



Plateforme
CONDAT*E*au

Observatoire
des Sciences de l'Univers
de Rennes

L'analyse des gaz dissous : de la datation des eaux souterraines à la compréhension des hydro-bio-géo-systèmes.

Virginie VERGNAUD, Thierry LABASQUE, Luc AQUILINA

SOMMAIRE

Notre équipe de Recherche

Datation des eaux souterraines

- CFC-SF6

- paléohydrogéologie

Physique des écoulements : modélisation

Traçages

Réactivité – lien avec la biologie

Conclusion



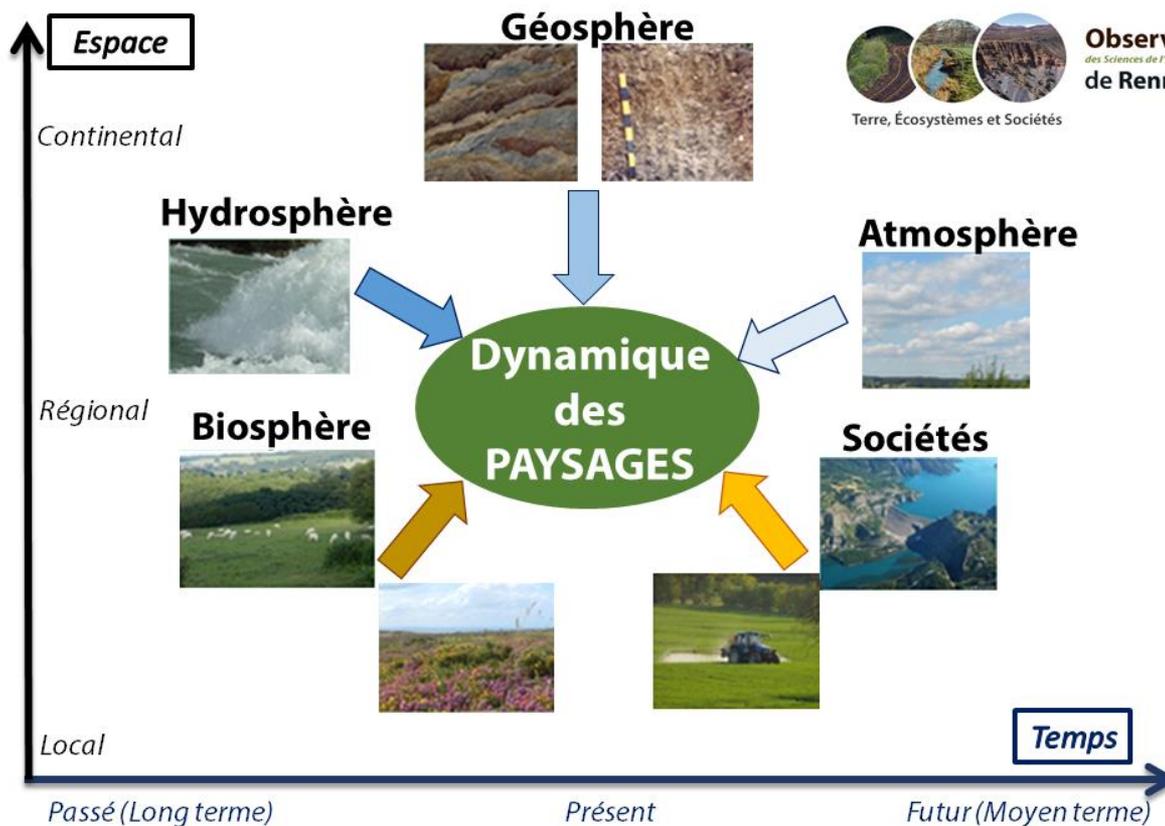
Terre, Écosystèmes et Sociétés

Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes



Observatoire
des Sciences de l'Univers
de Rennes

Terre, Écosystèmes et Sociétés



Bref historique de la datation des eaux à Rennes

2003-2005 : premiers travaux sur les gaz dissous CFC
projet région Bretagne en coll. BRGM

2007-2010 : LADES – Laboratoire
de datation des eaux souterraines
(Jeune Entreprise Universitaire)
Valorisation des travaux de thèse

LAGADI / Géosciences Rennes :
Développements de l'analyse de
nouveaux traceurs : SF₆, Ne, Ar....
Développement des collaborations
de recherche

2011 – Mise en place de la plateforme **Condate Eau** – OSUR

Collaborations scientifiques ET prestations
R&D sur les gaz (MIMS, He)



Plateforme
CONDATeEau

Observatoire
des Sciences de l'Univers
de Rennes

CONDATe Eau



Luc AQUILINA
**Responsable
Scientifique**

Virginie VERGNAUD

**Animation et
Gestion**



Thierry LABASQUE
**Responsable
Technique et R&D**

**Prestations de services
et collaborations**



Thèse de E. Chatton

Virginie VERGNAUD



**Développement
GC-MS**

Aurélie GUILLOU

**Développement
MIMS**

IR en cours de
recrutement
Camille BOUCHEZ



**Analyses,
logistique**

Virginie VERGNAUD
Aurélie GUILLOU

Equipements d'analyse des gaz dissous

Chromatographes (CG et GC/MS)(3), MIMs (2),
Analyseurs Radon (2), 3 μ Chromatographes
Laboratoire mobile

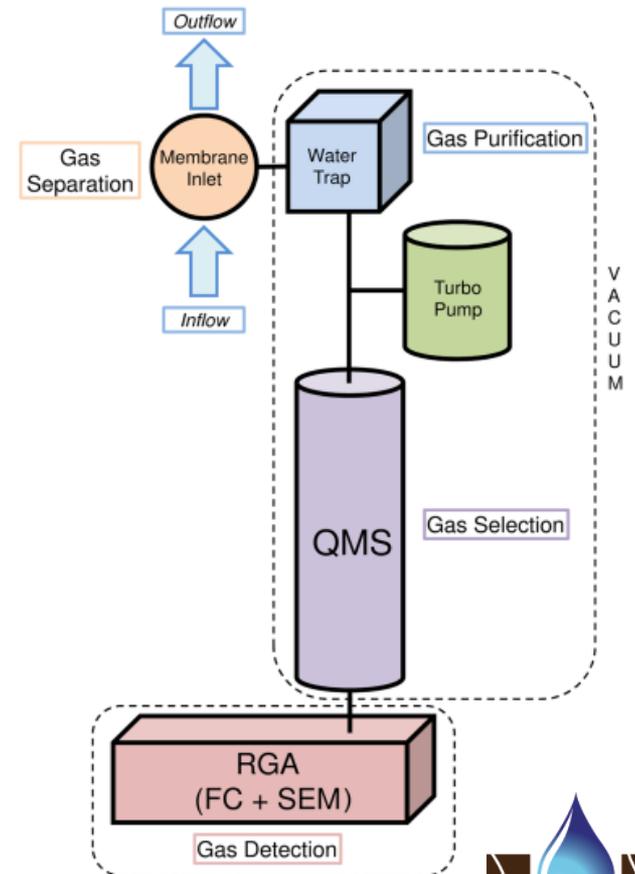


Equipements d'analyse des gaz dissous

Chromatographes (CG et GC/MS)(3), MIMs (2),
Analyseurs Radon (2), 3 μ Chromatographes
Laboratoire mobile



Membrane Inlet Mass Spectrometer



Chatton et al., E.S.&T.,
2016



DES COLLABORATIONS MULTIPLES



Collaborations nationales : Universités, BRGM, INRA, IRSTEA, IRSN...
Collaborations internationales (Canada, Allemagne, Chili, Inde, Israël, Colombie...)

HYDROGEOLOGIE – HYDROLOGIE – BIOLOGIE – OCEANOGRAPHIE - CHIMIE



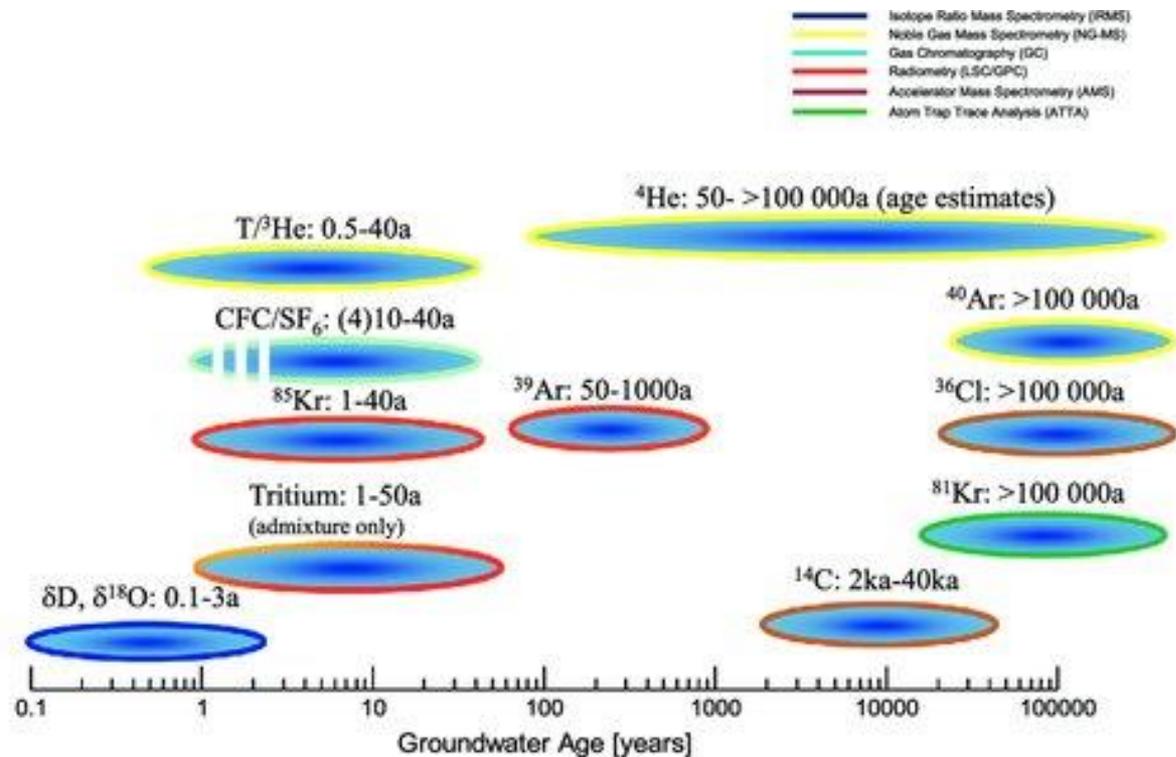
1-Temps de résidence des eaux

Préoccupation récente (de même que l'hydrochimie !)

Premières études de « datation des eaux souterraines »

- 1953 → tritium

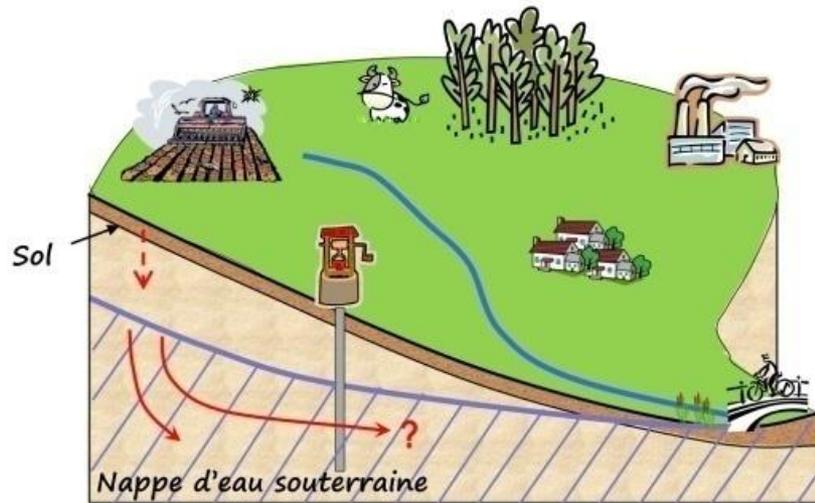
- 1957 → ^{14}C



A. Suckow, 2014

1-Temps de résidence des eaux

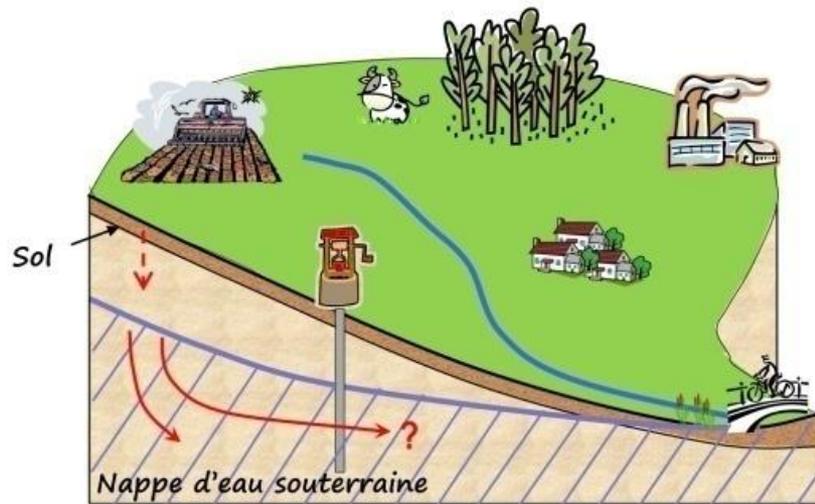
L'âge de l'eau souterraine (ou son temps de résidence) correspond donc à **la durée que l'eau a mis de son point d'infiltration jusqu'au point où elle est prélevée** (captage, forage, puits, source ou rivière)



Un des concepts hydrogéologiques le plus simple à comprendre par les acteurs de terrain, élus, financeurs

1-Temps de résidence des eaux

L'âge de l'eau souterraine (ou son temps de résidence) correspond donc à **la durée que l'eau a mis de son point d'infiltration jusqu'au point où elle est prélevée** (captage, forage, puits, source ou rivière)



Un des concepts hydrogéologiques le plus simple à comprendre par les acteurs de terrain, élus, financeurs

Age \neq Temps de résidence

Mais souvent confondus Age = TR à l'exutoire uniquement

\neq Temps de réaction

Age de l'eau \neq Age des solutés

1-Temps de résidence des eaux

(<70 ans)
(CFCs, SF₆, Rn)

(100 à 15000 ans)
He, Xe, Kr, Ne, Ar

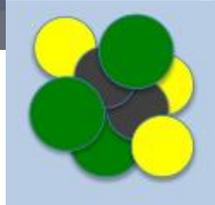
1-Temps de résidence des eaux

(<70 ans)

(CFCs, SF₆, Rn)

CFC-11 —

Trichlorofluoromethane



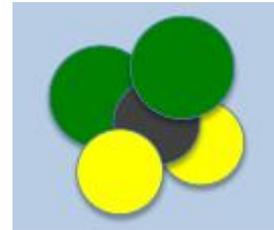
CFC-113

trichlorotrifluoroéthane

(100 à 15000 ans)

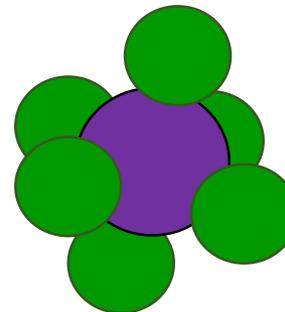
He, Xe, Kr, Ne, Ar

CFC-12 - *dichlorodifluoromethane*



SF₆

Hexafluorure de soufre



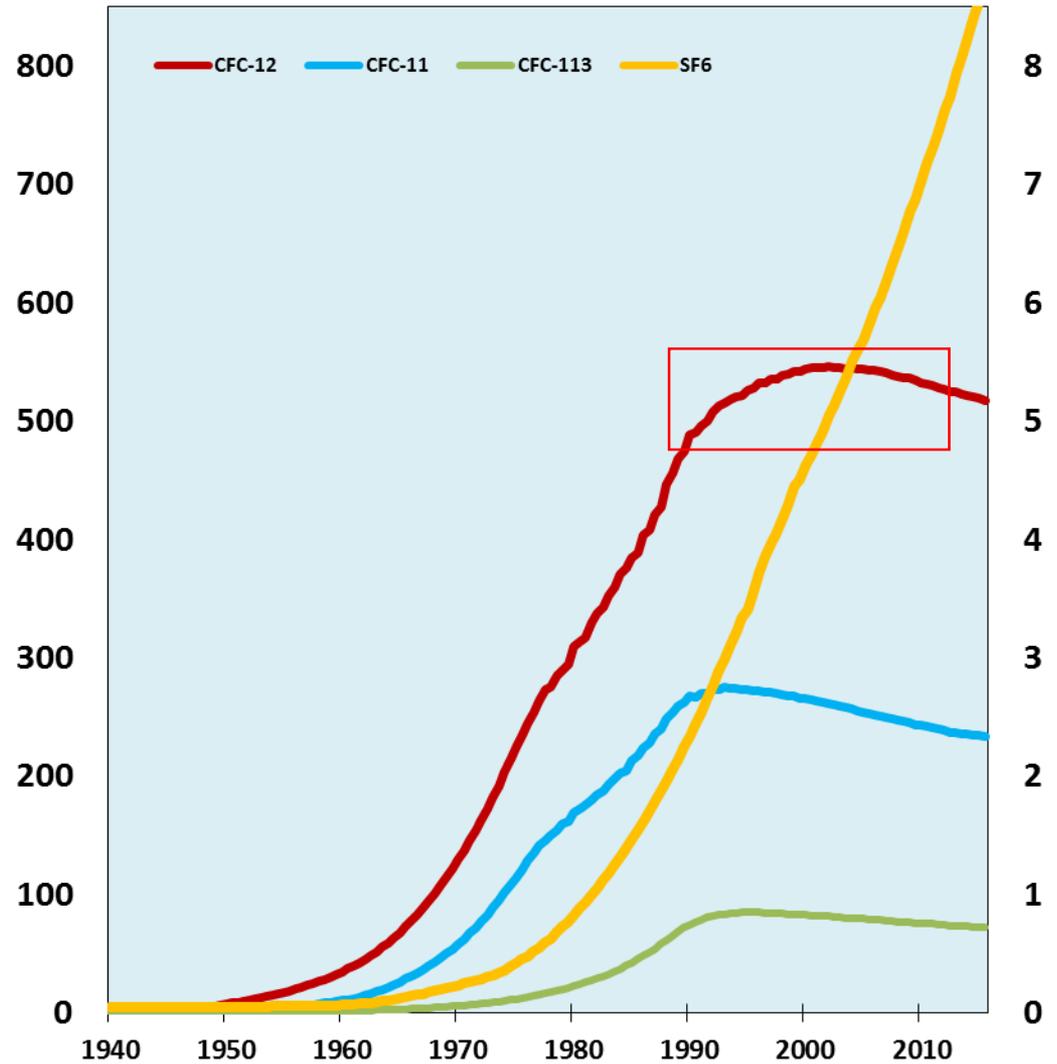
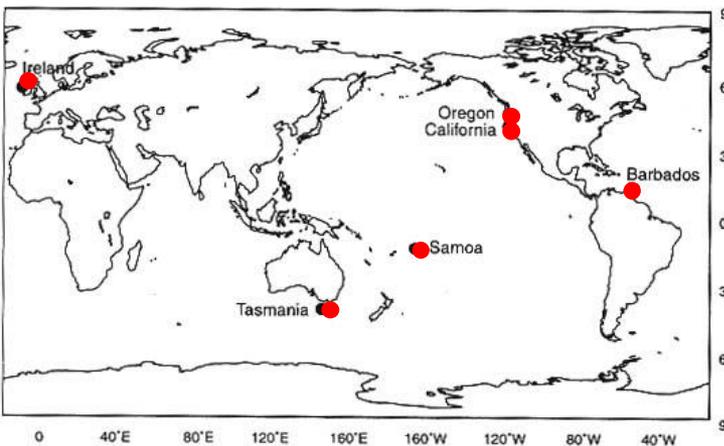
1-Temps de résidence des eaux

(<70 ans)
(CFCs, SF₆)

(100 à 15000 ans)



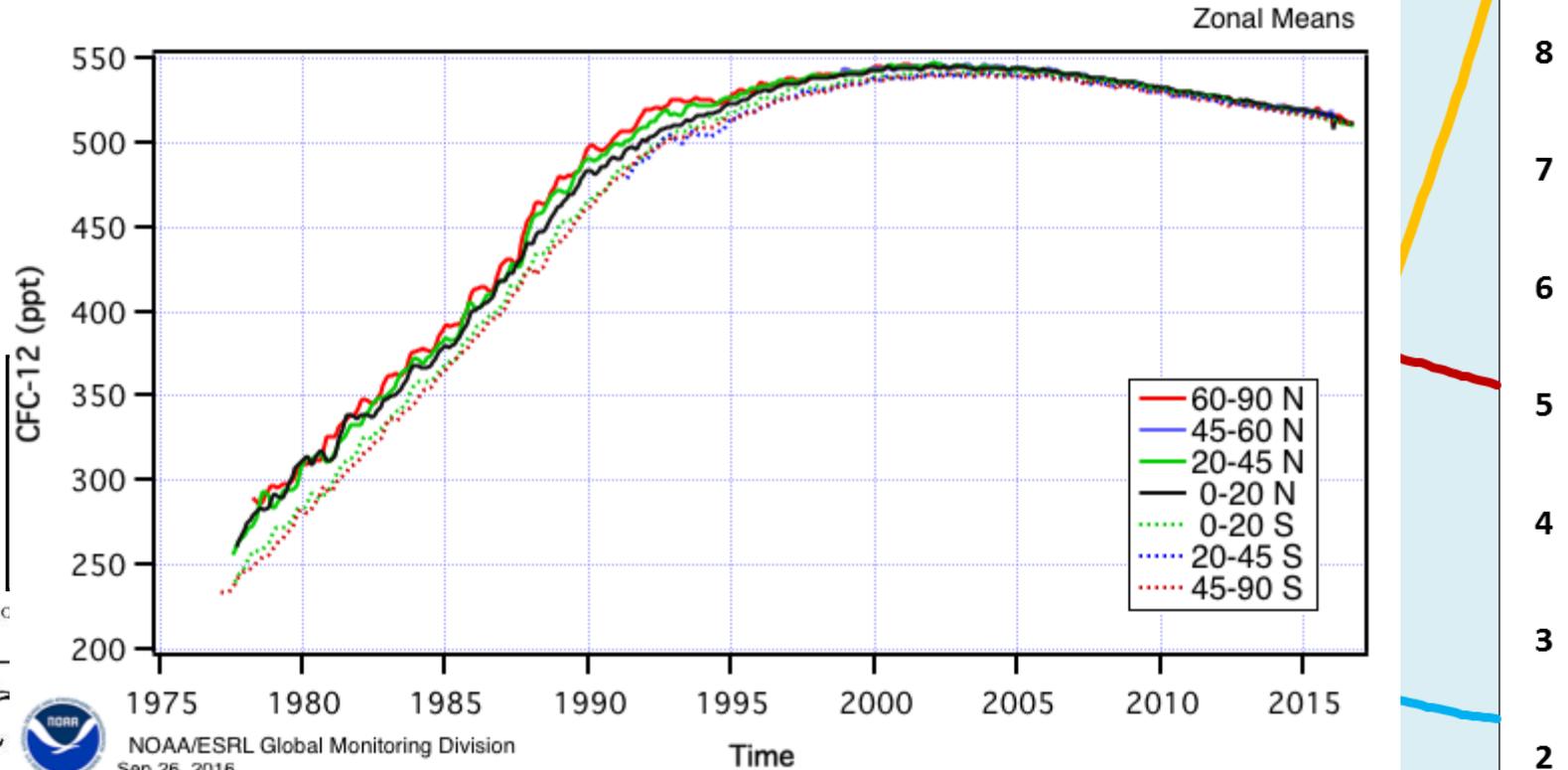
PRINN ET AL.: A HISTORY OF CHEMICALLY AND RADIATIVELY IMPORTANT GASES



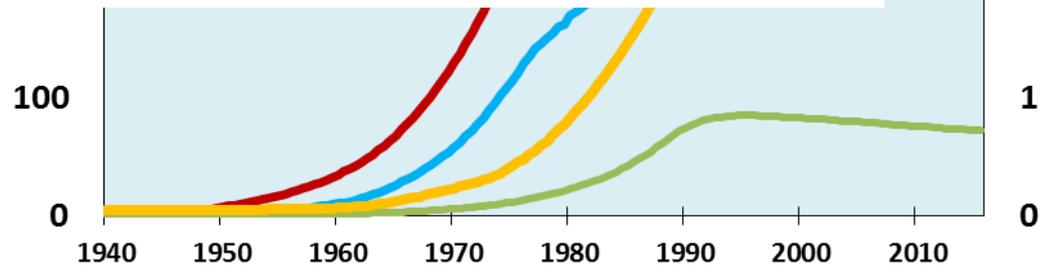
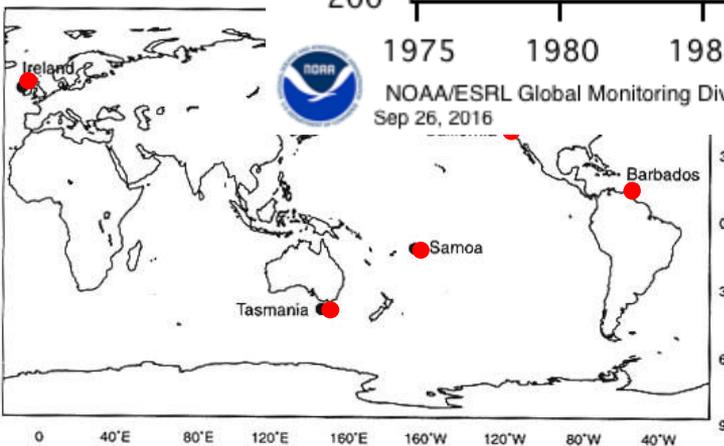
1-Temps de résidence des eaux

(<70 ans)

(100 à 15000 ans)

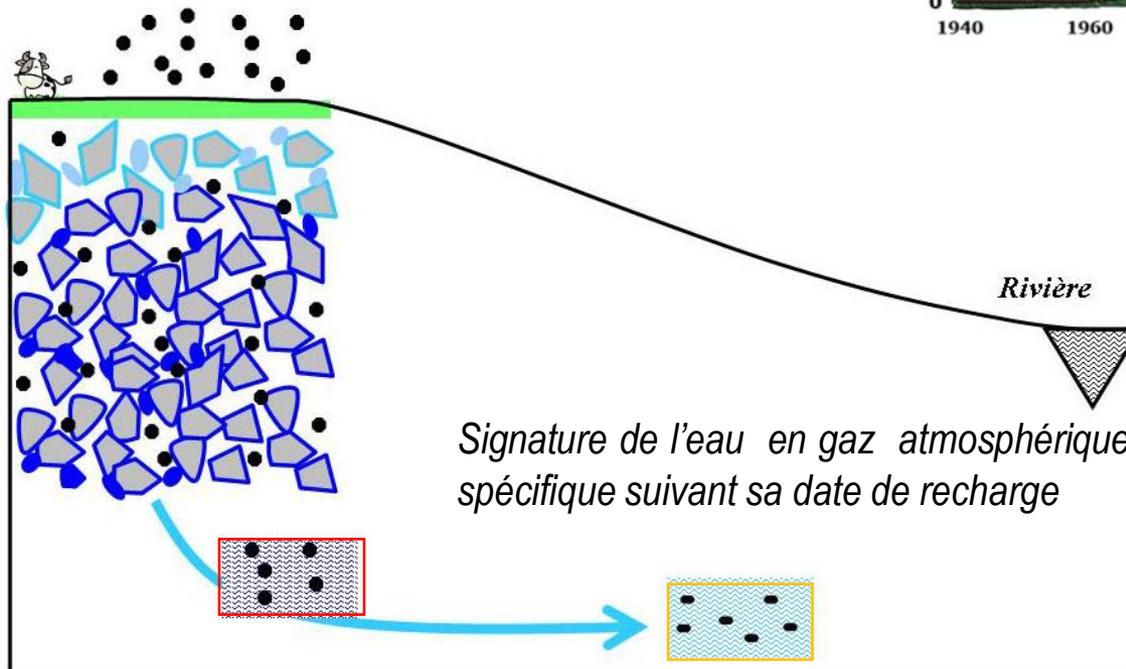
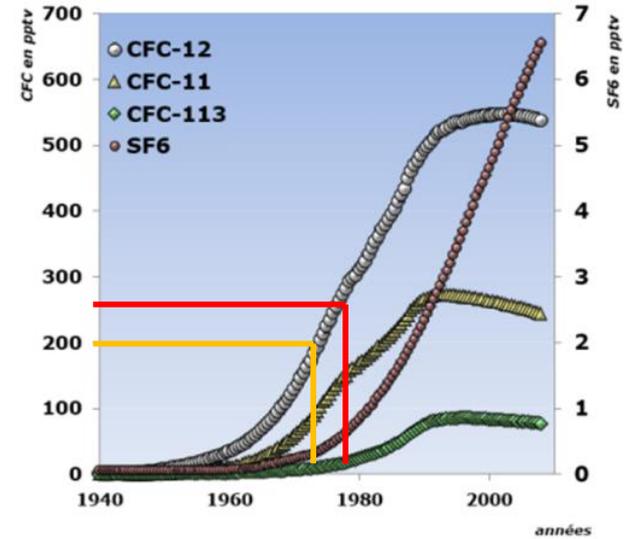


PRINN ET AL.: A HISTORY C



1-Temps de résidence des eaux

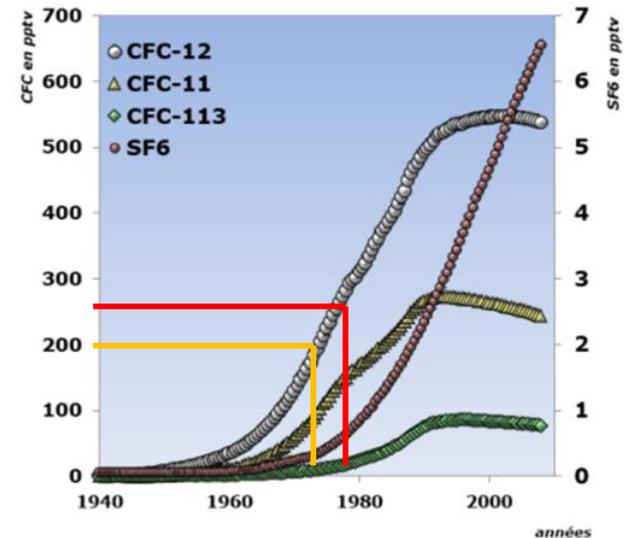
(<70 ans)
(CFCs, SF₆, Rn)



Signature de l'eau en gaz atmosphériques est différente et spécifique suivant sa date de recharge

1-Temps de résidence des eaux

(<70 ans)
(CFCs, SF₆, Rn)



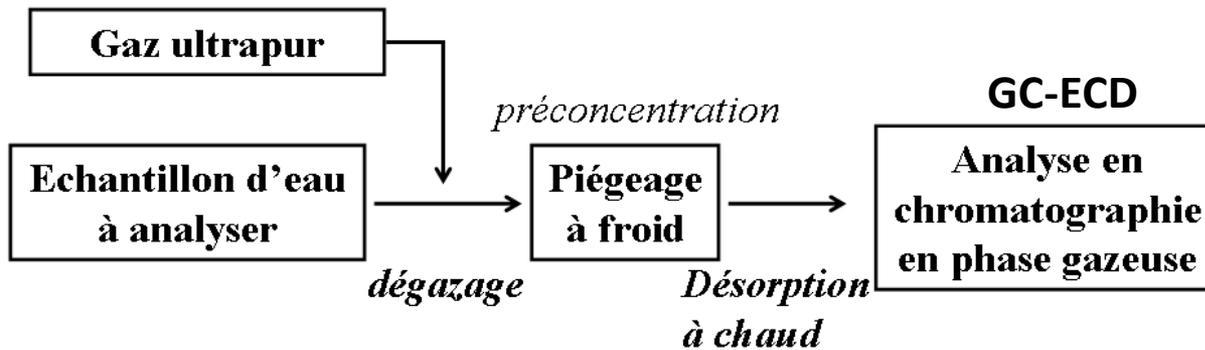
*Datation basée sur un principe assez simple :
mais analyse plus ardue*

Dans l'air
pptv: Partie par trillion (10^{-12})

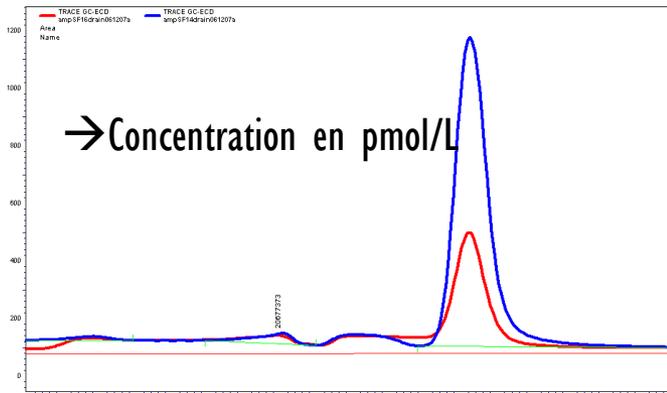
Dans l'eau : pmol/L (CFCs)
fmol/L (SF6)

1-Temps de résidence des e

(<70 ans)
(CFCs, SF₆, Rn)



Labasque et al, 2006
Ayraud V. 2005 (thèse)

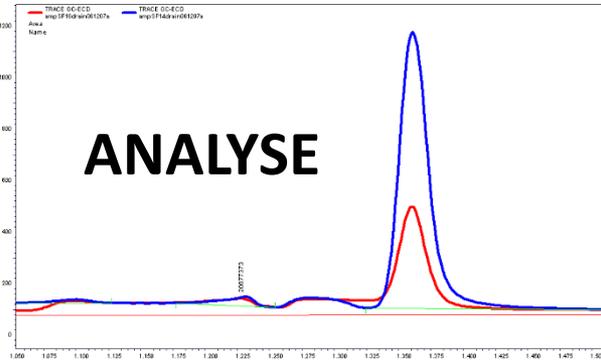


1-Temps de résidence des eaux

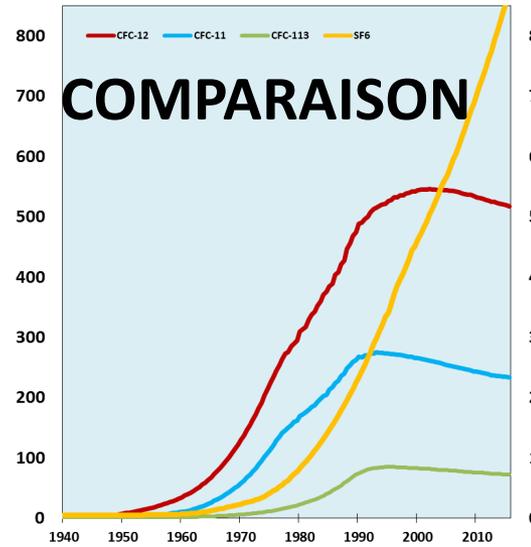
(<70 ans)
(CFCs, SF₆, Rn)

(100 à 15000 ans)
He, Xe, Kr, Ne, Ar

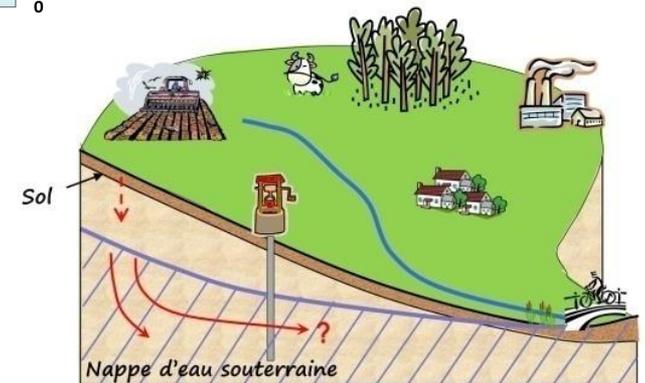
ANALYSE



f (T, P)



INTERPRETATION

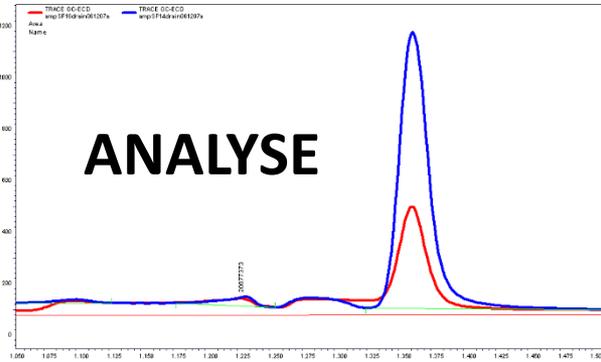


1-Temps de résidence des eaux

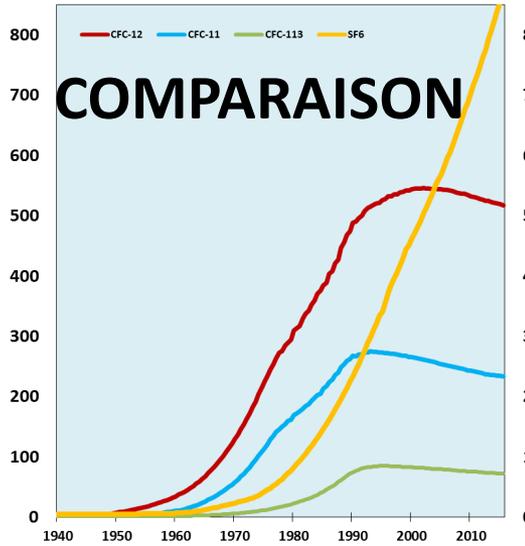
(<70 ans)
(CFCs, SF₆, Rn)

(100 à 15000 ans)
He, Xe, Kr, Ne, Ar

ANALYSE



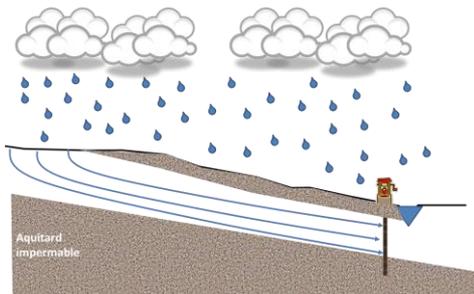
$f(T, P)$



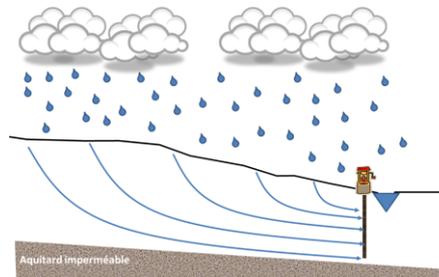
INTERPRETATION

LPM

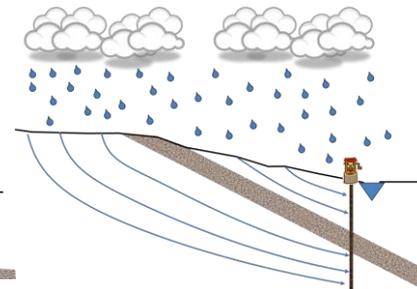
Piston



Exponentiel



Mélange binaire



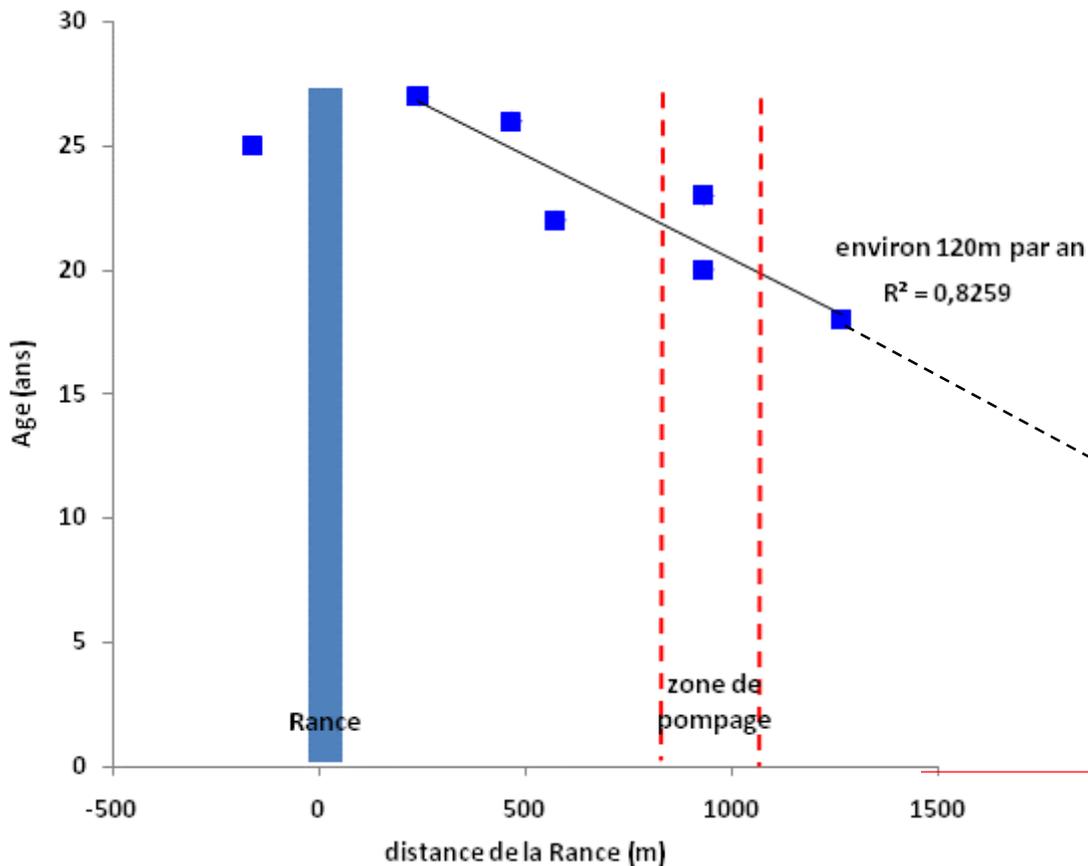
1-Temps de résidence des eaux

(<70 ans)
(CFCs, SF₆, Rn)

(100 à 15000 ans)
He, Xe, Kr, Ne, Ar

Des exemples

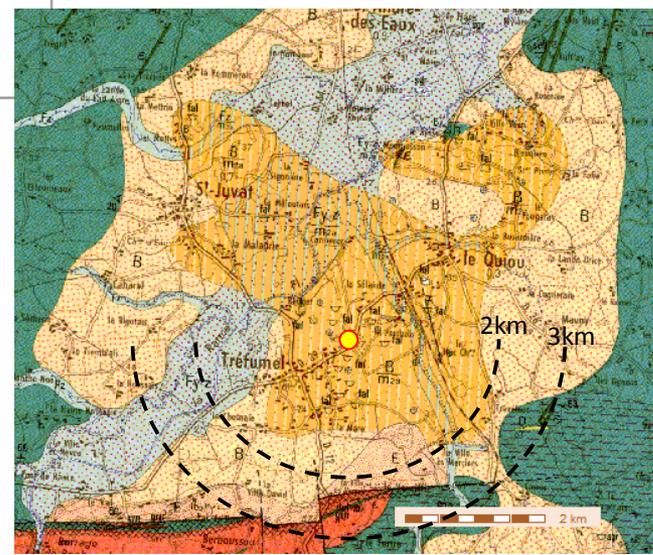
1. Temps de résidence des eaux



Zone de recharge de la nappe ?

?

Entre 2 et 3 km en amont
(correspond à une discordance géologique et une rupture de topographie)

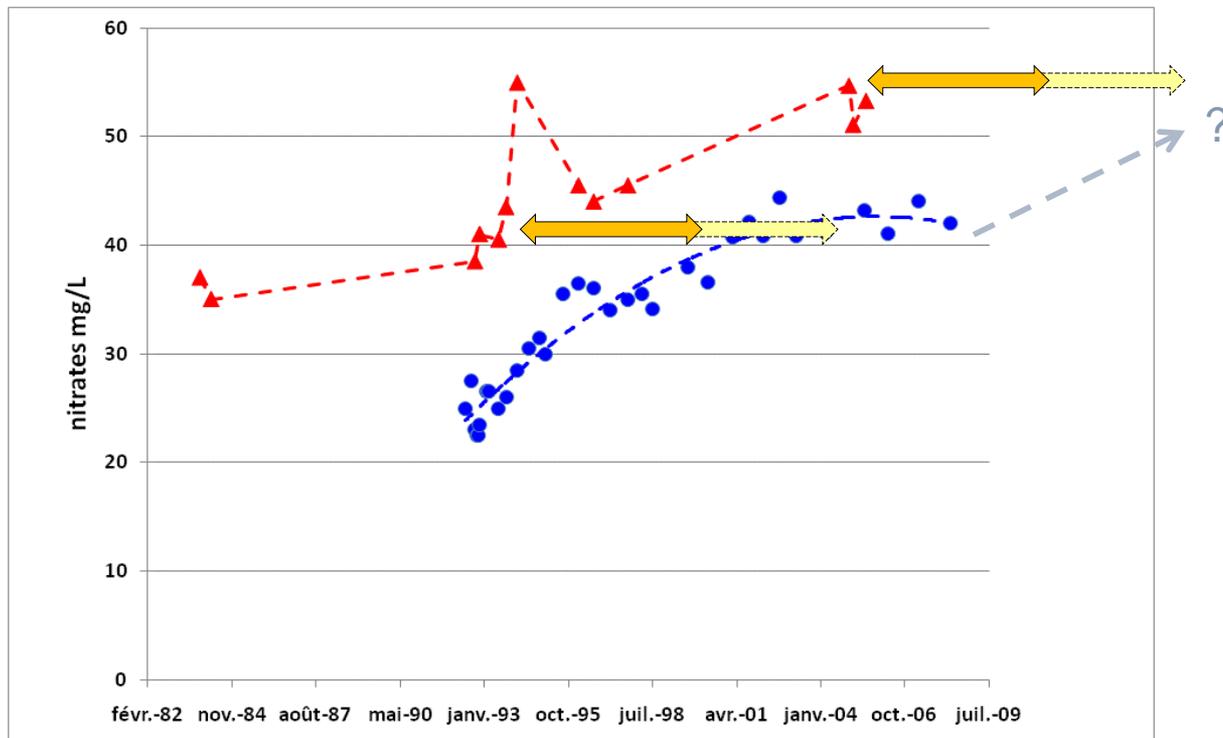
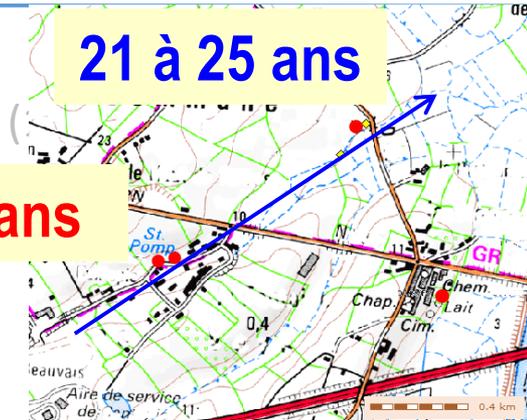


1-Temps de résidence des eaux

(<70 ans)
(CFCs, SF₆, Rn)

21 à 25 ans

15-18 ans

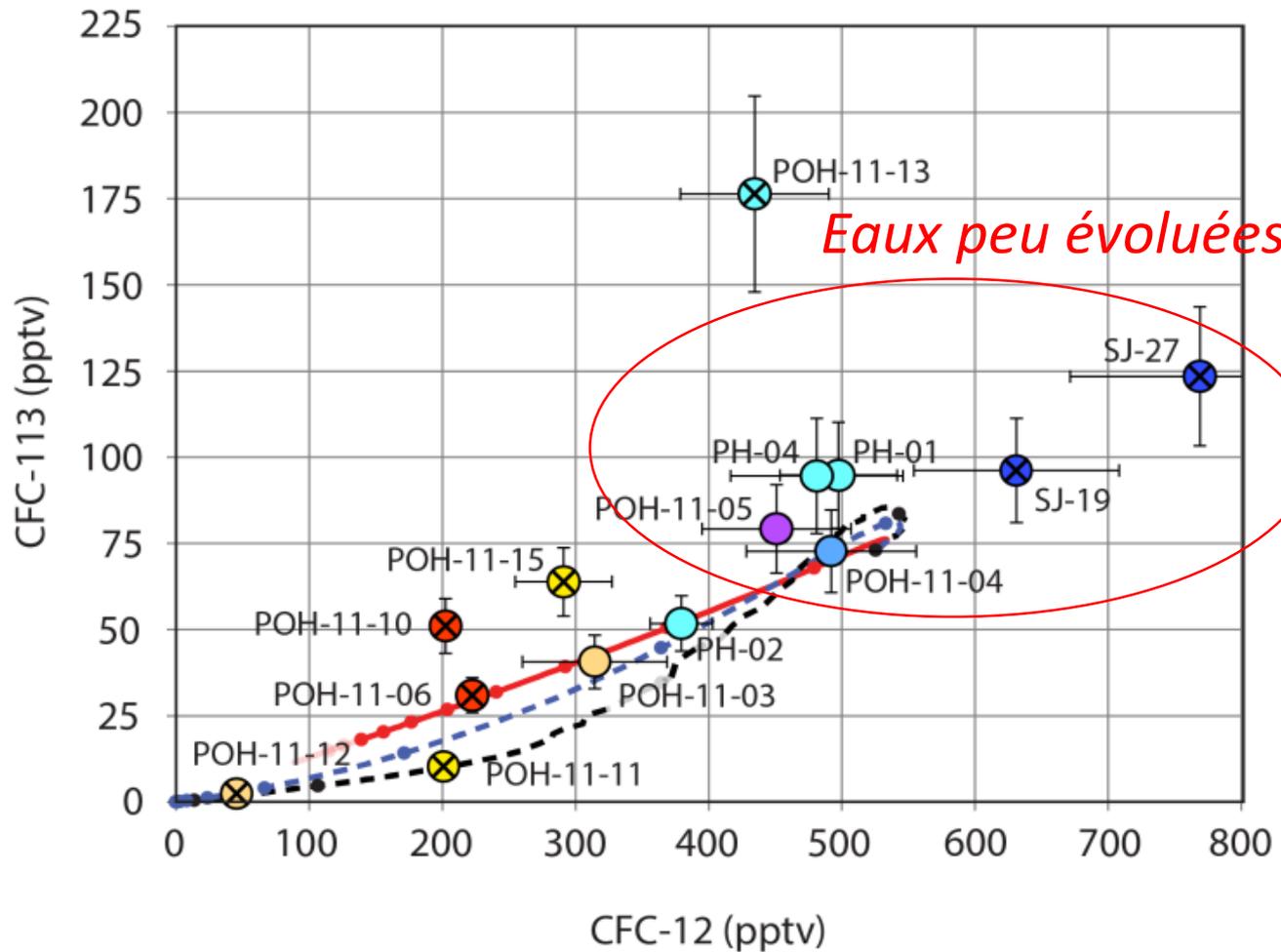


1-Temps de résidence des eaux

Haldimand, Gaspé

M. Peel, 2014

(<70 ans)
(CFCs, SF₆, Rn)

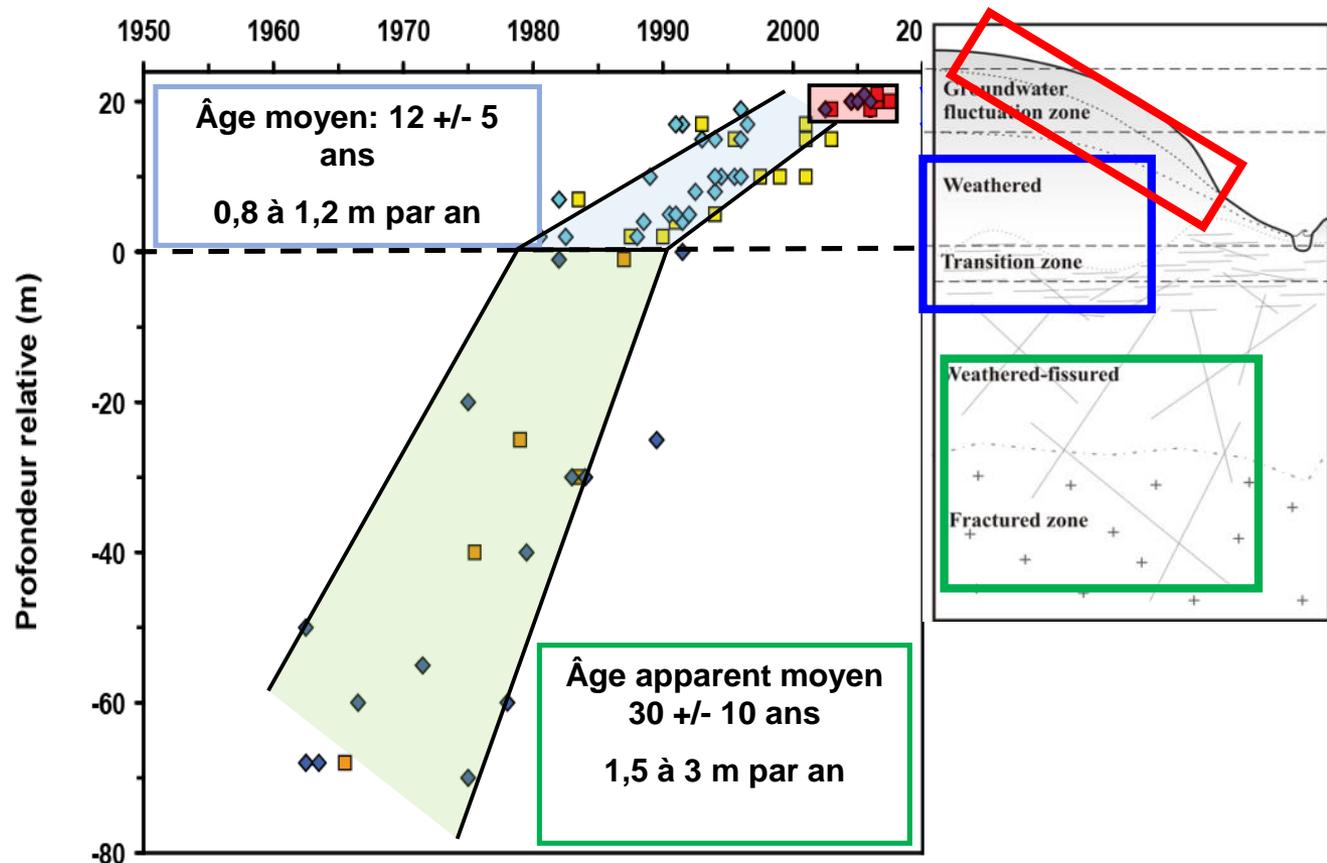


1-Temps de résidence des eaux

(<70 ans)
(CFCs, SF₆, Rn)

(100 à 15000 ans)
He, Xe, Kr, Ne, Ar

Étude régionale

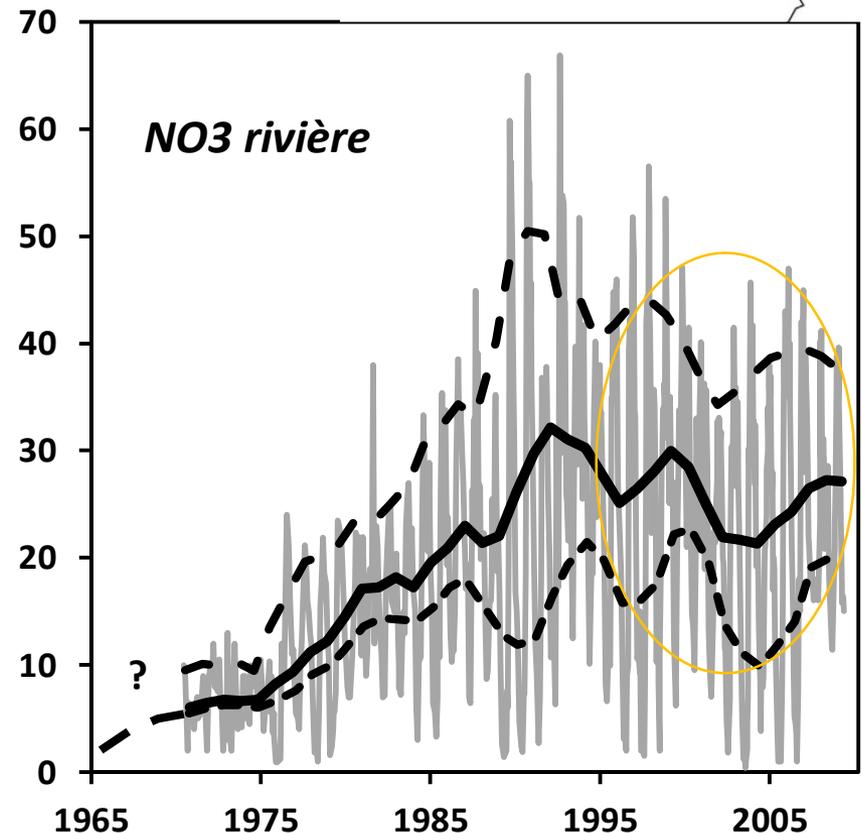
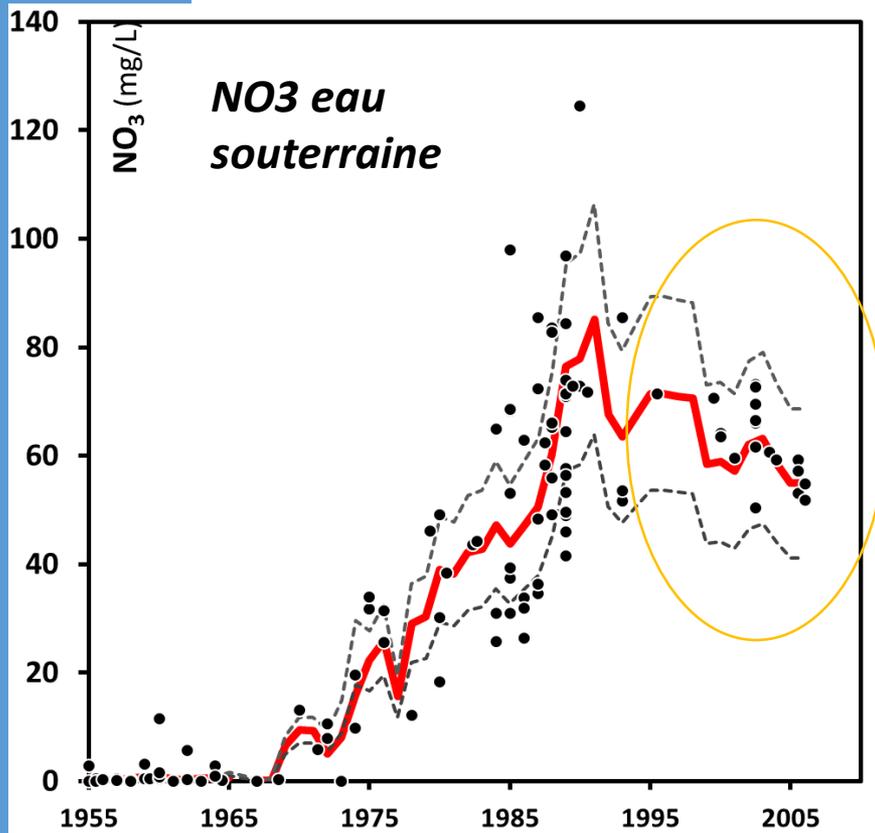
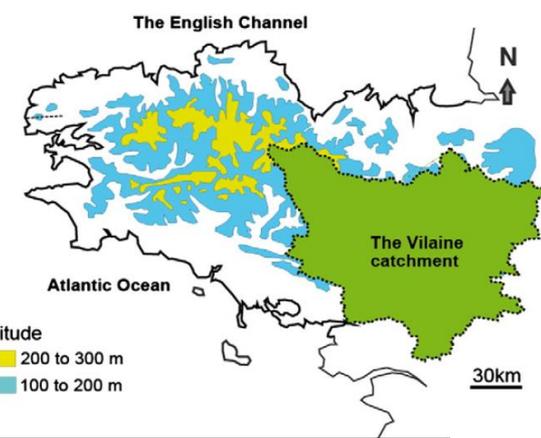


Ayraud et al., 2006 App. Geoch.

1-Temps de résidence des eaux

(<70 ans)
(CFCs, SF₆, Rn)

(10
He,

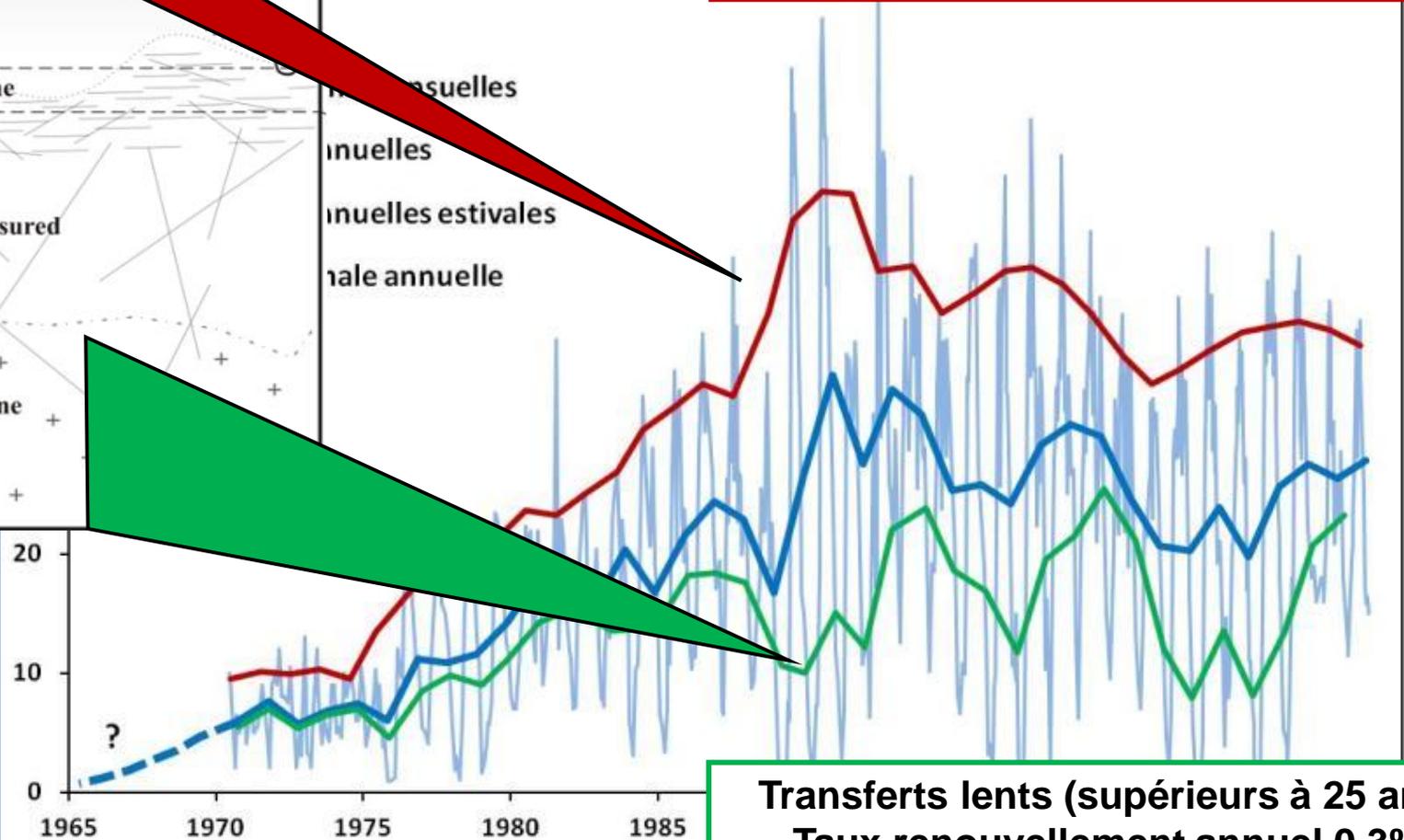
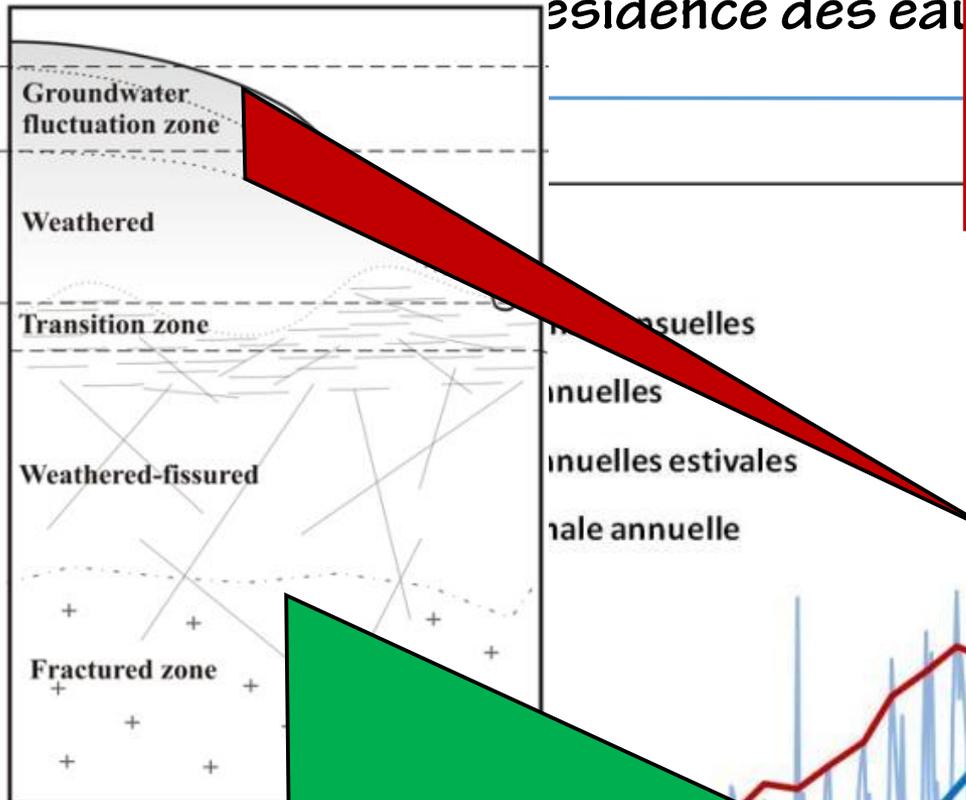


Évolution des [NO₃] dans la recharge (déduite de la datation)

Évolution des [NO₃] dans la Vilaine (données AELB)

Résidence des eaux

Transferts rapides (inférieurs à 5 ans)
 Taux renouvellement annuel 0 – 30%
 60 – 65% Hautes eaux
 20 – 25% Basses eaux



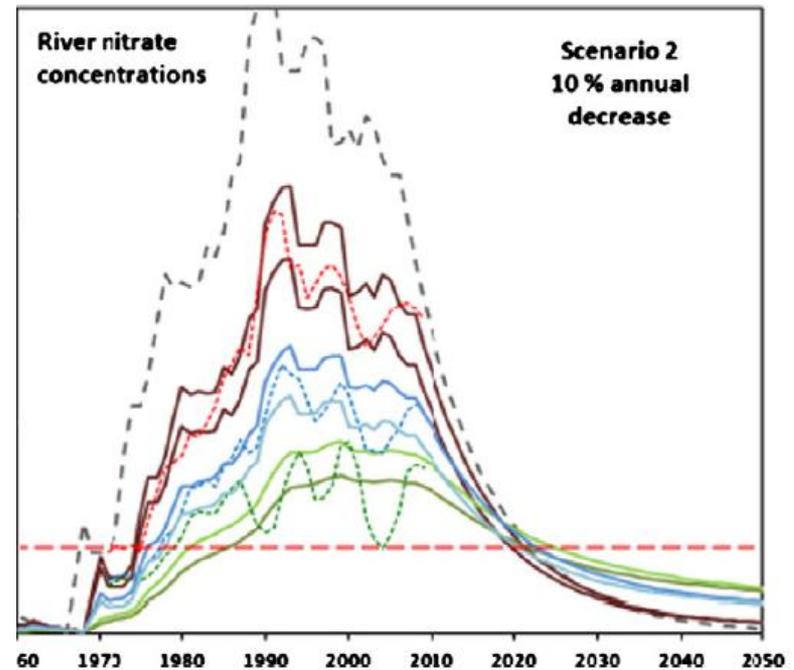
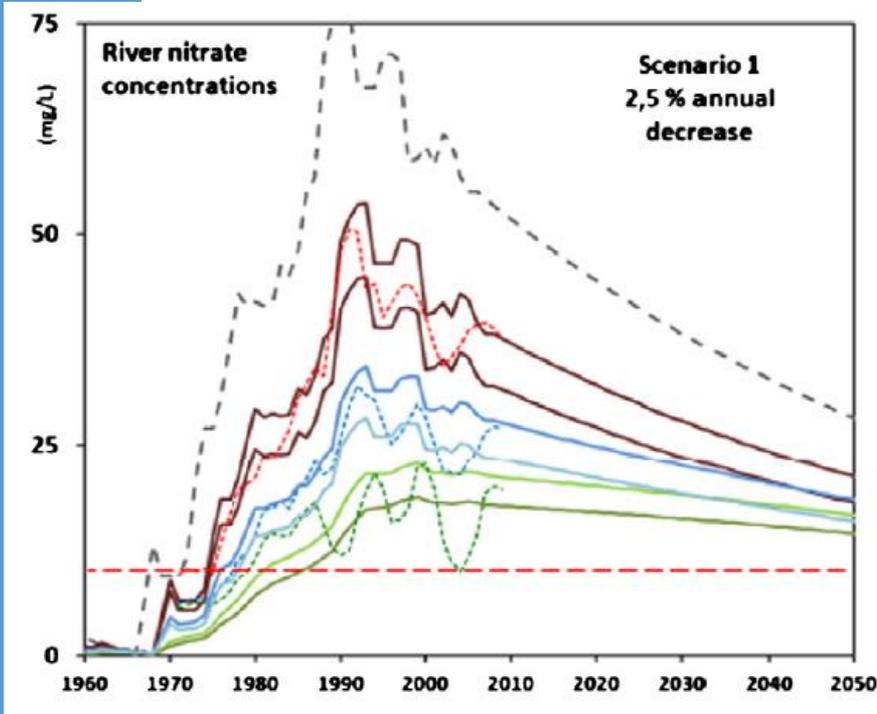
Transferts lents (supérieurs à 25 ans)
 Taux renouvellement annuel 0,3%
 25 – 45% Hautes eaux
 30 – 60% Basses eaux

Aquilina et al, 2013 STOTEN

1-Temps de résidence des eaux

(<70 ans)
(CFCs, SF₆, Rn)

(100 à 15000 ans)
He, Xe, Kr, Ne, Ar



Aquilina et al. , 2013

**Scénarii d'évolution de la concentration en nitrates des rivières
en fonction de la baisse des concentrations dans la recharge**

1-Temps de résidence des eaux

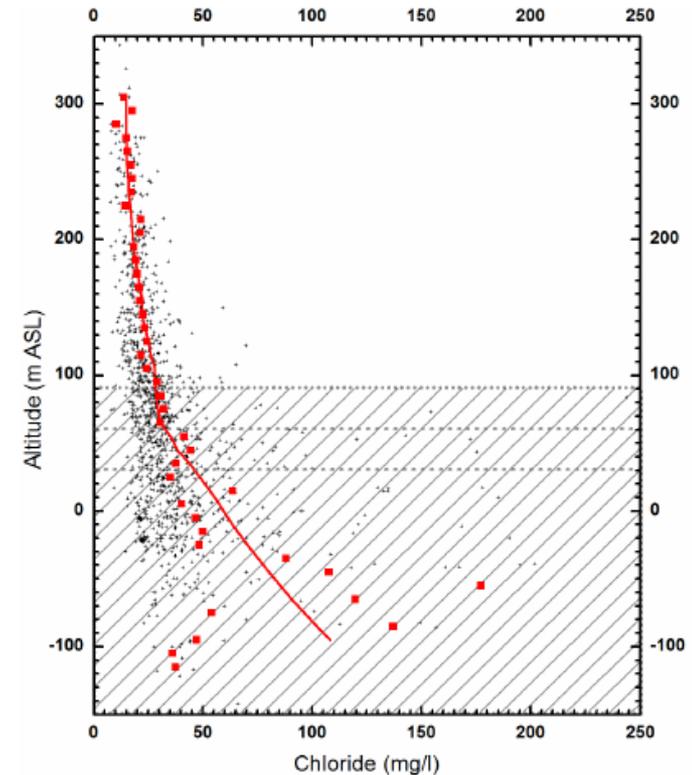
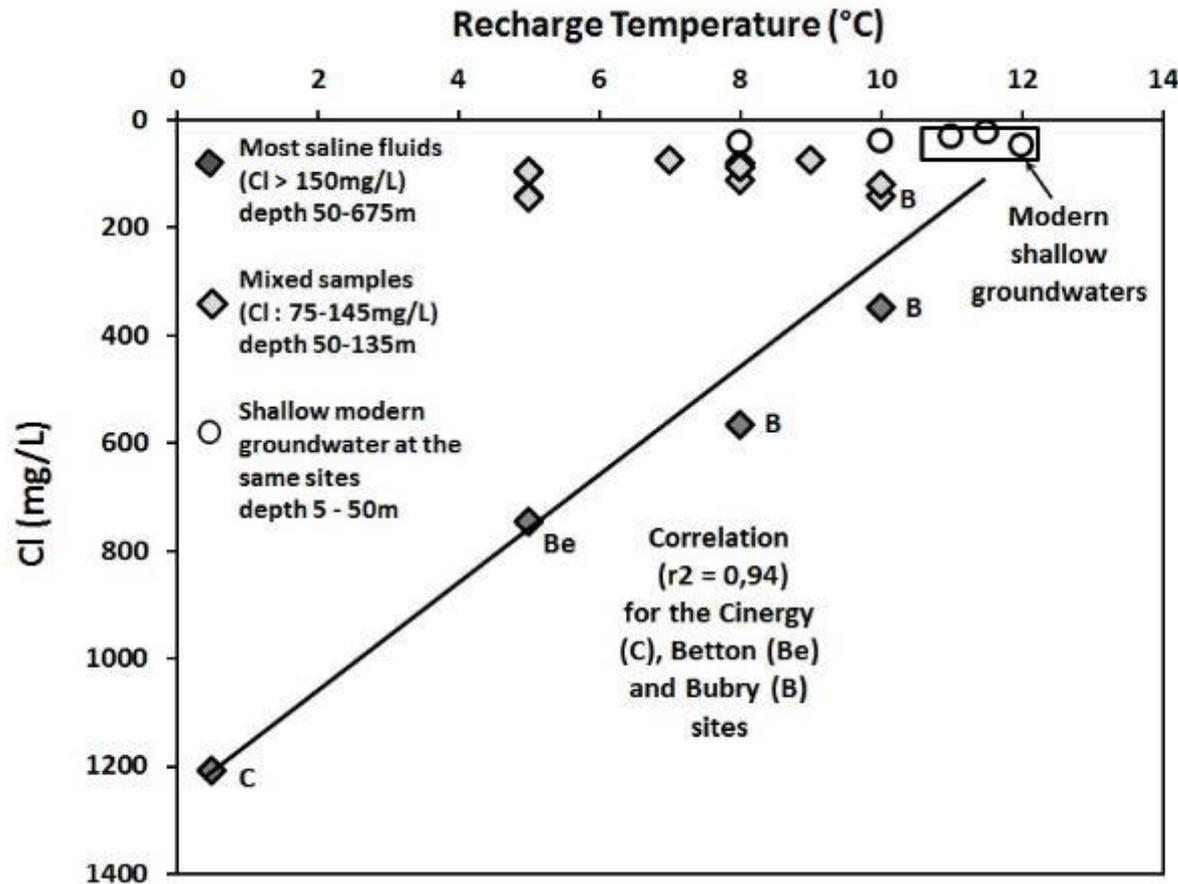
(100 à 15000 ans)

He, Xe, Kr, Ne, Ar

PALEOHYDROGEOLOGIE

1-Temps de résidence des eaux

(100 à 15000 ans)
He, Xe, Kr, Ne, Ar

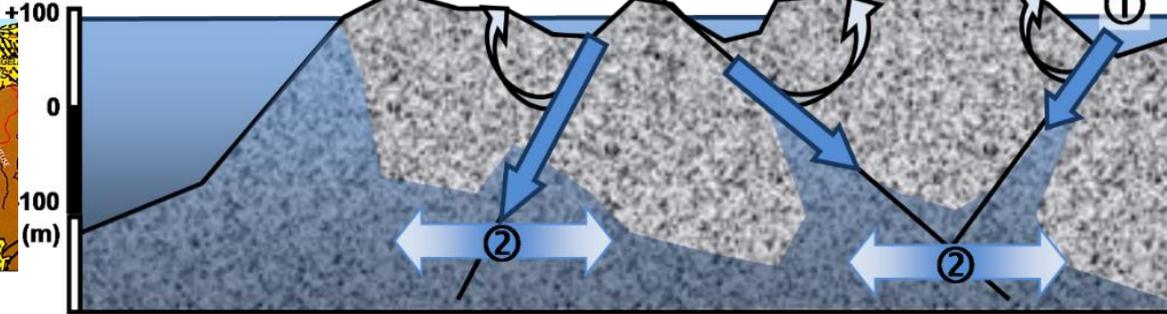


Aquilina et al, 2015 Nature Scientific Reports

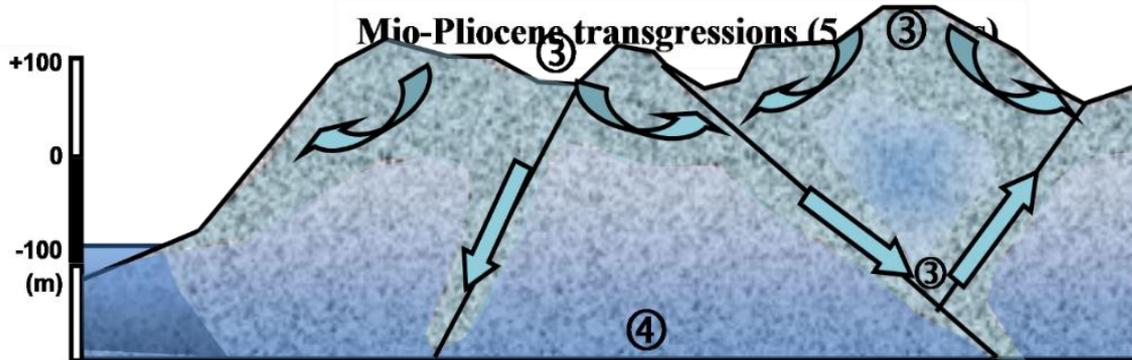
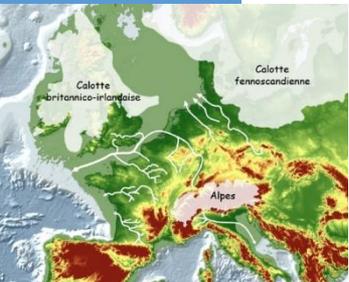
1-Temps de résidence des eaux

Aquilina et al, 2015 Nature Scientific Reports

Mixing with and expulsion of fresh groundwater

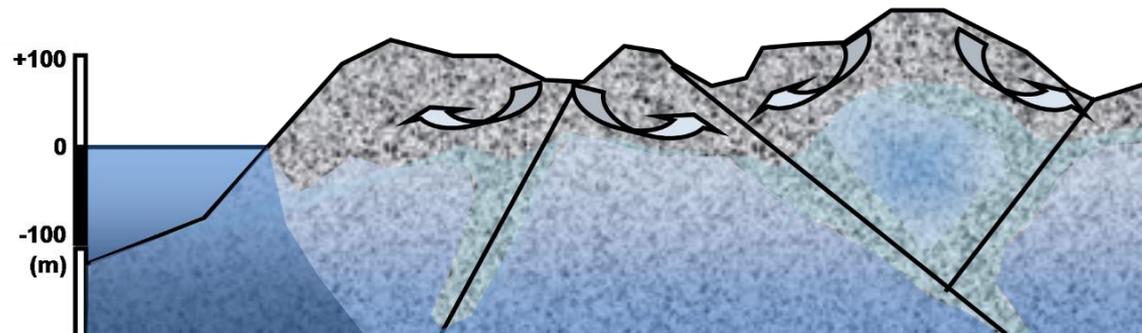


Seawater introduction (1) through density effect
Salt diffusion (2)



Glacial meteoric water circulation (3)
Local dilution of the marine salt signature (4)

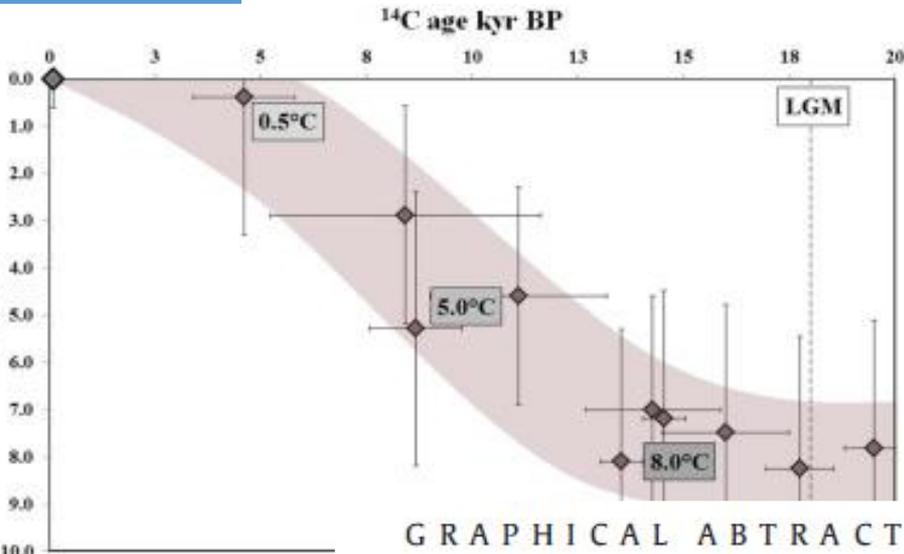
Deglaciation period (18-17 kyrs)



Meteoric water circulation at depth of less than 30-50 m below the mean Brittany altitude

Modern period

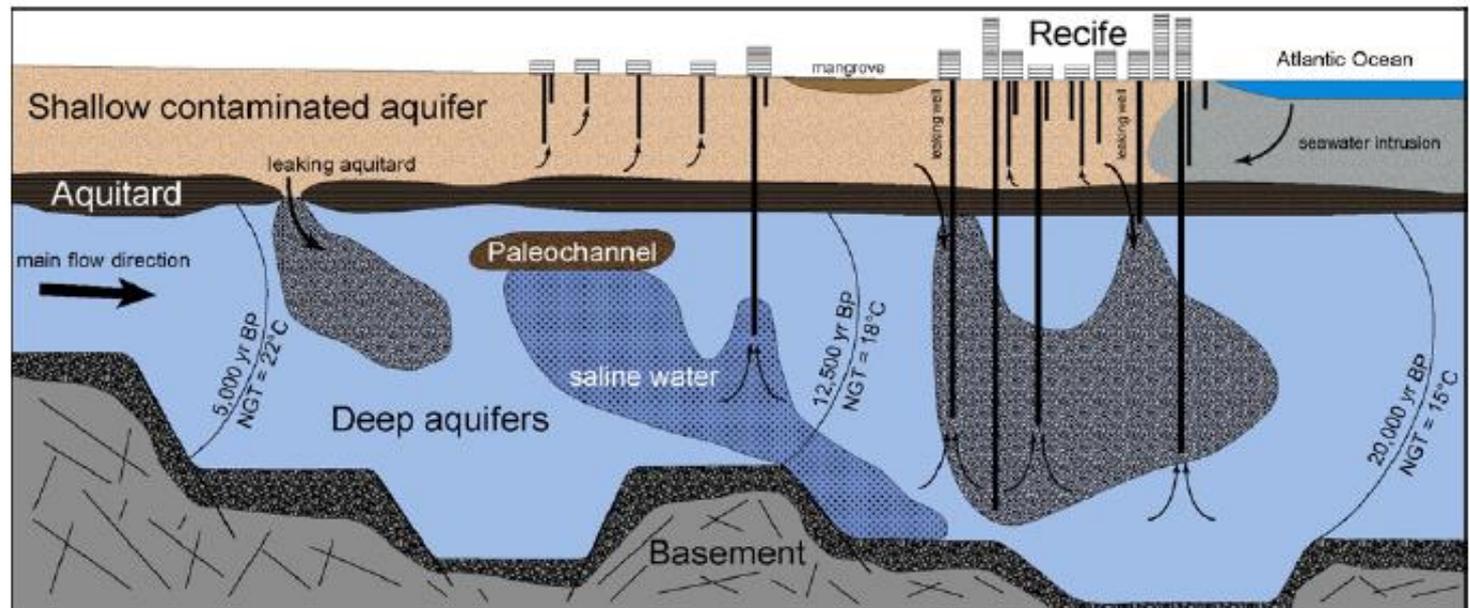
1-Temps de résidence des eaux



(100 à 15000 ans)
He, Xe, Kr, Ne, Ar

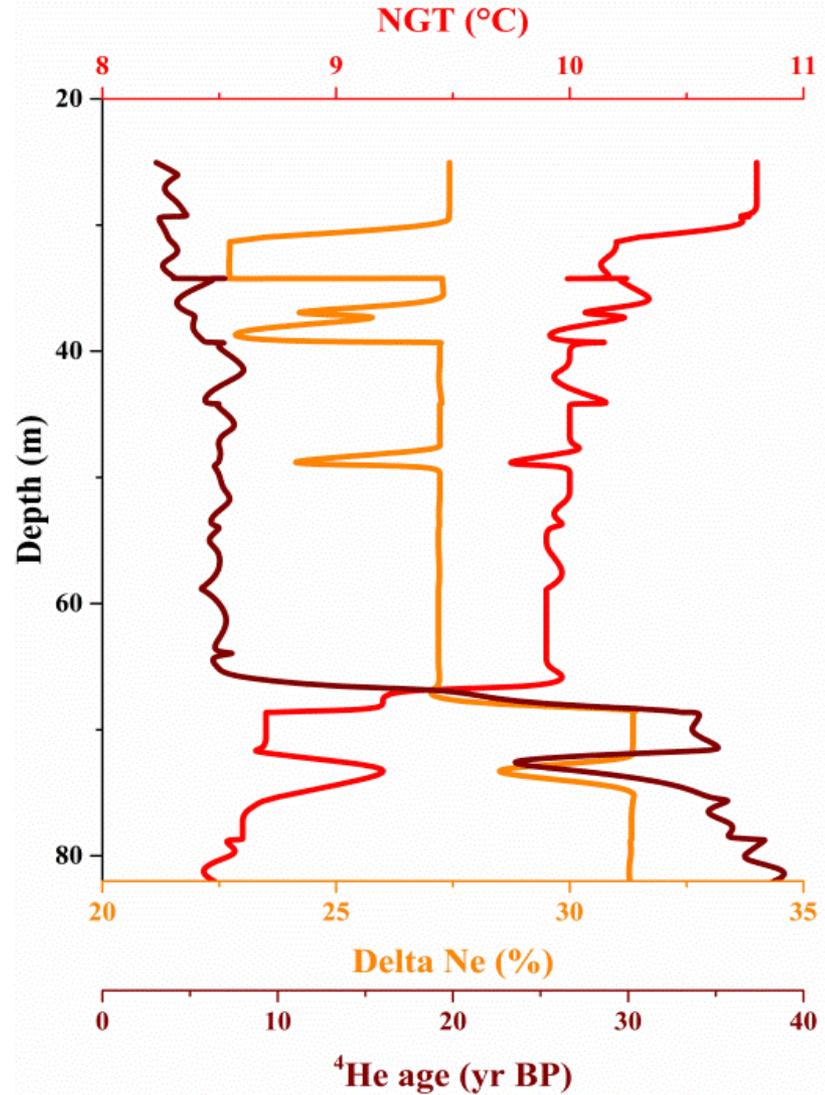
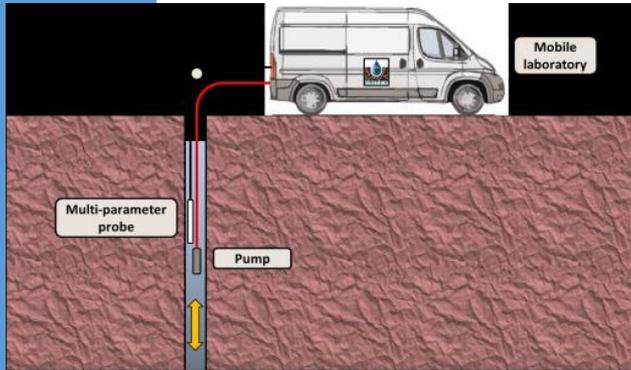
Même en dehors de aires de jeu habituelles
 projet COQUEIRAL /RECIFE Bresil

Chaton et al, 2016 STOTEN

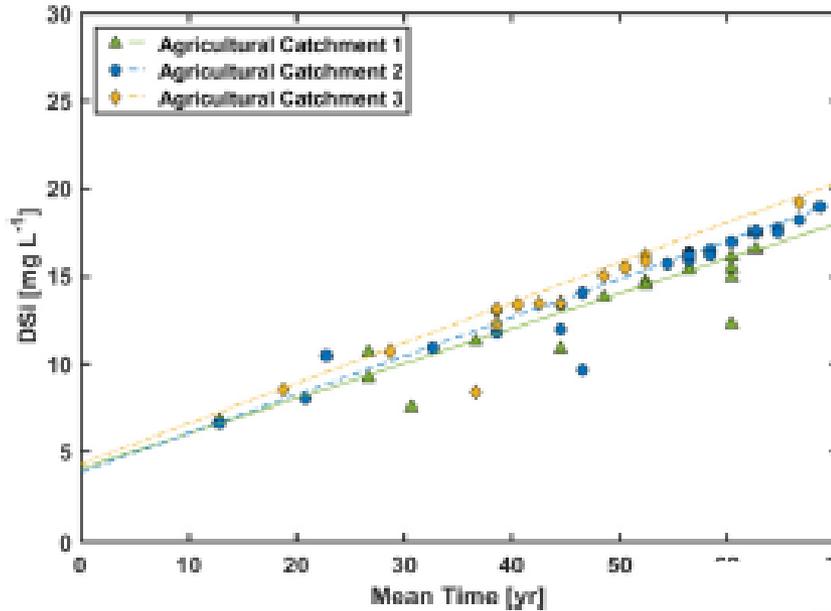


1-Temps de résidence des eaux

E. Chatton, 2016, EST



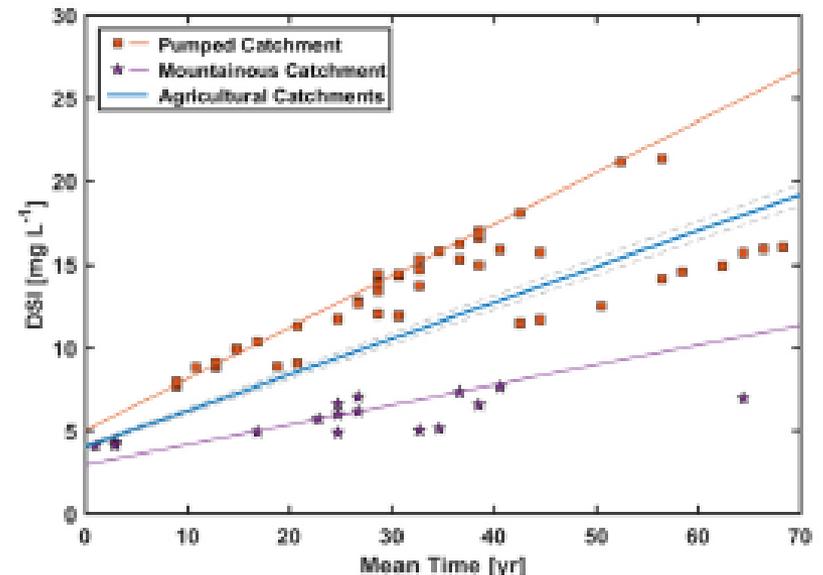
1-Temps de résidence des eaux



De nouveaux traceurs
en exploration :

la silice

Marçais et al, 2018 STOTEN



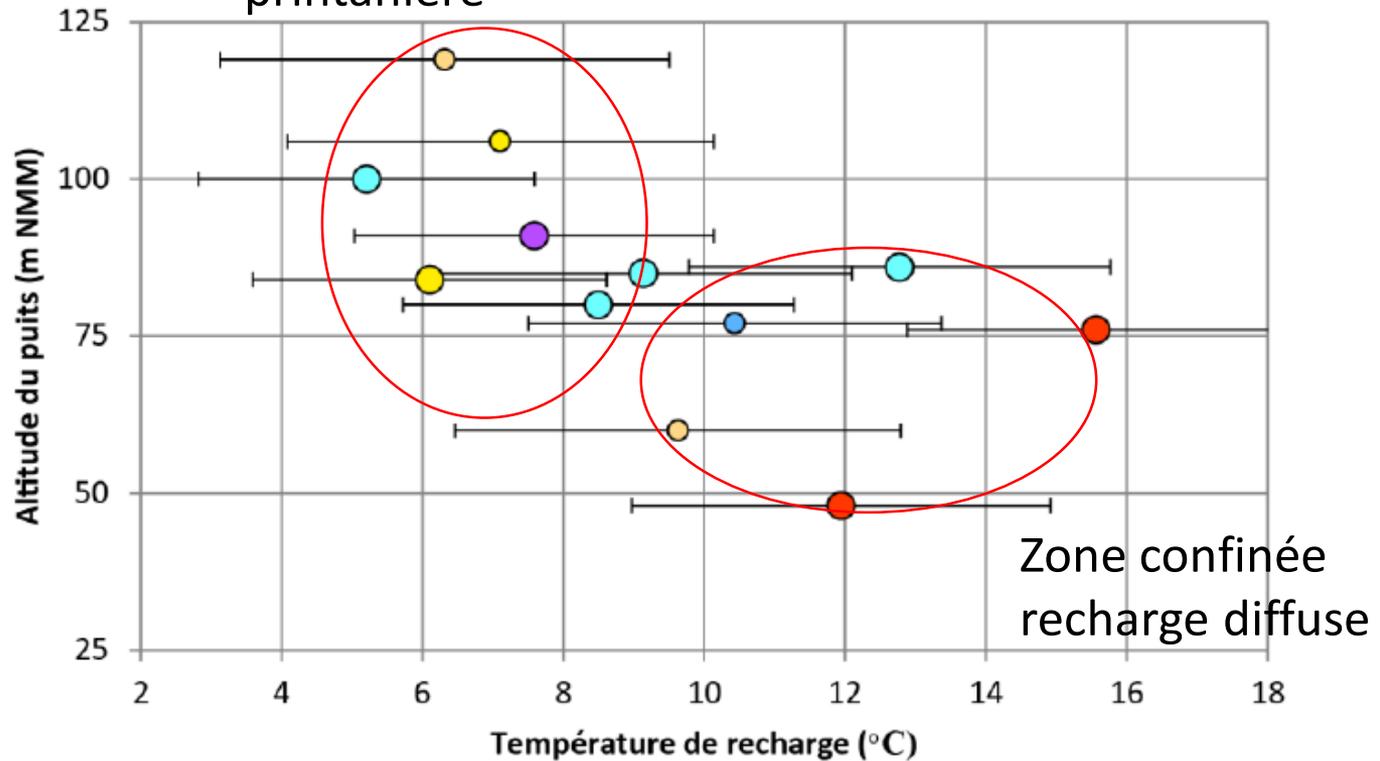
2-Physique des écoulements - lien avec la modélisation

2-Physique des écoulements - lien avec la modélisation

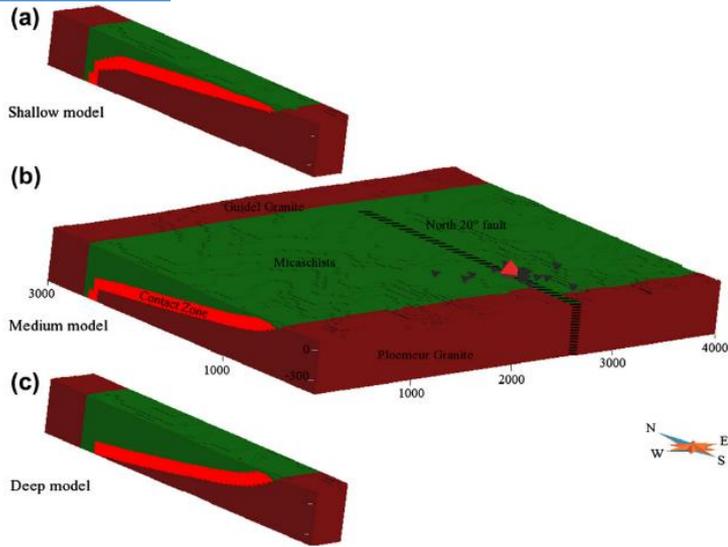
Haldimand, Gaspé

M. Peel, 2014

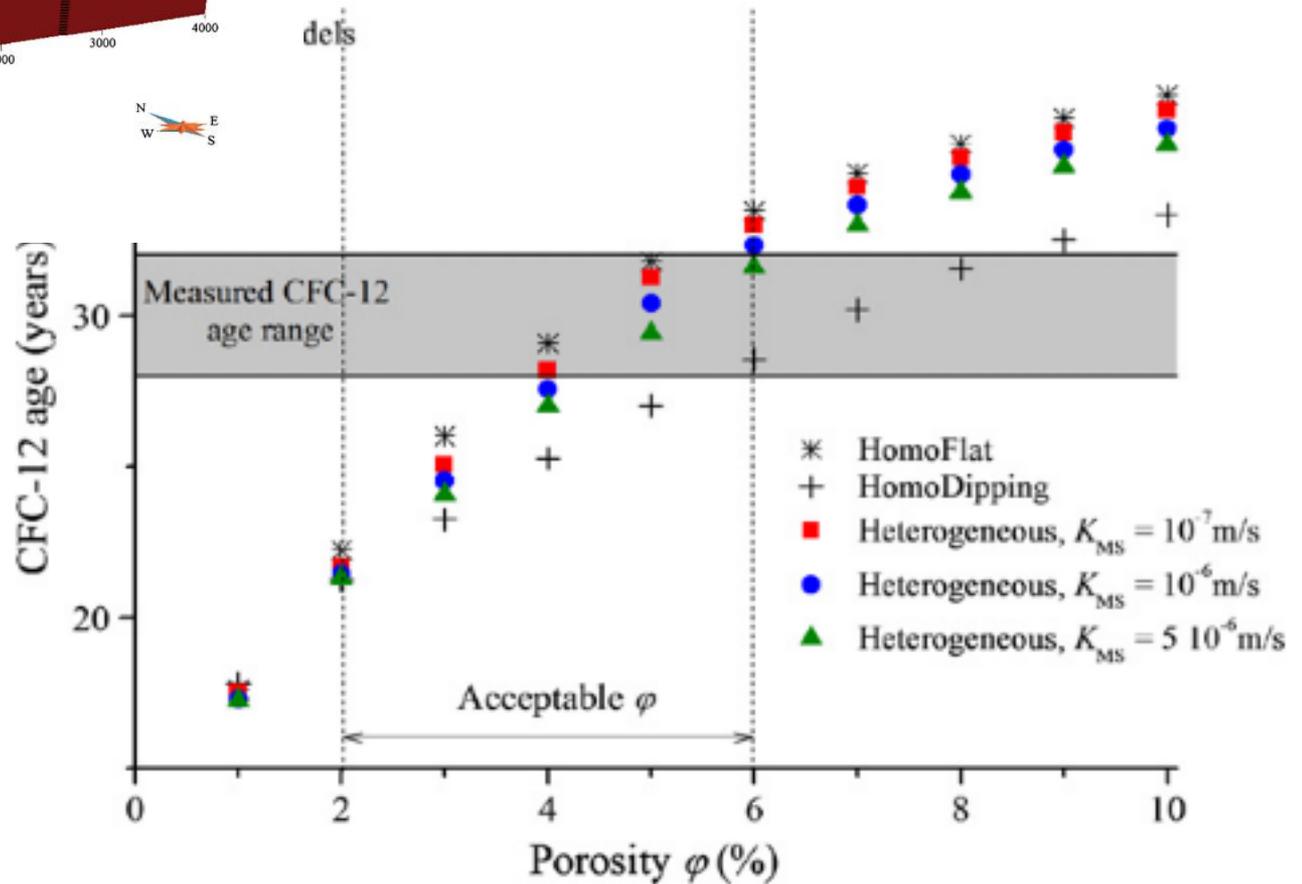
Forte variation piézo, forte
sensibilité à la recharge
printanière

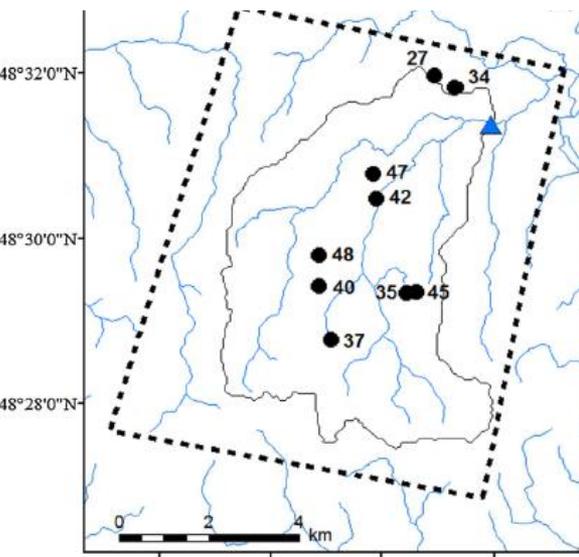
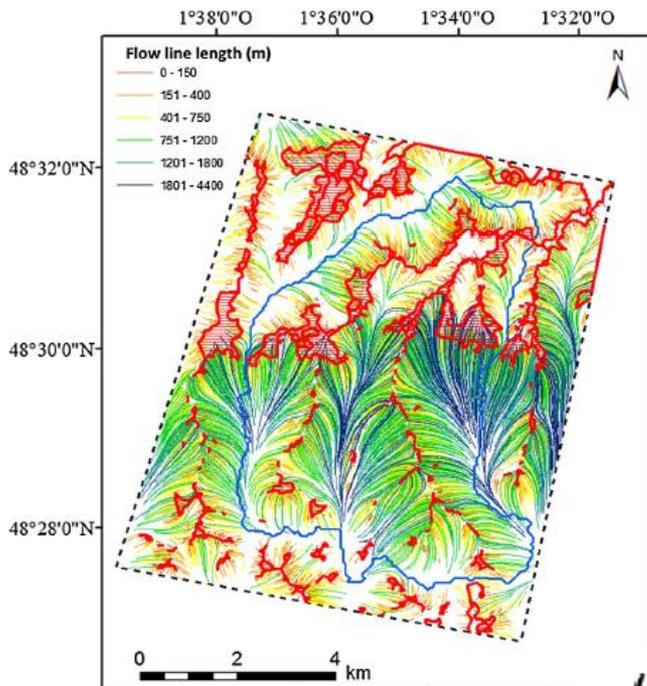


2-Physique des écoulements - lien avec la modélisation



Leray et al 2012, JoH





Recherches - lien avec la modélisation

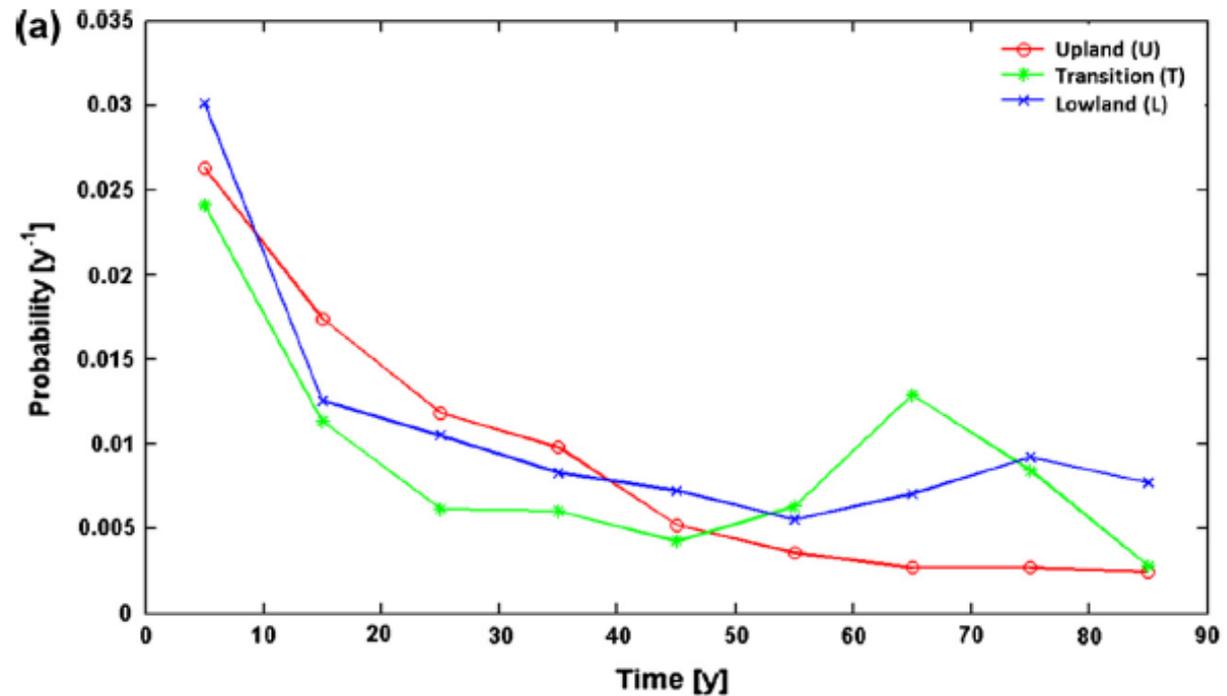
Passage de « l'âge »/ temps de résidence moyen aux distributions d'âge

Marçais et al., JoH, 2015

De Dreuzy and Ginn, JoH, 2016

Marçais et al., STOTEN, 2018

Kolbe et al, 2016 JoH

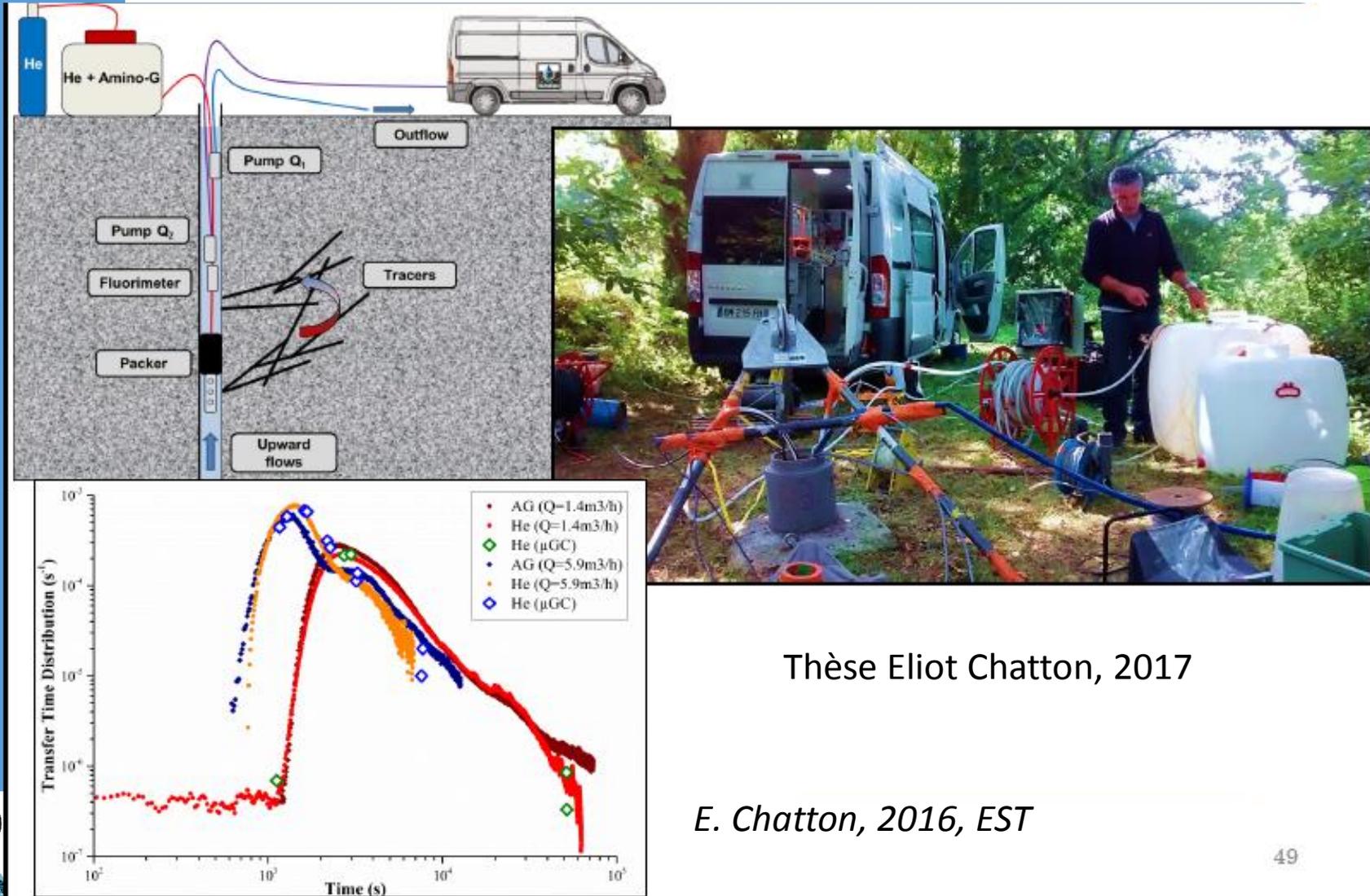


3- Traçages physiques et réactifs

SF₆, He, Xe, Ne, O₂...

3- Traçages physiques et réactifs

SF₆, He, Xe, Ne, O₂...



Thèse Eliot Chatton, 2017

E. Chatton, 2016, EST

3- Traçages physiques et réactifs

Une autre forme de traçage : celui du dégazage



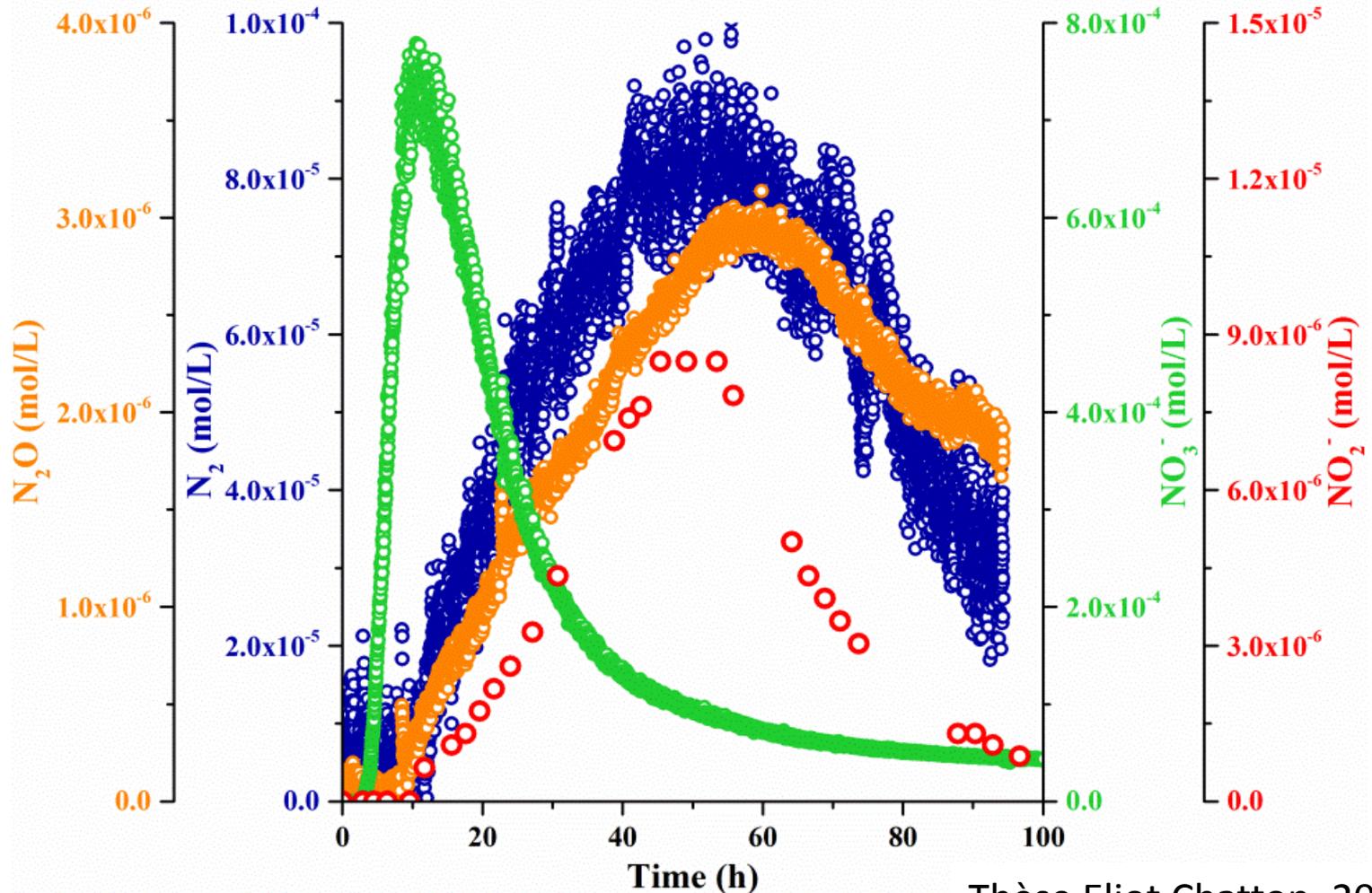
Autriche été 2019



Projet : ExSONIC: Experimental evaluation of stream atmosphere gas exchange by hydro-acoustics
Évaluation expérimentale des échanges gazeux atmosphère/cours d'eau par hydroacoustique

3 - Traçages physiques et réactifs

SF₆, He, Xe, Ne, O₂...



4-Réactivité des milieux naturels – Biogéochimie des eaux

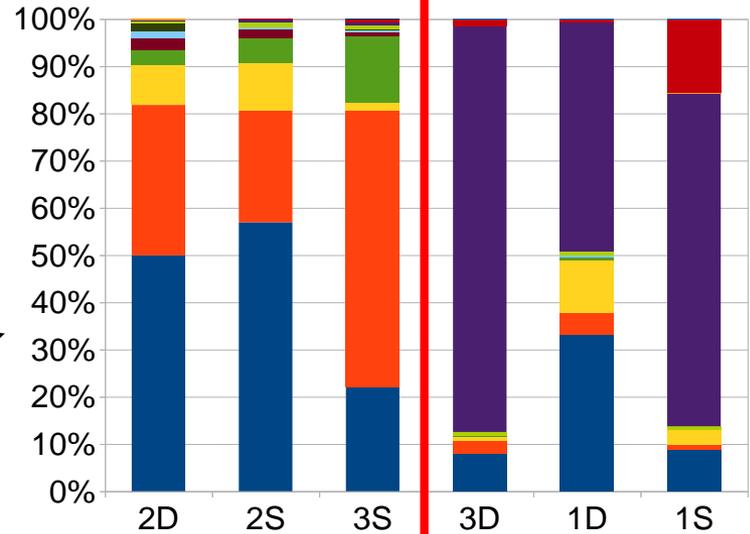
CO₂, O₂, N₂, CH₄, H₂S, H₂, N₂O....

4-Réactivité des milieux naturels – Biogéochimie des eaux

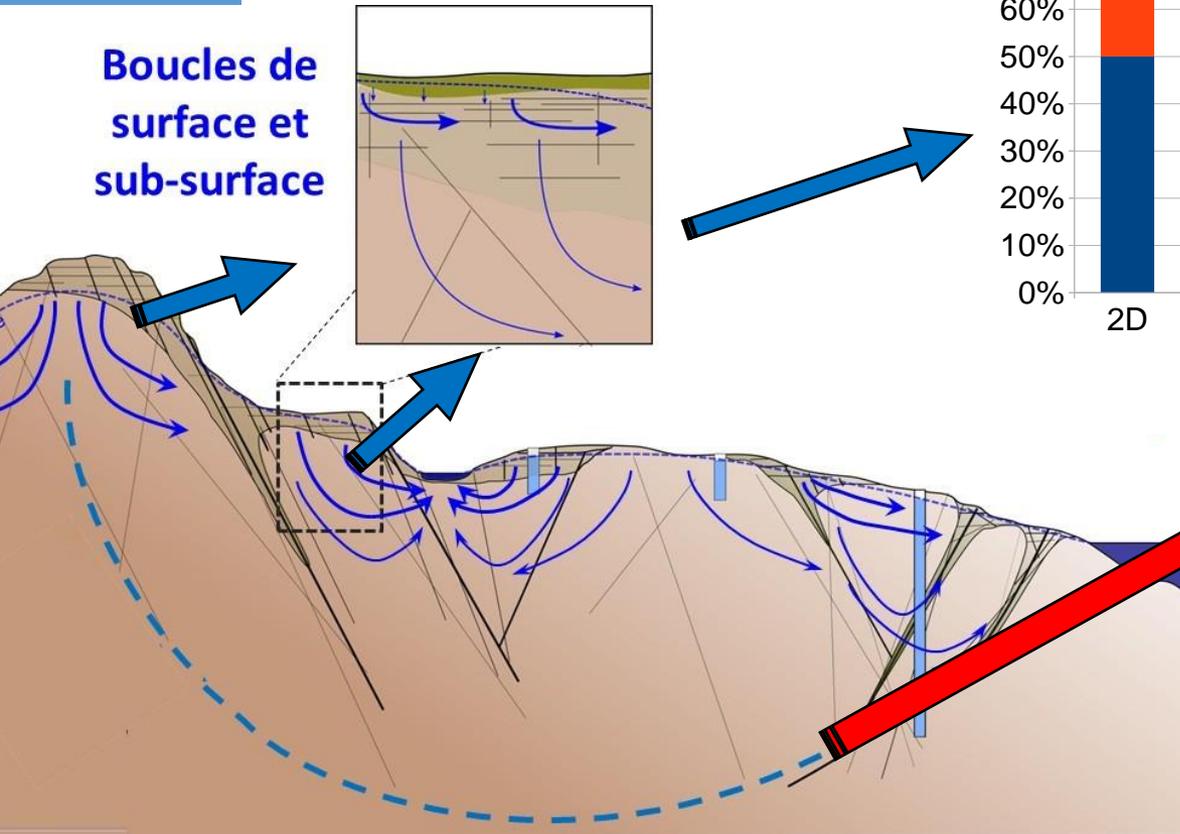
CO₂, O₂, N₂, CH₄, H₂S, H₂, N₂O....

Couplage avec la microbiologie

dénitrifiantes



Boucles de surface et sub-surface



Oxydantes du Fer
Gallionellaceae

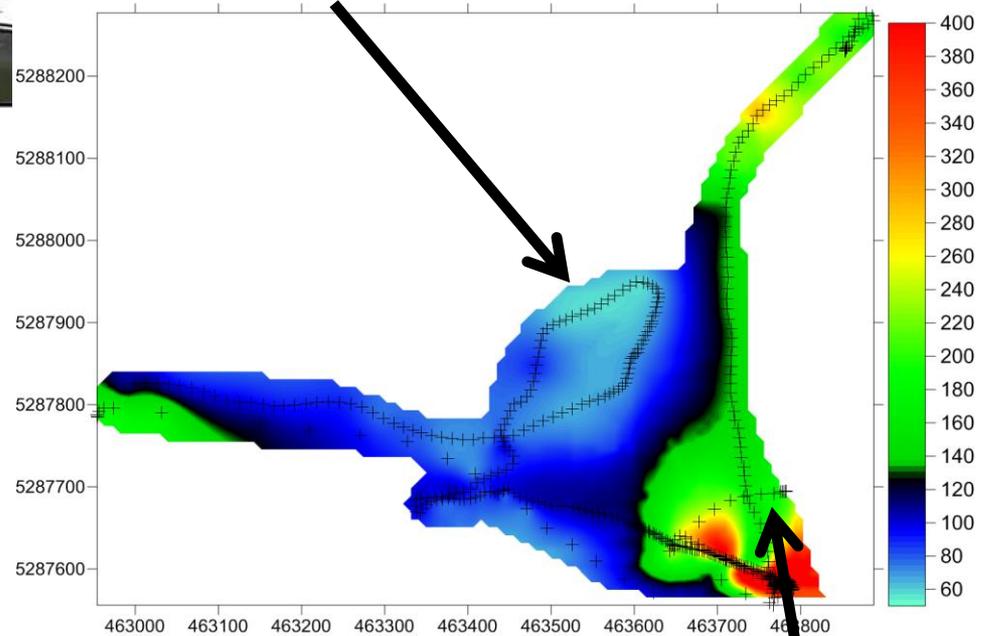
4-Réactivité des milieux naturels – Biogéochimie des eaux

CO₂, O₂, N₂, CH₄, H₂S, H₂, N₂O....



Saturation CO₂ (%)

Phytoplancton



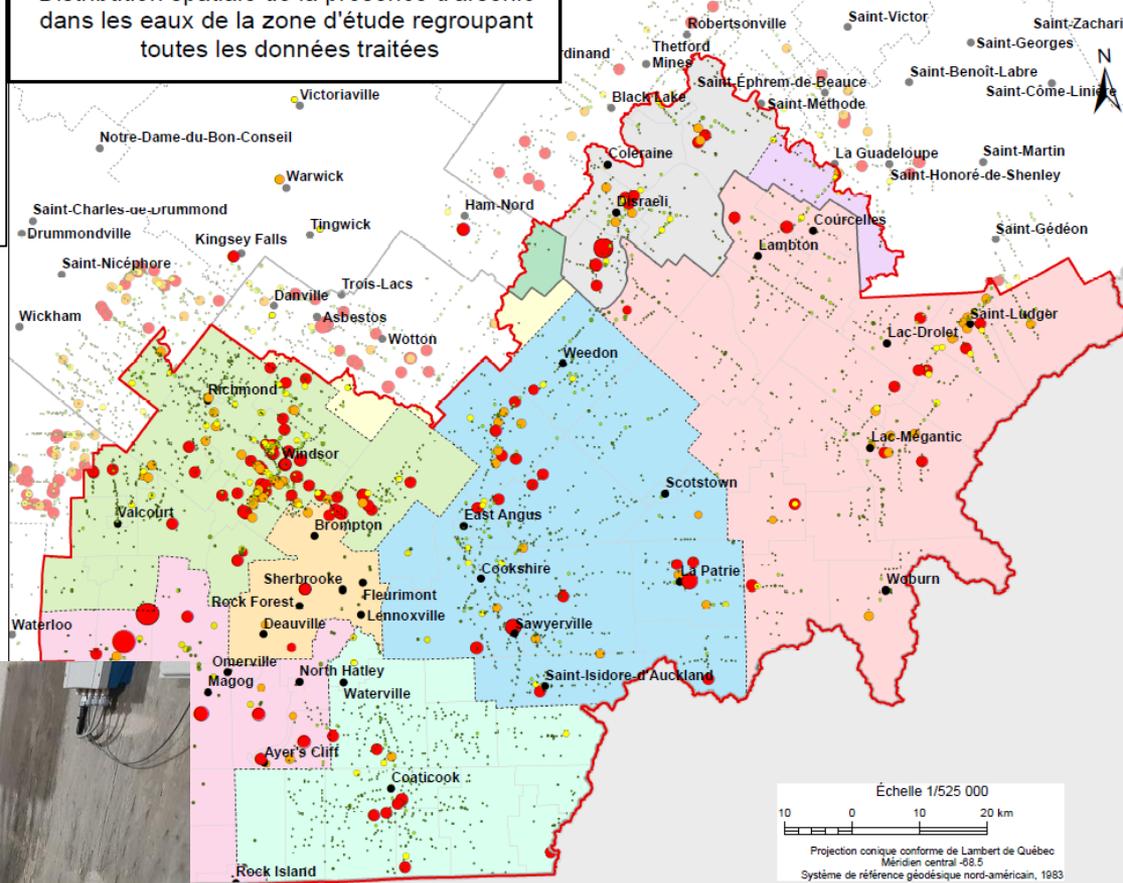
Eau souterraine
(riche en He)

CONCLUSION

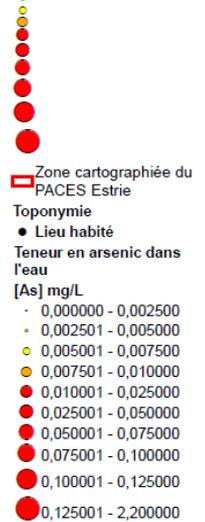
CONCLUSION



Distribution spatiale de la présence d'arsenic dans les eaux de la zone d'étude regroupant toutes les données traitées



Légende
INRS



Municipalités Régionales de Comté (MRC)



Sources:
Base de données géographiques et administratives à l'échelle de 1/1 000 000 (BDGA 1M) (MRNF, 2008)



Elise COLLEAU
LIA RESO – Maîtrise bidiplomante

CONCLUSION

L'analyse des gaz dissous a démontré son utilité sur l'estimation des temps de résidence en particulier dans les études multi-traceurs tant sur la gestion des aquifères que la compréhension du fonctionnement de ceux –ci

L'arrivée de nouveaux outils comme le MIMS ouvre des perspectives larges de recherche et de collaborations.

Merci de votre attention



<https://condate-eau.univ-rennes1.fr>

virginie.vergnaud@univ-rennes1.fr