

# Comité scientifique et technique du CRESEB

## « Le temps de réponse des bassins versants »

### Apports du BRGM

Bruno MOUGIN  
Rennes (35)  
Agrocampus Ouest

BRGM Bretagne  
Mardi 13 janvier 2015

Geosciences pour une Terre durable  
Creseb  
brgm

## Quelques domaines d'intervention

### Ruissellement/Infiltration

### LE CYCLE DE L'EAU

Précipitation, Transpiration, Evaporation, ruissellement, recharge de la nappe, nappe, Inondations, Transpiration, Evaporation

Capacités conductrices du sous-sol, Volumes d'eau, Temps de renouvellement, Participation à l'écoulement total

Analyse de la qualité de l'eau

ENTREE, SORTIE, Temps, Temps de mise à l'équilibre, Temps moyen de résidence, Temps de réaction

CSEB, 2005

- > Thématique des eaux souterraines
- > Influence sur temps réponse BV

BRGM Bretagne  
Mardi 13 janvier 2015

Geosciences pour une Terre durable  
brgm

## SILURES : Système d'Information pour la Localisation et l'Utilisation des Ressources en Eau Souterraine

Durée : 2002-2008

SILURES Bretagne  
SILURES BV  
SILURES Suivi

Agence de l'eau Loire-Bretagne  
Région BRETAGNE  
Morbihan  
Côtes d'Armor  
Finistère  
Ille & Vilaine  
S.M.C.35

BRGM Bretagne  
Mardi 13 janvier 2015

Geosciences pour une Terre durable  
brgm

## Schéma conceptuel des aquifères de socle

Sédiments continentaux, Paléosurface, Allotérite, Surface piézométrique, Isaltérite, Surface de référence (base des altérites), Altérites, Horizon fissuré, Roche saine, Fracture profonde aquifère, Fracture profonde non alimentée

R. Wyns et al., 2004

BRGM Bretagne  
Mardi 13 janvier 2015

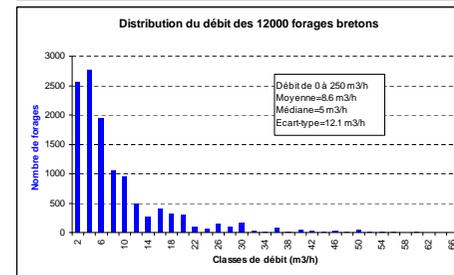
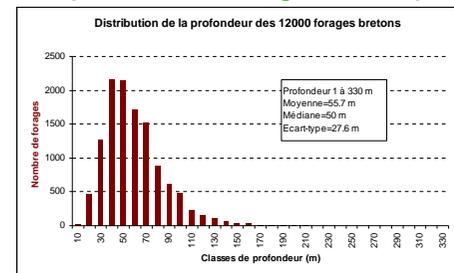
Geosciences pour une Terre durable  
brgm

## Données des forages

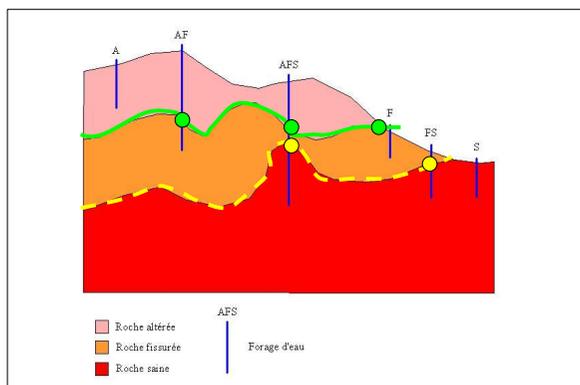
Forages de la Banque de données du Sous-Sol du BRGM (BSS via [InfoTerre](#))



## Caractéristiques des forages interprétés

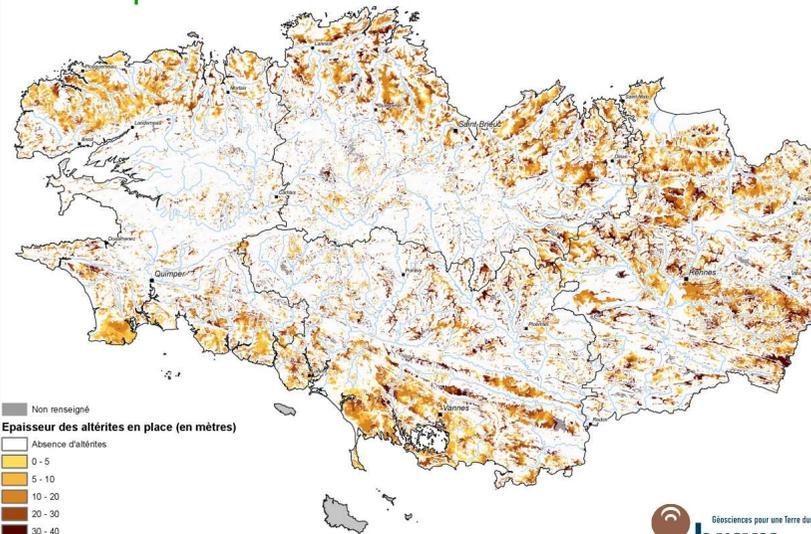


## Utilisation des informations des forages



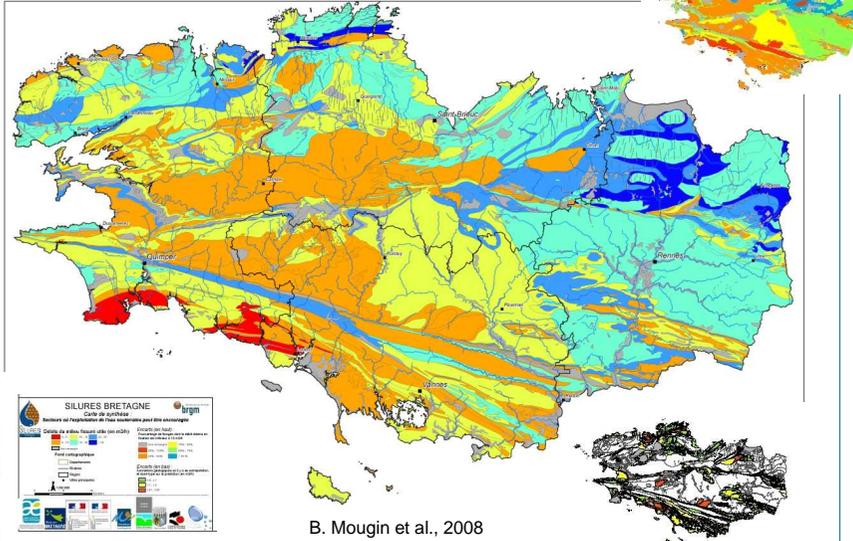
Buts : - obtenir épaisseurs altérites et horizon fissuré  
- connaître leurs productivités

## Carte épaisseur des altérites



# Carte de synthèse 1

Débits du milieu fissuré utile (en m3/h)



**SILURES BRETAGNE**  
Carte de synthèse  
Bassin de l'estuaire de la Rance pour être envisagé

Chiffres et données. Révisé, cette carte est destinée à être utilisée par les gestionnaires de l'eau.

© BRGM 2008

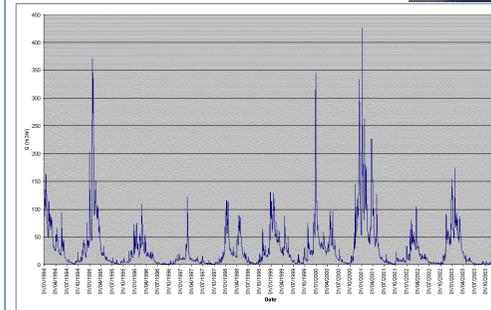
B. Mougin et al., 2008

> Indices pour temps de réaction des BV (échelle 1/250 000)

Mardi 13 janvier 2015

> 9

# Débits des rivières Hydrogrammes des rivières bretonnes de la DREAL Bretagne

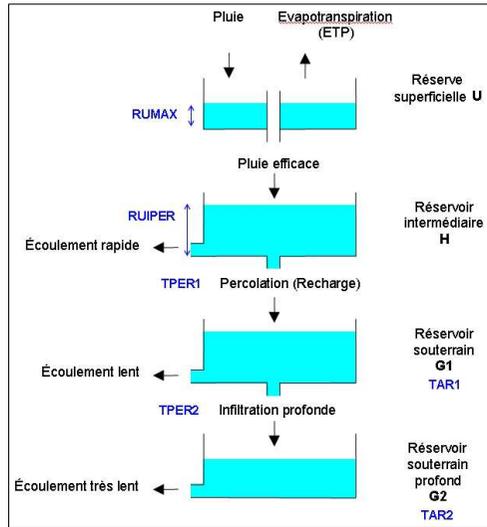


Sciences pour une Terre durable  
**brgm**

Mardi 13 janvier 2015

> 10

# SILURES Bretagne Participation des eaux souterraines aux débits des rivières



Sciences pour une Terre durable  
**brgm**

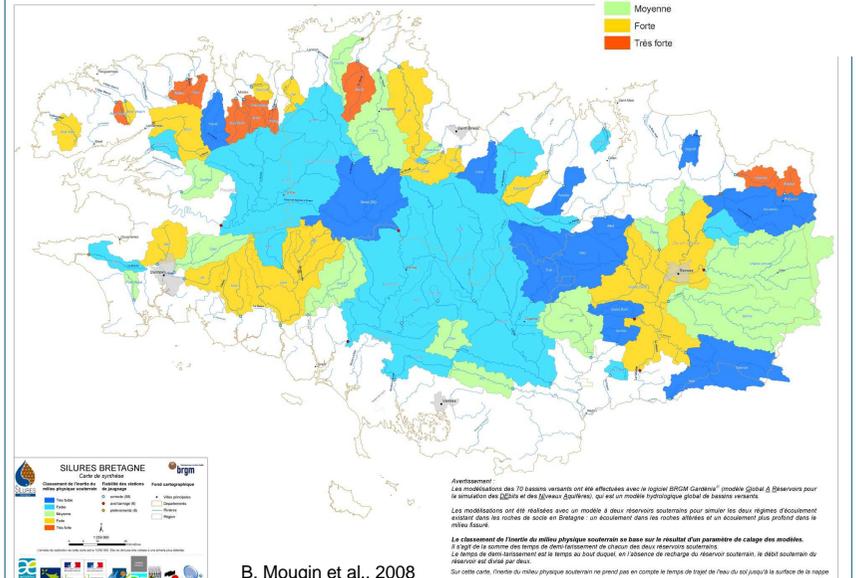
BRGM Bretagne > Modélisation globale P-Q avec logiciel Gardénia

Mardi 13 janvier 2015

> 11

# Carte de synthèse 2

Classement de l'inertie du milieu physique souterrain



**SILURES BRETAGNE**  
Carte de synthèse  
Bassin de l'estuaire de la Rance pour être envisagé

Chiffres et données. Révisé, cette carte est destinée à être utilisée par les gestionnaires de l'eau.

© BRGM 2008

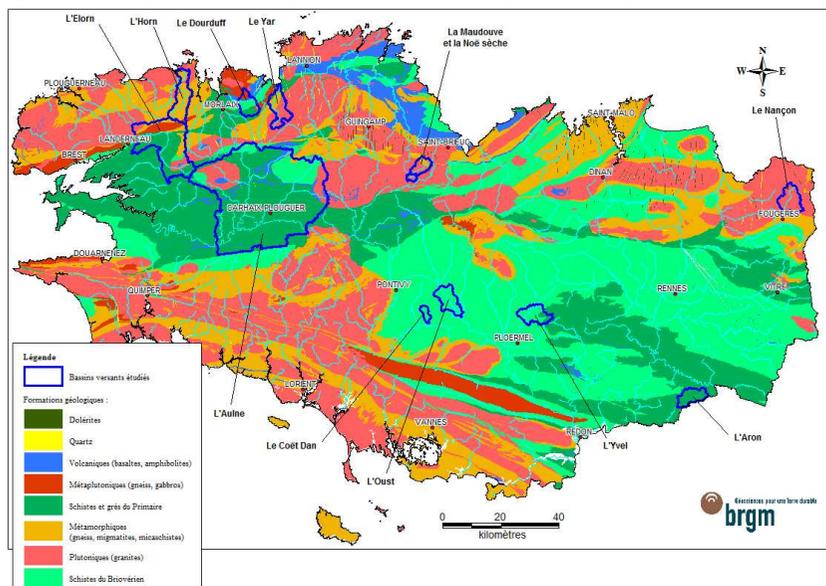
B. Mougin et al., 2008

**Avertissement:**  
Les modifications des 70 bassins versants ont été effectuées avec le logiciel Gardénia (modèle Global G) (réservoirs pour la simulation des ETP et des G1/G2/G3/G4/G5), qui est un modèle hydrologique global de bassin versant.  
Les modifications ont été réalisées avec un modèle à deux réservoirs souterrains pour simuler les deux régimes d'écoulement souterrain dans les roches de socle en Bretagne: un écoulement dans les roches aréolées et un écoulement plus profond dans le milieu fissuré.  
Le classement de l'inertie du milieu physique souterrain se base sur le résultat d'un paramètre de calage des modèles.  
Il s'agit de la somme des temps de cheminement de chaque des deux réservoirs souterrains.  
Le temps de cheminement est le temps au bout duquel, en l'absence de recharge du réservoir souterrain, le débit souterrain du réservoir est divisé par deux.  
Sur cette carte, l'inertie du milieu physique souterrain ne prend pas en compte le temps de trajet de l'eau du sol jusqu'à la surface de la nappe.

Mardi 13 janvier 2015

> Indices pour temps moyen de résidence des BV (échelle 1/250 000)

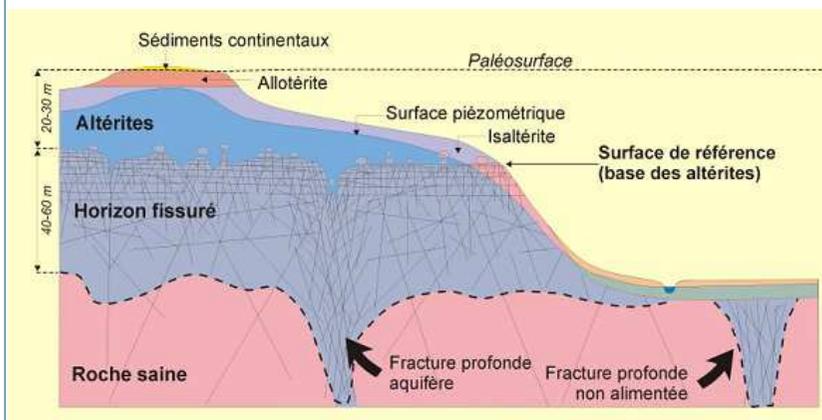
## Calcul des volumes d'eau souterraine sur 12 BV



Mardi 13 janvier 2015

> 13

## Calcul des volumes d'eau souterraine

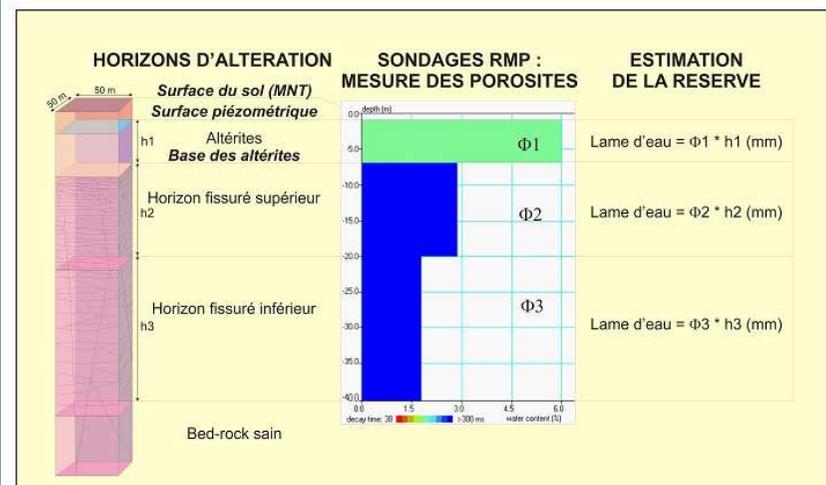


BRGM Bretagne

Mardi 13 janvier 2015

> 14

## SILURES BV : méthodologie mise en œuvre



> Profondeur d'investigation 50 m

BRGM Bretagne

Mardi 13 janvier 2015

> 15

## Mesures sur le terrain



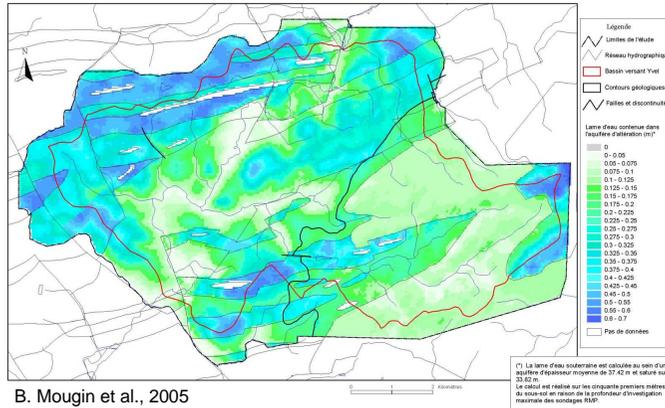
BRGM Bret

Mardi 13 janvier 2015

> 16

## Calcul des volumes d'eau souterraine et utilités

### BV Yvel



B. Mougin et al., 2005

- > env. 11 millions de m<sup>3</sup>
- > échelle 1/50 000

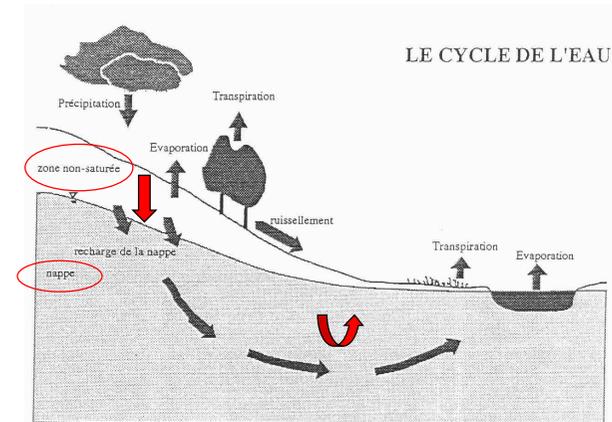


BRGM Bretagne

Mardi 13 janvier 2015

> 17

## Estimation des temps moyens de résidence des eaux souterraines



- > temps de transfert dans la zone non saturée
- > participation des eaux souterraines au débit de la rivière

C. Gascuel et al., 1986

BRGM Bretagne

Mardi 13 janvier 2015

> 18

## Résultats des calculs des temps moyens de résidence des eaux souterraines

Nom	NomBV	Depts	Surface (km <sup>2</sup> )	Code	Temps (ans)	Rapport_BRGM
L'AULNE A CHATEAUNEUF-DU-FAOU	AULNE	29-22-56	1224	J3811810	6.33	RP-52656-FR
L'ELORN A PLOUEDERN	ELORN	29	260	J3413030	7.25	RP-52656-FR
LE COET DAN	COETDAN	56	12.5	J5606810	7.50	RP-52731-FR
L'HORN DE SA SOURCE A LA MER	HORN	29	80.6	J3014310	4.67	RP-52731-FR
LE YAR DE SA SOURCE A LA MER	YAR	22-29	61.2	J2314910	3.67	RP-52731-FR
LE DOURDUFF A GARLAN	DOURDUFF	29	45	J2514010	3.17	RP-53742-FR
LA MAUDOUVE A SAINT-DONAN	MAUDOUVE	22	30	J1524010	2.67	RP-53742-FR
LA NOE SECHE	NOESECHE	22	10	J1513010	2.25	RP-53742-FR
L'OUST	OUST	56	55	J8202310	6.00	RP-53742-FR
L'YVEL	YVEL	56-35	54	J8363110	3.67	RP-53742-FR
LE NANCON	NANCON	35	57	J0014010	5.75	RP-56318-FR
L'ARON	ARON	35	44.7	J7824010	7.08	RP-63719-FR
				Moy	5.00	
				Min	2.25	
				Max	7.50	

B. Mougin et al., 2012



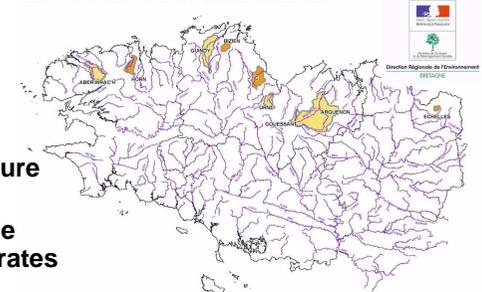
BRGM Bretagne

Mardi 13 janvier 2015

> 19

## Bassins versants bretons en contentieux Européen « Nitrates eaux brutes » - Modélisation transferts

Bassins versants en situation de non conformité en 2006



### > Février 2007

- non respect de la norme Communautaire à 50 mg/l

### > Pilotage MEEDDAT et Préfecture

### > Modélisation et simulations de l'évolution des teneurs en nitrates

- Utilisation du logiciel TEMPO (traitement des séries temporelles)
- Comparaison avec les résultats des modèles déterministes de l'INRA
- Rapport conjoint BRGM + INRA

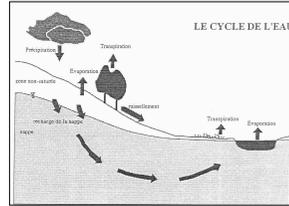


BRGM Bretagne

Mardi 13 janvier 2015

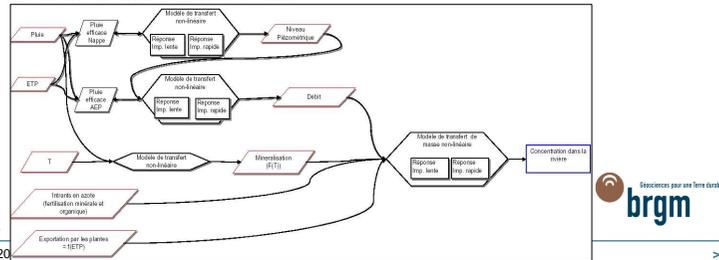
> 20

## Compréhension du comportement des nitrates



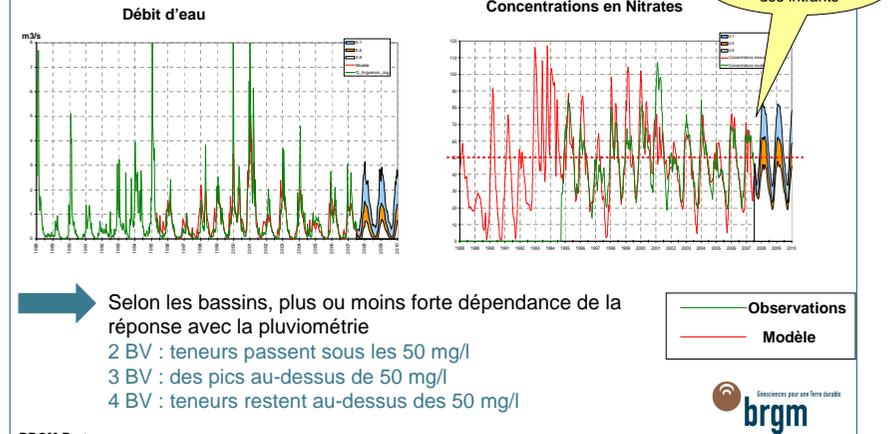
### > Modélisation du transfert de nitrates

- Simulation des concentrations après modifications des pratiques, à l'échelle d'un bassin versant



## Simulation des teneurs pour une réduction de 1/3 des intrants

Un exemple : Bassin versant de l'Arguenon



- ➔ Selon les bassins, plus ou moins forte dépendance de la réponse avec la pluviométrie
- 2 BV : teneurs passent sous les 50 mg/l
  - 3 BV : des pics au-dessus de 50 mg/l
  - 4 BV : teneurs restent au-dessus des 50 mg/l

## Résultats des temps de réaction sur 9 BV bretons

- > Rapports BRGM RP-55842-FR et RP-56408-FR
- > Rapport commun BRGM-INRA
- > Temps de réaction : 31 à 115 jours



## Détermination du temps de résidence des eaux souterraines avec des outils de datation

- > Cf. présentation Luc AQUILINA
- > Thèse de Virginie AYRAUD-VERGNAUD – 2005
- > Diversité des âges en fonction du compartiment hydrogéologique échantillonné

### > Travail à l'échelle du bassin Loire-Bretagne

— N. Baran et al., 2009



Établissement public du ministère chargé du développement durable

# Transfert des nitrates à l'échelle du bassin Loire-Bretagne - Modélisation et datation

## Objectif et méthodologie

- > compréhension à une échelle plus locale
- > modéliser les transferts de nitrates vers les eaux souterraines
- > suivi du temps moyen de résidence au pas de temps mensuel
- > modélisation globale réalisée à l'aide du logiciel BICHE



Figure 1 - Localisation du captage de la Ville Hellio (Plourhan, Côtes d'Armor)

BRGM Bretagne

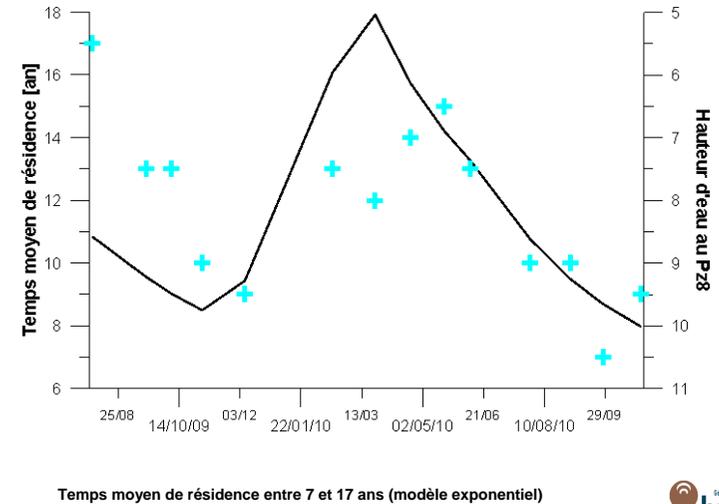
Mardi 13 janvier 2015



> 25

# Suivi au pas de temps mensuel à Plourhan

N. Baran et al., 2011



BRGM Bretagne

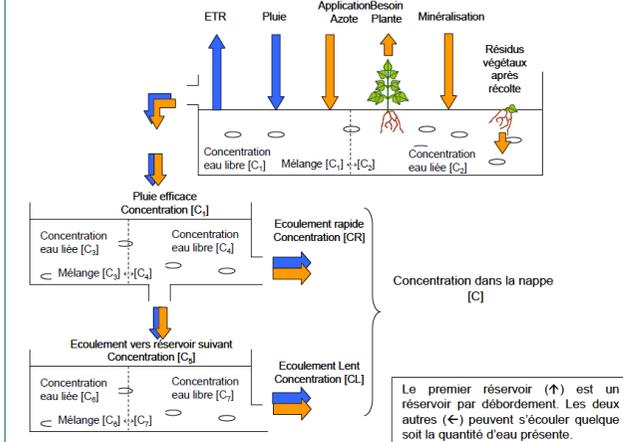
Mardi 13 janvier 2015



> 26

# Modèle global BICHE (Bilan CHimique des Eaux)

## Fonctionnement hydrologique + transfert de masse



D. Thiéry et al., 1990



BRGM Bretagne

Mardi 13 janvier 2015

> 27

# Modélisation BICHE

N. Baran et al., 2011

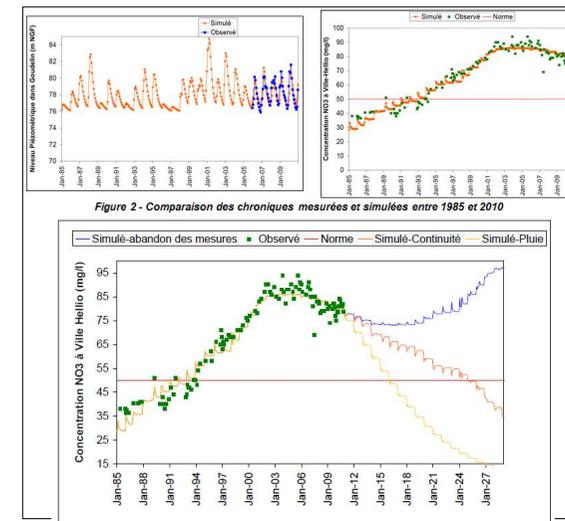


Figure 2 - Comparaison des chroniques mesurées et simulées entre 1985 et 2010

- temps de réaction = 2 ans
- temps de mise à l'équilibre > 17 ans

BRGM Bretagne

Mardi 13 janvier 2015



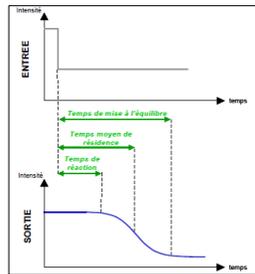
> 28

## Conclusion

sous-sol et aquifère ≠ réservoir homogène et mélangeur parfait

### • temps de réaction

- court, de l'ordre de 2 à 5 ans pour la plupart des modèles
- Carte régionale SILURES Bretagne
- BV contentieux : 31 à 115 jours
- Plourhan : 2 ans



CSEB, 2005

### • temps moyen de résidence

- dépendent de la position topographique
- en moyenne, à l'échelle d'un BV, les temps moyens de résidence des nitrates sont supérieurs à 5 - 8 ans
- Carte régionale SILURES Bretagne
- SILURES BV : de 2 à 8 ans
- Datation thèse VVA : selon compartiment 1 / 12-30 / > 50 ans ± 4
- Datation LB : temps moyen 13 ans ± 5
- Plourhan : 7 à 17 ans

### • temps de mise à l'équilibre

- fortement variables d'un bassin à l'autre
- de 5 ans jusqu'à plus de 15 ans
- Plourhan : > 17 ans



BRGM Bretagne

Mardi 13 janvier 2015

> 29

## Bibliographie (1/2)

- AYRAUD, Virginie. Détermination du temps de résidence des eaux souterraines : application au transfert d'azote dans les aquifères fracturés hétérogènes. 2006. Thèse de doctorat. UNIVERSITE DE RENNES 1.
- BARAN N., GOURCY L., LOPEZ B., BOURGINE B., MARDHEL V. (2009) - Transfert des nitrates vers les eaux souterraines à l'échelle du bassin Loire-Bretagne – Phase 1 : temps de transfert, tendances et typologie des aquifères. Rapport BRGM/RP-56884-FR
- BARAN N., GUTIERREZ A., LOPEZ B., SURDYK N., GOURCY L. (2011) - Transfert de nitrates à l'échelle du bassin d'alimentation de captages d'eau souterraine du bassin Loire-Bretagne : modélisation et datation. Rapport final BRGM/RP-60280-FR
- Rapport du CSEB de décembre 2005 - Fiches C « Pour la compréhension des bassins versants et le suivi de la qualité de l'eau : fiches techniques et scientifiques »
- C. GASCUEL-ODOUX, P. MÉROT (1986). Variabilité du transfert de l'eau dans le sol : utilisation du traçage et analyse géostatistique. Journal of Hydrology, n°89, 93-107.



BRGM Bretagne

Mardi 13 janvier 2015

> 30

## Bibliographie (2/2)

- B. MOUGIN, E. THOMAS, F. MATHIEU, R. BLANCHIN et R. WYNS (2005) - SILURES Bassins Versants - Dourduff (29), Oust (56), Yvel (56), Maudouve et Noë Sèche (22) - Rapport final Année 2 - BRGM/RP-53742-FR
- B. MOUGIN, D. ALLIER, R. BLANCHIN, A. CARN, N. COURTOIS, C. GATEAU, E. PUTOT, collaboration J-P. JEGOU, P. LACHASSAGNE, P. STOLLSTEINER et R. WYNS (2008) - SILURES Bretagne - Rapport final - Année 5 - BRGM/RP-56457-FR
- B. Mougou, J-M. Baltassat, R. Blanchin, F. Mathieu, E. Putot, J-M. Schroetter, E. Thomas and R. WYNS (2012) - Calculation of groundwater response times in eleven Brittany catchments. Groundwater dating meeting (GDAT), Rennes (France), 15-19 october 2012.
- R. WYNS, J-M. BALTASSAT, P. LACHASSAGNE, A. LEGCHENKO, J. VAIRON and F. MATHIEU (2004). Application of proton magnetic resonance soundings to groundwater reserve mapping in weathered basement rocks (Brittany, France), Bulletin de la Société Géologique de France, t. 175, n°1, pp. 21-34.
- Rapports BRGM <http://infoterre.brgm.fr/search/switch.htm?scope=9>
- SIGES Bretagne <http://sigesbre.brgm.fr/>



BRGM Bretagne

Mardi 13 janvier 2015

SIGES Bretagne

Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Bretagne

> 31