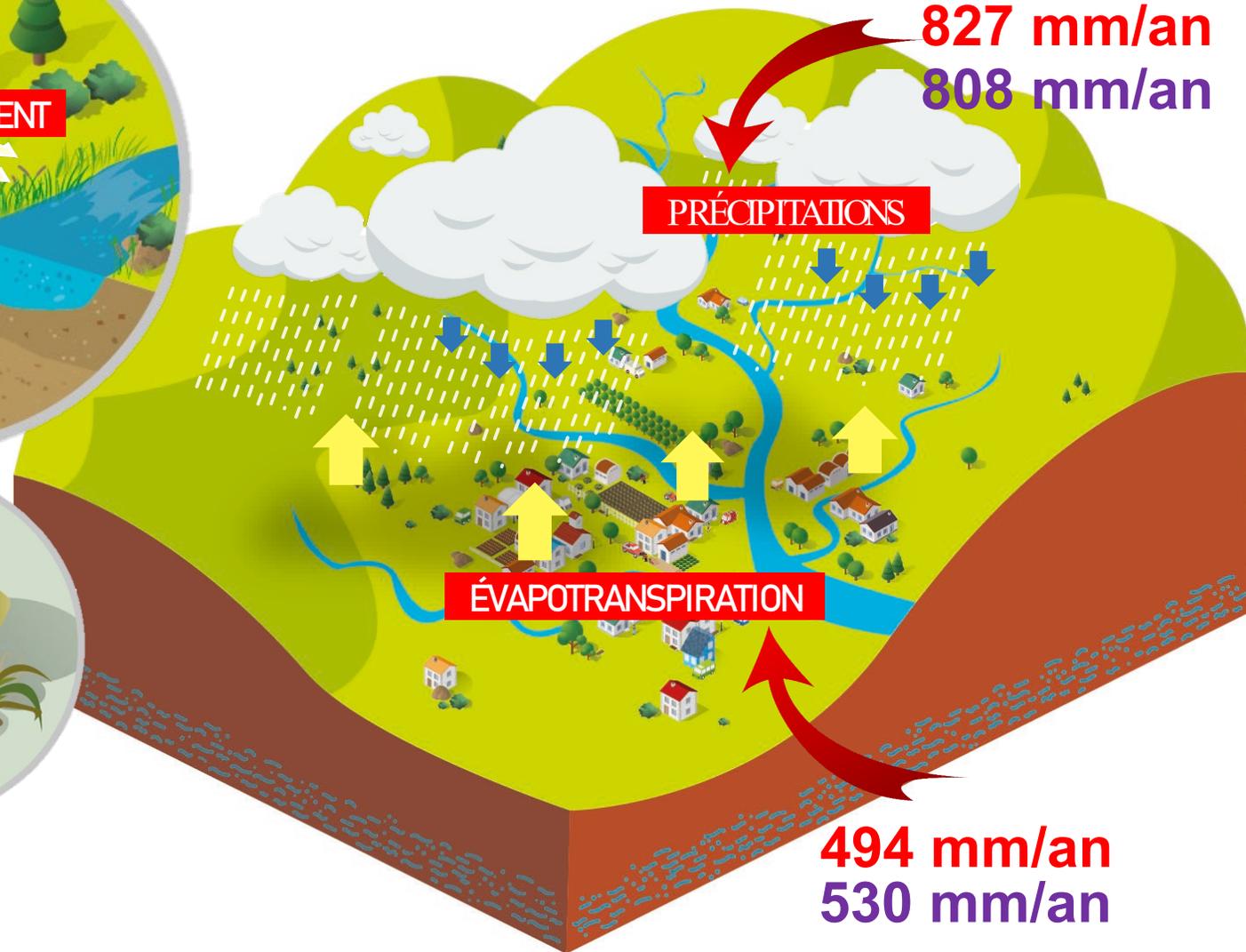
STRESS HYDRIQUE

118 mm/an
203 mm/an



ÉVAPOTRANSPIRATION

494 mm/an
530 mm/an



Source : AERM (données SAFRAN/ISBA Météofrance)

Risques de remontée de nappe

Processus complexe en conditions naturelles et encore plus en contexte anthropisé...

❑ Nappes d'eau souterraines concernées

- Celles situées à **faible profondeur** → épaisseur de zone non saturée réduite, niveau d'eau proche de la surface
- Celles pour lesquelles les **écoulements** sont **rapides** et caractérisées par des **échanges importants avec les cours d'eau** (alluvions, calcaires, craie...) → brusques variations de niveau

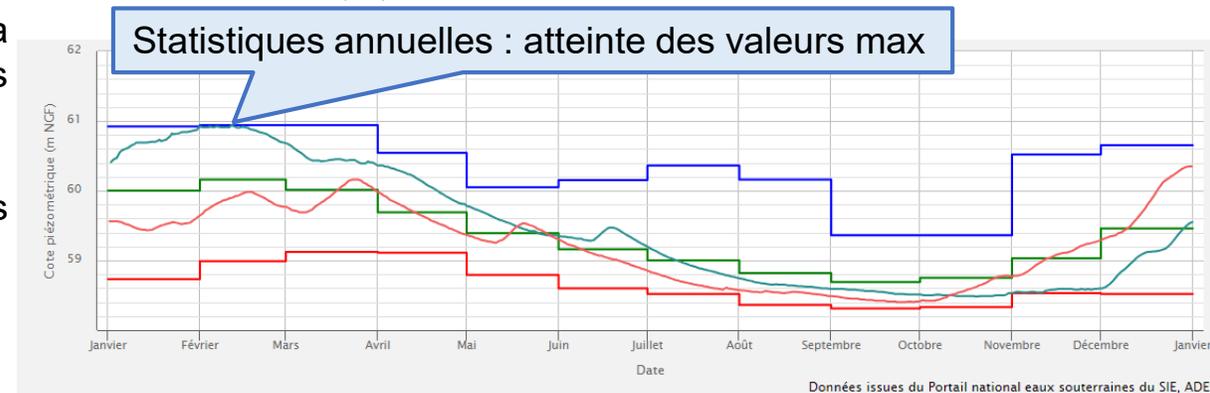
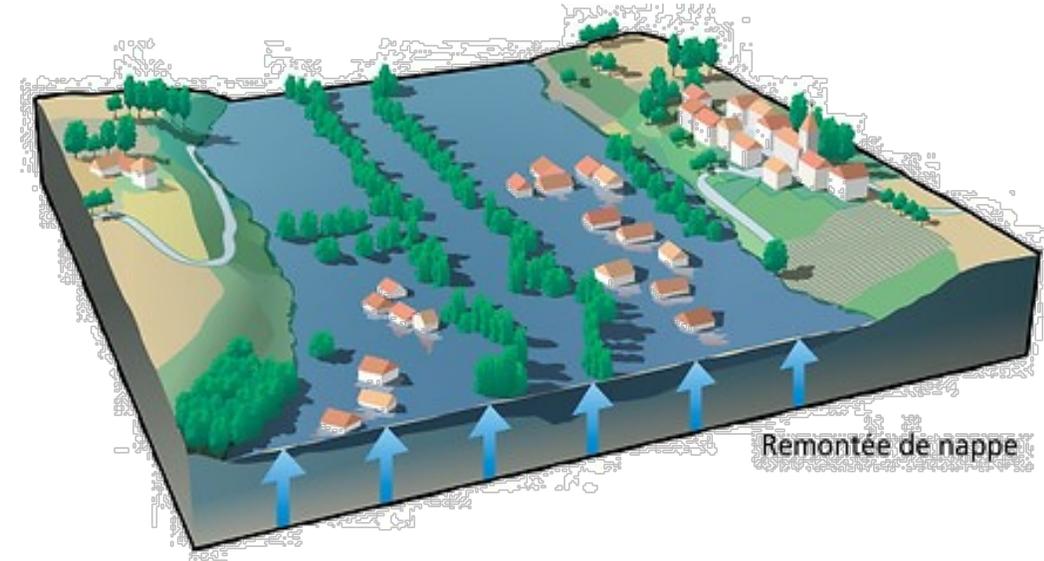
❑ Phénomène **normal** pour ces nappes

- Le niveau d'eau s'élève **normalement** après chaque période de recharge (variations saisonnières)

❑ Phénomène **anormal** si...

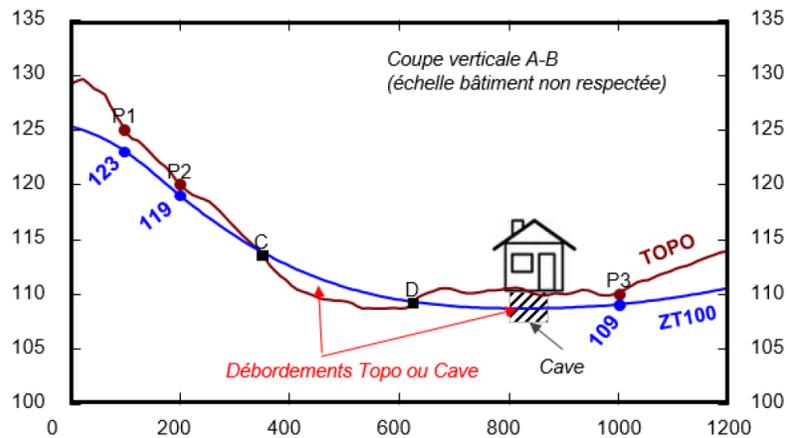
- Recharge saisonnière est exceptionnelle
- Bilan hydrologique est déséquilibré (volume d'eau infiltré dans la nappe > stock habituel du réservoir et aux prélèvements + sorties par les exutoires naturels (source ou cours d'eau))
- Atteinte du niveau des plus hautes eaux
- Atteinte des fondations habituellement hors d'eau, inondation des caves ou sous-sol, débordement en surface du sol

Des outils spécifiques : plateforme © GEORISQUES avec dossier et cartographie nationale, méthodologie pour un travail à l'échelle locale (hors urbanisation, mines et karst)

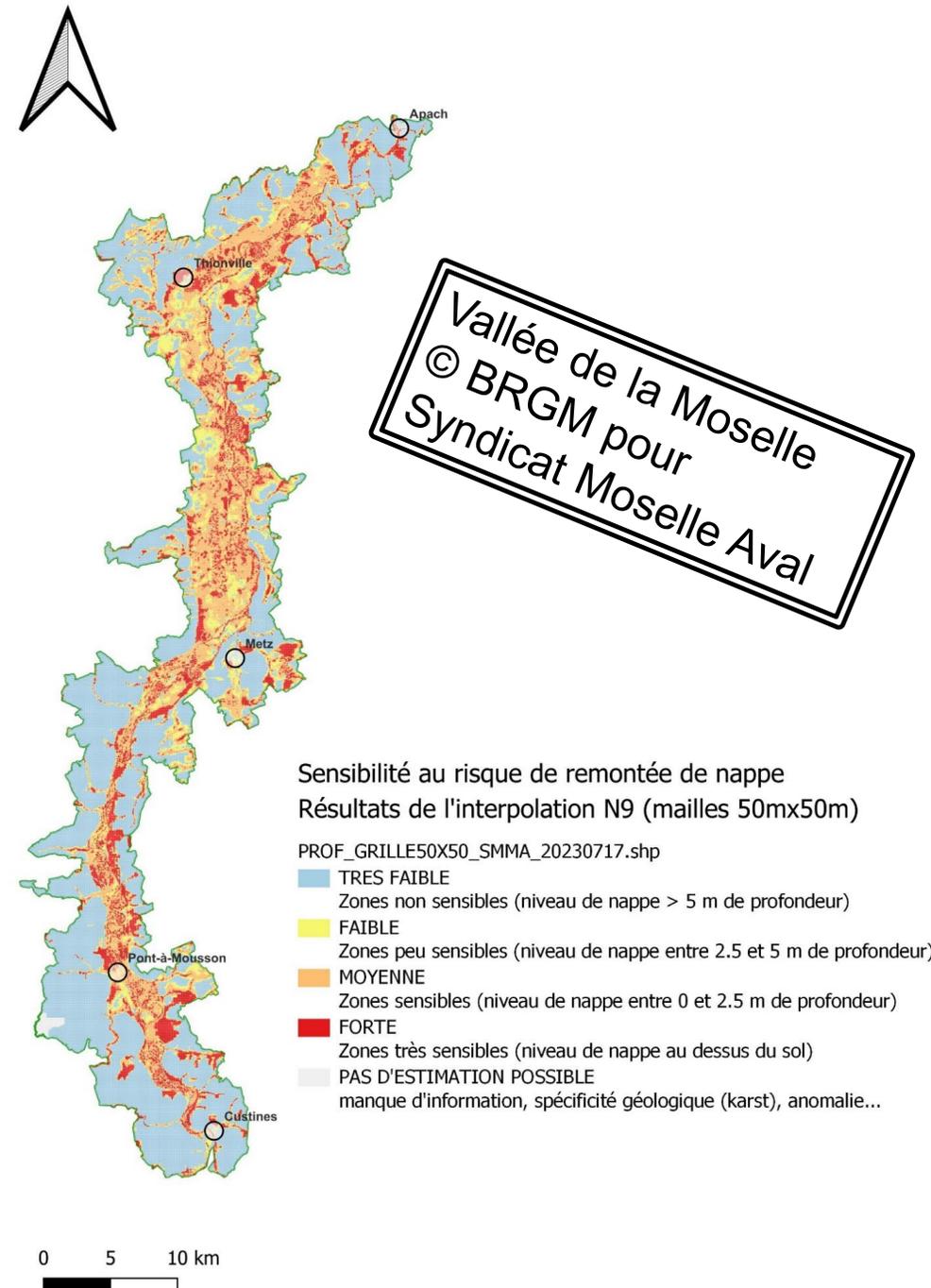
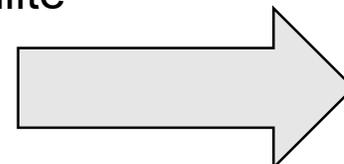


Exemple de cartographie locale de la sensibilité au risque de remontée de nappe

- ❑ Comparaison entre les surfaces topographique (**TOPO**) et piézométrique interpolée ou simulée via modélisation hydrodynamique (**ZT100**)
- ❑ Détermination de la profondeur de la nappe en période de très hautes eaux (risque maximal) par rapport au sol
- ❑ Définition de classes de profondeur et de sensibilité



119 ● Piézomètre avec valeur de Z100 = surface piézo avec période de retour 100 ans
— ZT100 interpolé = surface piézo avec période de retour 100 ans





Questions ? Commentaires ?





Partie 2 – Spécificités du Bassin Houiller Lorrain



DREAL Grand Est

Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement

[Accueil](#) > [Risques Anthropiques](#) > [Risques miniers - sous-sol](#) > [8 - Surveillance](#) > [Surveillance du bassin houiller lorrain](#) > [Suivi de l'ennoyage du bassin Houiller](#)

LES RESERVOIRS
DU BASSIN
HOULLER
LORRAIN

SURVEILLANCE
DE L'ENNOYAGE -
ASPECT
QUANTITATIF

ACCÉDEZ AUX
COURBES DE
SUIVI DE
L'ENNOYAGE
(m.à.j. au
31/05/2022)

SURVEILLANCE
DE L'ENNOYAGE -
ASPECT
QUALITATIF



Portail national d'accès aux données sur les eaux souterraines (ADES) → points de surveillance des nappes à l'échelle nationale et locale

SIGES Rhin-Meuse

Espace cartographique du SIGES Rhin-Meuse



Espace cartographique
Région Grand-Est

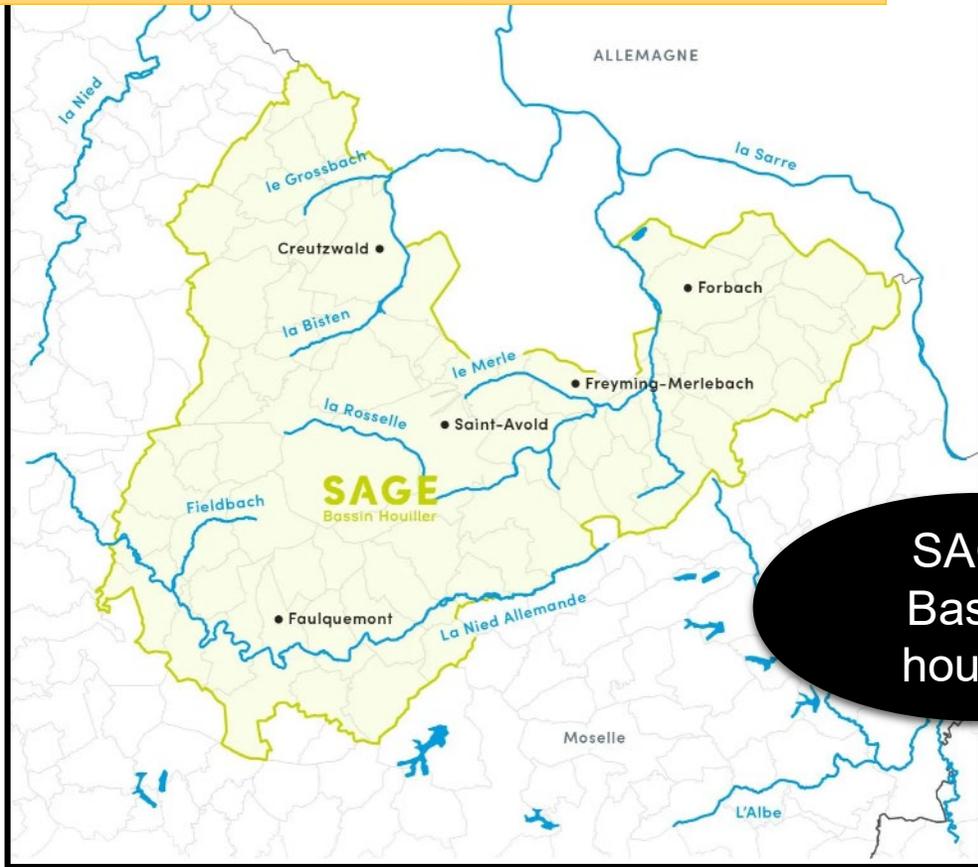


<https://cdi.eau-rhin-meuse.fr/>

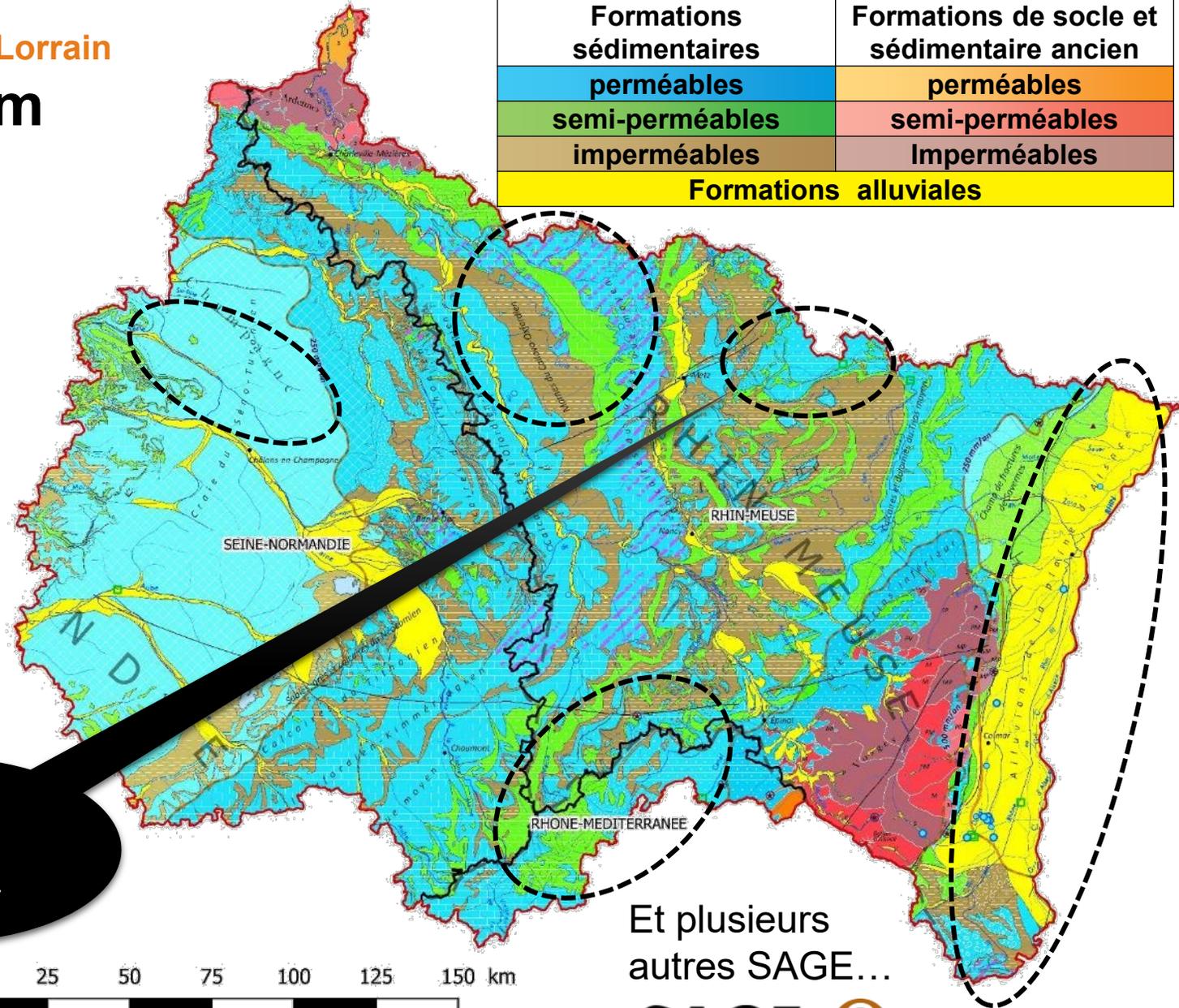
Spécificités hydrogéologiques du Bassin Houiller Lorrain

Carte hydrogéologique : zoom Grand-Est

Superficie : 576 km²
 Nombre de communes : 72 communes
 Population : environ 250 000 habitants
 Cours d'eau principaux : Merle, Rosselle, Bisten



SAGE Bassin houiller



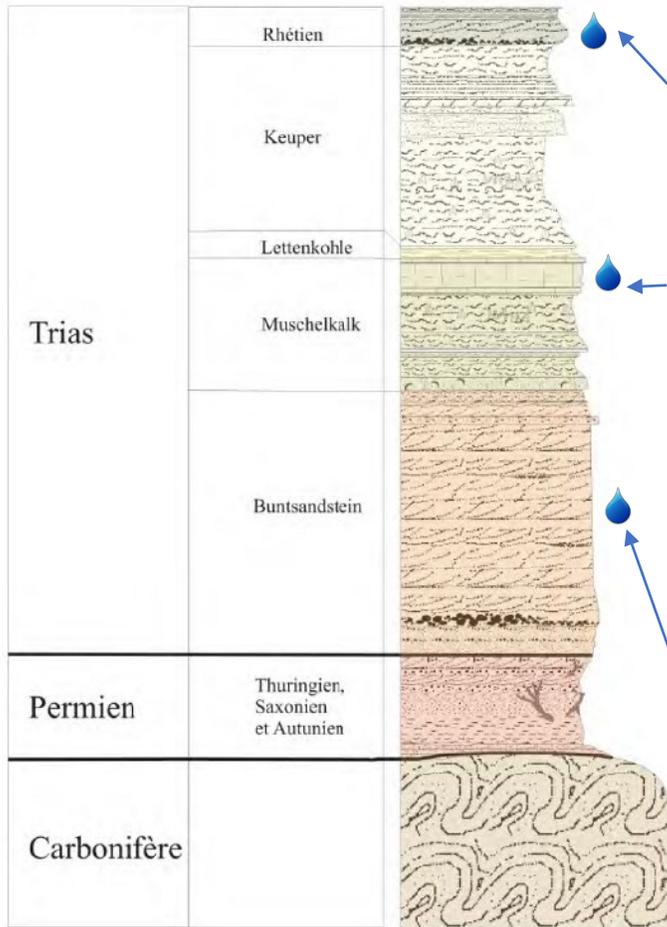
Et plusieurs autres SAGE...

Quelles nappes concernées ?

Contexte géologique de type sédimentaire connu / impacté par les activités minières

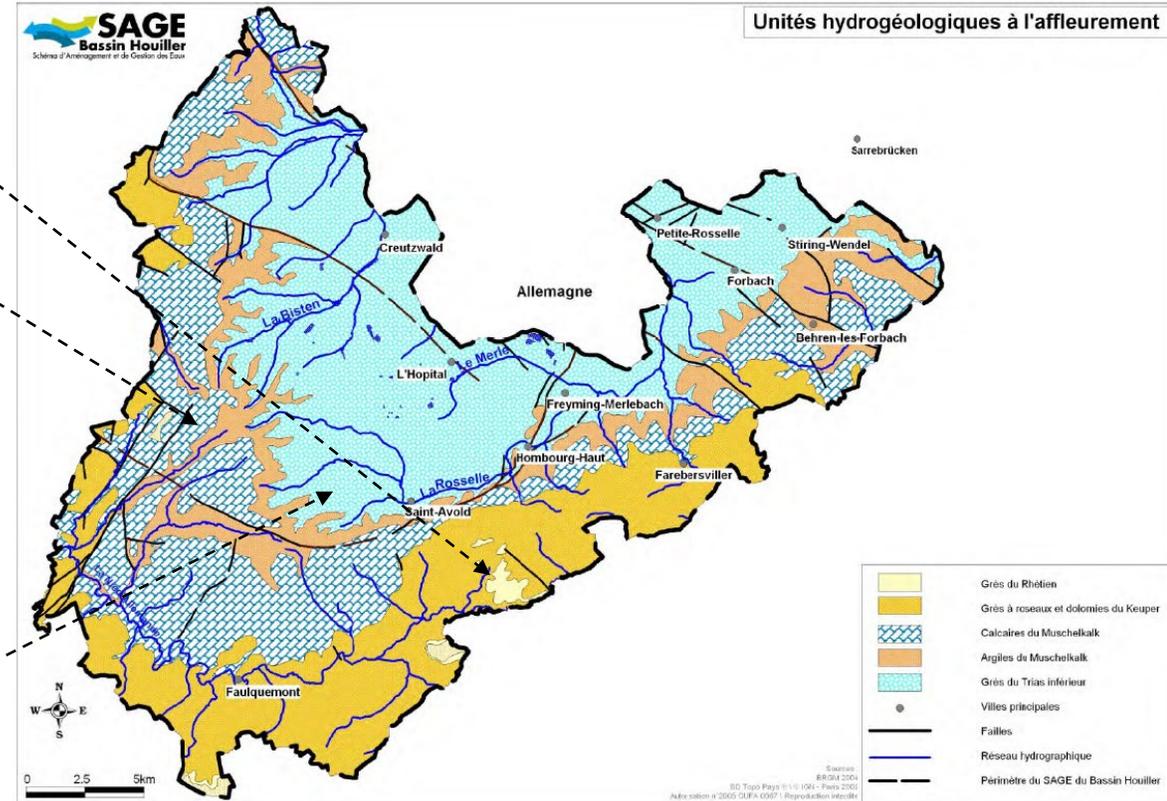
Alluvions quaternaires

Différents aquifères alluviaux en grande partie subordonnés aux cours d'eau (hétérogènes)

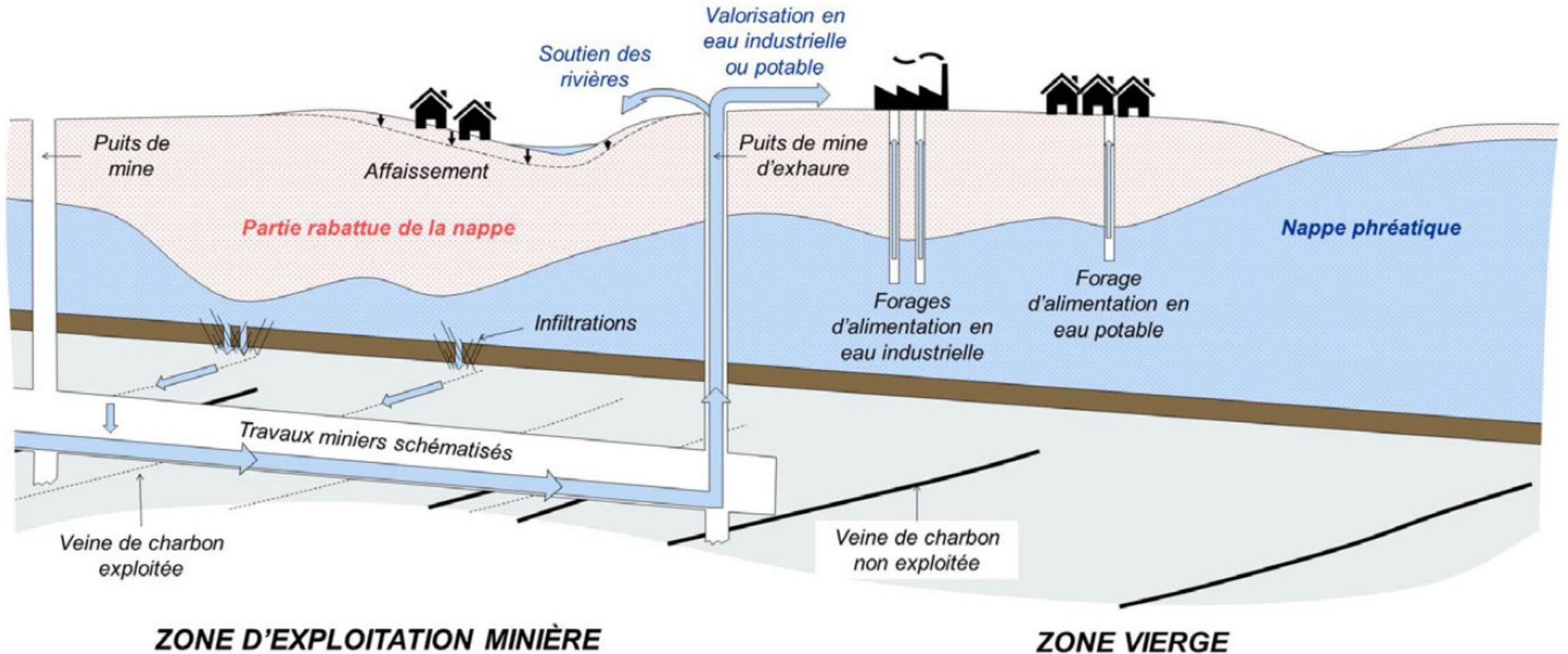


Trois réservoirs principaux

- les **Grès du Rhétien**
 - situés entre deux niveaux argileux (Argiles de Levallois au sommet et marnes à dolomie et gypse du Keuper à la base)
- les **Calcaires du Muschelkalk** qui se décomposent ainsi
 - Dolomie inférieure (10 m environ) fissurée, Marnes bariolées en alternance localement avec des bancs gréseux, Dolomie limite → Lettenkohle
 - Calcaire à Cératites
 - Calcaire à Entroques
- les **Grès du Trias Inférieur (GTI)** qui constituent un aquifère multicouche et compartimenté
 - Grès à Volzia
 - Grès vosgiens
 - Grès d'Annweiler

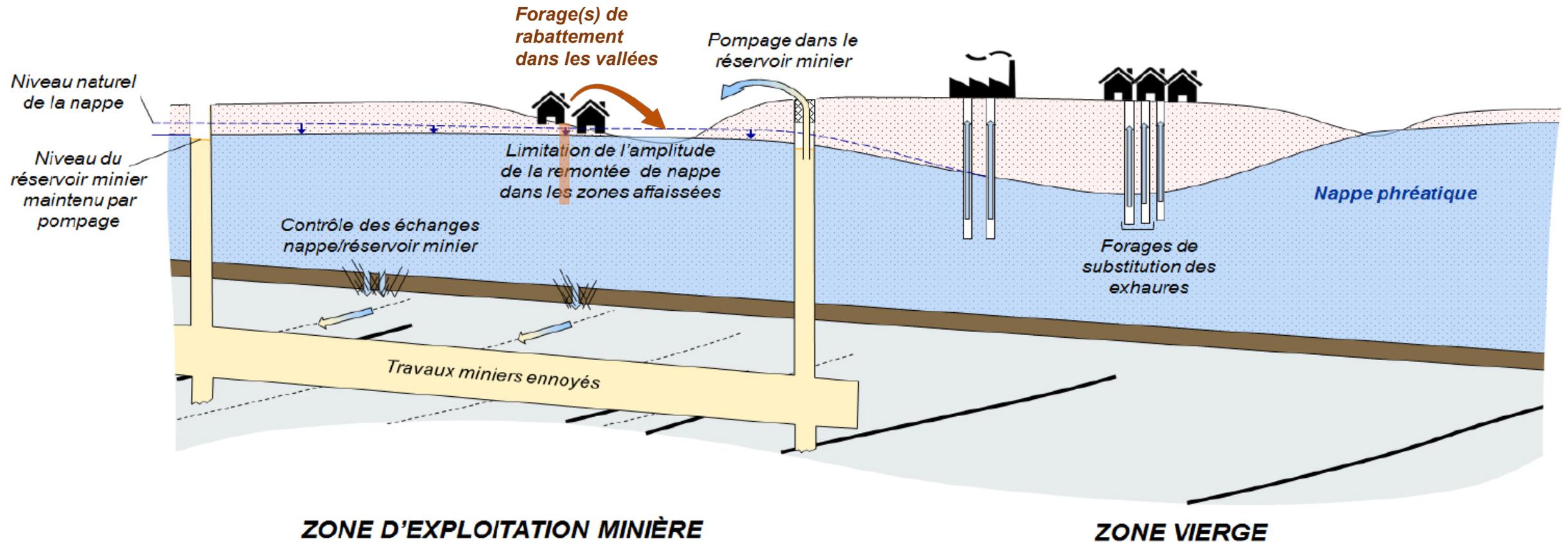


Quels impacts sur la nappe du temps de l'activité minière ?



Durant l'exploitation minière, les eaux infiltrées étaient en permanence pompées et ramenées à la surface → nappe rabattue

Quels impacts sur la nappe après l'arrêt de l'activité minière ?



Les réservoirs miniers sont ennoyés. Le niveau de la nappe remonte progressivement vers la surface (état naturel). Des pompages stratégiques sont mis en place pour limiter l'amplitude de cette remontée

Synthèse des conséquences

Avant l'activité minière et industrielle :

→ Les nappes alimentent les cours d'eau

Pendant l'activité minière et industrielles :

→ fractures du permien → infiltration des eaux de la nappe dans les réservoirs

→ affaissement des terrains

→ assèchement des terrains → urbanisation

→ rabattement généralisé de la nappe

→ alimentation artificielle des cours d'eau

Après l'arrêt des exhaures minières et la baisse des autres prélèvements anthropiques :

→ ennoyage des travaux miniers

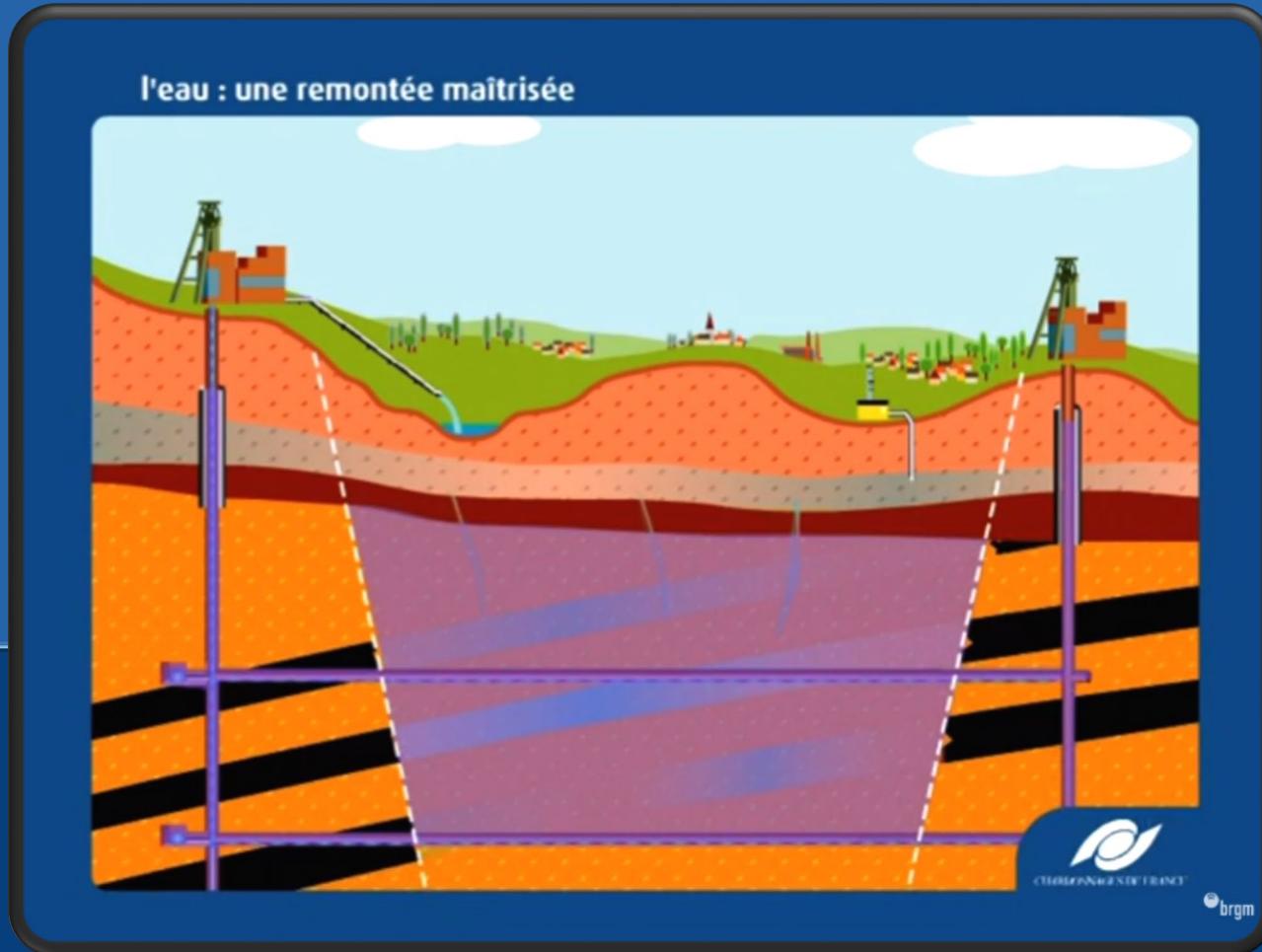
→ modification du débits des cours d'eau

→ reconstitution de la nappe

→ stations de pompage dans les réservoirs miniers

→ pompage de rabattement de la nappe en cours et à venir

Synthèse du contexte et de la problématique en 2006



Aspects importants

Au regard du cycle de l'eau durant la phase de reconstitution de la nappe

- Le système est conservatif → pas d'eau supplémentaire (entrées = sorties)
- Nouvelle répartition des volumes d'eau (nappe, rivières, milieux naturels) dans le temps et dans l'espace

Au regard des besoins de connaissances

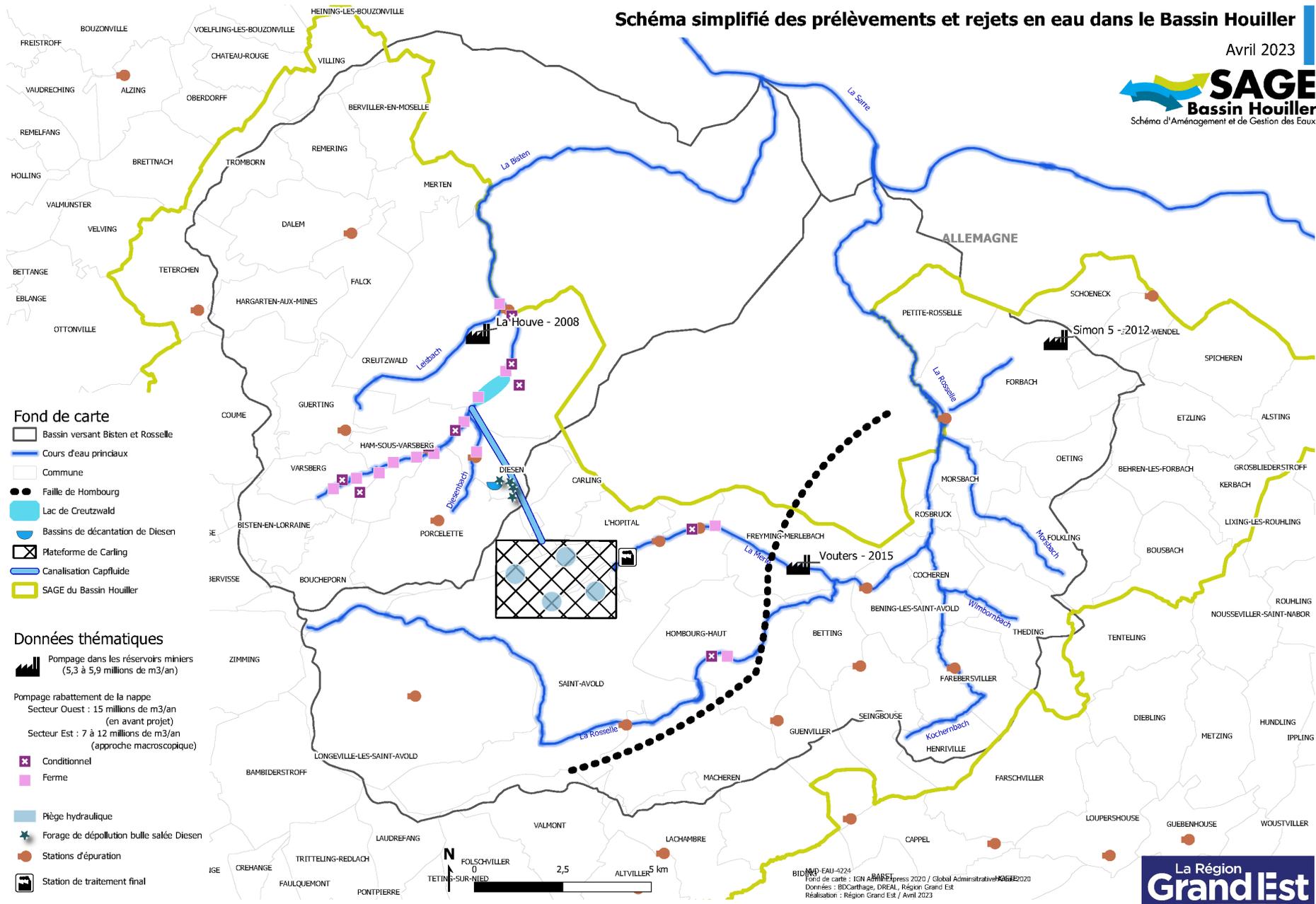
- Avant l'envoyage complet et la remontée → intérêt pour la profondeur
- Maintenant → intérêt pour la zone proche de la surface (ZNS)

Spécificités hydrogéologiques du Bassin Houiller Lorrain

Situation en 2023

Schéma simplifié des prélèvements et rejets en eau dans le Bassin Houiller

Avril 2023



- Fond de carte**
- Bassin versant Bléten et Rosselle
 - Cours d'eau principaux
 - Commune
 - Faille de Hombourg
 - Lac de Creutzwald
 - Bassins de décantation de Diesen
 - Plateforme de Carling
 - Canalisation Capfluide
 - SAGE du Bassin Houiller

- Données thématiques**
- Pompage dans les réservoirs miniers (5,3 à 5,9 millions de m³/an)
 - Pompage rabattement de la nappe
 - Secteur Ouest : 15 millions de m³/an (en avant projet)
 - Secteur Est : 7 à 12 millions de m³/an (approche macroscopique)
 - Conditionnel
 - Ferme
 - Piège hydraulique
 - Forage de dépollution bulle salée Diesen
 - Stations d'épuration
 - Station de traitement final



BID01-FAU-4724
 Fond de carte : IGN ADRES 2020 / Global Administrative Data 2020
 Données : BDCarriage, DREAL, Région Grand Est
 Réalisation : Région Grand Est / Avril 2023



Pourquoi un modèle régional GTI ?

Les besoins initiaux

- **Etudier le fonctionnement global de la nappe des GTI et quantifier son déficit** suite à la baisse continue des niveaux piézométriques depuis 1950, dans certains secteurs : bassin houiller lorrain, Vittel - Contrexéville.
 - **Prévoir l'évolution future de la nappe** (niveaux, bilan des débits) selon différents scénarios d'évolution des pompages.
- ⇒ **D'où la « construction » d'un modèle régional GTI développé sous MARTHE depuis 1993 par le BRGM (financements principaux AERM et BRGM)**

Les nouveaux objectifs

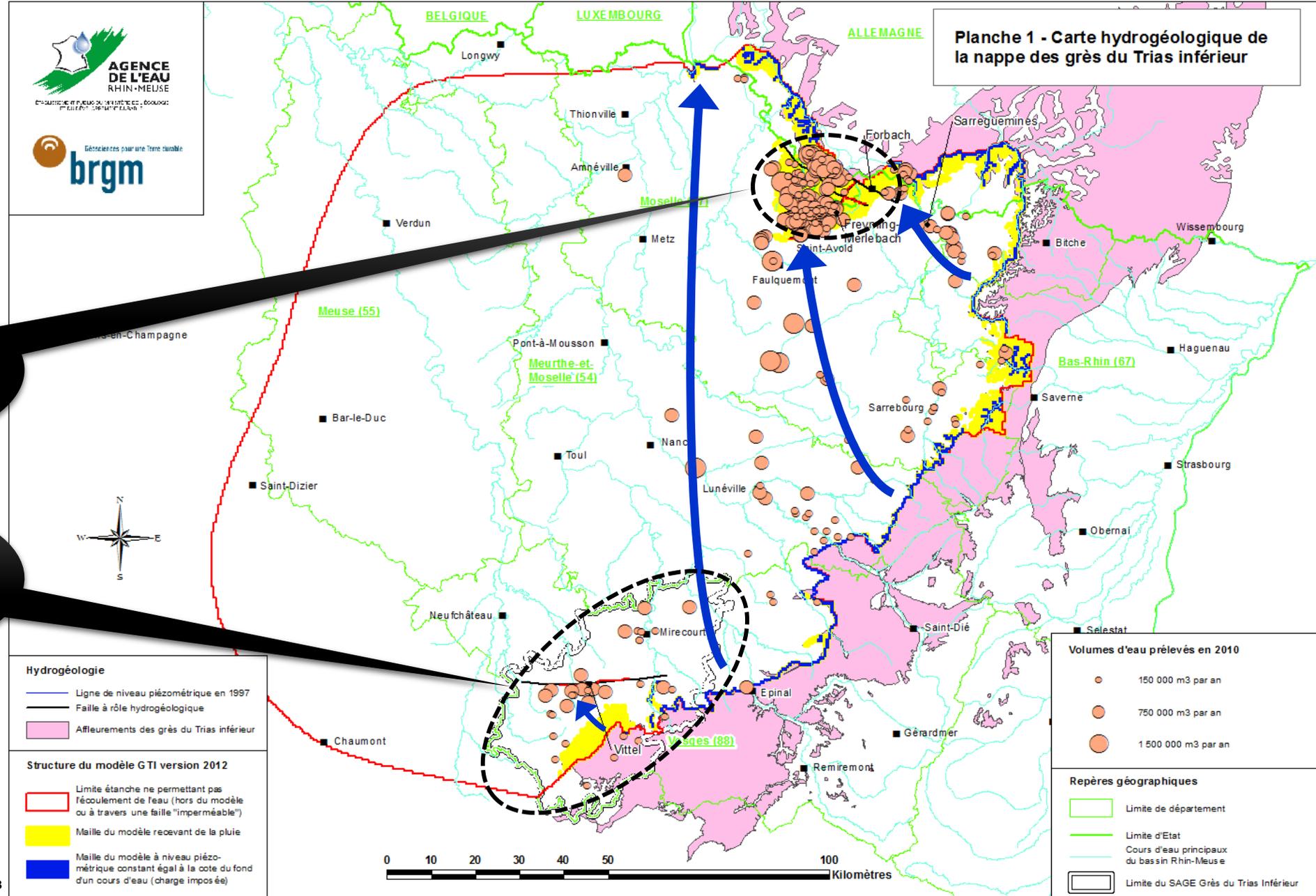
- Après l'activité minière, **prévoir la remontée de la nappe et le risque d'apparition de désordres en intégrant les conditions naturelles de recharge de la nappe des GTI et l'évolution projetée des prélèvements anthropiques**
- ⇒ **D'où la « reconstruction » du modèle GTI dans le bassin houiller (financements GEODERIS)**
- Introduction d'un **gigogne** (mailles 500 m → 50 m)
 - Modélisation simplifiée des mines
 - Prise en compte des nombreuses données de géologie minière
 - Modélisation des échanges **nappe-mine** et **nappe-rivière**
 - ...

Spécificités hydrogéologiques du Bassin Houiller Lorrain

Extension du modèle régional

SAGE Bassin houiller

SAGE GTI



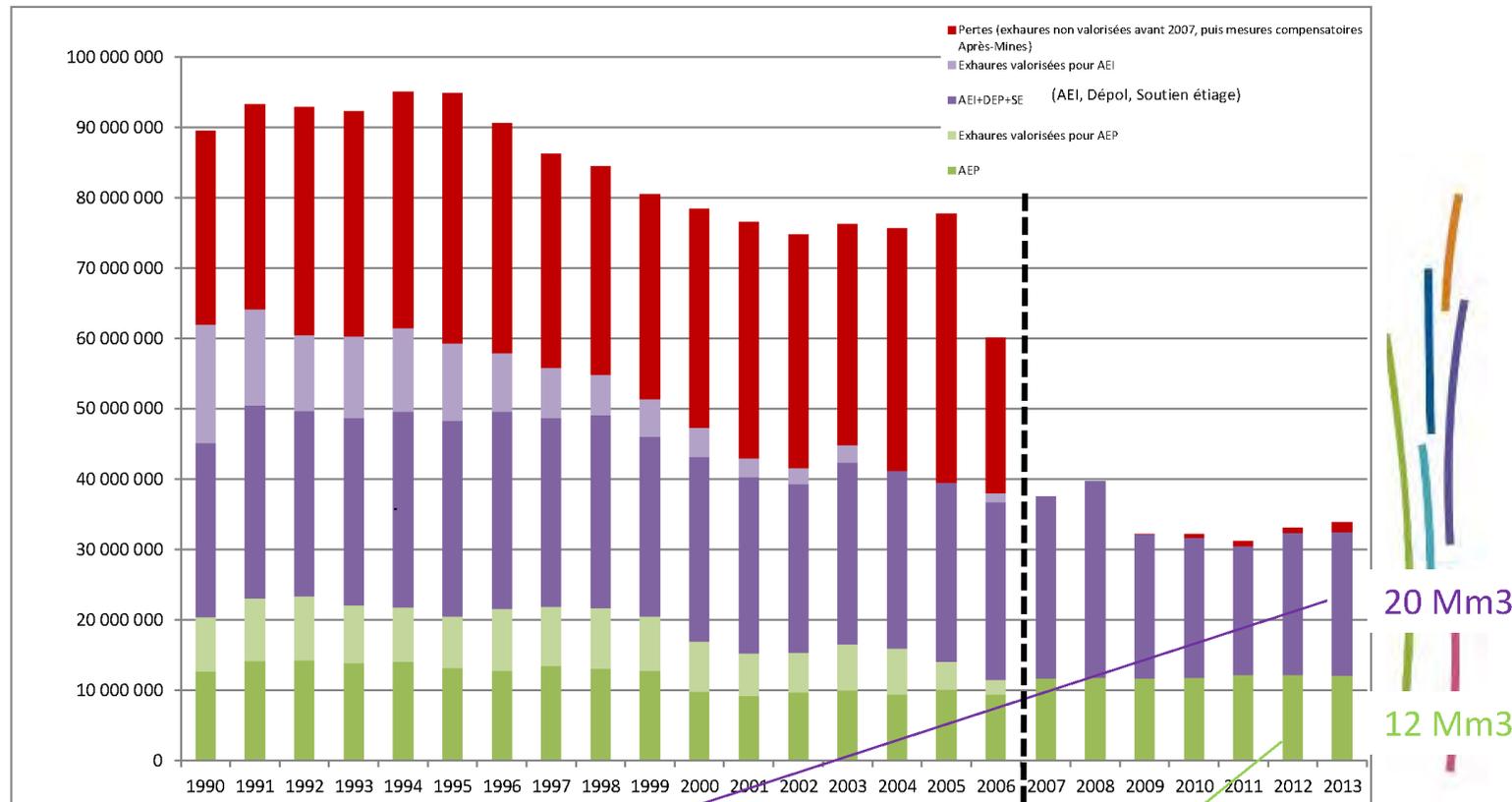
Modélisation : prise en compte de l'évolution des prélèvements

AEI = alimentation en eau industrielle

AEP = alimentation en eau potable

Source d'information : présentation DREAL au comité de suivi remontée de nappe 6 octobre 2017

Changements majeurs en cours (cf. documents d'élaboration du SAGE BH, scénario tendanciel)
dont évolution des prélèvements d'eau dans la nappe libre des GTi



Prélèvements AEI seule : 2014 ≈ 14 Mm³

2015 ≈ 16 Mm³

2016 ≈ 13 Mm³

Estimation AEP -22% de 2012 à 2030 : ≈ 10 Mm³

• Pompages miniers

- Jusqu'en 2006 >30 Mm³/an
- 0 en 2007 → arrêt des exhaures
- Nouveaux à partir de 2010 pour accompagner la remontée

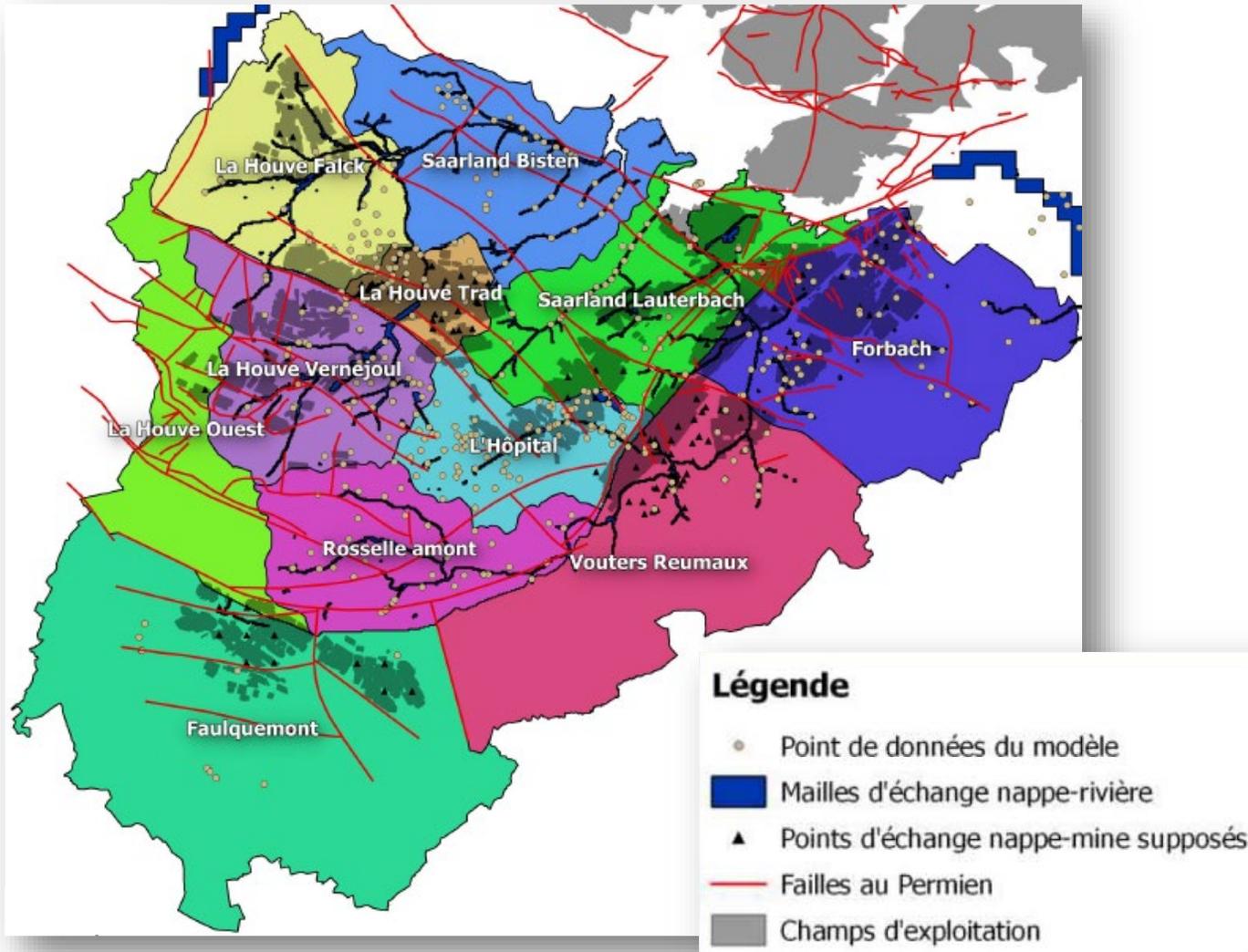
• Diminution des prélèvements AEI

- En 1990 = 42 Mm³/an y compris exhaure valorisé
- En 2007 = 25 Mm³/an
- En 2013 = 20 Mm³/an
- En 2016 = 13 Mm³/an
- Prévisionnel post 2023 = 8 Mm³/an (modélisation en cours)

• Baisse des prélèvements AEP

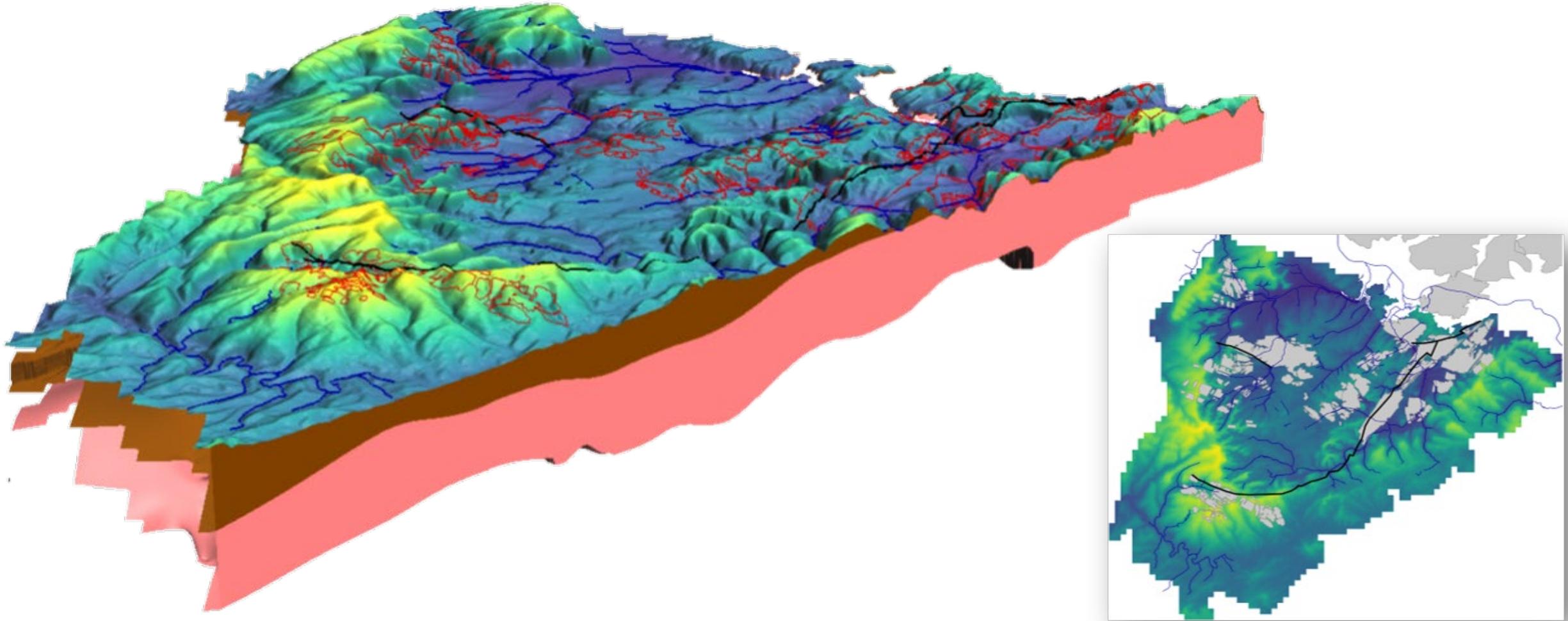
- En 1990 = 20 Mm³/an y compris exhaure valorisée
- En 2013 = 12 Mm³/an
- Actuellement toujours en légère baisse

Gigogne du Bassin Houiller : 11 secteurs

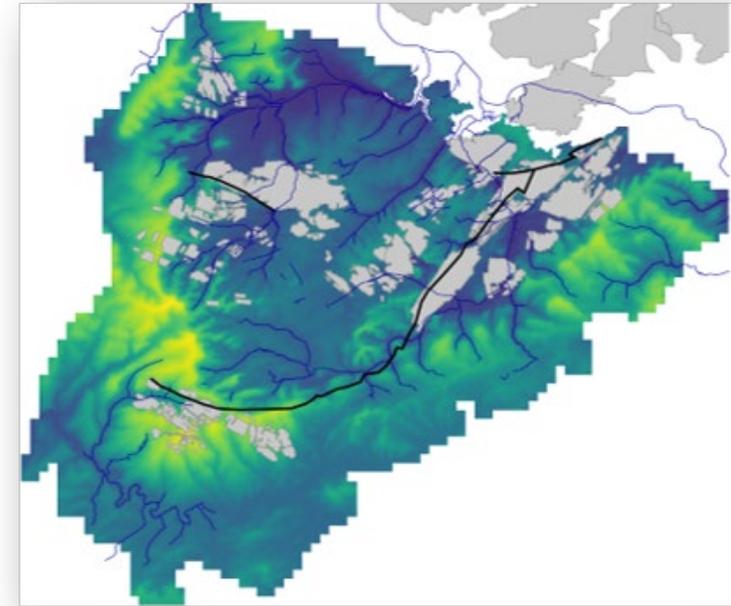
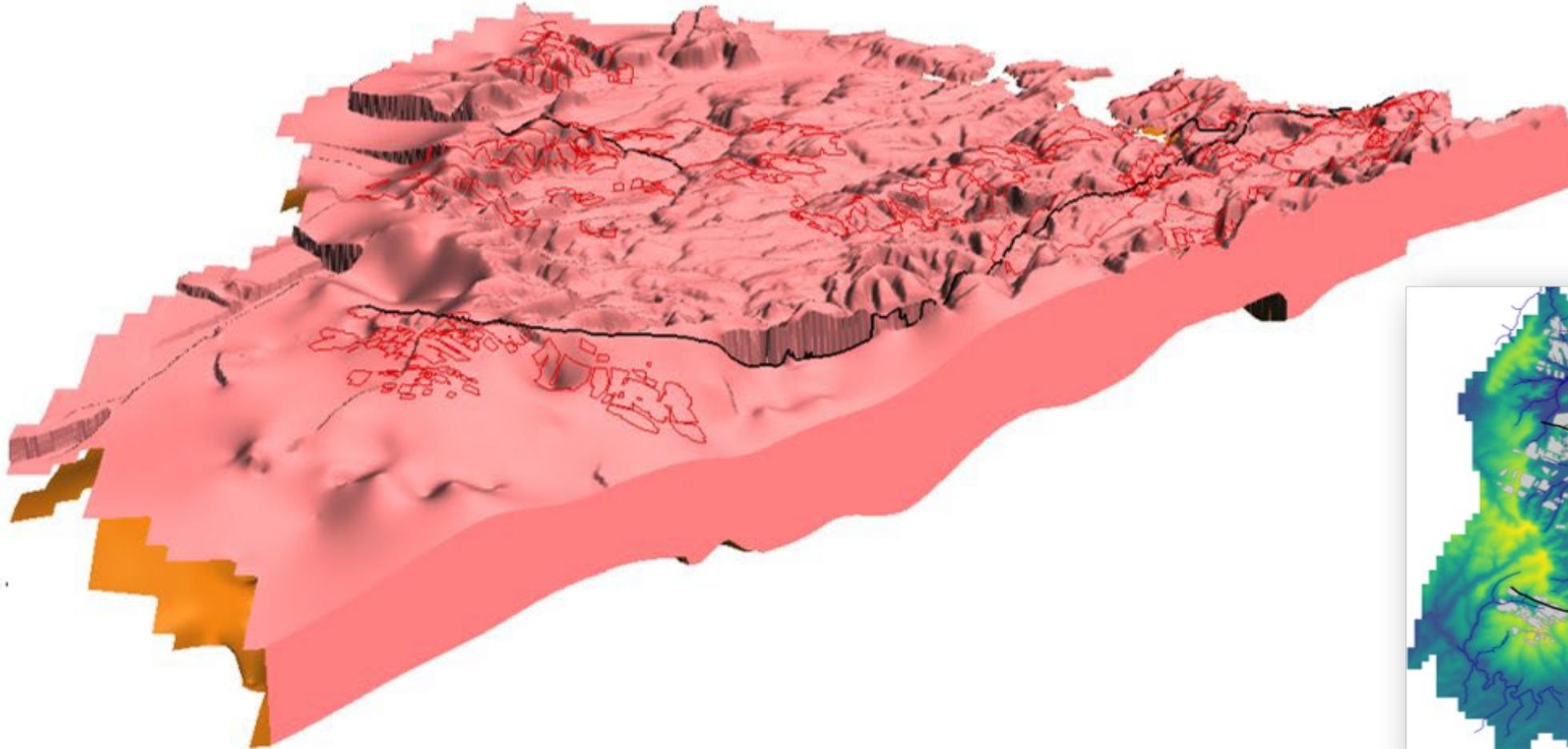


- ❑ **Système hydrogéologique complexe** (géologie, hydrogéologie, mines)
- ❑ **Sectorisation de la zone** sur les critères géographiques, géologiques et hydrogéologiques
- ❑ **680 points de données** (600 Fr + 80 All)
- ❑ **Nécessité d'améliorer régulièrement le modèle et de contrôler les résultats** des simulations prévisionnelles : recalages réguliers du modèle (piézo, MNT), évaluation de la représentativité de chaque donnée, expertises franco-allemandes à la demande de l'Etat...
- ❑ **Prévisions de développements de nouvelles fonctionnalités** sur le modèle du Bassin Houiller (failles, alluvions...)

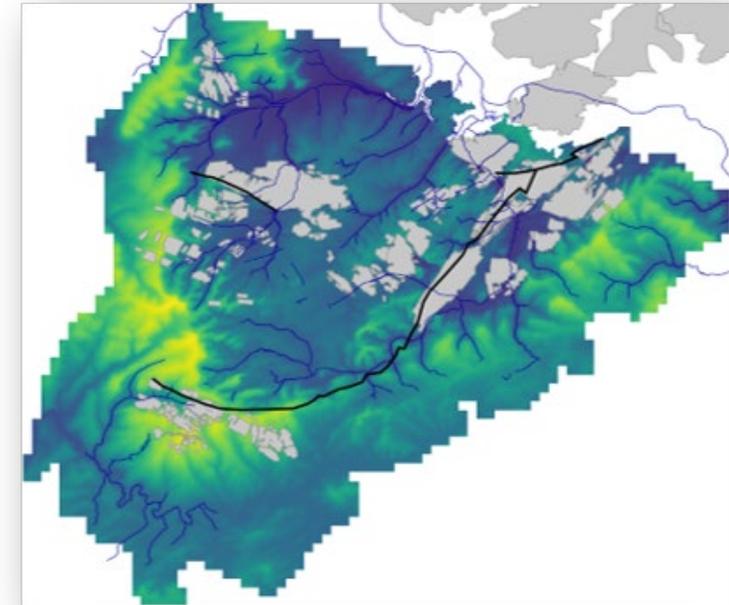
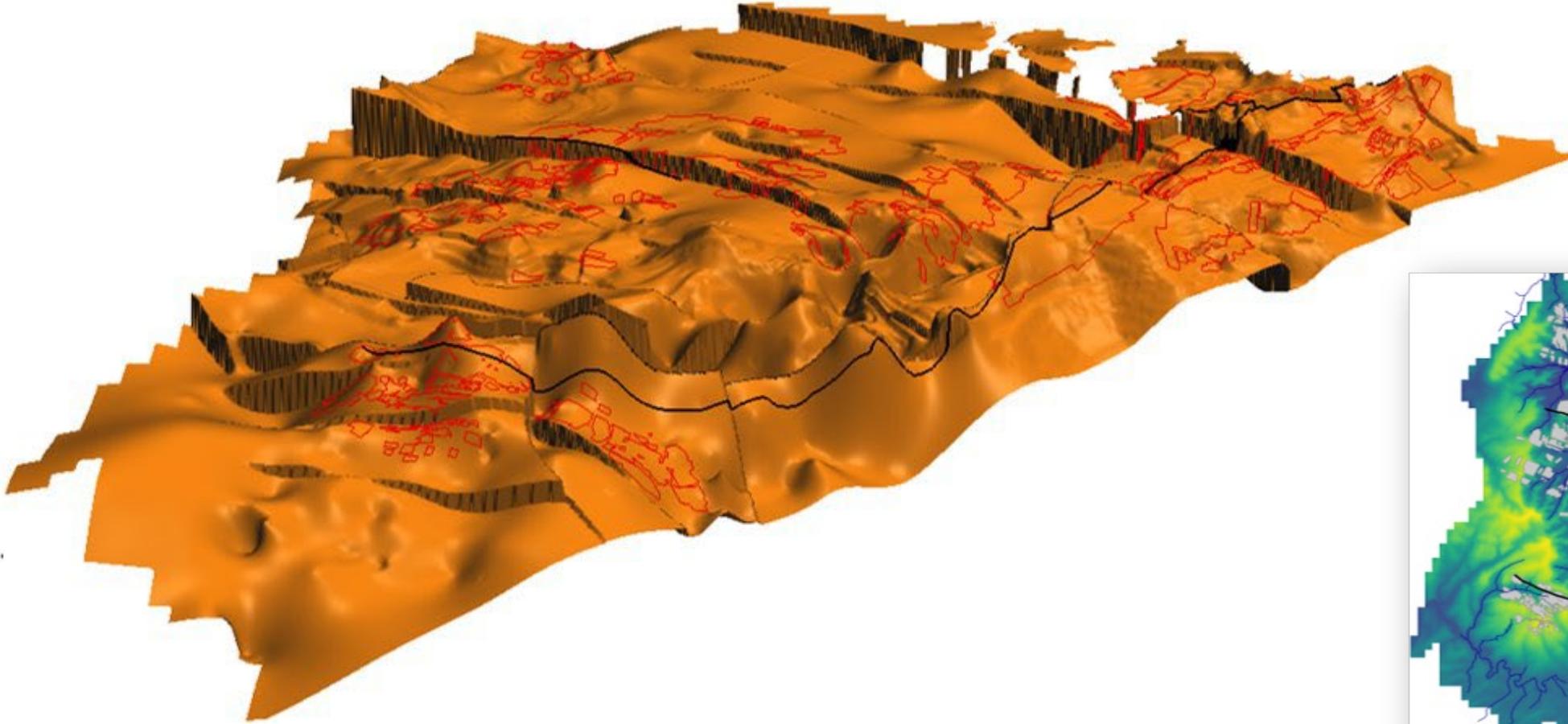
Gigogne du Bassin Houiller : topographie



Gigogne du Bassin Houiller : toit des GTI

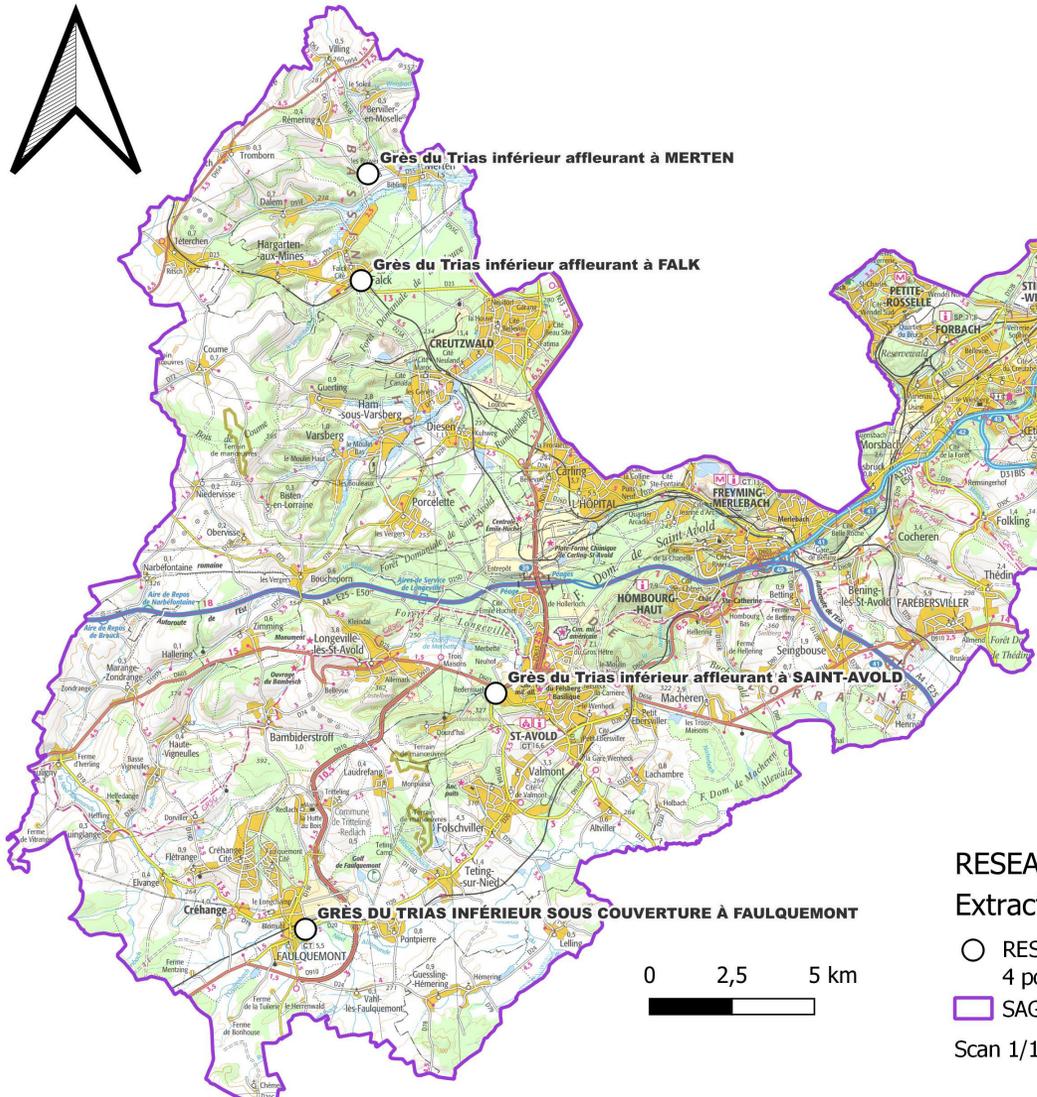
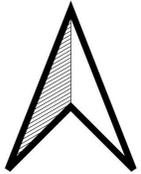


Le gigogne du Bassin Houiller : mur des GTI



Spécificités hydrogéologiques du Bassin Houiller Lorrain

Réseau de surveillance national DCE

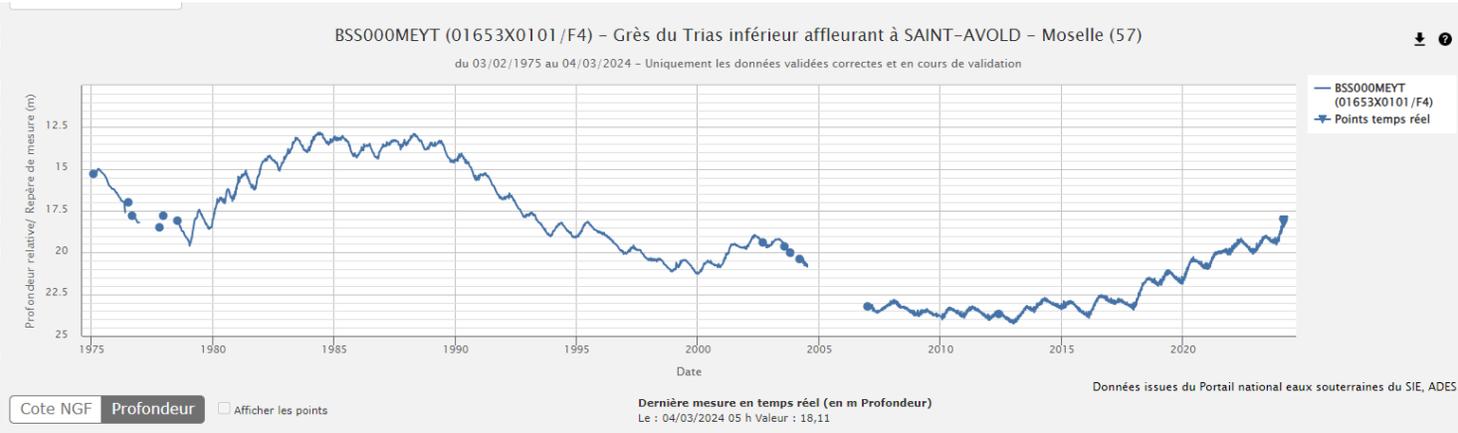


RESEAU DE SUIVI SUR LE BASSIN HOULLIER
Extraction ADES du 04/03/2024

- RESEAU DE PIEZOMETRE NATIONAL (DCE)
4 points d'eau sur le périmètre du SAGE Bassin Houiller
- SAGE_BASSIN_HOULLIER

Scan 1/100 000 - Métropole

- Accès aux données via le portail national d'accès aux données sur les eaux souterraines ([ADES](#))
 - **Quoi ?** Points de surveillance des niveaux de nappe (piézomètre)
 - **Comment ?** Recherche avancée par commune ou réseau ou cartographique
 - 0200000066 - FRCSOP - Surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines du bassin Rhin



- **Résultats ?** 4 piézomètres sur le secteur du SAGE Bassin Houiller
 - Graphiques des mesures piézométriques (cote ou profondeur)
 - Statistiques
 - Informations sur la nappe ou les points d'eau...



Questions ? Commentaires ?

Fin

