



DEMI JOURNÉE D'ÉCHANGE

RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE DES
VOSGES ET VULNÉRABILITÉ AU CHANGEMENT
CLIMATIQUE





BRGM
—
SERVICE
GÉOLOGIQUE
NATIONAL





SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL,

**LE BRGM EST L'ÉTABLISSEMENT
PUBLIC DE RÉFÉRENCE
DANS LES APPLICATIONS
DES SCIENCES DE LA TERRE
POUR GÉRER LES RESSOURCES
ET LES RISQUES DU SOL
ET DU SOUS-SOL.**

**SON ACTION EST ORIENTÉE VERS
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE,
L'APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES,
LA COOPÉRATION INTERNATIONALE ET
LA GESTION DU PASSIF MINIER
NATIONAL.**

COMPRENDRE

*les phénomènes géologiques
et les risques associés.*

DÉVELOPPER

*des méthodologies
et des techniques nouvelles.*

PRODUIRE

*et diffuser des données
pour la gestion du sol,
du sous-sol et des ressources.*

METTRE À DISPOSITION

*les outils nécessaires à la gestion du sol,
du sous-sol et des ressources,
à la prévention des risques et des pollutions,
aux politiques à la compréhension des effets potentiels
du changement climatique.*

**Plus de
1 000** salariés

dont plus de 700 chercheurs et ingénieurs



**ÉTABLISSEMENT PUBLIC
À CARACTÈRE INDUSTRIEL
ET COMMERCIAL (EPIC) CRÉÉ EN 1959,
LE BRGM EST PLACÉ SOUS LA TUTELLE
DU MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE,
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE,
DU MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE,
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE,
ET DU MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE,
DE L'INDUSTRIE ET DU NUMÉRIQUE.**



CERTIFICATIONS ET LABELS

**LE BRGM EST CERTIFIÉ ISO 9001 (QUALITÉ)
DEPUIS 2004,**

**ET ISO 14001 (ENVIRONNEMENT)
DEPUIS 2012.**

**SES LABORATOIRES
SONT ACCRÉDITÉS PAR LE COFRAC.**

**LE BRGM EST L'UN DES
INSTITUTS CARNOT.**

AUTOUR DE LA
GÉOLOGIE, SON CŒUR
DE MÉTIER, LE BRGM
DÉVELOPPE UNE
EXPERTISE DANS
LE SECTEUR
DE LA GESTION
DES RESSOURCES,
DE LA MAÎTRISE DES
RISQUES ET DES
ÉCOTECHNOLOGIES
INNOVANTES.

CETTE ACTIVITÉ
S'ARTICULE EN
10 THÉMATIQUES,
DESTINÉES
À RÉPONDRE
AUX DIFFÉRENTS
ENJEUX INDUSTRIELS
ET SOCIÉTAUX.



GÉOLOGIE



RESSOURCES MINÉRALES



GÉOTHERMIE



**STOCKAGE
GÉOLOGIQUE DU CO₂**



EAU



**ENVIRONNEMENT
ET ÉCOTECHNOLOGIES**



RISQUES



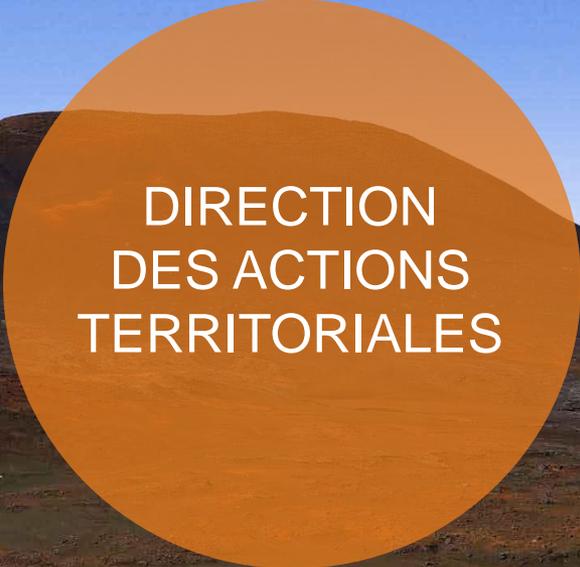
APRÈS-MINE



**LABORATOIRES
ET EXPÉRIMENTATION**



SYSTÈMES D'INFORMATION



DIRECTION
DES ACTIONS
TERRITORIALES



**DIRECTION DES ACTIONS
TERRITORIALES (DAT),**

**RÉSEAU RÉGIONAL DE PROXIMITÉ QUI
PORTE LES SAVOIR-FAIRE ET
L'EXPERTISE DU BRGM AUPRÈS DES
ACTEURS RÉGIONAUX.**

FONCTIONS

COMPÉTENCES

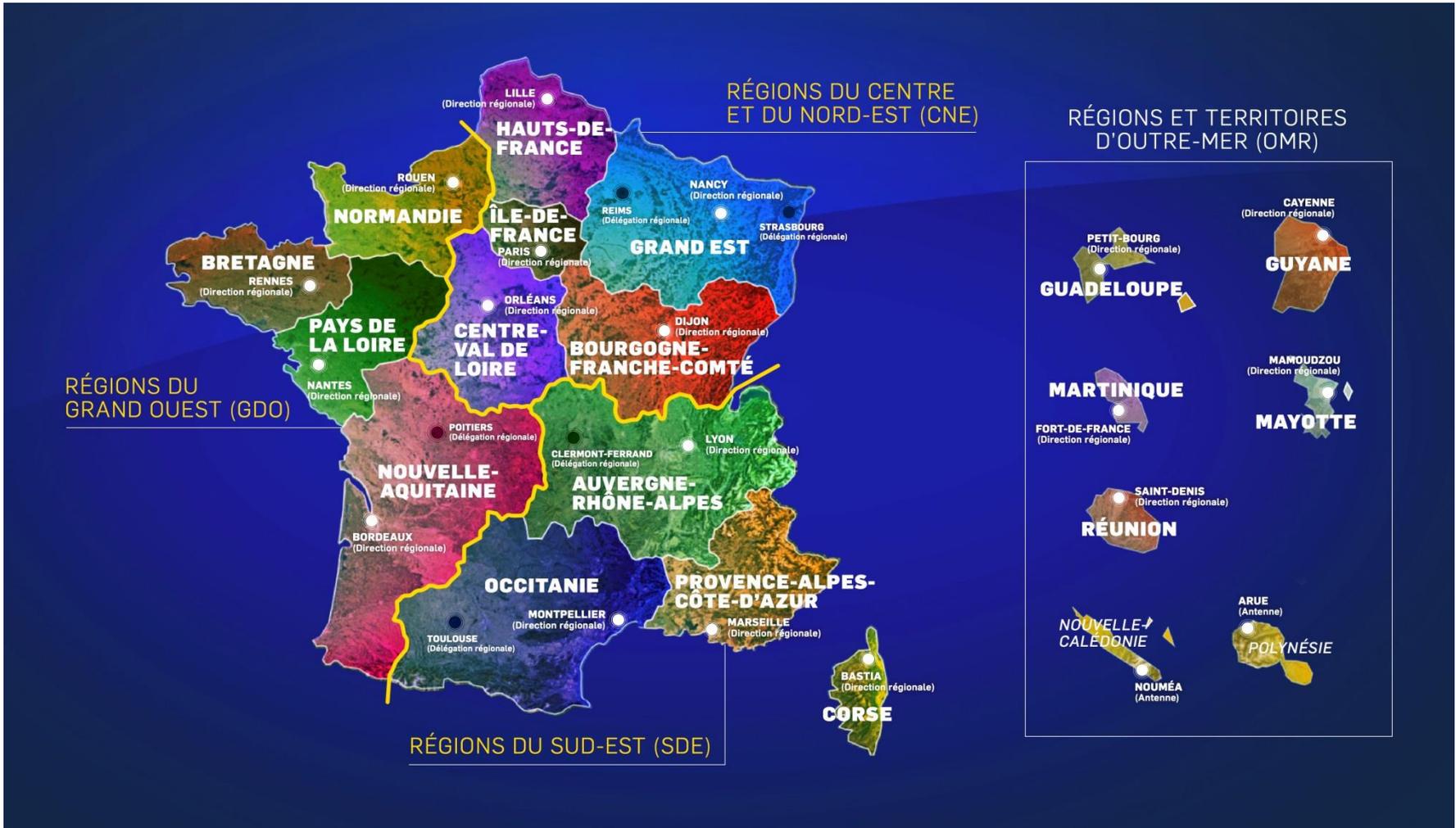
RÉSEAU RÉGIONAL

ORGANISATION

RÉSEAU RÉGIONAL

18 Directions régionales
dans chaque région de métropole
et d'Outre-mer

Près de
200 collaborateurs



LA DÉMARCHE D'OUVERTURE À LA SOCIÉTÉ CIVILE ENGAGÉE PAR LE BRGM

Engager le dialogue avec les représentants de la société civile

- en développant des opportunités d'échanges;
- en partageant les questions et les savoirs au préalable pour pouvoir partager ensuite les résultats de l'expertise et de la recherche;
- pour constituer un capital de connaissance, d'estime et de confiance réciproque (l'opinion publique évolue dans un brouhaha médiatique qui induit un comportement de méfiance);
- pour nous assurer de mieux connaître et de mieux comprendre les attentes et les questionnements des représentants de la société civile;
- de façon à pouvoir prendre en compte à terme, leurs attentes et leurs questionnements dans l'élaboration de nos axes de recherches;
- et ainsi renforcer la pertinence et la crédibilité de notre expertise et de notre recherche.

BRGM.ER



SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Siège - Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 Orléans Cedex 2 - France

Tél.: +33 (0)2 38 64 34 34

Délégation Alsace

Parc d'activités Porte Sud

Rue pont du péage

67118 Geispolsheim - France

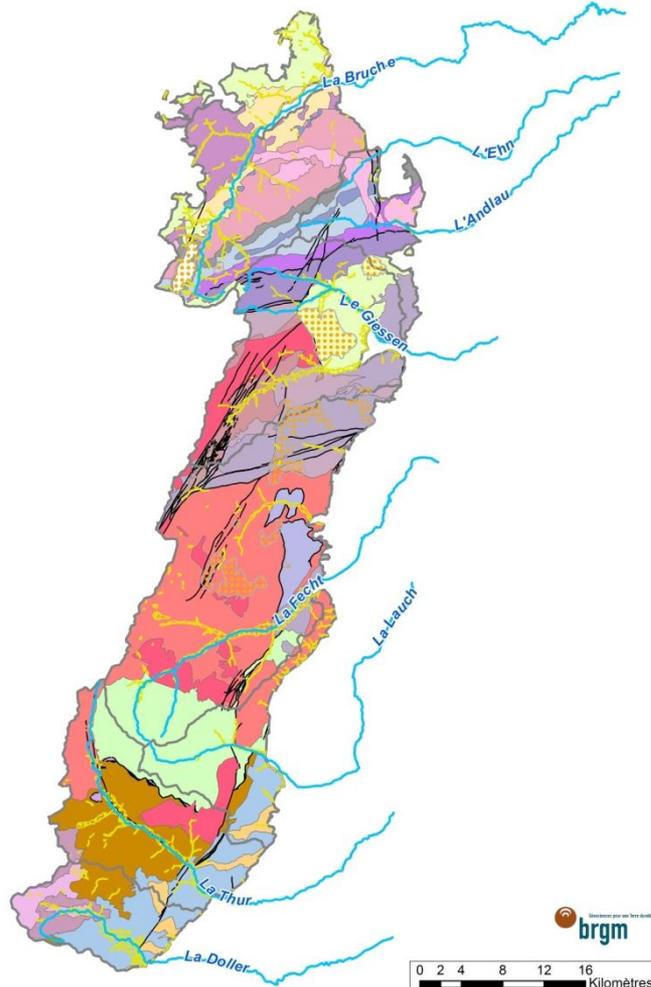
Tél.: +33 (0)3 88 77 48 90





ELEMENTS SUR LA SENSIBILITÉ À LA SÉCHERESSE DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE DANS LES VOSGES ALSACIENNES

CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE



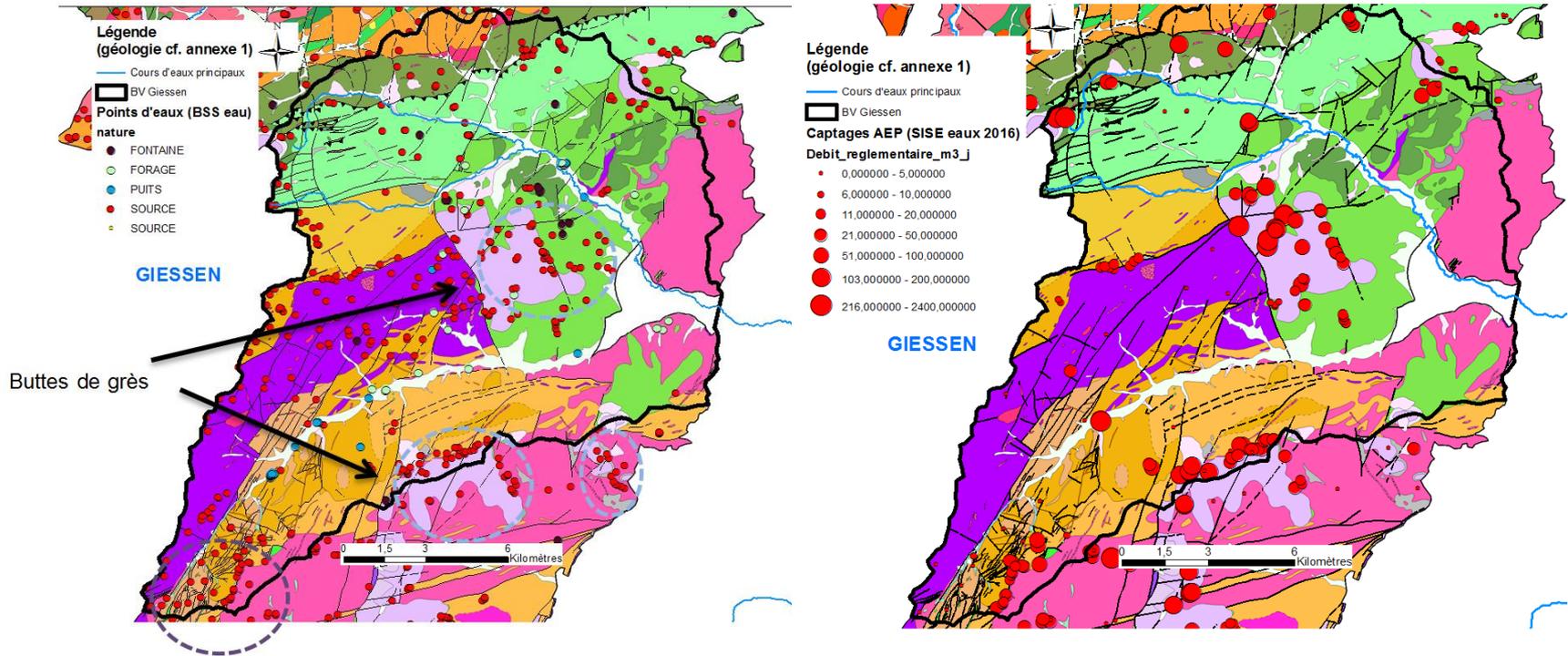
Légende

- | | | | |
|--|---|--|------------------------------------|
| | Alluvions - Entités hydrogéologiques complémentaires BDLISA | | Schistes de Steige |
| | Buttes témoins - Aquifères des Grès Infra-Triasiques (GIT) | | Schistes de Villé |
| | Failles majeures | | Sédiments continentaux |
| | Diorites | | Sédiments de la série d'Oderen |
| | Granite fondamental | | Sédiments de la série de Thann |
| | Granites d'Andlau, Natzwiller, Kagenfels | | Sédiments de la série de la Bruche |
| | Granites des Ballons | | Sédiments de la série du Markstein |
| | Granites des Crêtes | | Unité des gneiss monotones |
| | Granites du Champ du Feu Nord | | Unité des gneiss variés |
| | Granodiorite du Champ du Feu Sud | | Unité granulitique |
| | Leucogranites | | Volcanisme de Schirmeck-Rabodeau |
| | Ligne des Klippes | | Volcanisme de la Bande Médiane |
| | Migmatites de Trois-Epis, Gerbépal | | Volcanisme de la série d'Oderen |
| | Péridotites | | Volcanisme de la série de Thann |



Diversité des formations et influences de la structurale

CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE



Sources et alluvions
accompagnants les rivières

SÉCHERESSE ?

Un terme qui englobe plusieurs situations...

- Sécheresse agricole \neq sécheresse hydrologique \neq sécheresse des eaux souterraines
 - Définition pour les **eaux souterraines** : déficit de recharge qui se traduit sur le régime naturel des nappes, jusqu'au cas extrême de l'assèchement des sources pérennes ou l'assèchement des forages dus à l'abaissement des niveaux piézométriques
- > **échelle saisonnière, annuelle ou pluriannuelle**

RÉSISTANCE À LA SÉCHERESSE

Résistance des aquifères :

- Nature de l'aquifère (libre, captif, profond...), relations nappes rivières;
- Épaisseur/extension/volume
- Paramètres intrinsèques

Typologies générales rencontrées en Alsace :

- Bonne résistance : nappes captives (aquifère rhénan sous couverture, grès profonds, zones de fracture...)
- Résistance « intermédiaires » : aquifères libres mais de forte épaisseur / grande inertie (grès, alluvions épais mais dépendance directe au cours d'eau type Doller)
- Pas ou très peu de résistances : aquifère libre en dépendance direct à la pluviométrie
 - ➔ Alluvions : régies principalement par les relations nappe-rivière.
 - ➔ Aquifères de socles : plus difficile à caractériser en raison de la forte variabilité des caractéristiques à l'échelle de la zone d'étude.

HYDROSYSTÈME

Toute est en relation... ou presque !

Les alluvions :

→ régis principalement par les relations nappe-rivière. Ils correspondent au réservoir intermédiaire H du schéma simplifié = lien direct avec la pluviométrie

Les aquifères de socle :

→ comportements face à la sécheresse est plus difficile à caractériser en raison de la forte variabilité de leurs caractéristiques à l'échelle de la zone d'étude. |

→ Ils peuvent superposer sur une même zone des réservoirs de type « intermédiaire » en lien direct avec la pluviométrie et des réservoirs « profonds » présentant des temps de transferts « longs ».

SUPERPOSITION DES AQUIFÈRES ET DES EAUX DE SURFACES : SCHÉMA SIMPLIFIÉ

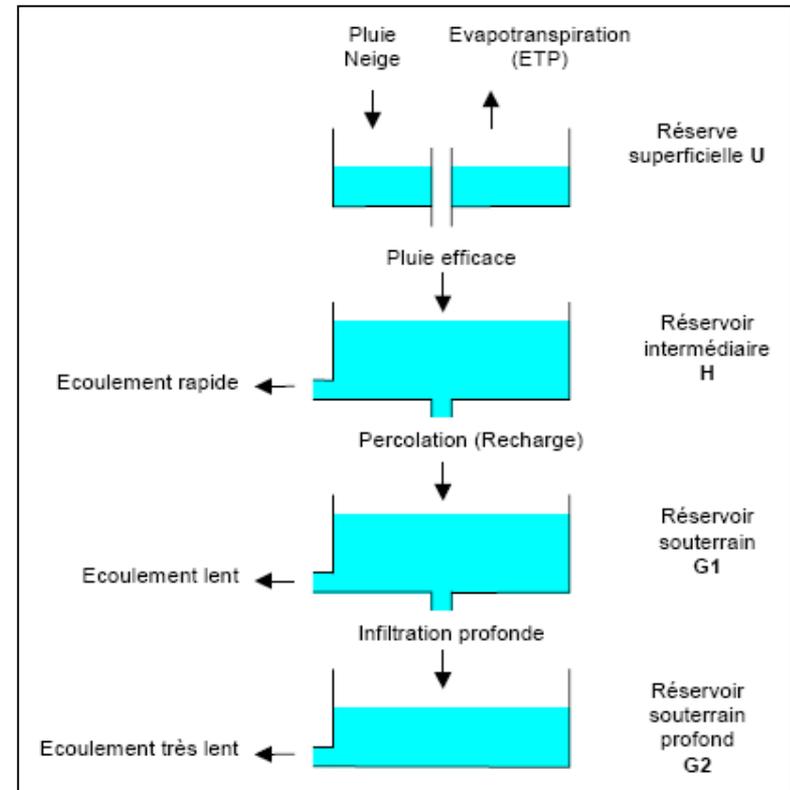


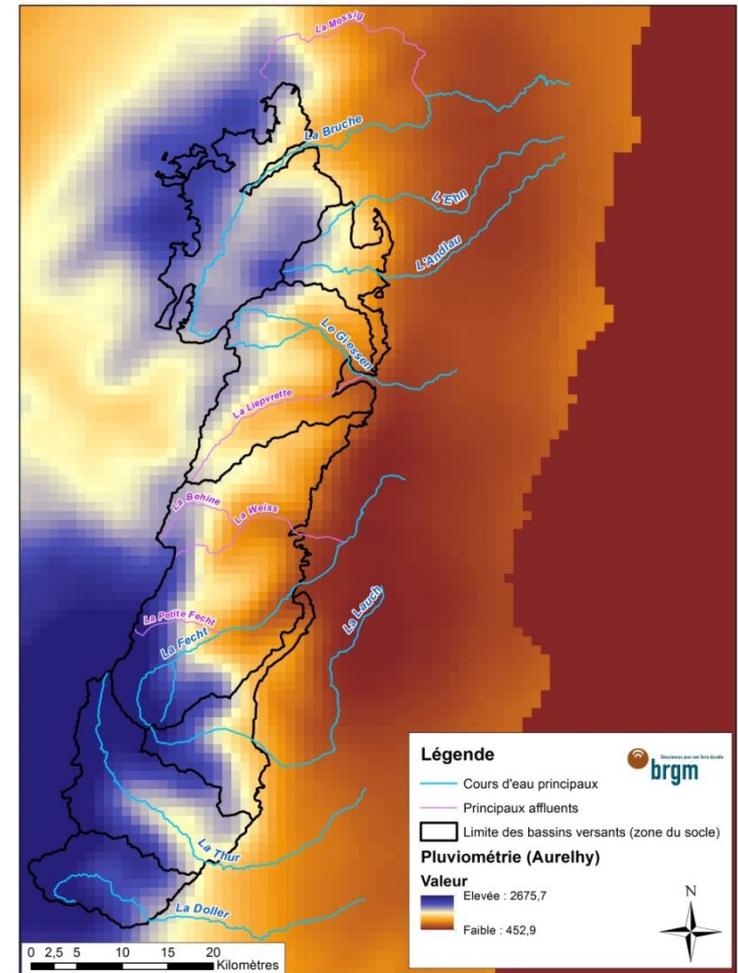
Schéma BRGM

DISPONIBILITÉ DE LA RESSOURCE EN EAUX

Une hétérogénéité dès les « eaux de surface »

- Climat varié, notamment au niveau de la pluviométrie
- Une gestion anthropique extrêmement diverse !
 - Retenues,
 - Lacs...
 - Et rejets

PLUVIOMÉTRIE (CUMUL ANNUEL EN MM)

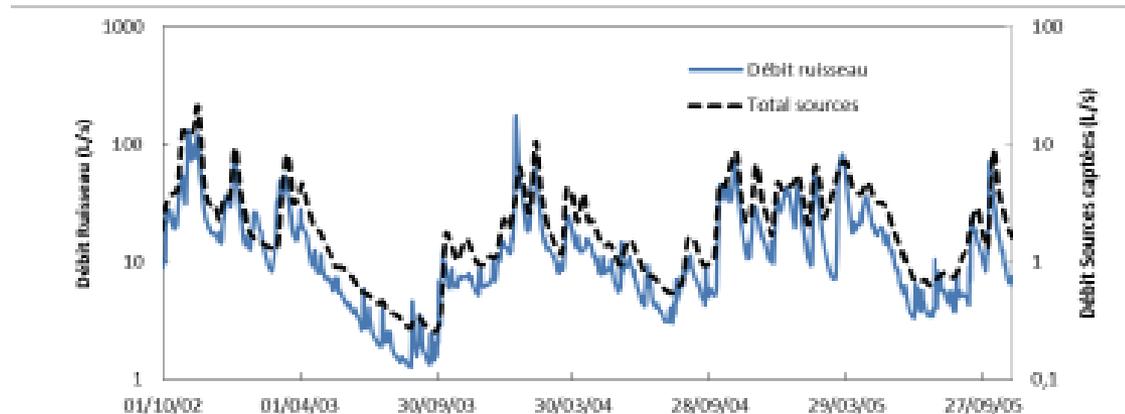


Modèle Aurhely, météo France

LES AVANCÉES SCIENTIFIQUES SUR LES AQUIFÈRES PLUS PROFONDS

Aquifères de socles et « temps de circulations »

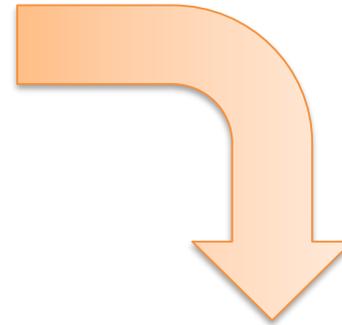
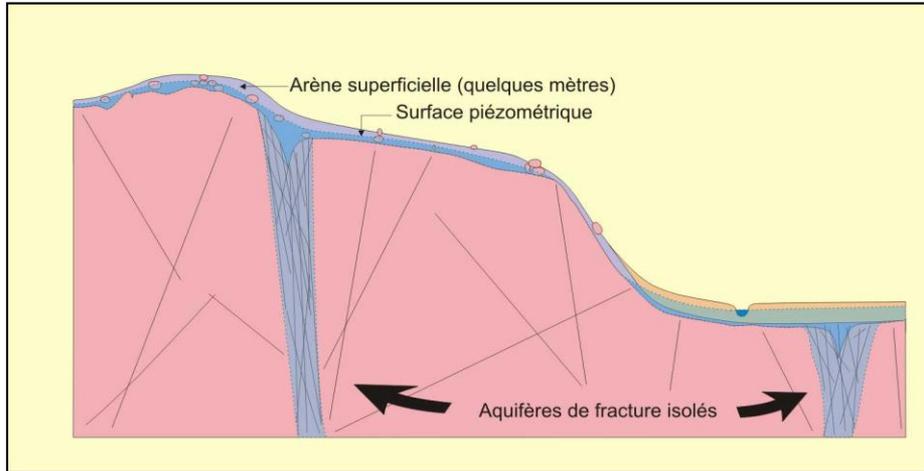
Etude du bassin versant du Strengbach (travaux en partenariat avec le laboratoire de recherche du **LYGHES**)



- Une résistance des débits des sources en 2003 indiquant une « réserve » en eau souterraine
- Des analyses géochimiques donnant des temps de circulations de 20 ans

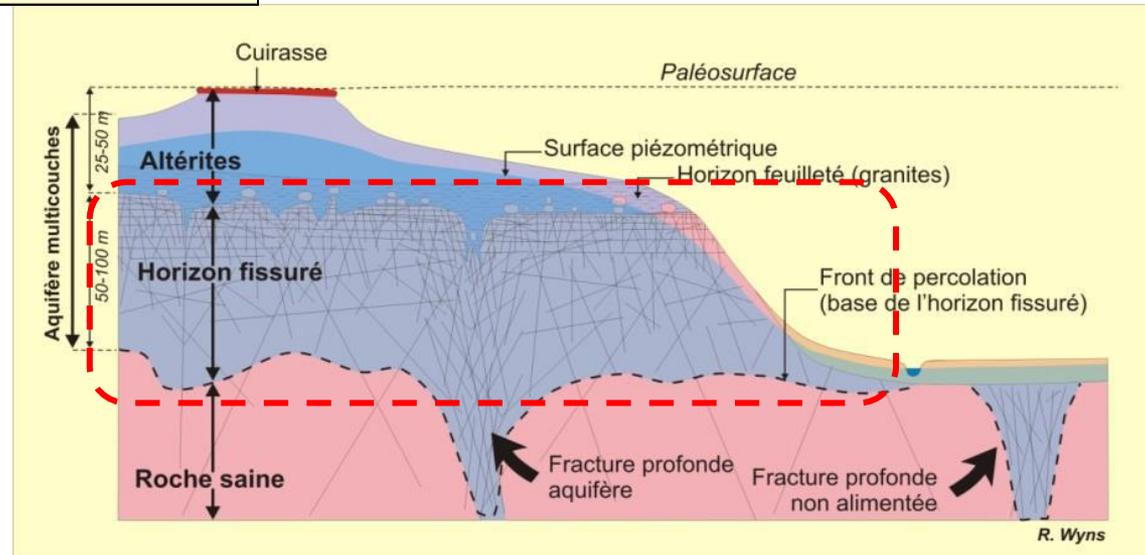
LES AVANCÉES SCIENTIFIQUES SUR LES AQUIFÈRES PLUS PROFONDS

Aquifères de socles et « temps de circulations »



Avancée générale depuis 1997 sur la compréhension des aquifères de socle

- ➔ Plusieurs niveaux de circulations
- ➔ Horizon fissuré

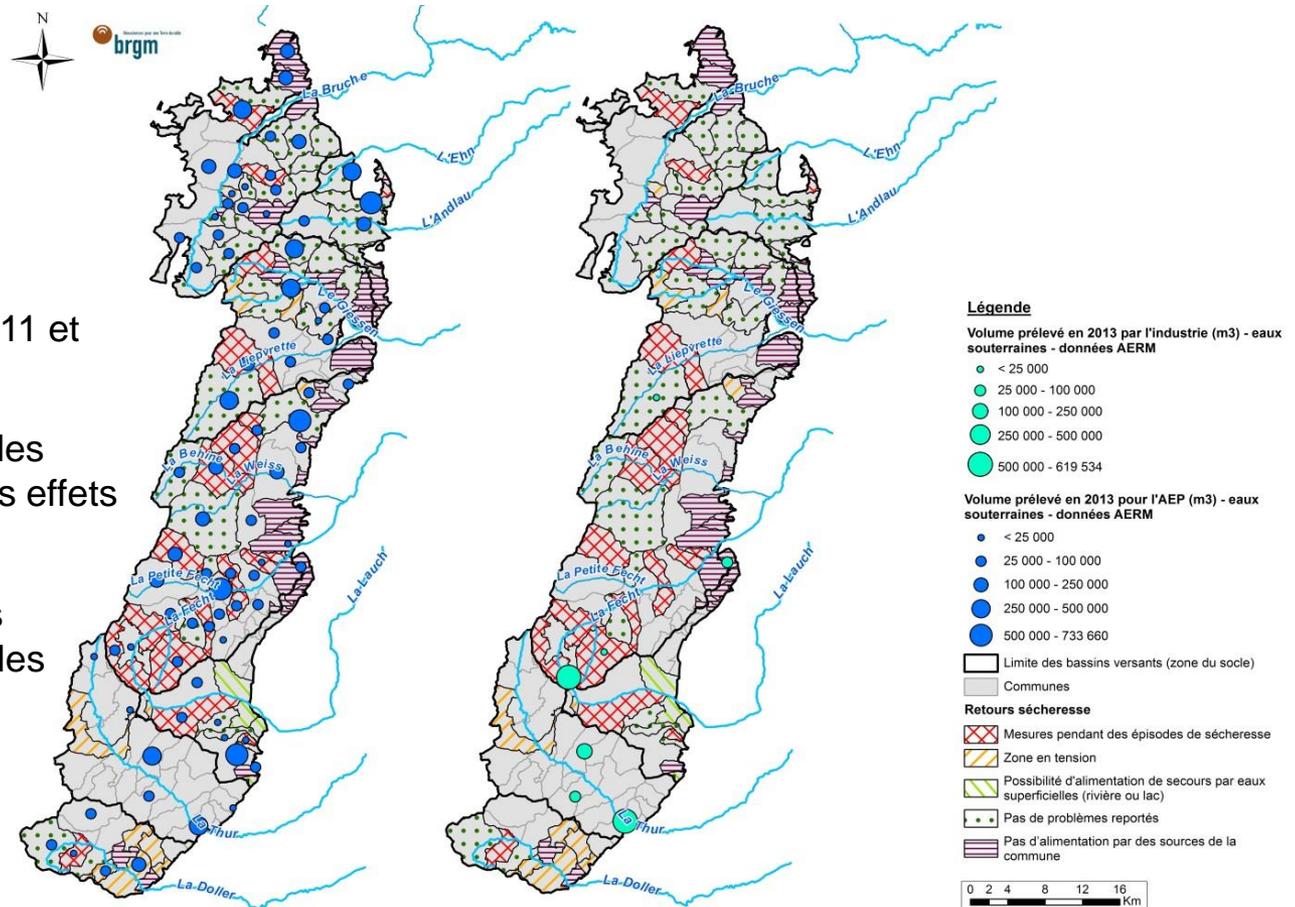


SÉCHERESSES, PRÉLÈVEMENTS ET DISPONIBILITÉ DE LA RESSOURCE

Des notions pouvant être difficiles à séparer actuellement

Etude BRGM (2015- 2017)

- ➔ Enquêtes auprès des communes suites aux sécheresses de 2003, 2011 et 2015
- ➔ Difficulté pour discerner des « zones de tensions » des effets de(s) sécheresses
- ➔ Pas de relations entre les « zones de tensions » et les zones de prélèvements évidentes

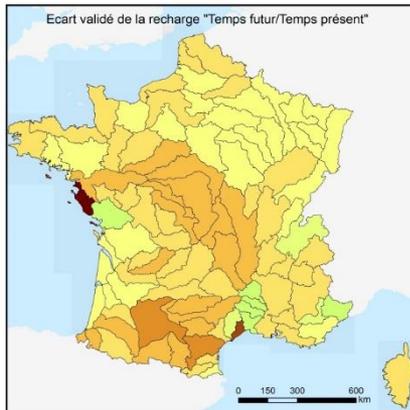


Rapport BRGM/RP-66696-FR, 2017

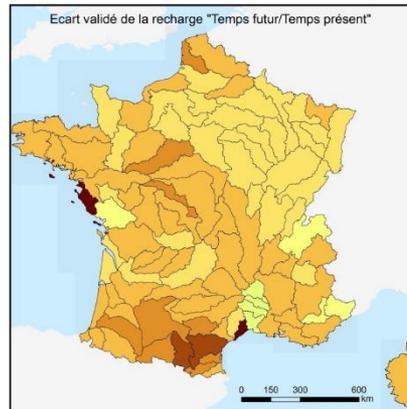
ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ?



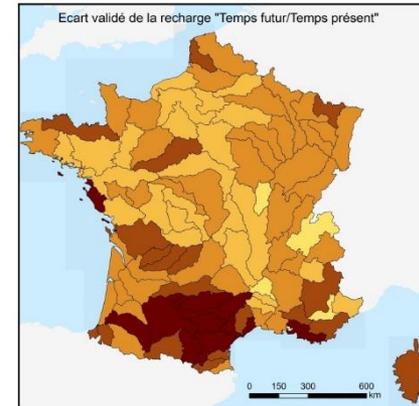
- En fin de siècle : augmentation des sécheresses + augmentation de l'évapotranspiration
- Du point de vue des eaux souterraines : l'augmentation de l'ETP implique une diminution de l'infiltration vers l'aquifère + ruissellement de surface → baisse de la recharge
- Variabilité climatique au niveau des Vosges difficile à appréhender pour une analyse des impacts locaux
- Au niveau des eaux souterraines :
 - La résistance des aquifères à la récurrence des épisodes de sécheresse va dépendre de la capacité à « stocker » en dehors des périodes de sécheresses.
 - La baisse de la recharge va fragiliser la ressource de manière générale et amplifier la raréfaction de la ressource en dehors même des phénomènes de crise liés aux sécheresses.



MIN



MOY



MAX

ECART MOYEN DE LA RECHARGE "TEMPS FUTUR/TEMPS PRÉSENT"

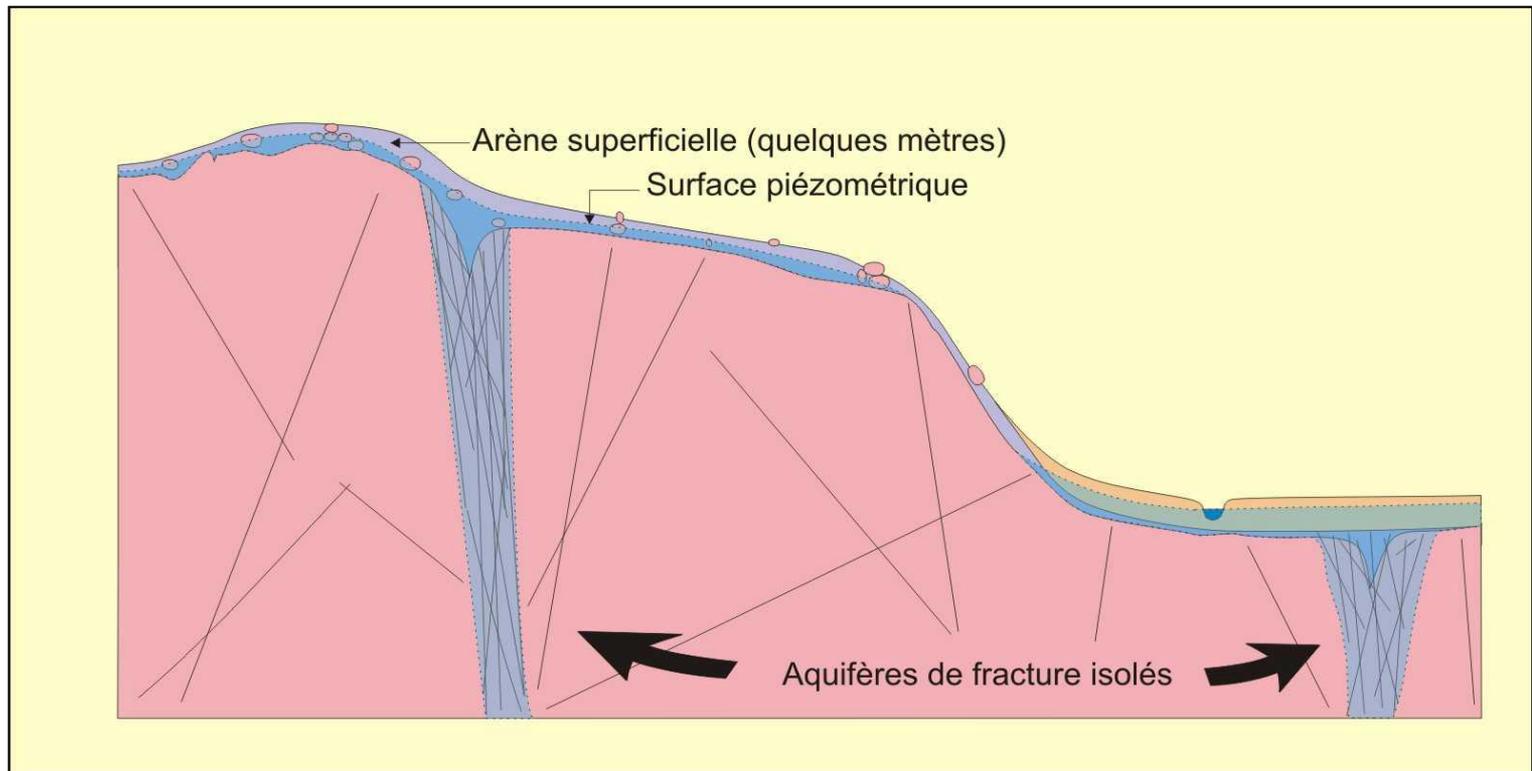
Baisse moyenne de la recharge (en %) Entre -10 et 0 Entre -25 et -30 Entre -55 et -60
 Pas de baisse Entre -25 et -10 Entre -40 et -30

Méthode : Calcul de la recharge obtenue par modèles hydrodynamiques complétée à l'aide de la lame d'eau ruisselée et l'IDPR

Etablissement d'une carte de favorabilité à la présence d'eau souterraine - Méthodologie

Evolution du concept d'aquifère de socle

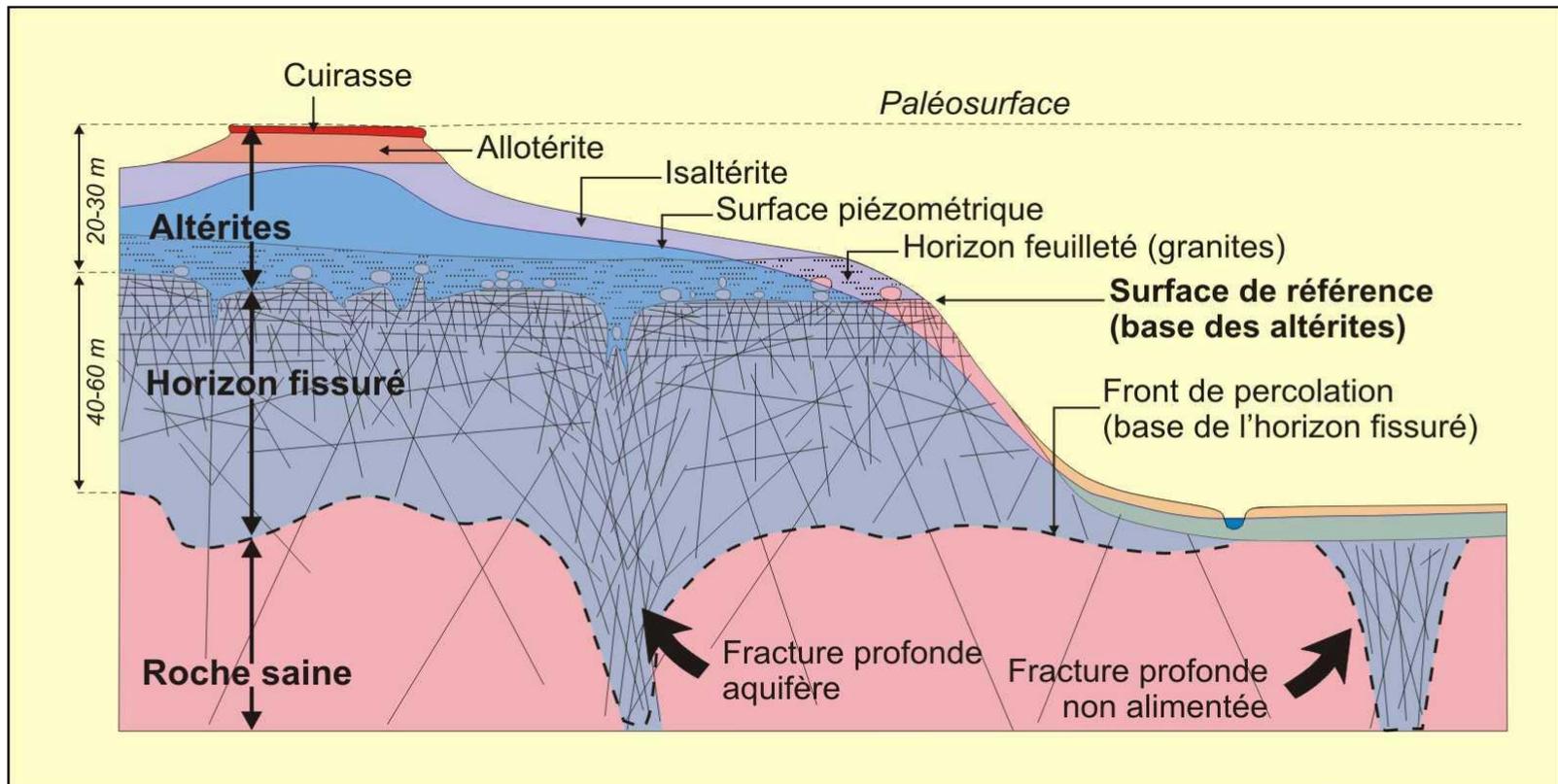
A - Modèle conceptuel des aquifères de socle
jusqu'en 1997



Etablissement d'une carte de favorabilité à la présence d'eau souterraine - Méthodologie

Evolution du concept d'aquifère de socle

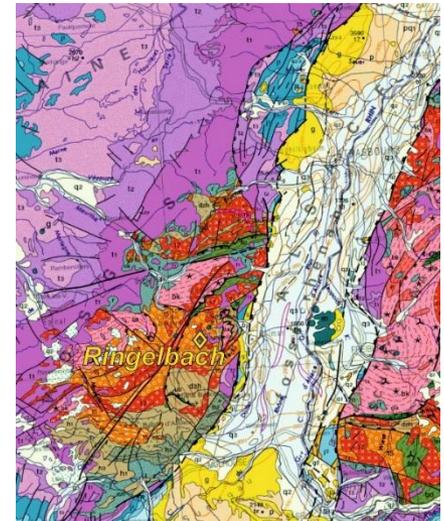
B - Nouveau modèle conceptuel des aquifères de socle
A partir de 1997

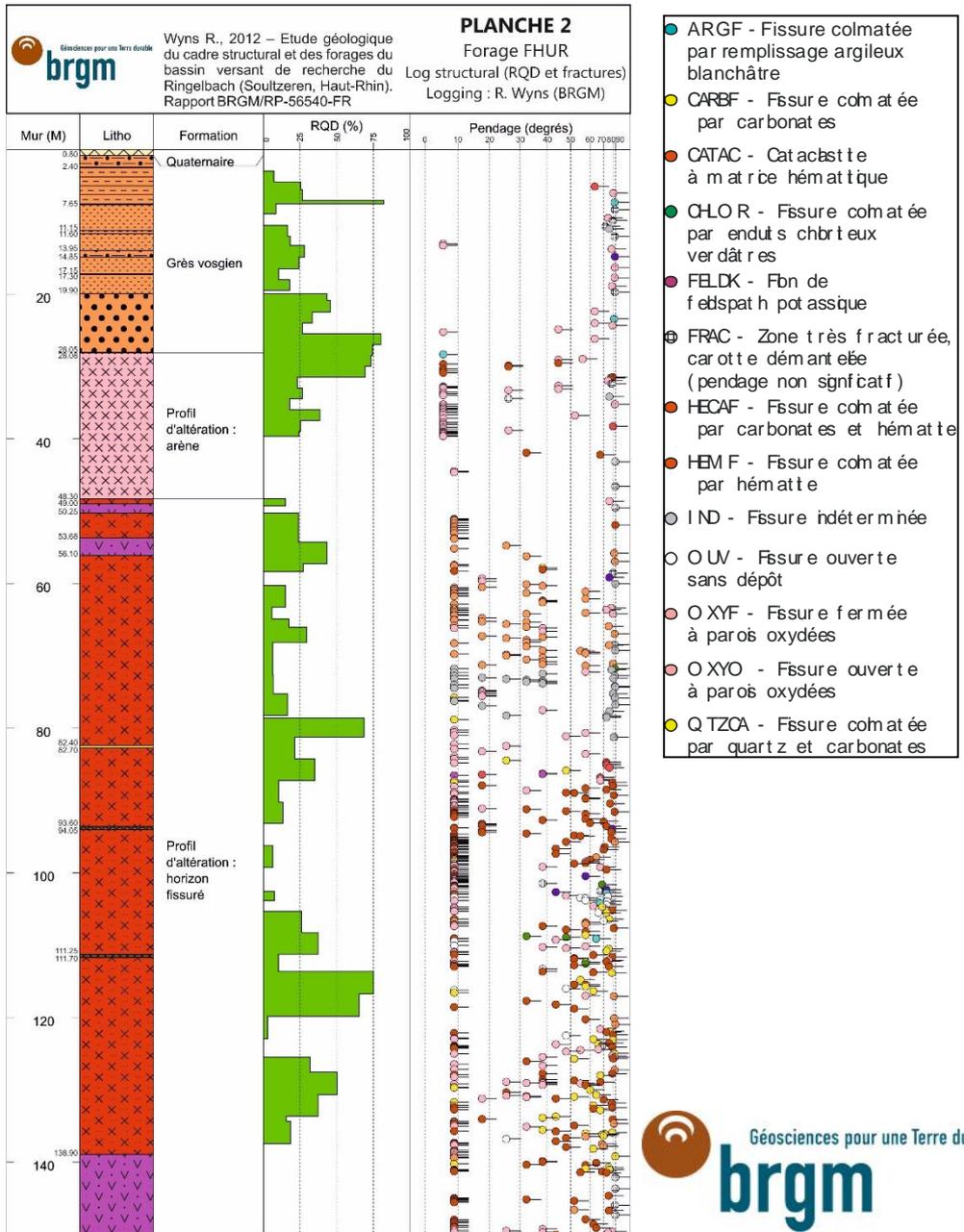


Etablissement d'une carte de favorabilité à la présence d'eau souterraine - Méthodologie

Programme de caractérisation du potentiel aquifère - socle vosgien

- Attribution d'un degré de potentialité aquifère à chaque formation géologique du socle en fonction de
 - l'altérabilité
 - la présence et l'abondance des minéraux gonflants (critères minéralogiques)
 - la taille des minéraux (critères texturaux)
 - la présence ou l'absence de foliation, pendage de celle-ci (critère structuraux)
 - la présence de fissures colmatées ou non
 - Sur le bassin versant de Ringelbach, l'horizon fissuré est puissant ($\pm 150\text{m}$), mais sa teneur en eau y est anormalement faible ($< 1\%$)
 - L'étude pétrographique des carottes a montré que les fissures de l'horizon fissuré étaient colmatées par des minéraux hydrothermaux (dolomite, ankérite, barytine...) résultant de l'enfouissement du profil sous plusieurs kilomètres de sédiments





Log du forage carotté du Hurlin (Bassin-versant du Ringelbach), avec valeurs de RQD (% de longueur de carotte de plus de 10 cm de long sans fissures par passe de 1 m) et positionnement des fractures observées et de leur pendage.

La majorité des fractures a un pendage faible (horizon fissuré du profil d'altération antétriasique) ; elles sont colmatées par des minéraux hydrothermaux

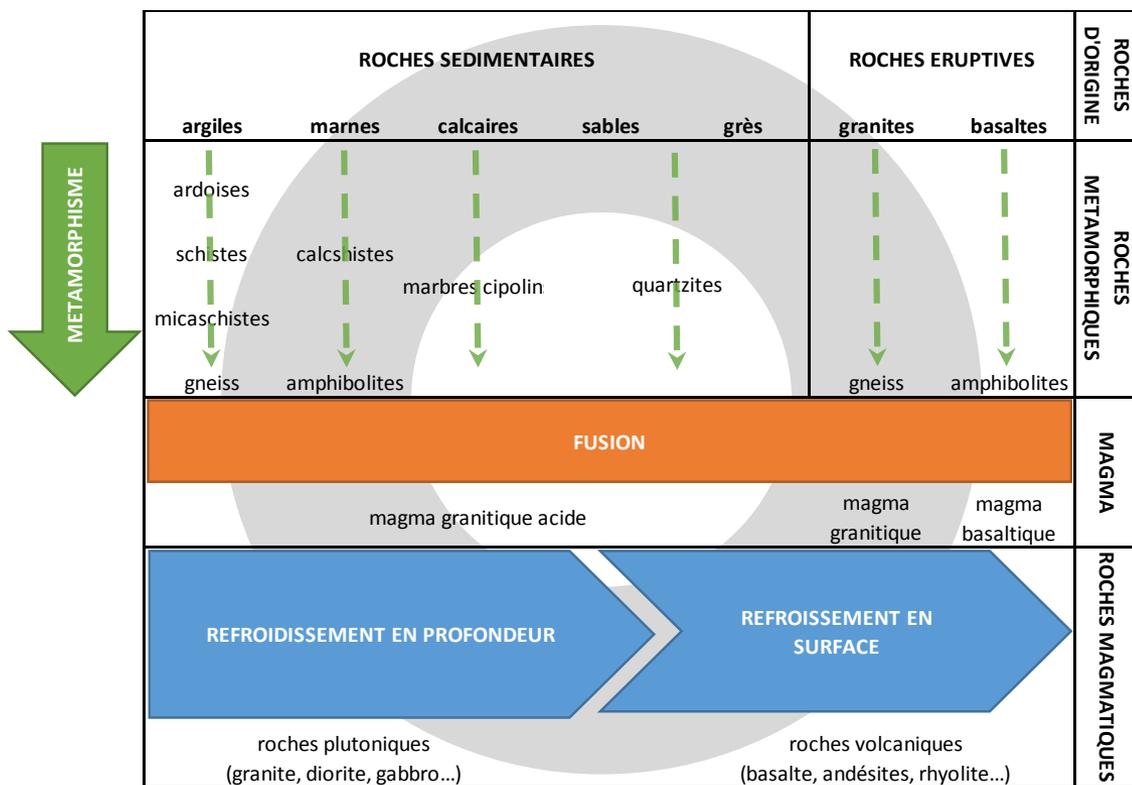
Etablissement d'une carte de favorabilité à la présence d'eau souterraine - Méthodologie

Programme de caractérisation du potentiel aquifère - socle vosgien

- ❑ Réalisation d'une carte de potentialité aquifère théorique
 - ne prend pas en compte un éventuel colmatage des fractures → impossible à mettre en évidence sur le terrain
 - permettra le croisement avec les données hydrogéologiques → répartition et débit des captages existants
 - conduira à une étude de terrain spécifique afin de comprendre le fonctionnement des aquifères alimentant les ouvrages à fort débit
 - permettra de déterminer
 - si l'horizon fissuré des profils d'altération vosgiens a été entièrement colmaté
 - ou si ce colmatage est limité aux bordures des grandes failles bordières du fossé alsacien

Quelques notions de base

Type de roches



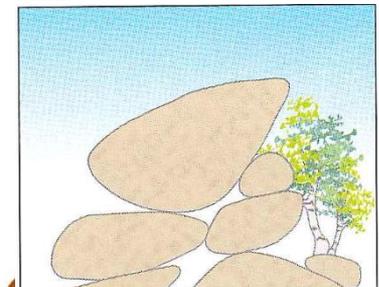
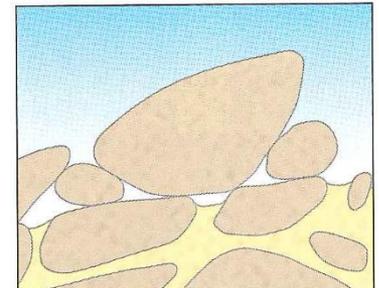
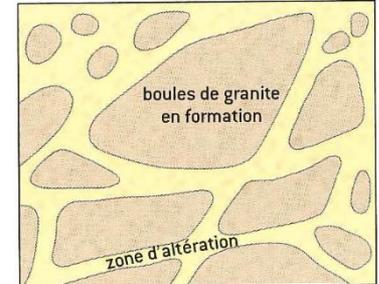
roche cristalline
 une roche métamorphique ou
 une roche magmatique essentielle
 ment plutonique dont la
 formation entraîne
 l'apparition de cristaux

Quelques notions de base

L'érosion des roches cristallines : définitions

L'érosion agit de trois façons principales

- Désagrégation physique ou mécanique
 - Phénomènes provoquant fragmentation, désolidarisation, éboulement...
→ Morceaux de toutes tailles : blocs, galets, graviers, grains
- L'altération
 - Phénomènes conduisant à la transformation chimique des roches impactant les minéraux la constituant
→ Grains, particules, substances chimiques
- La dissolution
 - Phénomènes en lien avec la présence d'eaux agressives qui altèrent les minéraux et la roche, notamment au droit des fractures et fissures
→ Canyon, cavités ou karst, lapiaz, chaos



Concepts fondateurs de la méthodologie

L'érosion des roches cristallines : potentialité aquifère

- Dans un granite, la géométrie caractéristique des fractures générées par l'altération est horizontale
 - densité de fracture maximale au sommet et diminuant vers le bas
- Les fissures (horizon fissuré) résultent des contraintes accumulées dans la roche lors du gonflement de certains minéraux au cours de l'altération
 - biotite (mica noir) → potentiel de gonflement de 40 %



		POROSITE EFFICACE (%)	PERMEABILITE K (m/s)
EN SURFACE (15 à 30 m)	granite fissuré (standard)	0.1 à 2 %	10^{-5} à 10^{-10}
	granite fissuré (faciès riche en biotite)	5%	10^{-5} à 10^{-6}
EN PROFONDEUR	granite fissuré	valeurs en diminution	



CARACTERISATION DE LA RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE A L'ECHELLE DU MASSIF VOSGIEN CRISTALLIN ET VULNERABILITE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE



**AGENCE
DE L'EAU
RHIN-MEUSE**

ÉTABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTÈRE
EN CHARGE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE



Commissariat à
l'aménagement du
massif des Vosges

Place Foch
88000 EPINAL



Laboratoire d'Hydrologie et
de Géochimie de Strasbourg



Centre de recherche en géographie



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction régionale
de l'Environnement,
de l'Aménagement
et du Logement

GRAND EST



Géosciences pour une Terre durable

brgm

LA PROBLÉMATIQUE



- **Géologie**

- Le Massif vosgien présente une grande variété de roches ayant chacune des caractéristiques hydrogéologiques propres

- **Hydrogéologie**

- Les aquifères du socle du Massif vosgien disposent vraisemblablement de faibles réserves en eau, les rendant fortement dépendants des variations pluviométriques saisonnières → sécheresses en 2003, 2011, 2015

- **Vulnérabilité**

- Le débit des sources dans les Vosges semble devoir être impacté fortement par le changement climatique, d'où la nécessité d'une démarche d'anticipation

LES PARTENAIRES

- **BRGM**
 - Equipe du projet au BRGM (6 personnes env.)
 - BRGM Grand-Est (Nancy et Strasbourg) et BRGM Orléans
 - Géologues et hydrogéologues (ingénieurs et techniciens)
- **AERM**
- **DREAL Grand-Est**
- **Région Grand-Est**
- **Commissariat à l'aménagement du Massif des Vosges (CGET)**
- **LHyGeS**
- **LOTERR**

LES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE



- **Globalement**

- Caractériser les ressources en eau souterraine dans les formations cristallines et quaternaires du massif des Vosges
- Evaluer leur vulnérabilité au changement climatique

- **Spécifiquement**

- Délimiter des secteurs à plus fortes potentialités en terme de ressources en eau souterraine
- Estimer les ressources d'un point de vue volumétrique à la fois dans l'espace et dans le temps
- Evaluer les effets du changement climatique sur l'évolution future de ces ressources en eau souterraine
- Proposer des pistes pour la gestion et la surveillance de la ressource en eau souterraine

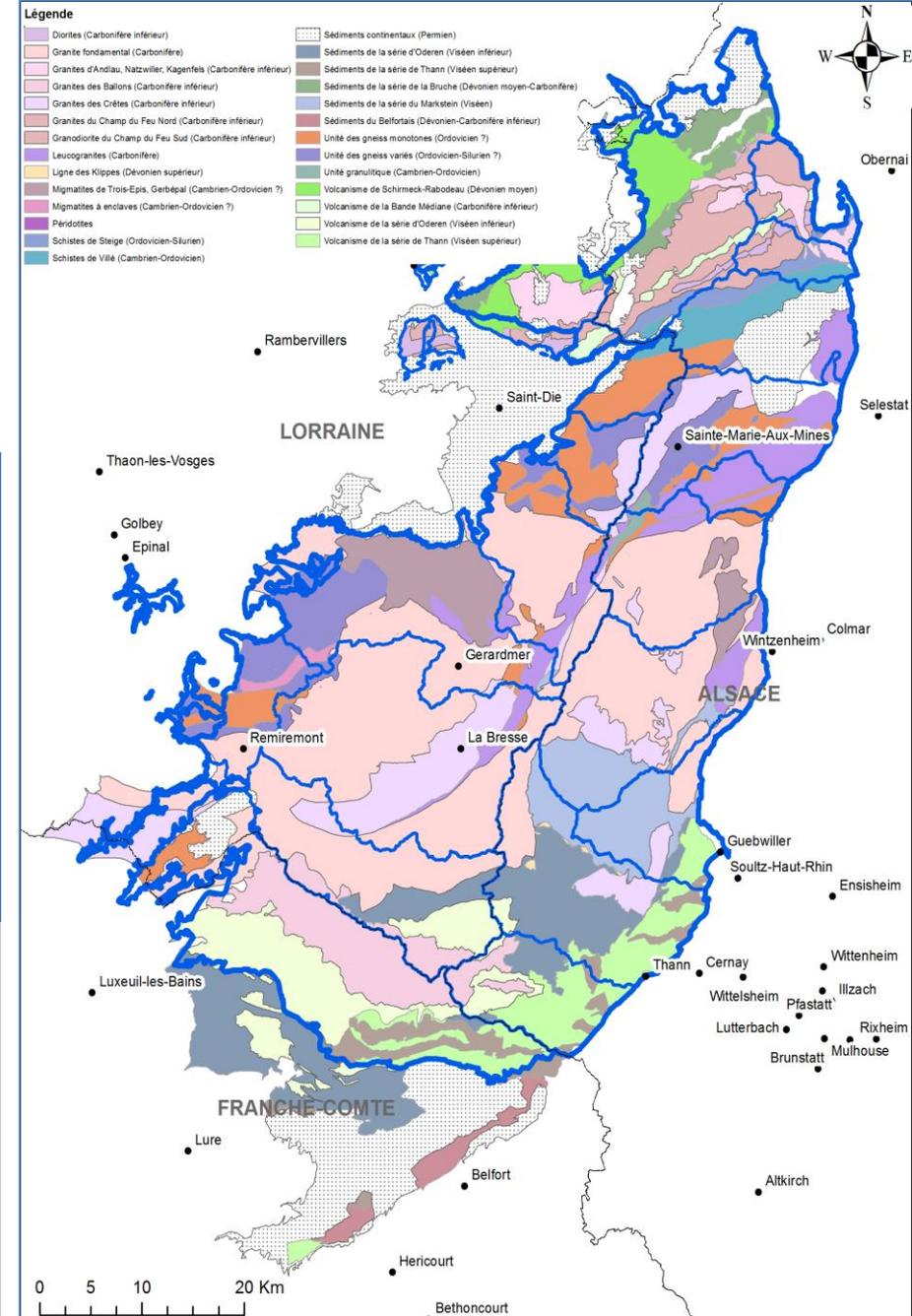
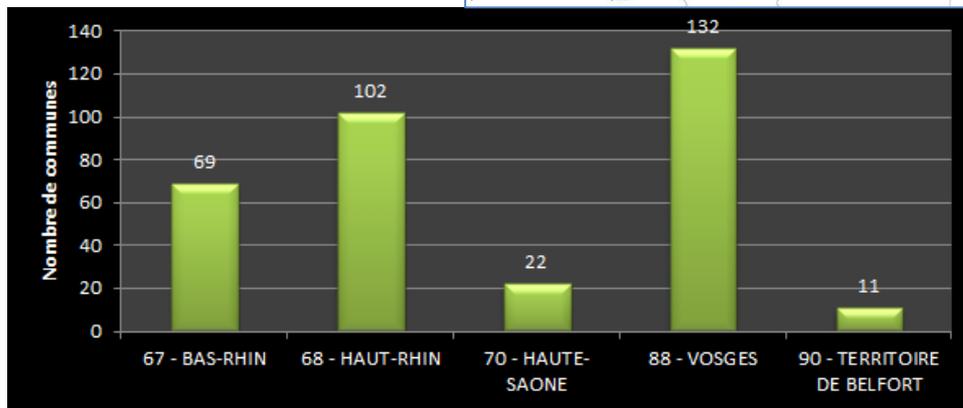
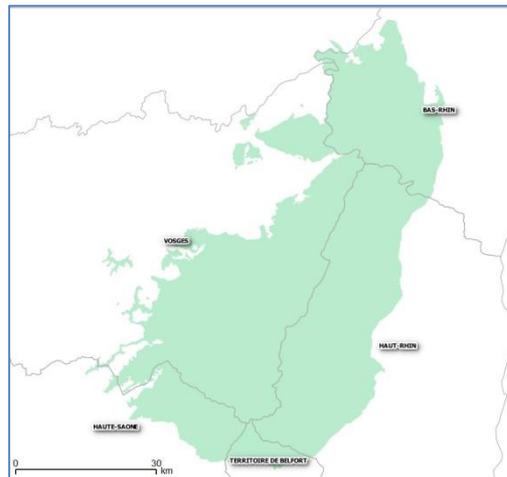
LE PROGRAMME DE L'ÉTUDE

- **Découpage en deux volets pour tenir compte**
 - D'une progressivité dans l'acquisition des connaissances et/ou des données
- **Volet 1 – 2018-2019**
- **Evaluation des ressources en eau souterraine à l'échelle du massif cristallin**
 - Synthèse de la bibliographie et des données
 - Réalisation d'une carte de la favorabilité à la présence d'eau souterraine basée sur des critères lithologiques intrinsèques
 - Analyse des données hydrologiques et hydrogéologiques existantes
 - Mesures hydro(géo)logiques complémentaires
 - Interprétations des données et synthèse, préparation d'une carte hydrogéologique
- **Volet 2 à partir de 2020**
- **Vulnérabilité de la ressource en eau souterraine au changement climatique**

Réunion de
lancement en
décembre 2017

LE SECTEUR D'ÉTUDE

- Vosges cristallines
- 19 bassins versants de surface
- 336 communes
- 5 depts





Travail en cours volet 1

Synthèse de la bibliographie et des données

- Prises de contacts avec interlocuteurs susceptibles d'avoir des informations (hydrogéologues agréés, exploitants d'eau minérale, administration, etc.)
- Récupération et exploitation des études existantes (thèses, rapports) sur toutes les communes de la zone d'étude
- Consultation et extraction à partir des bases de données disponibles
- Inventaires des sources et des forages
- Compilation des données pertinentes sur les eaux souterraines et superficielles
 - données de débit et de niveau d'eau
 - paramètres hydrodynamiques
 - analyses chimiques...



Présentation
Microsoft PowerPoint

OBJECTIF
Cartographie et saisie des
données brutes en vue
d'une mise à disposition et
d'une exploitation

Etablissement d'une carte de favorabilité à la présence d'eau souterraine



- Aspect géologique de l'étude utilisant les cartes géologiques (©BRGM) et des observations de terrain
 - Etude des roches constituant les principaux aquifères
 - Les aquifères de socle
 - Les dépôts fluvioglaciaires
 - Les alluvions
 - Classification des formations géologiques selon 3 critères
 - Minéralogie
 - Texture
 - Structure

- Couplage avec les aspects hydrogéologiques
 - Etude structurale sur les secteurs les plus productifs (observations de terrain)



Présentation
Microsoft PowerPoint



Travail à venir volet 1

Analyse des données hydrologiques et hydrogéologiques existantes

- Analyse des chroniques de débits de cours d'eau et de sources
 - Débits classés / recherche points de rupture / courbes de tarissement
 - Débits spécifiques / comparaisons entre sources (vol dynamiques, IRQ)
- Analyse des données climatiques
 - Paramètres morpho-climatiques des BV / contrastes pluviométriques / spatialisation de la pluie efficace
- Mise en œuvre d'une modélisation globale type GARDENIA
 - Sur les BV disposant des données nécessaires : caractérisation du fonctionnement hydrologique des BV / comparaison entre BV
- Analyse de la répartition spatiale des points d'eau souterraine et croisement avec les informations géologiques
- Interprétation des données hydrochimiques des sources
- Compilation des données hydrogéologiques en forage

Mesures hydro(géo)logiques complémentaires

- Retour d'expérience sur la caractérisation hydrogéologique des réservoirs et sectorisation
 - Secteurs dépourvus d'informations hydrogéologiques
 - Sources spécifiques (caractéristiques d'un fonctionnement particulier de BV, dans des contextes hydrogéologiques différents)
- Mise en œuvre d'une campagne de mesures (débits, physico-chimie) sur des sources
 - Préciser les gammes de débits pour les différentes formations géologiques
 - Identifier des secteurs à plus forte minéralisation (contextes géologiques particuliers / plus productifs)
 - Sélectionner les points pouvant faire l'objet de mesures sur le long terme ou d'échantillonnage (analyses, détermination des temps de séjour...)
- Réalisation de jaugeages des cours d'eau sur une dizaine de BV
 - En période d'étiage → évaluer la contribution des eaux souterraines au débit des rivières (débits spécifiques)
 - Hiérarchiser les bassins en fonction des débits/nature géologique des formations contributives

Interprétations des données et synthèse

- Synthèse des données collectées
 - Intégration au SIG
 - Analyse croisée entre carte de favorabilité et caractéristiques des aquifères
- Réalisation d'une carte hydrogéologique
 - Potentialité des ressources en eau souterraine (formations cristallines et formations quaternaires perméables)
 - Directions générales des écoulements
 - Pluviométrie / infiltration
- Rédaction d'une notice explicative
 - Caractéristiques hydrogéologiques des principaux réservoirs
- Estimation de la recharge
 - Bilan hydrologique par BV
 - Pluie efficace (grille SAFRAN de Météo France)
 - Analyse multicritère (IDPR / méthode chlorure)
- Recommandations
 - Aspect quantitatif de la ressource en eau souterraine
 - Identification de secteurs plus ou moins sensibles à la sécheresse
 - Formulation de propositions pour le suivi quantitatif des ressources en eaux souterraines
 - Aspect qualitatif de la ressource en eau souterraine
 - secteurs sensibles (contamination géogénique) / études à mener / suivis envisagés

Merci de votre attention

- **Contact**



Murielle CHABART
Hydrogéologue Grand-Est

DAT/CNE/GRE/NCY

BRGM Grand Est - Site de Nancy (direction régionale)
1 allée du parc de Brabois
54500 Vandoeuvre-lès-Nancy

Tél. : +33 (0)3 83 44 81 49

m.chabart@brgm.fr