



Valorisation de sites



# La Réduction chimique In Situ (ISCR)

## Retour d'expériences



# Sommaire

- ❖ **Principes techniques**
- ❖ **La stratégies des pilotes**
- ❖ **Nouvelles approches**



## Principe technique

**I**nduire un milieu réducteur dans le sol afin de provoquer des réactions d'oxydoréduction.

**U**tiliser les polluants dans la chaîne respiratoire des bactéries anaérobies du sol.



## Principe technique

Un peu de chimie...

Soit le couple d'oxydoréduction  $R-X, H^+ / R-H, X^{-1}$



La demi-équation :  $R-X + H^+ + 2e^- \rightarrow R-H + X^{-1}$

Favoriser les conditions favorables thermodynamiquement à la réduction du polluant.

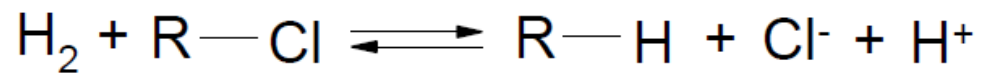
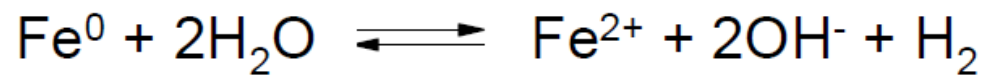


## Principe technique

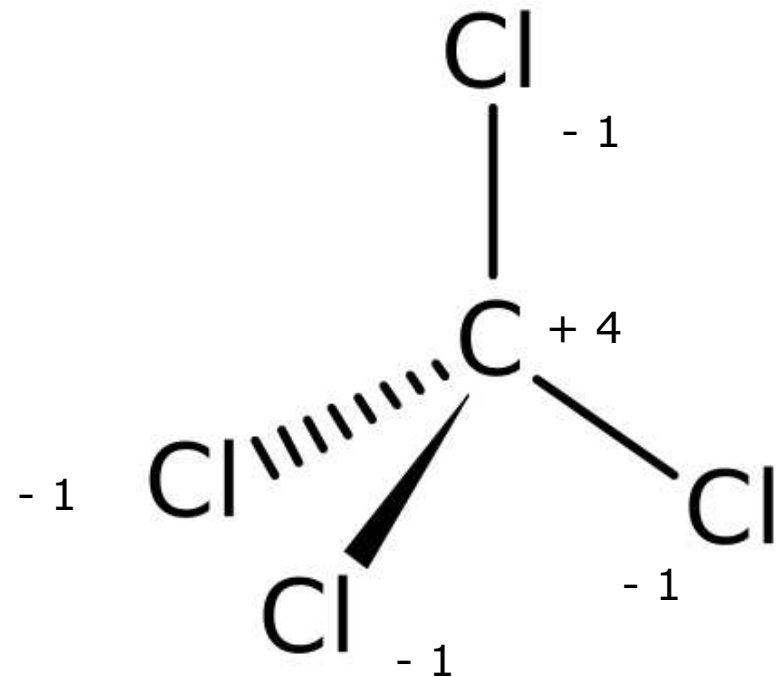
Exemple : le tétrachlorométhane :

Nombre d'oxydation du carbone = + 4

Induire du H<sub>2</sub> dans le sol :



Par fermentation

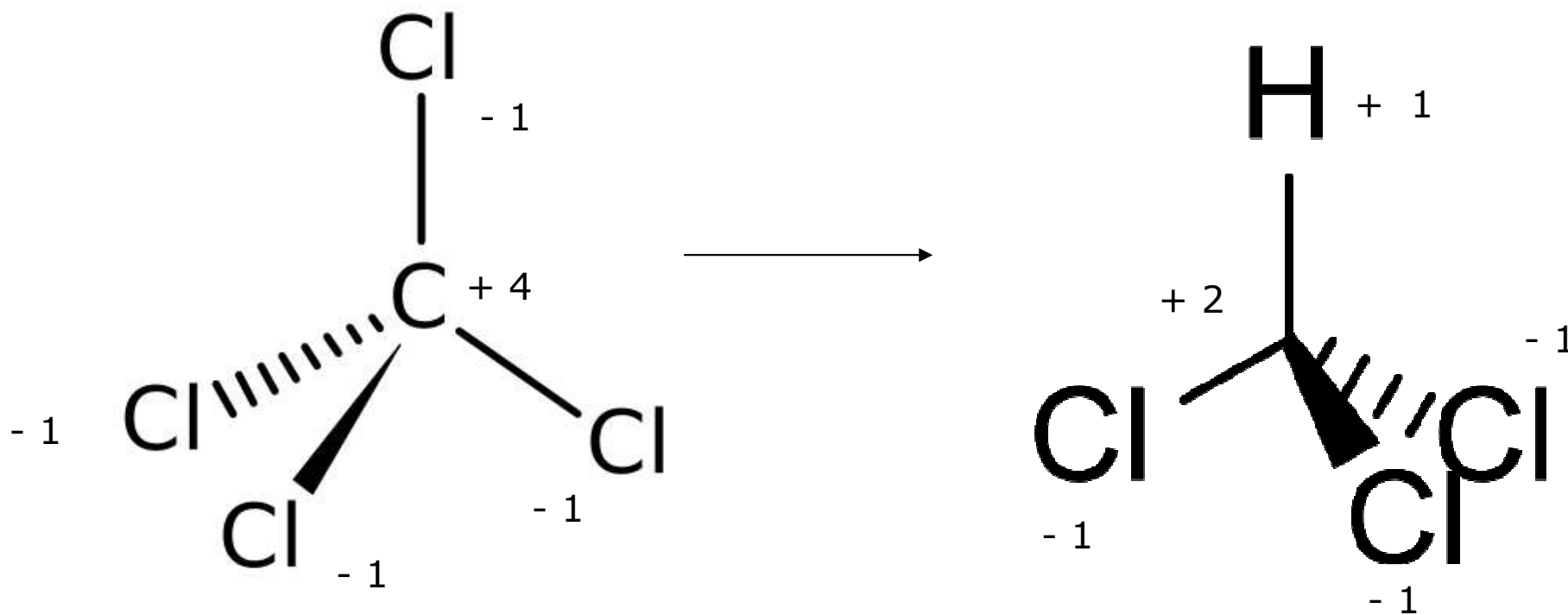




## Principe technique

Exemple : le tétrachlorométhane :

Nombre d'oxydation du carbone = + 4

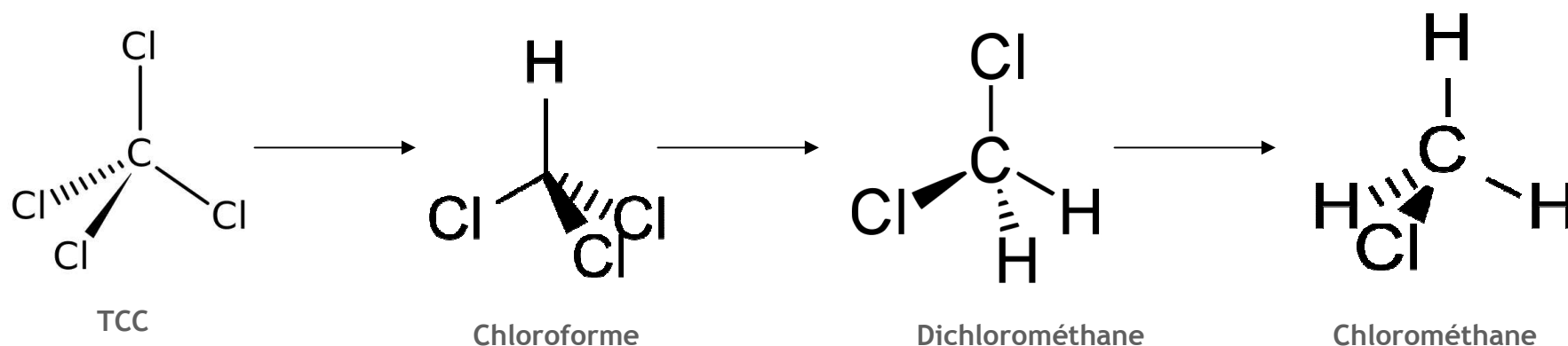




## Principe technique

Exemple : le tétrachlorométhane :

Nombre d'oxydation du carbone = + 4





## Principe technique

- Différents produits réducteurs : huiles, fer, zinc, mélasse, matière organique complexe...
- Différents procédés : Injection in situ, soil mixing, barrière perméable réactive...
- Différents polluants cibles : PCE, TCE, TCC, Chloroforme, trichloroéthane, PCB... Mais aussi nitrobenzènes, nitrotoluènes, Képone...





## Principe technique

- VALGO, un des premiers opérateurs à se lancer en France...



## La stratégie des pilotes

**P**rouver sur le terrain, adapter la technique à chaque site, sécuriser l'opération pour le client mais aussi pour le prestataire.



Du laboratoire...  
Quelques k€...



A l'usine...  
Jusqu'à quelques M€...



## La stratégie des pilotes

### Plusieurs stratégies :

- Pilotes « horizontaux » : Tester plusieurs procédés sur un site;
- Pilotes « verticaux » : Tester un même procédé sur plusieurs échelles par scale-up successif;



## La stratégie des pilotes

**V**ALGO, une expérience multiple, de l'échelle laboratoire vers un traitement complet ;

**I**nnovation dans la mise en œuvre, innovation dans les produits réducteurs ;



# La stratégie des pilotes

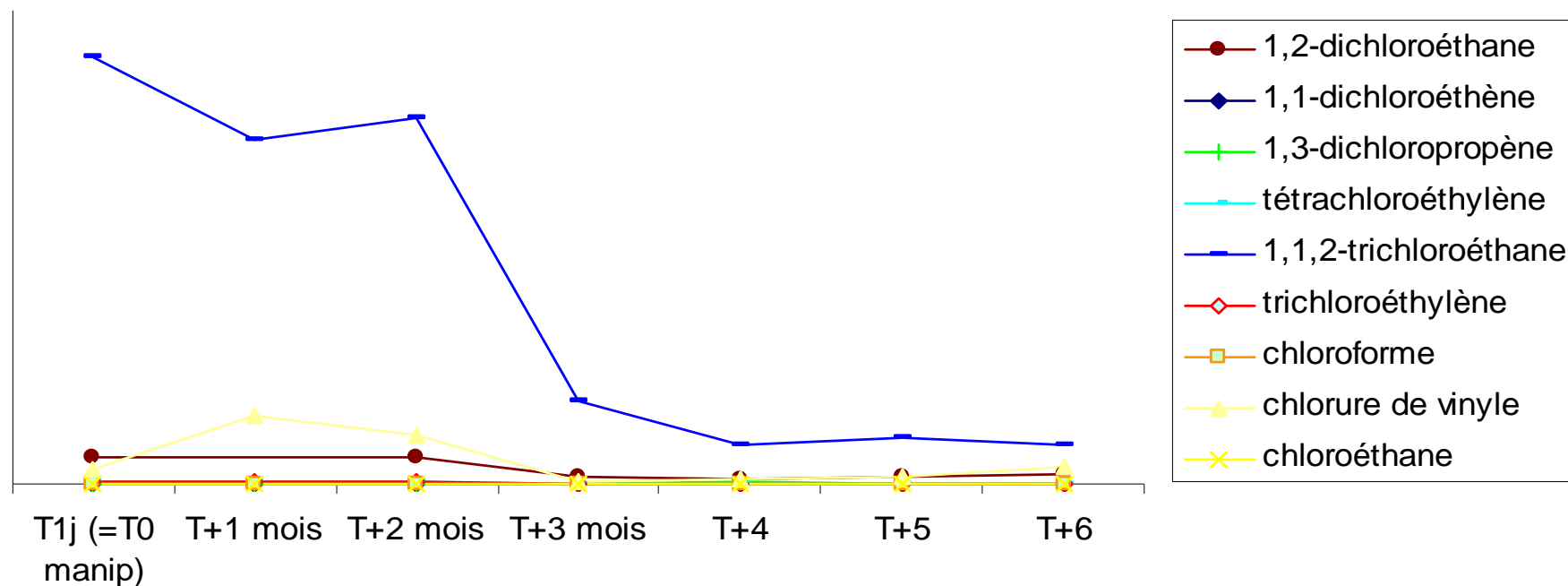
Des résultats...

Pilotes laboratoires



# La stratégie des pilotes

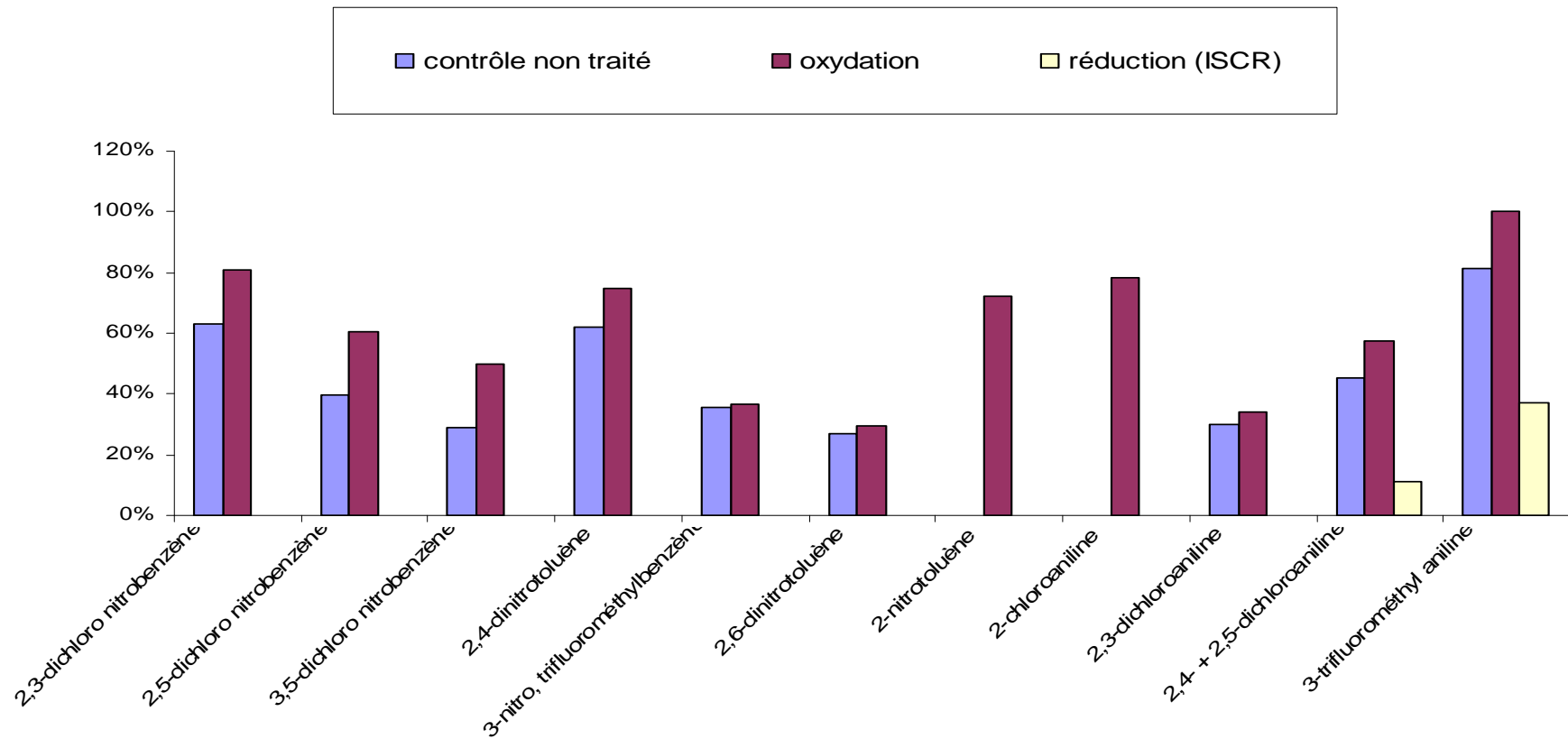
## Des résultats... Pilotes laboratoires





# La stratégie des pilotes

## Des résultats... Pilotes laboratoires

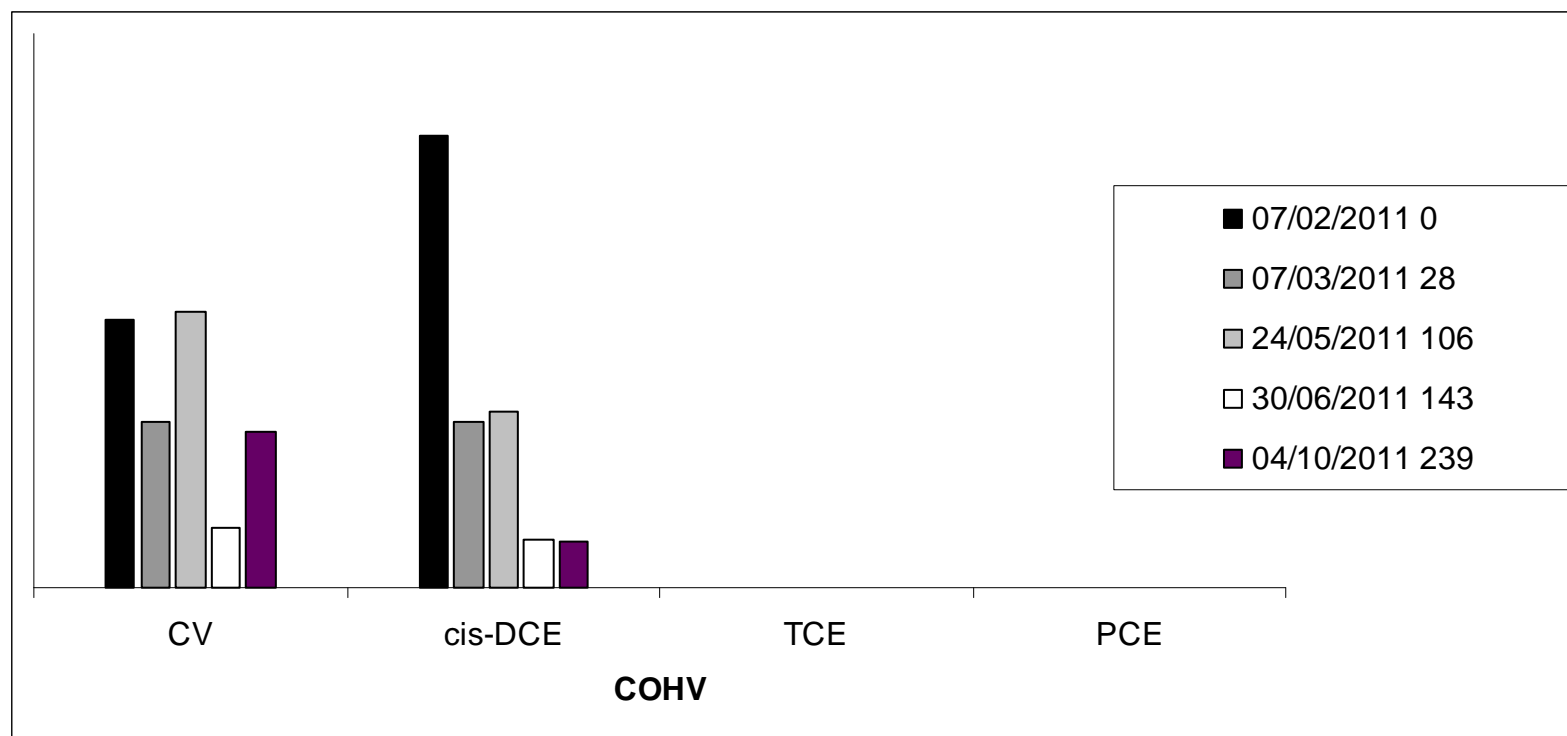




# La stratégie des pilotes

Des résultats...

Pilotes de terrain - zone source



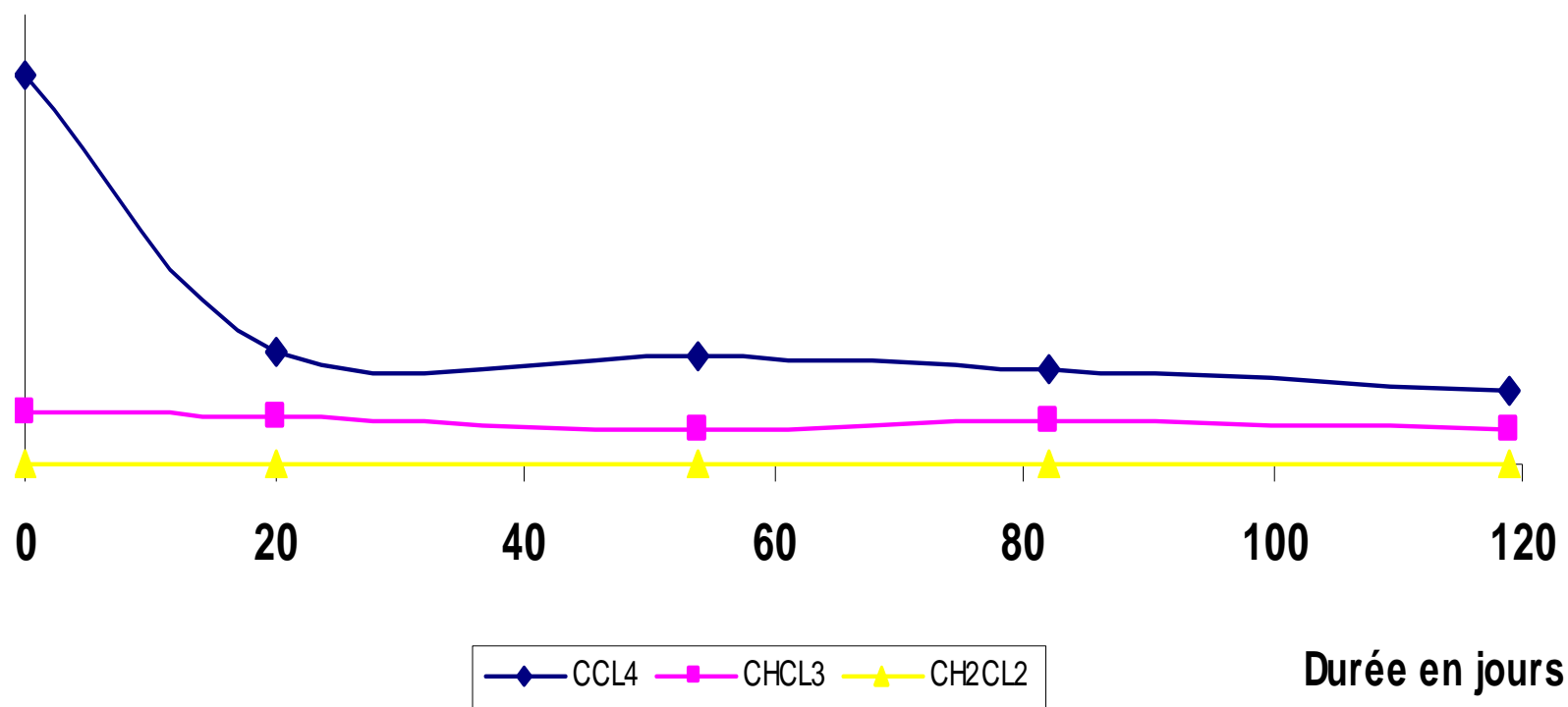




# La stratégie des pilotes

Des résultats...

Pilotes de terrain - zone source

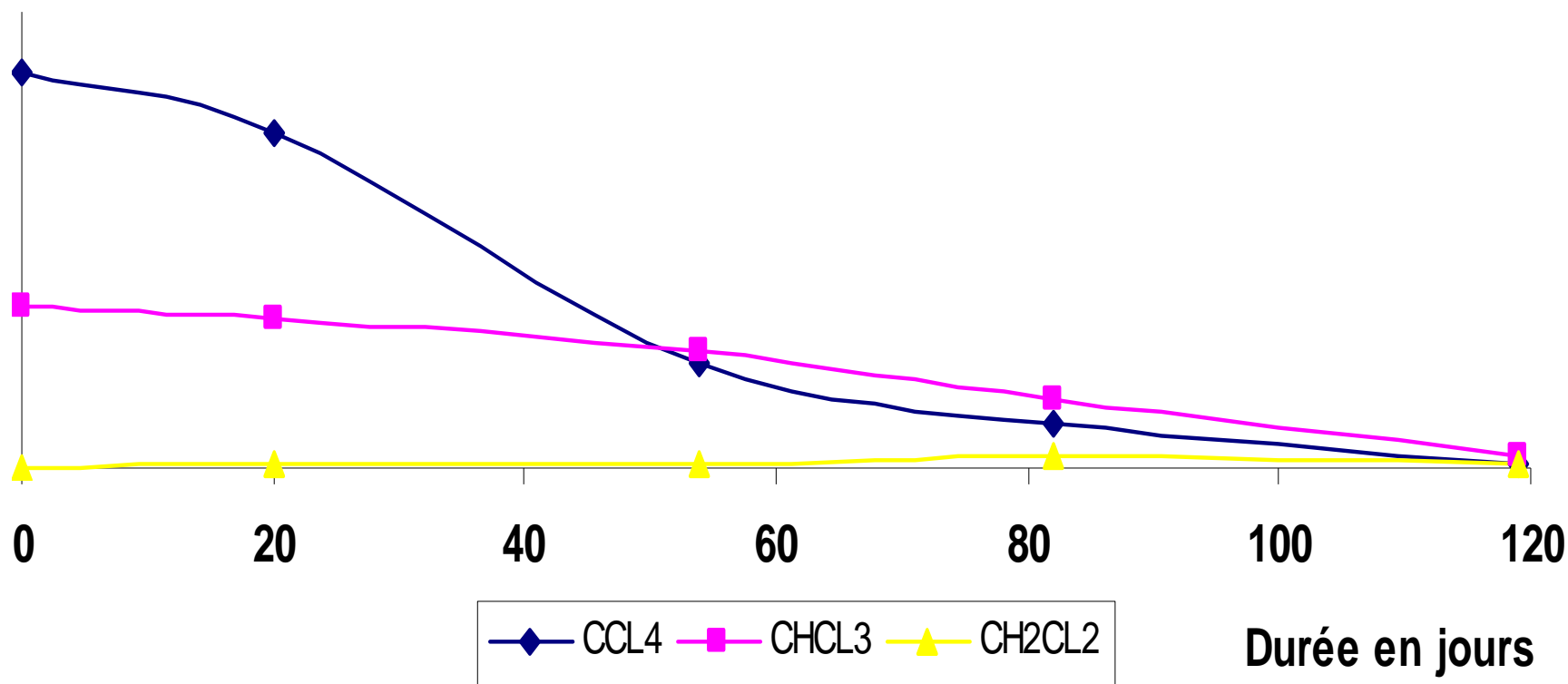




# La stratégie des pilotes

Des résultats...

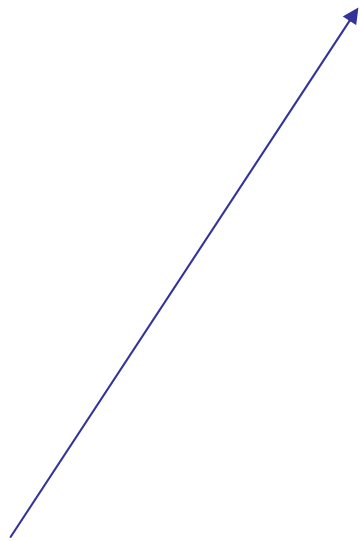
Pilotes de terrain - PRB





# La stratégie des pilotes

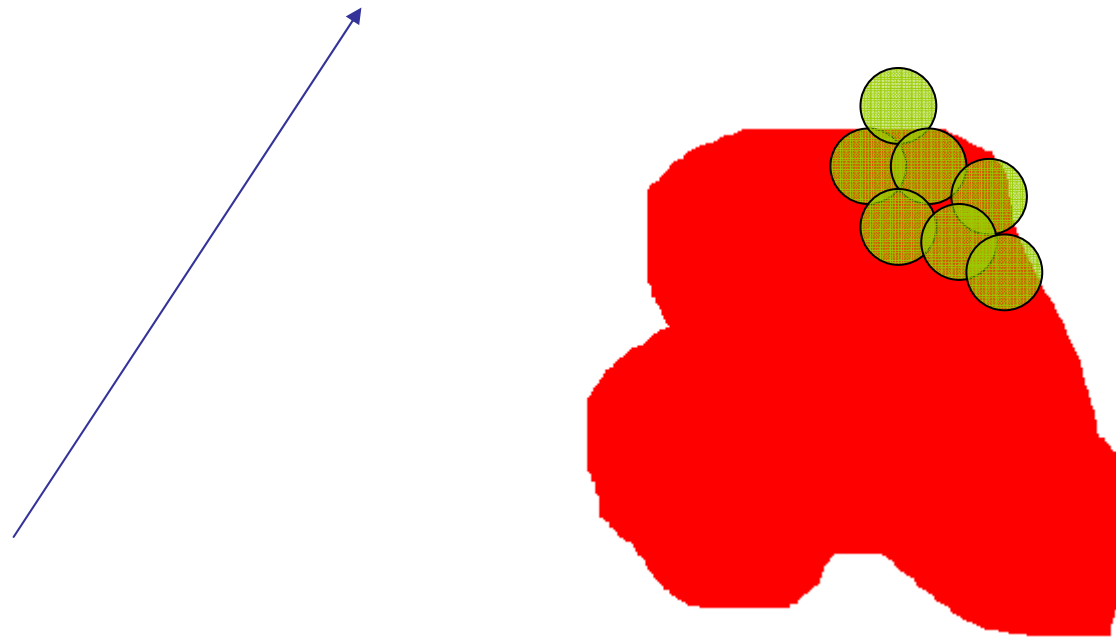
## Validité d'un pilote en zone source...





# La stratégie des pilotes

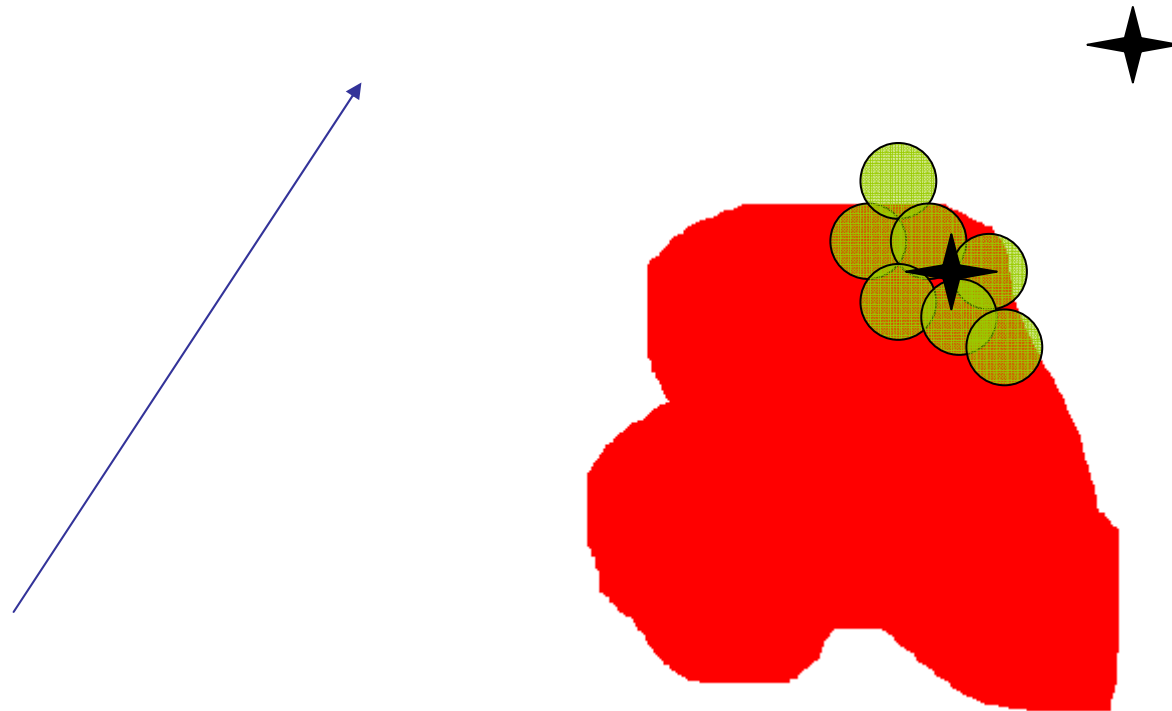
## Validité d'un pilote en zone source...





# La stratégie des pilotes

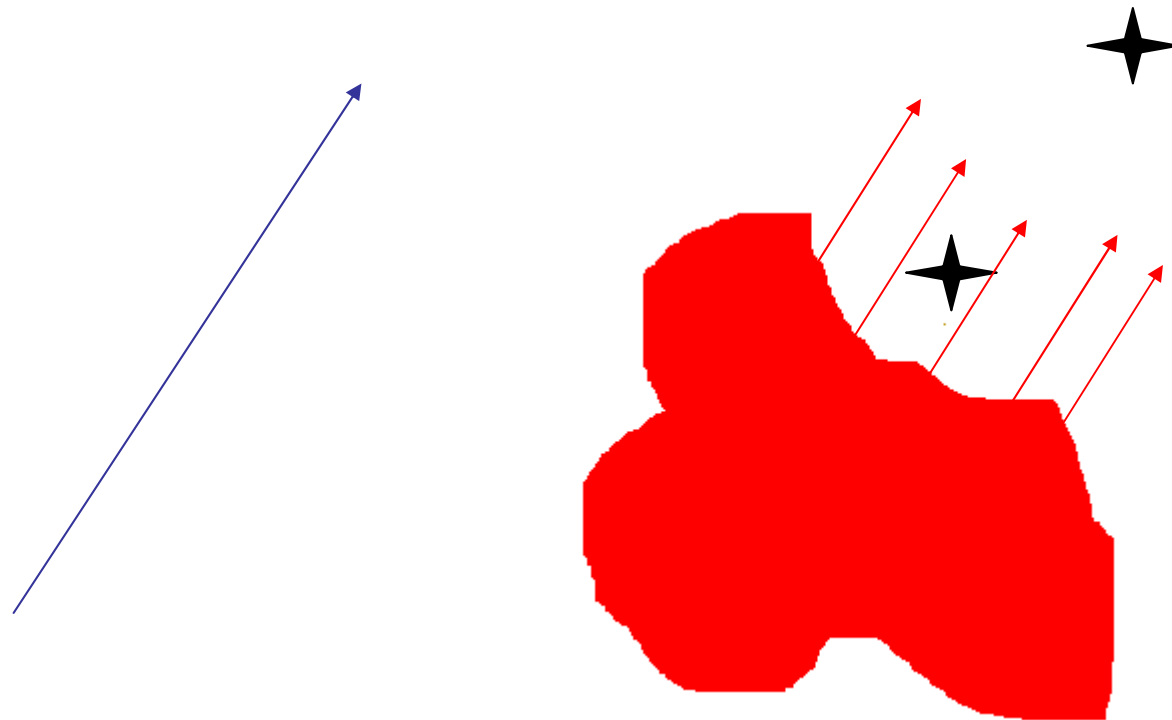
Validité d'un pilote en zone source...





# La stratégie des pilotes

## Validité d'un pilote en zone source...





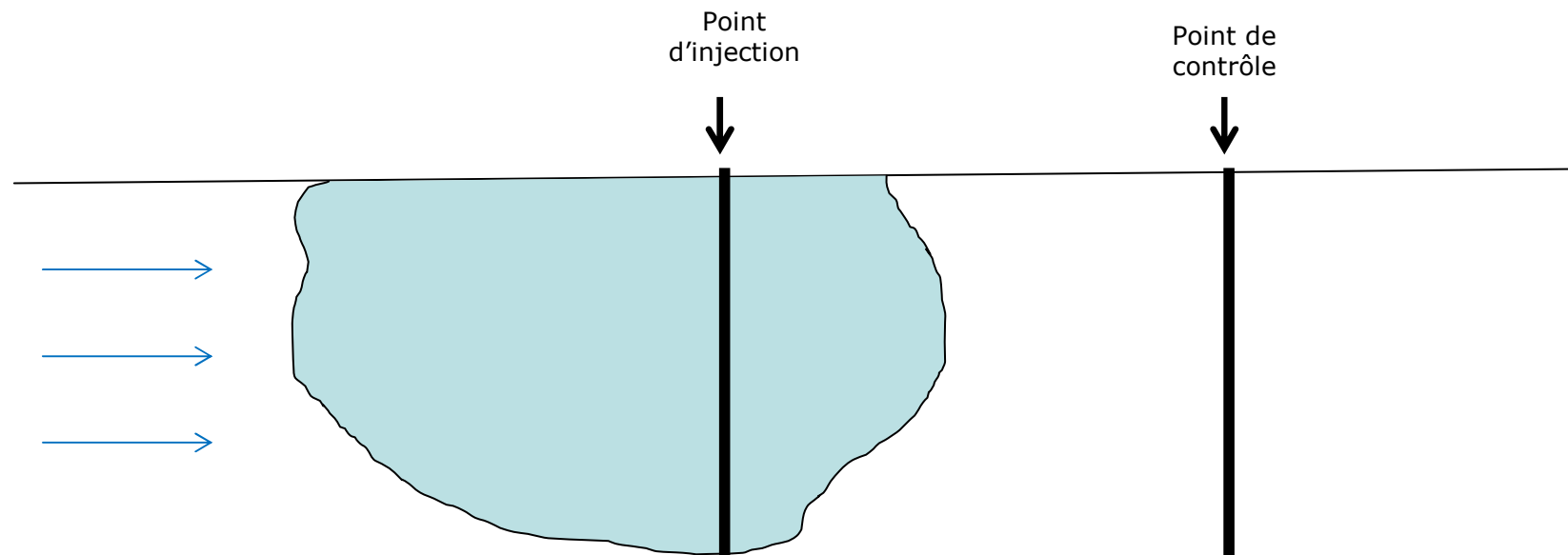
## Nouvelles approches

### Des « épiphénomènes » à surveiller...

- L'effet de chasse;

# L'effet de chasse

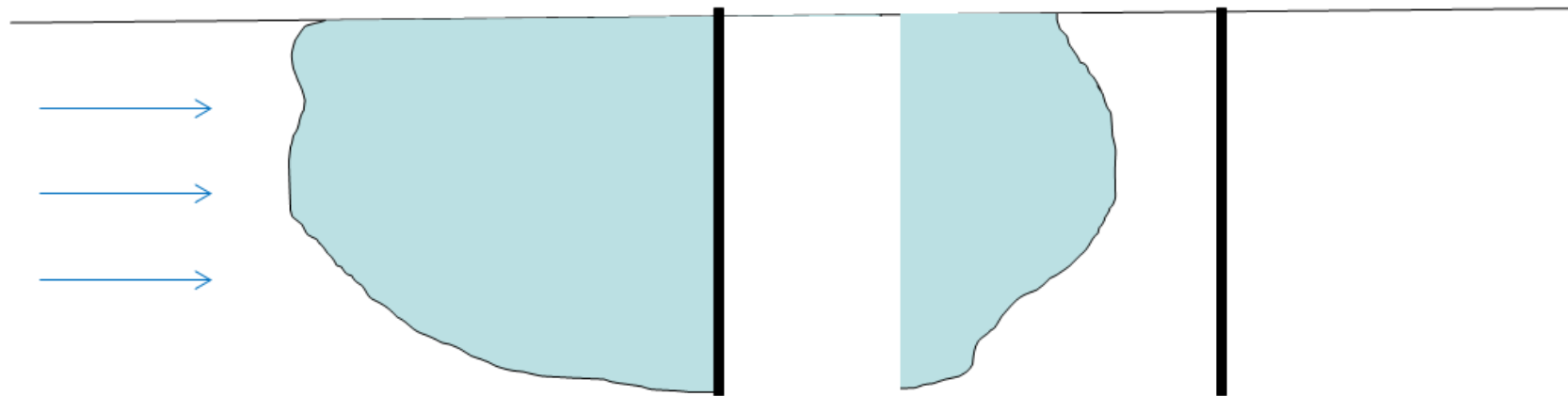
- L'intensité du phénomène dépend du produit injecté et les techniques d'injection :





# L'effet de chasse

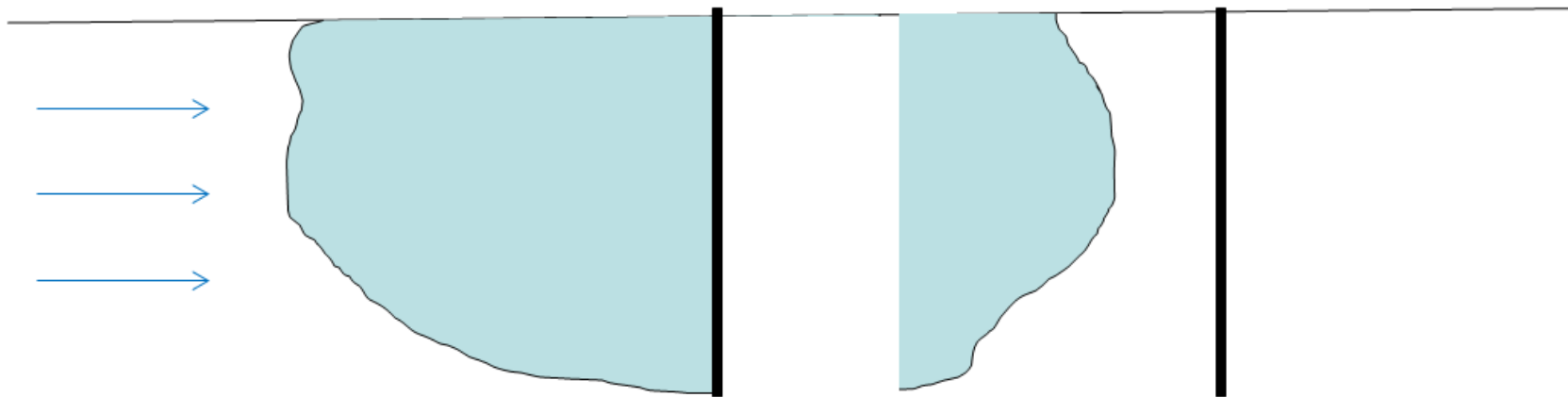
- Forçage hydraulique : simple déplacement.



## L'effet de chasse

- Exemple : Injection de 5 m<sup>3</sup> de solution réductrice
  - Une porosité du sol de 30 %
  - Une puissance d'aquifère de 3 m

Déplacement horizontal de 1,3 m





# L'effet de chasse

Porosité du sol

Volume injecté

|      | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 10,0 | 15,0 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 0,1  | 1,0 | 1,5 | 2,1 | 2,5 | 2,9 | 3,3 | 4,6  | 5,6  |
| 0,15 | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,3 | 3,3  | 4,0  |
| 0,2  | 0,6 | 0,8 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2,7  | 3,3  |
| 0,25 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 2,3  | 2,8  |
| 0,3  | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 2,1  | 2,5  |
| 0,35 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,9  | 2,3  |
| 0,4  | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,7  | 2,1  |

Effet de chasse en m.



# L'effet de chasse

Porosité du sol

Volume injecté

|     | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 10,0 | 15,0 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 0,1 | 1,0 | 1,5 | 2,1 | 2,5 | 2,9 | 3,3 | 4,6  | 5,6  |
| 0,1 | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,3 | 3,3  | 4,0  |
| 0,2 | 0,6 | 0,8 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2,7  | 3,3  |
| 0,2 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 2,3  | 2,8  |
| 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 2,1  | 2,5  |
| 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,9  | 2,3  |
| 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,7  | 2,1  |

Effet de chasse en m.



# L'effet de chasse

Porosité du sol

Volume injecté par point m<sup>3</sup>

|      | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 10,0 | 15,0 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 0,1  | 1,0 | 1,5 | 2,1 | 2,5 | 2,9 | 3,3 | 4,6  | 5,6  |
| 0,15 | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,3 | 3,3  | 4,0  |
| 0,2  | 0,6 | 0,8 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2,7  | 3,3  |
| 0,25 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 2,3  | 2,8  |
| 0,3  | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 2,1  | 2,5  |
| 0,35 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,9  | 2,3  |
| 0,4  | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,7  | 2,1  |

Effet de chasse en m.



## L'effet de chasse

### Préconisations :

- Monitoring continu lors de l'injection;
- Injecter de l'aval vers l'amont;
- Surveillance en milieu karstique



## Nouvelles approches

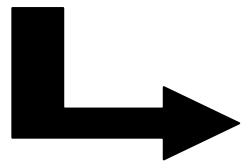
### Des « épiphénomènes » à surveiller...

- L'effet de chasse ;
- La sorption sur l'agent réducteur .

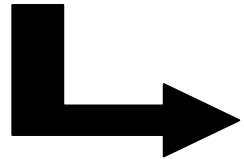


## Nouvelles approches

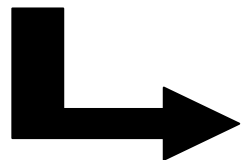
**L**e réducteur va agir de manière abiotique comme adsorbant.



Interpréter les premiers points de la cinétique...



Source secondaire ?



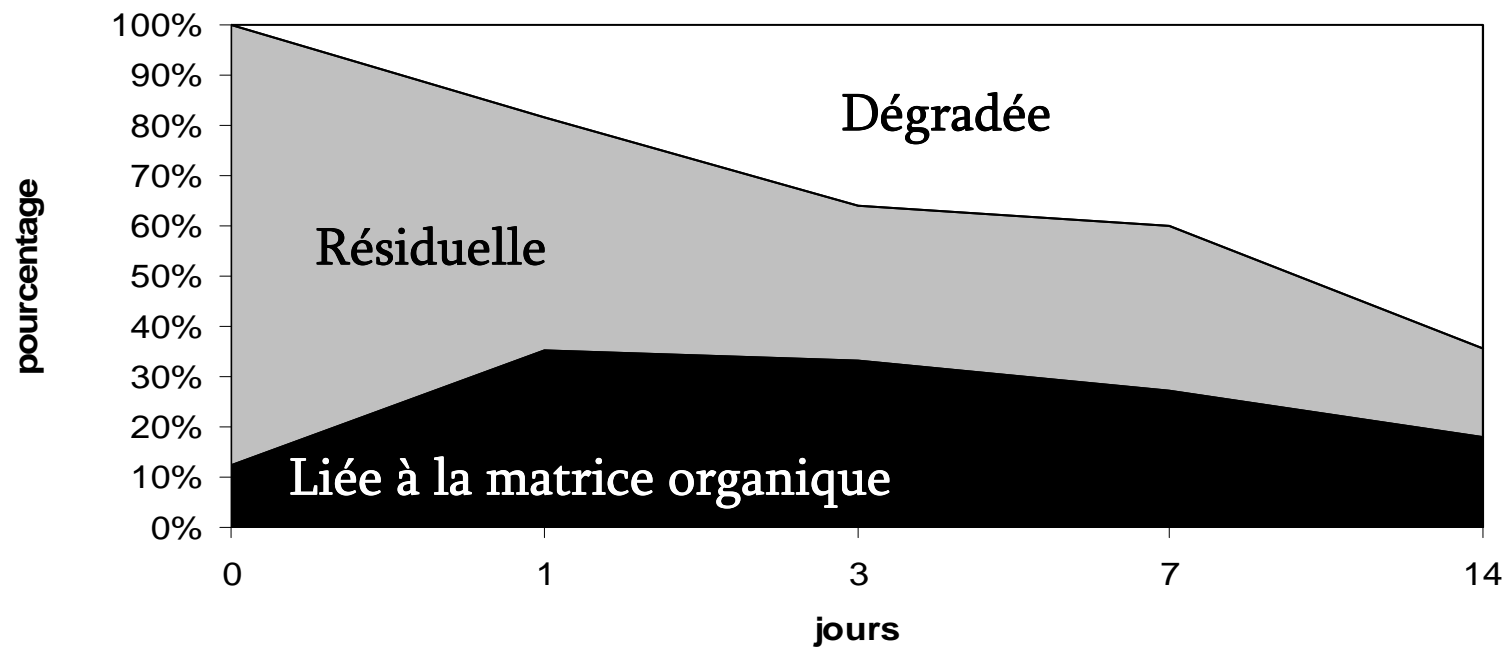
Quantifier le phénomène !





## Nouvelles approches

**L**e réducteur va agir de manière abiotique comme adsorbant.



Cinétique du fractionnement.



## Nouvelles approches

### Des « épiphénomènes » à surveiller...

- L'effet de chasse ;
- La sorption sur l'agent réducteur ;
- Colmatage de nappe phréatique .



## Conclusion

Valorisation de sites



Source CEBTP

Merci de votre attention.  
[Matthieu.sangely@valgo.com](mailto:Matthieu.sangely@valgo.com)