



# Transport et survie des oocystes de *Cryptosporidium* spp. dans l'aquifère karstique de la craie de Haute Normandie

**Jean-Paul DUPONT**, UMR 6143 M2C, Université de Rouen

Gilles GARGALA, Laboratoire de Parasitologie, CHU et Université de Rouen,

Samira KHALDI, Laboratoire de Parasitologie, CHU et Université de Rouen,

Laetitia LE GOFF, Laboratoire de Parasitologie, CHU et Université de Rouen,

Amer Mouhri, UMR 6143 M2C, Université de Rouen,

Nicolas Massei, UMR 6143 M2C, Université de Rouen,

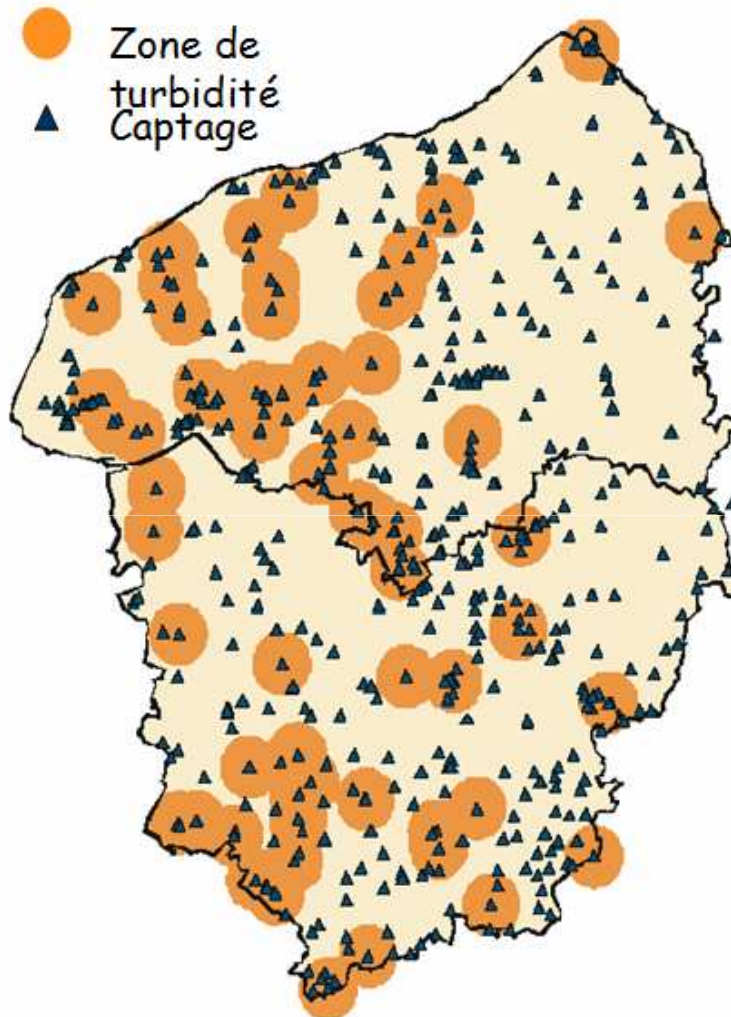
Loic FAVENNEC, Laboratoire de Parasitologie, CHU et Université de Rouen

## Le contexte hydrologique de l'aquifère de la craie

- En Haute Normandie, les ressources en eau potable proviennent de l'exploitation des eaux souterraines de l'aquifère de la craie de l'Ouest du bassin de Paris
- Une nappe libre, sous couverture de formations superficielles, caractérisée par des écoulements de type poreux fissuré, drainés par des conduits karstiques
- Au niveau des plateaux, les eaux de ruissellement et d'infiltration peuvent être contaminées par les oocystes de *Cryptosporidium* spp, provenant des bovins et des rejets domestiques, avant de s'engouffrer au niveau des dolines ou bétoires (ex. clichés ci-dessous) puis de transiter rapidement vers les exutoires karstiques, exploités en vallée.
- Ce travail a pour but d'analyser les potentiels de piégeage, de transport et de survie des oocystes dans le contexte des écoulements karstiques de l'aquifère de la craie et de sa vulnérabilité à la turbidité.

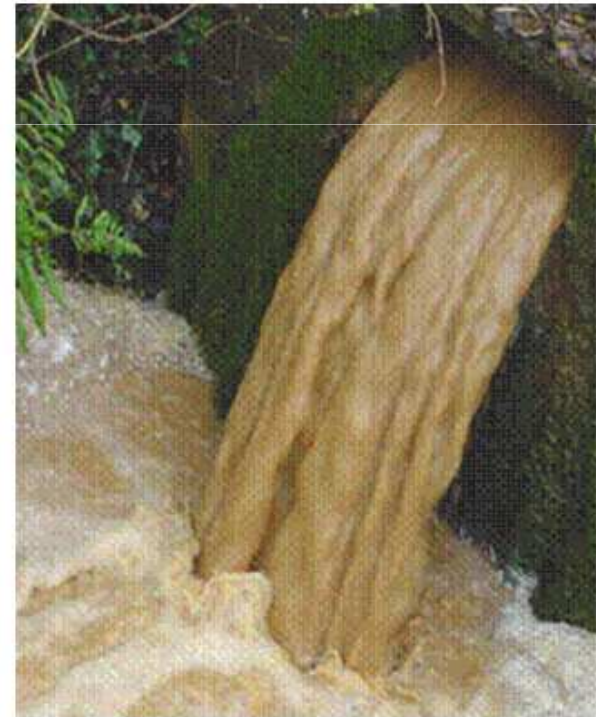


## La turbidité des eaux et la vulnérabilité des ressources en eau

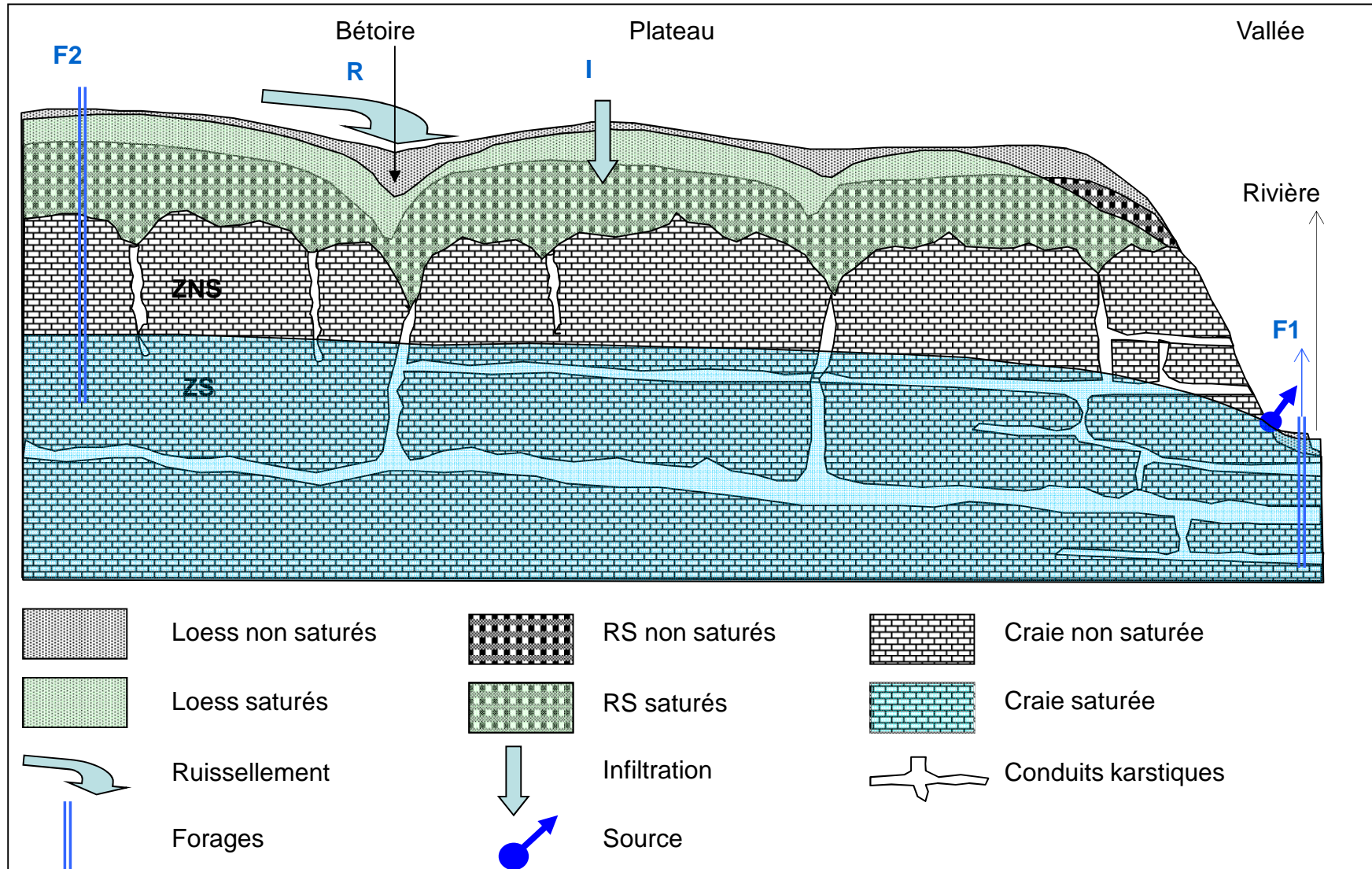


Source : DDASS Eure et Seine-Maritime (Sise-Eaux)  
Cartographie : DRASS Haute-Normandie, Février 1999

- Cette carte a été établie à partir des captages AEP, abandonnés ou non, pour lesquels au moins 5 analyses du contrôle sanitaire ont dépassé la norme de 2 NTU, de 1992 à 1998.
- L'exemple de la source de Bourdainville (76).



# Le contexte hydrologique de l'aquifère de la craie



## La problématique sanitaire de la contamination des eaux par les oocystes de *Cryptosporidium* spp

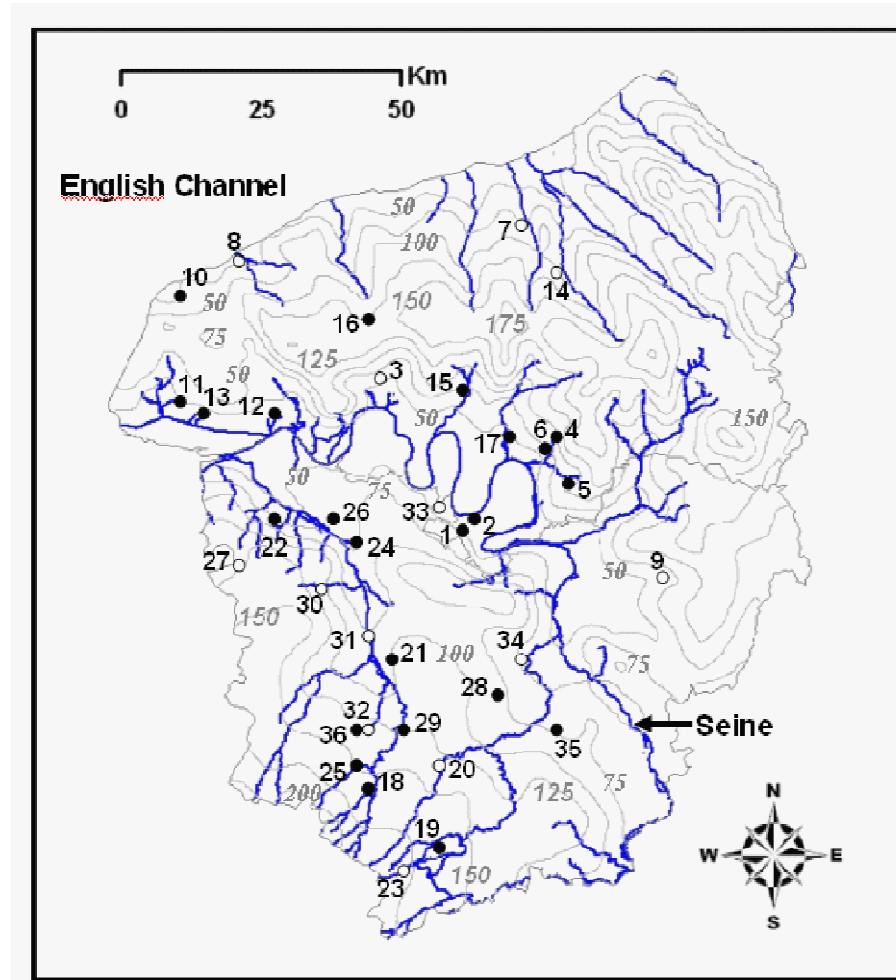
forme infectante	oocyste (5µm) 1009 kg m <sup>-3</sup>
source principale	bovins
pouvoir infectant dans l'environnement	sol : 4 à 12 mois 18 mois dans les eaux froides 3 mois dans les eaux salées infection de mammifères marins risque potentiel de contamination humaine par les coquillages
dose infectante	hôte immunodéprimé (ID): < 10 oocystes Immunocompétent: ~ 130 oocystes
caractère infectieux de l'eau	1 à 3 oocystes /10L
principal symptôme	diarrhée, mise en jeu du pronostic vital chez l'ID, dyspepsie

- Des particules de petite taille facilement transportées dans l'eau
- Une grande résistance dans l'environnement et à la chloration

## Méthodologie et stratégie d'échantillonnage

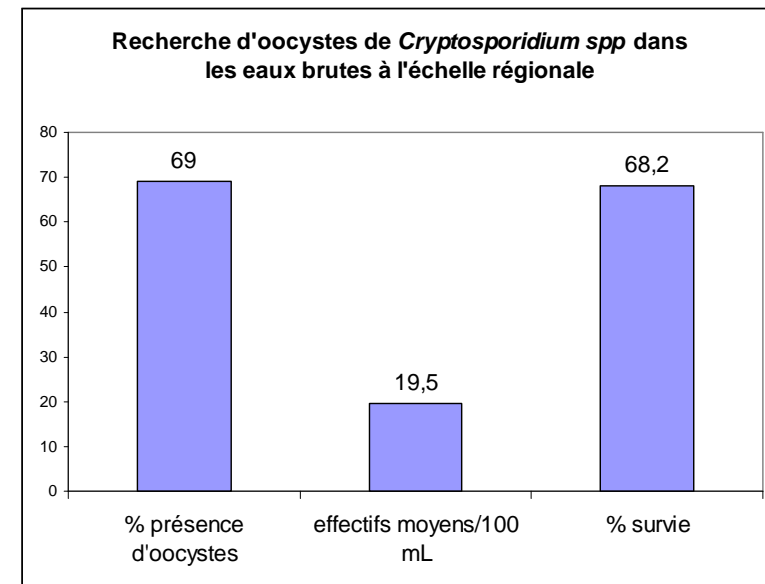
- La méthodologie des dénombrements et de la survie des oocystes de *Cryptosporidium spp* dans les eaux
  - Les eaux brutes et traitées, prélevées in situ, sont filtrées sur des cartouches « Envirochek ».
  - La recherche et le dénombrement des oocystes de *Cryptosporidium spp* ont été réalisés au microscope à épifluorescence avec, dans certains cas, une confirmation par cytométrie en flux.
  - Viabilité évaluée par coloration vitale (IP)
  - L'infectiosité a été étudiée après inoculation des oocystes chez le souriceau immuno-compétent NMRI.
- Les stratégies d'échantillonnage
  - La prospection spatiale multi-sites en fonction d'un calendrier aléatoire
  - Les dénombrements en fonction d'un suivi hydrologique
- Les analyses complémentaires
  - Données hydrologiques
  - Matières en suspension
  - La référence des indicateurs sanitaires bactériens

# L'approche spatiale de la vulnérabilité par rapport à la restitution d'oocystes de *Cryptosporidium* spp dans les eaux brutes

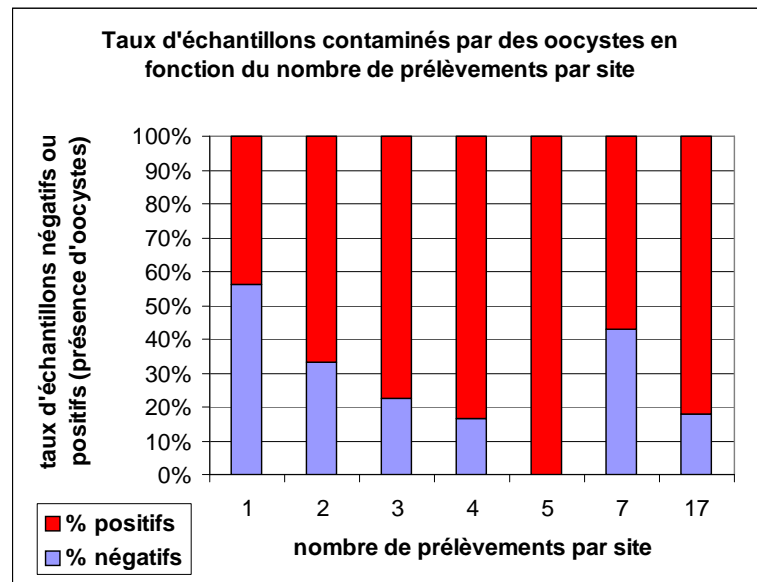
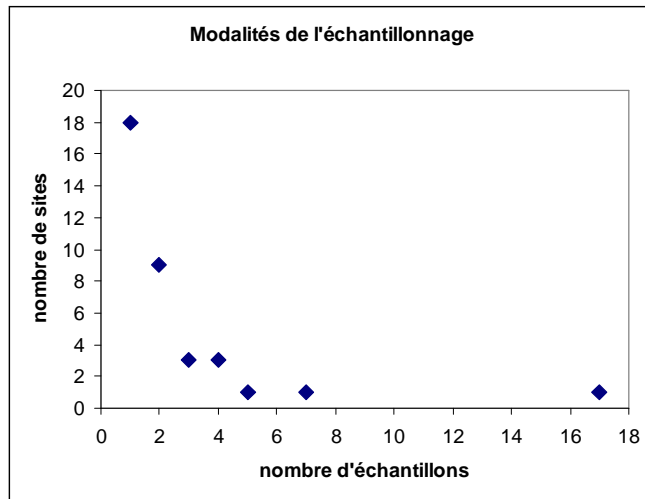


Carte de localisation des sites de recherche et de dénombrement des oocystes de *Cryptosporidium* sur cartographie des isopièzes (en gris) de l'aquifère de la craie et du réseau hydrographique (en bleu) de Haute Normandie : cercles vides = absence d'oocystes, ronds noirs = présences d'oocystes

- Près de 100 prélèvements ont été effectués, pour la recherche d'oocystes, au niveau de 36 sites d'exploitation des ressources en eau répartis en Haute Normandie.
- Près de 70 % des échantillons se sont avérés contaminés par un effectif moyen de 19,5 oocystes / 100 L et un taux global d'infectiosité très significatif.



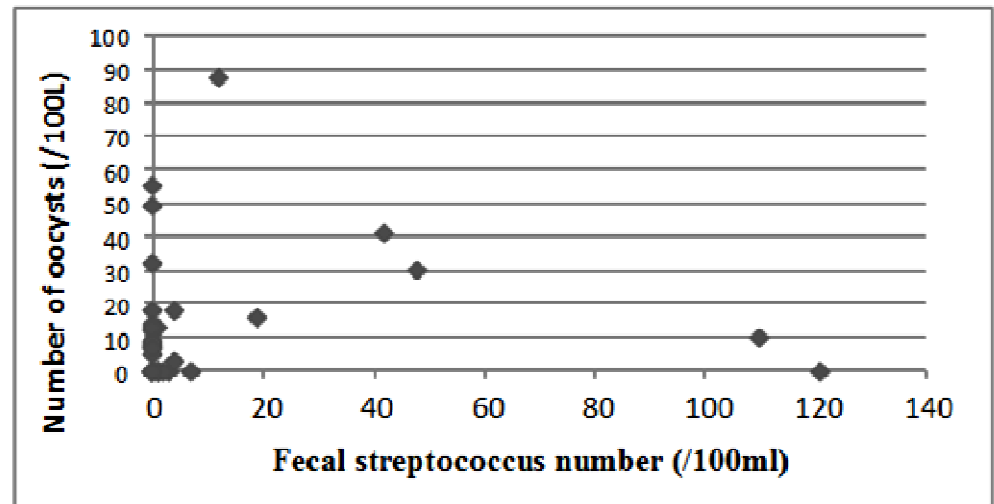
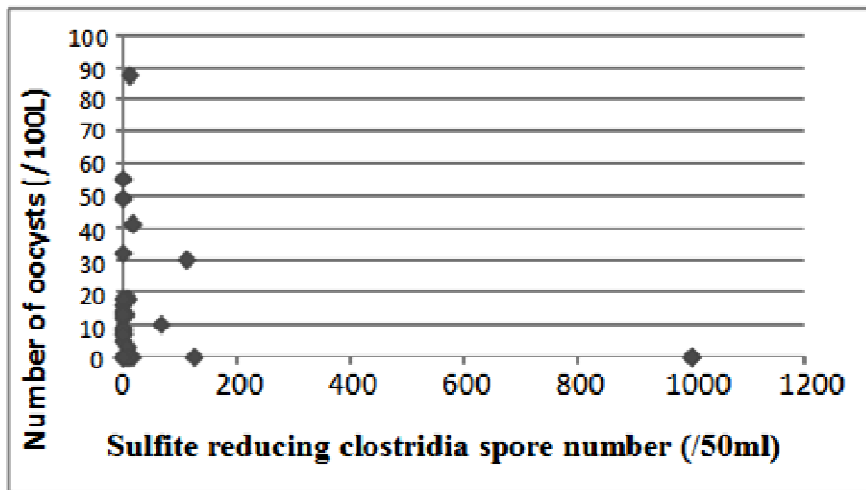
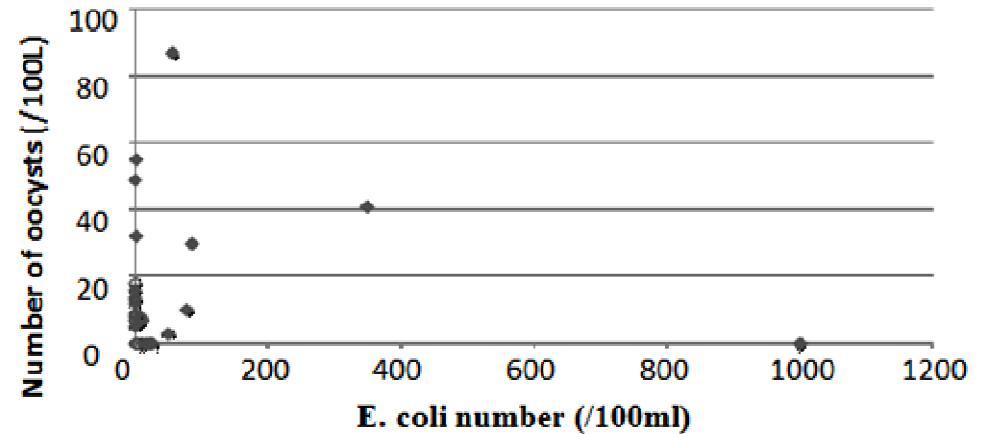
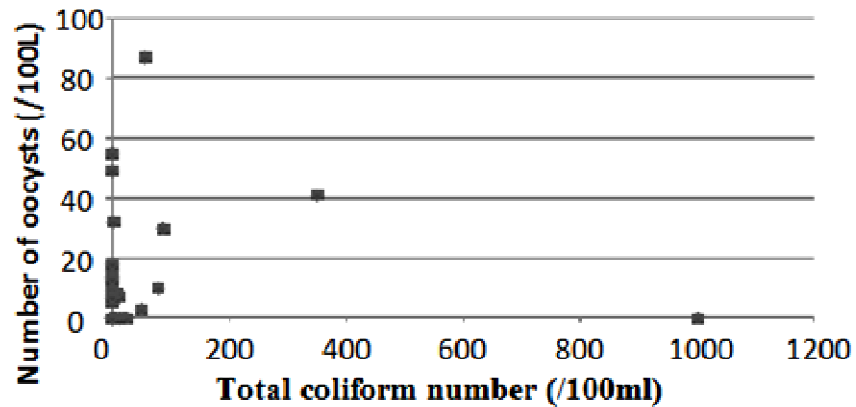
# L'approche spatiale de la vulnérabilité par rapport à la restitution d'oocystes de *Cryptosporidium spp* dans les eaux brutes



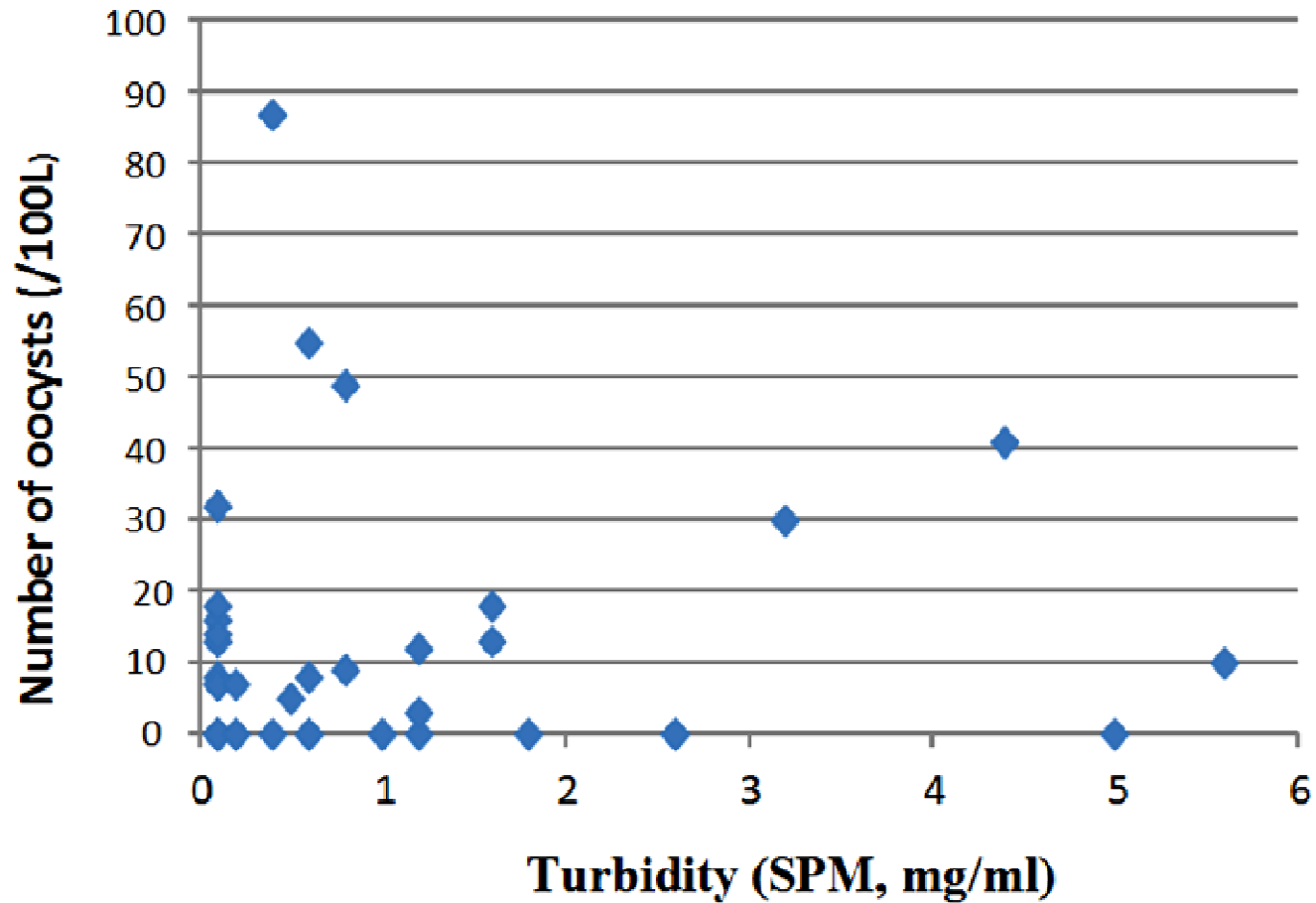
- Dans le cadre d'une prospection aléatoire au cours des cycles hydrologiques, la probabilité de présence d'oocystes de *Cryptosporidium spp* dans les eaux brutes augmente avec le nombre de prélèvements.
- A partir de 3 échantillons consécutifs sur le même site, nous n'avons jamais constaté une série de 3 réponses négatives consécutives.
- L'aquifère karstique régional est donc très vulnérable à la restitution d'oocystes. Toutefois, la stratégie d'échantillonnage aléatoire ne permet pas de définir un nombre optimal de répliquats pour quantifier le taux de réponses négatives.
- Des ressources clairement vulnérables à la contamination par des oocystes présentent toutefois des échantillons négatifs.



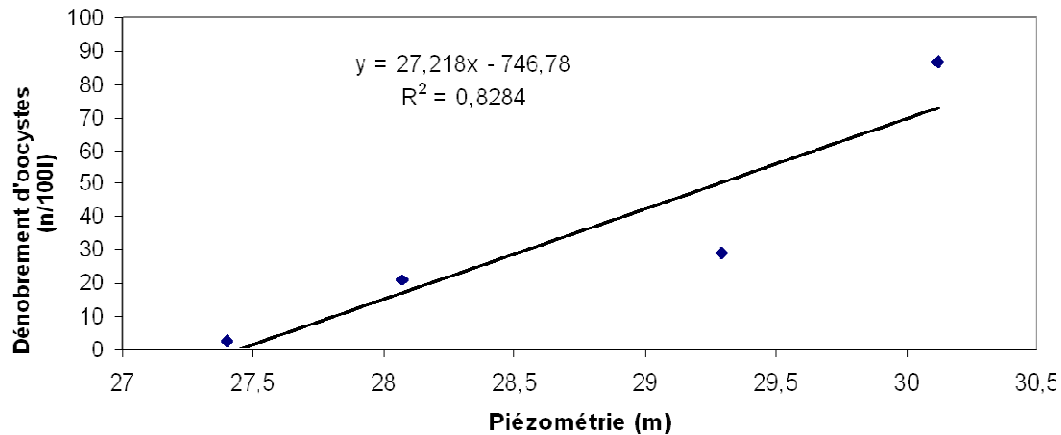
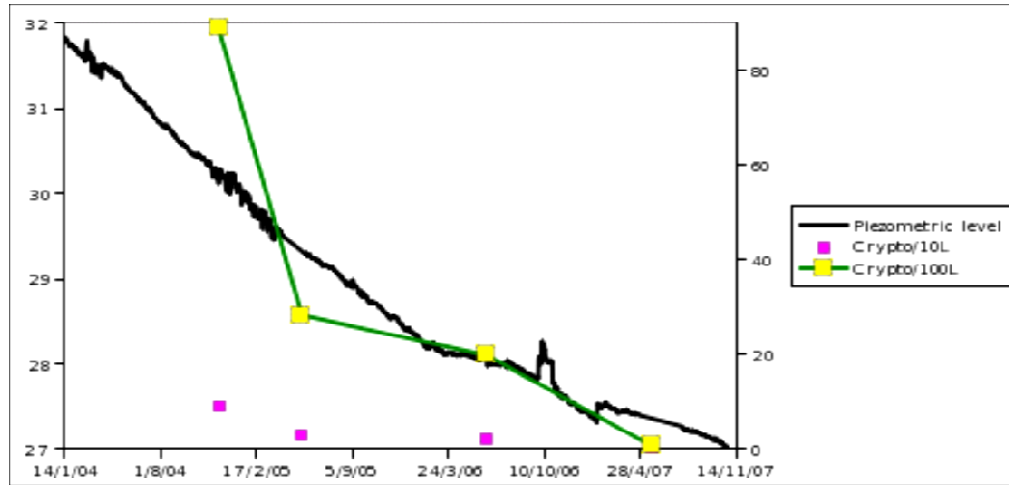
# Pas d'association entre les concentrations d'ocystes de *Cryptosporidium spp.* et les indicateurs bactériens fécaux dans l'aquifère karstique



Pas de véritable corrélation entre les concentrations en oocystes de *Cryptosporidium spp.* et les teneurs en matières en suspension



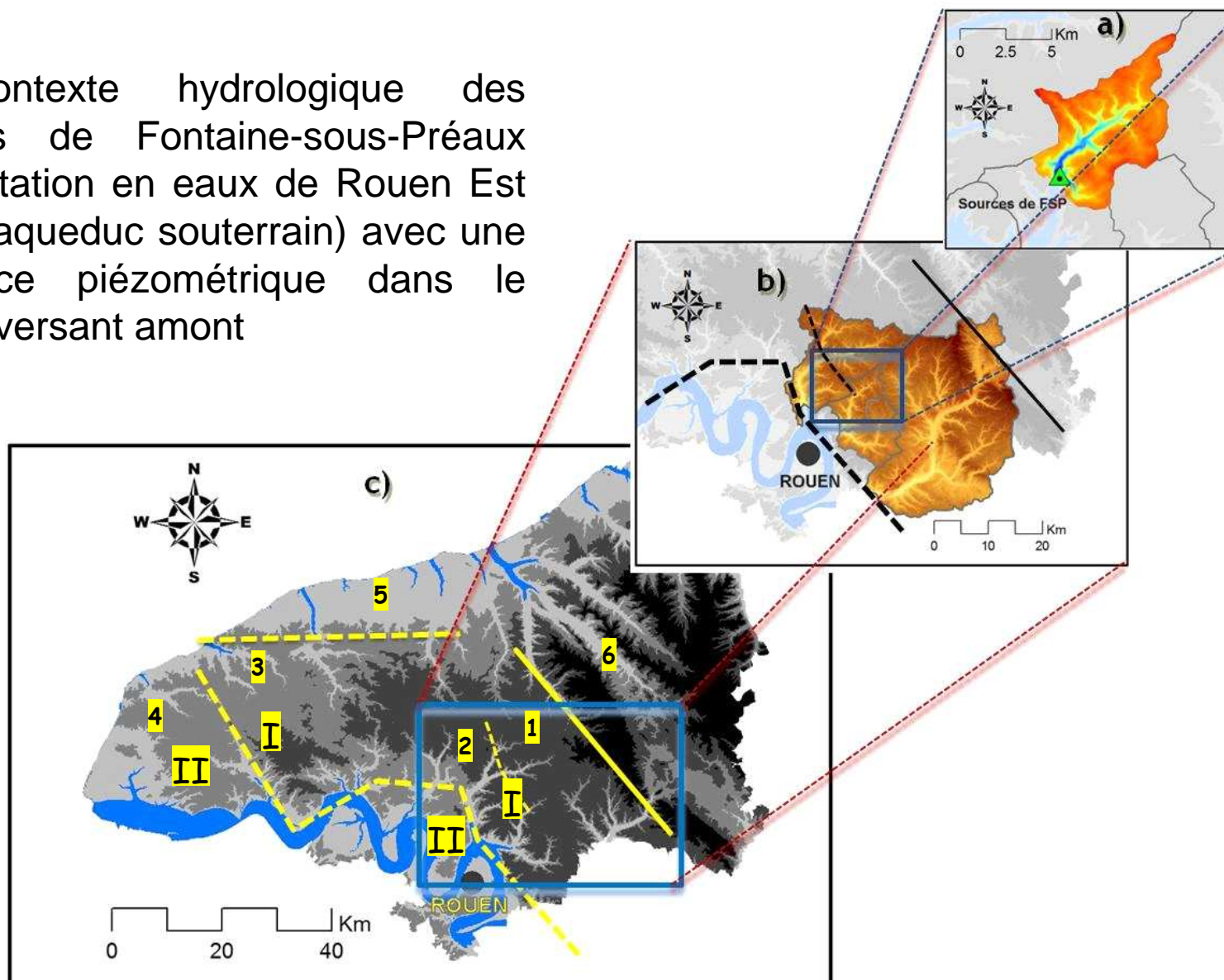
## Une influence à confirmer des paramètres hydrologiques sur la restitution des teneurs en oocystes de *Cryptosporidium spp.*



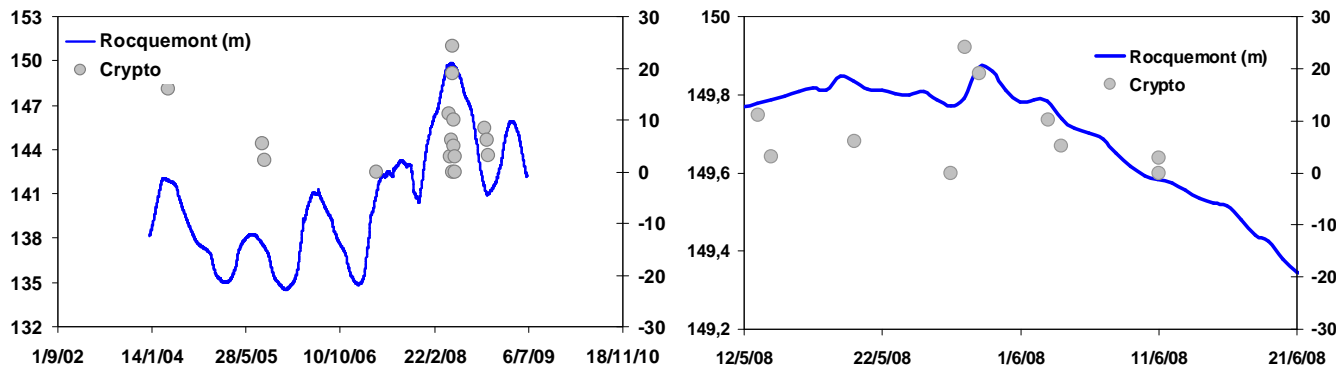
- Pas de véritable corrélation entre les teneurs d'oocystes et les pluies des jours qui précèdent les prélèvements mais,
- Les niveaux des zones saturées en amont (piézométrie) contrôlent les débits dans les conduits karstiques en aval et pourraient influencer sur les taux de restitution d'oocystes de *Cryptosporidium spp*
- Une tendance qui peut être observée lorsque nous disposons d'un échantillonnage réparti en fonction d'une évolution quasi continue des gradients hydrauliques naturels
- Une approche hydrologique à développer

## Les suivis hydrologiques et les dénombrements d'oocystes

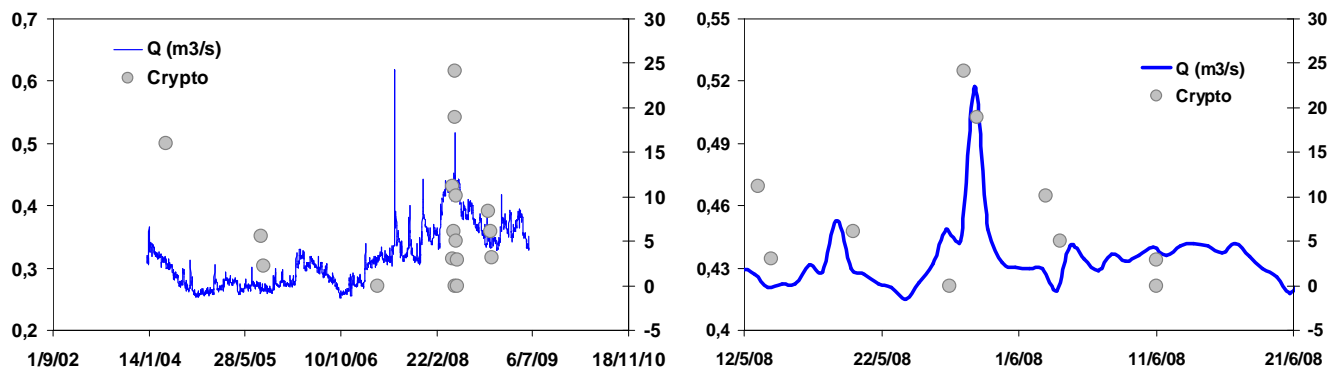
- Le contexte hydrologique des sources de Fontaine-sous-Préaux (alimentation en eaux de Rouen Est via un aqueduc souterrain) avec une référence piézométrique dans le bassin versant amont



# Hydrologie et contamination en *Cryptosporidium spp* dans le bassin versant du Robec

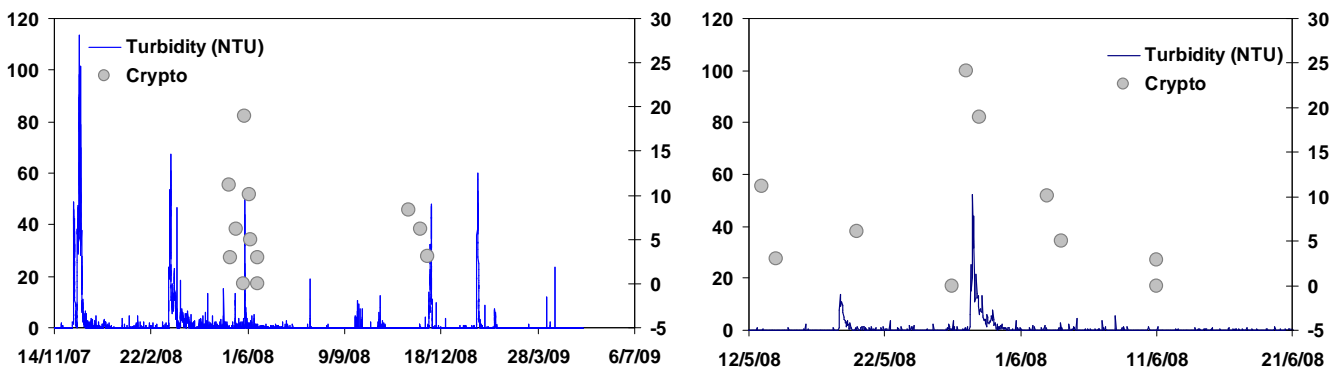


L'influence du gradient hydraulique global (piézométrie de l'aquifère en amont)



L'influence des débits des sources

(chroniques de droite = zoom temporel des chroniques de gauche)

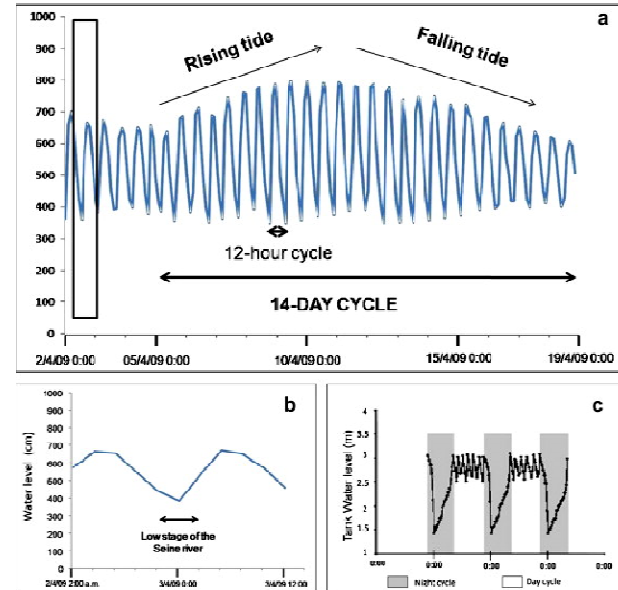
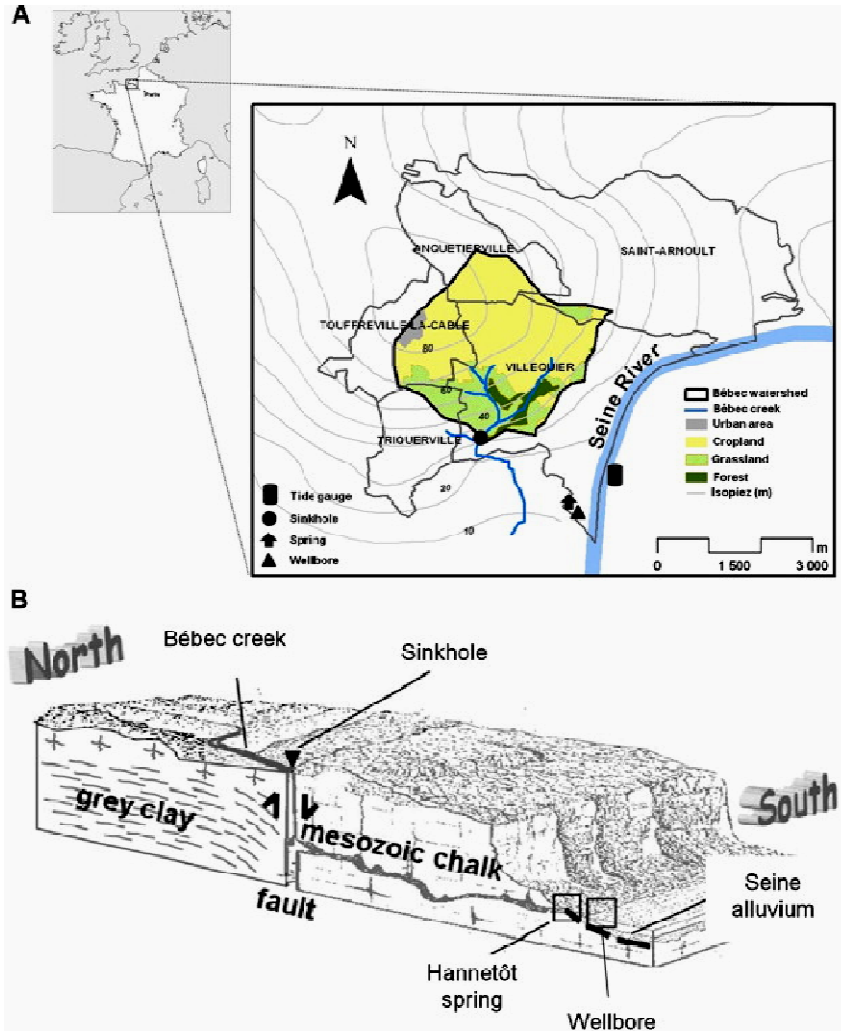


La relation avec la turbidité

# Le contexte du système hydrologique de Norville

- 3 sites de prélèvement : bétuire, source et forage

Le forage est soumis aux forçages des séquences de pompages (avec un pompage prolongé de nuit) et de l'influence tidale de la Seine (a)



- Chaque campagne comporte 4 prélèvements :
  - Perte
  - Source
  - forage (pas de pompage, H Seine max)
  - forage (pompage continu, H Seine min)

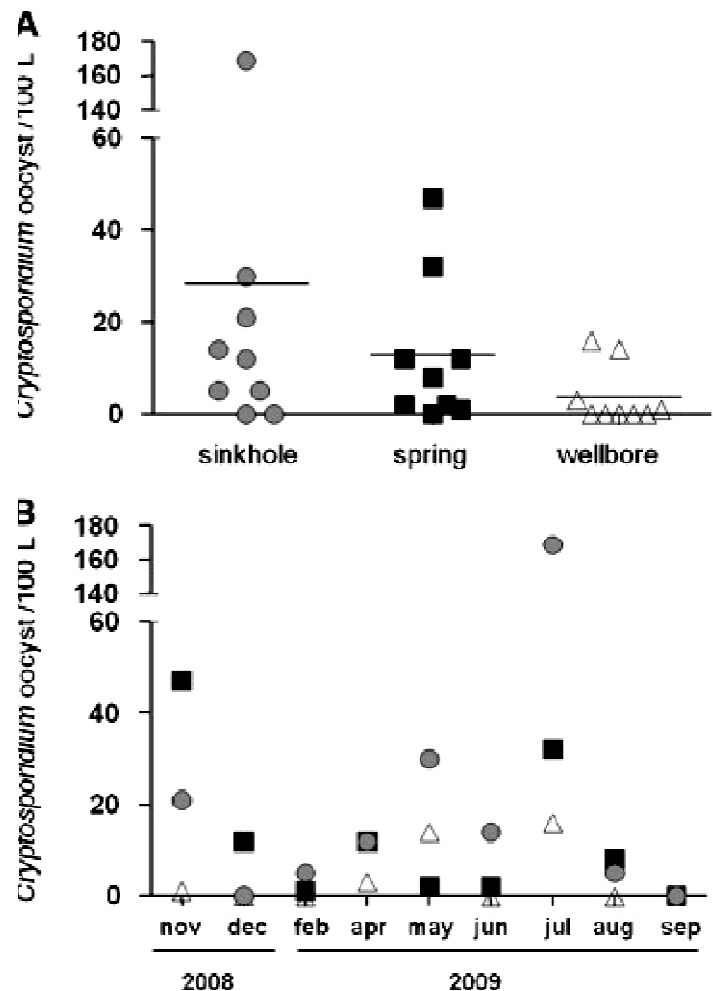
## La contamination du système hydrologique de Norville

Location	Number of samples	Type of water	Turbidity (NTU <sup>a</sup> ) (mean±SEM)	Electrical conductivity (µS.cm <sup>-1</sup> ) (mean±SEM)	SPM <sup>b</sup> (mg.l <sup>-1</sup> )	Positive samples for <i>Cryptosporidium</i>
Swallow hole	9	Surface water	10.0 ± 3.8	283.3 ± 28.5	27.5 ± 20	77%
Spring	9	Groundwater	2.4 ± 1.4	490.7 ± 47.4	9.0 ± 5.3	88%
Well-bore	9	Groundwater	0.5 ± 0.3	504.6 ± 45.7	4.5 ± 4.5	44%
Well-bore during nocturnal continuous pumping	9	Groundwater	0.5 ± 0.2	504.9 ± 45.2	4.5 ± 4.9	100%

<sup>a</sup> NTU : Nephelometric Turbidity Unit

<sup>b</sup> SPM : Suspended Particulate Matter

## Le contexte hydrologique du système hydrologique de Norville



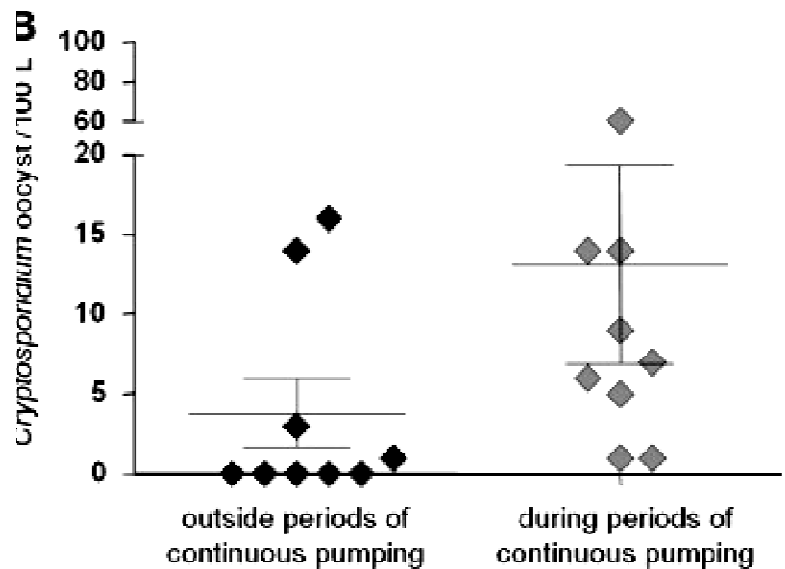
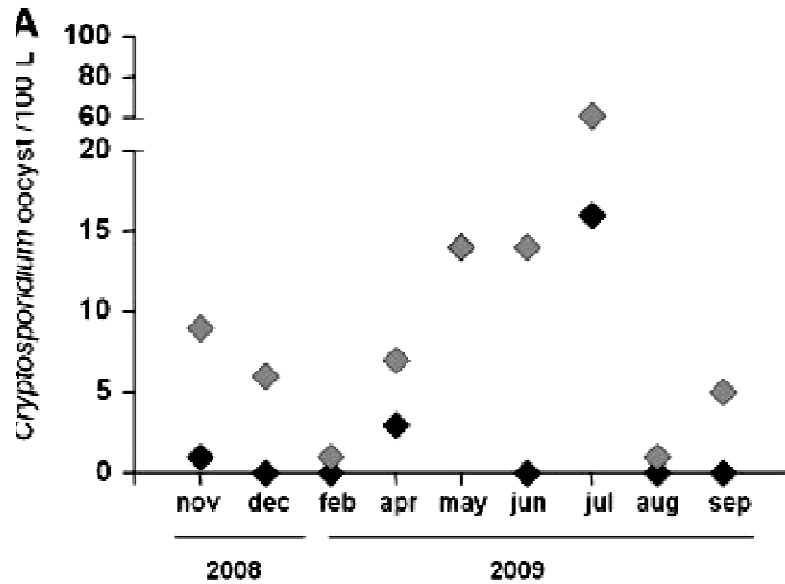
- Conformément aux gradients de minéralisation et de turbidité les restitutions d'oocystes décroissent en moyenne de la bétairie à la source puis au forage (pas de pompage et H Seine max)

- Pas de véritable saisonnalité dans les restitutions (*la présence de bovins près de la perte explique la valeur anormale en juillet*)

S. Khaldia, M. Ratajczak, G. Gargalab, M. Fourniera, T. Berthec, L. Favenneb, J.P. Dupont, 2011.- Intensive exploitation of a karst aquifer leads to *Cryptosporidium* water supply contamination. *Water Research*, Volume 45, Issue 9, April 2011, Pages 2906-2914



# Le contexte hydrologique du système hydrologique de Norville



- Au niveau du forage,
  - les losanges noirs correspondent aux résultats des prélèvements réalisés à marée haute en Seine et en absence de pompage,
  - Les losanges gris correspondent aux résultats des prélèvements réalisés à marée basse en Seine pendant la période de pompage continu de nuit.
- Les forçages hydrauliques liés à l'exploitation et aux gradients naturels sont à l'origine d'une nette augmentation des taux d'oocystes restitués
- En l'absence de pompage, le forage présente de nombreux résultats négatifs
- Les résultats sont toujours positifs lors du forçage hydraulique et peuvent être quantitativement supérieurs à ceux de la source et de la perte.
- Le forçage hydraulique favorise la restitution d'oocystes stockés dans les conduits karstiques

## Conclusions

- Les ressources karstiques de l'aquifère de la craie sont globalement vulnérables à la restitution d'oocystes de *Cryptosporidium spp*, plus ou moins infectieux.
- En réponse aux épisodes pluvieux, la turbidité constitue un indicateur du transport de particules mais ne traduit pas le taux de restitution d'oocystes. Au cours des transports intrakarstiques, les compétitions interspécifiques et le piégeage dans les conduits karstiques sont insuffisants pour juguler un danger sanitaire qui est amplifié par l'impact des exploitations et l'augmentation des gradients hydrauliques naturels de l'aquifère.
- Enfin, pour l'identification des risques parasitaires dans les eaux souterraines, l'échantillonnage aléatoire est peu significatif tandis qu'une stratégie fondée sur une bonne connaissance du fonctionnement hydrologique de l'aquifère étudié permet de quantifier les paramètres du transport des oocystes et de prévoir les conditions d'occurrence d'un danger sanitaire.

