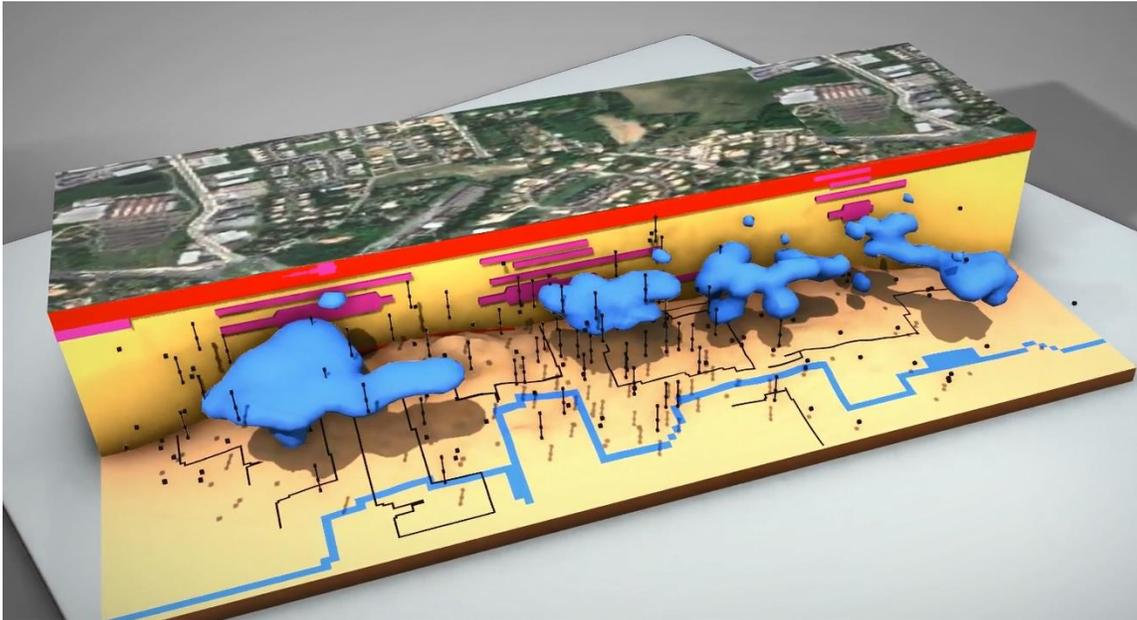


Évolution spatiale et temporelle des risques liés aux flux de COVs sur sols nus : du modèle au terrain

Isabelle DELSARTE, Grégory COHEN, Olivier ATTEIA

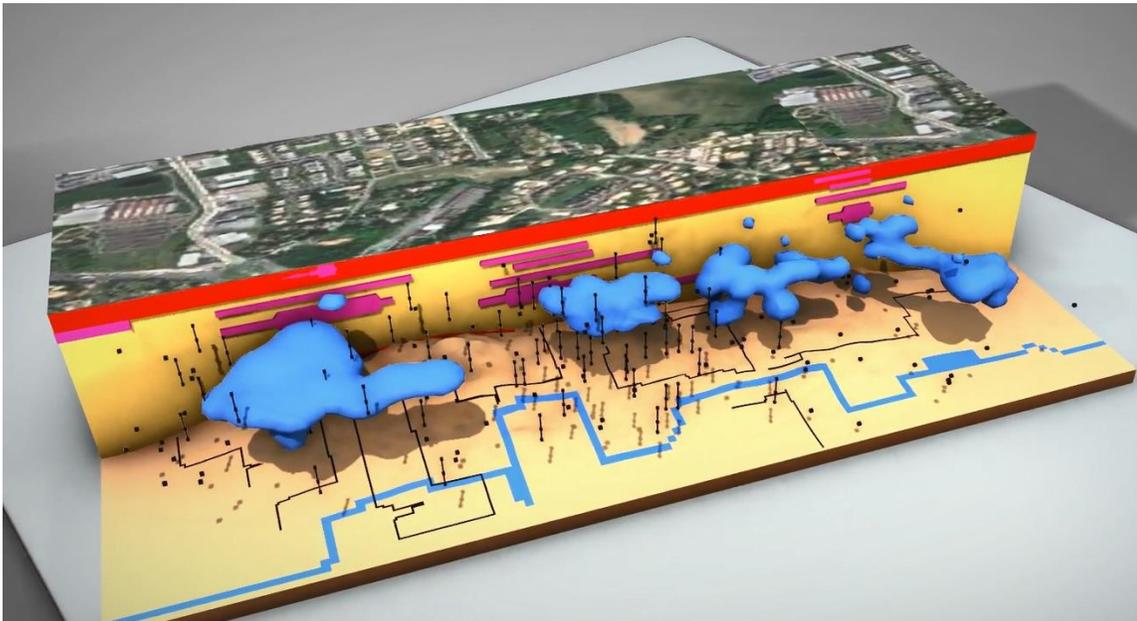
1- Contexte

- Contamination des sols et eaux souterraines = Enjeu environnemental majeur
- Besoins de délimiter et quantifier les sources afin d'optimiser la remédiation
- Techniques usuelles coûteuses et chronophages



1- Contexte

- Contamination des sols et eaux souterraines = Enjeu environnemental majeur
- Besoins de délimiter et quantifier les sources afin d'optimiser la remédiation
- Techniques usuelles coûteuses et chronophages



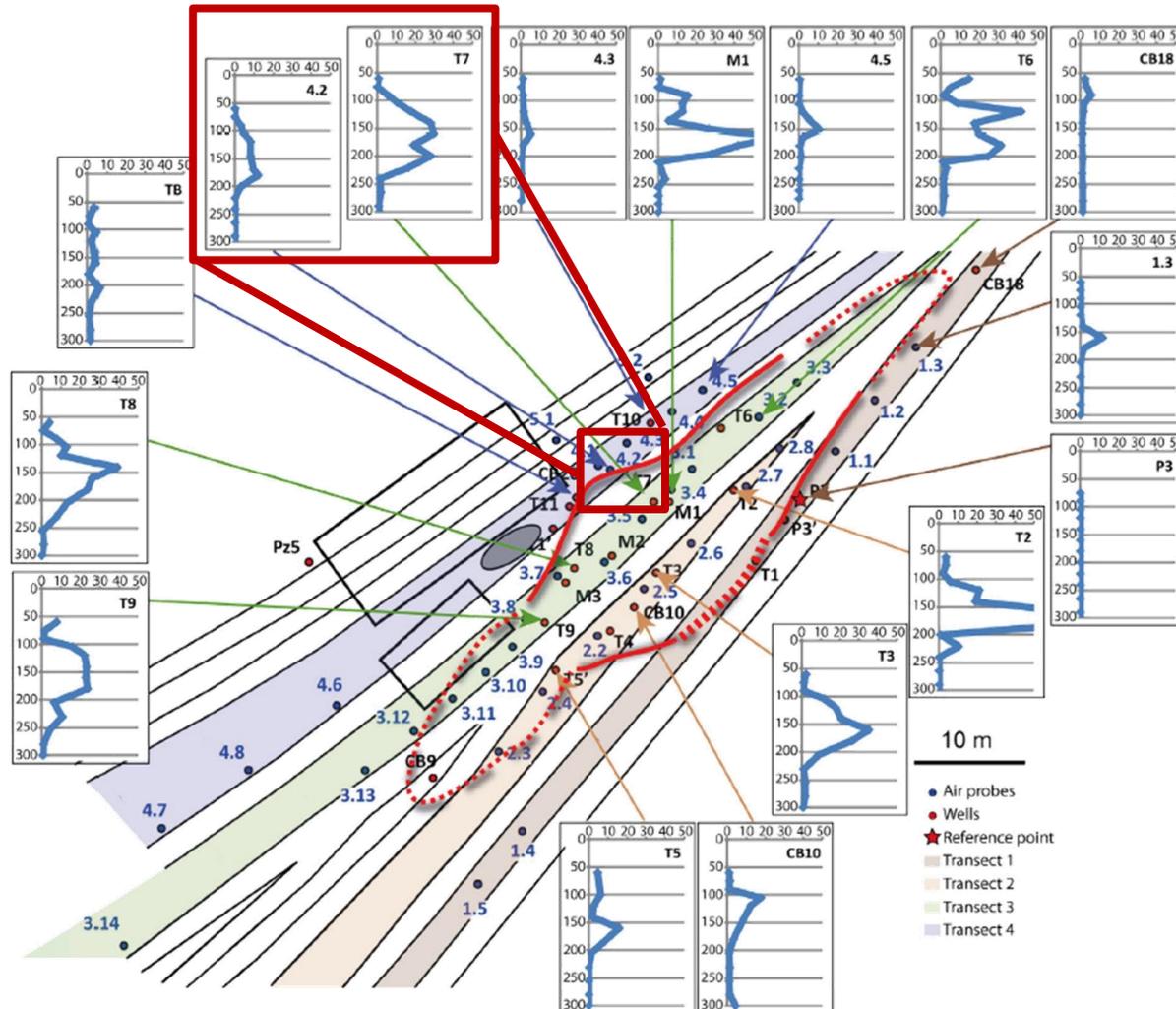
Comment la délimiter ?

- Prélèvements carottes de sol
- Prélèvements gaz du sol (COVs ; Rn)
- Flux COVs interface sol/atmosphère

2- Retour d'expérience

2.1- Cas source NAPL :

Distribution spatiale des saturations en NAPL des puits carottés (Cohen *et al.* 2016).



- Saturation (0 à 50%) en fonction de la profondeur (0 à 300 cm).
- La ligne rouge : délimitation de la zone où les saturations en NAPL autour de la nappe phréatique sont significatives
- variation des saturations sur quelques mètres

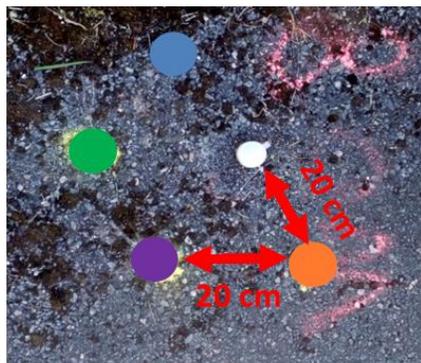
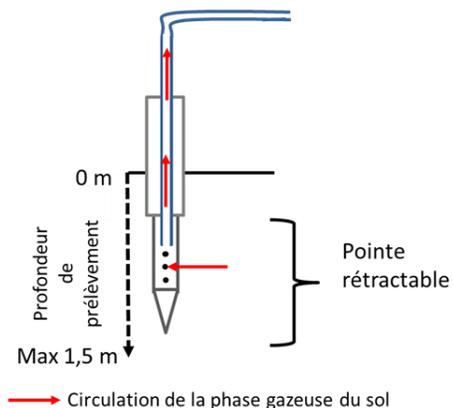


hétérogénéité spatiale

2- Retour d'expérience

2.2- Cas source COV dissous/adsorbé :

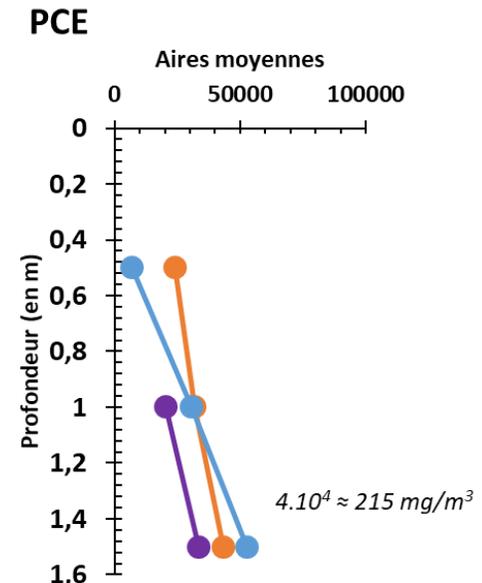
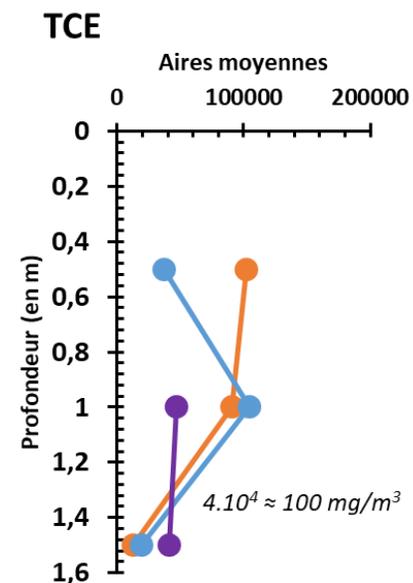
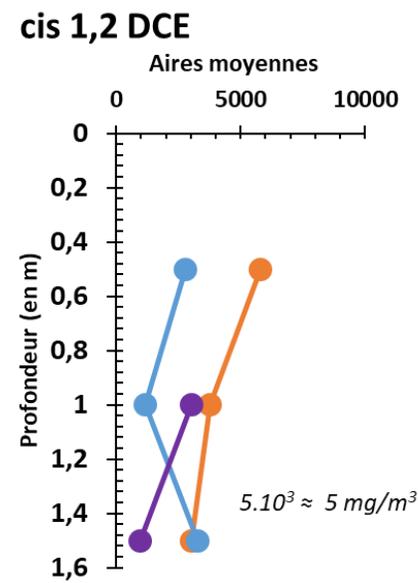
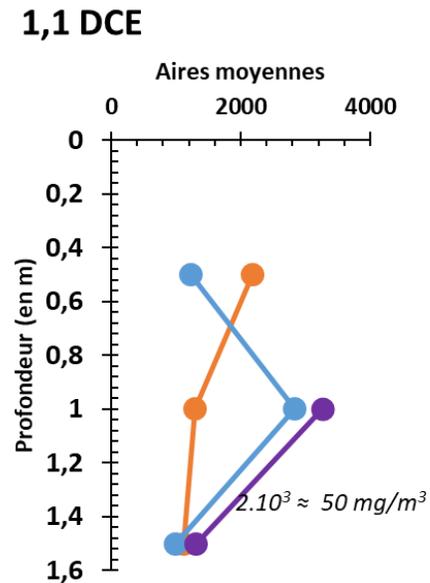
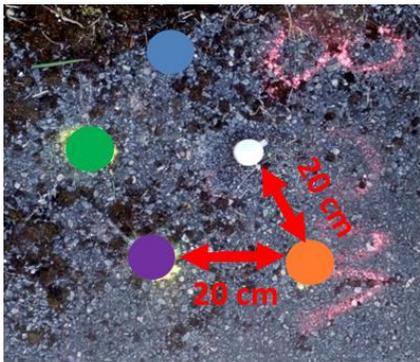
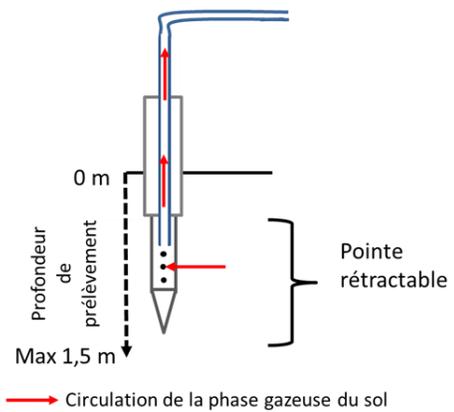
Ancienne usine localisée dans le sud ouest de la France où les différents compartiments du sol sont impactés par les COV



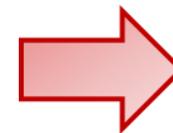
2- Retour d'expérience

2.2- Cas source COV dissous/adsorbé :

Ancienne usine localisée dans le sud ouest de la France où les différents compartiments du sol sont impactés par les COV



Difficulté d'établir les gradients de concentration

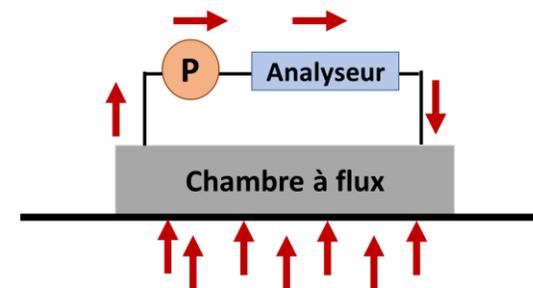


Problème d'hétérogénéité spatiale du sol

2- Retour d'expérience

2.2- Cas source COV dissous/adsorbé :

Site contaminé avec présence de COV dans les gaz du sol



Surface de mesure : 50 x 50 cm²

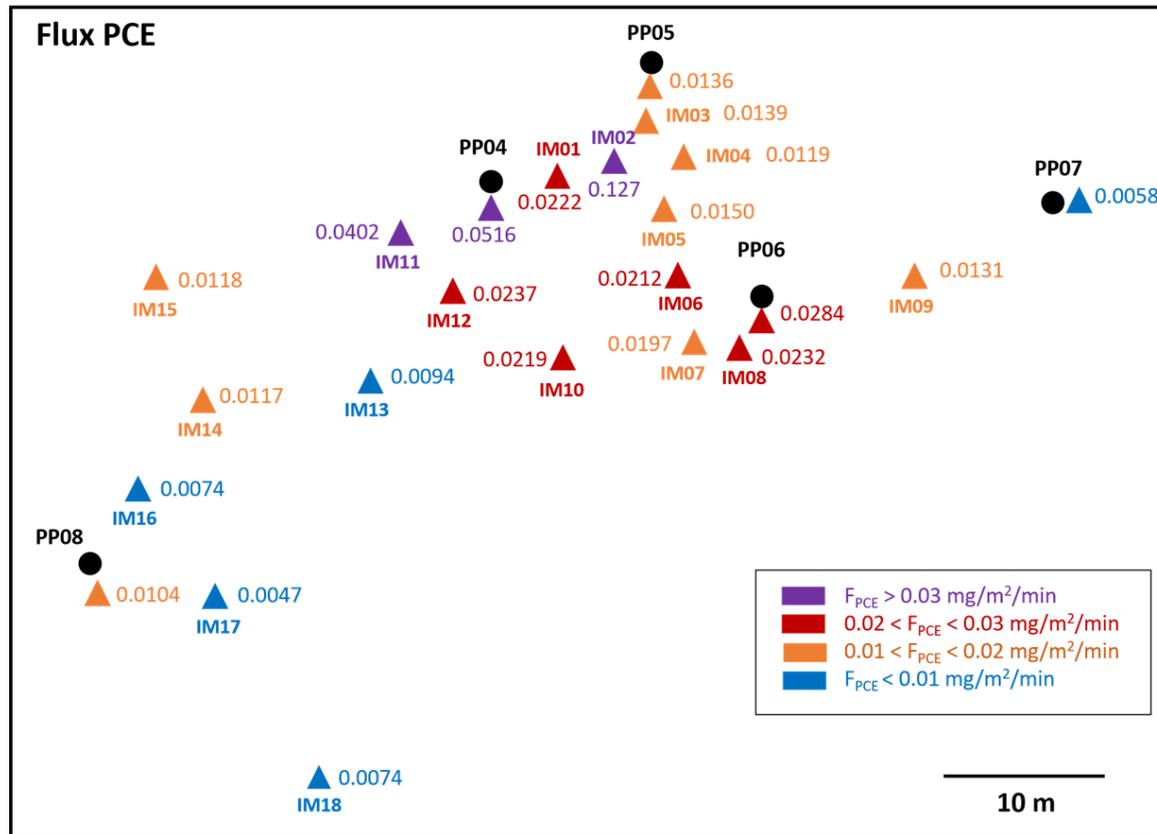


(COLLABORER, INNOVER, TRANSFÉRER)

2- Retour d'expérience

2.2- Cas source COV dissous/adsorbé :

Site contaminé avec présence de COV dans les gaz du sol



- 20 points de mesures de flux réalisés sur 6 h
- Importante variabilité spatiale des flux ne permettant pas d'avoir un a priori sur les variations spatiales des flux (dépôts aléatoires)
- Attention image figée dans le temps

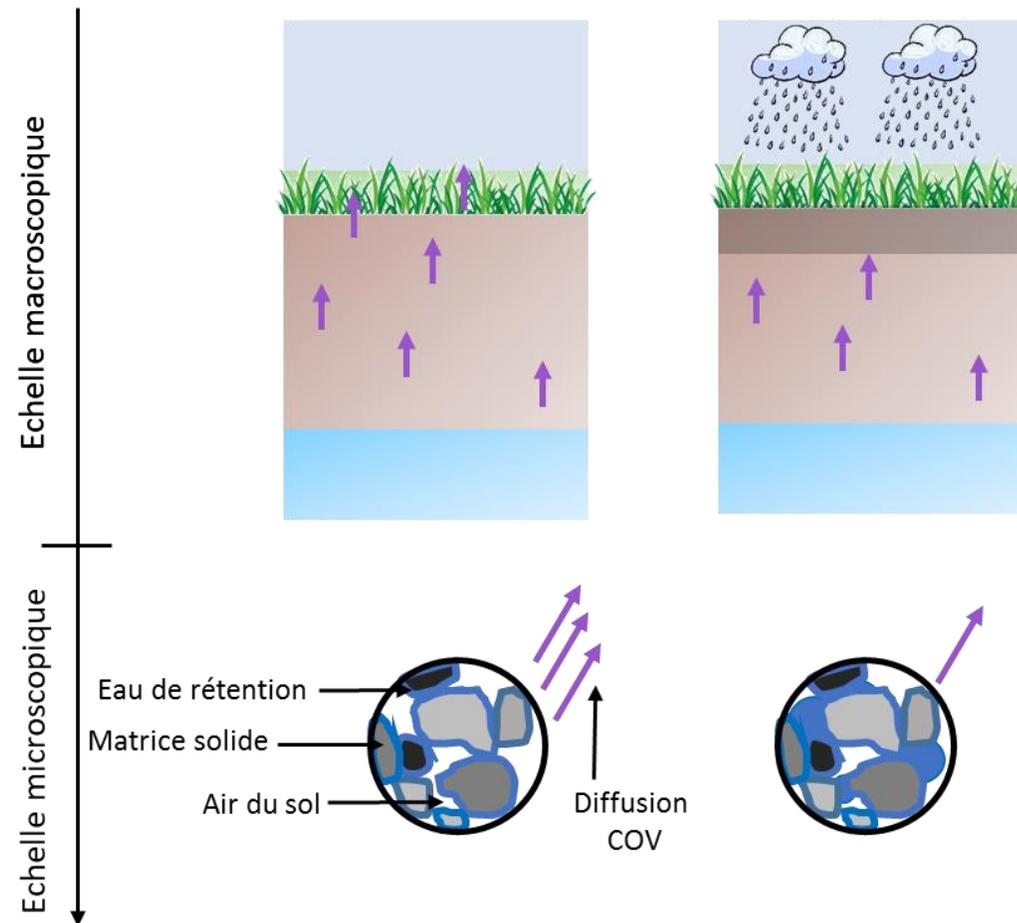
3- Problème variabilité spatio-temporelle

Hétérogénéité du sol :

- Variabilité spatiale des propriétés physico-chimiques
- Variabilité temporelle de l'humidité



Couplage mesures *in situ* / modèles ?



COLLABORER, INNOVER, TRANSFÉRER

4- Transport de gaz en Zone Non Saturée (ZNS)

- Transport par diffusion majoritaire sur long terme (Massmann and Farrier, 1992 ; Molins et al., 2010)

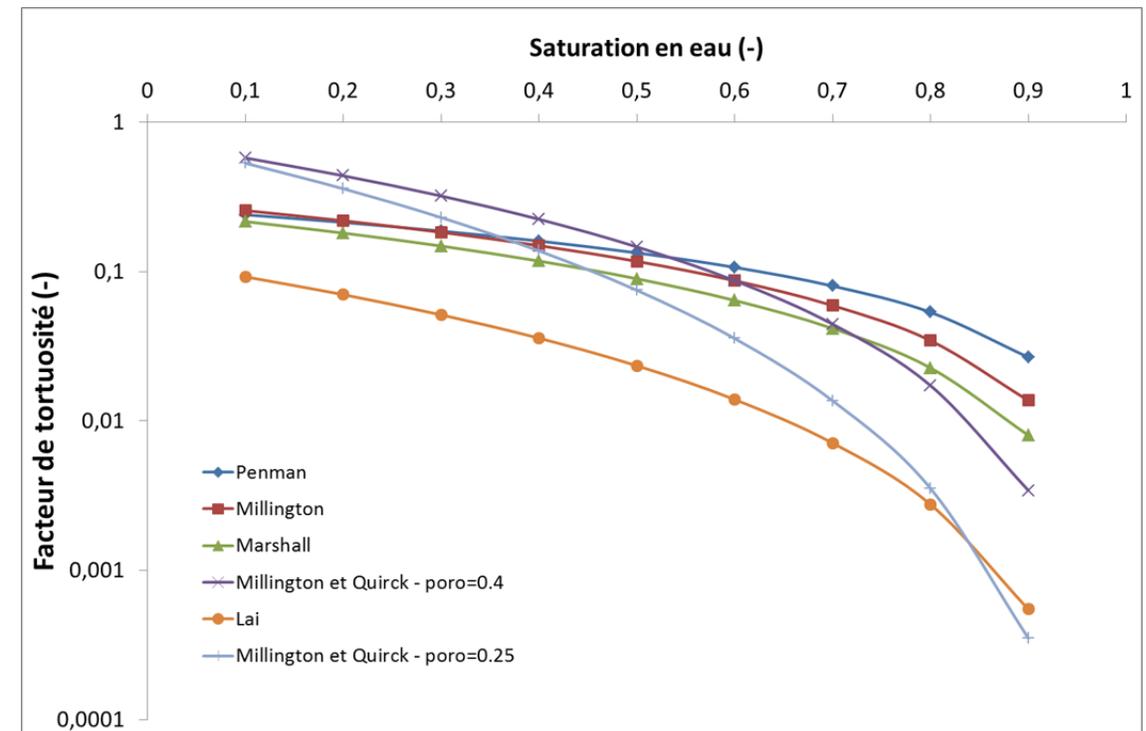
- Utilisation de la loi de Fick : $J_g = -D_{eff} \frac{dC_g}{dz}$

- Difficultés pour estimer le facteur de tortuosité

- Différences conséquentes fonction :

- de la formule utilisée

- des teneurs/saturations en liquide/gaz



4- Transport de gaz en Zone Non Saturée (ZNS)

- Comparaison de profil et flux de benzène sur trois types de sol :

- Modèle analytique (Atteia et Höhener, 2010)

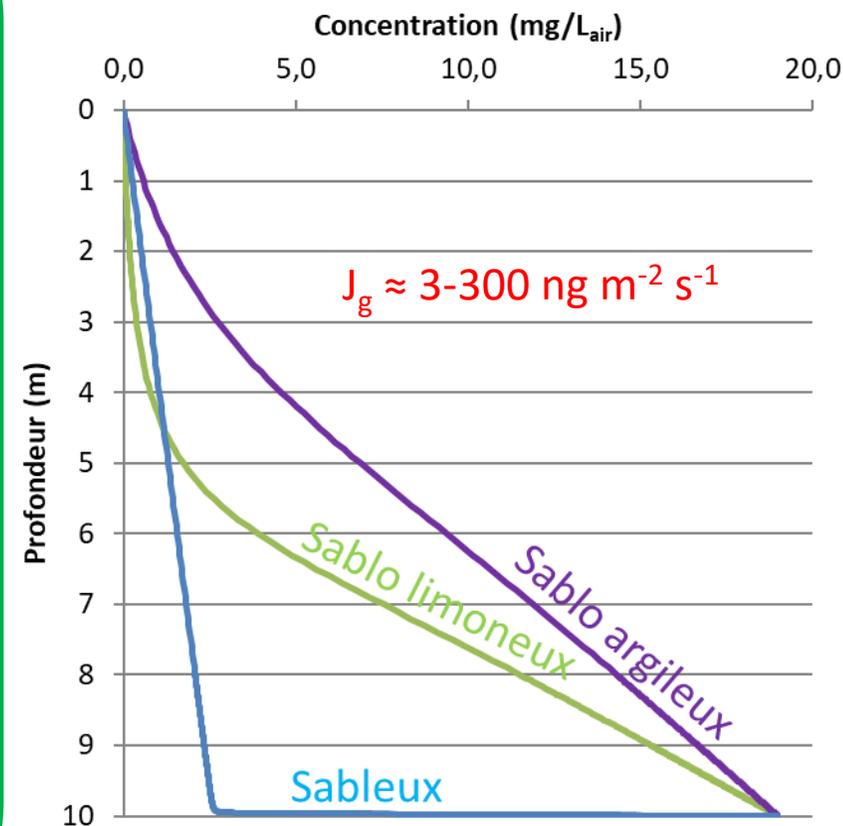
- Paramètres hydrodynamiques (sol)

Soil characteristics		Unit	Sand ^a	Loamy Sand ^b	Sandy Loam ^b
Porosity		-	0.30	0.41	0.41
Θ_r		-	0.023	0.057	0.065
van Genuchten parameters	m	-	0.673	0.561	0.471
	n	-	3.056	2.28	1.89
	l	-	0.50	0.50	0.50
Ks	MIN3P	m.s ⁻¹	8.25E-05	4.05E-05	1.23E-05
	SKD			4.86E-05	2.46E-05
fqlow		-	0.98	0.96	0.85

- Paramètres chimiques (polluant)

Compounds characteristics	Unit	Benzene
D_g	m ² .s ⁻¹	8.00E-06
D_w	m ² .s ⁻¹	1.00E-10
Henry's law constant (C _g /C _a)	-	0.217
GW concentration	mg.L ⁻³	100

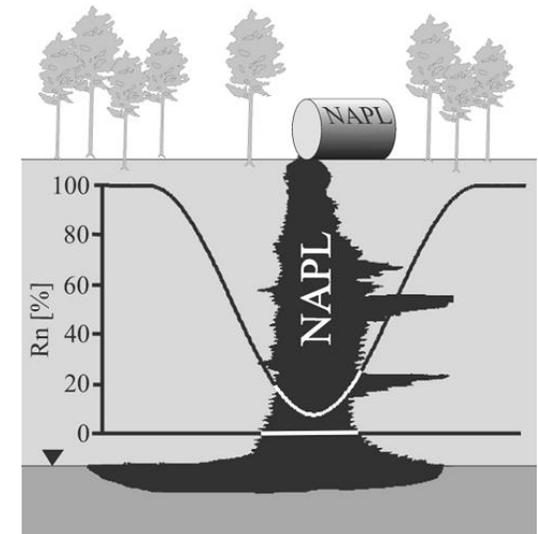
Profil de concentrations



(COLLABORER, INNOVER, TRANSFÉRER)

5- Cas du Radon-222 (^{222}Rn)

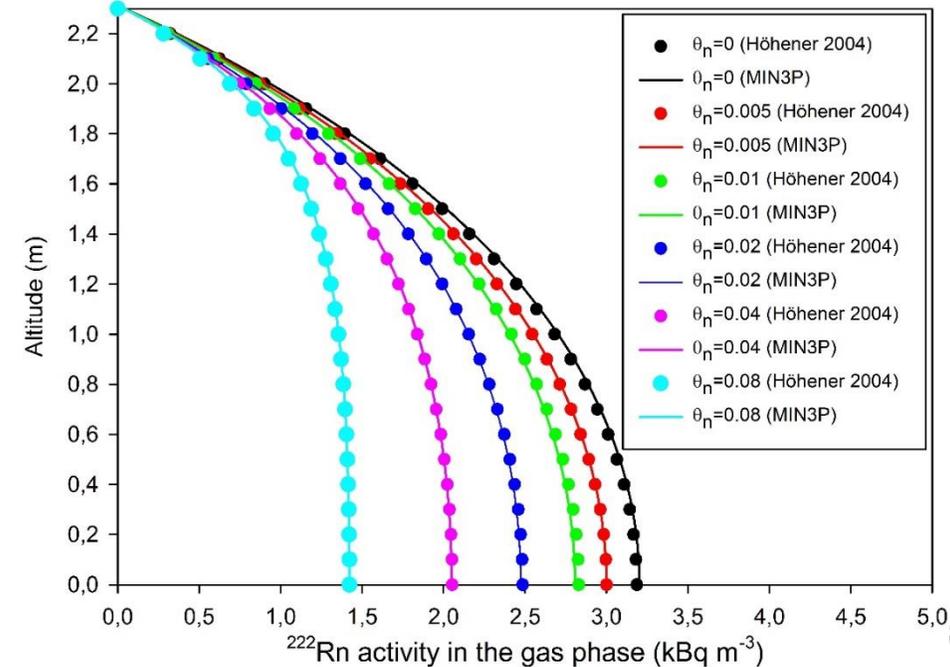
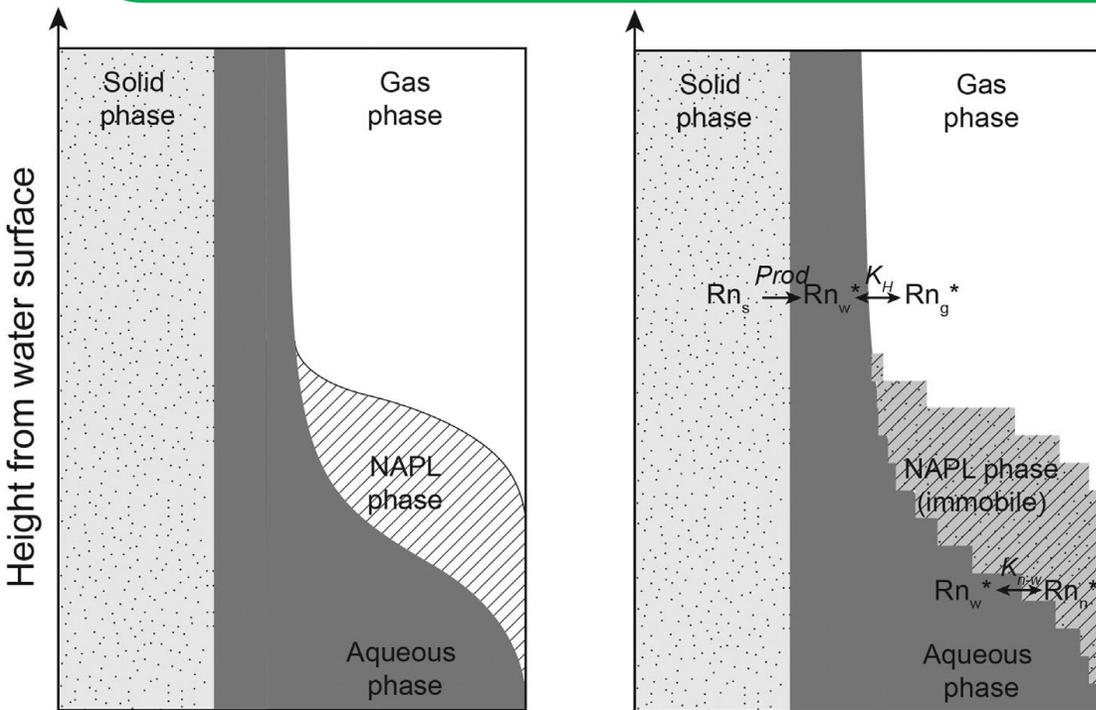
- Propriétés du ^{222}Rn (Nazaroff, 1992 ; Sakoda *et al.*, 2011 ; Schery *et al.*, 1984) :
 - Gaz rare, radioactif, produit par la désintégration du Radium-226
 - Chimiquement inerte mais capacité à se dissoudre dans les NAPL
 - Emis naturellement par les matrices solides contenant du Radium
- Intérêt double :
 - Etude du transport de gaz en ZNS
 - Indicateur pour la délimitation/quantification de NAPL en milieux homogènes (Hunkeler *et al.*, 1997 ; Schubert *et al.*, 2001 ; Höhener *et al.*, 2004)



(Schubert *et al.*, 2002)

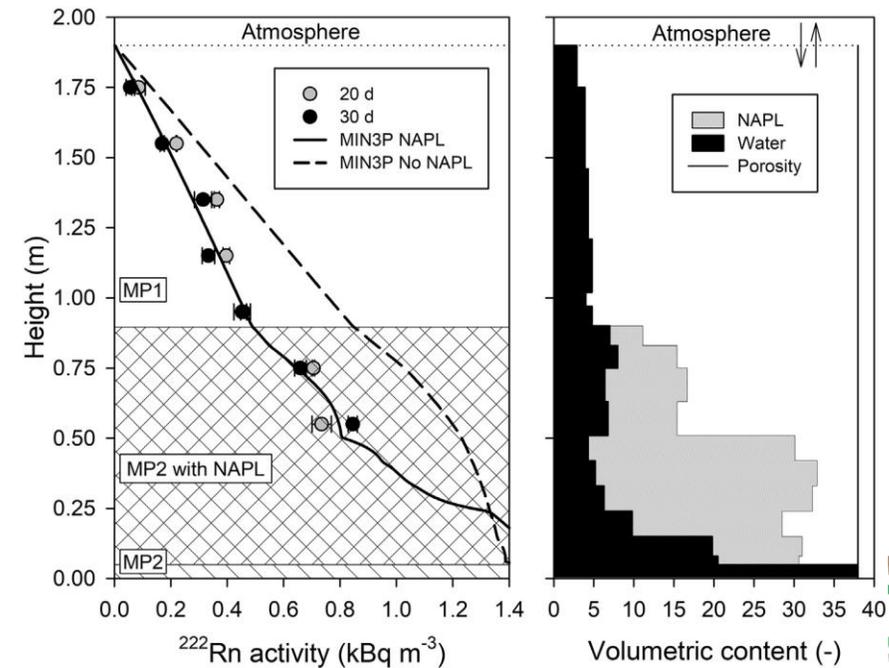
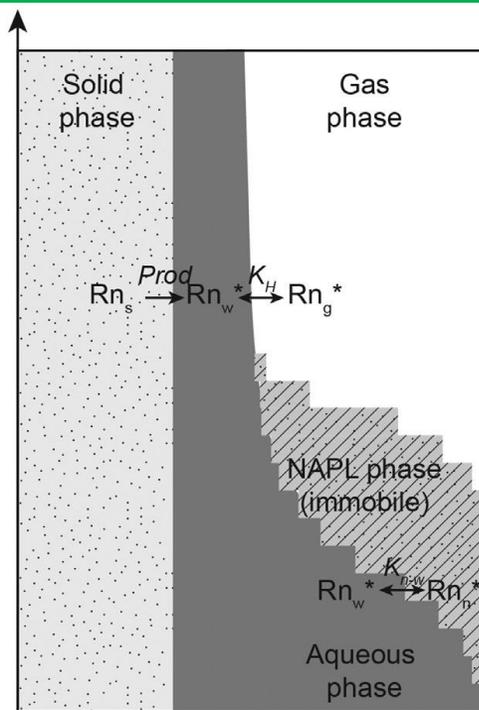
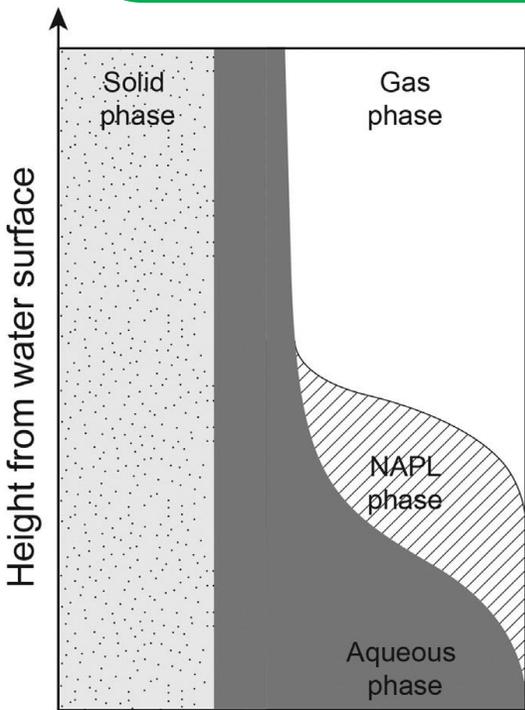
5- Cas du Radon-222 (^{222}Rn)

- Modélisation en milieux hétérogènes :
 - Amélioration du code MIN3P (Mayer et al., 2002; Molins et Mayer, 2007)
 - Validation du schéma conceptuel (comparaison solution analytique Höhener et Surbeck (2004) & expérimental)



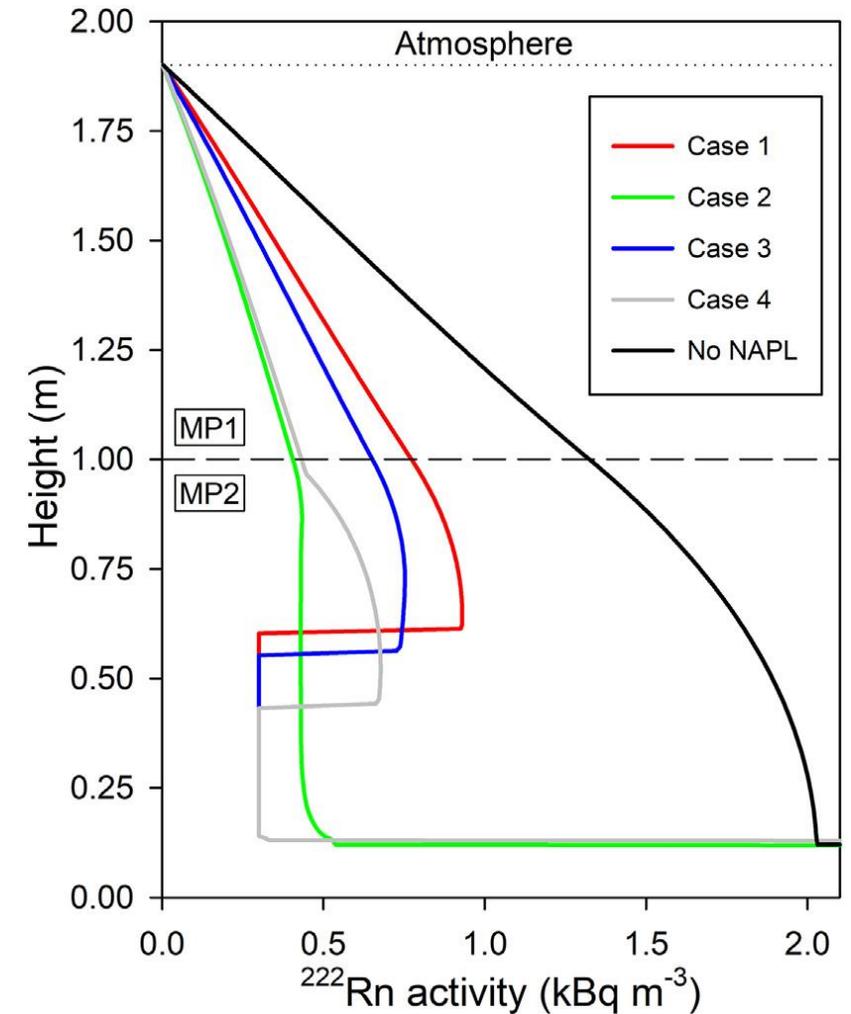
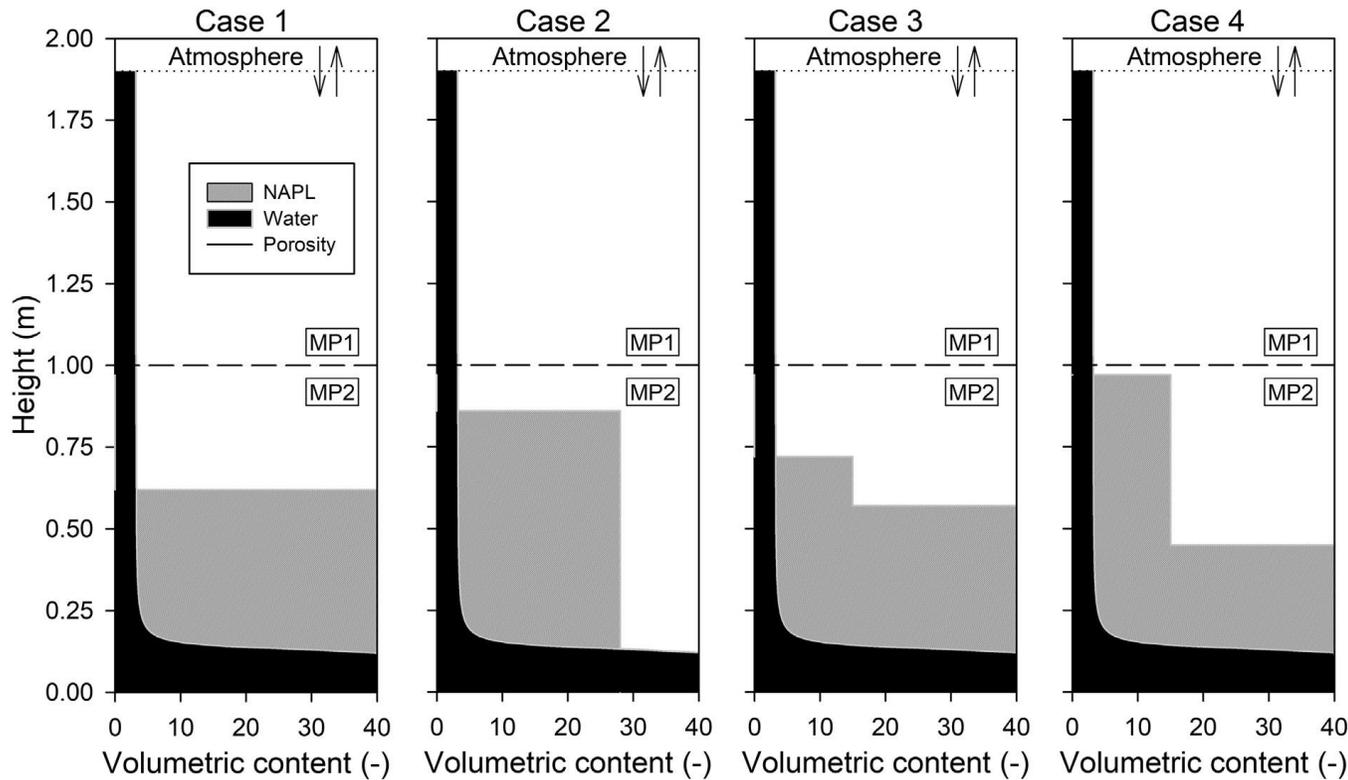
5- Cas du Radon-222 (^{222}Rn)

- Modélisation en milieux hétérogènes :
 - Amélioration du code MIN3P (Mayer et al., 2002; Molins et Mayer, 2007)
 - Validation du schéma conceptuel (comparaison solution analytique Höhener et Surbeck (2004) & expérimental)



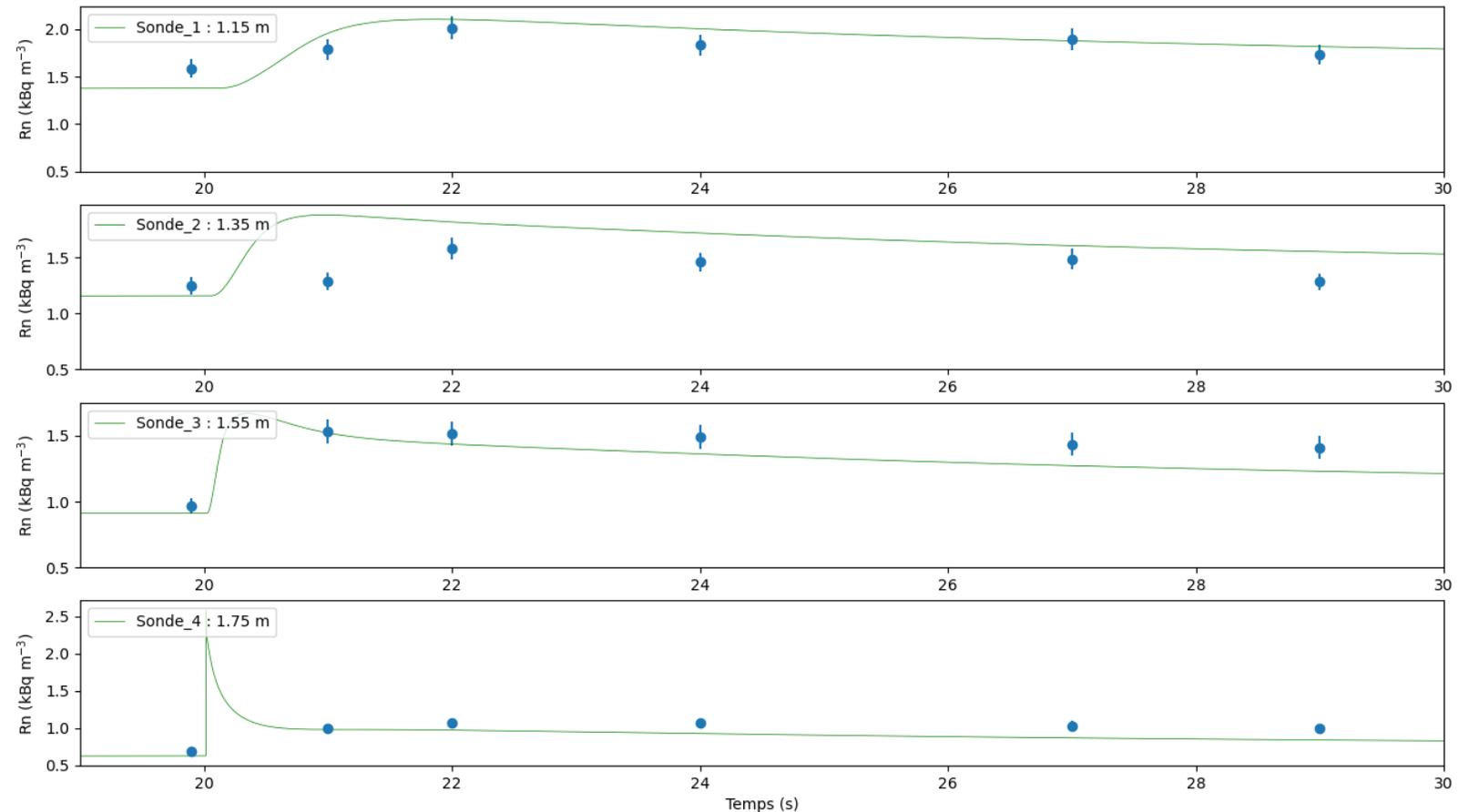
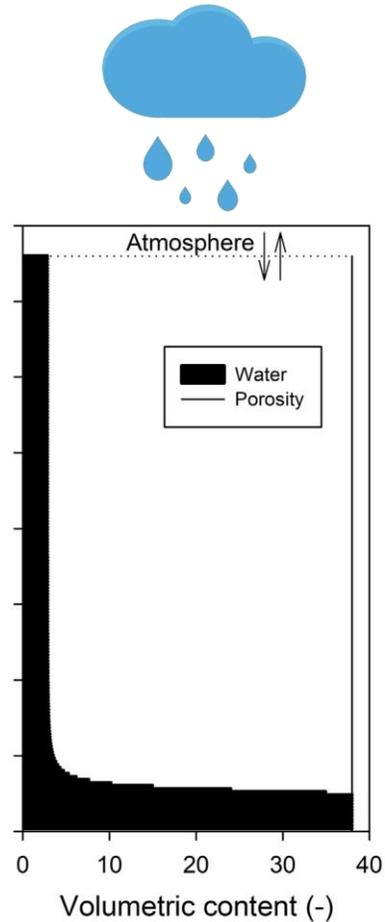
5- Cas du Radon-222 (^{222}Rn)

- Modélisation en milieux hétérogènes :
 - Intégration des hétérogénéités verticales (stationnaire)



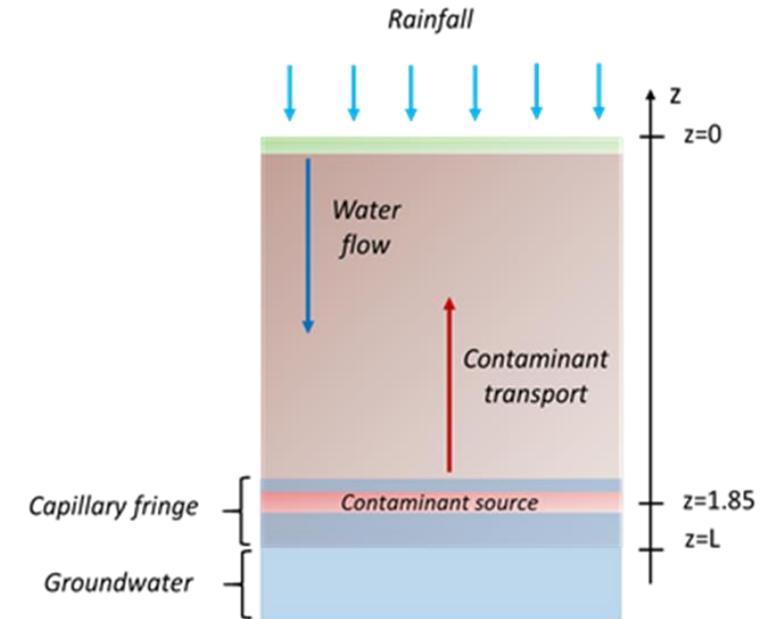
5- Cas du Radon-222 (^{222}Rn)

- Modélisation en milieux hétérogènes :
 - Intégration des hétérogénéités temporelles (ex : précipitations en milieu homogène non contaminé)



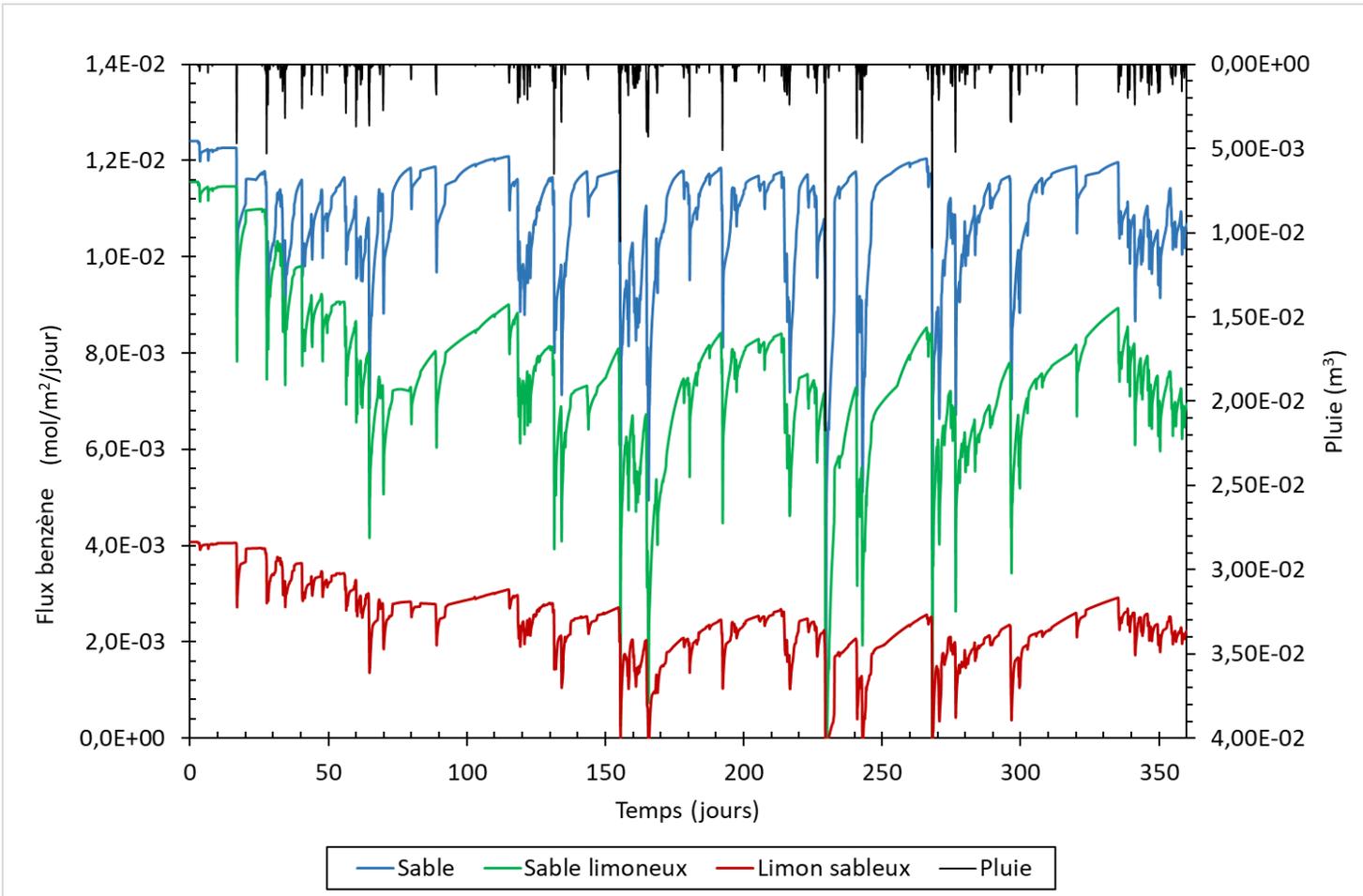
6- Modèle simplifié SKD (en cours de développement)

- **Objectif** : Caractériser rapidement et facilement les scénarios de flux à l'interface sol-atmosphère en fonction des événements pluvieux sur sol nu.
- **Caractéristiques actuelles** :
 - Milieu poreux 1D et verticale homogène
 - Source de polluant (sous forme NAPL, dissous ou gazeux) fixée à un z donnée
 - Transfert polluant phase aqueuse et gazeuse / pas de dégradation
 - Diffusion ascendante pour la phase gazeuse et advection descendante pour la phase aqueuse
- **Modèle validé** : résultats comparés avec ceux de MIN3P



6- Modèle simplifié SKD (en cours de développement)

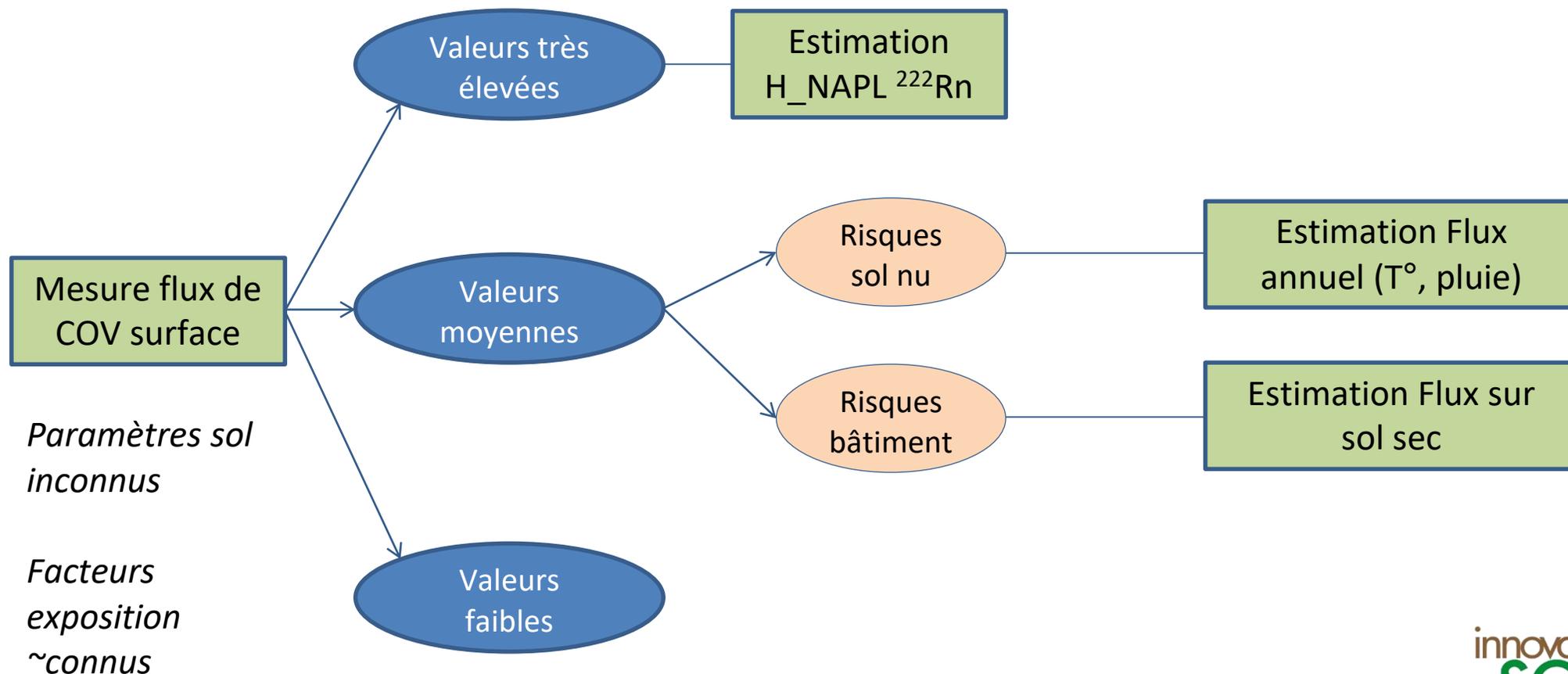
Flux en fonction d'une série d'événements pluvieux annuels



- Périodes considérables de redistribution de l'eau dans le sol
- Différences significatives entre les 3 sols
- Futur outil utile pour aider à estimer les pertes par volatilisation des COV à l'interface sol/atmosphère

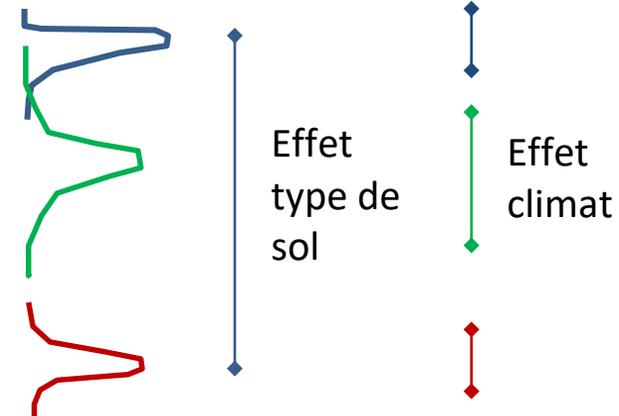
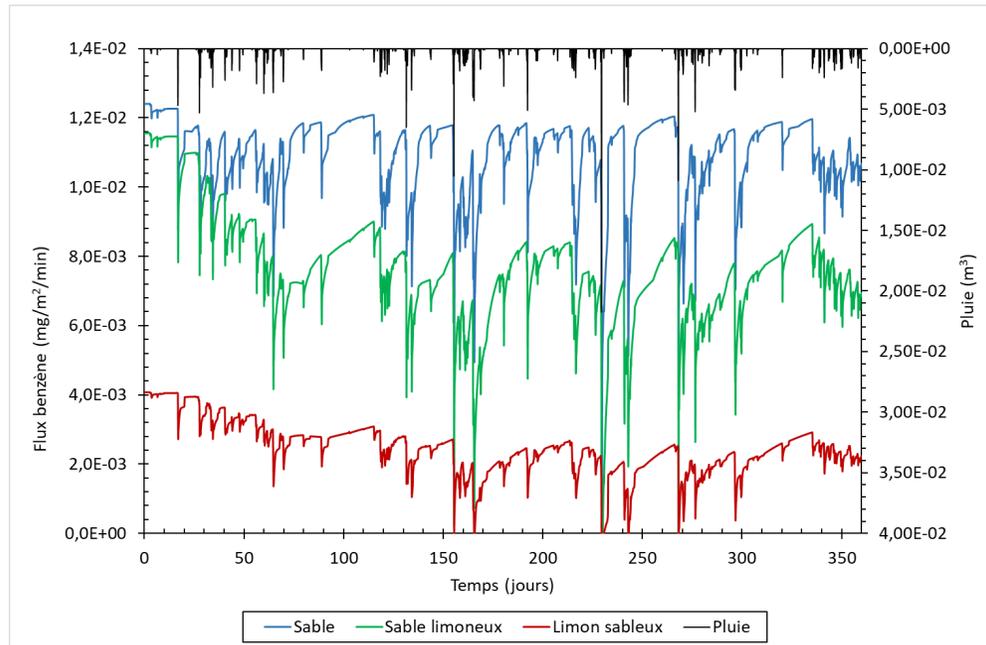
7- Retour sur la démarche

Deux objectifs : **Cartographie des sources** et **Estimation spatialisée du risque**

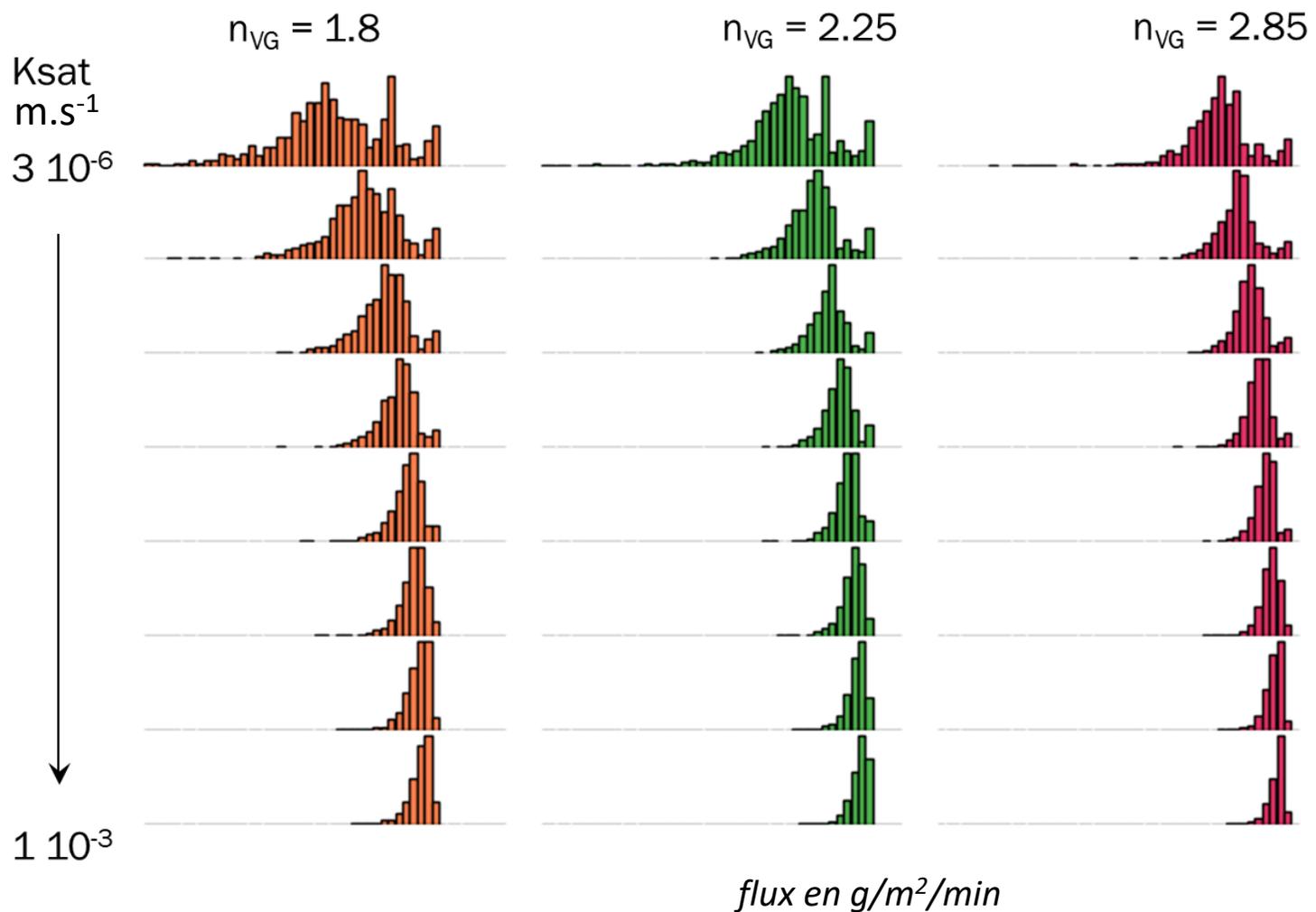


8- Comparatif des effets sols et climat

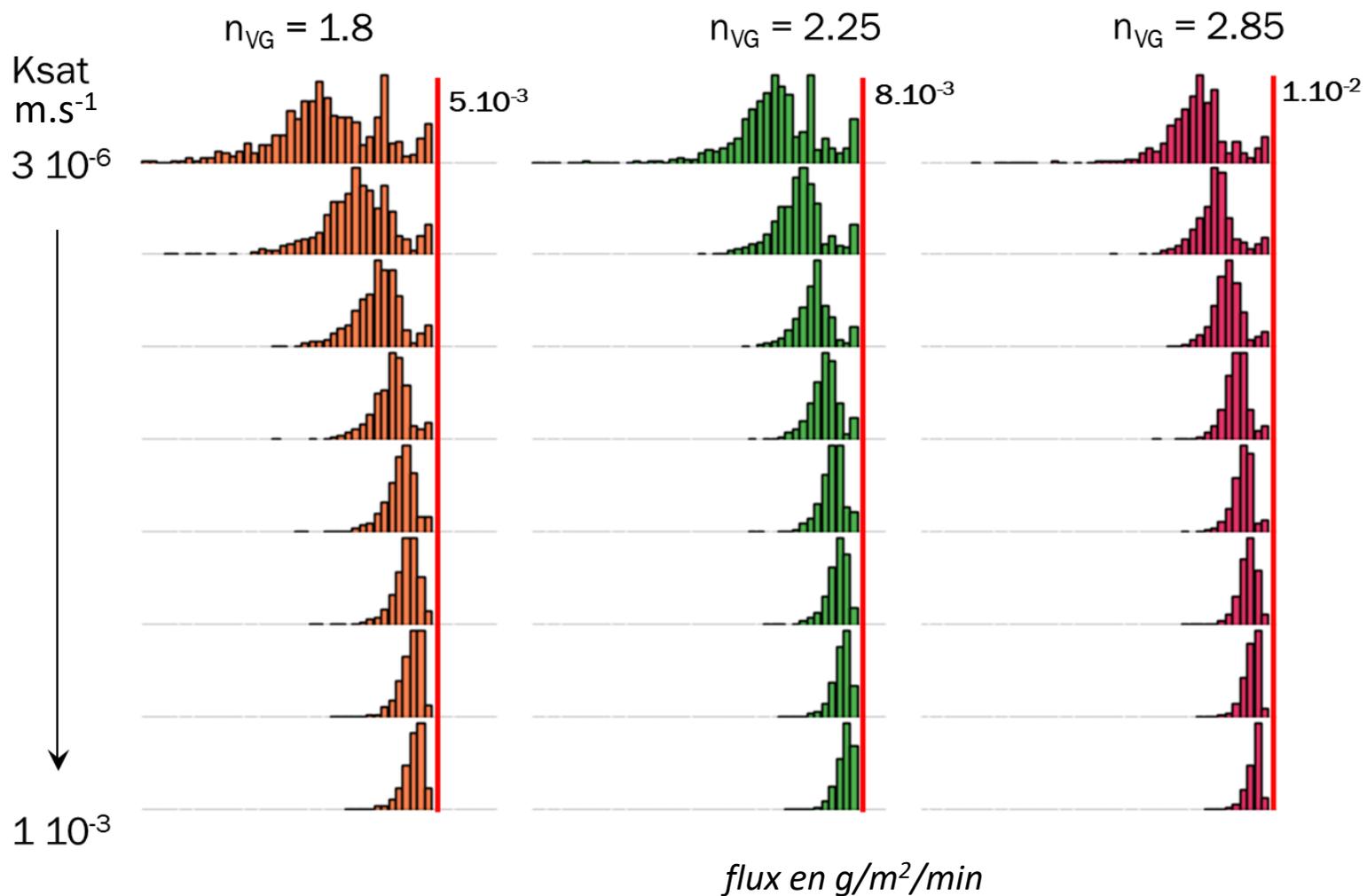
Pour le même polluant à la même profondeur (!! frange capillaire)



9- Déterminer un flux moyen (1)

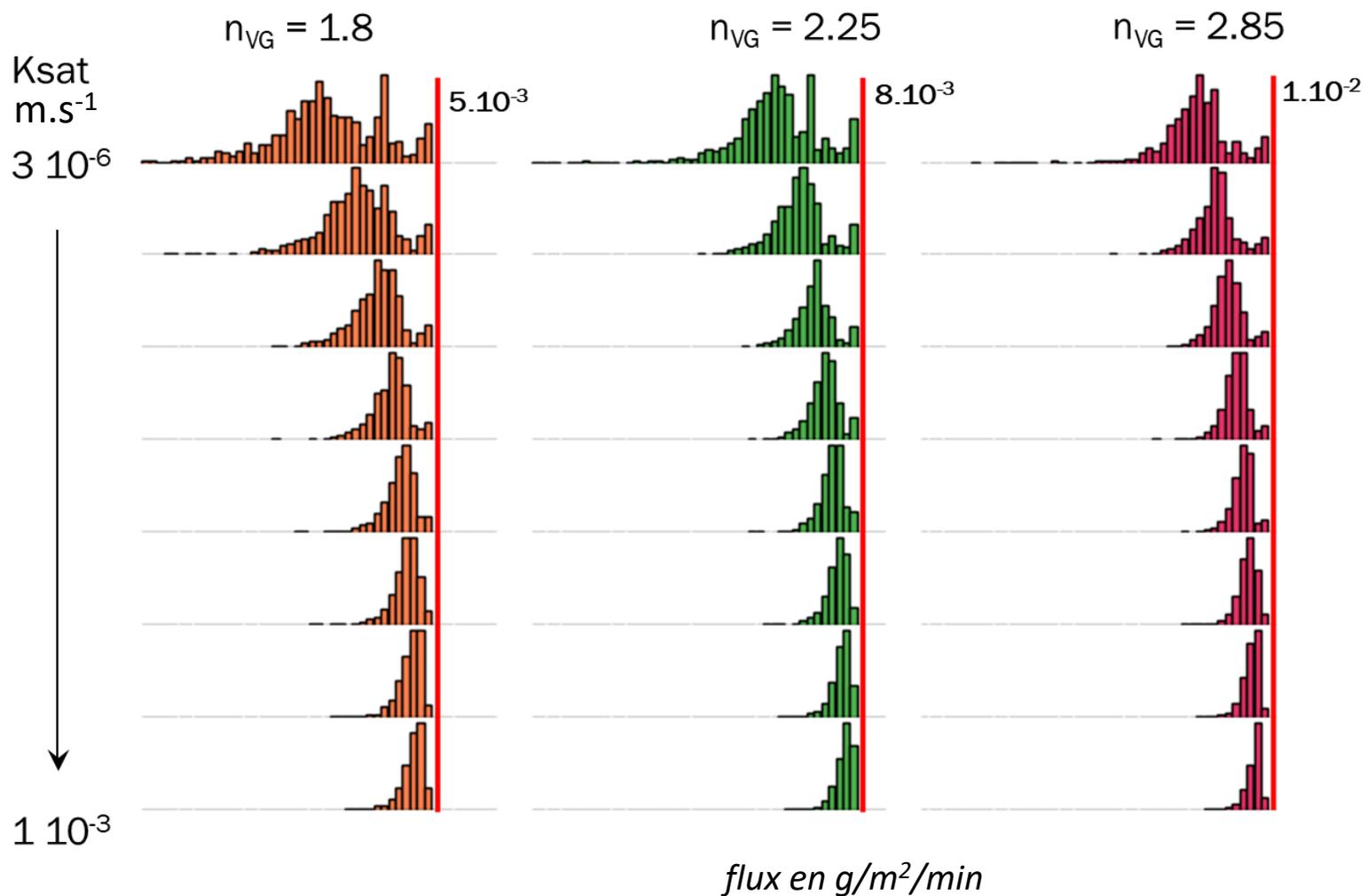


9- Déterminer un flux moyen (1)



Flux sur sol sec ne dépend que de la présence/profondeur nappe

9- Déterminer un flux moyen (1)

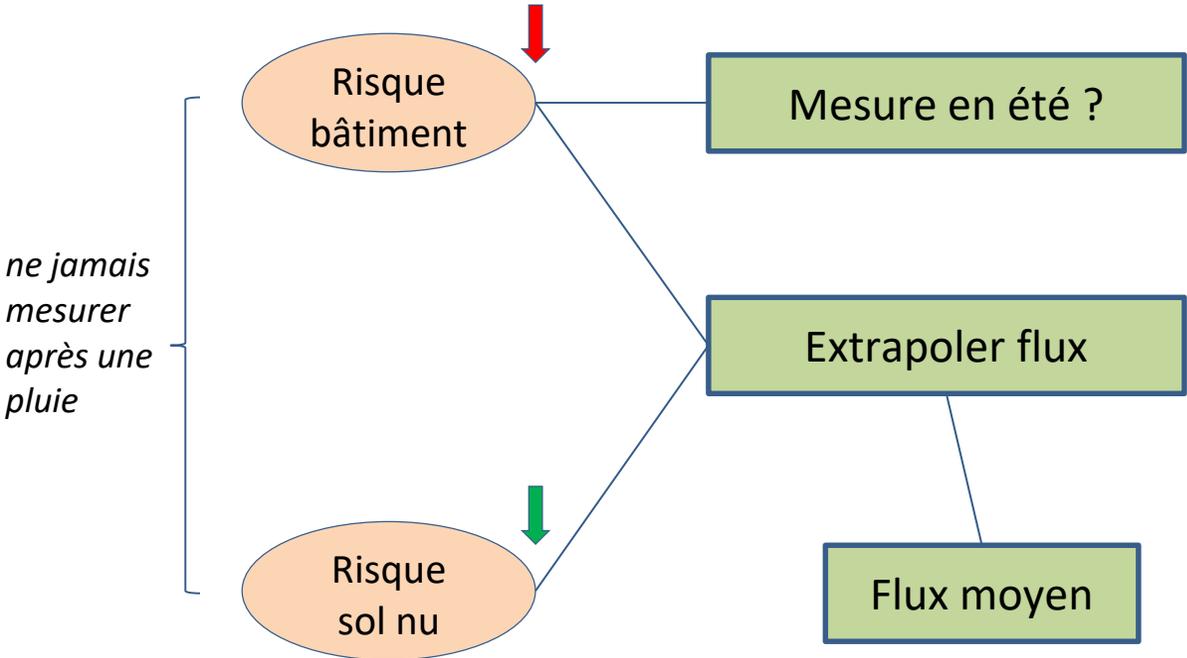


Flux sur sol sec ne dépend que de la présence/profondeur nappe

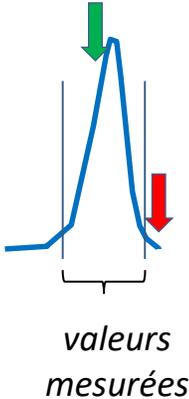
Variations importantes de flux sur sol moyennement perméable

n_{VG} et α_{VG} très difficiles à déterminer

9- Déterminer un flux moyen (2)

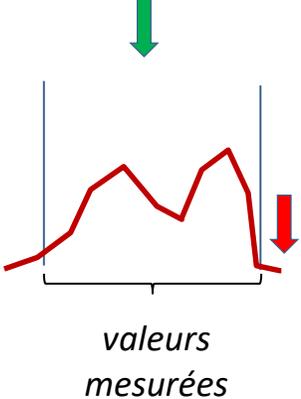


sol perméable



OK

sol peu perméable

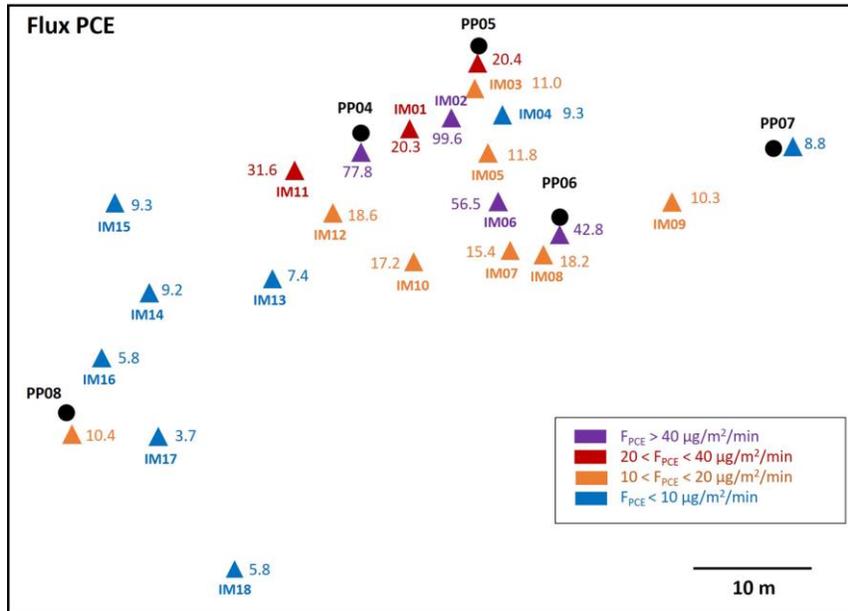


- x campagnes
- ou
- paramètres du sol

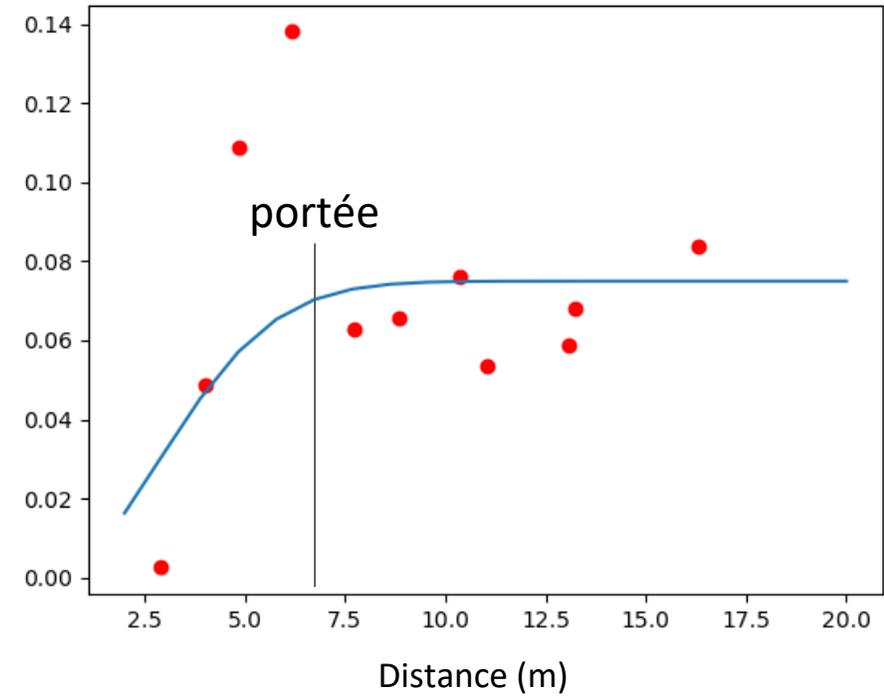


(COLLABORER, INNOVER, TRANSFÉRER)

10- Approche spatiale



variogramme



11- Conclusion

- les pollutions sont très hétérogènes, échantillonner en surface permet de densifier
- La mesure de flux de volatils en surface du sol est rapide et précise
- L'outil Mobiflux permet une bonne reproductibilité et des mesures rapides
- Le ^{222}Rn permet d'estimer les épaisseurs de flottant
- les modèles numériques mettent en évidence l'importance de la variation de teneur en eau sur les flux
- Selon l'objectif des mesures répétées ou des paramètres de sol peuvent être nécessaires