



Agence de l'Eau Rhône
Méditerranée Corse



Estimation du délai de renouvellement de la ressource par datation, sur les nouveaux captages prioritaires du SDAGE 2022-2027 du bassin Rhône Méditerranée, prélevant en eaux souterraines

Note de synthèse



Rapport n°124455/A – 27 septembre 2023

Projet suivi par Emilie BROUILLOUX – 06.20.86.00.65 – emilie.brouilloux@anteagroup.fr



anteagroup

109 Rue des Mercières
69140 RILLIEUX LA PAPE
www.anteagroup.fr/fr

Fiche signalétique

Estimation du délai de renouvellement de la ressource par datation, sur les nouveaux captages prioritaires du SDAGE 2022-2027 du bassin Rhône Méditerranée, prélevant en eaux souterraines

Note de synthèse

CLIENT	SITE
Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse	
2-4 Allée de Lodz	
69 363 LYON Cedex 07	
Sylvie JOUSSE - Chargée d'études Captages prioritaires	

RAPPORT D'ANTEA GROUP	
Responsable du projet	Emilie BROUILLOUX
Interlocuteur commercial	Emilie BROUILLOUX
Implantation chargée du suivi du projet	Implantation de Lyon
Rapport n°	124455
Version n°	A
Votre commande et date	Acte d'engagement du 28/01/2022
Projet n°	RHAP220042.69

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	Emilie BROUILLOUX	Ingénieur Projets	Septembre 2023	
Vérification/Approbation	Marc BOISSON	Responsable de pôle Eau	Septembre 2023	

Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
A	27/09/2023	29	0	Version initiale

Sommaire

1. Introduction.....	5
2. Présentation de la méthode de datation	6
2.1. Définition de l'âge moyen d'une eau	6
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	11
2.5. Limite de la méthode	12
2.6. Estimation de la réactivité de l'aquifère aux modalités de recharge.....	13
2.7. Présentation des résultats.....	16
3. Résultats des campagnes d'analyses 2022 et 2023.....	17
3.1. Campagnes de prélèvements	17
3.2. Régimes hydrologiques	17
3.3. Fiabilité des résultats.....	19
3.4. Résultats des campagnes de datation.....	20
3.5. Modalités de recharge des nappes	21
3.6. Répartition géographique	22
3.6.1. Résultats – Bourgogne/Franche-Comté	26
3.6.2. Résultats – Rhône-Alpes	26
3.6.3. Résultats – Provence-Alpes-Côte d'Azur.....	27
3.6.4. Résultats – Occitanie.....	27

Table des figures

Figure 1 : Coupe schématique illustrant l'âge moyen d'une eau au captage	6
Figure 2 : Schéma de principe de la datation par les CFC-SF6 : enregistrement de la signature atmosphérique (Ayraud, 2005)	7
Figure 3 : Chroniques des concentrations dans l'air des CFC et du SF6 dans l'hémisphère Nord (NOAA)	8
Figure 4 : Illustration des modèles hydrogéologiques appliqués pour déterminer l'âge moyen des eaux (CONDAT EAU)	10
Figure 5 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 1	13
Figure 6 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 2	14
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 et nature des captages	18
Figure 10 : Classe d'âge moyen de la totalité des captages	20
Figure 12 : Répartition des indices de réactivités par classes d'âge moyen	21
Figure 13 : Campagne Basses Eaux 2022 : Présentation cartographique des résultats - Classes d'âge moyen des eaux et indices de confiance	23
Figure 14 : Campagne Moyennes à Hautes Eaux 2023 : Présentation cartographique des résultats - Classe d'âge moyen des eaux et indices de confiance	24
Figure 14 : Ages moyens retenus pour l'ensemble les campagnes 2022-2023	25

Table des tableaux

Tableau 1 : Grille de l'indice de confiance des résultats	11
Tableau 2 : Indice de confiances des résultats	19

1. Introduction

Dans le cadre de la restauration de la qualité des eaux souterraines, 281 captages du bassin Rhône Méditerranée ont été désignés comme prioritaires dans le SDAGE 2022-2027 pour la restauration de la qualité de leur eau. Sur ces 281 captages, 36 correspondent à des captages nouvellement identifiés dont 34 concernent des prélèvements en nappe.

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 a compris une campagne basses eaux réalisée en septembre 2022 et une campagne hautes eaux réalisée en mars 2023 :

- En septembre 2022 : 33 prélèvements ont été réalisés sur un prévisionnel de 36 points (1 captage s'est avéré abandonné, 2 sources étaient à sec lors de la campagne et 1 prélèvement a été repris en novembre 2022 suite à une casse de flacon) ;
- En mars 2023 : 33 prélèvements ont été réalisés sur un prévisionnel de 36 points (1 captage abandonné, 1 source était à sec et 1 captage était hors service lors de la campagne).

Les captages du bassin Rhône Méditerranée concernés étaient répartis sur les départements de l'Aude, des Bouches-du-Rhône, de la Côte d'or, de la Drôme, du Gard, de l'Hérault, de l'Isère, du Jura, des Pyrénées Orientales, de la Haute Saône, du Var et du 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 supervision des prélèvements et la réalisation des analyses de datation. ANTEA Group a en charge la mise en forme et l'interprétation des résultats.

Le présent document constitue la note de synthèse de l'étude.

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.

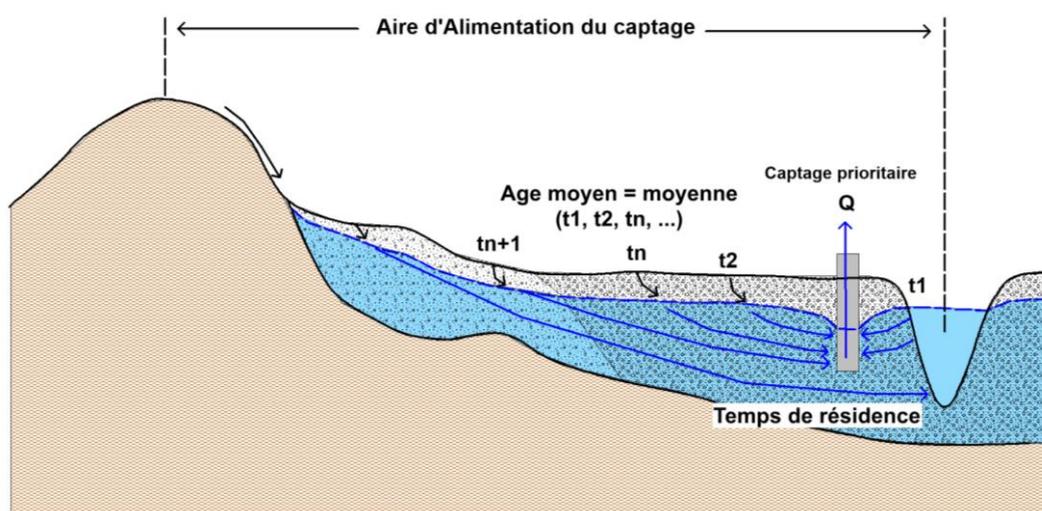


Figure 1 : Coupe schématique illustrant l'âge moyen d'une eau au captage

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.

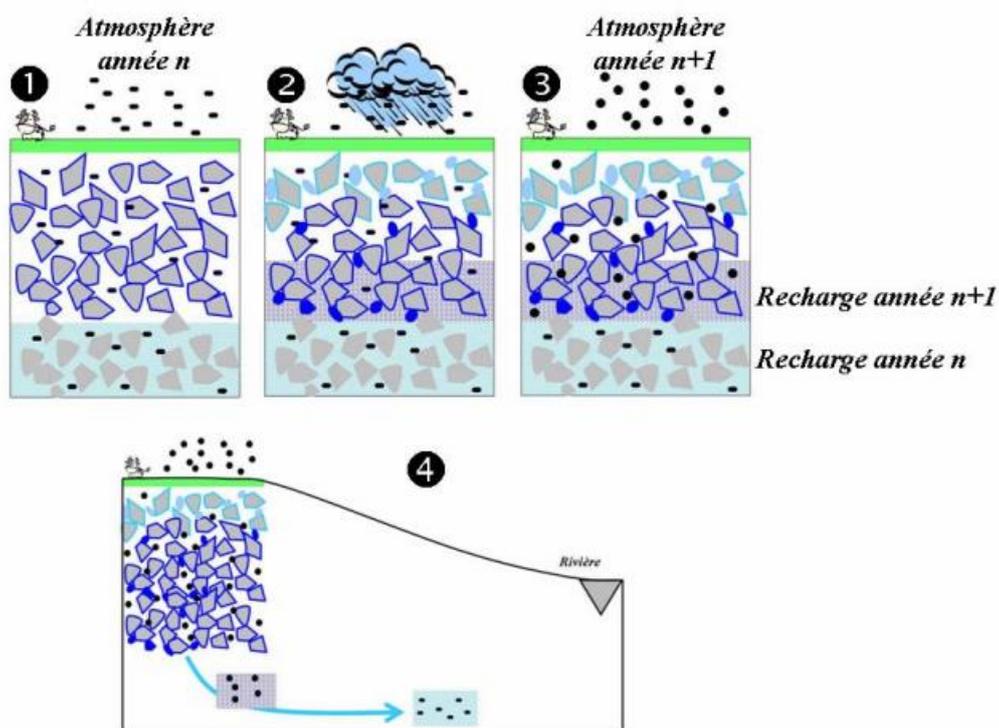


Figure 2 : Schéma de principe de la datation par les CFC-SF6 : enregistrement de la signature atmosphérique (Ayraud, 2005)

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).

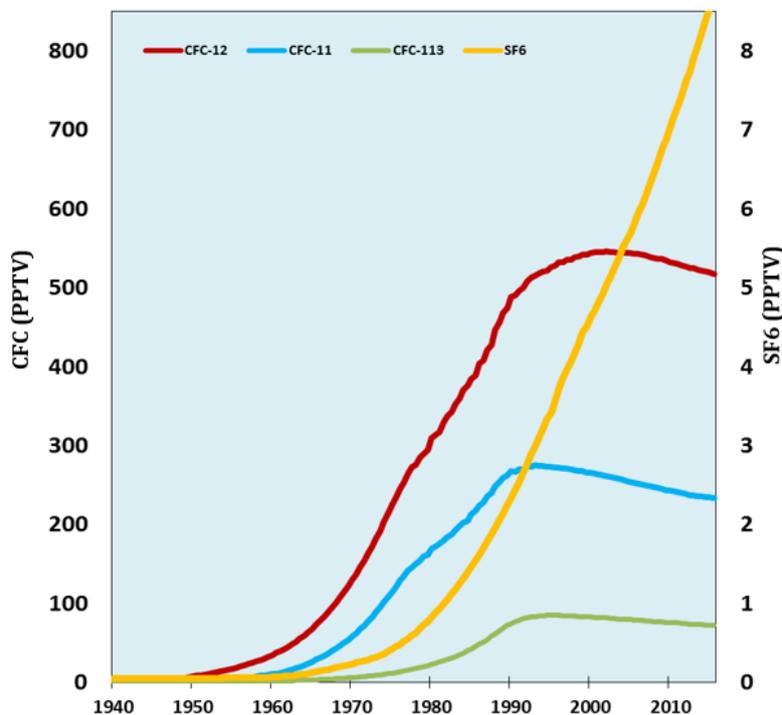


Figure 3 : Chroniques des concentrations dans l'air des CFC et du SF6 dans l'hémisphère Nord (NOAA)

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 ;
- 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.

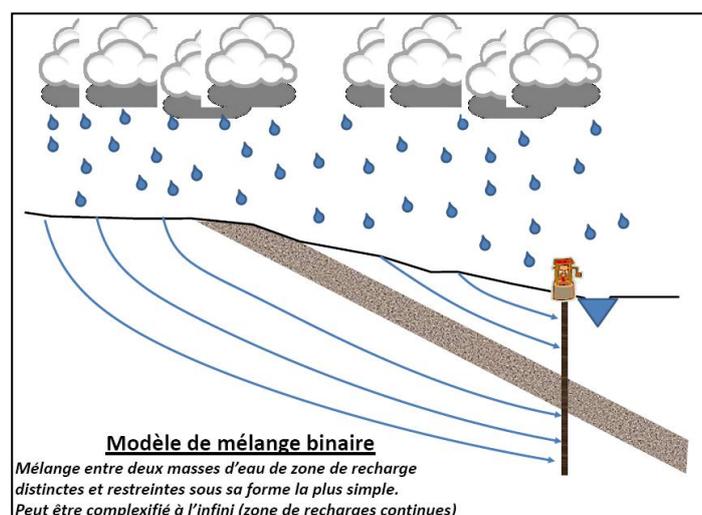
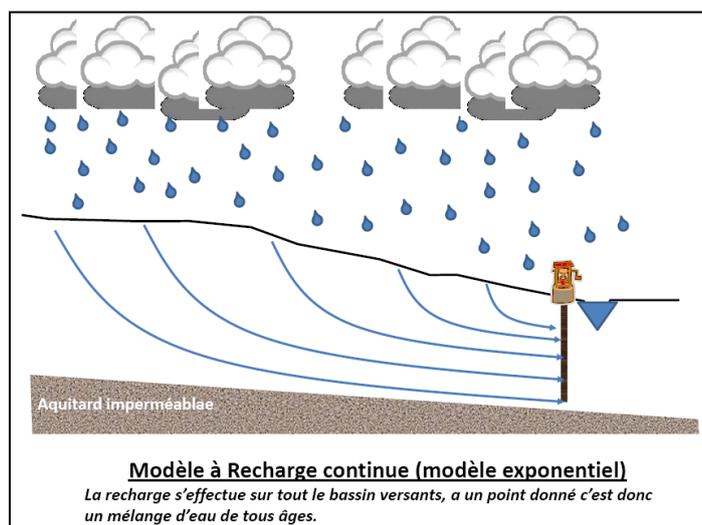
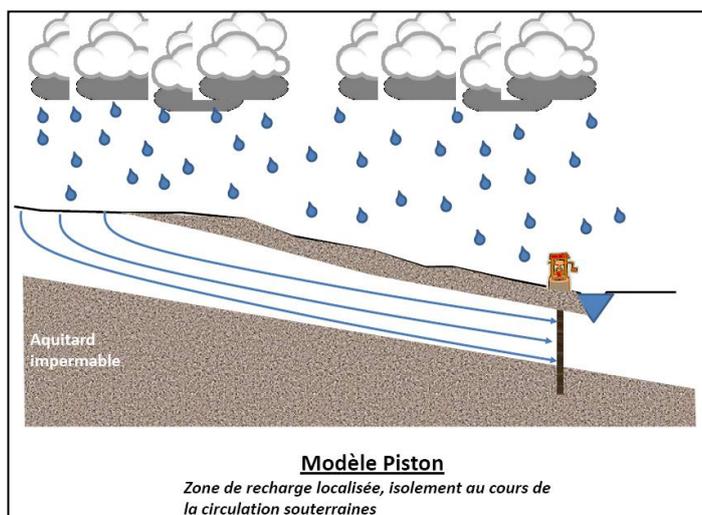


Figure 4 : Illustration des modèles hydrogéologiques appliqués pour déterminer l'âge moyen des eaux (CONDATÉ EAU)

2.4. Indice de confiance des résultats

La qualité des résultats sur chaque captage a été évaluée en trois niveaux (excellent, bon et moyen) 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**.

MODELES PISTON ET EXPONENTIEL

Indice de confiance	EXCELLENT	BON	MOYEN
Nombre de traceurs	≥ 3	≥ 3	< 3
Convergence des résultats	≤ 15%	15% ≤ erreur ≤ 30%	≥ 3 et erreur > 30%

MODELE MELANGE

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



Tableau 1 : Grille de l'indice de confiance des résultats

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'épaisseur¹, 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 CFC² ;
- 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 grossiers³.

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, ...) ;**

¹ Cook et Salomon, 1995

²D'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

³ 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.

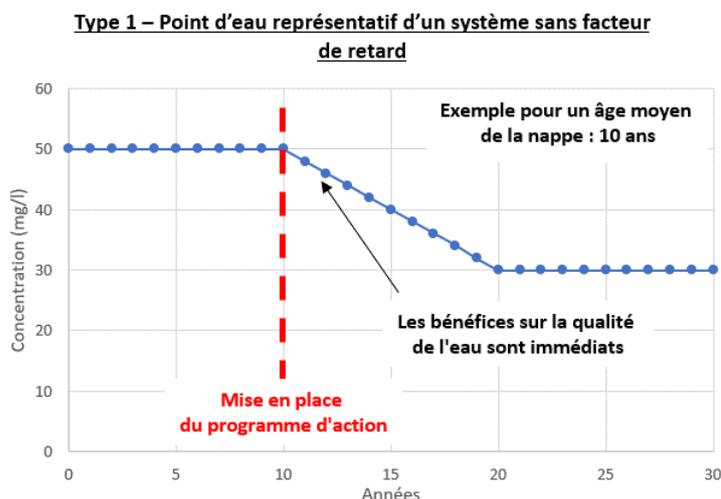


Figure 5 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 1

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.

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

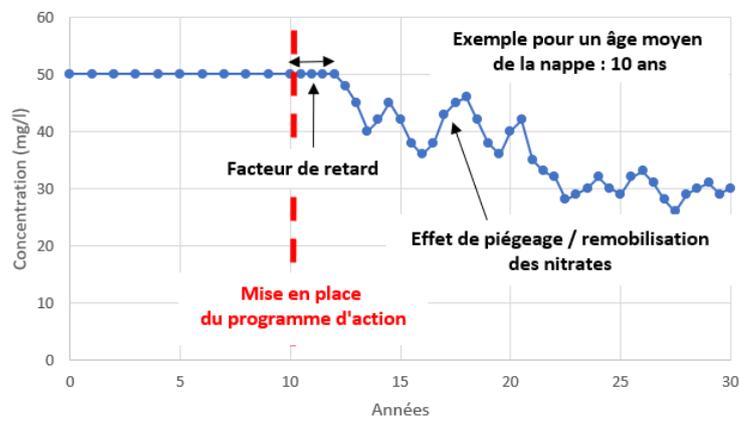


Figure 6 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 2

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).

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

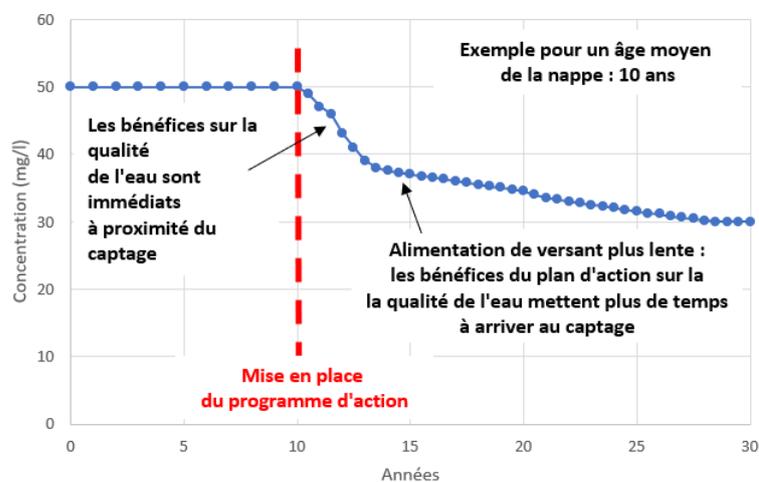


Figure 7 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 3

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.

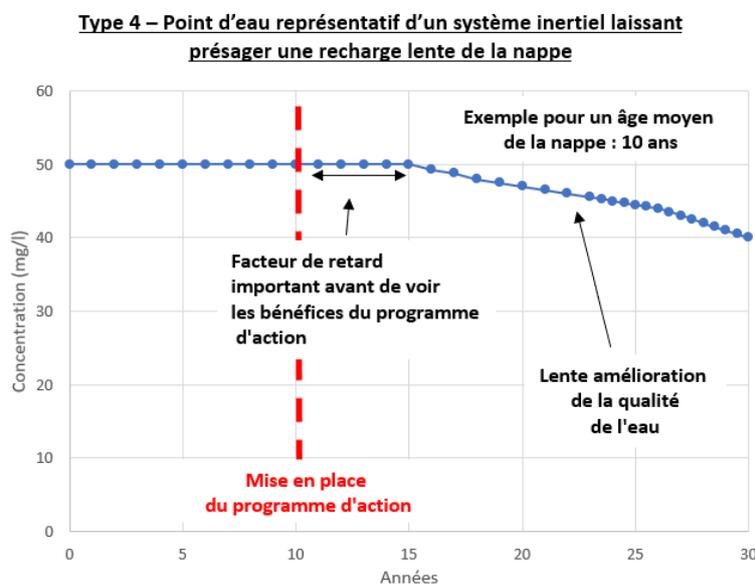


Figure 8 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 4

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 général, 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 2022 et 2023

3.1. Campagnes de prélèvements

Il a été réalisé deux campagnes de prélèvement en 2022 et en 2023 :

- En 2022 (Basses Eaux), 33 captages ont été prélevés (sur un nombre prévisionnel de 36 dont 1 captage s'est avéré abandonné et 2 sources étaient taries) répartis sur le territoire du bassin Rhône Méditerranée (**Cf. Figure 9**). La campagne de basses eaux a été réalisée entre juillet et août 2022 avec un échantillon repris en novembre 2022 suite à une casse de flacon.
- En mars 2023 : 33 captages ont été prélevés (sur un nombre prévisionnel de 36 dont 1 captage abandonné, 1 source était tarie et 1 captage qui était hors service lors de la campagne). On notera que pour le captage « Puits Camp del Pla » (code ouvrage AE6602) à Trévillach (66), l'ampoule en acier permettant l'analyse des CFC est arrivée vide au laboratoire.

3.2. Régimes hydrologiques

D'après l'analyse faite par le BRGM à l'échelle nationale, la période de recharge 2022-2023 a été marquée par une succession d'épisodes de recharge et de périodes sèches. Les tendances se sont lentement inversées au cours de l'automne 2022. Ce constat s'explique par une faible infiltration des pluies en profondeur, du fait de sols très secs et d'une végétation active tardivement. En décembre 2022 et janvier 2023, la recharge était active avec des niveaux globalement en hausse. La fin de l'hiver 2022-2023 a été marqué par un fort déficit de pluies efficaces et février 2023 a été caractérisé par des niveaux en baisse.

La première campagne réalisée en juillet-août 2022 a été assimilée à une campagne de basses eaux.

La seconde campagne réalisée en février/mars 2023 correspond à une campagne de moyennes à hautes eaux.

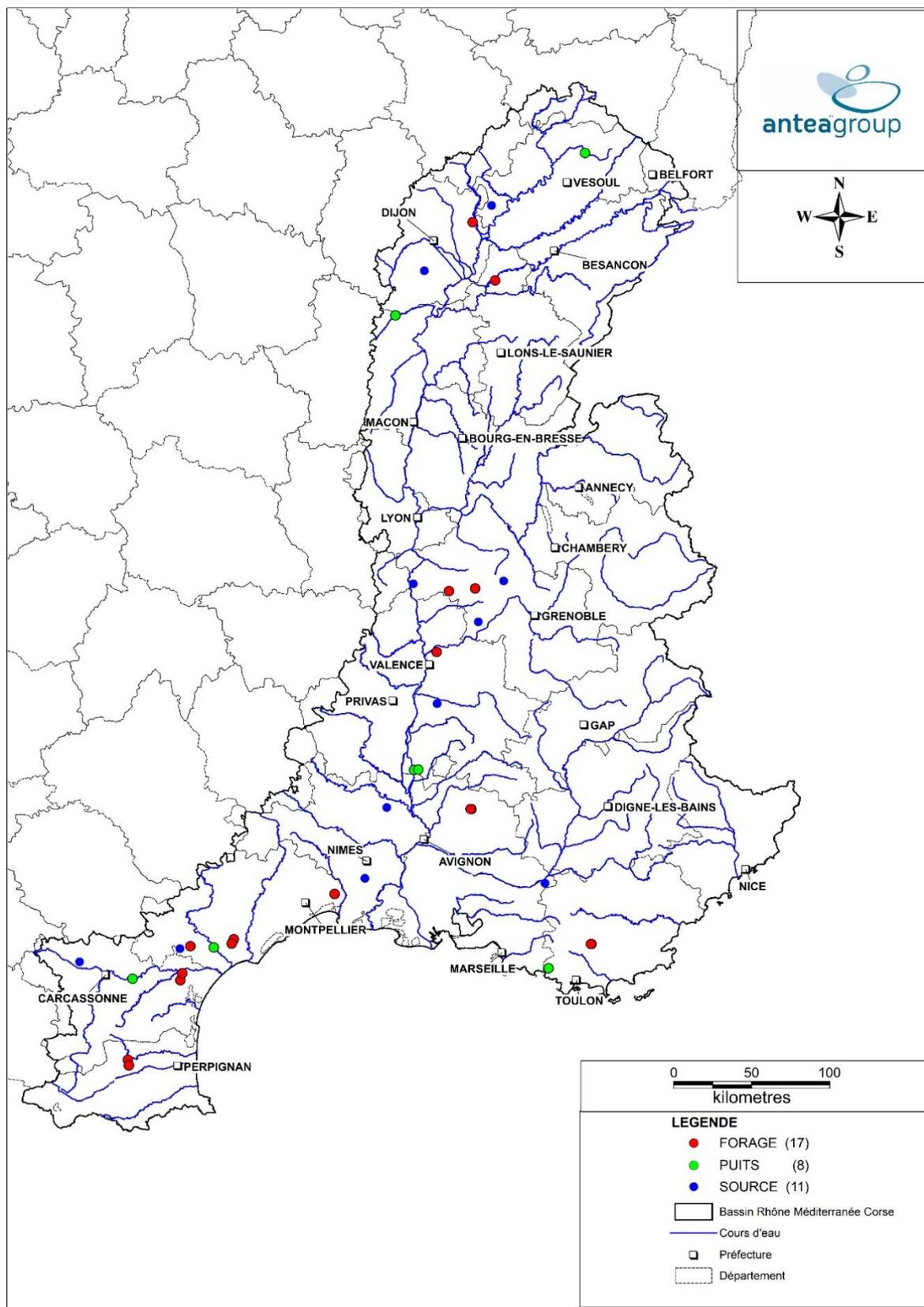


Figure 9 : Implantation et nature des captages

3.3. Fiabilité des résultats

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

Indice de confiance		Basses Eaux 2022		Hautes Eaux 2023	
		Nombre de captages	%	Nombre de captages	%
Non interprétables dont : <ul style="list-style-type: none"> • 2 assecs en BE 2022, • 1 assec et 1 HS en HE 2023. 		2	5,7%	6	17,1 %
Incertain	Moyen	24	68,6%	21	60,0 %
Fiable	Bon	5	14,3%	6	17,1 %
	Excellent	4	11,4%	2	5,7 %
TOTAL		35		35	

Tableau 2 : Indice de confiances des résultats

Les résultats sont considérés comme fiables pour les indices de confiance Excellent et Bon, ce qui représente 25 % des captages sur les 35 captages suivis. On dispose malgré tout d'une estimation des temps moyens de renouvellement des nappes pour environ 70 % des captages avec un indice de confiance Moyen. Ces estimations devront être confortées par d'autres méthodes (analyse des chroniques analytiques, analyses isotopiques).

La qualité des résultats apparait meilleure en Occitanie (34 à 40 % de résultats bons à excellents) alors qu'elle est plus incertaine en Bourgogne-Franche-Comté. Les résultats des campagnes 2022-2023 ont été impactés par les « contaminations » anthropiques en CFC, liées au contexte urbain et périurbain. 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 réduit ce qui impacte la fiabilité des résultats.

3.4. Résultats des campagnes de datation

La répartition du nombre d'ouvrages par classe d'âge est présentée de façon synthétique dans le tableau suivant.

BE 2022								
Classe d'âge (années)	Bourgogne/ Franche-Comté		Rhône-Alpes		Provence-Alpes- Cote d'Azur		Occitanie	
	Nb de captages	%	Nb de captages	%	Nb de captages	%	Nb de captages	%
<= 10	1	17%	1	11%	0	0%	0	0%
10 à 15	1	17%	2	22%	0	0%	2	13%
15 à 20	0	0%	1	11%	0	0%	1	7%
20 à 25	1	17%	1	11%	0	0%	1	7%
25 à 30	1	17%	0	0%	0	0%	3	20%
> 30	2	33%	3	33%	4	80%	8	53%
Non Interprétable	0	0%	1	11%	1	20%	0	0%
Total	6		9		5		15	
HE 2023								
Classe d'âge (années)	Bourgogne/ Franche-Comté		Rhône-Alpes		Provence-Alpes- Cote d'Azur		Occitanie	
	Nb de captages	%	Nb de captages	%	Nb de captages	%	Nb de captages	%
<= 10	2	33%	5	56%	1	20%	1	7%
10 à 15	0	0%	0	0%	0	0%	3	20%
15 à 20	0	0%	1	11%	0	0%	3	20%
20 à 25	2	33%	1	11%	0	0%	0	0%
25 à 30	1	17%	0	0%	0	0%	1	7%
> 30	0	0%	1	11%	2	40%	5	33%
Non Interprétable	1	17%	1	11%	2	40%	2	13%
Total	6		9		5		15	

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

On constate qu'en basses eaux 2022 :

- La classe > 30 ans est fortement représentée (46 %) et suivie de la classe 25 à 30 ans (11 %),
- La classe < 10 ans est sous représentée avec seulement 6 % des résultats.

On constate qu'en moyennes à hautes eaux 2023 :

- La répartition par classes est plus équilibrée par rapport la campagne basses eaux, il y a un « rajeunissement » de l'âge moyen apparent des eaux,
- La classe > 30 ans a diminué de 46 à 23% et la classe 25 à 30 ans de 11 à 3%,
- La classe < 10 ans a augmenté de 6 % à 26 % des résultats.

Les résultats indiquent que les temps de renouvellement des nappes sont relativement élevés avec des âges apparents plus importants en basses eaux qui mettent en avant la sollicitation d'un stock d'eaux plus âgée lors des conditions d'étiage (moins d'apport d'eaux jeunes issues de zones d'infiltration privilégiées, des échanges nappe/rivière ou de circulations karstiques par exemple).

Il faut considérer que le plus souvent sur les aires d'alimentation des captages coexistent à la fois des modes de recharge rapides et des modes de recharge lents.

Il est important de rappeler que ces résultats sont une estimation des temps de renouvellement moyen des nappes aux captages valables pour les conditions hydrologiques générales au moment où ont été réalisés les prélèvements.

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		Bourgogne/ Franche-Comté		Rhône-Alpes		Provence-Alpes- Cote d'Azur		Occitanie	
		Nb de captages	%	Nb de captages	%	Nb de captages	%	Nb de captages	%
Type 1	Point d'eau représentatif d'un système sans facteur de retard	4	67%	1	11%	3	60%	6	40%
Type 2	Point d'eau représentatif d'un système avec facteur de retard	2	33%	4	44%	2	40%	6	40%
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	0	0%	3	33%	0	0%	1	7%
Type 4	Point d'eau représentatif d'un système inertiel laissant présager une recharge lente de la nappe	0	0%	1	11%	0	0%	2	13%

Figure 11 : Répartition des indices de réactivités par classes d'âge moyen

La majorité des captages (51%) sont classés soit en type 1 soit en type 3, ce qui suggère pour ces ouvrages qu'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.

9 % des points (3 captages) sont classés en type 4 représentant des aquifères profonds laissant présager une recharge lente de la nappe. Il s'agit principalement d'ouvrages captant les aquifères profonds de faibles perméabilités comme par exemple les formations molassiques du Bas Dauphiné, les Sables astiens de Valras-Agde, etc. Ces aquifères contiennent généralement des nappes captives.

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 12, 14 et 15**).

Des écarts apparaissent sur les différents territoires :

- Sur les départements d'Occitanie et de PACA, les eaux sont globalement plus anciennes puisque la classe la plus représentée est celle supérieure à 30 ans, en basses eaux comme en hautes eaux,
- Sur les départements de Bourgogne et de Rhône-Alpes, les eaux paraissent globalement plus récentes, avec une majorité d'ouvrages inférieurs à 15 ans, en particulier lors de la campagne hautes eaux.

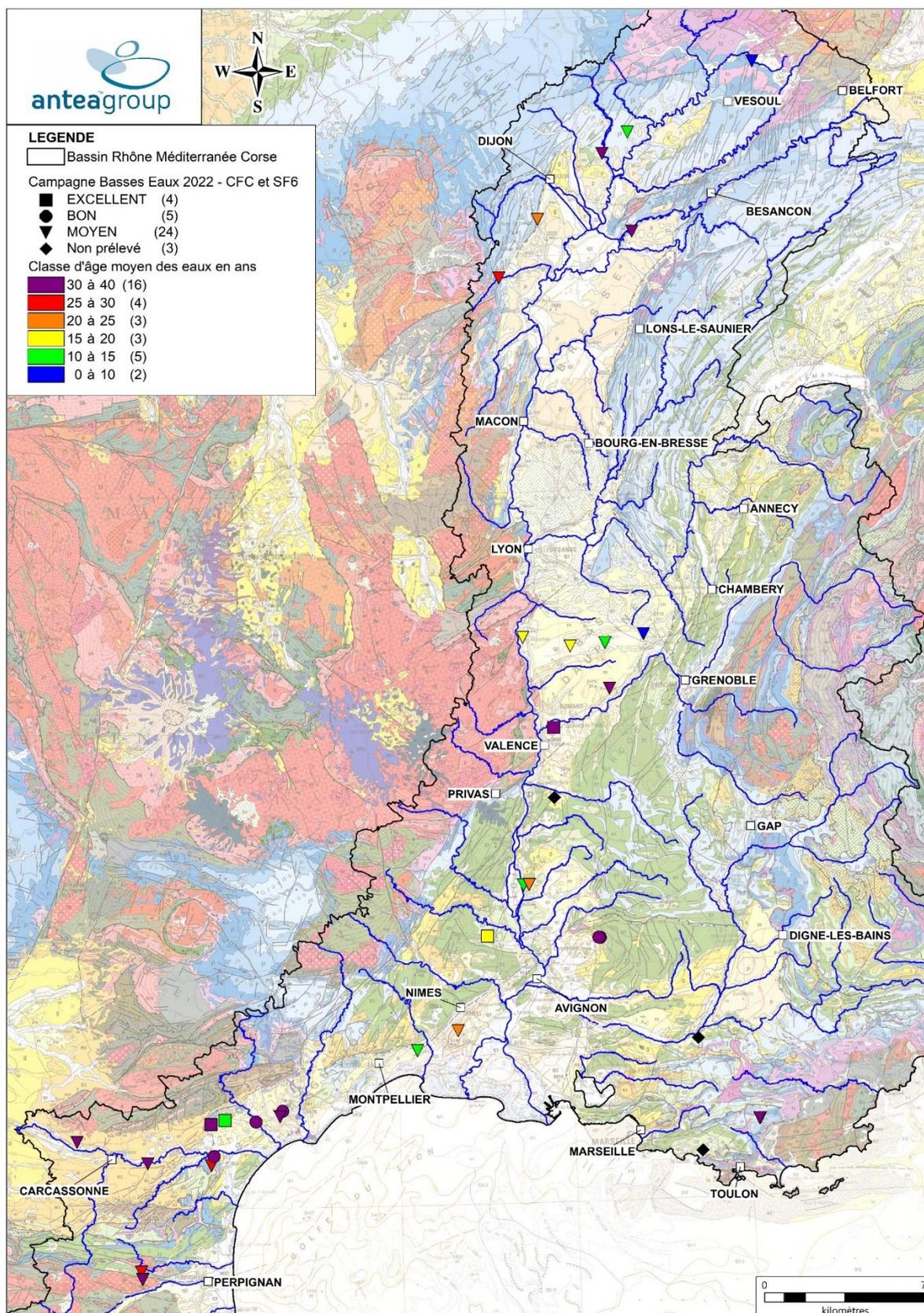
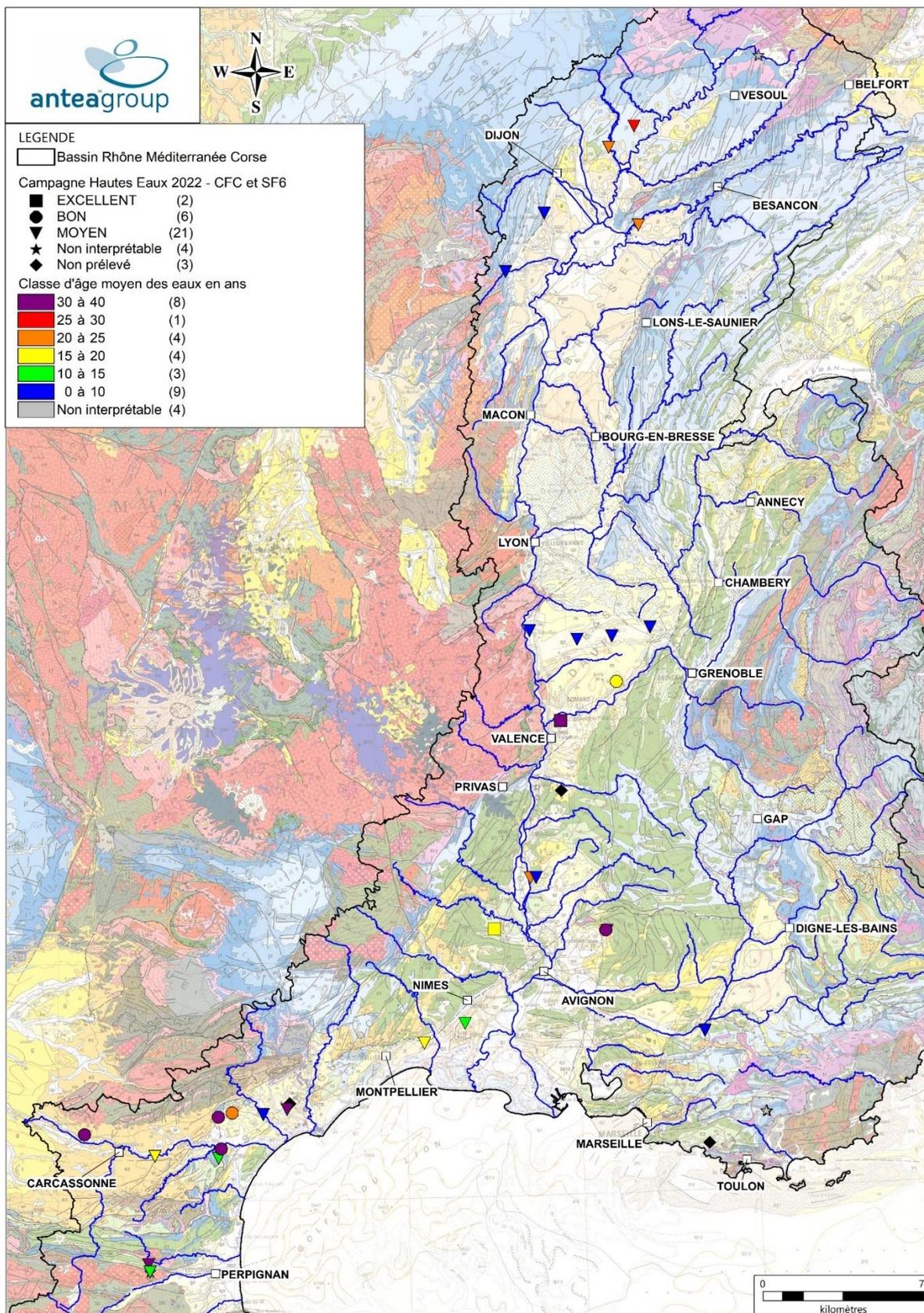
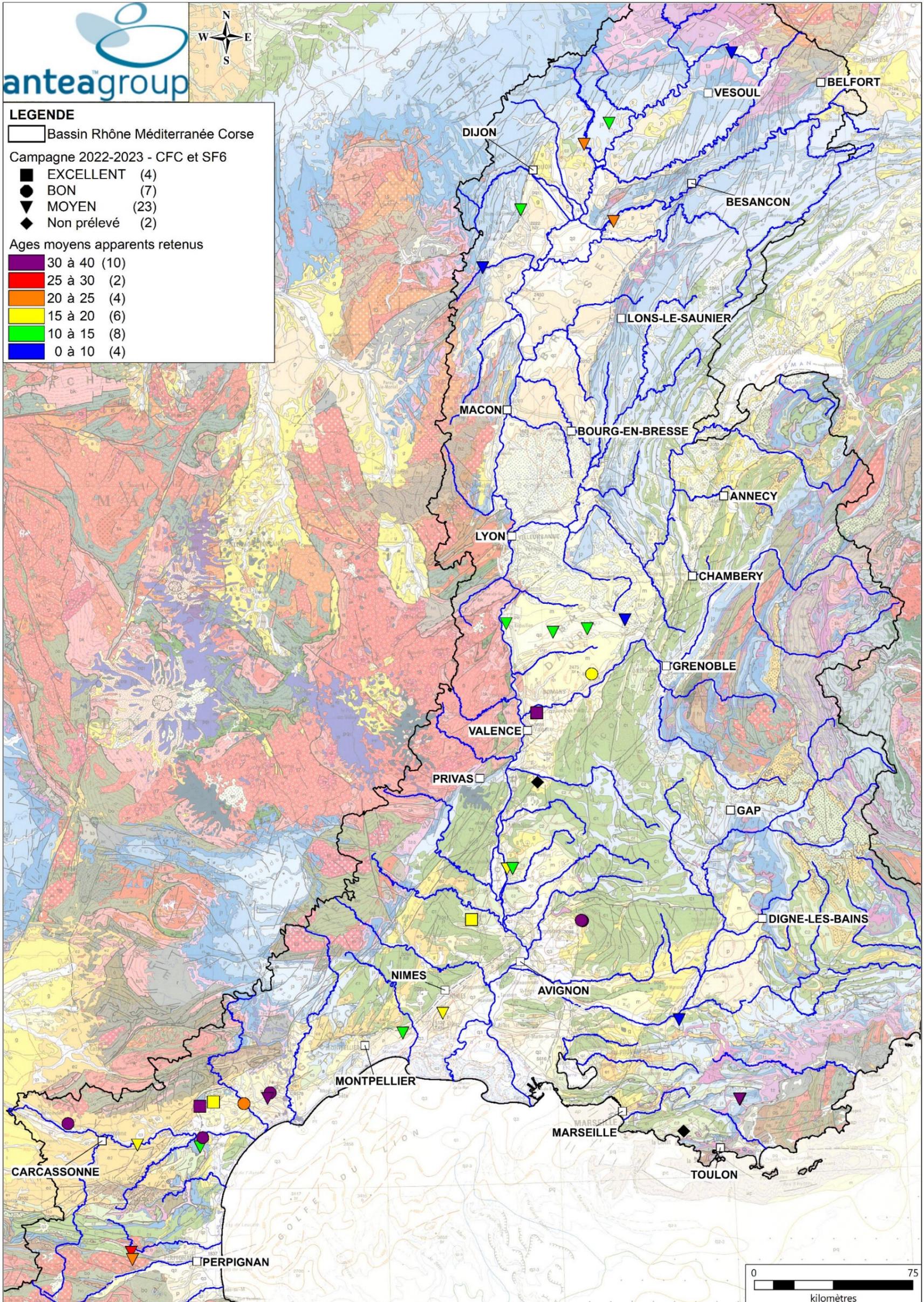


Figure 12 : Campagne Basses Eaux 2022 : Présentation cartographique des résultats - Classes d'âge moyen des eaux et indices de confiance





3.6.1. Résultats – Bourgogne/Franche-Comté

Il est rappelé que les indices de confiance sont moyens pour l'ensemble des ouvrages et des campagnes en Bourgogne/Franche-Comté.

Les sources qui émergent en pied de versant des calcaires jurassiques de la Côte dijonnaise à Santenay et Vosne-Romanée (21), ont montré des âges relativement élevés lors de la campagne basses eaux (20 à 30 ans) et beaucoup plus jeunes en hautes eaux (< 10 ans). Ce constat tend vers un schéma conceptuel des écoulements au sein d'un karst hétérogène, avec une plus forte contribution des modes de circulation rapides du karst en hautes eaux et a contrario des circulations plus lentes, inertielles et matricielles, en étiage.

Le puits d'Oisilly (21), alimenté par l'aquifère des calcaires jurassiques du Châtillonnais, a montré des eaux anciennes en basses eaux (> 30ans) présentant un rajeunissement en hautes eaux (20 à 25 ans) et pouvant également indiquer une plus forte proportion d'apports karstiques.

Les forages de Brevans (39), qui captent l'aquifère des alluvions de la vallée du Doubs, présentent des eaux anciennes avec un léger rajeunissement en période de hautes eaux qui peut illustrer une plus forte proportion d'apports du Doubs au moment des prélèvements.

La source de Maison Rouge, qui émerge des calcaires du Jurassique des plateaux de Haute-Saône (70), a montré des eaux de 10 à 15 ans en basses eaux et plus anciennes lors de la campagne de hautes eaux (25 à 30 ans). Ces résultats sont surprenants compte tenu de la nature karstique de l'aquifère et doivent être pris avec précaution (indice de confiance moyen).

En basses eaux, le Puits de Sainte-Marie-en-Chaux (70), qui capte la nappe alluviale du Breuchin et de la Lanterne, a montré des eaux récentes (< 10 ans) pouvant indiquer une proportion importante des apports du Breuchin dans l'alimentation globale du captage. Malheureusement, la campagne de hautes eaux n'a pas été concluante.

3.6.2. Résultats – Rhône-Alpes

Le forage des Deveys, qui capte la molasse du Bas-Dauphiné à Châteauneuf-sur-Isère (26), présente une eau ancienne (> 30 ans) quelle que soit la période de l'année.

A Saint-Paul-Trois-Châteaux (26) :

- Le champ captant des Gonsards, qui est alimenté par la nappe d'accompagnement du Rhône et des apports de versant montre une eau de 15 à 20 ans, qui serait plus âgée en hautes eaux ;
- Le champ captant des Alènes, qui exploite une nappe contenue dans les dépôts lacustres de la vallée de la Roubine, montre une eau relativement âgée (20 à 25 ans) en basses eaux avec un rajeunissement en hautes eaux (< 10 ans) qui témoigne de la plus forte contribution du cours d'eau dans l'alimentation globale des captages.

Sur le secteur de la plaine de Bièvre Valloire (38), les âges moyens déterminés pour l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires sont de l'ordre de 10 à 15 ans.

Les sources de Planche Cattin à Apprieu (38) issues des alluvions fluvio-glaciaires de la rive droite de la Fure montrent un âge apparent jeune en basses eaux comme en hautes eaux (< 10 ans).

La source de Courbon à Chatte (38) montre des eaux anciennes en basses eaux (> 30 ans). En hautes eaux, le prélèvement a été réalisé sur l'ouvrage voisin du « Puits de la Scie » et a indiqué des eaux plus récentes en hautes eaux (15 à 20 ans). Les deux ouvrages captent le même aquifère mais des différences locales liées à la participation de la molasse et/ou de la rivière peuvent exister. L'âge plus ancien des eaux observé en période de basses eaux pourrait indiquer une proportion d'alimentation issues des versants molassiques (eau ancienne de la molasse du Bas-Dauphiné) plus importante en étiage. Néanmoins, la meilleure convergence des résultats lors de la campagne hautes eaux incite à retenir l'âge moyen apparent de 15 à 20 ans.

La source de Francou qui émerge des formations glaciaires à Saint-Maurice-l'Exil (38) montre des eaux âgées en basses eaux (15 à 20 ans) et plus récentes en hautes eaux (< 10 ans). Cette variation pourrait indiquer un soutien d'étiage par la molasse sous-jacente (eau ancienne), également aquifère, en période de basses eaux.

3.6.3. Résultats – Provence-Alpes-Côte d'Azur

En hautes eaux, la Source Font Reynaude à Saint-Paul-Les-Durance (13) a montré une eau récente (< 10 ans), en bonne corrélation avec son contexte hydrogéologique (calcaires karstifiés du Crétacé et du Jurassique).

Les captages de Gareoult (83), forage « Les Guines » et forage de « Font Clastre », alimentés par la nappe des alluvions de l'Issole et l'aquifère calcaire triasique sous-jacent ont montré des eaux anciennes (> 30 ans) en période de basses eaux. Malheureusement, la campagne de hautes eaux n'a pas été concluante sur ces deux ouvrages.

Les captages de Bedouin (84), Basses Pessades et Giardini, captant la nappe des sables blancs de Bédoin, ont montré des eaux anciennes (> 30 ans) en basses eaux, comme en hautes eaux.

3.6.4. Résultats – Occitanie

Le Forage de la Croix Blanche à Montredon-Des-Corbières (11), capte l'aquifère karstique de Montlaures, constitué par les calcaires et dolomies fissurés, libre au droit du forage. Les datations ont montré des eaux anciennes en basses eaux (25 à 30 ans) et plus récentes en hautes eaux (10 à 15 ans), indiquant une plus forte contribution du karst et des pertes de cours d'eau en période de hautes eaux.

Le Forage de Mailloles à Moussan (11), capte l'aquifère karstique des calcaires fissurés du Jurassique moyen/supérieur (Dogger/Malm), captif au droit du forage. Les datations réalisées sur l'ouvrage ont indiqué des eaux anciennes (> 30 ans) en période de basses eaux, comme en période de hautes eaux.

L'aquifère capté par les sources de Boudouire à Raissac-sur-Lampy (11), correspond aux calcaires de l'Ilerdien faiblement karstifiés. Les datations ont indiqué des eaux anciennes (> 30 ans) en période de basses eaux, comme en période de hautes eaux.

Le puits de la Station à Capendu (11), est implanté dans la nappe alluviale en rive droite de l'Aude. Lors de la campagne de basses eaux, l'âge apparent de l'eau était très élevé (> 30 ans) témoignant des apports du substratum molassique et du versant calcaire. En période de hautes eaux, l'âge apparent de l'eau était plus faible (10 à 15 ans) et pourrait indiquer un apport d'eau plus récente par l'Aude qui, d'après la bibliographie, ne participerait à l'alimentation de la plaine qu'en période de crue.

Sur la commune de Sabran (30), la source d'Auzigue issue des calcaires gréseux du Coniacien fissurés et karstifiés a montré un âge moyen apparent de l'ordre de 15 à 20 ans quelle que soit la période de l'année.

A Générac (30), la source de la Fontaine, qui capte l'aquifère des sables astiens et les cailloutis villafranchiens sur la bordure des Costières, présente une eau relativement ancienne en basses eaux (20 à 25 ans) avec un rajeunissement en hautes eaux (10 à 15 ans) qui peut indiquer une plus grande proportion d'eau récente dans l'alimentation globale du captage (infiltration d'eaux superficielles plus jeunes).

Le puits Perdiguier Nord implanté dans les alluvions récentes de la vallée de l'Orb à Maraussan (34) a présenté des eaux anciennes en basses eaux (> 30 ans) avec un léger rajeunissement en hautes eaux (20 à 25 ans) qui montre la plus grande proportion d'eaux anciennes issues du versant en période de basses eaux.

Sur la commune de Servian (34), le forage de Vieulesse et le forage de La Baume qui captent des horizons graveleux du Pliocène continental (et des sables de l'Astien pour le forage de la Baume) ont montré des eaux anciennes (> 30 ans) en période de basses eaux. En hautes eaux, le forage de Vieulesse était hors service, mais le forage de la Baume a présenté des eaux de la même classe d'âge.

Le forage des Aubettes, qui capte la nappe contenue dans les cailloutis du Villafranchien (Pliocène) a montré un âge apparent d'environ 15 ans.

Le forage les Bories (exploitant des calcaires karstifiés du Crétacé supérieur) présentait une eau de 10 à 15 ans lors de la campagne de basses eaux et de 15 à 20 ans lors de la période de hautes eaux. Un âge moyen apparent de 15 à 20 ans a été retenu.

La source Roquefourcade est issue des calcaires de l'Héttangien et correspond à une résurgence de type vaclusienne. Celle-ci a montré des eaux anciennes (> 30 ans) en période de basses eaux, comme en période de hautes eaux avec un bon indice de confiance, malgré un contexte fracturé et karstifié favorable aux circulations rapides.

Les datations réalisées sur le forage de Trilla (exploitant un aquifère constitué de calcaires et marno-calcaires karstifiés et fracturés) indiquent une eau ancienne (> 25 ans) en hautes eaux comme en basses eaux.

Les captages de Trevillach, qui exploitent l'eau issue du massif granitique, présentaient une eau ancienne lors de la campagne de basses eaux (25 à > 30 ans). En période de hautes eaux, l'âge apparent de l'eau était plus récent sur le forage F1 (10 à 15 ans) témoignant d'un apport d'eau plus jeune via les circulations fissurales.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés.

Antea Group s'est engagée à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformée aux usages de la profession. Antea Group conseille son client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son client.

Le client autorise Antea Group à le nommer pour une référence scientifique ou commerciale. A défaut, Antea Group s'entendra avec le client pour définir les modalités de l'usage commercial ou scientifique de la référence.

Ce rapport devient la propriété du client après paiement intégral du coût de la mission ; son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <https://www.anteagroup.fr/fr/annexes>.

Mesure

Air ambiant
Air intérieur
Exposition professionnelle
Eau
Pollution atmosphérique

Environnement

Due diligence et conseil stratégique
Sites et sols pollués
Travaux de dépollution
Dossiers réglementaires

Nos services

Eau

Traitement des effluents industriels
Eau ressource et géothermies
Eau potable et assainissement
Aménagement hydraulique

Data

Systèmes d'information et data management
Solutions pour le data management environnemental

Infrastructures

Déconstruction et désamiantage
Géotechnique
Fondations et terrassements
Ouvrages et structures
Risques naturels
Déchets et valorisation

Aménagement du territoire

Projet urbain
L'environnement au cœur des stratégies et projets
Stratégie territoriale et planification

Antea Group est certifiée :



Portées
communiquées
sur demande