



Captages

# ESTIMATION DU TEMPS MOYEN DE RENOUVELLEMENT DE L'EAU PAR DATATION À PARTIR DES CFC ET SF6

Synthèse des résultats 2017 - 2018  
sur les captages prioritaires du bassin

BASSIN RHÔNE-MÉDITERRANÉE

Mai 2019

## **Observations sur l'utilisation des fiches de synthèse**

---

Ces fiches de synthèse, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ces fiches de synthèse et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'ANTEAGROUP ne saurait engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**

Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018

Rapport n° 97988/A

## Sommaire

<b>1.</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Présentation de la méthode de datation.....</b>	<b>5</b>
2.1.	Définition de l'âge moyen d'une eau.....	5
2.2.	Principe de la méthode de datation à l'aide du couple CFC/SF6.....	6
2.3.	Classification des temps de résidence.....	8
2.4.	Indice de confiance des résultats.....	10
2.5.	Limite de la méthode.....	11
2.6.	Estimation de la réactivité de l'aquifère aux modalités de recharge.....	12
2.7.	Présentation des résultats.....	15
<b>3.</b>	<b>Résultats des campagnes d'analyses 2017 et 2018.....</b>	<b>16</b>
3.1.	Campagnes de prélèvements.....	16
3.2.	Régimes hydrologiques.....	16
3.3.	Fiabilité des résultats.....	18
3.4.	Résultats des campagnes de datation.....	19
3.4.1.	Répartition des âges pour l'ensemble des points.....	19
3.4.2.	Répartition des âges pour les indices de confiance fiables.....	20
3.5.	Modalités de recharge des nappes.....	21
3.6.	Répartition géographique.....	22
3.6.1.	Zones géographiques dans la partie nord du bassin.....	22
3.6.2.	Zones géographiques dans la partie sud du bassin.....	22

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**

*Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018*

*Rapport n° 97988/A*

**Liste des figures**

Figure 1 : Coupe schématique illustrant l'âge moyen d'une eau au captage.....	5
Figure 2 : Schéma de principe de la datation par les CFC-SF6 : enregistrement de la signature atmosphérique (Ayraud, 2005) .....	6
Figure 3 : Chroniques des concentrations dans l'air des CFC et du SF6 dans l'hémisphère Nord (NOAA).....	7
Figure 4 : Illustration des modèles hydrogéologiques appliqués pour déterminer l'âge moyen des eaux (CONDATE EAU).....	9
Figure 5 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 1 .....	12
Figure 6 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 2 .....	13
Figure 7 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 3 .....	14
Figure 8 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 4 .....	15
Figure 9 : Implantation des captages .....	17
Figure 10 : Classe d'âge moyen de la totalité des captages.....	19
Figure 11 : Classe d'âge moyen des captages d'indice de confiance Bon et Moyen .....	20
Figure 12 : Répartition des indices de réactivités par classes d'âge moyen .....	21
Figure 13 : Présentation cartographique des résultats - Classes d'âge moyen des eaux et indices de confiance des campagnes 2017 et 2018 .....	23

**Liste des tableaux**

Tableau 1 : Grille de l'indice de confiance des résultats.....	10
Tableau 2 : Indice de confiances des résultats.....	18

# 1. Introduction

Dans le cadre de la restauration de la qualité des eaux souterraines, 269 captages du bassin Rhône Méditerranée ont été désignés comme prioritaires dans le SDAGE 2016-2021 au titre de la lutte contre les pollutions diffuses (nitrates et pesticides).

Les captages prioritaires, politique nationale déclinée dans l'ensemble des SDAGE, doivent faire l'objet d'une étude devant permettre de définir leur aire d'alimentation (AAC) ainsi que les zones les plus vulnérables, puis d'un diagnostic territorial des pressions devant aboutir à la définition d'un programme d'actions. Cependant, la durée nécessaire pour la reconquête de la qualité de l'eau des captages prioritaires peut être longue, et fonction en particulier du temps de renouvellement des eaux dans la nappe.

Les objectifs de l'étude sont d'estimer le temps de renouvellement moyen des portions de nappe alimentant les captages prioritaires en eaux souterraines du bassin exposés à des contaminations en nitrates et pesticides. Ce temps moyen de renouvellement est une donnée qui permet de mieux appréhender le fonctionnement de l'aquifère et d'approcher le délai nécessaire pour obtenir les bénéfices des programmes d'actions engagés pour restaurer la qualité des eaux (d'autres facteurs sont à considérer comme les interactions des polluants avec le sol et la zone non saturée entre autres).

Cette étude est échelonnée sur les années 2017 et 2018 à raison de deux campagnes par an. Les campagnes se décomposent comme suit :

- En 2017 : 2 campagnes de 116 prélèvements représentant 108<sup>1</sup> captages au nord du bassin Rhône Méditerranée, répartis sur les départements de la Côte d'Or, du Doubs, du Jura, de la Haute Marne, de la Haute Saône, de la Saône-et-Loire, des Vosges et du Territoire de Belfort ;
- En 2018 : 2 campagnes de 163 prélèvements représentant 151<sup>2</sup> captages au sud du bassin Rhône Méditerranée, répartis sur les départements de l'Ain, des Alpes de Hautes Provence, de l'Aude, la Drôme, le Gard, l'Hérault, l'Isère, la Loire, les Pyrénées Orientales, le Rhône, la Savoie, la Haute Savoie, le Var et le Vaucluse.

L'Agence de l'eau RMC a confié l'étude au groupement constitué par ANTEA GROUP, mandataire, et la plateforme CONDATE EAU de l'Université de Rennes 1. La Plateforme CONDATE EAU a en charge la rédaction des protocoles de prélèvements, la journée de formation des préleveurs et la réalisation des analyses de datation. ANTEA Group a en charge la mise en forme et l'interprétation des résultats.

Le présent rapport constitue le rapport de synthèse de l'étude.

---

<sup>1</sup> Un captage prioritaire est suivi via un point de prélèvement d'un autre ouvrage aux caractéristiques similaires, et ne fait donc pas l'objet d'une analyse de datation.

<sup>2</sup> Un captage prioritaire en cours d'abandon a été retiré du marché.

## 2. Présentation de la méthode de datation

### 2.1. Définition de l'âge moyen d'une eau

Dater les eaux souterraines signifie déterminer le temps écoulé à partir du moment où l'eau devient souterraine, en d'autres termes, depuis son infiltration dans le sol à partir des précipitations ou depuis tout autre type d'eau de surface (rivières, lacs). A un point donné (forage, source), l'eau collectée correspond à une multitude de gouttes d'eau accumulées ayant un âge plus ou moins grand. L'échantillon résulte, la plupart du temps, d'un mélange de plusieurs eaux qui peuvent avoir une origine et une histoire dans le système aquifère différentes et donc un âge vrai différent.

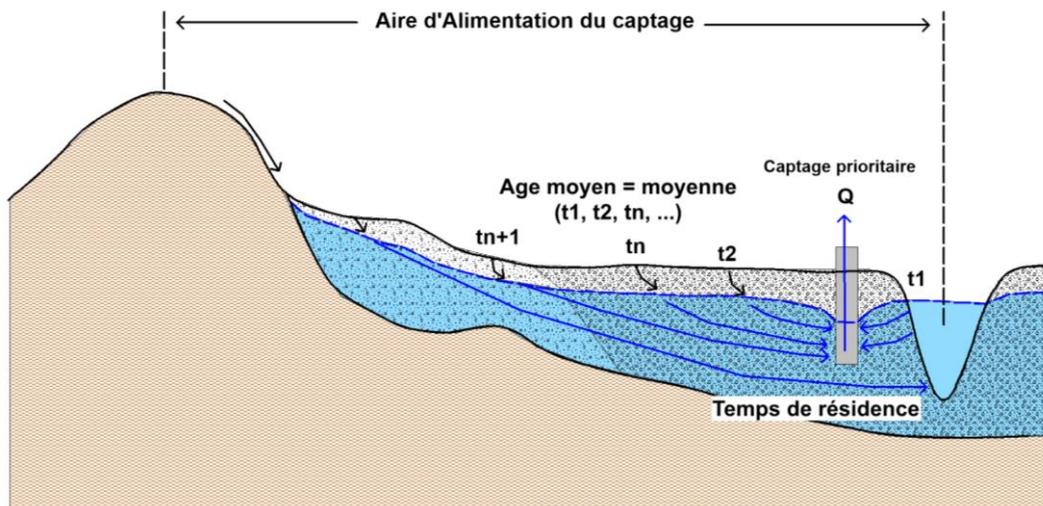


Figure 1 : Coupe schématique illustrant l'âge moyen d'une eau au captage

Etant donné qu'un échantillon d'eau souterraine est l'intégration de nombreuses lignes de flux (Cf. **Figure 1**), le résultat de la datation ne représente pas un âge « unique » mais plutôt une moyenne pondérée d'une distribution de l'âge des eaux souterraines. C'est pour cela que l'âge estimé par les traceurs chimiques est considéré et nommé âge « apparent ». Il existe plusieurs méthodes pour calculer ou estimer l'âge des eaux souterraines. Pour cette étude, la méthode des gaz CFC et SF6 a été utilisée.

## 2.2. Principe de la méthode de datation à l'aide du couple CFC/SF6

La datation des eaux souterraines au travers de l'analyse des CFC et du SF6 permet de fournir des éléments de réponses sur la dynamique des aquifères sur les 60 dernières années (eaux postérieures à 1950).

Cette méthode se base sur le principe de conservation de la signature atmosphérique que l'eau acquiert au moment où elle pénètre dans la nappe d'eau souterraine. Les traceurs gazeux présents dans l'atmosphère passent la zone non saturée selon un transport diffusif avant d'entrer dans l'eau souterraine sous forme de gaz dissous suivant la loi d'Henry.

L'eau de la zone non saturée et l'eau du toit de la nappe se mettent en équilibre avec l'atmosphère et notamment avec les concentrations en CFC et SF6 présents dans l'air à cet instant. Par la suite, l'eau du toit de la nappe est isolée de l'atmosphère par les précipitations suivantes et conserve sa signature atmosphérique.

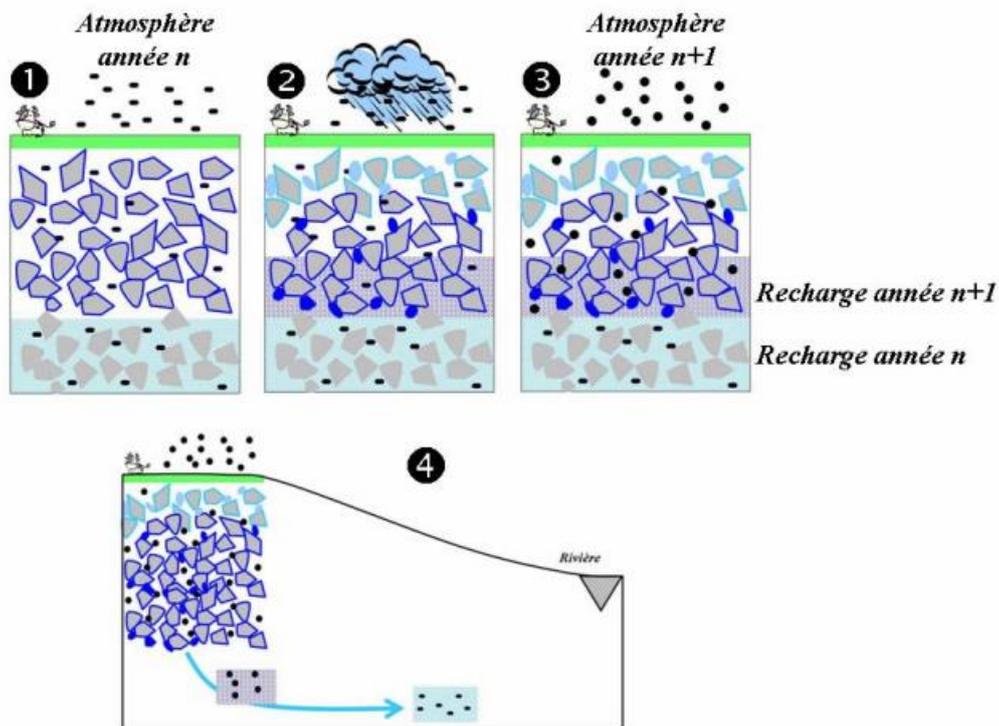


Figure 2 : Schéma de principe de la datation par les CFC-SF6 : enregistrement de la signature atmosphérique (Ayraud, 2005)

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**

Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018

Rapport n° 97988/A

Le principe de datation repose sur la comparaison des concentrations en gaz dissous dans les eaux souterraines et les chroniques de concentration des gaz CFC et SF6 dans l'atmosphère. Ces dernières sont parfaitement connues puisque depuis la fin des années 1970, les stations du projet AGAGE (Advanced Global Atmospheric Gases Experiment) enregistrent quotidiennement les teneurs atmosphériques des gaz à effet de serre et destructeurs de la couche d'ozone dont font partis les CFC et le SF6. Pour cette étude les chroniques atmosphériques des CFC et du SF6 correspondent aux valeurs moyennes mesurées sur l'ensemble des stations de l'hémisphère Nord (cf. **Figure 3**).

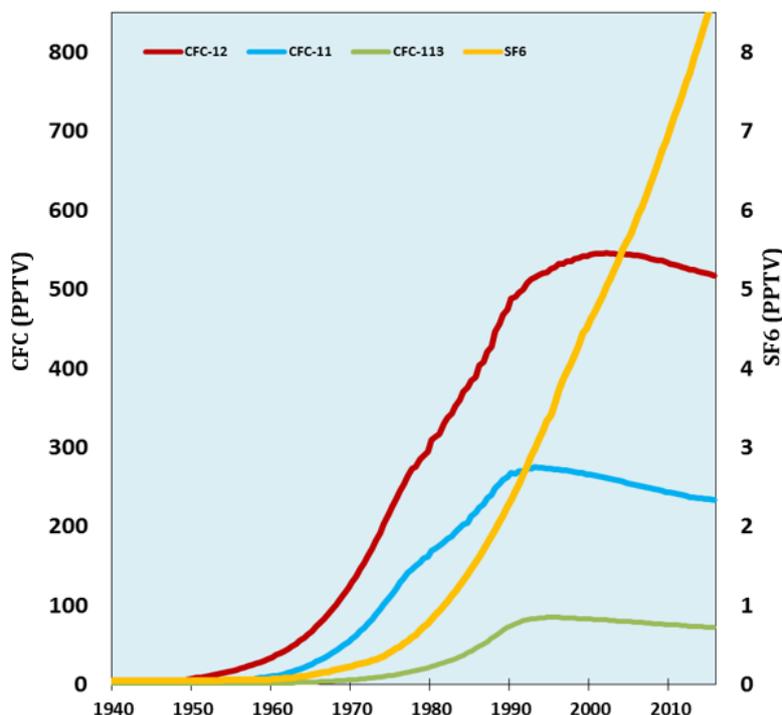


Figure 3 : Chroniques des concentrations dans l'air des CFC et du SF6 dans l'hémisphère Nord (NOAA)

Contrairement aux concentrations en SF6 qui ne cessent de croître dans l'atmosphère, l'évolution des concentrations en CFC présente un plateau à la fin des années 1990 puis une décroissance des concentrations liée à l'application du protocole de Montréal en 1985 visant à supprimer les CFC. Ce phénomène fait que dans certains cas, pour une même concentration de CFC, deux âges peuvent être estimés, d'où l'utilité de combiner les résultats avec ceux du SF6.

Cette méthode de datation repose sur plusieurs conditions :

- La pression partielle (concentration) des gaz est identique dans le sol et dans les couches basses de l'atmosphère ;
- La température et l'altitude de recharge peuvent être estimées ;
- L'aquifère n'est pas contaminé par des sources anthropiques (urbaines, agricoles, industrielles) ;
- L'eau de recharge est en équilibre avec l'atmosphère du sol ;

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6***Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018**Rapport n° 97988/A*

- Les concentrations en CFC et SF6 n'ont pas été altérées par des processus biologiques, géochimiques ou hydrologiques (certains paramètres d'altération sont décrits dans le paragraphe suivant) ;
- Aucun contact entre l'échantillon et l'atmosphère ou toute autre source de CFC ou SF6 n'a eu lieu lors du prélèvement.

### 2.3. Classification des temps de résidence

Sur la base des hypothèses de température et de l'altitude de recharge, les données sont converties en concentrations atmosphériques équivalentes, puis le temps de résidence est estimé selon 3 modèles de circulation des eaux souterraines qui sont :

- Le modèle Piston : ce modèle considère que la zone de recharge de la nappe est localisée et que toutes les lignes d'eau arrivant au forage ont parcouru la même distance et qu'elles ont donc le même « âge ». Ce type de modèle reflète souvent le fonctionnement d'une nappe captive.
- Le modèle Exponentiel : l'ouvrage capte une multitude de ligne d'eau couvrant l'ensemble des temps de résidence possible en fonction de la portion de nappe alimentant le captage. La valeur fournie par le modèle correspond au temps nécessaire au renouvellement des 2/3 de l'aquifère : c'est-à-dire la valeur d'âge pour laquelle 66% des lignes d'eau sont plus jeunes. Ce type de modèle reflète souvent une nappe libre.
- Le modèle Mélange : ce modèle correspond à un mélange de deux nappes aux temps de résidence moyens (modèle piston) différents. Le modèle le plus simple est de tester le mélange entre une eau récente (valeur en CFC < 5 ans) et une eau ancienne sans CFC (>60 ans). L'incertitude sur ce modèle est fonction du nombre de traceurs utilisés/utilisables et de la cohérence des résultats en termes de % et d'âge de réservoir donné par chaque traceur.

Le choix du modèle de circulation est réalisé en fonction du contexte hydrogéologique et de la cohérence des résultats entre les différents traceurs. L'âge moyen de l'eau d'un captage est calculé pour les campagnes de hautes et de basses eaux. Les résultats définitifs sont présentés sous forme résultats de classes d'âges moyens apparents qui sont :

- Inférieur à 10 ans,
- Compris entre 10 et 15 ans,
- Compris entre 15 et 20 ans,
- Compris entre 20 et 25 ans,
- Compris entre 25 et 30 ans,
- Supérieur à 30 ans.

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**  
 Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018

Rapport n° 97988/A

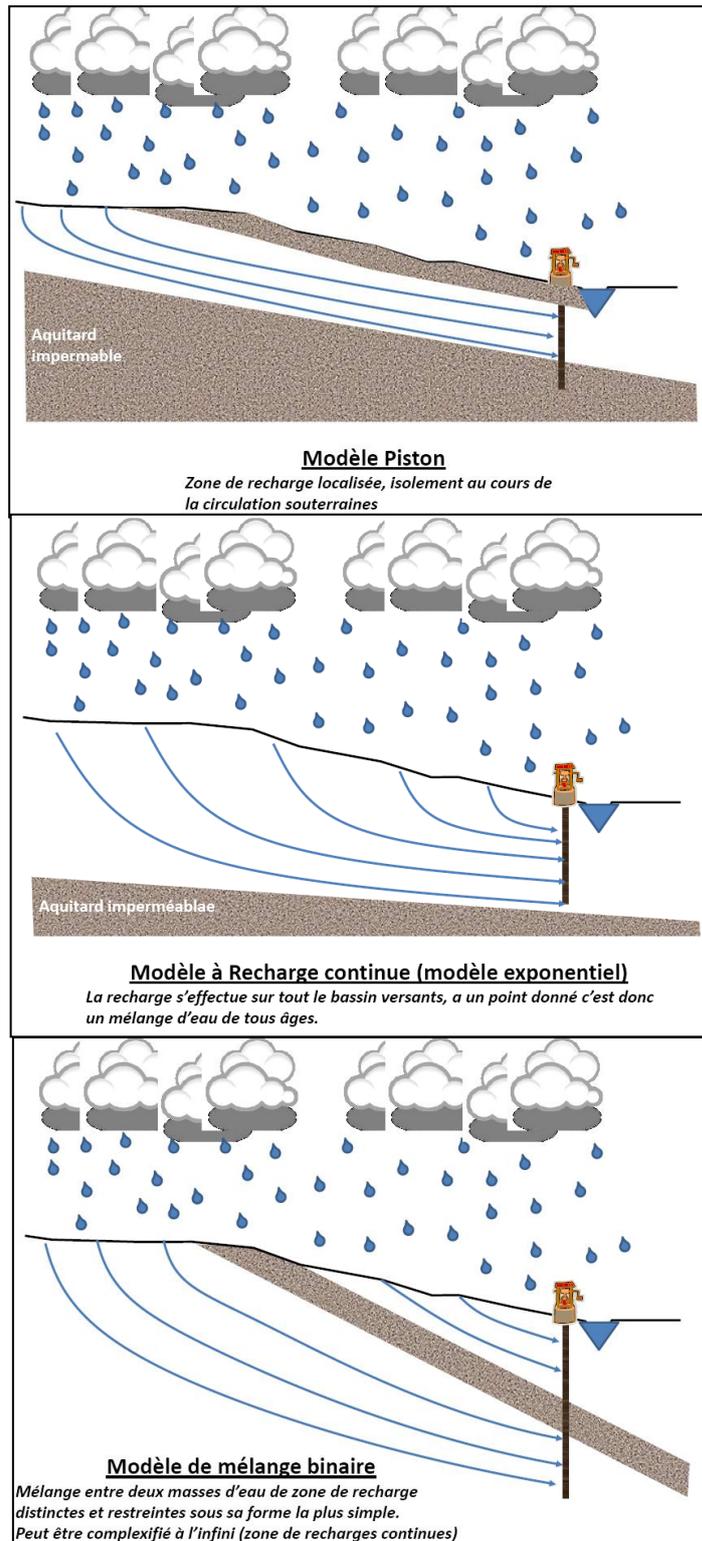


Figure 4 : Illustration des modèles hydrogéologiques appliqués pour déterminer l'âge moyen des eaux (CONDAT EAU)

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**

Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018

Rapport n° 97988/A

## 2.4. Indice de confiance des résultats

La qualité des résultats sur chaque captage a été évaluée en trois niveaux (bon, moyen et mauvais) en fonction de plusieurs paramètres qui sont le nombre de traceurs exploitables (1 à 4) et la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne. Les règles que nous avons appliquées sont présentées ci-dessous et illustrées par le **Tableau 1**. Erreur ! Source du renvoi introuvable.

MODELES PISTON ET EXPONENTIEL			
Indice de confiance	BON	MOYEN	MAUVAIS
Nombre de traceurs	≥ 3	≥ 3	< 3 ou ≥ 3 et erreur > 30%
Convergence des résultats	≤ 15%	15% ≤ erreur ≤ 30%	

MODELE MELANGE			
Indice de confiance	BON	MOYEN	MAUVAIS
Nombre de traceurs	≥ 3	≥ 3	2 traceurs exploitables
Convergence des résultats	Convergens (3+ ou 4+)	Peu convergens (3- ou 4-)	

## 2.5. Limite de la méthode

Il est rappelé que la méthode de datation par CFC et SF6 permet d'estimer l'âge moyen d'une eau ou le temps moyen nécessaire au renouvellement de la nappe d'eau souterraine. Ce temps de résidence moyen représente en réalité la distribution moyenne d'une multitude de ligne de flux entre l'impluvium et le captage. C'est pourquoi, nous avons décidé de présenter les résultats sous forme de « Classes de temps de résidence moyen des eaux ».

Il ne faut pas perdre de vue que les âges moyens de renouvellement des nappes annoncés dans cette étude n'intègrent pas :

- Le temps nécessaire à la molécule d'eau pour traverser la zone non saturée. Ce retard dépend en premier lieu des propriétés intrinsèques du composé (nitrates ou produit phyto sanitaire) telle que sa solubilité, mais aussi de la teneur en eau du sol, de la tortuosité, de la profondeur de la nappe au point considéré et du taux de recharge dans une moindre mesure. Les retards observés peuvent varier de 1 à 2 ans pour une ZNS de 10 m d'épaisseur<sup>3</sup>, voire à plusieurs années selon les caractéristiques de la ZNS (épaisseur, nature des terrains et formations rencontrés) et le CFC-11 semble plus sujet à ce « retard » que les autres CFC<sup>4</sup> ;
- Les facteurs d'interaction des nitrates & pesticides avec la matrice sol peuvent aussi aboutir à ralentir la migration des contaminants. C'est particulièrement vrai pour les pesticides dont les interactions avec le milieu sont complexes. Ce phénomène est vraisemblablement plus limité pour les nitrates même si les études récentes réalisées par le BRGM ont montré l'existence de facteur de retard dans des milieux fluvio-glaciaires de l'Est Lyonnais, c'est-à-dire plutôt grossiers<sup>5</sup>.

### En conclusion :

- **Les âges moyens permettent de déterminer le temps nécessaire au renouvellement de la nappe, à partir du moment où la molécule d'eau entre dans la zone saturée de l'aquifère (= la nappe) ;**
- **Les âges moyens permettent d'approcher le temps de récupération de la qualité de l'eau au droit du point de prélèvement, mais elle n'est pas suffisante, compte tenu des autres facteurs d'interaction existants à considérer (parcours des molécules de nitrates et de produits phytosanitaires dans la zone non saturée, ...)** ;

<sup>3</sup> Cook et Salomon, 1995

<sup>4</sup>D'après la Thèse de Virginie VERGNAUD-AYRAUD sur la Détermination du temps de résidence des eaux souterraines : application au transfert d'azote dans les aquifères fracturés hétérogènes, 2 décembre 2005, Université de Rennes 1

<sup>5</sup> Projet « Pesticides et Nitrates dans les Alluvions Anciennes : étude des Transferts en milieu Hétérogène » 2012 – 2016. Modélisation du transfert du nitrate sur le couloir de Meyzieu et analyse du transfert des quelques pesticides. Présentation du BRGM.

## 2.6. Estimation de la réactivité de l'aquifère aux modalités de recharge

La traversée de la zone non saturée et les possibles interactions des molécules avec la matrice sol sont à l'origine de facteurs de retard, c'est-à-dire de laps de temps supplémentaires qu'il faut ajouter à l'âge moyen des eaux souterraines déterminé par la méthode de datation CFC et SF6, de manière à avoir une estimation du délai véritable nécessaire pour observer les bénéfices des programmes d'actions engagés pour restaurer la qualité des eaux. Pour aider à apprécier la réactivité de la nappe aux modalités de recharge, les captages étudiés ont été classés suivant 4 types de comportement.

- Type 1 – Point d'eau représentatif d'un système sans facteur de retard  
Ce type d'aquifère correspond à un contexte de nappe peu profonde, caractérisé par une couverture drainante, peu épaisse laissant présager des vitesses d'infiltration rapides de la recharge vers la nappe.

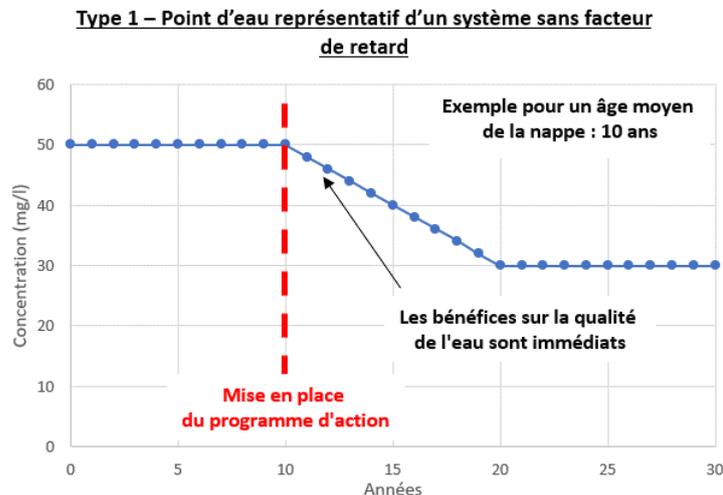


Figure 5 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 1

Dans le cas présent, aucun facteur de retard n'est à considérer par rapport à l'âge moyen estimé par la méthode des CFC et SF6 : on suppose que la nappe est peu profonde et l'amélioration de la qualité de l'eau devrait avoir rapidement des effets.

- Type 2 – Point d'eau représentatif d'un système avec facteur de retard  
Ce type correspond à un contexte de nappe peu profonde, caractérisé par la présence de terrain de couverture favorable au phénomène de piégeage et de remobilisation des intrants, induisant un facteur retard non pris en compte dans l'évaluation des âges apparents.

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**

Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018

Rapport n° 97988/A

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

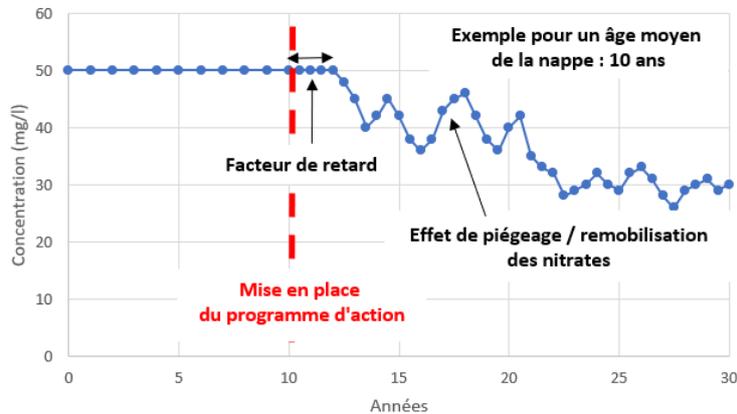


Figure 6 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 2

Pour les captages de type 2, il faut ajouter à l'âge moyen un facteur retard qui dépendra de l'épaisseur de la zone non saturée et de la nature de la couverture protectrice de l'aquifère : plus la zone non saturée sera épaisse et plus le facteur de retard sera long, de même plus la couverture sera argileuse et plus le facteur de retard augmentera. Il est en plus possible d'observer des phénomènes de piégeage des nitrates au sein de la couverture qui seront remobilisés en période de fortes pluies et de nappe haute.

➤ 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

Ce type d'aquifère s'applique pour un point d'eau représentatif d'un aquifère bénéficiant d'une recharge rapide près du captage (type 1) et d'une recharge plus lente sur le reste de l'impluvium (type 4 ou 2).

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**

Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018

Rapport n° 97988/A

**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**

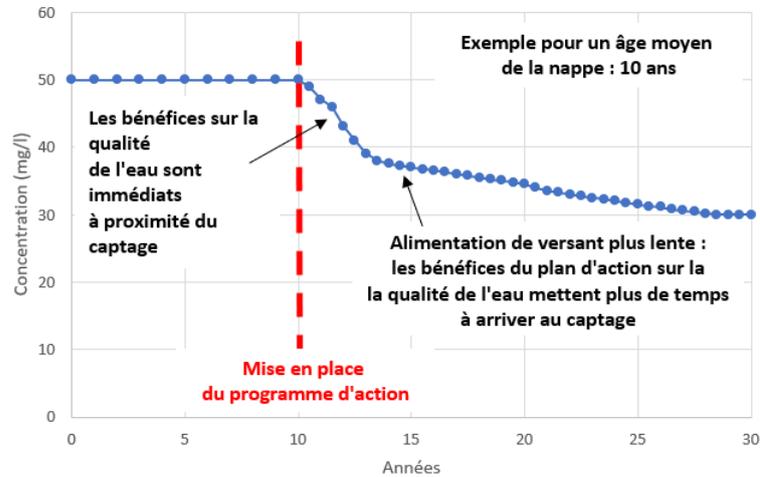


Figure 7 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 3

Les points de prélèvement qui captent ce type de nappe peuvent correspondre par exemple à une nappe alluviale bénéficiant d'une alimentation mixte :

- Par les précipitations au droit de la plaine alluviale : les bénéfices du plan d'action sur la qualité de la nappe devraient être rapidement visibles,
- Par une nappe de versant avec des vitesses de transit plus lentes : ces écoulements mettent plus de temps à arriver au captage ce qui se traduira par une plus lente amélioration de la qualité de l'eau.

L'amélioration de la qualité de la nappe dépendra bien-sûr de la proportion des différentes alimentations et il est possible en plus d'observer un facteur de retard et/ou des effets de piégeage/remobilisation des nitrates si la nappe alluviale bénéficie d'une couverture protectrice épaisse à dominante argileuse.

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

Ce type correspond à une nappe relativement profonde ou mal connectée à la surface du fait de la présence de terrain de couverture ou d'intercalaires peu perméables susceptibles de ralentir la pénétration des eaux en profondeur et de ralentir les écoulements vers la nappe.

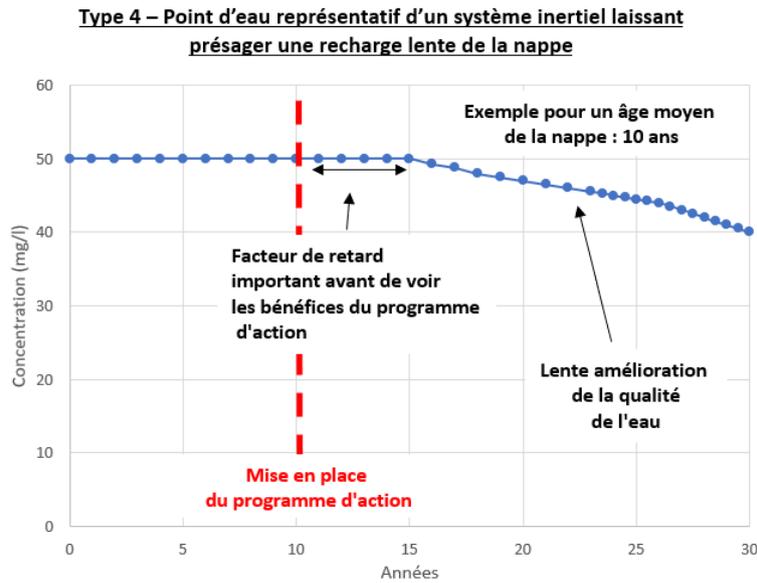


Figure 8 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 4

Dans ce dernier cas, la recharge par les pluies met du temps pour arriver dans la nappe, ce qui se traduit par un effet retard relativement long et une lente amélioration de la qualité de l'eau.

## 2.7. Présentation des résultats

Pour chaque point de prélèvement, l'ensemble des informations collectées est présenté sur une fiche de synthèse découpée en 7 parties comportant des informations cartographiques sur le bassin d'alimentation des captages, les informations d'ordre générales, les informations relatives à l'aquifère, la présentation du contexte hydrogéologique, les résultats des campagnes de datation CFC et SF6, l'indice de confiance et le comportement vis-à-vis des modalités de recharge de la nappe.

Les résultats sont également présentés plus en détail dans un fichier Excel avec une ligne par point de prélèvement et par campagne.

## **3. Résultats des campagnes d'analyses 2017 et 2018**

### **3.1. Campagnes de prélèvements**

Il a été réalisé deux campagnes de prélèvement en 2017 et en 2018 :

- En 2017, 116 captages ont été prélevés représentant 108 captages prioritaires répartis sur le territoire nord du bassin Rhône Méditerranée (**Cf. Figure 9**). La campagne de hautes eaux a été réalisée entre février et avril 2017 et celle de basses eaux entre juillet et septembre 2017.
- En 2018, 163 captages ont été prélevés représentant 151 captages prioritaires répartis sur le territoire sud du bassin Rhône Méditerranée. La campagne de hautes eaux a été réalisée entre février et mars 2018 et celle de basses eaux entre juillet et septembre 2018.

### **3.2. Régimes hydrologiques**

La fin d'année 2016 et le début d'année 2017 ont été marqués par un fort déficit pluviométrique qui a eu pour effet d'impacter la recharge des nappes qui étaient anormalement basses entre février et avril 2017. Cette première campagne a été assimilée à une campagne de moyennes eaux. Les niveaux bas se sont maintenus lors de la campagne de basses eaux de 2017.

L'année 2018 était plus dans la normalité avec un début d'année marqué par une forte recharge et des niveaux des nappes qui étaient plutôt bas dans les départements du nord et des niveaux de nappes plutôt hauts dans les départements du sud. Les campagnes de février/mars et juillet/septembre 2018 ont été respectivement qualifiées de campagnes de hautes et basses eaux.

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**  
**Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018**

Rapport n° 97988/A

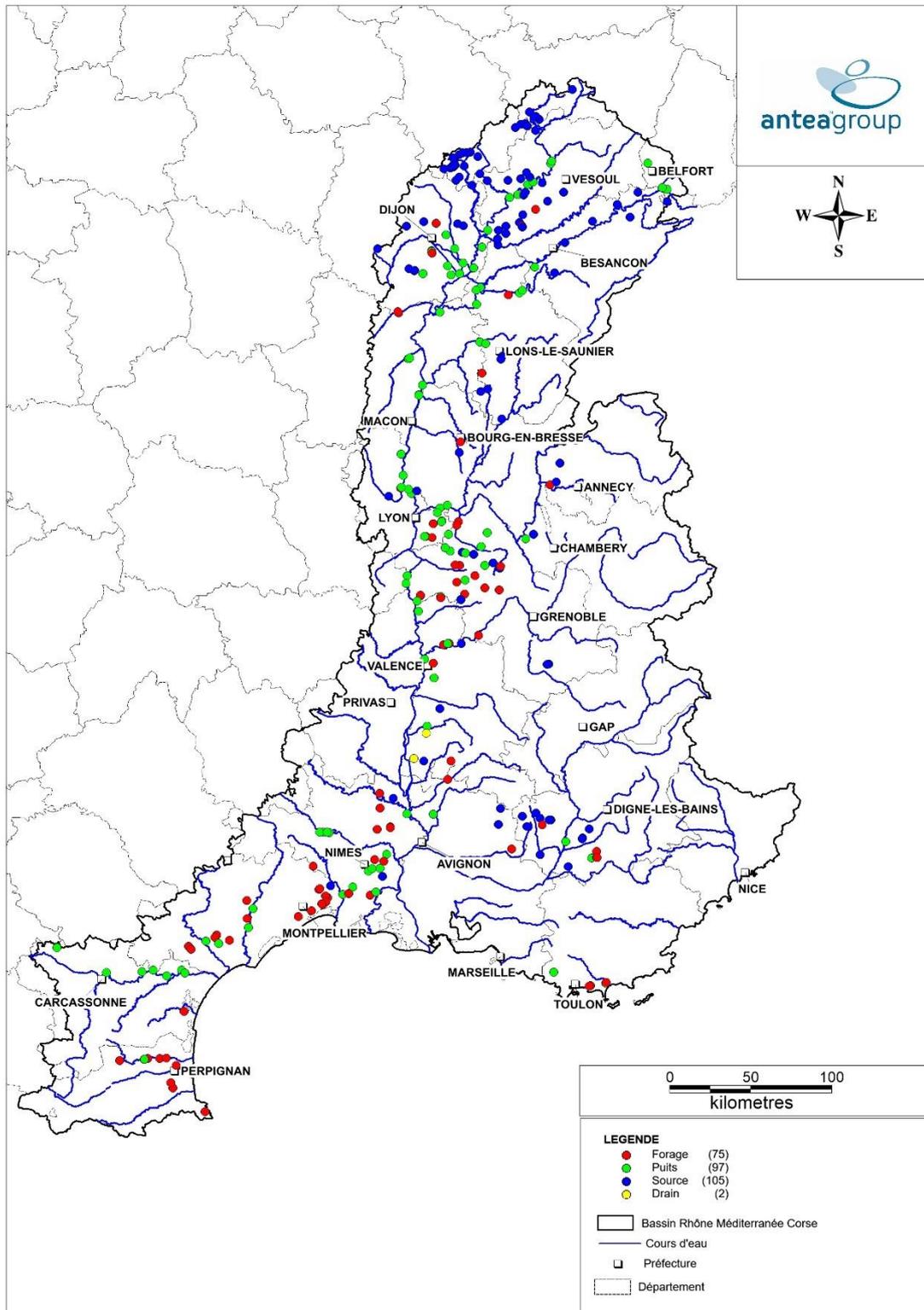


Figure 9 : Implantation et nature des captages

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**

Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018

Rapport n° 97988/A

### 3.3. Fiabilité des résultats

L'indice de confiance des résultats est présenté dans le tableau ci-dessous.

ANNEE		ANNEES 2017 ET 2018		2017		2018	
Indice de confiance		BASSIN RMC		BASSIN RMC NORD		BASSIN RMC SUD	
		Nb de captage	%	Nb de captage	%	Nb de captage	%
Non interprétable		7	3%	0	0%	7	4%
Forte incertitude	Faible	89	32%	16	14%	73	45%
Fiable	Moyen	44	66%	24	86%	20	51%
	Bon	139		76		63	
TOTAL		279		116		163	

Tableau 2 : Indice de confiances des résultats

Les résultats sont considérés comme fiables pour les indices de confiance Bon et Moyen, ce qui représente 66% des captages sur les 279 captages prélevés. On dispose malgré tout d'une estimation des temps moyens de renouvellement des nappes pour 32% des captages dont l'indice de confiance est faible. Ces estimations devront être confortées par d'autres méthodes (analyse des chroniques analytiques, analyses isotopiques).

La qualité des résultats est bien meilleure dans la partie nord du bassin (86% de résultats fiables) que dans la partie sud (51% de résultats fiables). Les résultats des campagnes 2018 ont été fortement impactés par les « contaminations » anthropiques en CFC, liées au contexte urbain et périurbain plus présent dans la partie nord du bassin. Il ne s'agit pas de pollution en tant que telle des nappes mais de sources externes en CFC à l'état de traces (décharges, industries, gaz propulseurs de pesticides) qui ne permettent pas de calculer les temps de résidence. De ce fait, le nombre de traceur exploitable est fortement réduit ce qui impacte la fiabilité des résultats.

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**

Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018

Rapport n° 97988/A

### 3.4. Résultats des campagnes de datation

#### 3.4.1. Répartition des âges pour l'ensemble des points

Dans un premier temps nous avons regardé l'ensemble des résultats quel que soit l'indice de confiance, c'est-à-dire pour les 272 points de prélèvement pour lesquels on dispose d'un résultat.

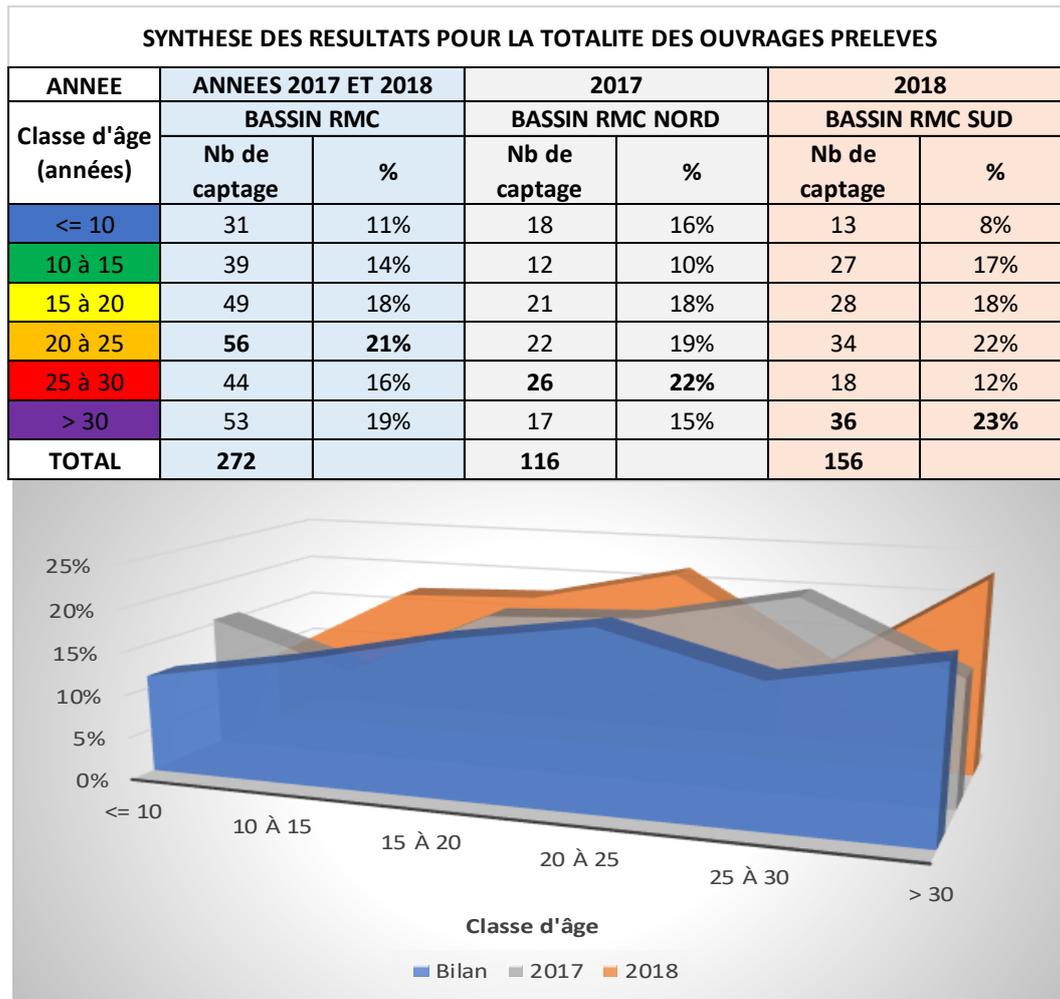


Figure 10 : Classe d'âge moyen de la totalité des captages

Les temps de renouvellement des nappes sont relativement élevés puisque la classe la plus représentée est la classe 20 – 25 ans (21% des captages) et 56% des captages sont alimentés par des nappes qui mettent plus de 20 ans pour se renouveler.

Sur le territoire sud du bassin, c'est la classe 25 – 30 ans qui est la plus représentée et sur le territoire sud c'est la classe > 30 ans qui est la plus représentée.

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**

Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018

Rapport n° 97988/A

### 3.4.2. Répartition des âges pour les indices de confiance fiables

Dans un second temps, nous présentons les résultats uniquement pour les points de prélèvement ayant des indices de confiance Bon et Moyen.

SYNTHESE DES RESULTATS POUR LES INDICES DE CONFIANCE FIAIBLES						
ANNEE	ANNEES 2017 ET 2018		2017		2018	
Classe d'âge (années)	BASSIN RMC		BASSIN RMC NORD		BASSIN RMC SUD	
	Nb de captage	%	Nb de captage	%	Nb de captage	%
<= 10	18	10%	17	17%	1	1%
10 à 15	29	16%	11	11%	18	22%
15 à 20	31	17%	17	17%	14	17%
20 à 25	31	17%	14	14%	17	20%
25 à 30	36	20%	<b>24</b>	<b>24%</b>	12	14%
> 30	<b>38</b>	<b>21%</b>	17	17%	<b>21</b>	<b>25%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>183</b>		<b>100</b>		<b>83</b>	

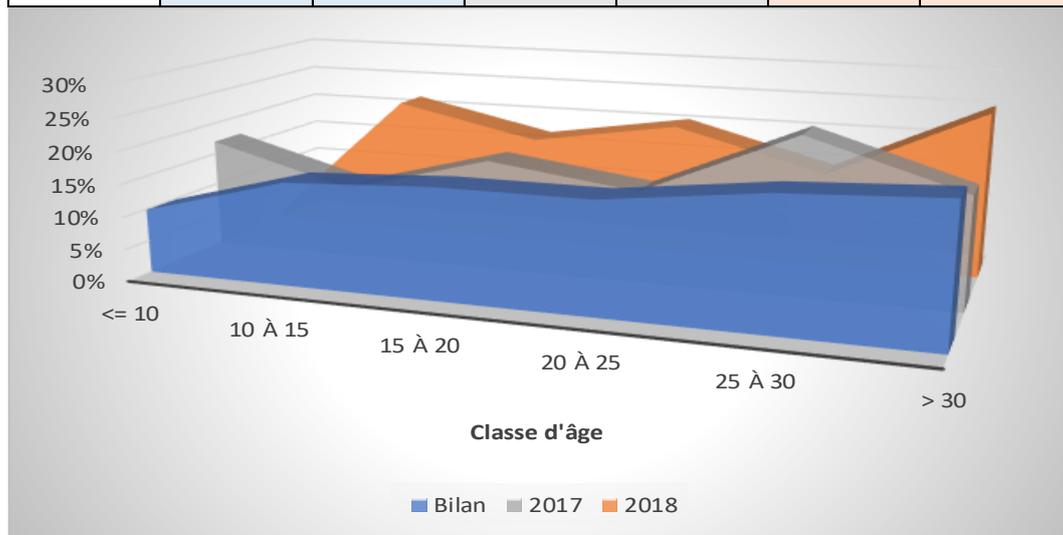


Figure 11 : Classe d'âge moyen des captages d'indice de confiance Bon et Moyen

Lorsqu'on prend en considération uniquement les résultats d'indice de confiance fiable, on constate que 57% des captages sont alimentés par des nappes qui mettent plus de 20 ans pour se renouveler.

Il est important de signaler que les conditions hydrologiques particulièrement basses en 2017 et dans une moindre mesure en 2018 impactent les résultats. En période d'année sèche, la proportion des flux les plus lents qui participent à l'alimentation des captages est prédominante et dans ces conditions, l'âge moyen apparent des eaux est plus élevé. Il faut considérer que le plus souvent sur les aires d'alimentation des captages coexistent à la fois des modes de recharge rapides dans les zones d'infiltration privilégiées et des modes de recharge lents.

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**

Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018

Rapport n° 97988/A

### 3.5. Modalités de recharge des nappes

Chaque captage a été classé, à dire d'expert, dans 4 catégories (Type 1 à 4) dans l'objectif de caractériser les modalités de recharge de la nappe et ainsi évaluer la réactivité de la nappe à la mise en place des programmes d'actions.

Point d'eau représentatif d'un système		BASSIN RMC		BASSIN RMC NORD		BASSIN RMC SUD	
		Nb de captage	%	Nb de captage	%	Nb de captage	%
Type 1	sans facteur de retard	129	46%	63	54%	66	40%
Type 2	avec facteur de retard	63	23%	30	26%	33	20%
Type 3	mixte sans facteur de retard aux abords du captage et une réaction plus lente sur le reste de l'aire d'alimentation	68	24%	21	18%	47	29%
Type 4	inertiel laissant présager une recharge lente de la nappe	19	7%	2	2%	17	10%
		<b>279</b>		<b>116</b>		<b>163</b>	

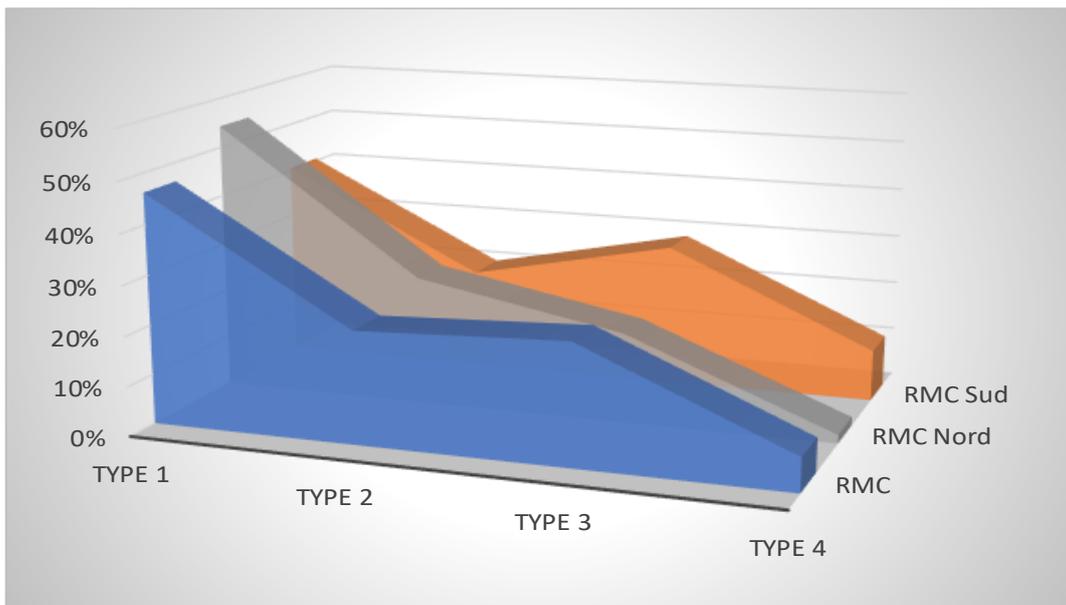


Figure 12 : Répartition des indices de réactivités par classes d'âge moyen

La majorité des captages (70%) sont classés soit en type 1 soit en type 3. Pour ces ouvrages, il sera tout de même possible d'observer les bénéfices du programme d'actions, si l'on agit sur les parcelles les plus contributives avec le bon niveau d'effort, dès les premières années jusqu'au renouvellement de la totalité de la nappe.

### 3.6. Répartition géographique

Les résultats sont présentés sous forme cartographique en fonction des classes d'âge moyen des eaux et des indices de confiance (Cf. **Figure 13**).

#### 3.6.1. Zones géographiques dans la partie nord du bassin

- Sur la partie méridionale des Vosges, les terrains à l'affleurement correspondent aux formations du trias gréseuses (Grès du Trias inférieur, Grès Rhétiens) et carbonatées (Muschelkalk et de la Lettenkohle). Deux captages montrent des eaux avec des âges moyens inférieurs à 10 ans, les autres ont des âges apparents supérieurs à 15 ans,
- Sur le plateau de Langres, où affleurent les formations carbonatées, les résultats reflètent soit des eaux d'âge moyen inférieur à 10 ans soit des eaux de 20 à 30 ans,
- Sur le plateau calcaire à l'Ouest de Dijon, la majorité des eaux ont un âge moyen compris entre 10 et 15 ans à l'exception d'une source (> 30 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,
- Sur la bordure Ouest du Fossé Bressan, les ouvrages captant la nappe alluviale de la Saône montrent des eaux d'âge compris entre 20 et 30 ans. Ce résultat résulte clairement des conditions hydrauliques particulièrement basses et reflètent une alimentation marquée par les apports de versant où la proportion d'alimentation de la Saône est inexistante.

#### 3.6.2. Zones géographiques dans la partie sud du bassin

Au Nord de Lyon

- Les puits qui captent les nappes alluviales du Rhône et de la Saône présentent des âges moyens de moins de 10 ans reflétant une prédominance de la participation des cours d'eau à l'alimentation de ces puits. Les indices de confiance sont faibles sur ces ouvrages.
- Les captages qui captent les formations Plio-quadernaires de la Dombes ont des âges moyens de 15-20 ans et 25-30 ans,
- Sur les contreforts du fossé bressan, le forage captant les formations du Plio-quadernaires a également des eaux anciennes (> 30 ans), ce qui est cohérent avec le contexte géologique.

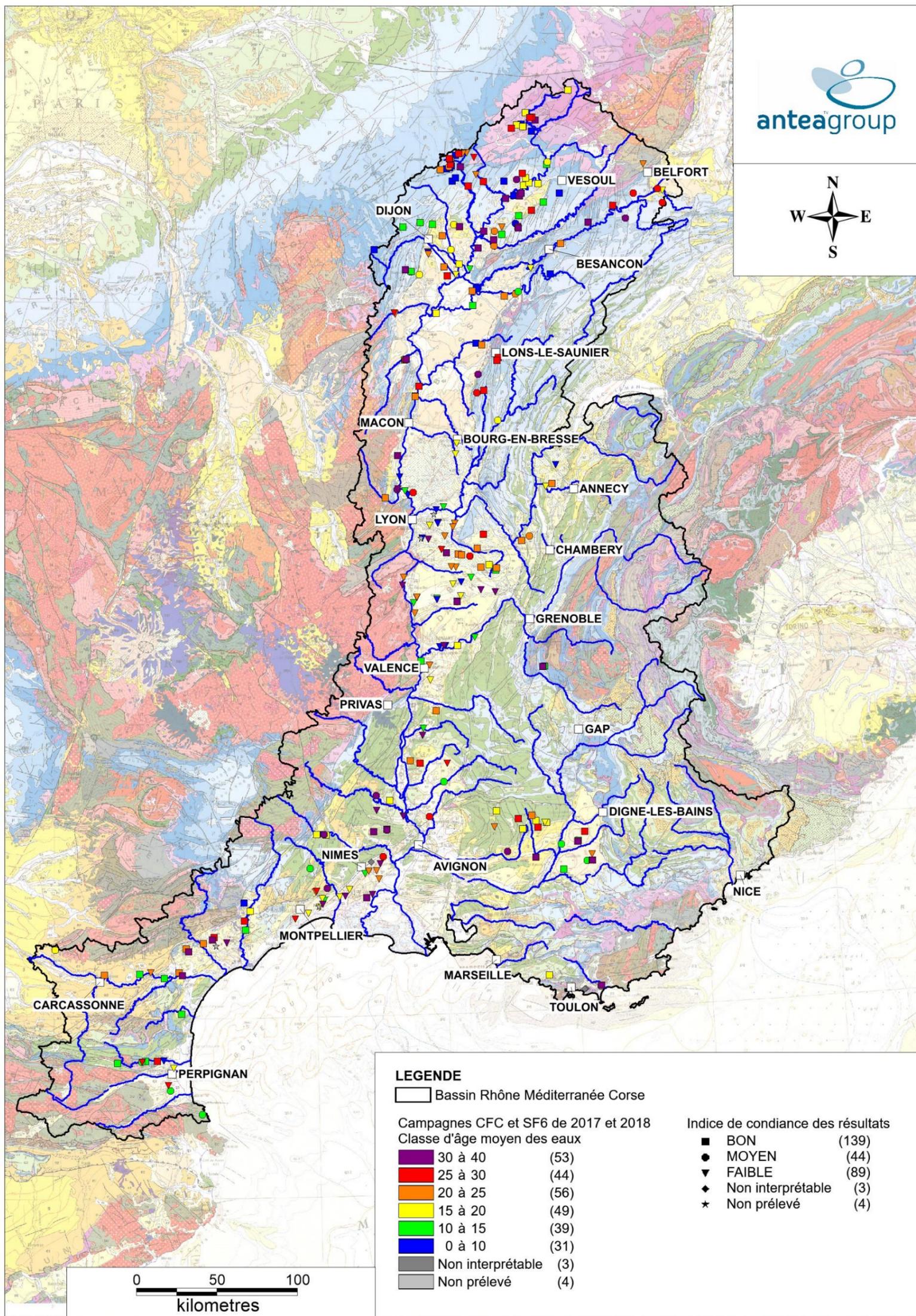


Figure 13 : Présentation cartographique des résultats - Classes d'âge moyen des eaux et indices de confiance des campagnes 2017 et 2018

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**

Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018

Rapport n° 97988/A

Secteur de l'Est Lyonnais

- Tous les ouvrages implantés dans l'Est Lyonnais ont un indice de confiance faible. Les âges moyens sont donc à prendre avec beaucoup de précaution.
- Dans la vallée de la Bourbre, les deux captages ont des âges compris entre 20 et 25 ans. Ces ouvrages sont alimentés par la Bourbre et par les apports des versants et une possible participation de la molasse.

Secteur des Pré-Alpes Annecy

- Dans ce secteur, les nappes sont contenues dans les formations glaciaires et fluvio-glaciaires en lien avec les formations molassiques sous-jacentes. Les captages ont des âges moyens de moins de 10 ans et compris entre 20-25 ans.

Secteur du Bas Dauphiné et de l'avant pays Savoyard

- La majorité des captages ont des eaux d'âge moyen compris entre 20 et 25 ans. Ces ouvrages captent principalement les formations quaternaires qui reposent en placages sur la molasse Miocène,

Secteur de la plaine de Bièvre Valoir

- Les âges moyens déterminés sont plus anciens dans la partie amont de la vallée et sur le versant sud où affleure la molasse (15-20 ans à > 30 ans). Les captages implantés sur le versant septentrional ainsi que ceux implantés dans la partie aval de la vallée où la nappe est moins profonde montrent des eaux d'âges moyen plus récents (< 10 ans, 10-15 ans et 15 à 20 ans).

Vallée du Rhône

- Les deux captages implantés en rive droite montrent des eaux anciennes (20-25 ans et > 30 ans) suggérant une prédominance des apports de versant dans l'alimentation des puits. L'indice de confiance est faible sur ces deux points.

Plaine alluviale de l'Isère au niveau de Valence

- Dans le secteur de Romans sur Isère, les indices de confiance sont faibles avec deux captages dont les eaux ont des âges moyens de moins de 10 ans et un ouvrage dont les eaux ont un âge moyen de plus de 30 ans. Ces ouvrages captent les alluvions et la molasse sous-jacente en proportion variable pouvant expliquer les différences de datation,
- Plus en amont, les eaux ont des âges moyens compris entre 10 et 20 ans,
- Plus en aval, l'âge moyen des eaux est compris entre 10 et 25 ans.

Secteur du bassin versant du Drac

- Les deux captages présents dans ce secteur montrent des âges moyens très contrastés (10-15 ans et > 30 ans). Ces deux sources émergent de formations morainiques qui reposent sur un substratum schisteux du Lias.

Secteur au Sud de Montélimar

- Sur les reliefs qui dominent la vallée du Rhône, les ouvrages qui captent la molasse ont des eaux anciennes (25 à 30 ans).
- Les autres ouvrages captent des formations alluviales ou des colluvions avec soit des eaux récentes (10-15 ans) soit des eaux anciennes (20-25 ans et > 30 ans).

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**

Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018

Rapport n° 97988/A

Secteur de la plaine de l'Ouvèze

- L'ouvrage capte les alluvions de l'Ouvèze, l'âge moyen des eaux au captage est estimé entre 25 et 30 ans pour cette nappe alimentée uniquement par les précipitations.

Sur le plateau du Vaucluse

- 4 sources qui émergent des calcaires de l'Urgonien (Crétacé inférieur) ou des formations du Tertiaire alimentées par les calcaires du Crétacé ont des âges moyens compris entre 15 et 20 ans,
- 2 autres sources qui émergent de colluvions ou d'alluvions alimentées par l'aquifère Urgonien ont des âges moyens compris entre 20 et 25 ans,
- 3 autres captages qui émergent des calcaires de l'Urgonien ou des formations du Tertiaire alimentées par les calcaires du Crétacé ont des âges moyens compris entre 25 et 30 ans.

Bassin du Calavon

- Au sud dans le bassin du Calavon, les eaux sont plus anciennes (> 30 ans) en lien avec les formations de l'Oligocène constituées de marnes sableuses et de calcaires marneux.

Plateau de Valensole

- Sur les reliefs à l'Est de la Durance, les âges moyens des eaux sont plus contrastés. On trouve des eaux relativement jeunes (10 à 15 ans) qui émergent de l'aquifère détritique Mio-pliocène du bassin de Digne – Valensole ou des alluvions récentes,
- Les autres captages ont des âges de plus de 20 ans.

Secteur de Hyères

- Il y a deux captages qui émergent des alluvions récentes de Gapeau qui ont des âges différents (15 à 20 ans et > 30 ans). Ce dernier a un bassin d'alimentation plus étendu en raison de la participation du Gapeau à son alimentation. On aurait pu s'attendre à des temps de résidence plus courts. Toutefois, on dispose seulement du résultat en basses eaux. Il est probable qu'en période de hautes eaux, l'âge moyen des eaux au captage soit plus court.

Secteur de la plaine de l'Eygoutier

- On ne dispose d'aucun résultat pour ces deux ouvrages en raison de contaminations anthropiques.

Secteur du bassin du Beausset

- L'ouvrage capte les calcaires marneux du Crétacé supérieur et montre des eaux d'âge moyen compris entre 15 et 20 ans.

Secteur du bassin de La Cèze

- 4 captages sont situés dans ce bassin qui montrent des âges relativement anciens (15-20 ans et > 30 ans). Ces ouvrages captent soit les alluvions de la Cèze, soit les formations grésocalcaires du Crétacé supérieur soit des nappes profondes au sein des sables et grés du Cénomaniens et du Turonien.

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**

Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018

Rapport n° 97988/A

Secteur du bassin d'Uzès

- Les 3 captages présents dans ce secteur ont des eaux d'un âge moyen supérieur à 30 ans. Ils captent la molasse du Burdigalien ou les sables et grès du Cénomaniens.

Secteur amont du bassin versant du Gard

- L'âge des eaux est très contrasté dans ce secteur (<10 ans à > 30 ans). Les ouvrages captent la nappe contenue dans les alluvions du Gardon. Ces résultats traduisent des modalités d'alimentation différentes (participation variable des apports du Gardon et des apports de versant).

Bassin versant du Brestalou

- Le forage capte la nappe karstique contenue dans les calcaires du Crétacé inférieur dont l'âge moyen des eaux au captage est compris entre 10 et 15 ans.

Bassin versant Le Bérange

- Plus au sud, les ouvrages sont profonds et captent l'aquifère de la molasse du Burdigalien inférieur. Les eaux sont plus anciennes (20-25 ans et 25-30 ans),
- Une source a un âge moyen > 30 ans, elle émerge des dépôts détritiques quaternaires alimentés par les marnes conglomératiques de l'Oligocène.

Secteur de la plaine du littoral de Mauguio

- 6 forages sont présents dans ce secteur qui captent les cailloutis du Villafranchien à différentes profondeurs, alimentés pour partie par les apports des calcaires du Jurassiques et par les précipitations sur la plaine. Les âges sont contrastés (10-15 ans à > 30 ans). Les indices de fiabilité sont faibles,

Secteur de la Vistrenque

Entre Lunel et St Gilles

- 5 forages sont présents dans ce secteur. Ils captent tous les cailloutis Villafranchien à l'exception d'un puits dans les alluvions du Rhône en bordure de plaine. Les âges moyens des eaux sont plutôt élevés (15-20 ans à > 30 ans). Les indices de confiance sont faibles à l'exception d'un ouvrage qui a un indice de confiance bon.

Entre St-Gilles et Ledenon

- 7 ouvrages sont présents dans ce secteur. Les indices de confiance sont faibles à l'exception d'un puits (indice de confiance moyen). Les âges moyens des eaux sont contrastés (10-15 ans à > 30 ans).

Secteur du Bassin versant de La Mosson au sud de Montpellier

- Le forage Flès capte en profondeur la nappe des calcaires du jurassique, l'âge moyen des eaux est estimé entre 25 et 30 ans (indice de confiance faible).

**Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6**

*Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018*

*Rapport n° 97988/A*

Hérault - Aude

- Dans ce secteur, les résultats sont de bonne qualité (14 résultats qualifiés de bons sur un total de 18 captages).
- Dans la vallée de l'hérault, les ouvrages captent la nappe contenue dans les alluvions anciennes avec des âges moyens différents suivant les captages traduisant des modalités d'alimentation différentes,
- Dans les vallées de la Thongue et du Libron les âges moyens sont élevés (25-30 ans à > 30 ans). Les ouvrages captent soit les formations sablo-graveleuses du Pliocène soit les grés et conglomérats du Miocène,
- Dans la partie amont de la vallée du Le Lirou, les eaux anciennes (20-25 ans et > 30 ans) proviennent de forages profonds qui captent les calcaires de l'Eocène,
- Dans la vallée de l'Aude, l'âge moyen des eaux est compris entre 10-15 ans, 20-25 ans ou > 30 ans traduisant des modalités d'alimentation différentes.

Pyrénées Orientales

- dans la vallée de l'Agly, plusieurs aquifères sont captés avec des âges moyens plutôt récents (<15 ans). Les âges les plus anciens correspondent aux ouvrages captant les sables et argiles du Pliocène ou les calcaires du jurassique et du créacé
- Au sud, les ouvrages captant les sables et argiles du Pliocène ont des âges contrastés (10-15 ans et 25-30 ans) tandis que l'ouvrage issue de la nappe des alluvions de la Baillaury montre des eaux récentes (10-15 ans).

***Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir des CFC et du SF6***

*Résultats des campagnes de prélèvements de l'année 2017*

*Rapport n° 97951/A*

**Observations sur l'utilisation du rapport**

*Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'ANTEAGROUP ne saurait engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.*

### **Rapport**

---

Titre : ***Captages prioritaires du bassin RMC : Estimation du temps de renouvellement moyen de la ressource par datation à partir de l'analyse des CFC et SF6.***  
***Rapport de synthèse des campagnes 2017 et 2018***

Numéro et indice de version : 97988

Date d'envoi : Mai 2019

Nombre de pages : 27

Diffusion (nombre et destinataires) :

1 ex. Client

Nombre d'annexes dans le texte : 0

Nombre d'annexes en volume séparé : 0

### **Client**

---

Coordonnées complètes : **AGENCE DE L'EAU RHONE MEDITERRANEE CORSE**  
2-4, Allée de Lodz  
69368 LYON CEDEX 7

Nom et fonction des interlocuteurs : *Stéphanie BESSON, Chargé d'études - Captages prioritaires et pesticides*

### **Antea Group**

---

Unité réalisatrice : REAU

Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :

*Interlocuteur commercial : S. DEPARDON*

*Responsable de projet : S. DEPARDON*

*Auteurs : S. DEPARDON*

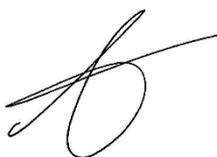
*Secrétariat : Cindy YAFFA*

### **Qualité**

---

Contrôlé par : S. ANUS

Date : Mai 2018 - Version A



N° du projet : RHA.P.16.0573

Références et date de la commande : 10/10/2016

**Mots clés** : AEP, expertise, alluvions, karst, analyse d'eau, CFC.



# ESTIMATION DU TEMPS MOYEN DE RENOUVELLEMENT DE L'EAU PAR DATATION À PARTIR DES CFC ET SF6

Synthèse des résultats 2017 - 2018  
sur les captages prioritaires du bassin

La durée nécessaire pour la reconquête de la qualité de l'eau des captages prioritaires peut être longue, et fonction en particulier du temps de renouvellement des eaux. Cette étude vise à estimer le temps de renouvellement moyen des portions de nappe alimentant les captages prioritaires en eaux souterraines du bassin exposés à des contaminations en nitrates et pesticides. Ce temps moyen de renouvellement ou âge apparent de l'eau, obtenu par une méthode de datation à partir de l'analyse des concentrations en gaz CFC (communément appelés fréons) et SF<sub>6</sub> emmagasinés dans l'eau, est une donnée qui permet de mieux appréhender le fonctionnement global de l'aquifère et d'approcher le délai nécessaire pour obtenir les bénéfices des programmes d'actions engagés et restaurer la qualité des eaux.

Les résultats issus de cette étude, ayant bénéficié d'une méthodologie identique et rigoureuse sur l'ensemble du bassin, ont vocation à être un outil d'aide à la décision pour les collectivités gestionnaires dans le dimensionnement et l'ambition des programmes d'actions territoriaux.