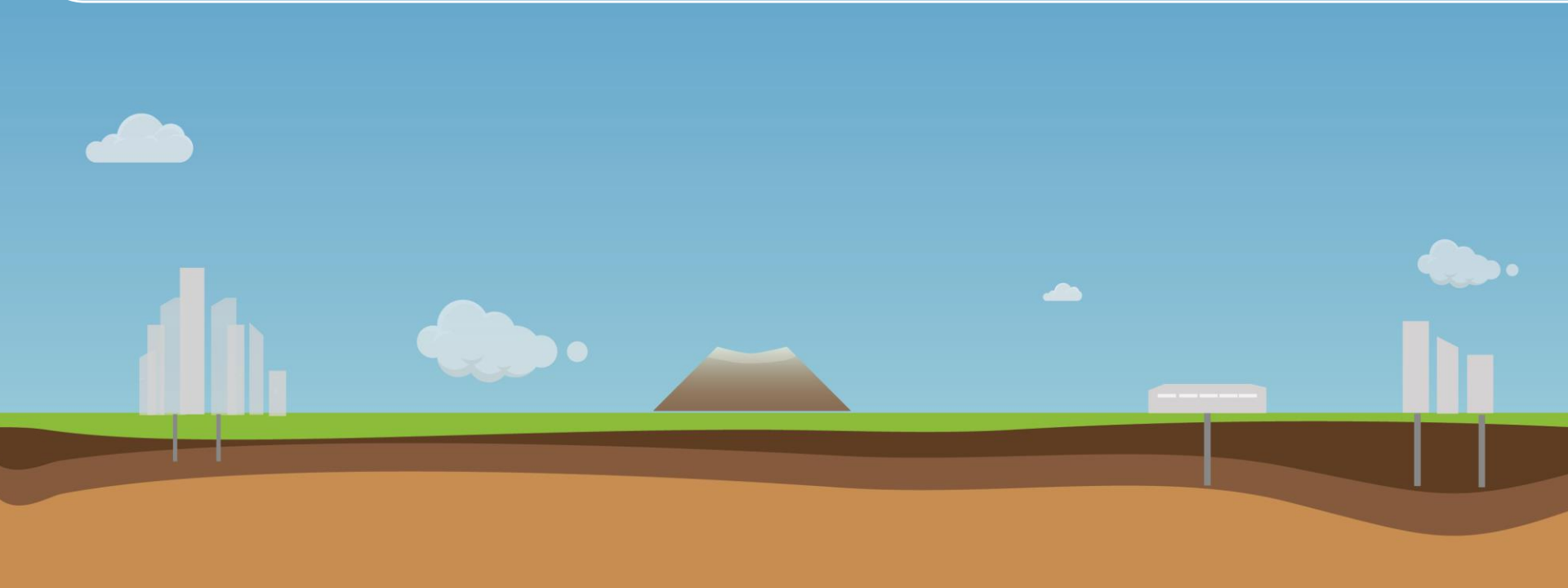


PROCESSUS DE COLMATAGE DES DOUBLETS GÉOTHERMIQUES SUPERFICIELS

LUC BURTÉ

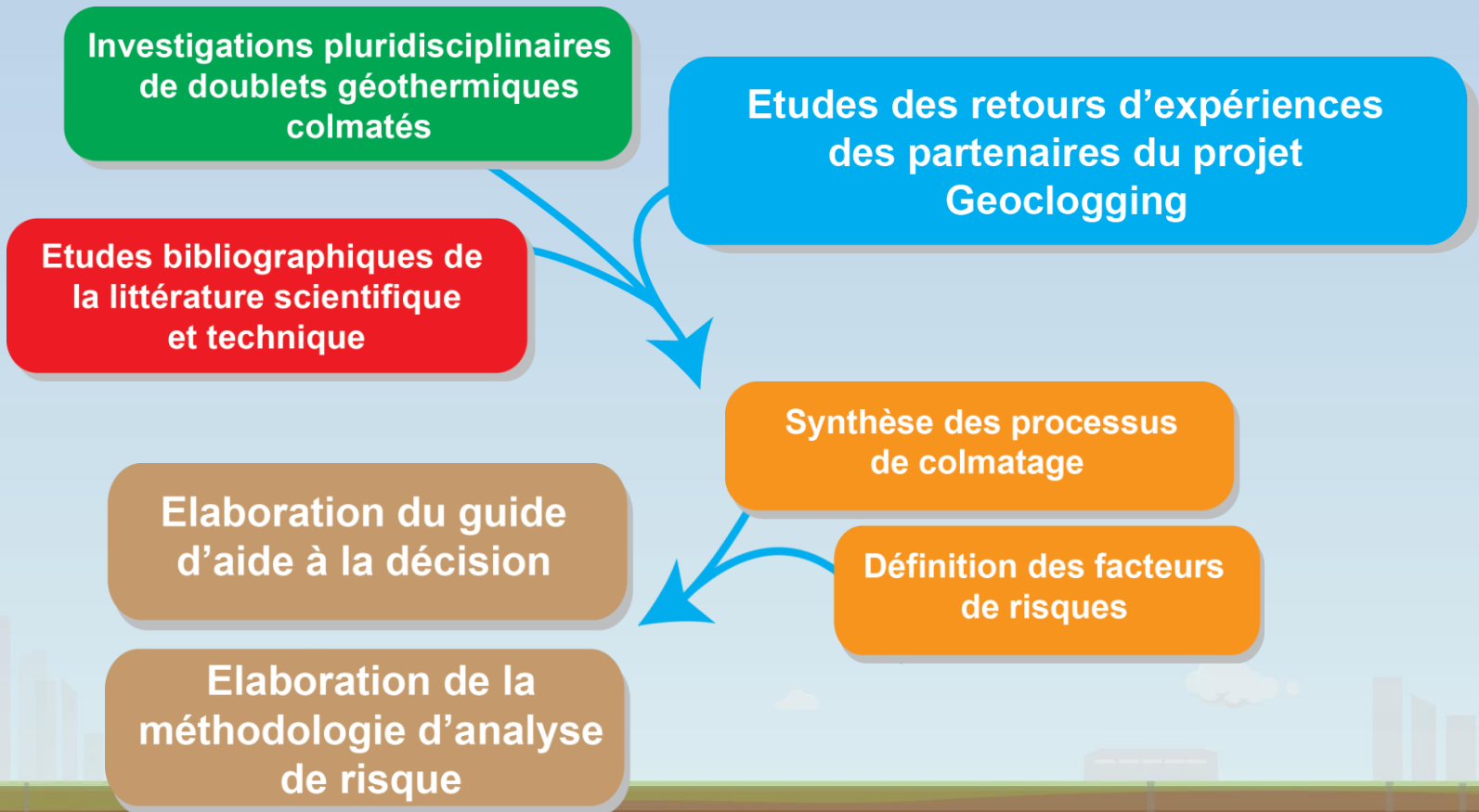
Séance technique du CFGI, 9 novembre 2023



Thèse (2015-2018) réalisée dans le cadre du Projet **GEOCLOGGING** (2014-2018)

Financement de l'**ADEME**

Consortium : **Antea Group** | **Géosciences Rennes** | **Sanfor**



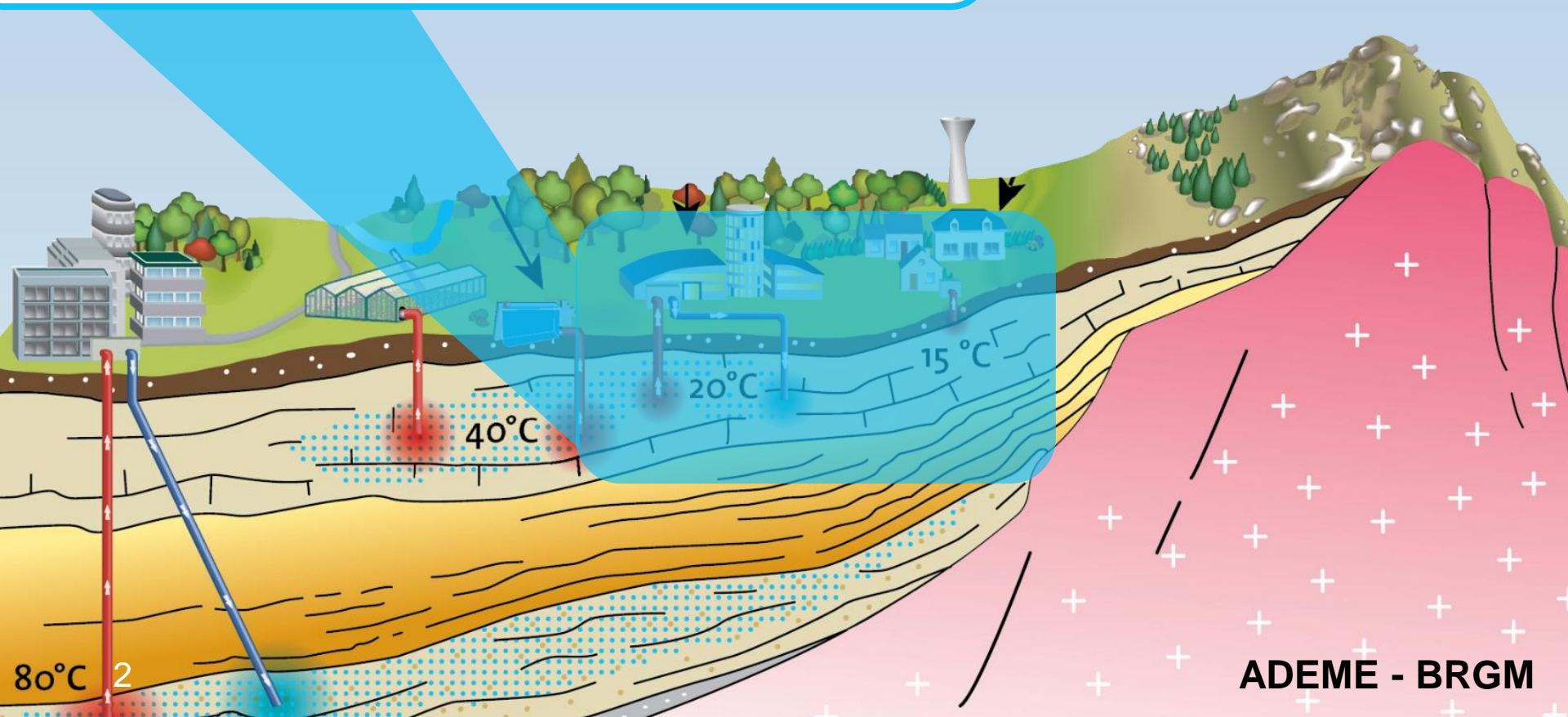
LA GEOTHERMIE

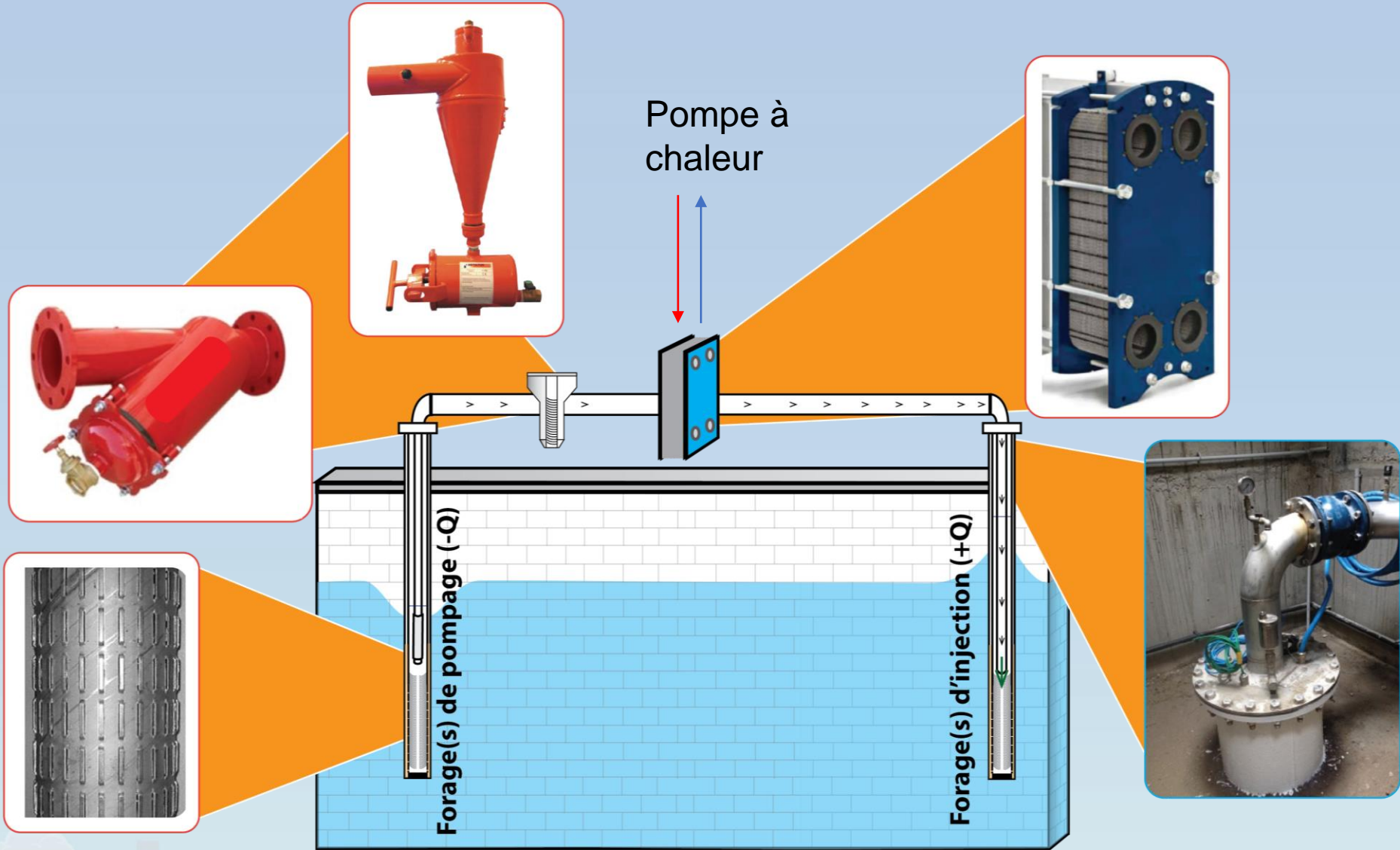
La géothermie très basse température

- Exploitation des 200 premiers mètres
 - Température entre 10 et 30°C
- Température globalement constante à l'année

Usage :

- Chauffage
- Climatisation
- Eau chaude sanitaire



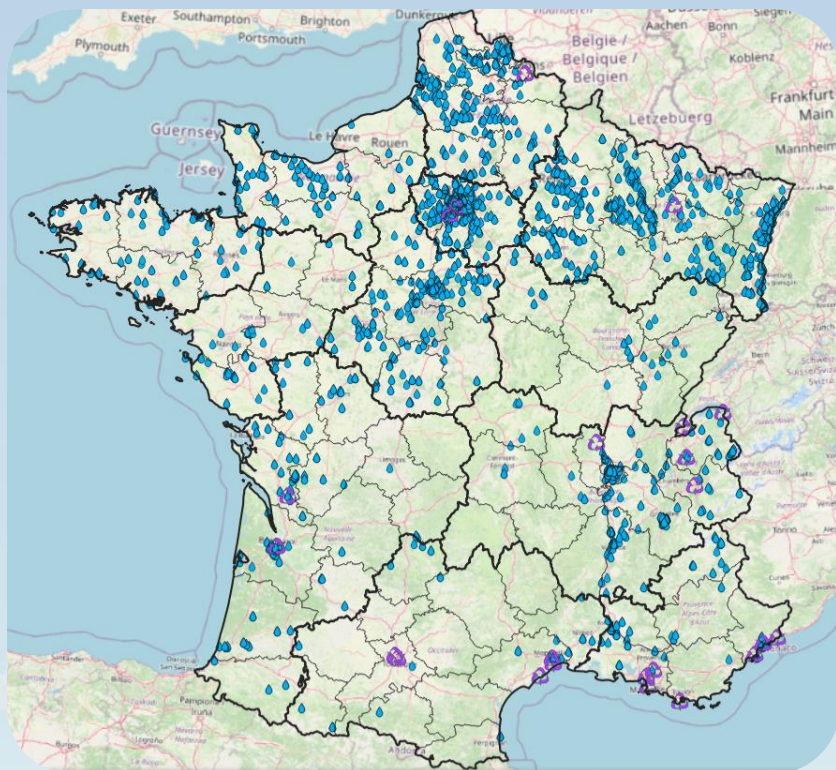


Composition du doublet géothermique

LA GEOTHERMIE SUR AQUIFERES SUPERFICIELS

EN FRANCE...

<https://carto.afpg.fr/>

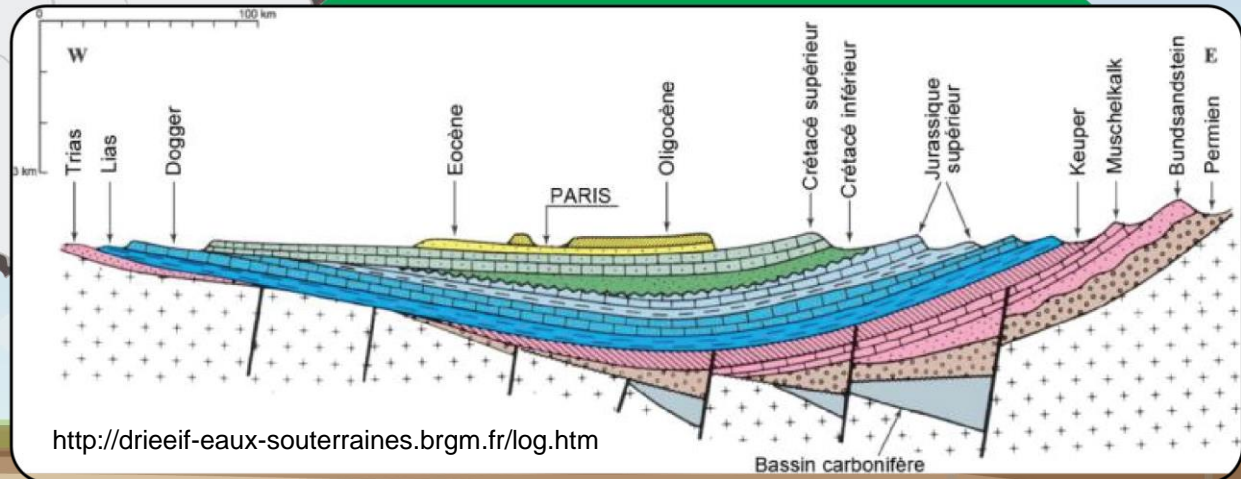
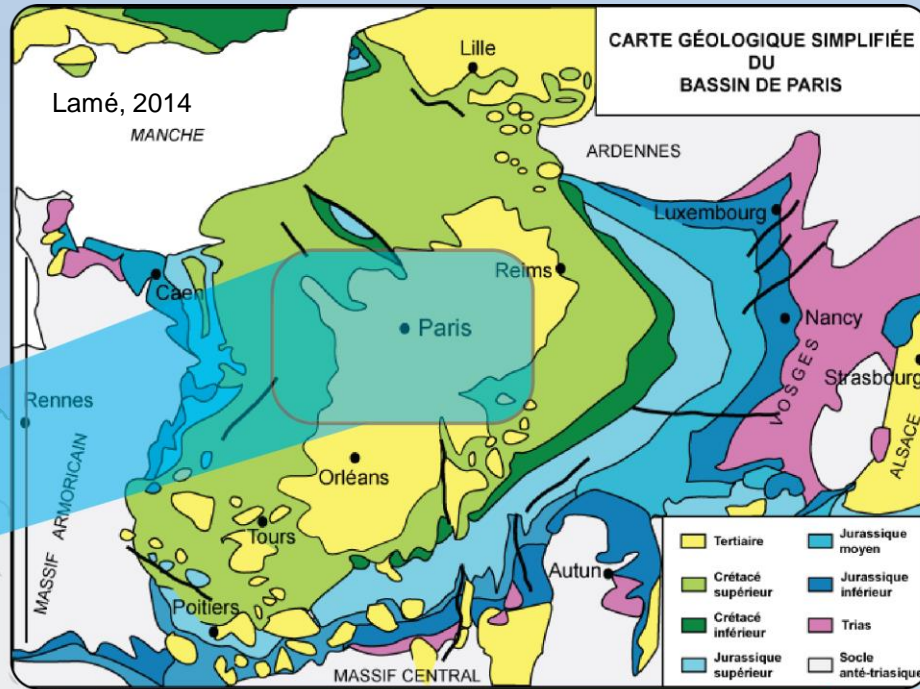


Représente 24% du marché de la géothermie très basse énergie toutes techniques confondues (**AFPG, 2015**)

LES REGIONS PRINCIPALES
Des contextes lithologiques variables

LA GEOTHERMIE SUR AQUIFERES SUPERFICIELS

Systeme multicouche du bassin parisien
(Aquifères sédimentaires)

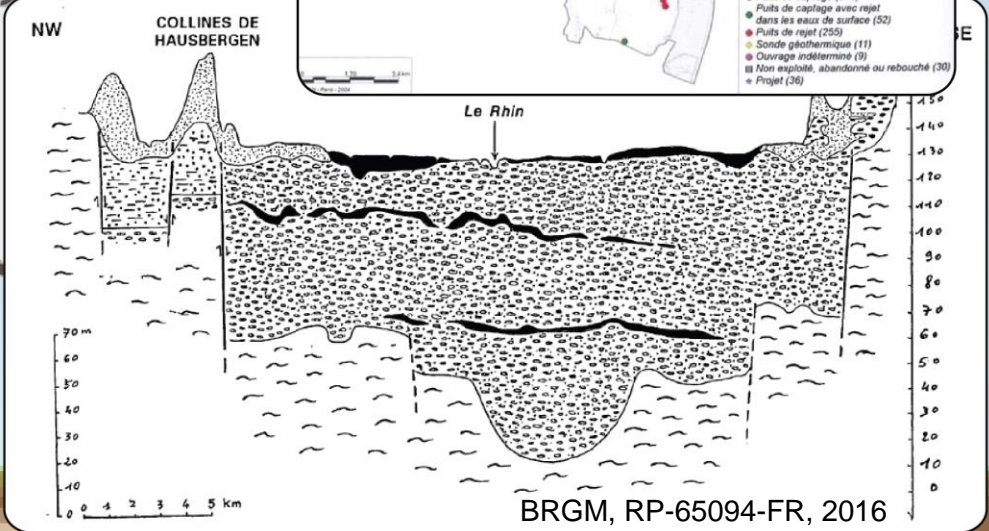
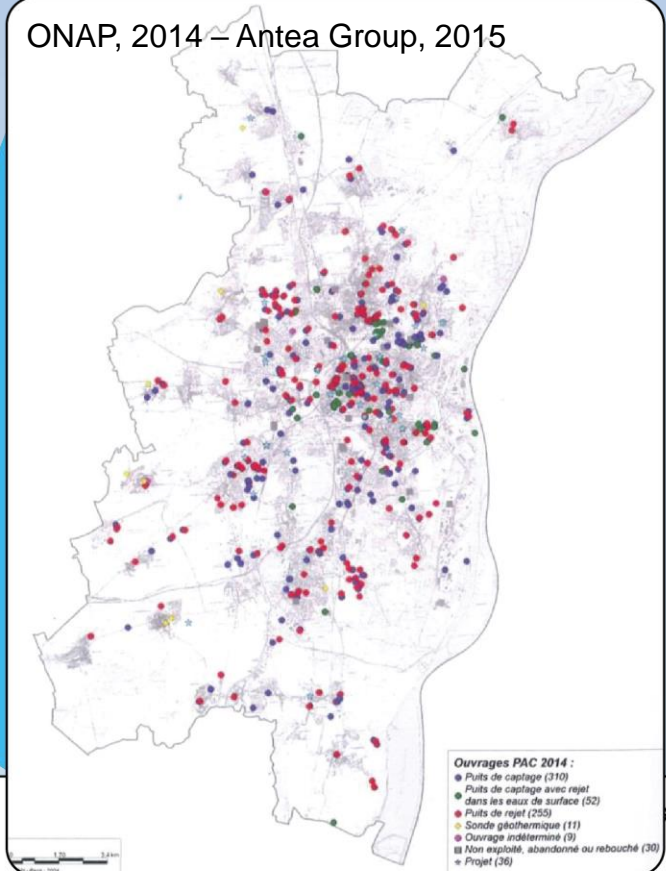


LA GEOTHERMIE SUR AQUIFERES SUPERFICIELS

Alluvions du Rhin (Aquifère sédimentaire)

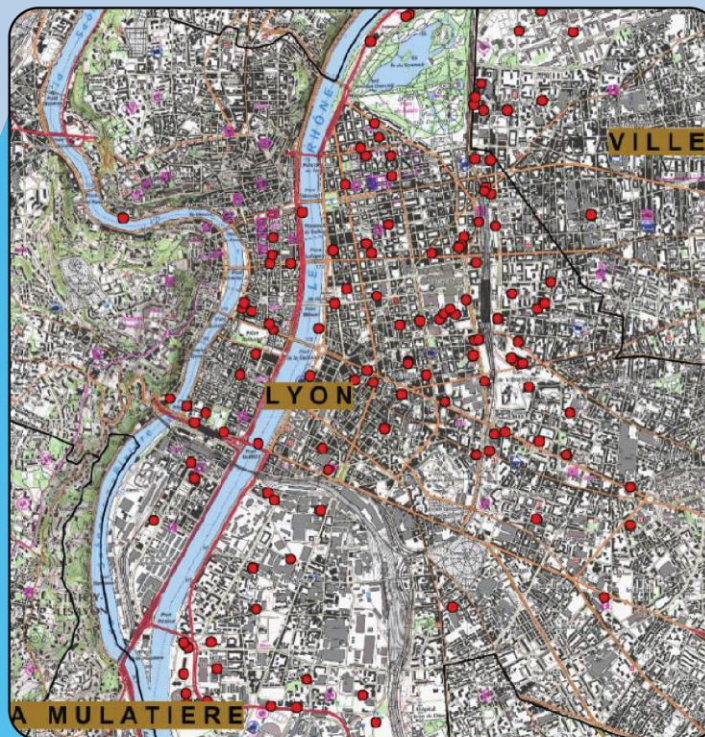
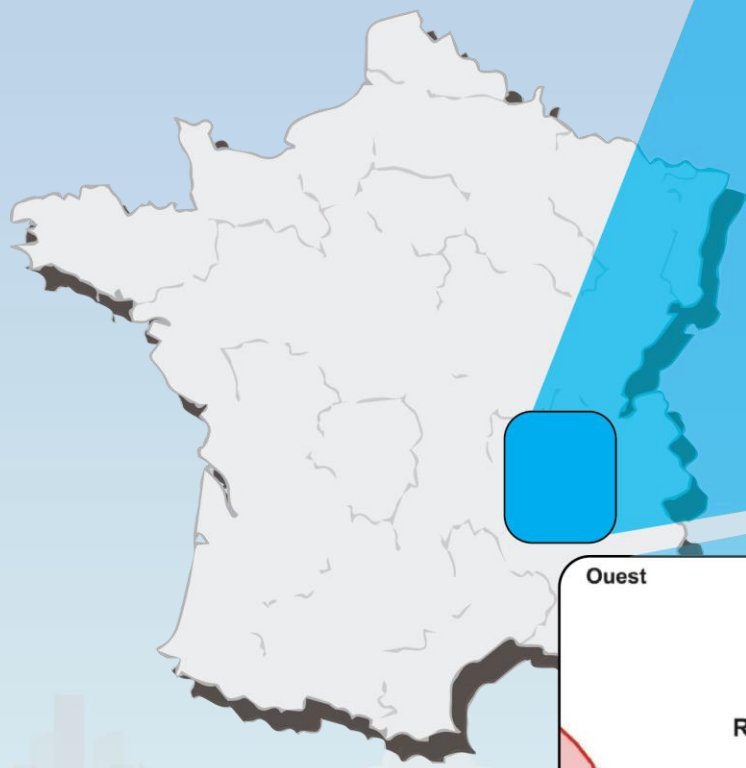


ONAP, 2014 – Antea Group, 2015

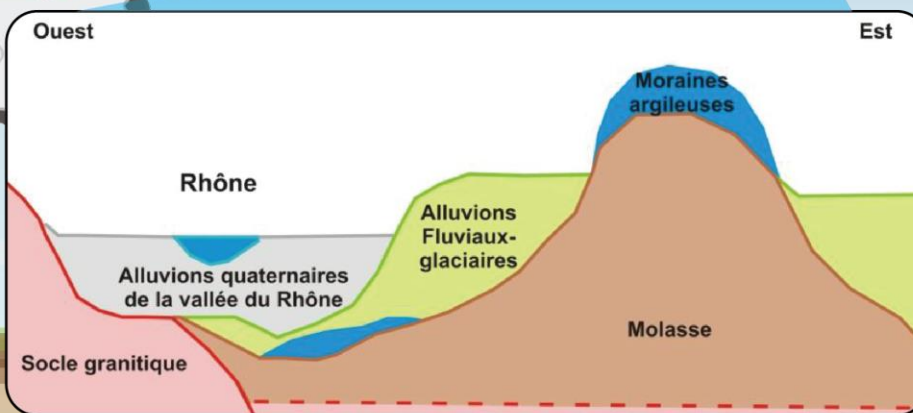


LA GEOTHERMIE SUR AQUIFERE SUPERFICIEL

Alluvions du Rhône et de la Saône (Aquifères sédimentaires)



BRGM, RP-61844-FR, 2012



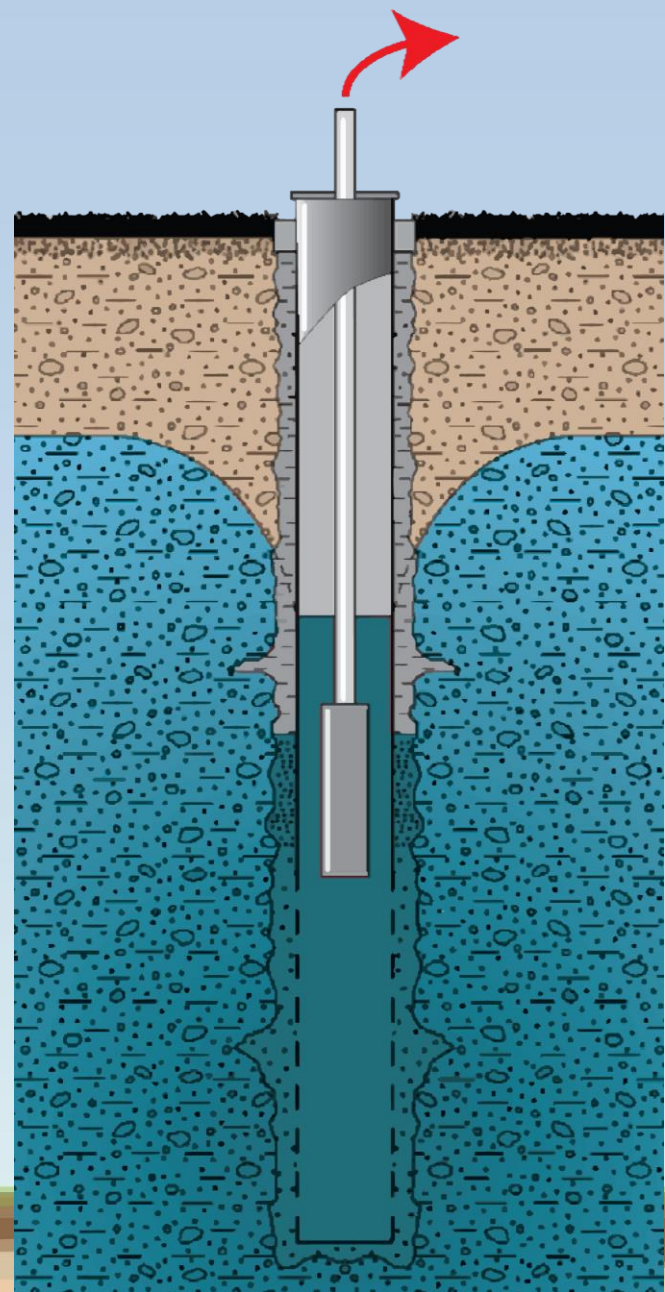
Nicolas et al, 2004

LA GEOTHERMIE SUR AQUIFERES SUPERFICIELS

La pérennité des installations est conditionnée par :

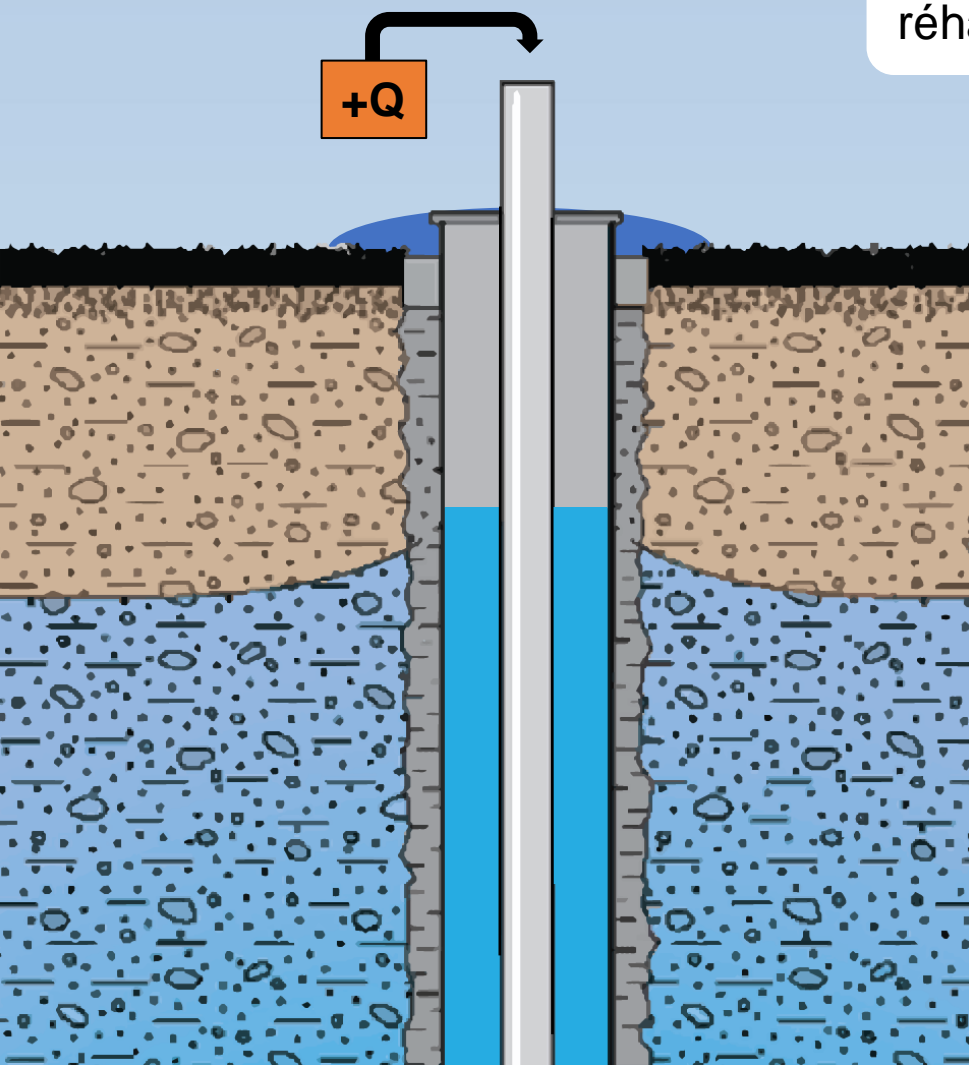
- le maintien des capacités de **production** et de **réinjection** de l'eau géothermale
- Une fréquence de maintenance raisonnable des organes hydrauliques

Remise en question par les processus de **colmatage**



Une conséquence → débordement, montée en pression du système

Forage d'injection



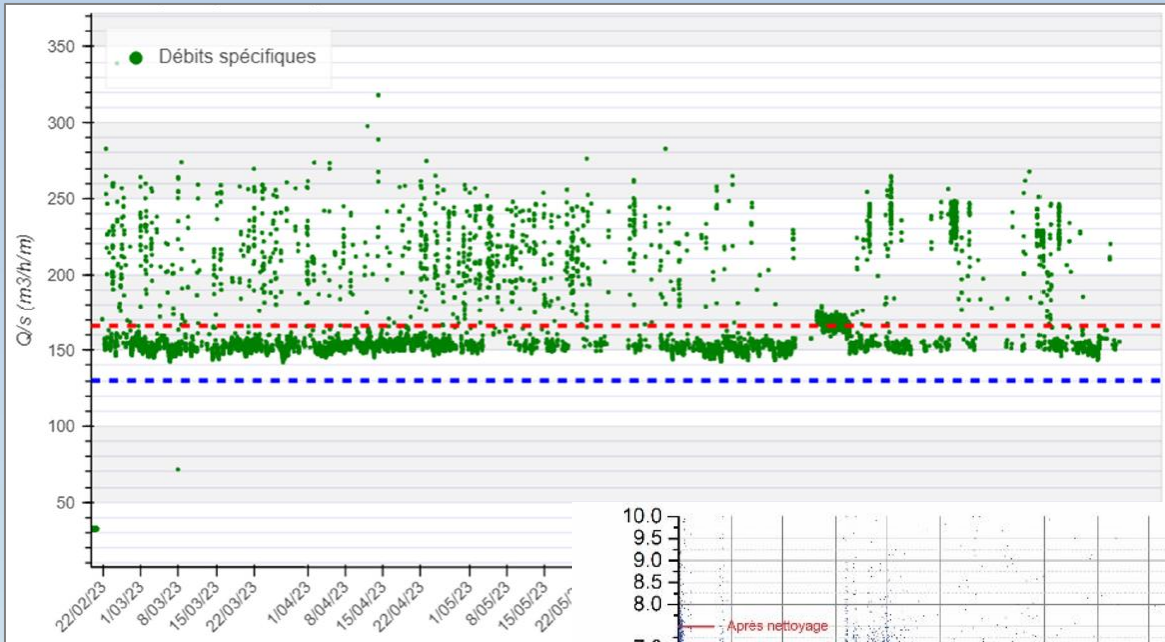
Réalisation de travaux de
réhabilitation/nettoyage



**Impact
économique**

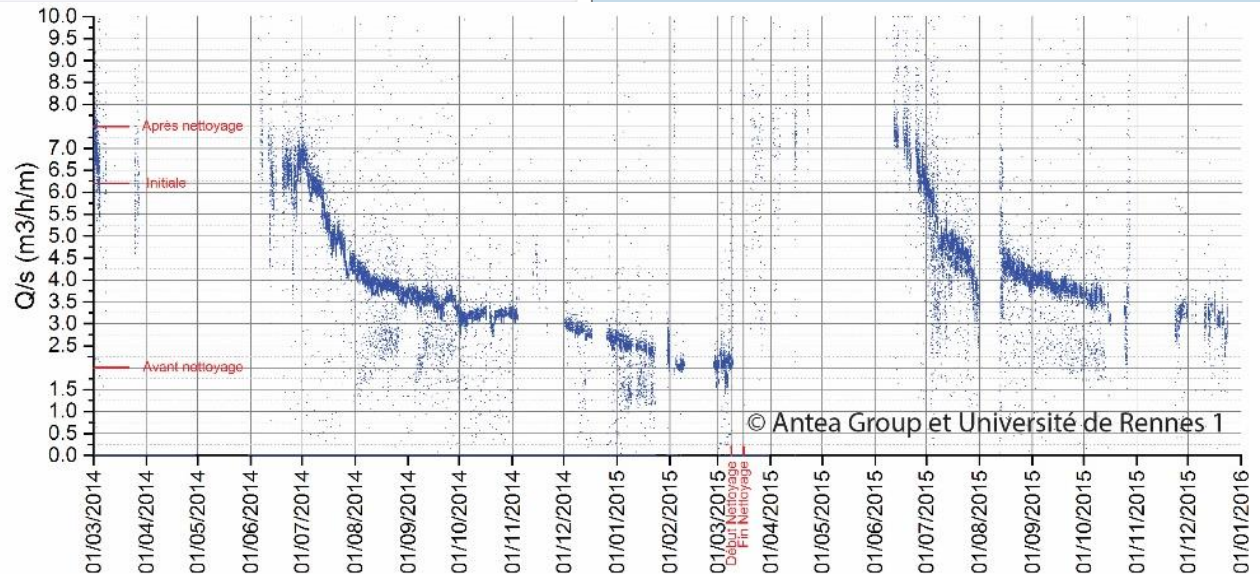
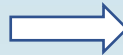


Remise en question par les processus de **colmatage**



← Installation pérenne :
Débit spécifique de
l'injecteur stable

Installation non
pérenne :
Baisse rapide de
l'injectivité



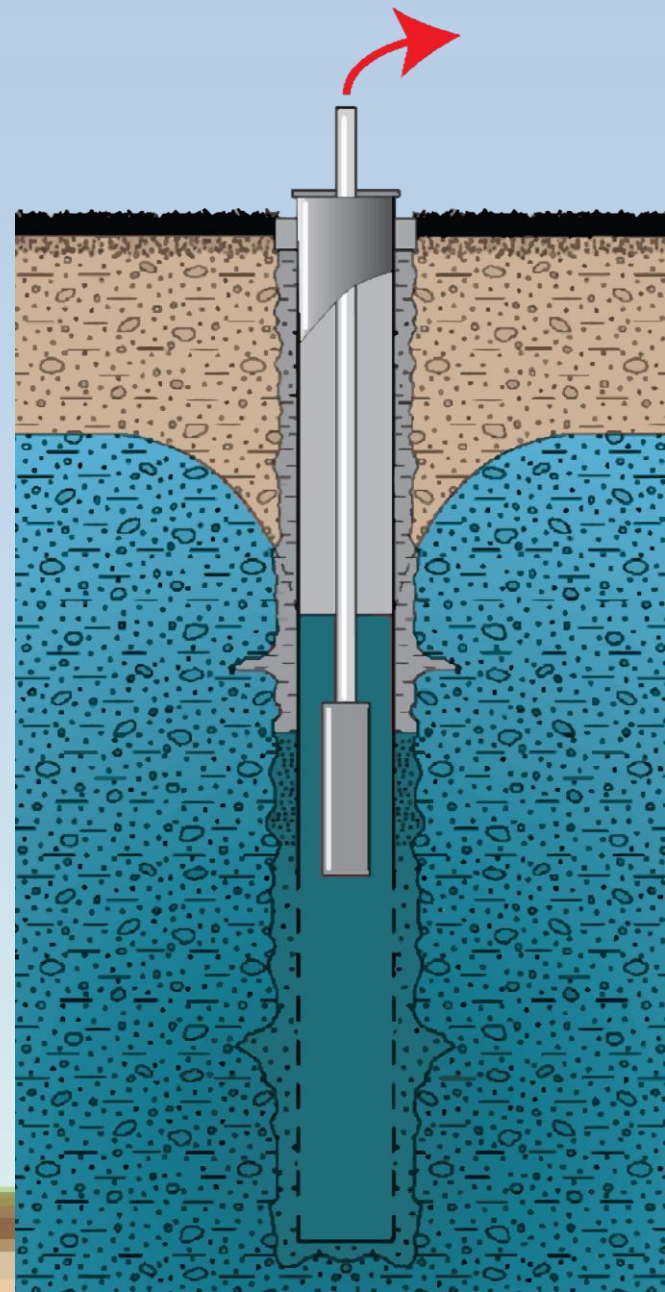
Remise en question par les processus
de **colmatage**

RETOURS D'EXPERIENCE

Difficulté d'anticiper l'apparition de ces désordres aux
premiers stades du projet

Rapidité d'apparition des impacts

Difficulté de traiter efficacement et de prévenir ces
processus

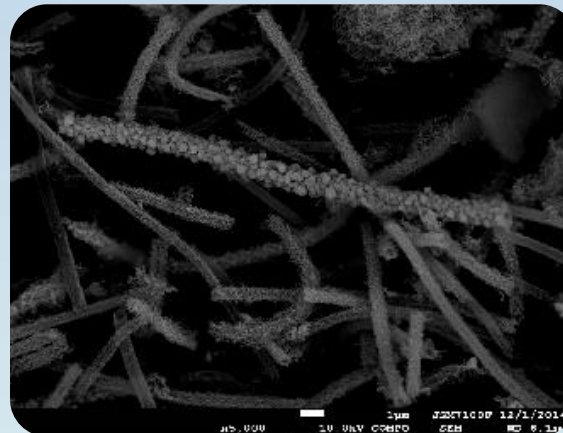
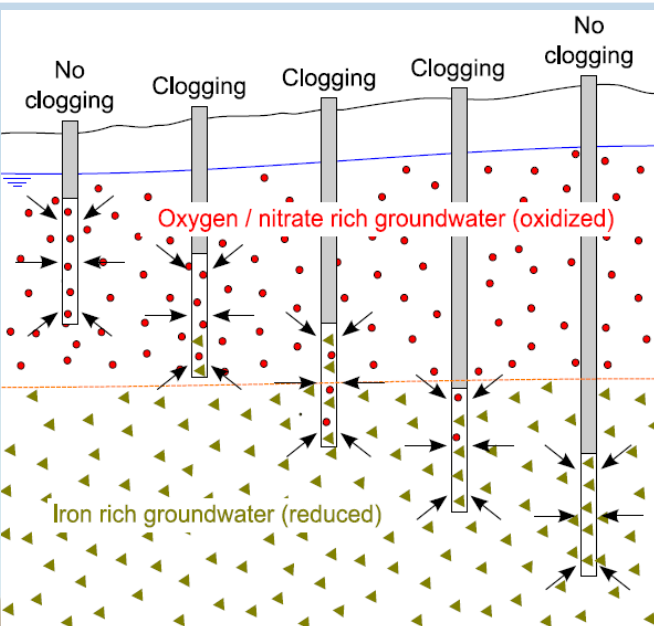


LA GEOTHERMIE SUR AQUIFERES SUPERFICIELS

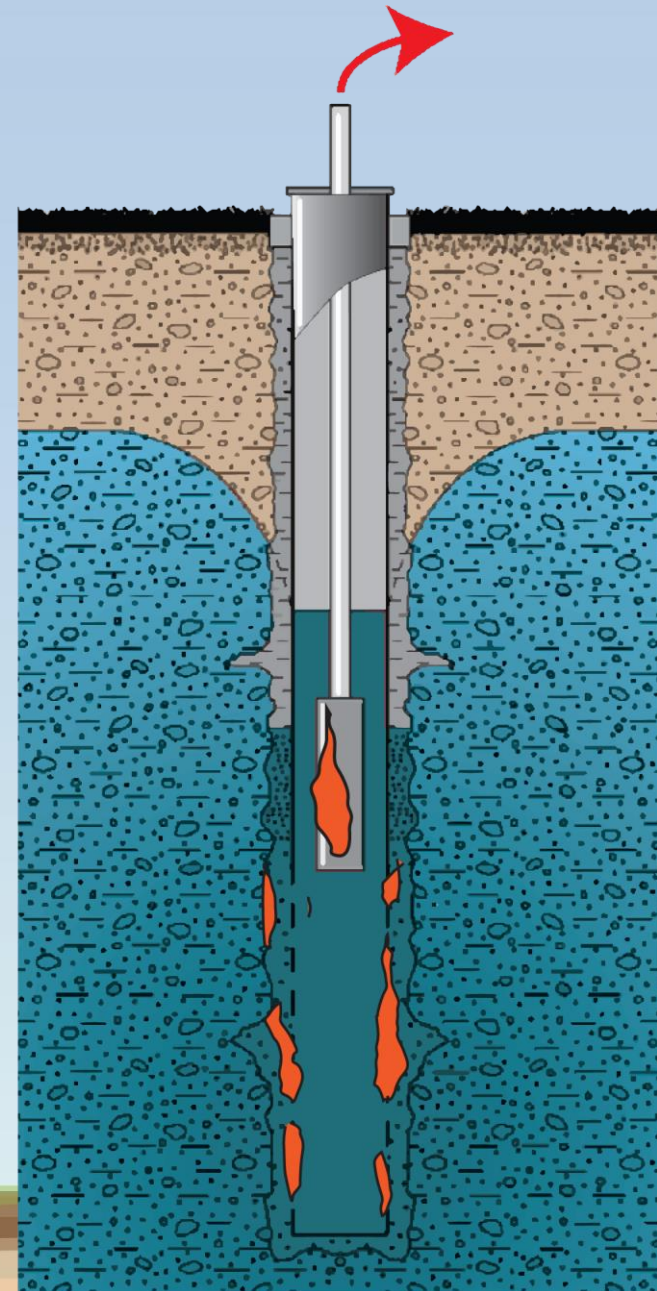
Diversité des processus de **colmatage**

Variabilité des contextes géologiques et hydrogéologiques

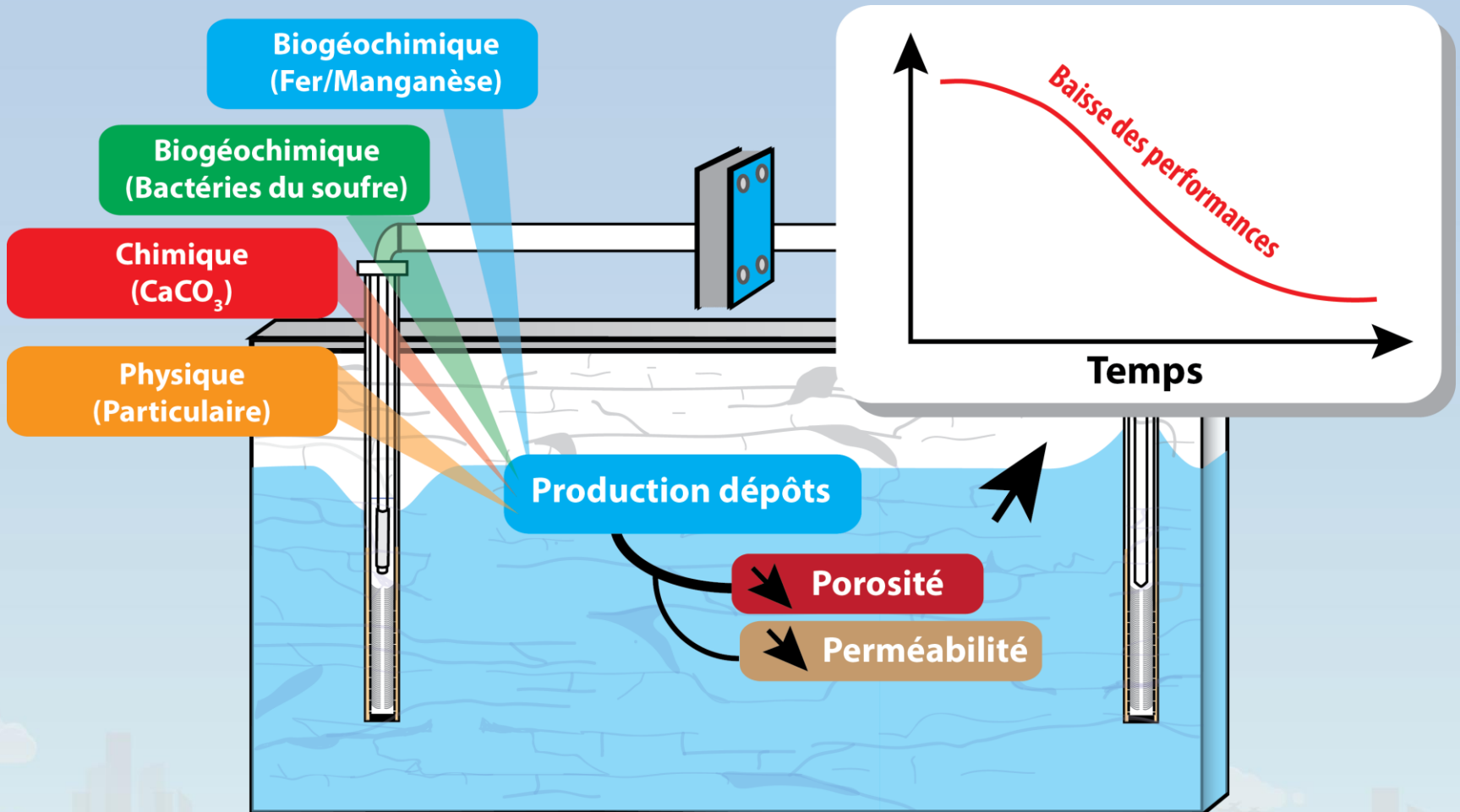
Variabilité des conditions chimiques et biologiques



Olivier Bochet et al,
2018



LE COLMATAGE



LE COLMATAGE

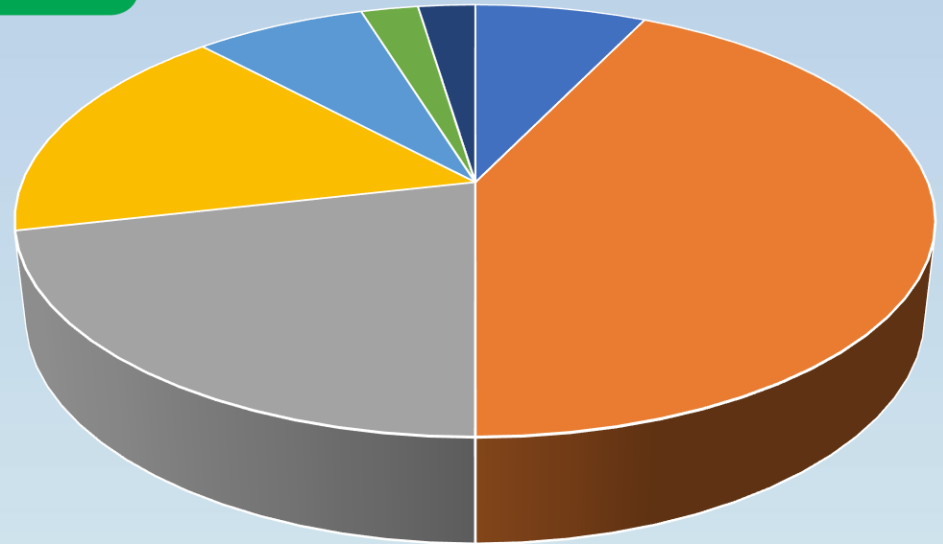
Production de dépôts
par voie :

Biogéochimique
(Fer/Manganèse)

Biogéochimique
(Bactéries du soufre)

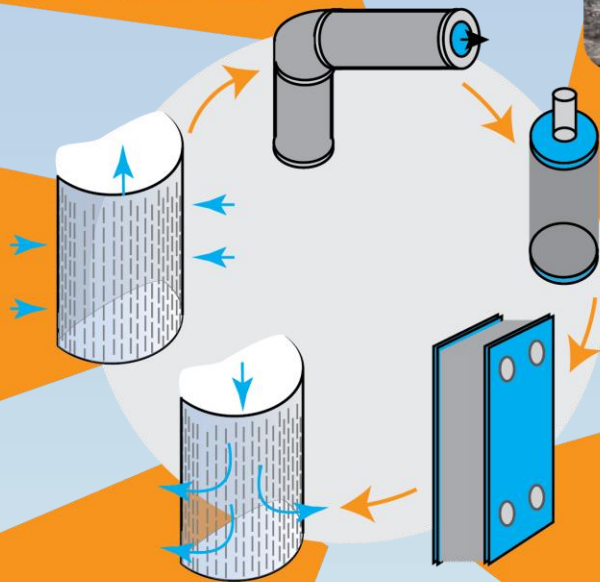
Chimique
(CaCO_3)

Physique
(Particulaire)



- Démarrage
- < 1 an
- < 2 ans
- < 3 ans
- < 4 ans
- < 5 ans
- < 12 ans

COMPONENTES SENSIBLES



LE COLMATAGE

Production de dépôts
par voie :

Biogéochimique
(Fer/Manganèse)

Biogéochimique
(Bactéries du soufre)

Chimique
(CaCO_3)

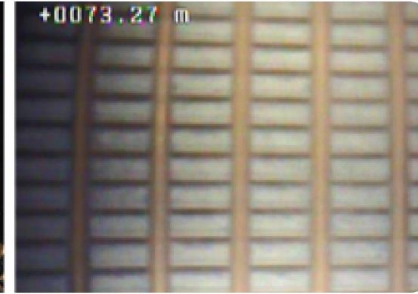
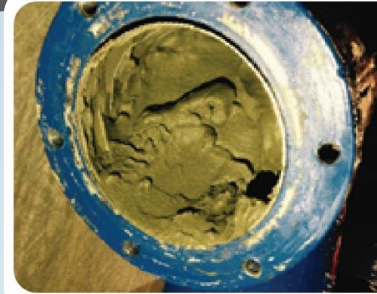
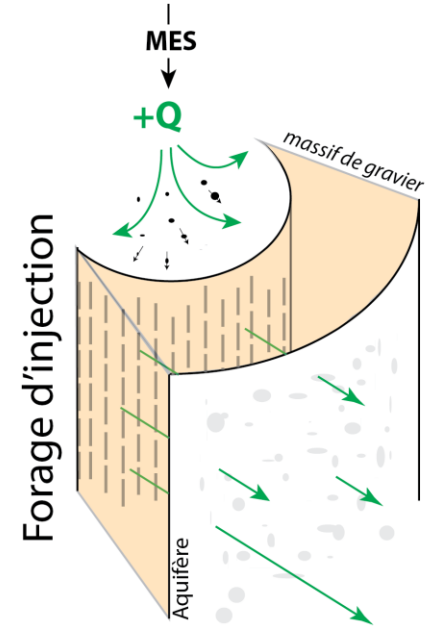
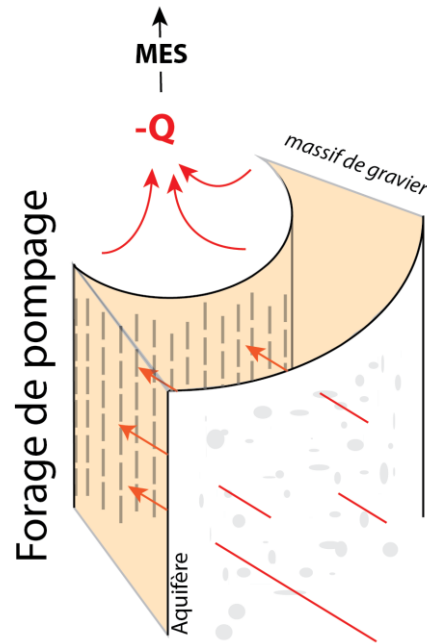
Physique
(Particulaire)

Production de dépôts
par voie :

Biogéochimie
(Bactéries)

Chimique
(CaCO_3)

Physique
(Particulaire)



Production de dépôts
par voie :

Biogéochimique
(Fer/Manganèse)

Biogéochimique
(Bactéries du soufre)

Chimique
(CaCO_3)

Physique
(Particulaire)



Déstabilisation de l'eau souterraine (à l'équilibre chimique avec les minéraux de l'aquifère)

Augmentation de la température de l'eau géothermale

Dégazage du CO_2 dissous



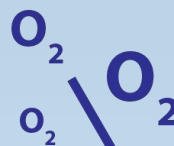
Production de dépôts
par voie :

Biogéochimique
(Fer, Manganèse)

Biogéochimique
(Bactéries du soufre)

Minérale
(CaCO_3)

Physique
(Particulaire)

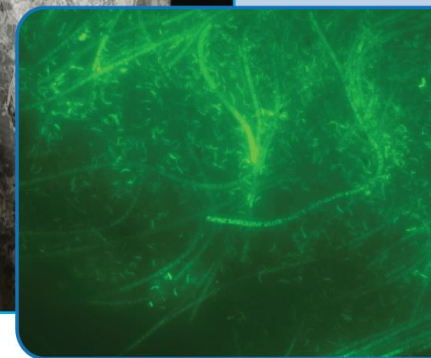


Bactéries
filamenteuses
oxydant l' H_2S

Bactéries
sulfato-réductrices



MILIEU ANOXIQUE ET REDUCTEUR
RICHE EN SULFATES



Production de dépôts
par voie :

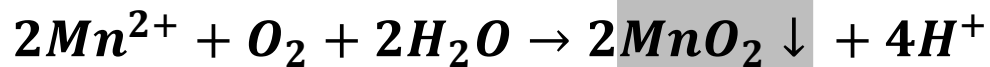
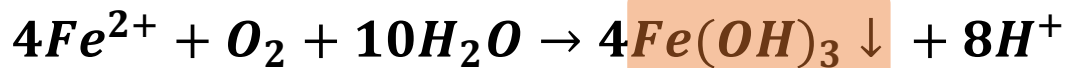
Biogéochimique
(Fer/Manganèse)

Biogéochimique
(Bactéries du soufre)

Chimique
(CaCO₃)

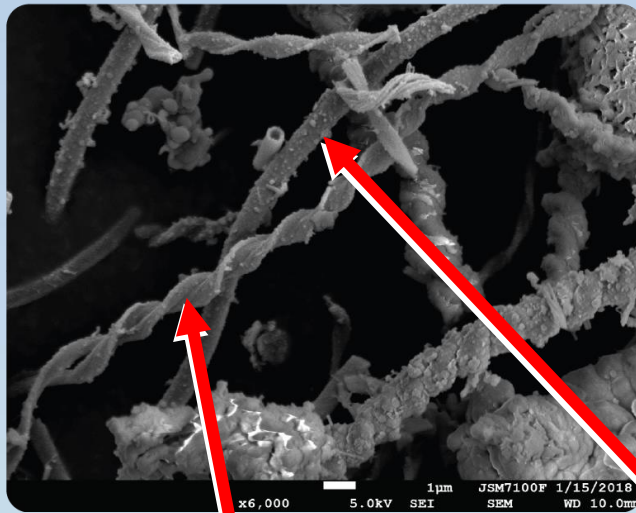
Physique
(Particulaire)

≈ 75% des cas de
colmatage recensés



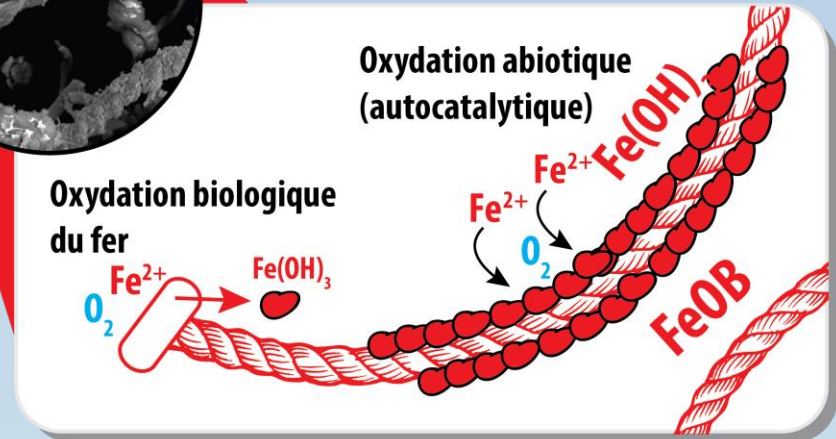
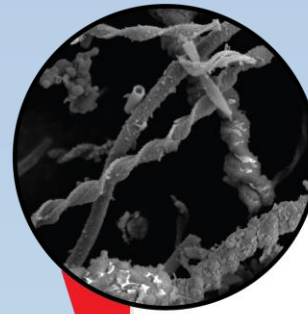
COLMATAGE BIOGEOCHIMIQUE (Fe/Mn)

Concernant le fer



Type **Gallionella**

Type **Leptothrix**

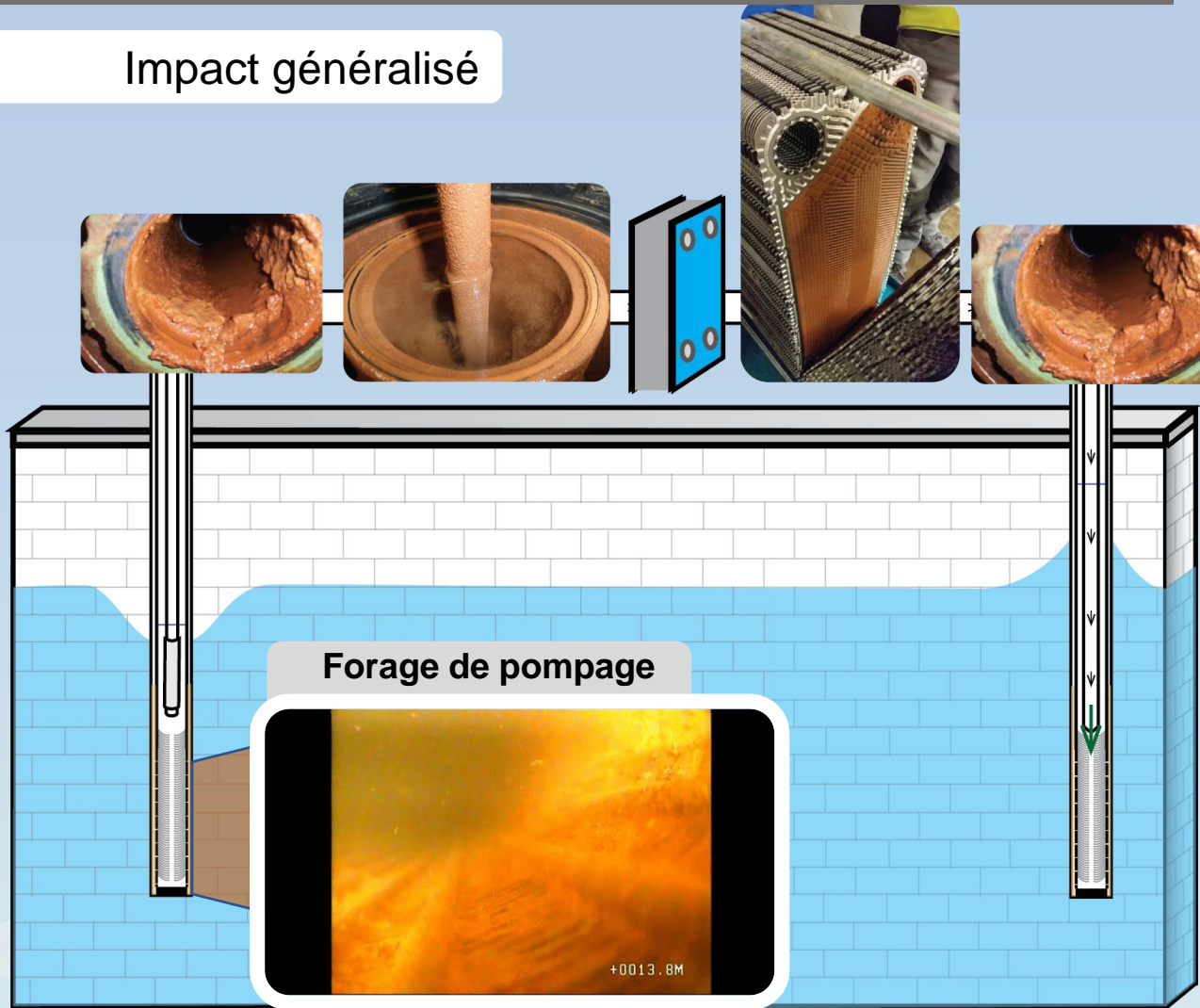


Présence systématique des bactéries oxydantes du fer dans les dépôts



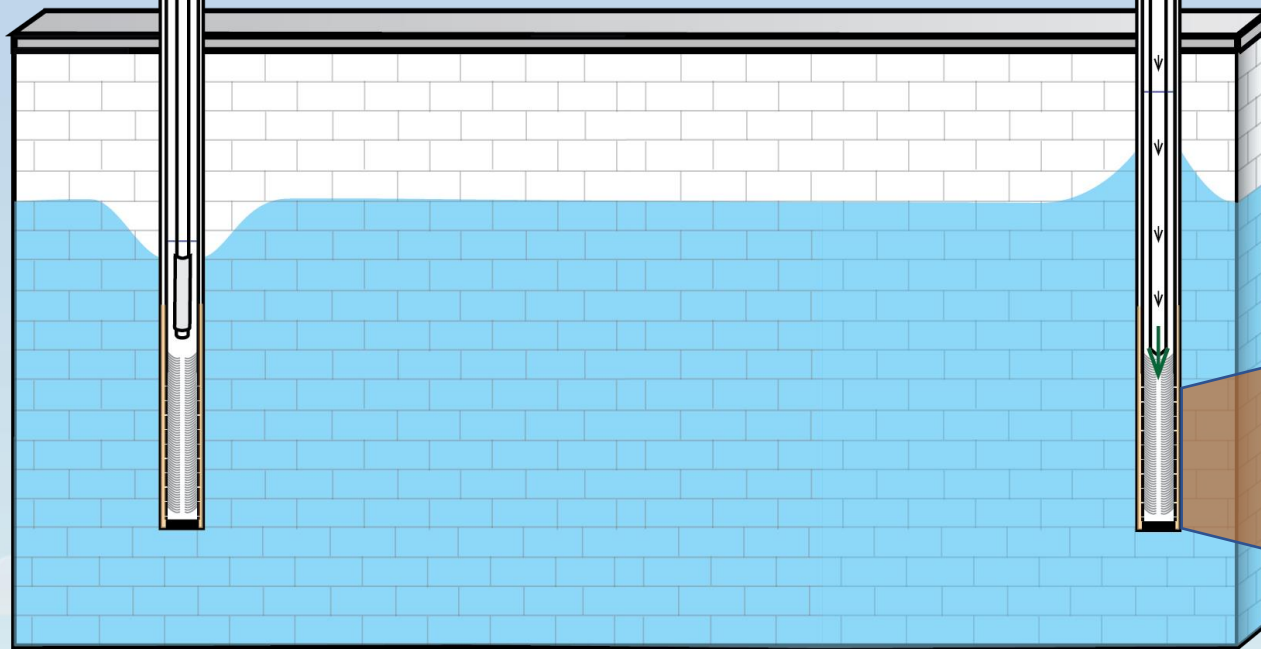
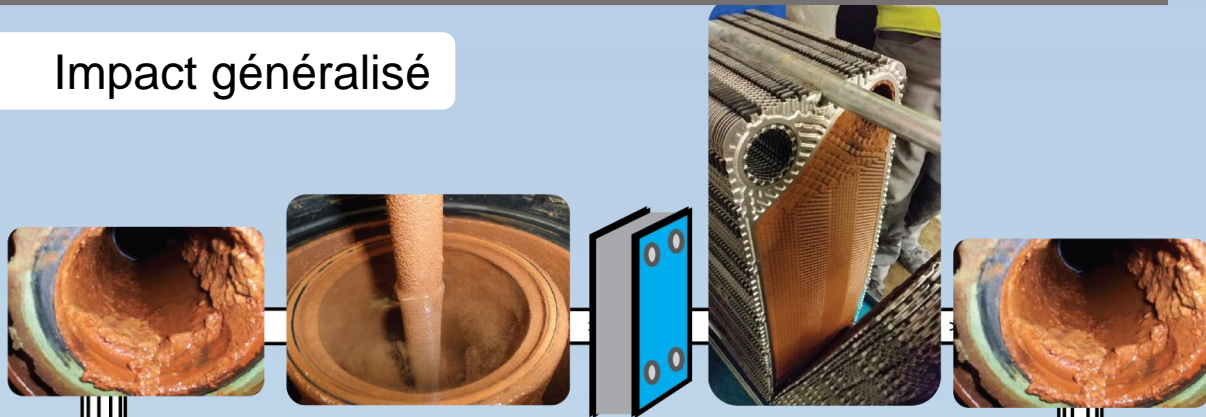
COLMATAGE BIOGEOCHIMIQUE (Fe/Mn)

Impact généralisé



COLMATAGE BIOGEOCHIMIQUE (Fe/Mn)

Impact généralisé

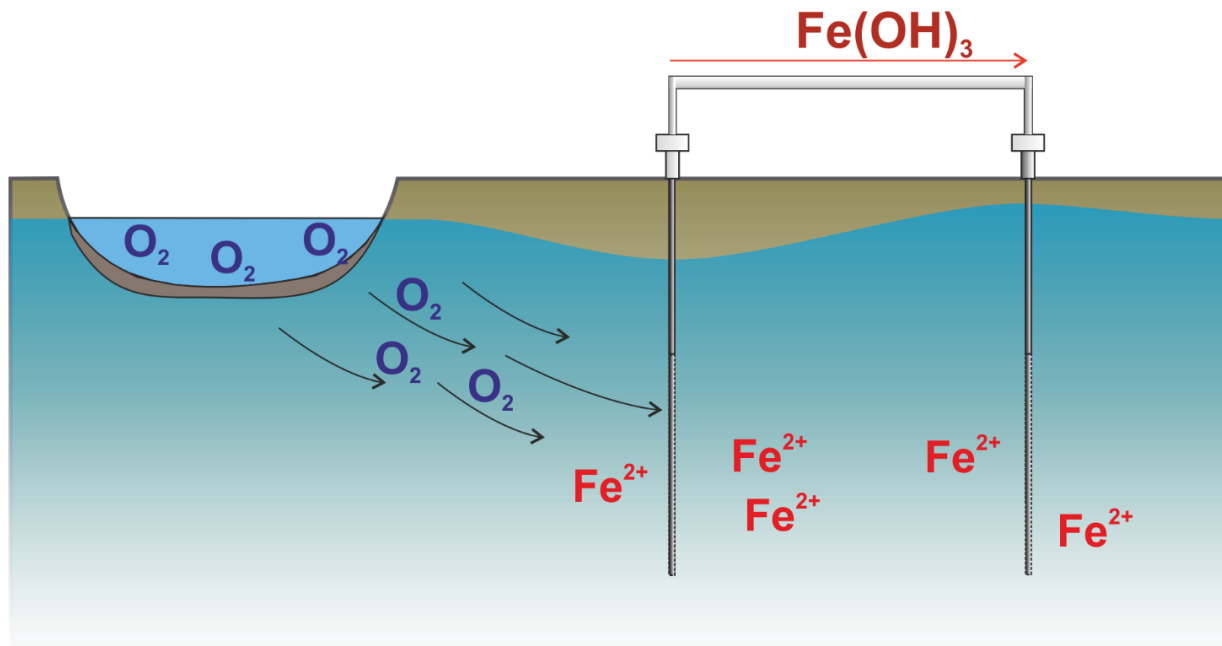


Forage d'injection



COLMATAGE BIOGEOCHIMIQUE (Fe/Mn)

Réactivité induite par le mélange d'eau réduite (Fe^{2+} , Mn^{2+}) et d'eau oxydante (O_2) au sein de l'aquifère et du doublet → Mélange réactif

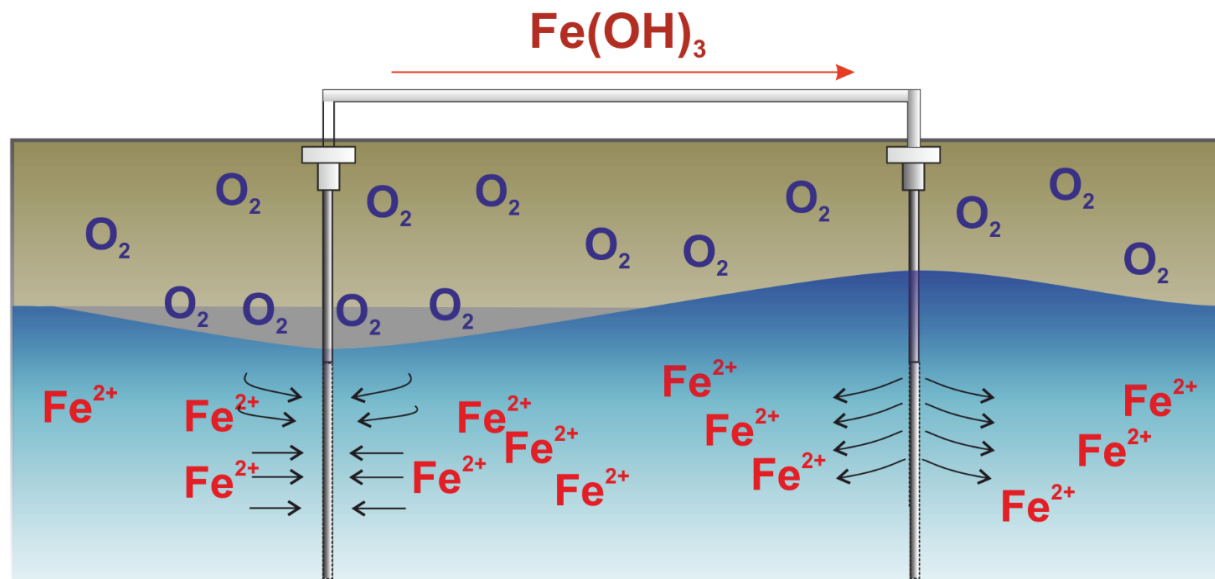


18/47 cas
référencés à
moins de 200m
d'une masse d'eau

Interaction avec une masse d'eau superficielle

COLMATAGE BIOGEOCHIMIQUE (Fe/Mn)

Réactivité induite par le mélange d'eau réduite (Fe^{2+} , Mn^{2+}) et d'eau oxydante (O_2) au sein de l'aquifère et du doublet → Mélange réactif

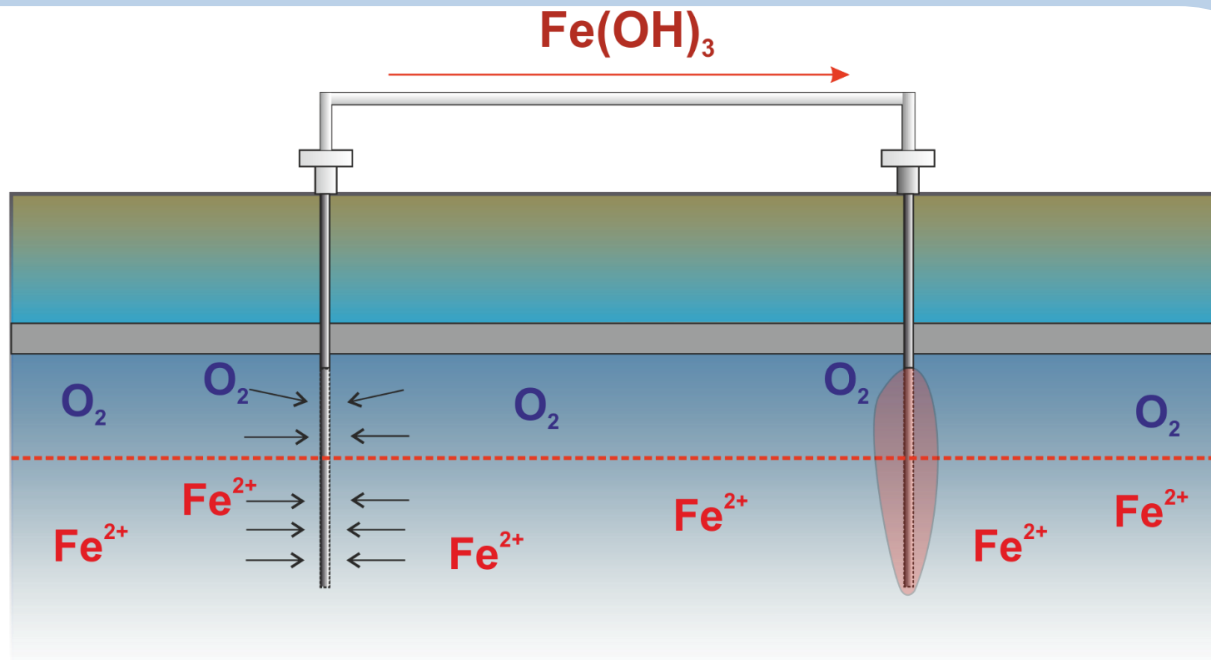


Echanges atmosphère – eau souterraine

21/47 cas référencés possédant un niveau dynamique proche des parties captantes

COLMATAGE BIOGEOCHIMIQUE (Fe/Mn)

Réactivité induite par le mélange d'eau réduite (Fe^{2+} , Mn^{2+}) et d'eau oxydante (O_2) au sein de l'aquifère et du doublet → Mélange réactif



Stratification chimique initiale de l'aquifère

2/47 cas avérés
parmi les sites
d'études

Les ENJEUX :

Identification initiale des risques de colmatage :

- Analyse des données locales, retour d'expériences, ...
- Phase de reconnaissance et protocole d'analyse des eaux adaptée



Mettre en place les **bonnes pratiques** au regard des risques évalués

Recommendations sur le dimensionnement finale des forages, des systèmes de filtration, du dispositif de rétrolavage des forages d'injection, maintien de pression, inertage à l'azote, ...)

Recommendations sur le fonctionnement (débit max, fréquence de rétrolavage)

Recommendations sur le suivi hydraulique des forages géothermiques

Recommendations sur le suivi géochimique des forages et dans la boucle primaire

Merci pour votre attention