

Atelier « Infiltration des eaux pluviales en sous-sol contraint »

# Etat des connaissances sur la faisabilité de l'infiltration en présence de gypse ou d'argile

Emmanuel Dumont, Jérémie Sage

9 décembre 2024

# Introduction

*Réduction des rejets vers les réseaux*

*Maîtrise des flux de polluants via le sol*

## **Intérêt d'une infiltration à la source des eaux pluviales**

*Abattement des pluies courantes même pour des sols peu perméables*

*Des ouvrages le plus souvent végétalisés avec de nombreux co-bénéfices*

## **Contraintes potentielles :**

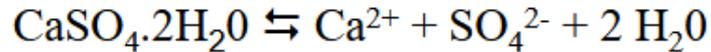
- **Présence de gypse**
- **Phénomènes de RGA**
- **Sol peu perméable**
- **Nappe à faible profondeur**
- **Anciennes carrières**
- **Pollution du sol**
- **Fortes pentes**
- **Captages AEP**

Partie 1

# La contrainte « gypse »

# L'aléa dissolution du gypse

- \* Le gypse, une roche soluble dans l'eau



- \* Dissolution dépend de 3 facteurs

- quantité de gypse présente
- présence d'écoulements
- potentiel de dissolution de l'eau

- \* Problématique

- Infiltration d'eau peu minéralisée peut dissoudre le gypse et occasionner des désordres
- Infiltration souvent écartée à cause de la présence potentielle de gypse
- Création d'un GT régional pour objectiver cette problématique



Cavité de dissolution provoquée par une fuite d'eau potable (Cerema)

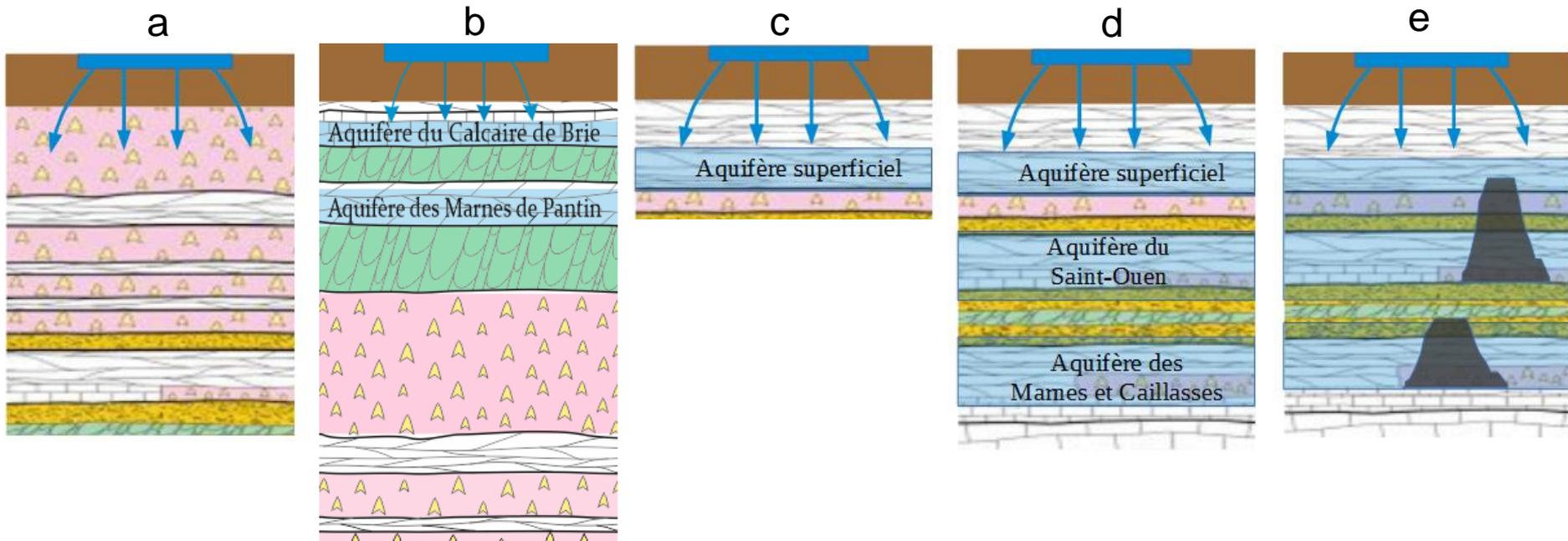


Cavité de dissolution sous un fossé de la RN3 (Cerema)

# L'aléa dissolution du gypse

## \* Identification de différents contextes géologiques et hydrogéologiques

- gypse hors nappe (a)
- gypse situé hors nappe mais protégé par des formations imperméables (b)
- gypse peu profond sous nappe (c)
- gypse profond sous nappe (d)
- terrains antérieurement remaniés par d'anciennes dissolutions (e)



# L'aléa dissolution du gypse

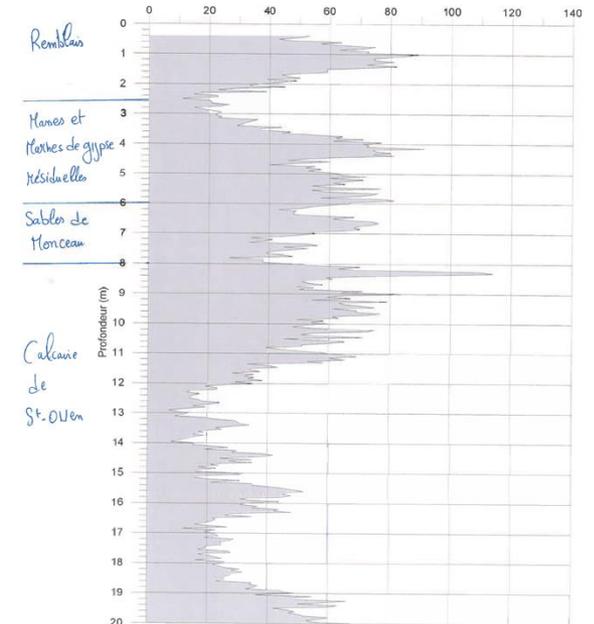
## Retour d'expérience à partir d'une analyse de DLE

### \* Constat

- Présence de gypse souvent supposée sur la seule base d'un périmètre réglementaire
- Description des sondages peu précise
- Interprétation parfois erronée des mesures de radioactivité naturelle (RAN)
- Analyses physico-chimiques (a minima concentration en sulfates) quasiment jamais effectuées
- Anciens désordres peu ou pas recherchés

### \* Perspectives

- Préconisations techniques à destination des pétitionnaires pour mieux cadrer l'évaluation de la faisabilité de l'infiltration des eaux pluviales en zone de gypse
- Opportunité d'établir une distinction entre « petits » et « plus gros » projets ?



Exemple de mesure de RAN

# Modélisation numérique de la dissolution du gypse

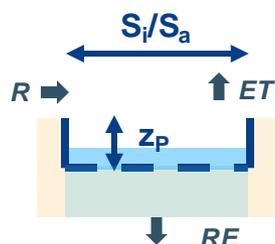


INERIS

**Objectif:** évaluer l'impact de l'infiltration sur la dissolution pour des scénarios contrastés de conception d'ouvrage et de contexte souterrain

## Méthode:

- \* Modèle hydrologique (infiltration profonde ou « recharge ») → modèle Ineris d'interface diffuse (processus physico-chimiques de dissolution)
- \* Deux scénarios d'infiltration (+ référence sans infiltration) × deux scénarios de distance à la zone de gypse



**Scénario 1 « diffus, peu perméable »**

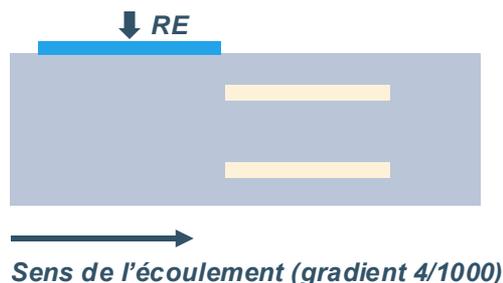
$S_i/S_a = 12.9\%$   
 $K_s = 2 \times 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$   
 $z_p = 10 \text{ cm}$

→ 80% de la pluie infiltrée

**Scénario 2 « concentré, perméable »**

$S_i/S_a = 1.8\%$   
 $K_s = 1 \times 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$   
 $z_p = 20 \text{ cm}$

→ 80% de la pluie infiltrée



Configuration testée	Scénario 1		Scénario 2	
	Réf.	Inf.	Réf.	Inf.
Gypse à 4 m (30 ans)	78.5	73.5	68	65
Gypse à 19 m (30 ans)	86	85.5	82	82
Gypse à 19 m (100 ans)	72	68	47	45

Pourcentage du volume de gypse restant après 30 ou 100 ans, avec infiltration (« inf ») ou pour le scénario de référence (« ref »)

Partie 2

# La contrainte « argile »

# La problématique des sols argileux

## \* Qu'est-ce qu'une argile ?

*Matière rocheuse constitué de silicates, le plus souvent avec une structure cristalline → de nombreuses familles d'argiles !*

## \* Deux contraintes pour l'infiltration:

### 1) Milieu peu perméable donc peu propice à l'infiltration

- Performance réduite des ouvrages
- Durées de mise en eau importantes
- Contextes associés à la présence de nappe peu profondes

### 2) Des phénomènes spécifiques

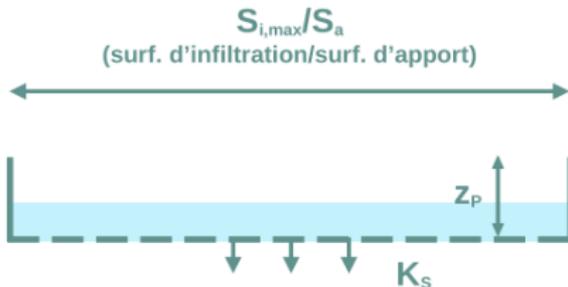
- Retrait (sol trop sec)
- Gonflement et perte de portance (sol trop humide)
- Infiltrations d'eau au niveau des sous-sol (sol demeurant très humide sur des durées trop importantes)

# L'infiltration des EP sur des sols peu perméables

## Résultats issus de l'outil Oasis

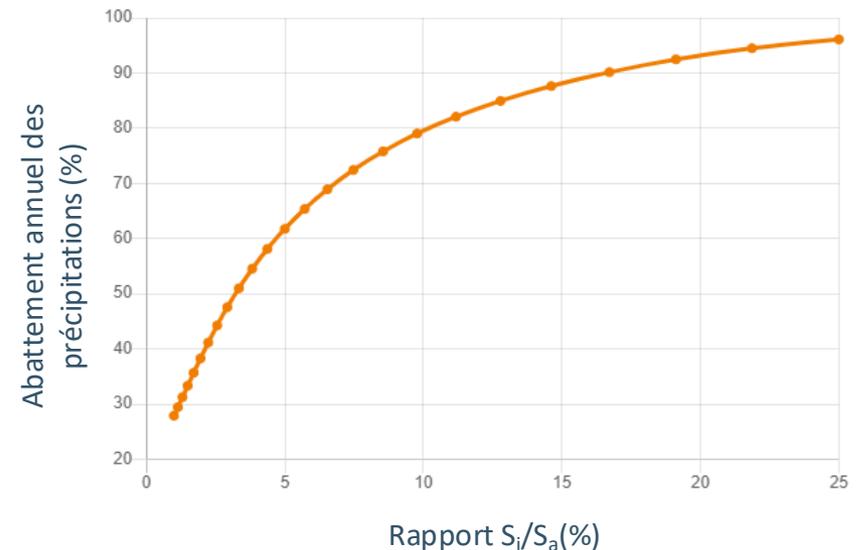


(<https://oasis.cerema.fr>)



### Spécification des paramètres

- Efficacité pluriannuelle =  %
- Ratio  $S_{i,max}/S_a$  =  %
- Profondeur  $z_p$  =  mm
- Capacité d'infiltration  $K_s$  =  m/s



### Exemple d'application

- Simple ouvrage d'infiltration
- Perméabilité de  $4 \times 10^{-7}$  m/s (1.4 mm/h)
- Profondeur de 10 cm



**Efficacité élevée si surface d'infiltration suffisante (« infiltration diffuse »)**

### Points de vigilance :

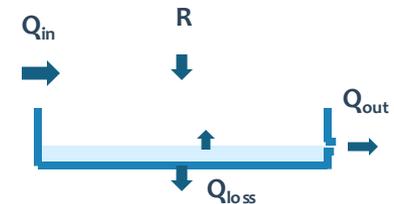
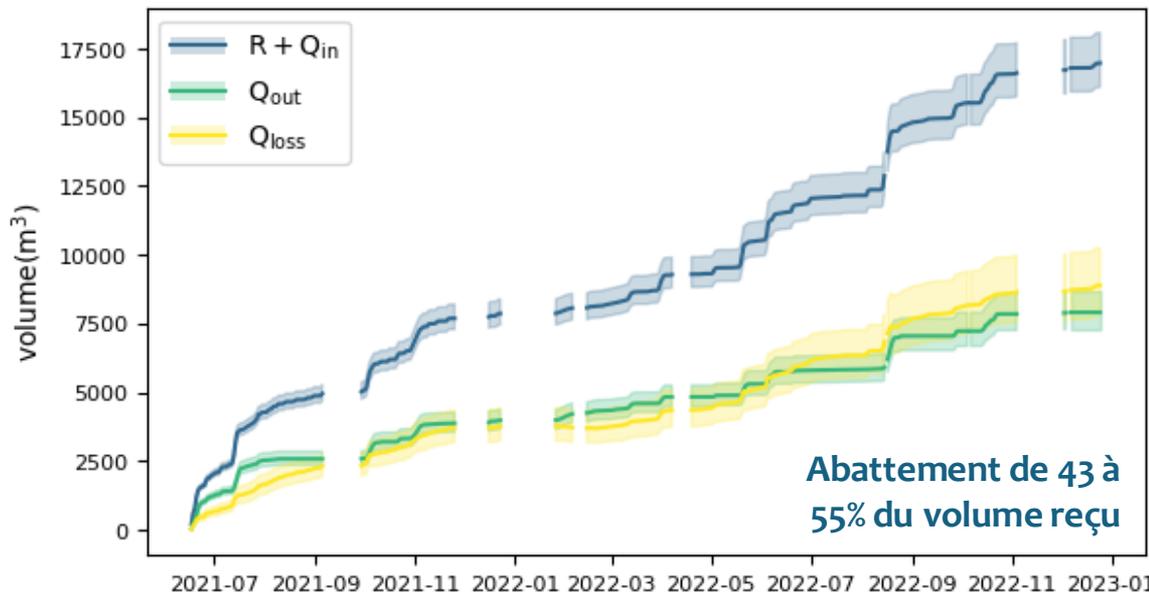
- Durées de mise en eau à vérifier
- Mesure de la capacité d'infiltration
- Hydrogéologie (cf. suite de la présentation)

# L'infiltration des EP sur des sols peu perméables

## Résultats issus d'observations in-situ:

### Jardin Argenté à Gif-sur-Yvette

- Bassin de rétention « perméable » (conçu comme un simple ouvrage de stockage + restitution à débit régulé)
- Perméabilité estimée entre  $2 \times 10^{-7}$  et  $7 \times 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$
- Surface de 2 300 m<sup>2</sup> pour plus de 22 000 m<sup>2</sup> de surface d'apport ( $S_i/S_a = 10.4\%$ )



- $R + Q_{in}$ : apports par la pluie et le ruissellement (+eaux d'exhaure)
- $Q_{out}$ : rejet en sortie d'ouvrage
- $Q_{loss}$ : infiltration et évapotranspiration

# L'aléa retrait-gonflement

## \* Caractérisation de l'aléa:

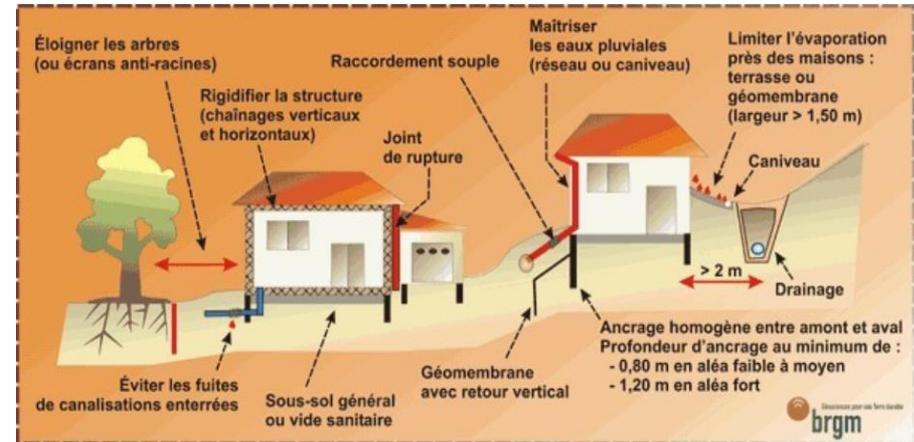
- Nature des argiles à préciser
- Cartes d'expositions insuffisantes
- Etude de sol obligatoire en zone d'exposition moyenne à forte

## \* Prévention du RGA :

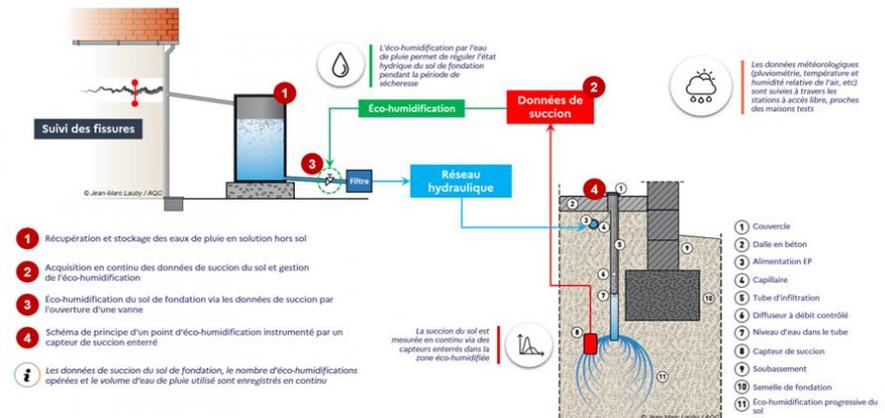
- Ne pas infiltrer trop près des fondations
- Adapter la végétalisation pour maîtriser l'assèchement
- Mise en place de dispositifs préventifs

## \* Un risque à relativiser:

- Les fondations profondes ne sont généralement pas concernées
- Souvent, sous nos climats, le principal problème est le retrait
- Projet « Mach » Cerema : utilisation des eaux pluviales pour prévenir le retrait



Exemples de dispositifs pour se prémunir du RGA (BRGM)



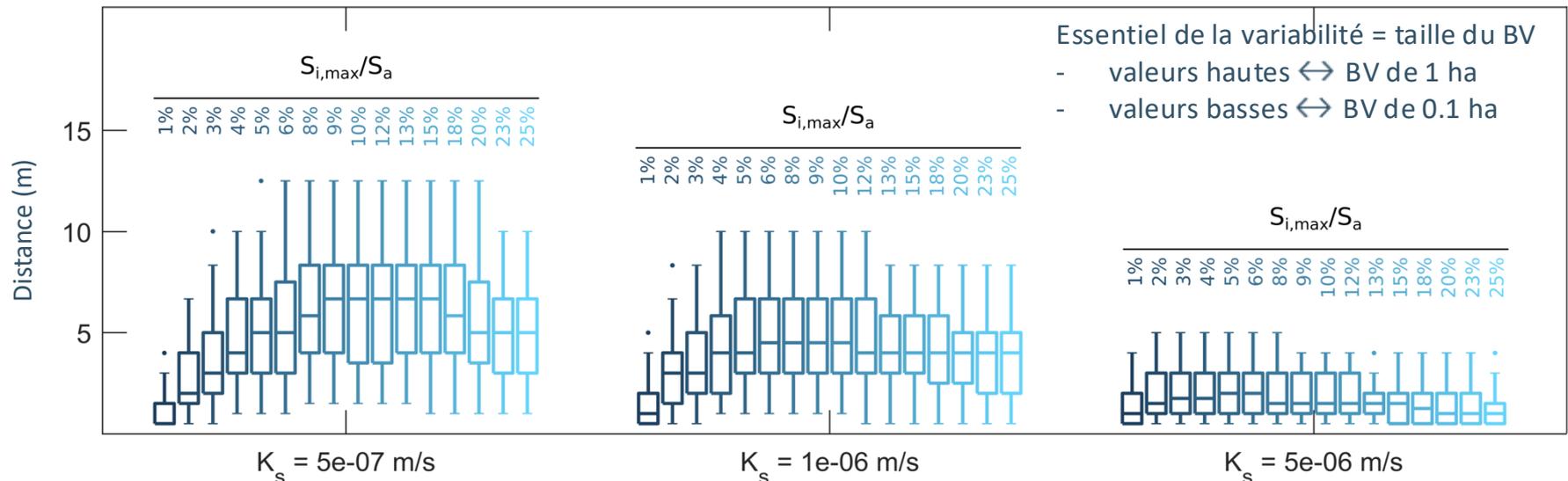
Projet Mach (Cerema): dispositif automatisé de ré-humidification du sol à partir des eaux de pluies récupérées

# Interactions avec les eaux souterraines

## Contexte

- \* Les formations argileuses sont souvent susceptibles d'accueillir une nappe superficielle (temporaire ou permanente)
- \* Les interactions entre nappe et ouvrages peuvent affecter la capacité d'abattement des ces-derniers

**Exemple de résultats de modélisation** : distances à la nappe au-delà de laquelle une diminution de plus de 10% de l'abattement pluriannuel est simulée en comparaison d'une situation de référence sans-nappe (différentes tailles de BV, d'épaisseur de nappe...)

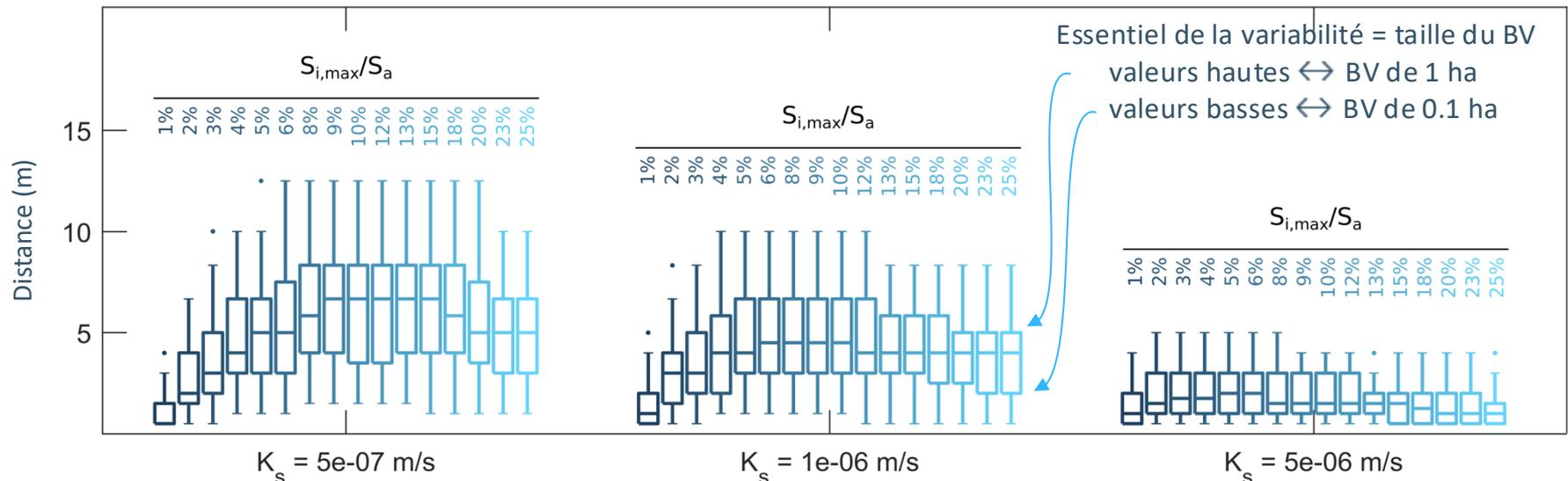


# Interactions avec les eaux souterraines

## Contexte

- \* Les formations argileuses sont souvent susceptibles d'accueillir une nappe superficielle (temporaire ou permanente)
- \* Les interactions entre nappe et ouvrages peuvent affecter la capacité d'abattement des ces-derniers

**Exemple de résultats de modélisation** : distances à la nappe au-delà de laquelle une diminution de plus de 10% de l'abattement pluriannuel est simulée en comparaison d'une situation de référence sans-nappe (différentes tailles de BV, d'épaisseur de nappe...)



Partie 3

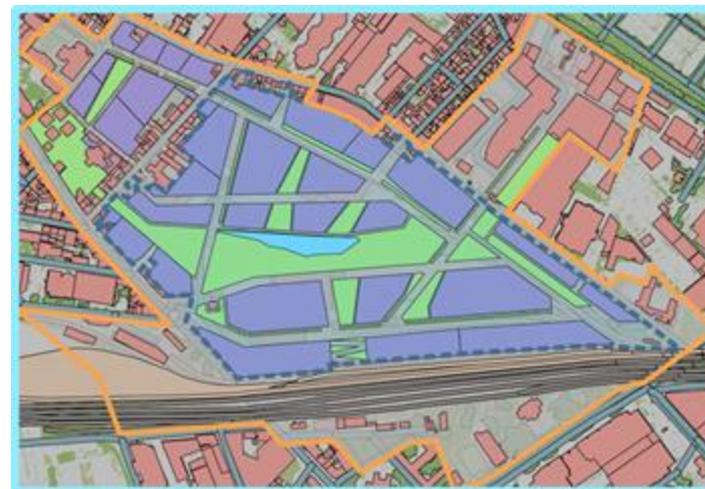
# Maîtriser la recharge pour maîtriser les impacts

# Exemple de résultats dans un contexte gypseux

## L'écoquartier de la gare à Pantin

- \* Projet d'aménagement de 45ha sur une friche ferroviaire
- \* Présence de gypse en profondeur
- \* Objectifs de gestion des EP: abattement des pluies courantes, régulation à 10 l/s/ha pour T = 10 ans (lots privés et espace public)
- \* 3 scénarios de gestion :

Scénarios	Lots privés	Espace public
Centralisé	Infiltration des pluies courantes *	Ouvrage centralisé
Diffus	Infiltration des pluies courantes*	Réseau de noues
Diffus +	Infiltration des pluies courantes* + rétention en toiture	Réseau de noues



### Méthodologie:

- \* Modélisation hydrologique pour estimer la recharge
- \* Comparaison à 2 situations de référence: « état initial » et « 100% espaces verts »
- \* 2 scénarios de perméabilité du sous-sol ( $K_S = 5 \times 10^{-6}$  à  $5 \times 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$ )



# Exemple de résultats dans un contexte gypseux

## L'écoquartier de la gare à Pantin

Scénarios	Recharge (mm/an)	Écart à l'état initial	Écart au cas « espaces verts »
<i>Etat initial</i>	80 à 110 mm/an	- / -	-60 / -10 %
<b>Gestion centralisée</b>	160 à 200 mm/an	+100 / +80 %	+10 / +70 %
<b>Gestion diffuse</b>	120 à 150 mm/an	+100 / +80 %	-20 / +30 %
<b>Gestion diffuse +</b>	100 à 130 mm/an	+40 / +50 %	-30 / +10 %
<b>« Espaces verts »</b>	90 à 170 mm/an	+20 / +60 %	- / -

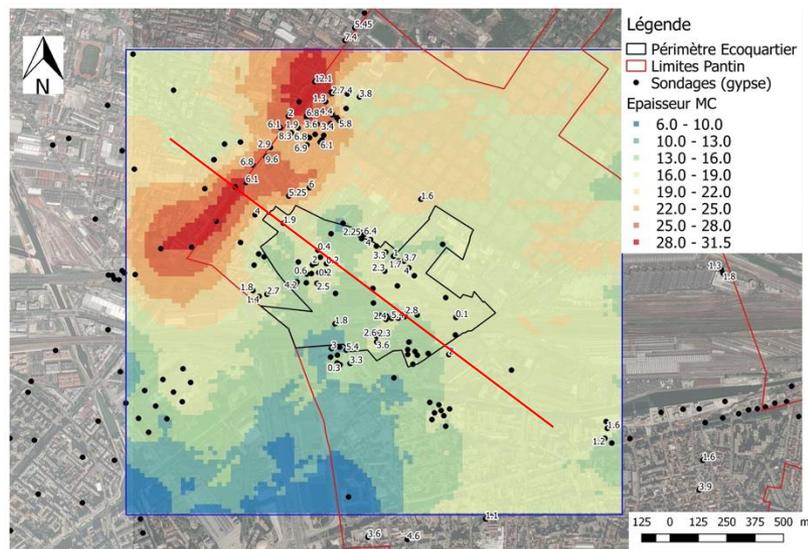
Estimation de la recharge pour 10 ans de simulation et écarts à l'état initial et à la référence « espaces verts » (les fourchettes de valeur traduisent la variabilité induite par la paramétrisation de la capacité d'infiltration du sol).

# Exemple de résultats dans un contexte gypseux

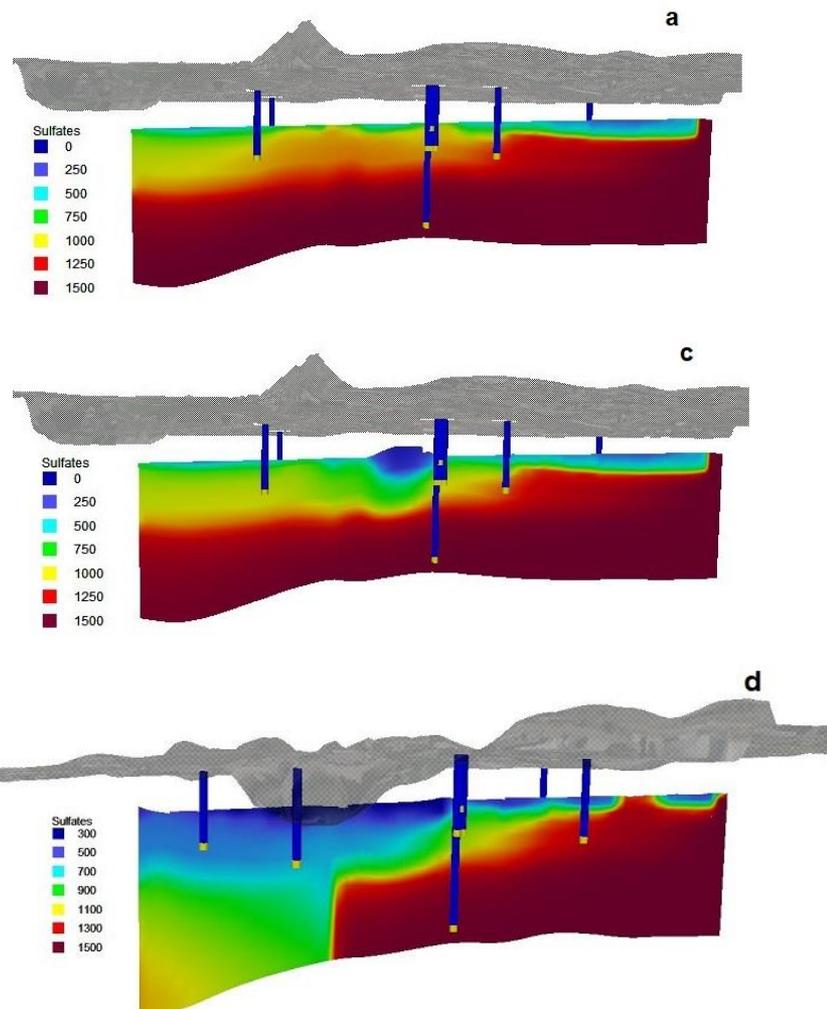
## L'écoquartier de la gare à Pantin

### Méthodologie:

- \* Caractérisation fine du site
- \* Construction d'un modèle géologique
- \* Incorporation des simulations de recharge dans un modèle hydrogéologique



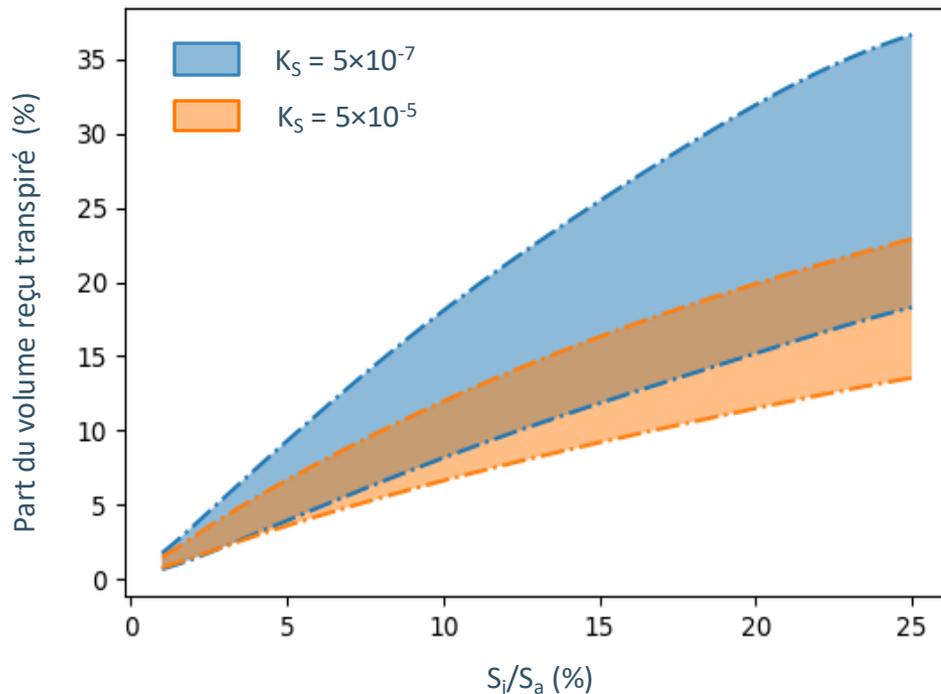
Carte d'épaisseur des Marnes-et-Caillasses et des épaisseurs de gypse, avec la position du profil de concentrations



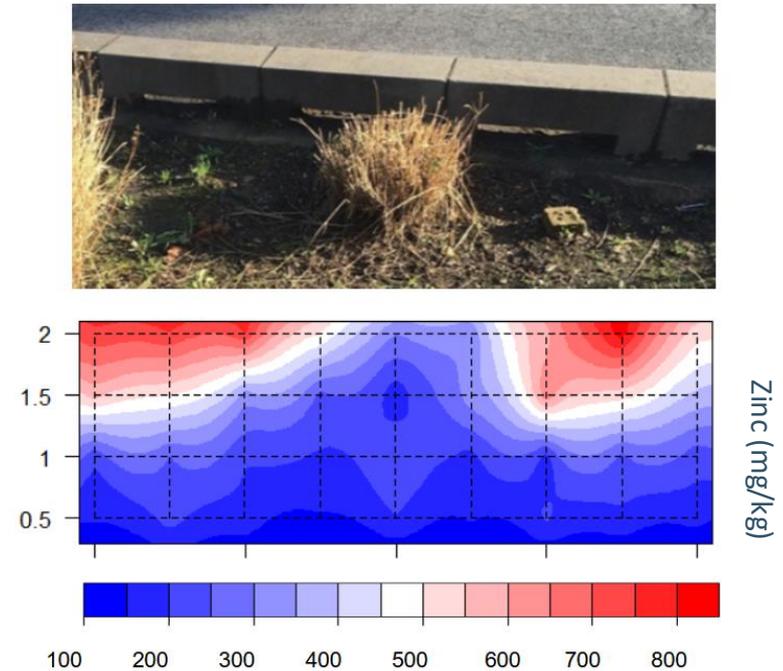
Profil des concentrations (mg/L) simulées pour l'état actuel (a), le scénario de gestion centralisée (c) et le scénario de gestion centralisée avec la présence d'une discontinuité (d)

# Zoom sur le « facteur de concentration »

## Réduire le facteur de concentration ?



**Rôle de la transpiration :** estimation à partir d'Oasis de la proportion du volume reçu repris par la transpiration en fonction du rapport ( $S_i/S_a$ ) pour un ouvrage sans régulation avec profondeur de 10 à 20 cm



**Illustration de la variabilité spatiale du flux d'infiltration :** distribution de la contamination dans un ouvrage (Thèse D. Tedoldi, 2017)

# Conclusions

# Messages clés

- \* Savoir identifier et relativiser les contraintes
  - Zonages ou données bibliographiques insuffisantes pour statuer sur la faisabilité de l'infiltration
  - En présence de contraintes, des marges de manœuvre existent bien souvent
  - Importance d'une bonne caractérisation du sous-sol
- \* Evaluer et maîtriser l'impact de l'infiltration
  - Limites de l'approche par « facteur de concentration » (difficulté à réellement maîtriser la quantité d'eau dirigée vers le sous-sol)
  - Impact des ouvrages à apprécier en comparant la recharge induite par rapport à une situation « de référence » ?
  - Privilégier une infiltration diffuse et maximiser l'évapotranspiration (au niveau des ouvrages et en amont)

# Perspectives

- \* Vers des observations dans les contextes problématiques (suivis d'aménagements réversibles ?)
- \* Poursuite des travaux autour du flux d'évapotranspiration pour mieux l'anticiper
- \* Incidence de certains choix de conception sur le bilan hydrologique (choix des substrats, nature de la végétation, présence de réserve, drainage...)
- \* Recommandations pour mieux concilier gestion du risque, végétalisation et gestion des eaux pluviales
- \* Effet d'un cumul d'ouvrage et de la recharge induite sur certains risques ?

# Merci de votre attention

[emmanuel.dumont@cerema.fr](mailto:emmanuel.dumont@cerema.fr)  
[jérémie.sage@cerema.fr](mailto:jérémie.sage@cerema.fr)

