

## ESTIMATION DES DÉLAIS DE RENOUVELLEMENT DES AQUIFÈRES :

méthodes et premiers résultats sur les captages du bassin Rhône Méditerranée. *Une aide pour orienter les opérations de restauration de la qualité ?*

---

**DEPARDON Stéphane**

Antéa Group

**VERGNAUD Virginie**

Plateforme Condate Eau – OSUR – Univ Rennes

# Introduction

Etude financée par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse

## Objectif de l'étude

Estimer le temps de renouvellement moyen des portions de nappe alimentant 269 captages prioritaires du bassin RMC

Cette donnée doit permettre :

- de mieux appréhender le fonctionnement global des nappes
- d'estimer le délai pour obtenir l'ensemble des bénéfices du programme d'actions engagé pour restaurer la qualité des eaux



Un outil d'aide à la décision pour les maîtres d'ouvrage et gestionnaires, à prendre en compte pour le dimensionnement et l'ambition des plans d'actions.

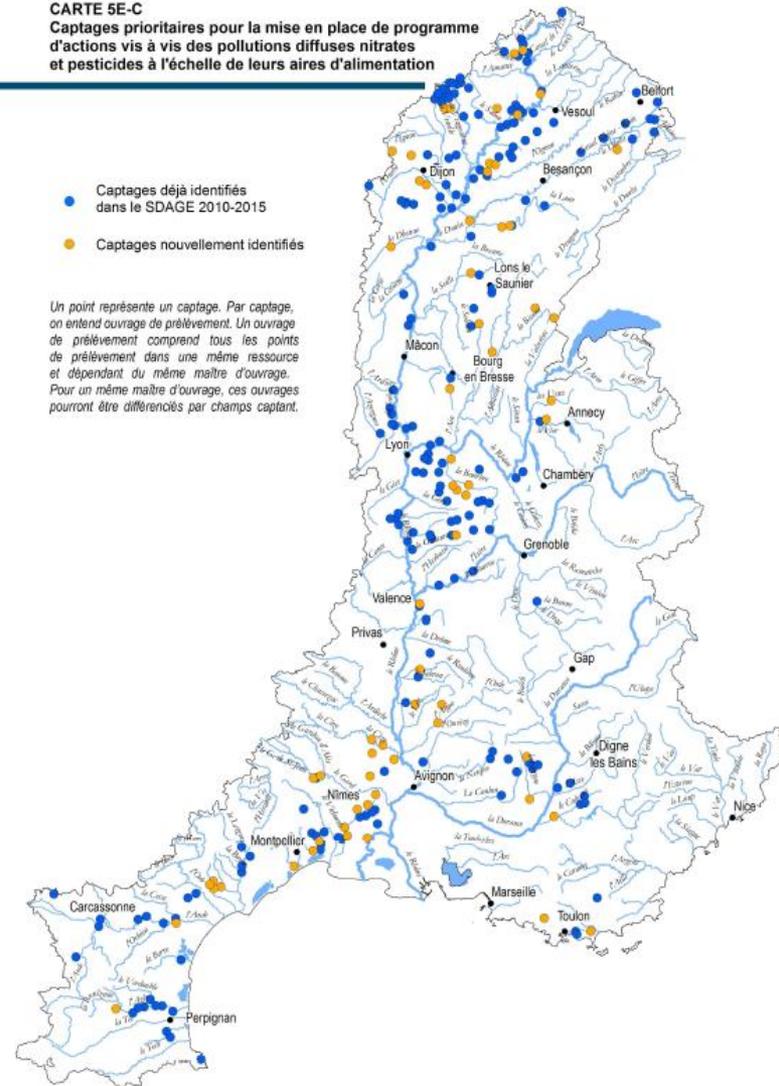
# Programme et périmètre de l'étude

Le programme de l'étude est échelonné sur 2 ans :

- En 2017 : 2 campagnes (HE et BE) de 116 prélèvements ont été réalisées dans les départements du nord du bassin RMC.
- En 2018 : 2 campagnes (HE et BE) de 159 prélèvements ont été réalisées dans les départements du sud du bassin RMC.

**Seuls les résultats de la campagne 2017 sont présentés.**

CARTE 5E-C  
Captages prioritaires pour la mise en place de programme d'actions vis à vis des pollutions diffuses nitrates et pesticides à l'échelle de leurs aires d'alimentation



# Le groupement Antea Group / CONDATEau

- Partie analytique : **CONDATEau**
- Interprétation et mise en forme : **Antea Group (mandataire)**
- Prélèvements : laboratoire en charge du suivi analytique (hors marché)



## Nature des prestations réalisées par la Plateforme

### CONDATEau :

- Rédaction des protocoles de prises de prélèvements et de rapatriement des échantillons
- Journée de formation
- Réalisation des analyses de datation (CFC et SF6)
- Validation des résultats (interprétation technique des résultats)

## Nature des prestations réalisées par Antea Group :

- Organisation des opérations, contrôle des documents produits (protocoles, supports de formation, rapport, présentations, etc.)
- Audit des préleveurs et participation à la journée de formation
- Interprétation géologique et hydrogéologique des résultats
- Rédaction des rapports annuels, document de synthèse et présentations

# Délai de renouvellement des aquifères

## Définition

L'âge de l'eau souterraine = durée que l'eau a mis pour transiter entre son point d'infiltration et son point de prélèvement (captage, forage, puits, source ou rivière).

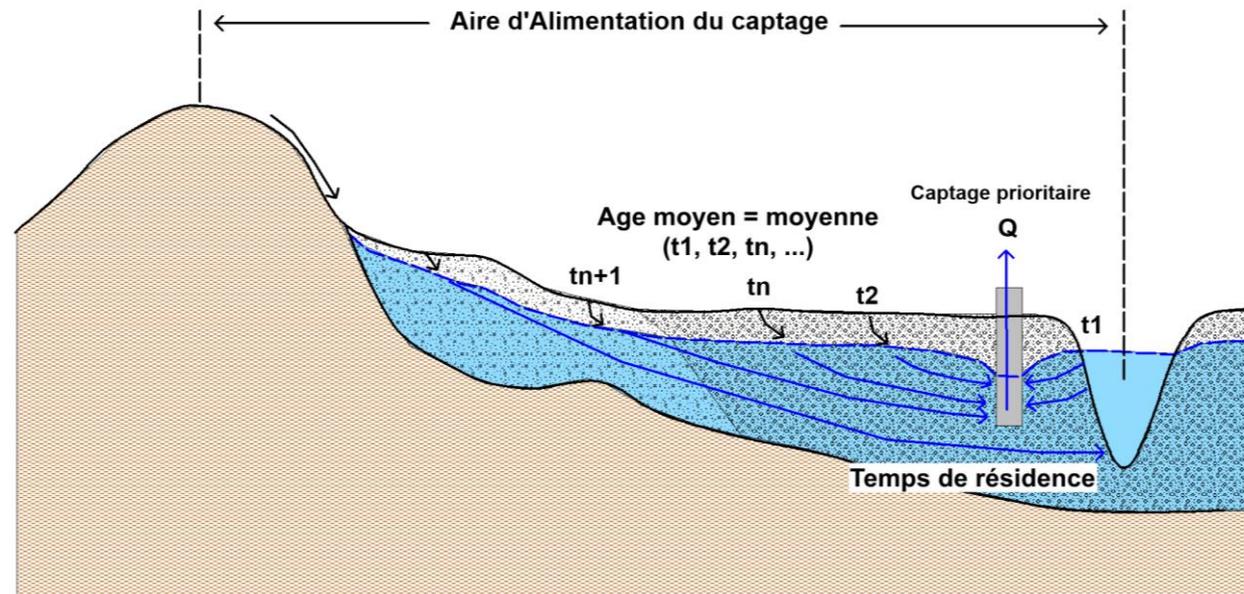
Age

≠

Temps de résidence

...Mais souvent confondus

*Age = TR à l'exutoire uniquement*



Un captage est alimenté par une **multitude de gouttes d'eau** qui ont des **âges différents** : on ne peut donc estimer que le temps moyen de renouvellement de la nappe dans son ensemble, c'est pourquoi on parle d'**âge moyen** (ou d'âge apparent)

# Délai de renouvellement des aquifères

## Principe de la méthode

Atmosphère année N

ZNS

Nappe

$t_0$

Sign. Atmosph. N

Sign. Atmosph. N-1

Sign. Atmosph. N-2

Rivière

Les gaz, une fois dissous dans la nappe, s'isolent de l'atmosphère et conservent leur signature atmosphérique.

# Délai de renouvellement des aquifères

## Comment l'estimer ?

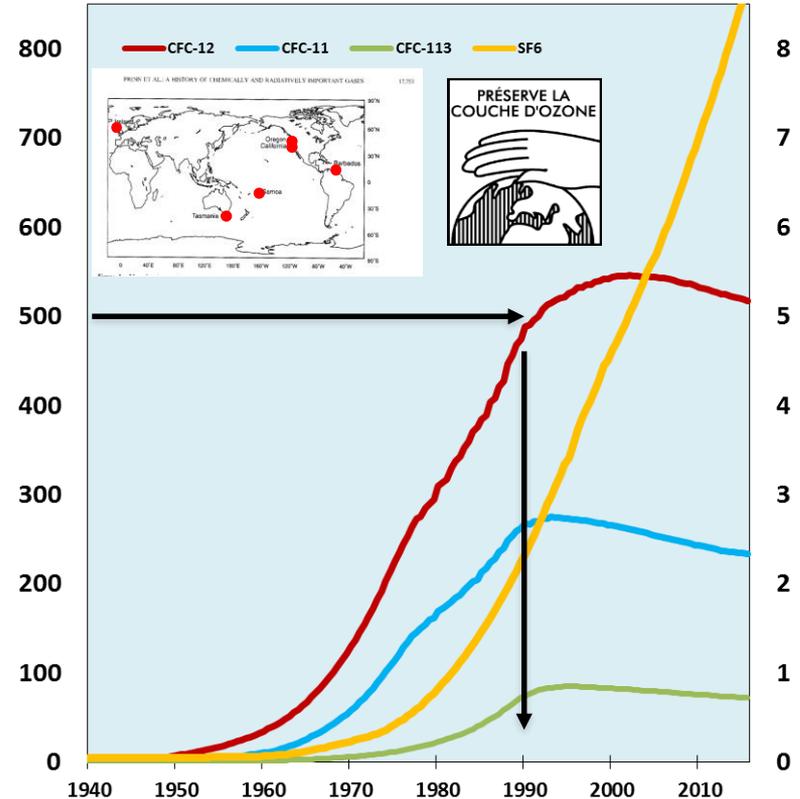
- Traceurs atmosphériques  
CFC-SF6



*Courbe valable sur toute l'hémisphère nord  
4 traceurs utilisés simultanément*

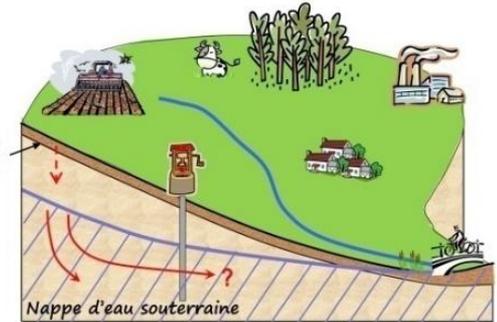
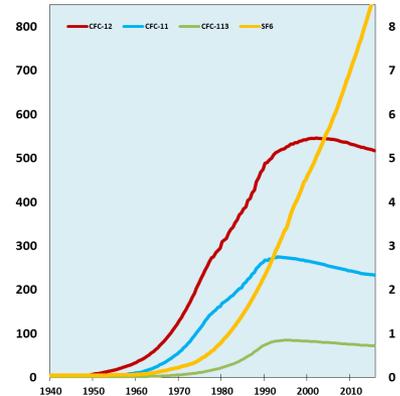
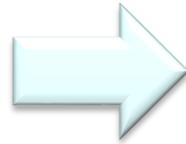
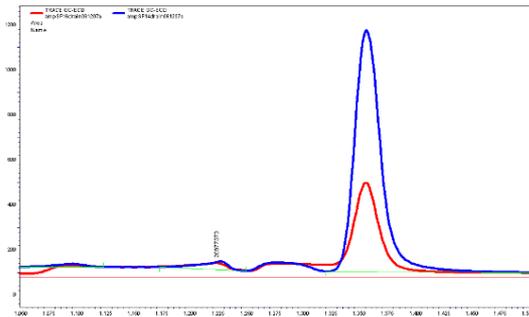


*Analyse de pointe : pmol/L ( $10^{-12}$ )  
Une dizaine labos dans le monde  
dont Rennes depuis 2003*



# Délai de renouvellement des aquifères

## Comment l'utiliser?

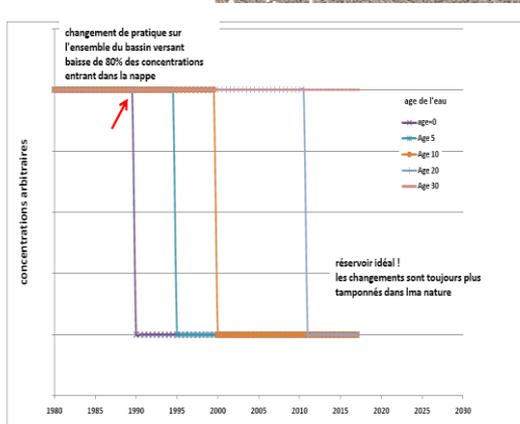
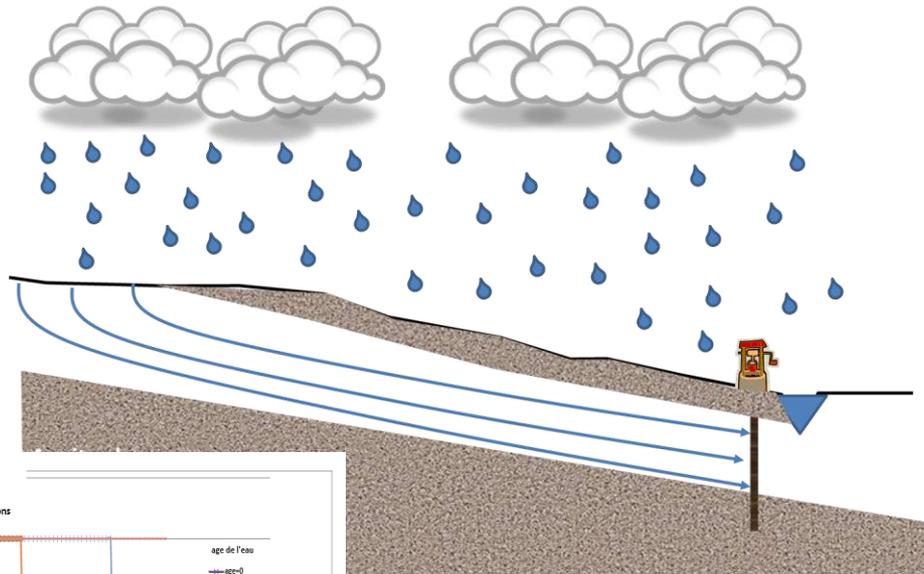


L'âge moyen de la nappe est interprété sur la base de 3 modèles hydrogéologiques simples.

- piston
- recharge continu
- mélange binaire

# Délai de renouvellement des aquifères

## Comment l'utiliser?



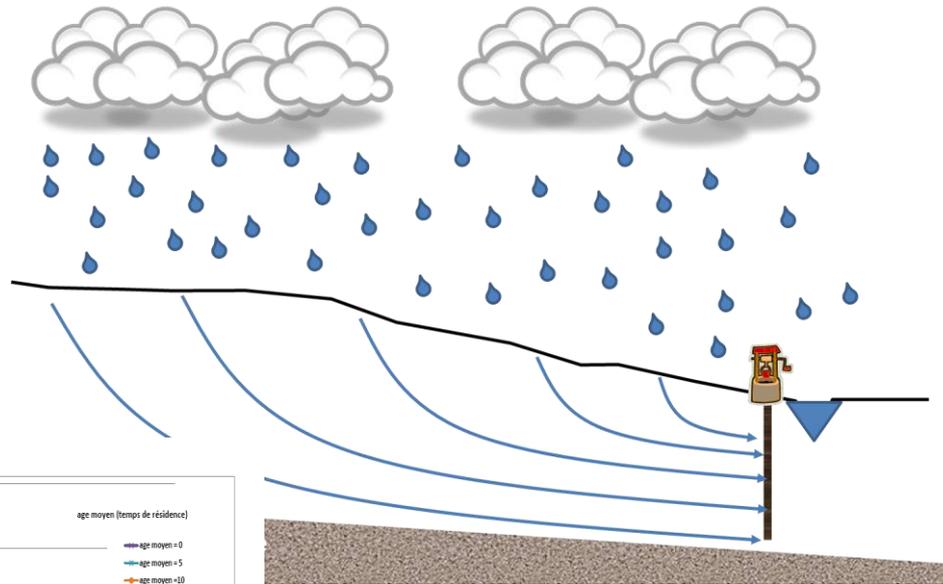
### Modèle Piston

Zone de recharge localisée, isolement au cours de la circulation souterraine

- Toutes les lignes d'eau ont le même « âge », tous les traceurs sont concordants
- Peu réaliste : « âge piston » ou « âge apparent »

# Délai de renouvellement des aquifères

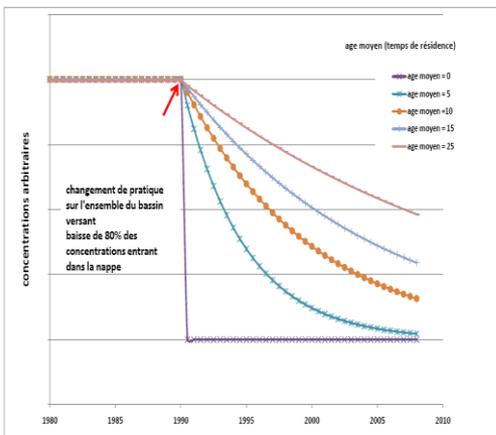
## Comment l'utiliser?



### Modèle Exponentiel ou à recharge continue

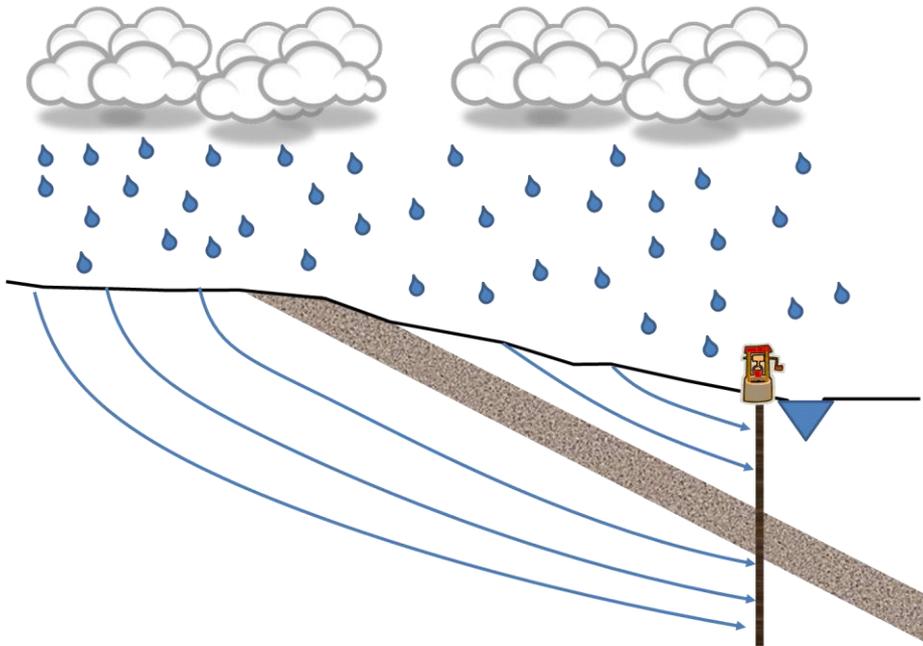
La recharge s'effectue sur tout le bassin versant, à un point donné c'est donc un mélange d'eau de tous âges.

- La répartition des âges répond à une distribution exponentielle
- Le temps obtenu est âge moyen pour lequel 2/3 de la nappe a été renouvelée



# Délai de renouvellement des aquifères

## Comment l'utiliser?



### Modèle de mélange binaire

Mélange entre deux masses d'eau de zone de recharge distinctes et restreintes sous sa forme la plus simple.

Peut être complexifié à l'infini (zone de recharges continues)

# Délai de renouvellement des aquifères

## Comment lire les résultats ?

L'âge des eaux qui est calculé est un âge moyen apparent **valable pour les conditions hydrologiques au moment du prélèvement**, sans tenir compte :

- du temps nécessaire à la recharge pour **traverser la zone non saturée** (la plupart des nappes exploitées sont toutefois peu profondes),
- des **interactions** possibles entre les **nitrates & pesticides et les sols**, pouvant ralentir la migration des contaminants au sein de la nappe.



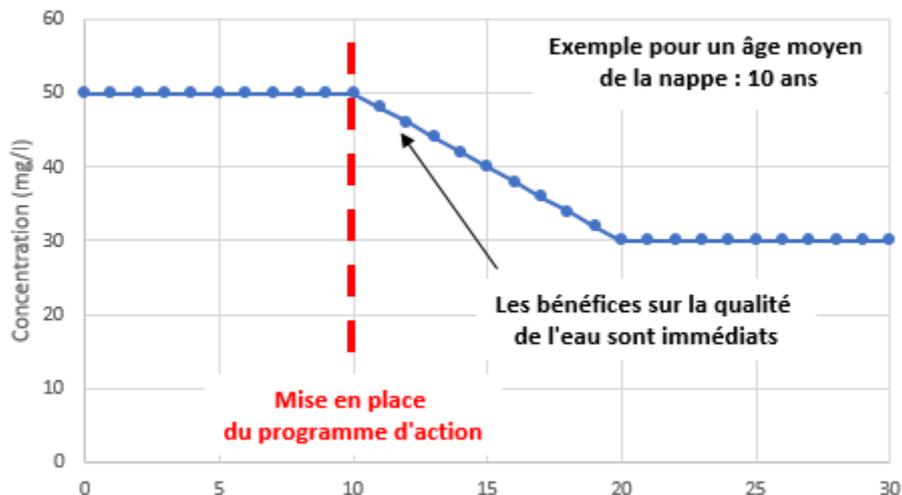
**En toute rigueur, il faut donc ajouter un facteur de retard aux âges de renouvellement moyen des nappes.**

Dans l'objectif d'apprécier ce facteur de retard, il a été introduit la notion de **réactivité de la nappe aux modalités de recharge.**

# Délai de renouvellement des aquifères

## Réactivité de la nappe aux modalités de recharge

**Type 1 – Point d'eau représentatif d'un système sans facteur de retard**



### 4 types de recharge ont été définis

La recharge des aquifères de chaque captage a été caractérisée à dire d'expert en fonction de :

- de la nature et de l'épaisseur couverture,
- de l'épaisseur de la zone non saturée,
- des chroniques en nitrates

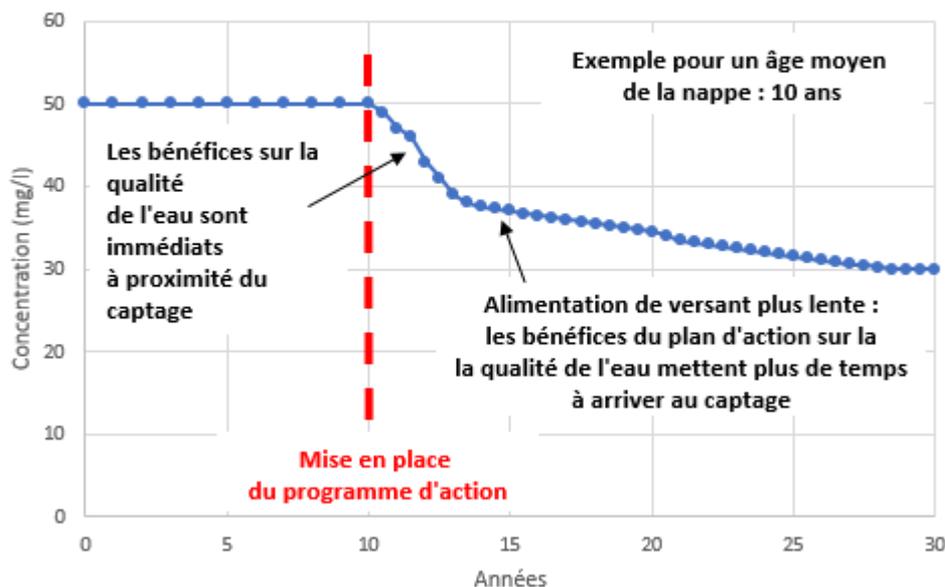
**Type 2 – Point d'eau représentatif d'un système avec facteur de retard**



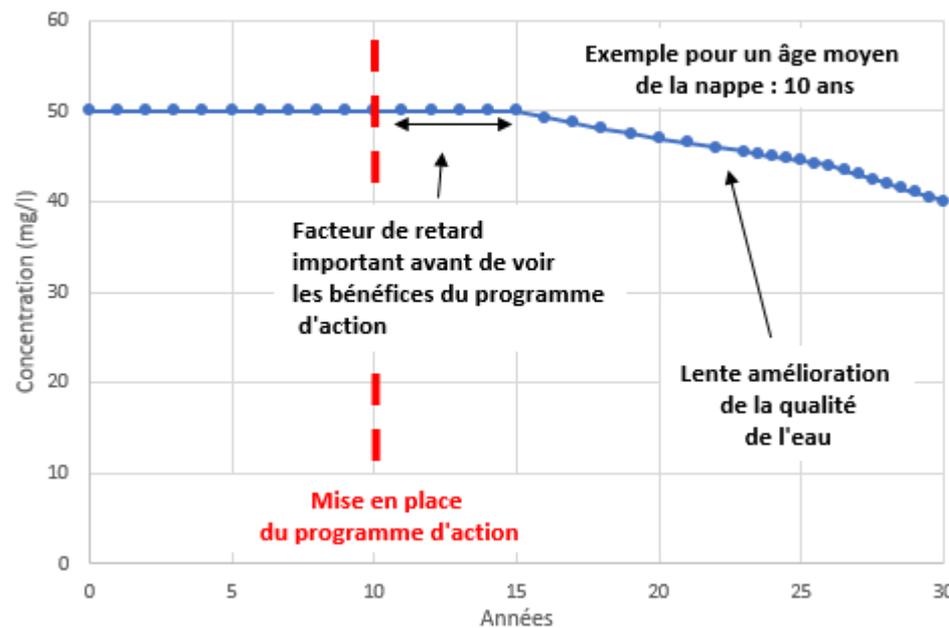
# Délai de renouvellement des aquifères

## Réactivité de la nappe aux modalités de recharge

**Type 3 – Point d'eau représentatif d'un système mixte sans facteur de retard aux abords du captage et une réaction plus lente sur le reste de l'aire d'alimentation**



**Type 4 – Point d'eau représentatif d'un système inertiel laissant présager une recharge lente de la nappe**



# Délai de renouvellement des aquifères

## Indice de confiance des résultats

### MODELES PISTON ET EXPONENTIEL

Indice de confiance	BON	MOYEN	MAUVAIS
Nombre de traceurs	$\geq 3$	$\geq 3$	< 3 ou $\geq 3$ et erreur > 30%
Convergence des résultats	$\leq 15\%$	$15\% \leq \text{erreur} \leq 30\%$	

### MODELE MELANGE

Indice de confiance	BON	MOYEN	MAUVAIS
Nombre de traceurs	$\geq 3$	$\geq 3$	2 traceurs exploitables
Convergence des résultats	Convergenents (3+ ou 4+)	Peu convergenents (3- ou 4-)	

Résultats exploitables

Résultats à croiser avec d'autres méthodes

**Campagne 2017 :**

**86% des résultats ont un indice de confiance Moyen à Bon : 100 captages / total de 116**

# Délai de renouvellement des aquifères

## Résultats de la campagne 2017

➤ L'âge moyen apparent des eaux est relativement élevé

ME et BE 2017 indice de confiance Bon et Moyen							
Classe d'âge (années)	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Total	Pourcentage	Pourcentage cumulé
<= 10	13	3	1	0	17	17%	17%
10 à 15	6	3	2	0	11	11%	28%
15 à 20	7	8	2	0	17	17%	45%
20 à 25	6	2	6	0	14	14%	59%
25 à 30	18	3	3	0	24	24%	83%
> 30	8	7	2	0	17	17%	100%
TOTAL	58	26	16	0	100	100%	

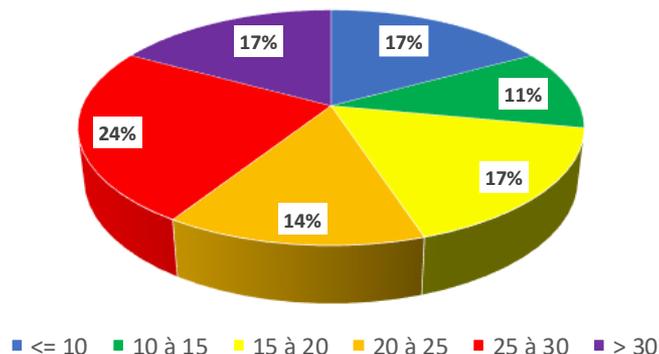
Résumé :

28% < 15 ans

15 ans < 55% < 30 ans

17% > 30 ans

Campagnes de ME et BE 2017 : Âge moyen apparent des eaux pour les indices de confiance Bon et Moyen



➤ Les niveaux de nappe particulièrement bas en 2017 peuvent expliquer ces résultats : la proportion des flux de nappe les plus lents est majoritaire

**Ces résultats sont à moduler** au regard de la caractérisation de la réactivité de l'aquifère aux modalités de recharge : **la majorité des points de prélèvement sont de type 1 (sans facteur de retard – bénéfiques immédiats sur la qualité de l'eau)**



# Délai de renouvellement des aquifères

## Résultats de la campagne 2017

### Secteur des Vosges :

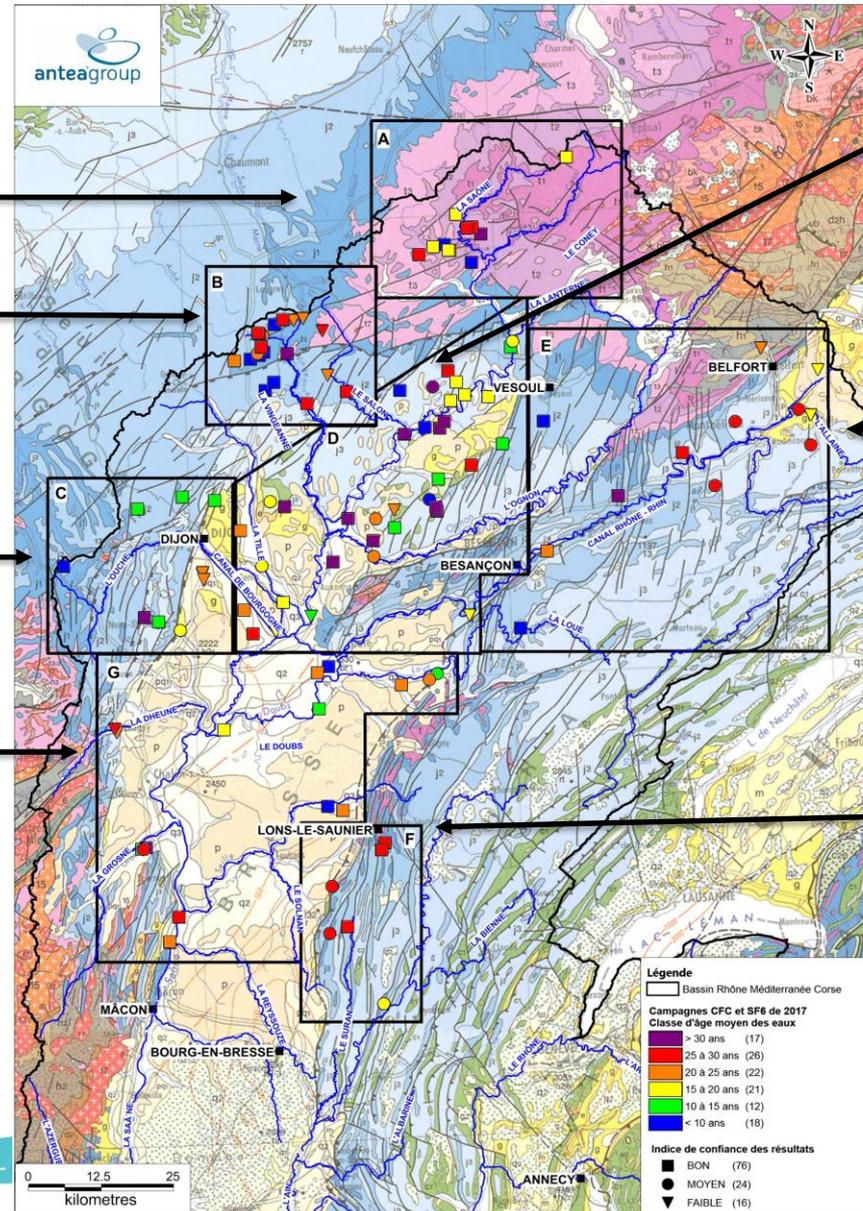
- Âge moyen < 10 ans pour 2 captages
- les autres captages ont des âges apparents de 15 à 30 ans

### P. De Langres :

- Soit des eaux d'âge moyen < 10 ans
- soit des eaux d'âge moyen compris entre 20 et 30 ans

### Côte Dijonnaise :

- la majorité des eaux ont un âge moyen compris entre 10 et 15 ans



Dans la partie septentrionale du Fossé Bressan, les eaux sont plutôt anciennes (> 30 ans)

Dans la partie amont de la vallée du Doubs ainsi que les sources karstiques de part et d'autre de la vallée montrent également des eaux de plus de 25 ans

Au pied du massif du Jura, les quelques sources prélevées montrent également des eaux de plus de 25 ans d'âge moyen,

Les captages implantés dans le fossé bressan, on retrouve des captages avec des eaux d'âge moyen < 10 ans correspondant aux alluvions et des eaux d'âge moyen > 20 ans marquées par une alimentation de versant.

# Délai de renouvellement des aquifères

## Conclusions

- La méthode de datation des eaux par dosage des CFC et SF6 indique des « âges d'eaux souterraines » beaucoup plus élevés que ce qui était attendu pour des ressources qui sont majoritairement peu profondes (vulnérables)
- Ce résultat est lié au fait qu'il s'agit d'une méthode analytique globale qui rend compte du **renouvellement de la nappe dans sa globalité**, à contrario des traçages qui renseignent sur les vitesses de transit les plus rapides
- L'outil permet néanmoins d'avoir un ordre de grandeur du délai nécessaire pour obtenir la totalité des bénéfices des actions engagées sur l'AAC en permettant de relativiser la durée nécessaire à la reconquête de la bonne qualité des eaux souterraines
- L'outil peut aider à la prise de décision pour orienter les actions en fonction des objectifs de délai des résultats attendus