



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



Rapport n°124455/B – 25 septembre 2023

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

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°	Erreur ! Source du renvoi introuvable.
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	20/07/2023	68	3	Version initiale
B	25/09/2023	77	3	Intégration des remarques du COPIL

Sommaire

1. Introduction.....	8
2. Présentation de la méthode de datation	9
2.1. Définition de l'âge moyen d'une eau	9
2.2. Généralités sur les CFC et SF6	9
2.2.1. CFC ou chlorofluorocarbures	9
2.2.2. SF6 ou Hexafluorure de Soufre	10
2.3. Principe de la méthode de datation à l'aide du couple CFC/SF6	10
3. Protocole d'échantillonnage des eaux	14
3.1. Méthode d'échantillonnage des eaux.....	14
3.2. Formation des préleveurs	15
4. Analyses et calcul de l'âge moyen des eaux.....	16
4.1. Méthode d'analyse du laboratoire CONDATE EAU	16
4.2. Correction de l'excès d'air.....	16
4.3. Détermination de l'âge moyen des eaux	17
4.3.1. Modèle piston	17
4.3.2. Modèle exponentiel.....	18
4.3.3. Modèle mélange	18
4.4. Incertitude des âges et choix des modèles	19
4.4.1. Définition d'une eau récente (incertitude)	19
4.4.2. Choix du modèle	20
5. Présentation des résultats	22
5.1. Implantation des captages	22
5.2. Régime hydrologique	24
5.3. Présentation de la fiche de synthèse	24
5.4. Estimation de la réactivité de l'aquifère aux modalités de recharge.....	25
5.5. Qualité des résultats de datation.....	30
5.6. Classification des temps de résidence et limite de la méthode.....	31
6. Résultats des campagnes d'analyses 2022 et 2023.....	35
6.1. Influence des conditions de prélèvements sur la qualité des résultats	35
6.2. Indice de confiance des résultats	36
6.2.1. La totalité de la zone d'étude	36
6.2.2. Indice de confiance par région.....	38

6.3. Résultats des campagnes de datation.....	47
6.4. Répartition des indices de réactivité par classe d'âge	49
6.5. Répartition géographique	50
6.5.1. Résultats – Bourgogne/Franche-Comté	56
6.5.2. Résultats – Rhône-Alpes	59
6.5.3. Résultats – Provence-Alpes-Côte d'Azur.....	62
6.5.4. Résultats – Occitanie.....	65
6.6. Ages moyens apparents retenus.....	68
7. Conclusions.....	73

Table des figures

Figure 1 : Coupe schématique illustrant l'âge moyen d'une eau au captage	9
Figure 2 : Schéma de principe de la datation par les CFC-SF6 : enregistrement de la signature atmosphérique (Ayraud, 2005)	11
Figure 3 : Chroniques des concentrations dans l'air des CFC et du SF6 dans l'hémisphère Nord (NOAA)	12
Figure 4 : Exemple d'une fiche de prélèvement	14
Figure 5 : Illustration du modèle Piston (CONDATE EAU)	17
Figure 6 : Illustration du modèle Exponentiel (CONDATE EAU)	18
Figure 7 : Illustration du modèle Mélange (CONDATE EAU)	19
Figure 8 : Implantation et nature des captages	23
Figure 9 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 1	26
Figure 10 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 2	27
Figure 11 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 3	27
Figure 12 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 4	28
Figure 13 : Qualité des résultats de la campagne BE 2022	36
Figure 14 : Qualité des résultats de la campagne HE 2023	37
Figure 15 : Qualité des résultats des campagnes 2022-2023 – Région Bourgogne-Franche-Comté	38
Figure 16 : Qualité des résultats des campagnes 2022-2023 – Région Auvergne-Rhône-Alpes	40
Figure 17 : Qualité des résultats des campagnes 2022-2023 – Région PACA	42
Figure 18 : Qualité des résultats des campagnes 2022-2023 – Région Occitanie	44
Figure 19 : Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne BE 2022	47
Figure 20 : Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne HE 2023	48
Figure 21 : Répartition des indices de réactivités par classes d'âge moyen de la totalité des captages	49
Figure 22 : Répartition des classes d'âge moyen pour la campagne Basses Eaux 2022	51
Figure 23 : Répartition des classes d'âge moyen pour la campagne Moyennes à Hautes Eaux 2023	52
Figure 24 : Répartition des classes d'âge moyen en Bourgogne/Franche-Comté en Basses Eaux et Moyennes à Hautes Eaux	53
Figure 25 : Répartition des classes d'âge moyen en Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur en Basses Eaux et Moyennes à Hautes Eaux	54
Figure 26 : Répartition des classes d'âge moyen en Occitanie en Basses Eaux et Moyennes à Hautes Eaux	55
Figure 27 : Bourgogne/Franche-Comté - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne BE 2022	57
Figure 28 : Bourgogne/Franche-Comté - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne HE 2023	57
Figure 29 : Rhône-Alpes - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne BE 2022	60
Figure 30 : Rhône-Alpes - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne HE 2023	60
Figure 31 : PACA - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne BE 2022	63

Figure 32 : PACA - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne HE 2023	63
Figure 33 : Occitanie - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne BE 2022	66
Figure 34 : Occitanie - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne HE 2023	66
Figure 35 : Ages moyens retenus pour l'ensemble des captages	70
Figure 36 : Répartition des âges moyens apparents retenus pour 2022-2023	71
Figure 37 : Bourgogne/Franche-Comté - Répartition des âges moyens apparents retenus pour 2022-2023	71
Figure 38 : Rhône-Alpes - Répartition des âges moyens apparents retenus pour 2022-2023	71
Figure 39 : PACA - Rhône-Alpes - Répartition des âges moyens apparents retenus pour 2022-2023	72
Figure 40 : Occitanie - PACA - Répartition des âges moyens apparents retenus pour 2022-2023	72

Table des tableaux

Tableau 1 : Liste des captages non prélevés en juillet/août 2022 ou repris en novembre 2022	22
Tableau 2 : Liste des captages non prélevés en février/mars 2023	22
Tableau 3 : Grille de l'indice de confiance des résultats	30
Tableau 4 : Démarche de l'interprétation – Exemple du forage des Deveys	32
Tableau 5 : Indice de confiance des résultats en fonction des conditions de prélèvements – Campagne de Basses Eaux (juillet-août 2022)	35
Tableau 6 : Indice de confiance des résultats en fonction des conditions de prélèvements – Campagne de Hautes Eaux (février-mars 2023)	35
Tableau 7 : Indice de confiances des résultats	36
Tableau 8 : Classe d'âge et indice de confiance des captages de Bourgogne/Franche-Comté pour la campagne Basses Eaux 2022	39
Tableau 9 : Classe d'âge et indice de confiance des captages de Bourgogne/Franche-Comté pour la campagne Hautes Eaux 2023	39
Tableau 10 : Classe d'âge et indice de confiance des captages de Rhône-Alpes pour la campagne Basses Eaux 2022	41
Tableau 11 : Classe d'âge et indice de confiance des captages de Rhône-Alpes pour la campagne Hautes Eaux 2022	41
Tableau 12 : Classe d'âge et indice de confiance des captages de Provence-Alpes-Côte d'Azur pour la campagne Basses Eaux 2022	43
Tableau 13 : Classe d'âge et indice de confiance des captages de Provence-Alpes-Côte d'Azur pour la campagne Hautes Eaux 2023	43
Tableau 14 : Classe d'âge et indice de confiance des captages d'Occitanie pour la campagne Basses Eaux 2022	45
Tableau 15 : Classe d'âge et indice de confiance des captages d'Occitanie pour la campagne Hautes Eaux 2023	46
Tableau 16 : Ages moyens apparents en Basses Eaux et Moyennes à Hautes Eaux – Bourgogne/Franche-Comté	56
Tableau 17 : Ages moyens apparents en Basses Eaux et Moyennes à Hautes Eaux – Rhône-Alpes	59
Tableau 18 : Ages moyens apparents en Basses Eaux et Moyennes à Hautes Eaux – Provence-Alpes-Côte-D'azur	62
Tableau 19 : Ages moyens apparents en Basses Eaux et Moyennes à Hautes Eaux – Occitanie	65
Tableau 20 : Ages moyens retenus pour l'ensemble des captages	69
Tableau 21 : Synthèse des résultats des campagnes 2022-2023	75
Tableau 22 : Répartition des indices de réactivités	76

Table des annexes

Annexe I.	Protocole de prélèvement
Annexe II.	Exemple de fiche de synthèse
Annexe III.	Fichier des résultats des campagnes de basses eaux 2022 et hautes eaux 2023

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 rapport constitue le rapport 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.

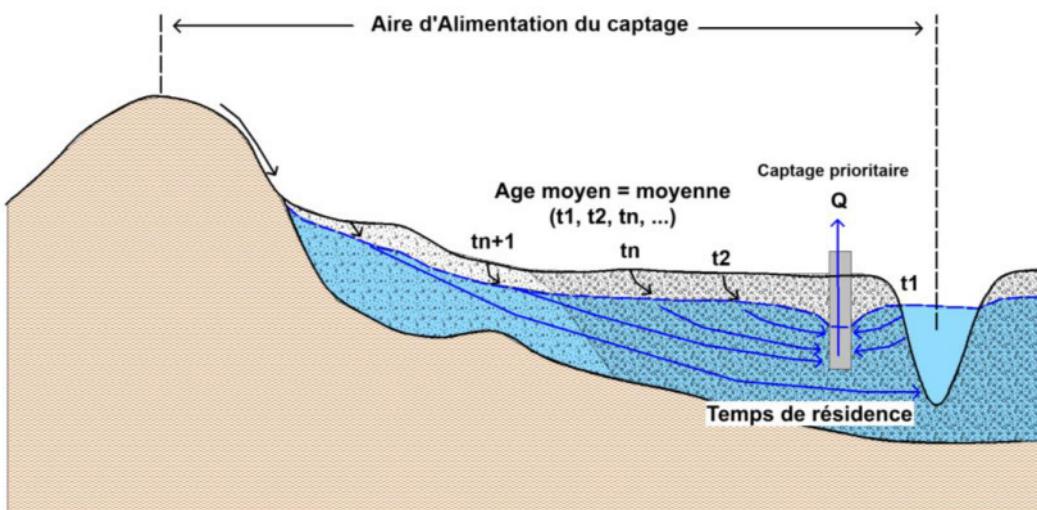


Figure 1 : Coupe schématique illustrant l'âge moyen d'une eau au captage

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. Généralités sur les CFC et SF6

2.2.1. CFC ou chlorofluorocarbures

Les composés halogénés CFC (chlorofluorocarbones), commercialement appelés Fréons, ne sont pas présents naturellement dans l'atmosphère. Leur première synthétisation a été effectuée en 1928 mais ce n'est qu'au début des années 30 que leur commercialisation a commencé pour se développer largement à partir des années 1950 avec de nombreuses utilisations. Ces gaz se sont alors diffusés dans l'atmosphère et l'hydrosphère.

Le CFC-11 (trichlorofluorométhane), le CFC-12 (trichlorodifluorométhane), et le CFC-113 (trichlorotrifluorométhane) ont été utilisés principalement comme : agents gonflants dans les mousse

de matières plastiques, combustibles, matière première dans la synthèse de composés synthétiques, propulseurs pour aérosols en droguerie et solvants. Ce sont des composés inodores, incolores, ininflammables, non-corrosifs, non toxiques et non cancérogènes.

2.2.2. SF6 ou Hexafluorure de Soufre

L'hexafluorure de soufre (SF6) a deux sources distinctes : une origine anthropique et une origine naturelle. Cette dernière représente environ 1% de la production annuelle mondiale de SF6, la production industrielle n'ayant débuté qu'au début des années 1950.

Il est utilisé principalement pour ces capacités isolantes par l'industrie de l'énergie électrique, pour la production d'aluminium et de magnésium, dans les accélérateurs de particules, pour la production du double vitrage, comme gaz traceur pour l'étude et l'évaluation des systèmes de ventilation et comme gaz détecteur de fuite.

Ce n'est pas un agent toxique pour l'homme, mais il peut entraîner des risques de suffocation à hautes concentrations. Il est l'un des plus puissants gaz à effet de serre et à ce titre a été visé par le protocole de Kyoto en 1997 demandant aux pays de s'engager à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Néanmoins sa présence dans l'atmosphère ne cesse de croître (Cf. Figure 3) car aucun gaz de substitution ayant les mêmes propriétés n'a été découvert à ce jour.

2.3. 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.

Selon cette loi, la solubilité d'un gaz dissous dans l'eau à l'équilibre avec l'air est proportionnelle à la pression p_i de ce gaz dans l'air,

$$C_i = K_{H_i} p_i \text{ où } C_i \text{ est la concentration du gaz CFC-}i \text{ dans l'eau et } K_{H_i} \text{ la constante de Henry pour ce CFC-}i.$$

La constante de Henry nécessite donc une connaissance de la pression à laquelle les gaz de l'air sont dissous dans l'eau. Cette pression sera estimée pour chaque point d'eau à partir de l'altitude et de la température moyenne de recharge.

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.

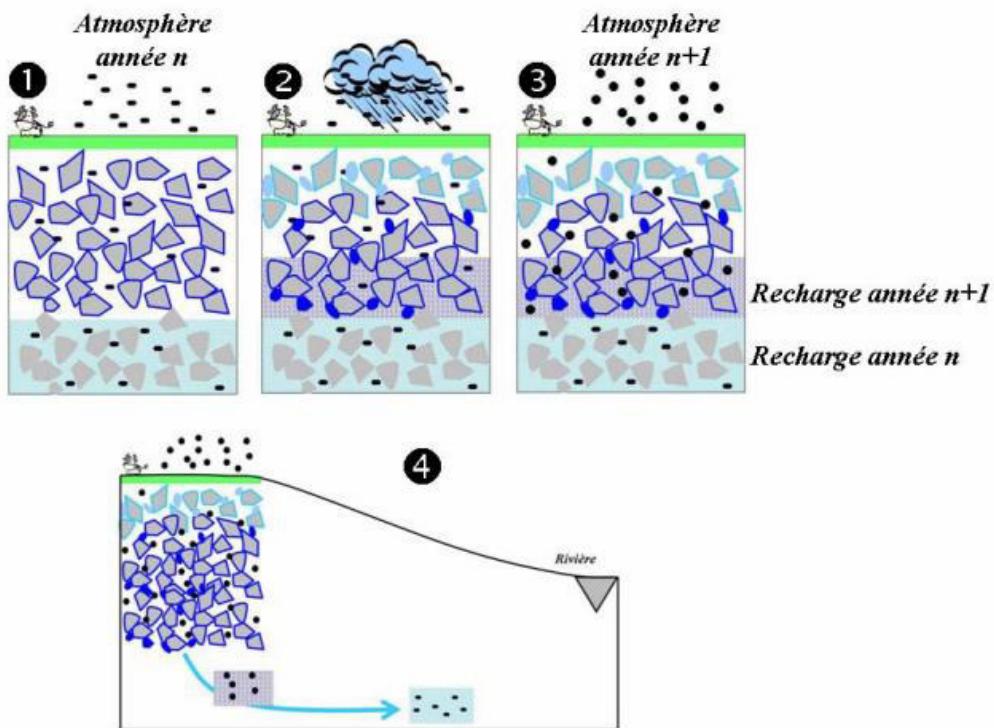


Figure 2 : Schéma de principe de la datation par les CFC-SF6 : enregistrement de la signature atmosphérique (Ayraud, 2005)

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 partie 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).

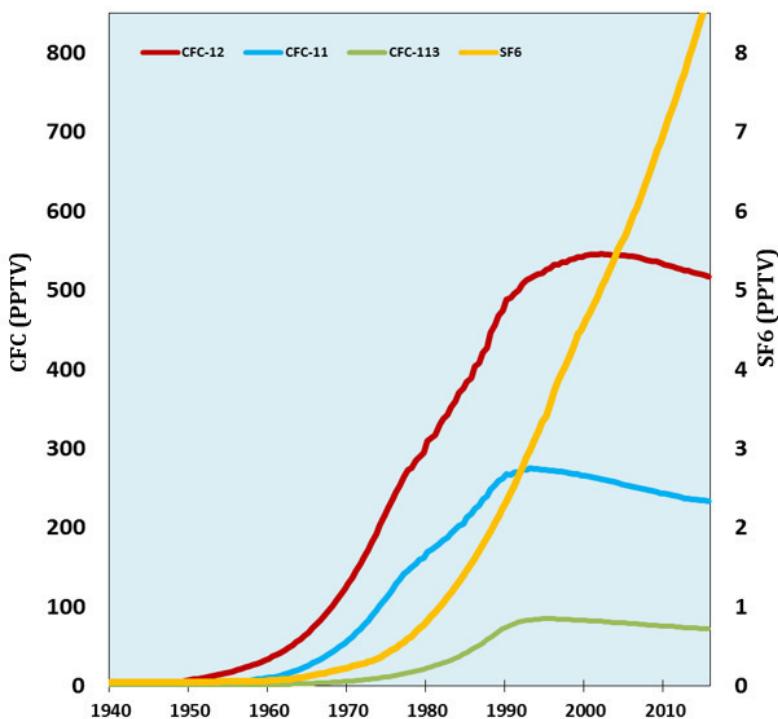


Figure 3 : Chroniques des concentrations dans l'air des CFC et du SF6 dans l'hémisphère Nord (NOAA)

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.

Il existe un certain nombre de paramètres qui peuvent entraîner une variation des teneurs en CFC et SF6 des eaux. Seuls ceux pouvant jouer un rôle sur la signature atmosphérique des eaux continentales souterraines, qui sont l'objet de cette étude, seront évoqués :

- La température et l'altitude de recharge : ce sont les paramètres d'entrée de la conversion des concentrations dissoutes en concentrations atmosphériques équivalentes (équation de solubilité des gaz, plus une eau est froide plus elle peut contenir de gaz dissous). Il est

primordial d'avoir au préalable correctement défini ces deux paramètres qui peuvent être vérifié par l'étude du rapport néon/argon.

- L'excès d'air : ce phénomène représente la rétention de bulles de gaz dans les capillaires de la matrice du sol. Il se créé des bulles d'air qui, entraînées par l'eau, se dissolvent sous l'effet de l'augmentation de la pression en profondeur. Les concentrations en SF6 peuvent ainsi augmenter artificiellement. L'analyse d'autres gaz dissous comme le néon permet d'estimer cet excès d'air et de corriger la donnée du SF6 qui est influencée par ce phénomène (ce qui n'est pas le cas des CFC).

Les contaminations d'air : elles peuvent se produire lors du prélèvement d'un échantillon par contact avec l'air environnant ou bien suite à la présence proche d'une source ancienne ou actuelle de production de CFC et ou de SF6. Le protocole de prélèvement a été conçu de façon à minimiser autant que faire se peut le risque de contamination.

- La zone non saturée (ZNS) : l'épaisseur de la ZNS n'est pas prise en compte par la méthode de datation à partir des CFC et du SF6. En effet le temps zéro est celui de l'entrée dans la nappe souterraine et pas dans le sol. L'influence et le rôle de la ZNS sur les processus de transferts des gaz sont difficiles à caractériser mais il est reconnu que son influence augmente avec son épaisseur. Concernant des solutés qui peuvent avoir un temps de séjour significatif dans la ZNS, cette dernière peut jouer un rôle en provoquant une sous-estimation des temps de résidence des solutés dans le bassin versant. Dans le cas de notre étude, le temps de transfert dans le ZNS n'est pas pris en compte. Cependant, la réactivité de l'aquifère a été évaluée pour chacun des captages en caractérisant l'effet retard non pris en compte par la méthode de datation¹ lié par exemple au fait que l'eau doit traverser la zone non saturée avant d'entrer dans la nappe ou à la présence d'une alimentation différée en lien avec une nappe de versant.
- Le milieu géologique : la connaissance du fonctionnement hydrogéologique du site d'étude est déterminante dans le choix du modèle hydrogéologique. Les données géologiques et hydrogéologiques ont été synthétisées par ANTEA GROUP.
- Les contaminations anthropiques : les contaminations industrielles et agricoles peuvent entraîner une augmentation des concentrations en CFC, ce qui rend ininterprétable les résultats.
- La dégradation microbienne : les CFC sont dégradés microbiologiquement en milieu très réducteur. Néanmoins, ils ne présentent pas tous la même sensibilité à la dégradation. Alors que le CFC-11 peut se dégrader dès qu'une dénitrification existe (concentration en oxygène faible mais mesurable), le CFC-12 n'est lui dégradé qu'en milieu hyper-réducteur avec méthanolégenèse. La mesure des concentrations en oxygène dissous au cours du prélèvement permet de vérifier les conditions oxydo-réductrices du milieu.

¹Le temps zéro est celui de l'entrée des traceurs dans la nappe souterraine et pas dans le sol.

3. Protocole d'échantillonnage des eaux

Les concentrations en CFC et SF6 mesurées dans l'eau peuvent être influencées, comme vu précédemment, par plusieurs paramètres. De plus, ces concentrations sont très faibles : de l'ordre du pmol/L (10^{-12} mol/L) pour les CFC et du fmol/L (10^{-15} mol/L) concernant les SF6. Il est ainsi nécessaire d'apporter un soin particulier à la méthode d'échantillonnage.

Dans l'objectif de réduire au maximum les erreurs liées aux conditions de prélèvement, il a été mis en place :

- Un protocole de prélèvement,
- Une journée de formation de l'ensemble des préleveurs.

Les prélèvements d'eau ont été réalisés en 2022 et en 2023 par CARSO, dans le cadre d'un marché spécifique de l'agence de l'eau RMC dans le cadre de son programme de surveillance DCE.

Afin de pouvoir bénéficier d'une certaine traçabilité des échantillons, ainsi que des conditions de prélèvement, chaque préleveur de CARSO se devait de compléter et renvoyer une fiche synthèse, dont la Figure 4 expose un exemple.

Prélèvement			Mode prélèvement	Niveau d'eau	Si pompe	Paramètres terrain stabilisés					Flaconnage			Remarques
POINT	DATE	HEURE				Robinet ou Pompage	Prof. / margelle (m)	Prof. de prélèvement	Cond (µs/cm à 25°C)	Temp (°C)	pH	O2% ou mg/L	n° grand ampoule	n° petite ampoule

Figure 4 : Exemple d'une fiche de prélèvement

3.1. Méthode d'échantillonnage des eaux

Fruit d'une dizaine d'années de recherche et de développement, le protocole de prélèvement intégré à la procédure de datation des eaux par les CFC et le SF6, est la propriété exclusive de CONDATE EAU. Ce protocole de prélèvement est présenté en **Annexe A**.

Compte tenu des diverses contraintes qui sont induites par l'utilisation de cette procédure ainsi que des très faibles teneurs en gaz dissous, le cahier des charges du protocole de prélèvement a été rédigé afin de prévenir tout risque de biais lors du prélèvement et des incidences éventuelles sur les analyses en laboratoire. Il est ainsi structuré suivant trois axes majeurs :

- Les recommandations générales ;
- La méthode de prélèvement en fonction du type d'ouvrage ;
- La méthode de prélèvement en fonction du type de flaconnage.

3.2. Formation des préleveurs

Même si le protocole de prélèvement est déjà éprouvé par un grand nombre de prélèvement réalisé par des tiers pour la plateforme, il a été demandé, de proposer une journée de formation aux préleveurs.

Le prestataire en charge des prélèvements dans le cadre du marché spécifique de l'agence de l'eau RMC est resté le même entre 2018 et 2022 (CARSO).

Cette journée s'est déroulée le 09/06/2022 à Lyon dans les locaux de l'agence de l'eau en présence de huit préleveurs de CARSO. A cette occasion, ils ont pu prendre en main le matériel de prélèvement spécifique, vérifier l'adaptation à leur propre matériel et lever un certain nombre d'incertitudes sur les conditions de prélèvement.

Une attention particulière a été portée au prélèvement pour les gaz dissous en flacons verre, dont la bonne mise en place du septum avait été considérée comme la partie la plus difficile du prélèvement par l'équipe de préleveur précédente.

De même que pour la campagne 2018, le cas des sources a été évoqué en précisant que le prélèvement autant que faire se peut doit être réalisé dans le griffon. Si ce dernier n'est pas accessible c'est le drain le plus productif qui devra être prélevé en plaçant la pompe dans celui-ci. Si aucune de ces solutions n'est possible le prélèvement est effectué dans la chambre de prélèvement (même s'il y a un brassage). Dans tous les cas ceci doit être signalé sur la feuille de prélèvement.

Le rappel a été fait sur la procédure d'alerte en cas de forage dont la chloration n'a pas pu être arrêtée ou si les teneurs en chlore résiduel sont importantes : doit être indiqué sur la feuille de prélèvement et les flaconnages le symbole !CI! pour que le laboratoire puisse être averti (risque de contamination de la chaîne analytique par les produits de dégradation chlorés).

4. Analyses et calcul de l'âge moyen des eaux

4.1. Méthode d'analyse du laboratoire CONDATE EAU

La plateforme CONDATE EAU de l'Université de Rennes 1 est spécialisée dans la datation des eaux via l'analyse des CFC et du SF6. Forte d'une expérience de plus 10 ans de ces membres sur cette méthode, elle propose ainsi son expertise dans le cadre de projets scientifiques nationaux ou internationaux mais aussi pour des prestations dans le cadre d'études appliquées (recherche d'eau ou étude sur des captages AEP).

Pour les analyses de datation, la plateforme CONDATE EAU est équipée de :

- 2 chromatographes en phase gazeuse à détecteur d'électron (GC-ECD) de marque thermo Fisher reliés à un système d'extraction des gaz (purge & trap) ;
- 1 micro chromatographe en phase gazeuse ;
- Le flaconnage nécessaire aux prélèvements d'eaux pour les analyses.

Les analyses sont réalisées au sein du laboratoire de la plateforme CONDATE EAU. L'analyse se base sur une préconcentration des gaz par un système de purge-and-trap puis une séparation/détection sur une chromatographie en phase gazeuse avec détecteur d'électron (GC-ECD)².

A partir de ces analyses la plateforme détermine les concentrations en gaz CFC et SF6 présents dans l'eau en pmol/l. Les limites de détection sont inférieures à la picomole par litres permettant de déterminer des âges piston à partir des années 1960 pour le CFC-12 et CFC-11, 1970 pour le CFC-113 et 1980 pour le SF6.

4.2. Correction de l'excès d'air

Parmi les facteurs pouvant affecter les concentrations en SF6, l'excès d'air peut être corrigé à partir des données d'autres gaz dissous. En particulier le néon est un gaz atmosphérique dont les concentrations sont stables au cours du temps et qui est un bon traceur de cet excès d'air (comportement similaire au SF6).

L'analyse du néon (et de l'argon) est réalisée en micro-chromatographie en phase gazeuse sur les flacons en verre prélevés en duplicita pour chaque point. La donnée obtenue est comparée à la valeur théorique attendue pour l'altitude et la température de recharge. L'éventuel excès observé par rapport à cette valeur théorique est ensuite appliqué à la valeur de SF6 corrigée du rapport des solubilités (le SF6 étant moins soluble, l'excès en SF6 est finalement plus important que celui observé en néon³). La température de recharge indiquée par le couple Ne/Ar est fournie avec le tableau de résultats pour validation des conditions de prélèvement en cas de doute (en particulier pour les sources).

²Méthodologie détaillée dans le cahier technique « Dosage des composés chlorofluorocarbonés et du tétrachlorure de carbone dans les eaux souterraines. Application à la datation des eaux » (Labasque, T., Ayraud, V., Aquilina, L., & Le Corre, P. 2006. Cahiers techniques de Géosciences Rennes N°4 et dans la thèse de Virginie VERGNAUD-AYRAUD (2005).

³ Use of chlorofluorocarbons in hydrology : a guidebook. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2006.

Les données SF6 sont systématiquement corrigées de l'excès d'air si celui-ci est naturellement présent. Le dégazage (valeur en néon inférieure à la valeur théorique de solubilité) n'est pas appliqué aux valeurs de SF6 car il peut être le signe d'un prélèvement mal effectué sur les flacons en verre (et pas forcément des ampoules aciers qui permettent l'analyse CFC/SF6). La suspicion de dégazage est indiquée par le laboratoire dans le fichier de suivi, et c'est la donnée brute de SF6 qui est utilisée par la suite dans ce cas de figure.

4.3. Détermination de l'âge moyen des eaux

Sur la base des hypothèses de température et de l'altitude de recharge, les données sont converties en concentrations atmosphériques équivalentes. Si les concentrations en gaz dissous excèdent les valeurs maximales possibles de dissolution de la plus haute valeur des courbes atmosphériques (soit 546 pptv en CFC-12, 275 pptv en CFC-11, 85 pptv en CFC-113 et 9.2 pptv en SF6), les valeurs ne peuvent pas être converties en âges. Dans le fichier de suivi, ces valeurs sont indiquées :

- en excès lorsque la valeur maximale est dépassée de moins de 10%,
- contaminées lorsque la valeur excède 10%.

Il est à noter qu'il ne s'agit pas de pollution et qu'une contamination au sens de cette étude reste une concentration inférieure aux normes de potabilité mais indique la présence d'une source externe de CFC/SF6 sur le site (origine souvent terrigène, lié à la géologie pour le SF6, décharges sauvages, industries pour les CFCs). Ces valeurs ne sont donc pas prises en compte dans l'interprétation en termes de temps de résidence et dans les modèles.

Le temps de résidence est ensuite estimé selon 3 modèles hydrogéologiques simples.

4.3.1. Modèle piston

Le modèle piston est apparenté à un fonctionnement de type nappe captive. La zone de recharge est peu étendue et hors de cette zone aucun contact avec la surface ne vient interférer. Ce modèle implique que toutes les lignes d'eau arrivant au forage ont parcouru la même distance et qu'elles ont donc le même « âge » : la valeur obtenue correspond à l'âge apparent (moyen) de l'eau. Pour ce modèle on attend une inertie plus ou moins forte au changement en fonction du temps de résidence.

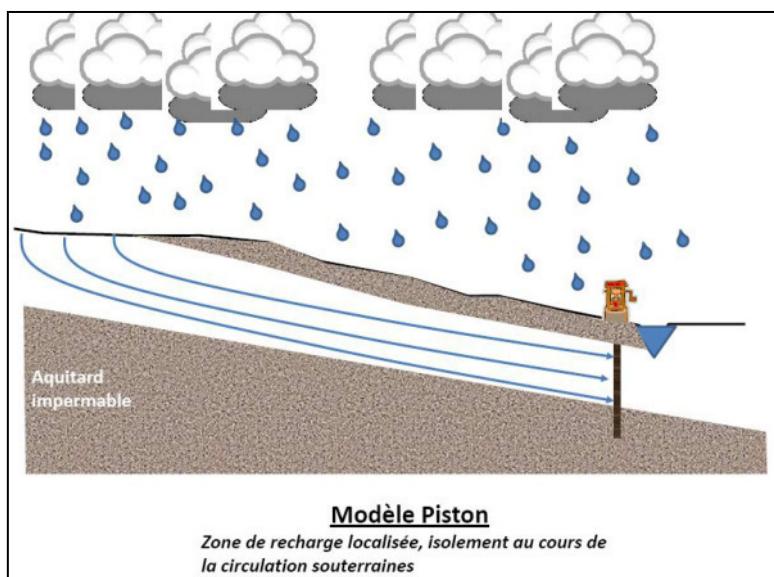


Figure 5 : Illustration du modèle Piston (CONDAT EAU)

4.3.2. Modèle exponentiel

Ce modèle reflète le fonctionnement d'une nappe libre « idéale ». 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 n'est pas réellement l'âge moyen mais le 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. Dans ce cas on attend une réaction assez rapide de la nappe à un changement de surface, mais qui va s'étaler dans le temps.

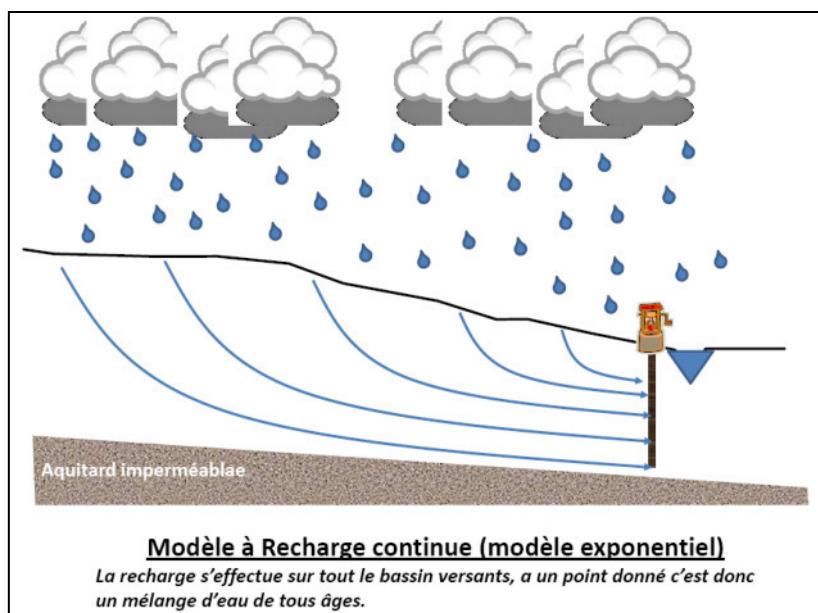


Figure 6 : Illustration du modèle Exponentiel (CONDATE EAU)

4.3.3. Modèle mélange

Dans le cas du modèle mélange, on teste la possibilité que l'eau prélevée soit le 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 de 2016) et une eau ancienne sans CFC (>60 ans). CONDATE EAU a développé une méthodologie permettant de tester d'autres mélanges binaires que le simple eau jeune/ eau vieille. Ainsi par défaut, chacun des résultats est testé pour deux types de mélange :

- Entre des eaux récentes (< 5 ans, concentration en CFC de 2016) et un réservoir de temps de résidence inconnu (10 à plus de 60 ans). Pour chaque traceur il est donc recherché au moyen d'une équation de mélange le pourcentage et l'« âge » apparent du second réservoir permettant d'expliquer les concentrations observées. Etant donné que 2 paramètres (%) et (âge) sont manquants, il n'est pas possible de trouver une solution unique à partir d'un seul traceur. C'est la comparaison des données issues du calcul sur l'ensemble des traceurs disponibles (de 2 à 4) qui permet de résoudre le système et de trouver la solution unique si elle existe.
- A l'inverse, il est également testé le mélange entre une eau ancienne (> 60 ans) et une eau plus ou moins récente (de < 5 à 50 ans) selon la même méthode itérative de recherche du % et de l'« âge » du second réservoir (ici jeune) qui permet d'expliquer les concentrations observées des traceurs disponibles.

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.

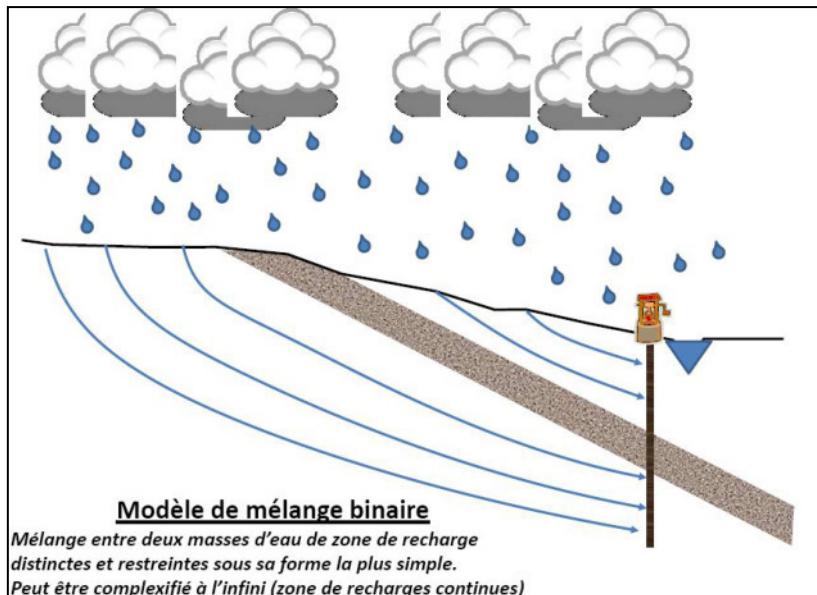


Figure 7 : Illustration du modèle Mélange (CONDATE EAU)

4.4. Incertitude des âges et choix des modèles

4.4.1. Définition d'une eau récente (incertitude)

Les traceurs gazeux que sont les CFC et le SF6 présents dans l'atmosphère vont être entraînés par les pluies et vont traverser la zone non saturée avant d'entrer dans l'eau souterraine sous forme de gaz dissous suivant la loi de Henry⁴. L'eau de la nappe va alors isoler les traceurs de l'atmosphère et va conserver sa signature atmosphérique.

Pour permettre de dater les eaux en comparant les concentrations en gaz dissous dans les eaux souterraines et les chroniques de concentration des gaz dans l'atmosphère, il est nécessaire de connaître la pression à laquelle les gaz de l'air sont dissous dans l'eau. Cette pression a été estimée pour chaque captage à partir de l'altitude et de la température moyenne de recharge.

Ces hypothèses d'entrée (altitude et température de recharge) ont été fournies par ANTEA GROUP au laboratoire CONDATE EAU. Pour cela nous avons considéré :

- L'altitude moyenne de l'Aire d'Alimentation de chaque captage, déduite des études sur les aires d'alimentation des captages (AAC) fournies par l'agence de l'eau au démarrage du marché, ainsi que des périmètres SIG des AAC en sa possession. Parmi les 36 captages sélectionnés, l'aire d'alimentation est d'ores et déjà délimitée pour 13 captages (36%). Pour les autres points où les études n'ont pas encore débuté (ou dans le cas où les données sont non disponibles), nous avons déterminé les limites des AAC à partir de l'analyse des études en notre possession et de l'analyse du contexte géologique et hydrogéologique. Cette estimation

⁴ Loi de Henry : la solubilité d'un gaz dissous dans l'eau à l'équilibre avec l'air est proportionnelle à la pression de ce gaz dans l'air.

ne peut en aucun cas remplacer une étude complète de délimitation de bassin d'alimentation de captage.

- La température moyenne de recharge a été estimée à partir des données ADES de température de l'eau au moment où sont faits les prélèvements sur la période comprise entre les mois de novembre et avril qui correspond généralement à la période de l'année où les nappes se rechargent. Nous avons ensuite vérifié la cohérence des données entre les captages les plus proches.

La marge d'erreur sur ces données d'entrée reste toutefois limitée car d'après CONDATE EAU :

- Une surestimation de la température de recharge de 2°C génère une surestimation de l'âge moyen de l'eau d'environ 1 an,
- Une surestimation de l'altitude moyenne de recharge de 100 m génère une surestimation de l'âge moyen de l'eau d'environ 1 an.

Dans sa thèse⁵, Mme VERGNAUD-AYRAUD estime que lorsque l'on considère l'ensemble des facteurs pouvant générer une erreur, « l'incertitude globale sur les âges moyens obtenus est d'environ 4 ans ».

Dans le cadre de cette étude, nous avons retenu une marge d'erreur estimée à 5 ans : cela signifie qu'une eau actuelle encore appelée eau jeune est une eau qui a un âge moyen compris entre 0 et 5 ans.

4.4.2. Choix du modèle

Le laboratoire CONDATE EAU fourni à ANTEA GROUP les résultats exprimés en « années » pour chaque traceur (SF6, CFC12, CFC11 et CFC113) et pour chaque modèle (Piston, Exponentiel et Mélange). A partir de ces résultats :

- Pour les modèles Piston et Exponentiel, il est calculé la moyenne des âges et la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne (écart type),
- Pour le modèle Mélange, l'incertitude est exprimée en fonction du nombre de traceur exploitable (2, 3 ou 4) et de la convergence des âges de ces différents traceurs.

Le choix du modèle revient à ANTEA GROUP en fonction :

- Du contexte hydrogéologique et plus particulièrement de la connaissance des modalités de recharge des aquifères via les éléments disponibles dans les études AAC fournies par l'Agence de l'Eau et les connaissances hydrogéologiques d'ANTEA,
- De l'analyse des chroniques en nitrates du captage considéré pour vérifier la tendance de l'évolution dans le temps des concentrations,
- De la qualité des résultats et notamment la cohérence entre les deux campagnes analytiques : sauf cas particulier, nous avons considéré que le modèle retenu était le même en période de moyennes et de basses eaux. Dans certains cas toutefois, il est possible qu'en période de hautes eaux le modèle mélange soit applicable mais pas en basses eaux (cas par exemple d'un aquifère alimenté par la surverse d'un karst adjacent actif seulement en période de hautes eaux, ou cas d'un puits en nappe alluviale alimenté par des apports de versant en basses eaux

⁵ 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.

(modèle exponentiel) alors qu'en période de hautes eaux le puits a une alimentation mixte par le versant et la rivière (modèle mélange)).

En cas d'incohérence, ANTEA GROUP revient vers CONDATE EAU pour s'affranchir de toute erreur lors de la transmission des résultats.

5. Présentation des résultats

5.1. Implantation des captages

Les points de prélèvements concernés par les campagnes de datation de 2022-2023 sont au nombre de 36, représentant (cf. Figure 8) :

- 6 captages sur le territoire de la délégation de Besançon (départements de la Côte-d'Or, du Jura et la Haute-Saône),
- 9 captages sur le territoire de la délégation de Lyon (départements de l'Isère et de la Drôme),
- 6 captages sur le territoire de la délégation de Marseille (départements des Bouches-du-Rhône, du Var, du Vaucluse),
- 15 captages sur le territoire de la délégation de Montpellier (départements de l'Aude, du Gard, de l'Hérault et des Pyrénées Orientales).

Cette étude a compris une campagne basses eaux réalisée en septembre 2022 et une campagne de moyennes à 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).

CODE OUVRAGE	Délégation	COMMUNE	NOM	DATE PRELVT
AE2608	AUVERGNE-RHONE-ALPES	CHABRILLAN (26)	SOURCE ROUVEYROL	12/07/2022 à sec
AE1301	PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR	SAINT-PAUL-LES-DURANCE (13)	SOURCE FONT REYNAUDE	18/08/2022 à sec
AE8303	PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR	SAINT-CYR-SUR-MER (83)	PUITS LONG	Captage abandonné non prélevable.
AE2106	BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE	SANTENAY (21)	S. DU RU DE BOICHOT	13/07/2022 flacon cassé 17/11/2022 reprise

Tableau 1 : Liste des captages non prélevés en juillet/août 2022 ou repris en novembre 2022

CODE OUVRAGE	Délégation	COMMUNE	NOM	DATE PRELVT
AE2608	AUVERGNE-RHONE-ALPES	CHABRILLAN (26)	SOURCE ROUVEYROL	15/03/2023 à sec
AE3402	OCCITANIE	SERVIAN (34)	Forages VIEULESSE (F91 et F2017)	Installations à l'arrêt en février 2023
AE8303	PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR	SAINT-CYR-SUR-MER (83)	PUITS LONG	Captage abandonné non prélevable.

Tableau 2 : Liste des captages non prélevés en février/mars 2023

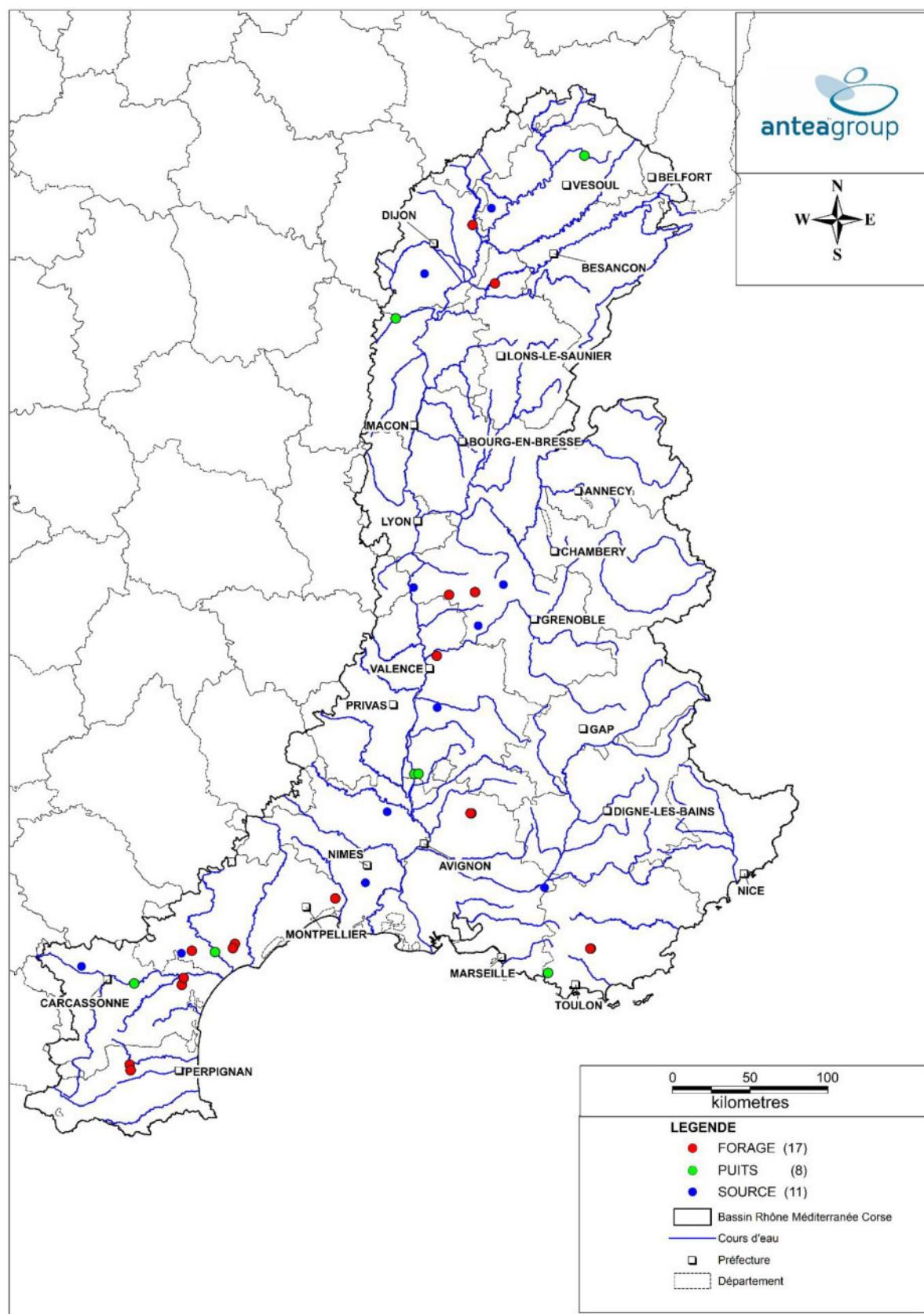


Figure 8 : Implantation et nature des captages

5.2. Régime hydrologique

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.

Situation hydrogéologique en août 2022 :

En août, les niveaux des nappes étaient globalement en baisse. Les pluies estivales n'ont eu qu'un impact très limité sur les eaux souterraines. La décharge semblait toutefois ralentir depuis juillet, conséquence probable de la limitation des prélèvements. L'état de remplissage des nappes était peu satisfaisant sur la plupart d'entre elles, voire inquiétant avec des niveaux bas à très bas observés sur près de la moitié du territoire. La situation était particulièrement préoccupante sur le Bas-Dauphiné, la Provence et la Côte-d'Azur. Les nappes des calcaires karstiques du Vaucluse et du centre Var étaient en phase de tarissement, laissant présager un étage très marqué.

L'étage 2022 a été particulièrement sévère sur la plupart des nappes.

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

Situation hydrogéologique en mars 2023 :

Après plusieurs semaines sans pluie efficace en février, les précipitations de mars ont engendré des épisodes de recharge sur les secteurs les plus arrosés. Cependant ces pluies ont eu peu d'impact sur l'état des nappes. La situation demeurait peu satisfaisante sur une grande partie du pays : 75% des niveaux des nappes restaient sous les normales mensuelles (58% en mars 2022) avec de nombreux secteurs affichant des niveaux bas à très bas pour la saison.

Pour les prochains mois, la recharge 2022-2023 déficitaire risque d'impacter l'ensemble des nappes.

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

5.3. Présentation de la fiche de synthèse

Pour chaque point de prélèvement, l'ensemble des informations collectées est présenté sur une fiche de synthèse découpée en 7 parties. Au total, 36 fiches de synthèse ont été réalisées.

Les fiches présentent les informations suivantes :

La carte géologique extrait au 1/50 000 des cartes du BRGM sur laquelle nous avons reporté :

- L'implantation du point de prélèvement

- Son aire d'alimentation (AAC) connue lorsqu'une étude AAC a été réalisée. Dans le cas contraire, nous avons estimé sommairement l'aire d'alimentation au regard des éléments à notre disposition. Dans ce cas, l'AAC est tracée en pointillée.

Les informations générales relatives au point de prélèvement :

- Code ouvrage
- Code BSS
- Commune et département
- Sensibilité du point de prélèvement aux contaminations diffuses : nitrates et/ou pesticides
- Surface de l'AAC en hectare lorsqu'elle est connue.

Les informations relatives à l'aquifère capté :

- Code de l'entité V2
- Code de la masse d'eau
- Nom de la masse d'eau
- Type d'aquifère : alluvions récentes, alluvions anciennes, fluvio-glaciaires et / ou glaciaires, conglomérat et alluvions anciennes, aquifères multicouches, aquifère de socle, calcaires karstifiés et fissurés, calcaires dolomies craies non karstifiés
- Type de nappe : libre, captive, semi-captive

Les résultats des campagnes de datation CFC/SF6

- Les hypothèses sur les données d'entrée à savoir l'altitude et la température de recharge,
- Le modèle hydrogéologique retenu pour l'interprétation des résultats
- La date d'analyse de chaque campagne, le régime de la nappe et l'indice de confiance des résultats
- Le temps de résidence moyens des eaux de la nappe du captage étudié exprimé sous forme de classe d'âge moyen

Les informations manquantes sur la connaissance du contexte hydrogéologique :

- Recommandations d'investigations pour mieux connaître l'aire d'alimentation du captage.

5.4. Estimation de la réactivité de l'aquifère aux modalités de recharge

Dans la perspective du pilotage et de l'orientation des actions de reconquête de la qualité des eaux des captages, outre la question du délai de renouvellement moyen de la nappe, il est également important de s'intéresser :

- aux modalités de recharge des nappes et à la répartition dans l'aire d'alimentation (recharge rapide des nappes par le biais de zones d'infiltrations privilégiées ou zones de recharge lentes des nappes) ;
- aux modalités de transfert des contaminants (transfert rapide sous forme de pics ou évolution lente en présence de « bruit de fond »).

Il est également important de garder à l'esprit que la qualité de l'eau captée dépend de la qualité des eaux infiltrées au droit des différentes zones d'alimentation avec une pondération en fonction de la fraction respective apportée par chacune des zones d'alimentation au volume unitaire prélevé. L'action sur les zones d'apports rapides permettra ainsi une amélioration rapide à la condition que

cette zone d'apport soit dominante en termes de flux. A contrario, la mise en place d'action sur les zones d'apports lents pourra apporter une amélioration qui sera lente si ces zones sont dominantes en termes de flux.

Pour chaque captage, nous avons indiqué :

- L'épaisseur de la zone non saturée dans l'aire d'alimentation du captage pouvant être à l'origine d'un effet retard non pris en compte par la méthode de datation⁶,
- La possibilité ou pas de stockage de nitrates dans la zone non saturée : nous avons consulté les logs lithologiques disponibles dans la bibliographie (BSS ou étude AAC).

La réactivité attendue de la nappe au programme d'actions : l'aquifère étudié est classé, à dire d'expert, dans 4 catégories dans l'objectif de caractériser le phénomène de recharge, et donc le potentiel facteur de retard ou non par rapport à l'âge moyen estimé.

➤ 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.

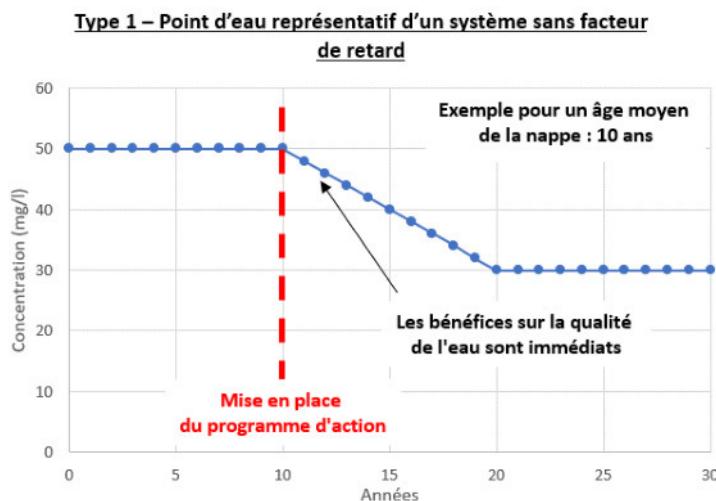


Figure 9 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 1

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.

⁶Le temps zéro est celui de l'entrée des traceurs dans la nappe souterraine et pas dans le sol.

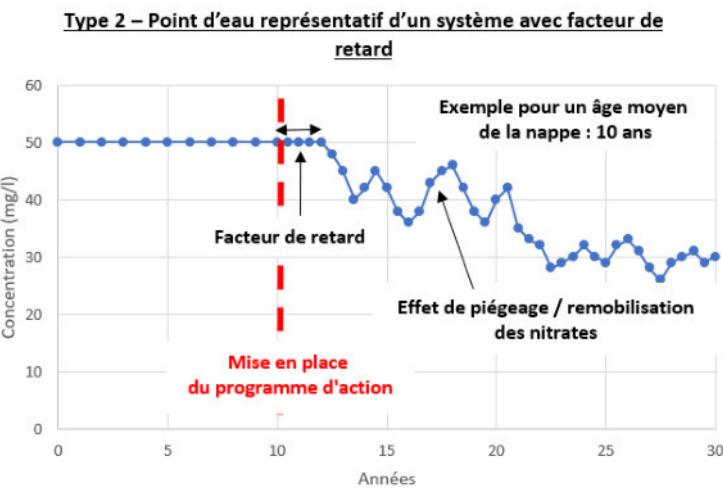


Figure 10 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 2

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).

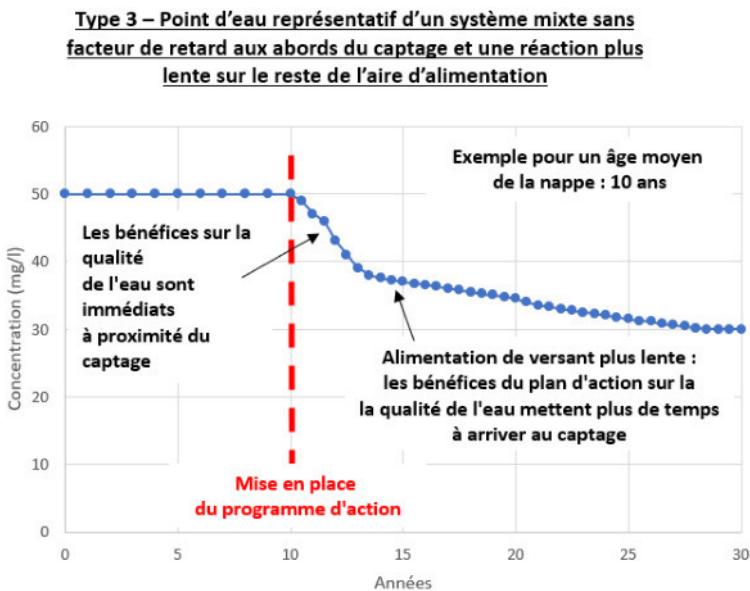


Figure 11 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 3

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.

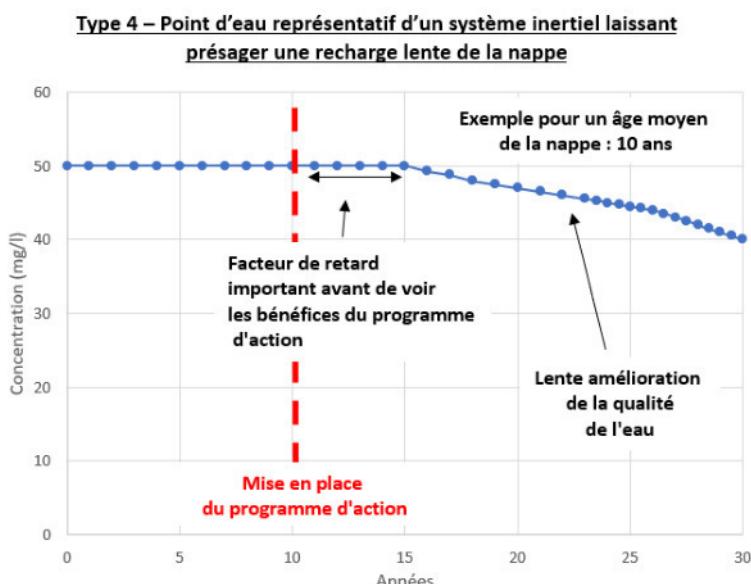


Figure 12 : Schéma illustrant la réactivité de la nappe au plan d'action pour les points de prélèvements de Type 4

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.

Le contexte hydrogéologique local :

A partir de la bibliographie disponible, il s'agit de décrire en quelques lignes le contexte hydrogéologique du captage, le type de nappe étudié, les sens d'écoulements, les modalités de recharge de la nappe et les éventuelles relations avec des cours d'eau et / ou d'autres nappes (nappe de versant, nappe plus profonde). Lorsque des traçages ont été réalisés, les indications sur les vitesses d'écoulement sont également données (consultation de la base de données CARMEN de la DREAL Bourgogne Franche Comté). Les vitesses de transit estimées par les traçages ne doivent pas être

comparées à l'âge moyen des nappes. En effet, la méthode de datation par CFC et SF6 permet d'estimer le temps de renouvellement de la nappe dans son ensemble, c'est-à-dire l'ensemble des lignes d'eau de toute la matrice aquifère (moyenne des flux les plus rapides et des flux les plus lents). A contrario, les traçages donnent des informations uniquement sur les drains actifs qui correspondent aux écoulements les plus rapides au sein d'un système aquifère. On ne peut donc pas comparer directement les résultats des datations avec les traçages.

Les références bibliographiques :

Sont indiqués dans ce dernier paragraphe les références bibliographiques des études consultées, mises à disposition par l'agence de l'eau.

Un exemple de fiche de synthèse est présenté en **annexe II avec la fiche de lecture**. Les résultats sont également présentés plus en détail dans un fichier Excel avec une ligne par point de prélèvement et par campagne (**Cf. Annexe III**).

5.5. Qualité des résultats de datation

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 3.

Indice de confiance des résultats pour les modèles Piston et Exponentiel

- Excellent : trois traceurs au moins sont exploitables et les résultats convergent entre les traceurs, c'est-à-dire que la dispersion des âges par rapport à la moyenne du modèle considéré est inférieure à 15% ;
 - Bon : trois traceurs au moins sont exploitables et la dispersion des âges par rapport à la moyenne du modèle considéré est comprise entre 15 et 30% ;
 - Moyen :
 - moins de trois traceurs sont exploitables,
 - trois traceurs au moins sont exploitables et la dispersion des âges par rapport à la moyenne du modèle considéré est supérieure à 30%.

Indice de confiance des résultats pour le modèle Mélange

Dans le cas présent, il n'est pas possible de calculer une erreur. L'indice de confiance est estimé à partir des indications fournies par CONDATE EAU qui nous indique le nombre de traceurs exploitables et si les résultats entre traceurs sont convergents.

- Excellent : trois traceurs au moins sont exploitables et les âges calculés pour les différents traceurs sont convergents (le laboratoire indique dans la colonne résultat pour le modèle mélange les indices 3+ ou 4+) ;
 - Bon : trois traceurs au moins sont exploitables et les âges calculés pour les différents traceurs sont peu convergents (le laboratoire indique dans la colonne résultat pour le modèle mélange les indices 3- ou 4-) ;
 - Moyen : deux traceurs sont exploitables.

MODELES PISTON ET EXPONENTIEL			
Indice de confiance	EXCELLENT	BON	MOYEN
Nombre de traceurs	≥ 3	≥ 3	< 3 ou ≥ 3 et erreur $> 30\%$
Convergence des résultats	$\leq 15\%$	$15\% \leq \text{erreur} \leq 30\%$	

MODELE MELANGE			
Indice de confiance	EXCELLENT	BON	MOYEN
Nombre de traceurs	≥ 3	≥ 3	2 traceurs exploitables
Convergence des résultats	Convergents (3+ ou 4+)	Peu convergents (3- ou 4-)	

Tableau 3 : Grille de l'indice de confiance des résultats

5.6. Classification des temps de résidence et 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 dans la fiche de synthèse les résultats sous forme de « Classes de temps de résidence moyen des eaux ».

Nous avons retenu 6 classes :

- 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.

Le Tableau 4 ci-après présente la démarche de l'interprétation :

- Le laboratoire CONDATE EAU, à partir des concentrations en SF6, CFC12, CFC11 et CFC113 contenues dans les prélèvements d'eau et des hypothèses d'altitude et de température de recharge, calcule un âge moyen pour chaque gaz et pour chaque modèle mathématique (Piston, Exponentiel et Mélange) puis propose une moyenne de l'ensemble des gaz par modèle,
- En fonction du contexte hydrogéologique, des chroniques en nitrates et des résultats, ANTEA GROUP choisit le modèle applicable. Dans le cas présent, il s'agit d'une source alimentée par les précipitations et par l'aquifère karstique du Crétacé : le modèle Mélange a été retenu,
- Chaque campagne de prélèvements donne un résultat :
 - En hautes eaux, le résultat du modèle Mélange est de 75% d'eau actuelle (<5 ans) et 25% d'eau de plus de 60 ans, soit un âge moyen apparent d'environ 19 ans. L'indice de confiance est Bon car 3 traceurs sont exploitables et convergents. On peut considérer que le temps nécessaire au renouvellement de l'ensemble de la nappe est compris entre 15 et 20 ans,
 - En basses eaux, le résultat du modèle Mélange est de 50% d'eau actuelle (<5 ans) et 50% d'eau de 40 ans, soit un âge moyen apparent d'environ 22,5 ans. L'indice de confiance est Moyen car il y a 4 traceurs exploitables mais qui convergent peu. On considère que le temps nécessaire au renouvellement de l'ensemble de la nappe est compris entre 20 et 25 ans,
- Au final, lorsque l'on croise les résultats des 2 campagnes (hautes et basses eaux), nous avons estimé que le temps de résidence moyen des eaux était de 15 à 20 ans,
- En contexte de nappe karstique et en l'absence de terrain de couverture, les vitesses d'infiltration des eaux de pluie sont potentiellement rapides. La recharge devrait traverser rapidement la zone non saturée et ne générer aucun facteur de retard (Type 1, Cf. Figure 9).

EXEMPLE DU FORAGE DES DEVEYS (AE2609) SUR LA COMMUNE DE CHATEAUNEUF-SUR-ISERE (26)									
	Campagne de Basses Eaux		Campagne de Hautes Eaux			Commentaires			
SF6	0,0004			0,0010					
CFC-12	0,20			0,33					
CFC-11	0,70			0,79					
CFC-113	0,08			0,05					
Altitude moyenne de l'AAC	210 m								
Température moyenne de l'eau en période de recharge	13°C								
Modèles mathématiques	Piston	Exponentiel	Mélange	Piston	Exponentiel	Mélange			
SF6 corr	40 ans	200 ans		30 ans	70 ans				
CFC-12	61 ans	500 ans		57 ans	300 ans				
CFC-11	55 ans	300 ans		54 ans	200 ans				
CFC-113	45 ans	200 ans		49 ans	300 ans				
Moyenne	50 ans	300 ans		48 ans	218 ans				
Qualité des résultats (dispersion des âges par rapport à la moyenne)	10 ans (20%)	141 ans (41%)	15% d'eau de 15 ans + 85 % d'eau >50 ans 4 traceurs convergents	12 ans (25%)	109 ans (50%)	20 % d'eau < 10 ans + 80 % d'eau >50 ans 4 traceurs convergents			
Indice de confiance des Résultats	BON	MOYEN	EXCELLENT	BON	MOYEN	EXCELLENT			
Interprétation retenue	Le forage des Deveys est un ouvrage de 182 m de profondeur (crépiné entre 152 et 182 m) exploitant l'aquifère de la molasse entre 55 m et 160 m de profondeur. Le captage est alimenté par l'infiltration des eaux météoritiques dans son impluvium. Un défaut de l'ouvrage au niveau du télescopage semble être à l'origine d'un effet de drainance descendante depuis les couches supérieures de l'aquifère impactées en nitrates. Le modèle mélange semble bien adapté au contexte.								
Résultats	Choix du modèle retenu : modèle Mélange, indice de confiance Excellent Campagne de Hautes Eaux : âge moyen apparent > 30 ans. Campagne de Basses eaux : âge moyen apparent > 30ans. Estimation du temps de résidence moyen des eaux : > 30 ans								
Estimation de la réactivité de l'aquifère au programme d'action	Le forage exploite une ressource profonde. La recharge de l'aquifère est présumée être lente sans facteur de retard (Type 4)								
Conclusions	Les effets de la mise en place du programme d'actions visant à améliorer la qualité de l'eau devraient être visibles uniquement sur le très long terme. Un facteur de retard important sera lié au temps de transfert de la recharge par la zone non saturée.								

Tableau 4 : Démarche de l'interprétation – Exemple du forage des Deveys

En conclusion, on estime que les effets de la mise en place du programme d'actions visant à améliorer la qualité de la nappe devraient être visibles dès les premières années mais qu'il faudra entre 15 et 20 ans pour permettre à la nappe de se renouveler dans sa globalité et pouvoir constater l'entier bénéfice du programme d'actions.

Dans certains cas, les résultats entre les deux campagnes ne sont pas forcément dans la même classe d'âge, comme dans notre exemple ci-avant (Cf. Tableau 4) :

- En Hautes eaux, l'âge moyen apparent est dans la classe 15-20 ans pour un indice de confiance Bon,
- En Basses eaux, l'âge moyen apparent est dans la classe 20-25 ans pour un indice de confiance Moyen.

Dans ce cas, nous avons privilégié le résultat de la campagne de Hautes Eaux car l'indice de confiance est meilleur. De même, lorsqu'on disposait de résultats acquis lors d'une étude antérieure telle que celle réalisée par le BRGM⁷ en 2013, nous avons tenu compte de ces éléments dans notre interprétation. Dans tous les cas, les résultats des deux campagnes sont affichés dans la fiche de synthèse de chaque point d'eau et lorsque nous avons dû faire un choix entre deux campagnes divergentes, nous l'avons motivé dans la colonne « Remarque sur la qualité d'interprétation » du fichier Excel.

Dans le cas des modèles mélanges, les résultats sont exprimés en % d'eau récente et % d'eau ancienne : par exemple pour un point de prélèvement dont les résultats de la datation en CFC et SF6 donnent une eau avec 50% d'eau récente (< 5 ans) et 50% d'eau de 50 ans, l'âge apparent moyen est estimée à 25 ans et nous l'avons classé dans la tranche d'âge 20 - 25 ans.

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 phytosanitaire) 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'épaisseur⁸, 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 CFC⁹ ;

⁷ Gourcy L., Lopez B., Baran N., Surdyk N. (2013) – Estimation des tendances d'évolution des concentrations en nitrates et pesticides des eaux souterraines sur le Bassin Rhône Méditerranée. Rapport final. BRGM/RP-62461-FR, 261 p., 162 ill. 6 annexes

D'après la synthèse de cette étude, « cette étude vise à apporter des éléments de réponse sur les tendances d'évolution de la qualité des masses d'eau souterraines vis-à-vis des nitrates et des produits phytosanitaires. » Elle a permis des prélèvements d'eau sur 100 points pour datation par analyses des CFCs et SF6 et estimation des tendances d'évolution des concentrations en nitrates pour les points d'eau ayant au moins 10 ans de suivi. Par la suite, la réflexion sur le travail de datation a été menée à différentes échelles : sur 9 aires d'alimentation de captage et 3 masses d'eau.

⁸ Cook et Salomon, 1995

⁹D'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

- 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 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 grossiers¹⁰.

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, ...)** ;
- **L'estimation de la réactivité du point de prélèvement aux modalités de recharge, classée selon 4 types de comportement, permet l'identification d'un éventuel facteur de retard augmentant les temps de récupération de la qualité de l'eau au droit des points de prélèvement.**

¹⁰ 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.

6. Résultats des campagnes d'analyses 2022 et 2023

6.1. Influence des conditions de prélèvements sur la qualité des résultats

Nous avons regardé si les conditions des prélèvements avaient influencé la qualité des résultats. Pour cela, sur la base des fiches de prélèvement complétées par les préleveurs, nous avons recensé le nombre de prélèvements :

- Qui ne respectent pas le protocole défini par CONDATE EAU,
- Pour lesquels il existe une chloration dans les captages,
- Pour lesquels l'eau était turbide au moment du prélèvement,
- Pour lesquels il existe une contamination anthropique connue.

Les résultats sont présentés pour chaque campagne dans les tableaux ci-dessous.

BE 2022	EXCELLENT	BON	MOYEN	Non interprétable	Total
Total	11,4%	14,3%	68,6%	5,7%	
	4	5	24	2	35
Prélèvement conforme au protocole	2	4	16		22
Prélèvement conforme au protocole mais microbulles	2	1	5		8
Non-conformité (brassage, prélèvement au TP, mélange, etc.)			1		1
Chloration au captage			1		1
Eau turbide			1		1
Prélèvement non réalisé (assec)				2	2
					5,7%

Tableau 5 : Indice de confiance des résultats en fonction des conditions de prélèvements – Campagne de Basses Eaux (juillet-août 2022)

HE 2023	EXCELLENT	BON	MOYEN	Non interprétable	Total
Total	5,7%	17,1%	60,0%	17,1%	
	2	6	21	6	35
Prélèvement conforme au protocole	1	4	14	2	21
Prélèvement conforme au protocole mais microbulles	1	2	6	2	11
Non-conformité (brassage, prélèvement au TP, mélange, etc.)					0
Chloration au captage			1		1
Eau turbide					0
Prélèvement non réalisé (assec)				2	2
					5,7%

Tableau 6 : Indice de confiance des résultats en fonction des conditions de prélèvements – Campagne de Hautes Eaux (février-mars 2023)

Les non-conformités représentent 2,9 et 8,7 % des prélèvements respectivement en hautes et basses eaux, ce qui est faible par rapport à la campagne de 2018 (12 à 13,5 %). Les préleveurs ont également souvent signalé la présence de microbulles dans le tuyau de prélèvement (22,9 à 31,4 %).

Les non-conformités sont souvent observées sur des sources.

D'une façon générale, on ne relève pas de corrélation entre la qualité des résultats et les non-conformités identifiées par les préleveurs : cela signifie que même si les conditions de prélèvements sur les captages de sources ne permettent pas de respecter strictement le protocole de prélèvement, les résultats restent, dans leur grande majorité, exploitables pour ce type d'ouvrage.

6.2. Indice de confiance des résultats

6.2.1. La totalité de la zone d'étude

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

		Basses Eaux 2022		Hautes Eaux 2023	
Indice de confiance		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 7 : Indice de confiances des résultats

L'indice de confiance des résultats est illustré par les figures suivantes.

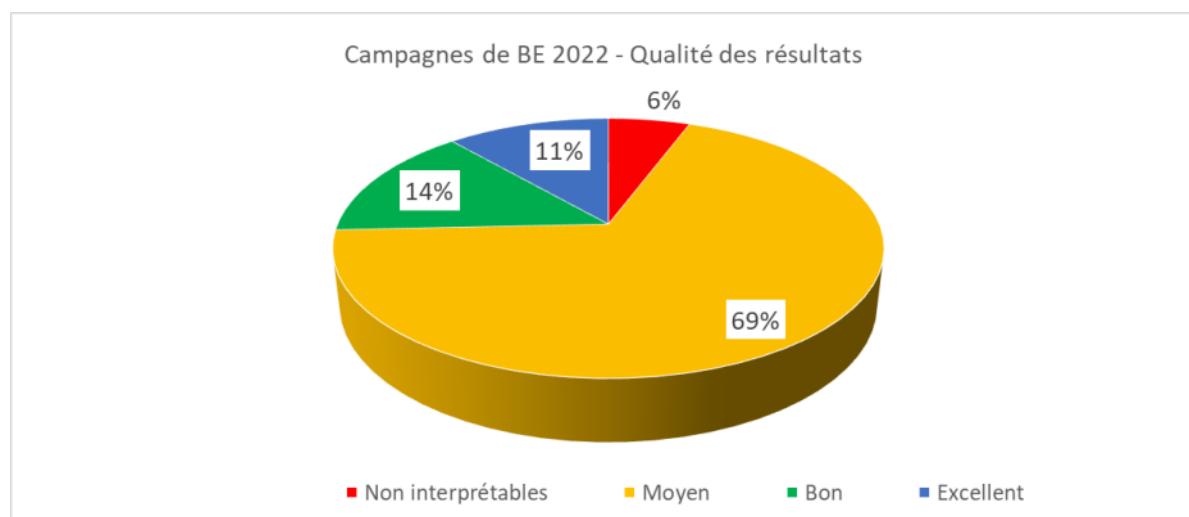


Figure 13 : Qualité des résultats de la campagne BE 2022

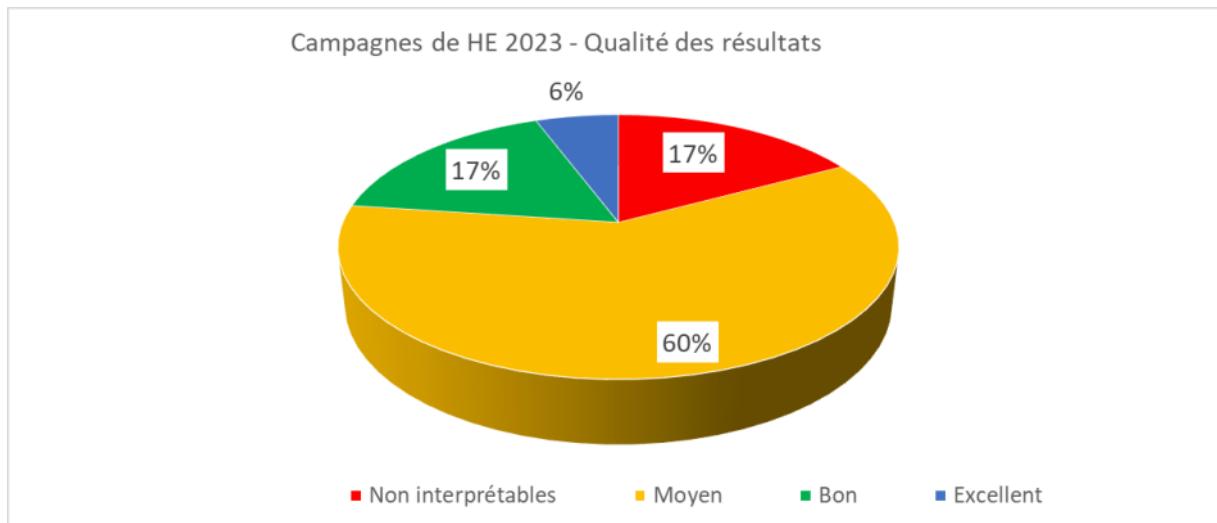


Figure 14 : Qualité des résultats de la campagne HE 2023

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 (qu'il serait donc souhaitable de croiser avec d'autres méthodes).

La fiabilité des résultats est fortement impactée par les sources extérieures de contamination en CFC principalement et dans une moindre mesure en SF6 (cf. 3.1).

Nous avons dénombré :

- Campagne de Basses Eaux : parmi les 24 captages d'indice de confiance Moyen, seulement 11 captages disposent d'au moins 3 traceurs exploitables,
- Campagne de Hautes Eaux : parmi les 21 captages d'indice de confiance Moyen, seulement 10 captages disposent d'au moins 3 traceurs exploitables.

La qualité des résultats est vraisemblablement liées aux impacts des activités anthropiques sur les nappes.

6.2.2. Indice de confiance par région

La qualité des résultats apparaît 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.

6.2.2.1. Indice de confiance – Bourgogne/Franche-Comté

L'indice de confiance des résultats pour la région Bourgogne/Franche-Comté est illustré par les figures suivantes.

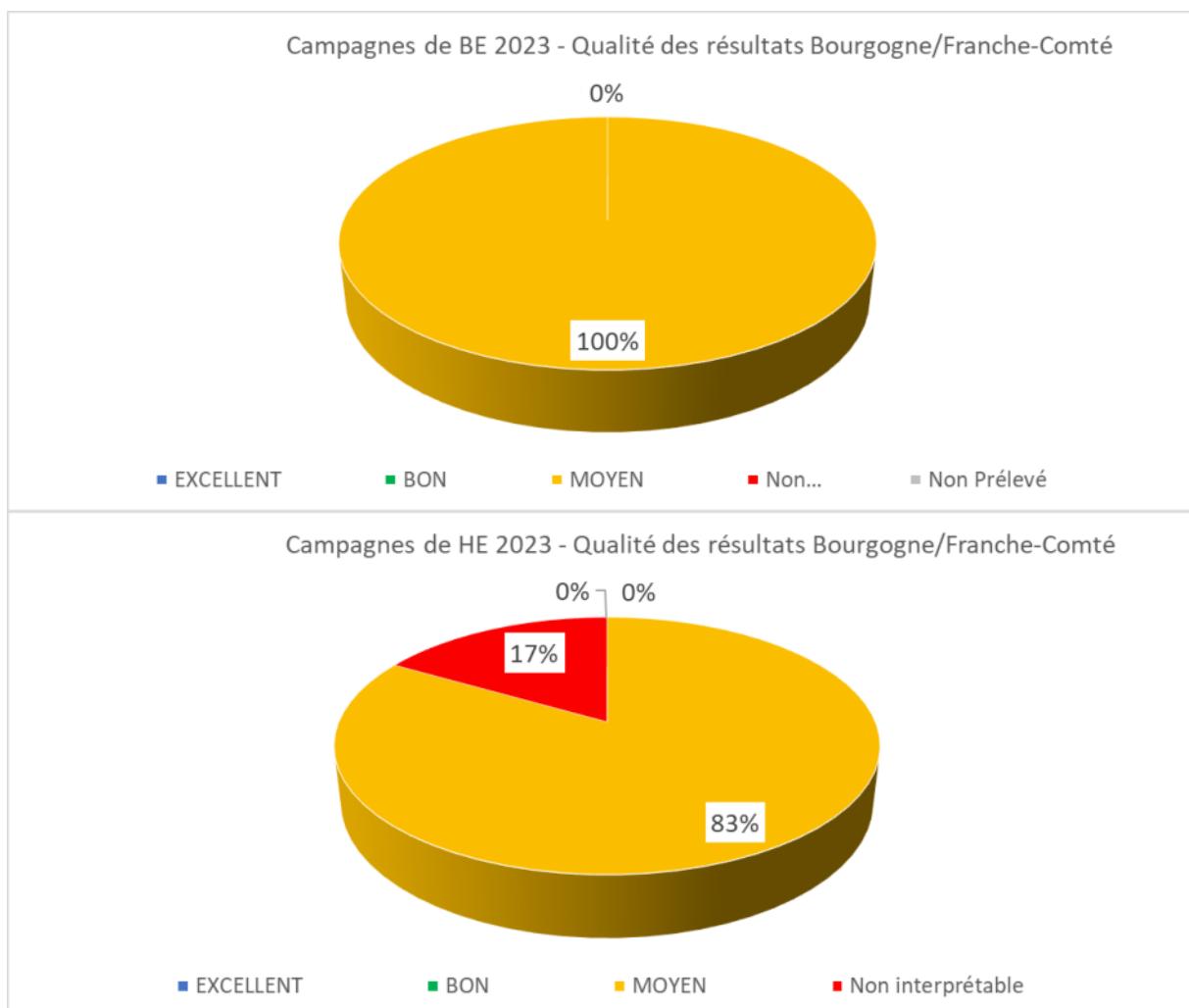


Figure 15 : Qualité des résultats des campagnes 2022-2023 – Région Bourgogne-Franche-Comté

Les tableaux suivants présentent les classes d'âges et les indices de confiance retenus pour chaque campagne.

CODE OUVRAGE	DEPARTEMENT	COMMUNE	NOM	CAMPAGNE	CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE
AE2106	21	SANTENAY	S. DU RU DE BOICHOT	ME	25 à 30 ans	MOYEN
AE2107	21	VOSNE-ROMANEE	SOURCE DE LA BORNUE	BE	20 à 25 ans	MOYEN
AE2108	21	OISILLY	P. DE OISILLY	BE	> 30 ans	MOYEN
AE3911	39	BREVANS	Forages de Brevans Sud et Nord	BE	> 30 ans	MOYEN
AE7017	70	AUVET-ET-LA-CHAPELOTTE	SOURCE DE MAISON ROUGE	BE	10 à 15 ans	MOYEN
AE7018	70	SAINTE-MARIE-EN-CHAUX	PUITS DE SAINTE MARIE	BE	< 10 ans	MOYEN

Tableau 8 : Classe d'âge et indice de confiance des captages de Bourgogne/Franche-Comté pour la campagne Basses Eaux 2022

CODE OUVRAGE	DEPARTEMENT	COMMUNE	NOM	CAMPAGNE	CLASSE D'AGE	INDICE DE CONFIANCE
AE2106	21	SANTENAY	S. DU RU DE BOICHOT	HE	< 10 ans	MOYEN
AE2107	21	VOSNE-ROMANEE	SOURCE DE LA BORNUE	HE	< 10 ans	MOYEN
AE2108	21	OISILLY	P. DE OISILLY	HE	20 à 25 ans	MOYEN
AE3911	39	BREVANS	Forages de Brevans Sud et Nord	HE	20 à 25 ans	MOYEN
AE7017	70	AUVET-ET-LA-CHAPELOTTE	SOURCE DE MAISON ROUGE	HE	25 à 30 ans	MOYEN
AE7018	70	SAINTE-MARIE-EN-CHAUX	PUITS DE SAINTE MARIE	HE	Tous les traceurs sont en excès - Aucune interprétation possible	

Tableau 9 : Classe d'âge et indice de confiance des captages de Bourgogne/Franche-Comté pour la campagne Hautes Eaux 2023

6.2.2.2. Indice de confiance – Rhône-Alpes

L'indice de confiance des résultats pour la région Rhône-Alpes est illustré par les figures suivantes.

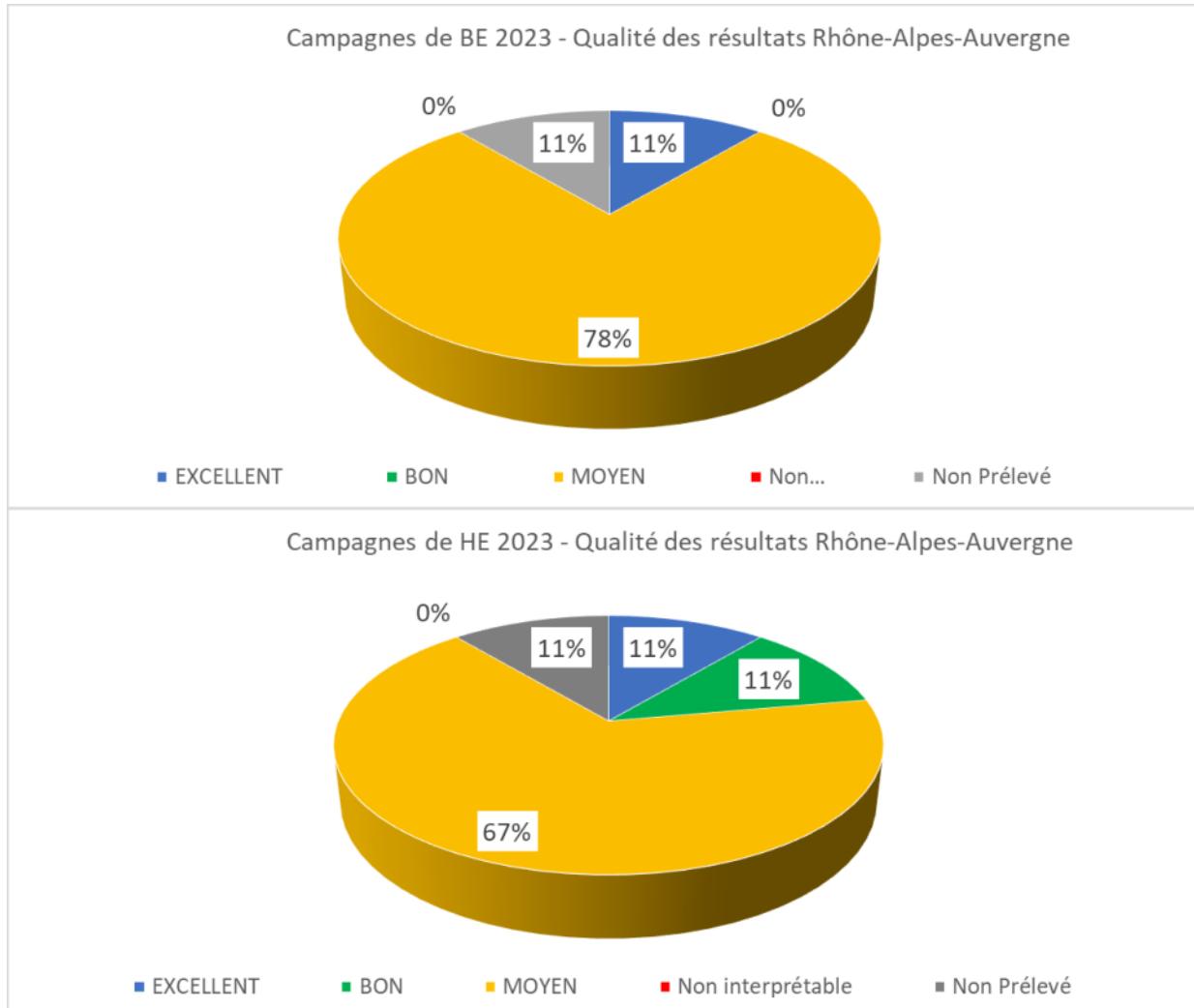


Figure 16 : Qualité des résultats des campagnes 2022-2023 – Région Auvergne-Rhône-Alpes

Les tableaux suivants présentent les classes d'âges et les indices de confiance retenus pour chaque campagne.

CODE OUVRAGE	DEPARTEMENT	COMMUNE	NOM	CAMPAGNE	CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE
AE2609	26	CHATEAUNEUF-SUR-ISERE	FORAGE LES DEVEYS	BE	> 30 ans	EXCELLENT
AE2610	26	ST-PAUL-TROIS-CHATEAUX	GONSARD 2	BE	10 à 15 ans	MOYEN
AE2611	26	ST-PAUL-TROIS-CHATEAUX	LES ALENES	BE	20 à 25 ans	MOYEN
AE3807	38	LA CÔTE-SAINT-ANDRE	Les Alouettes (le Rival)	BE	10 à 15 ans	MOYEN
AE3808	38	SAINT-BARTHELEMY	Forage Les Imberts	BE	15 à 20 ans	MOYEN
AE3809	38	APPRIEU	Source Planche Cattin	BE	< 10 ans	MOYEN
AE3810	38	CHATTE	Scie - Courbon	BE	> 30 ans	MOYEN
AE3811	38	SAINT-MAURICE-L'EXIL	Sources de Louze (Francou)	BE	15 à 20 ans	MOYEN
AE2608	26	CHABRILLAN	SOURCE ROUVEYROL	BE	Assec - non prélevé	

Tableau 10 : Classe d'âge et indice de confiance des captages de Rhône-Alpes pour la campagne Basses Eaux 2022

CODE OUVRAGE	DEPARTEMENT	COMMUNE	NOM	CAMPAGNE	CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE
AE2609	26	CHATEAUNEUF-SUR-ISERE	FORAGE LES DEVEYS	HE	> 30 ans	EXCELLENT
AE2610	26	ST-PAUL-TROIS-CHATEAUX	GONSARD 2	HE	20 à 25 ans	MOYEN
AE2611	26	ST-PAUL-TROIS-CHATEAUX	LES ALENES	HE	< 10 ans	MOYEN
AE3807	38	LA CÔTE-SAINT-ANDRE	Les Alouettes (le Rival)	HE	< 10 ans	MOYEN
AE3808	38	SAINT-BARTHELEMY	Forage Les Imberts	HE	< 10 ans	MOYEN
AE3809	38	APPRIEU	Source Planche Cattin	HE	< 10 ans	MOYEN
AE3810	38	CHATTE	Scie - Courbon	HE	15 à 20 ans	BON
AE3811	38	SAINT-MAURICE-L'EXIL	Sources de Louze (Francou)	HE	< 10 ans	MOYEN
AE2608	26	CHABRILLAN	SOURCE ROUVEYROL	HE	Assec - non prélevé	

Tableau 11 : Classe d'âge et indice de confiance des captages de Rhône-Alpes pour la campagne Hautes Eaux 2022

6.2.2.1. Indice de confiance – Provence-Alpes-Côte d’Azur

L’indice de confiance des résultats pour la région Provence-Alpes-Côte d’Azur est illustré par les figures suivantes.

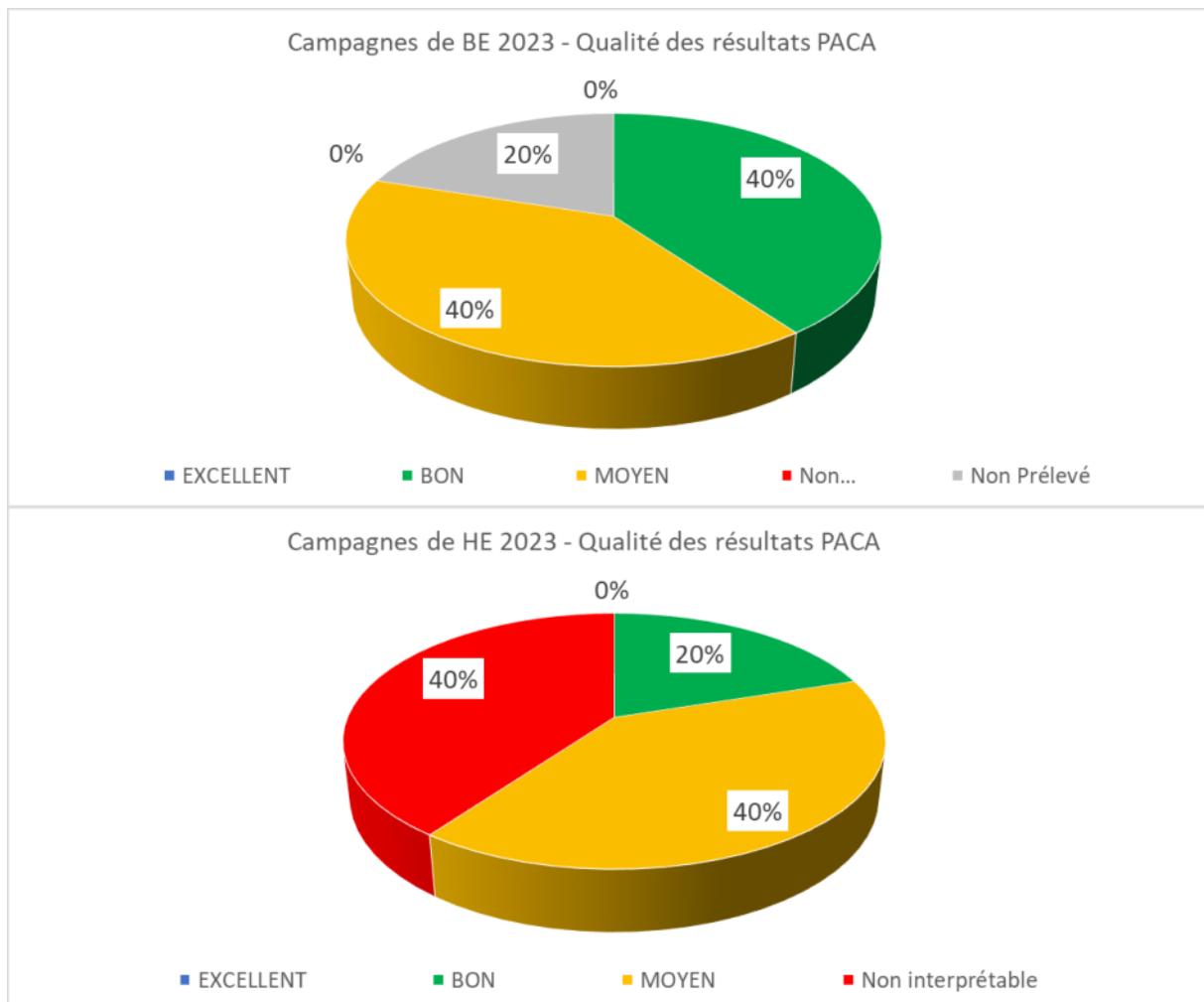


Figure 17 : Qualité des résultats des campagnes 2022-2023 – Région PACA

Les tableaux suivants présentent les classes d’âges et les indices de confiance retenus pour chaque campagne.

CODE OUVRAGE	DEPARTEMENT	COMMUNE	NOM	CAMPAGNE	CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE
AE8304	83	GAREOULT	FORAGES LES GUINES	BE	> 30 ans	MOYEN
AE8305	83	ROCBARON (GAREOULT)	PUITS ET FORAGE DE FONT DE CLASTRE - FORAGES CASCAVEOU	BE	> 30 ans	MOYEN
AE8401	84	BEDOIN	Captages des Sables Blancs : FORAGE GIARDINI	BE	> 30 ans	BON
AE8401	84	BEDOIN	Captages des Sables Blancs : FORAGE BASSES PESSADES	BE	> 30 ans	BON
AE1301	13	SAINT-PAUL-LES-DURANCE	SOURCE FONT REYNAUDE	BE	Assec - non prélevé	
AE8303	83	SAINT-CYR-SUR-MER	PUITS LONG	BE	Captage abandonné	

Tableau 12 : Classe d'âge et indice de confiance des captages de Provence-Alpes-Côte d'Azur pour la campagne Basses Eaux 2022

CODE OUVRAGE	DEPARTEMENT	COMMUNE	NOM	CAMPAGNE	CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE
AE1301	13	SAINT-PAUL-LES-DURANCE	SOURCE FONT REYNAUDE	HE	< 10 ans	MOYEN
AE8304	83	GAREOULT	FORAGES LES GUINES	HE	Tous les traceurs sont en excès - Aucune interprétation possible	
AE8305	83	ROCBARON (GAREOULT)	PUITS ET FORAGE DE FONT DE CLASTRE - FORAGES CASCAVEOU	HE	Tous les traceurs sont en excès - Aucune interprétation possible	
AE8401	84	BEDOIN	Captages des Sables Blancs : FORAGE GIARDINI	HE	> 30 ans	MOYEN
AE8401	84	BEDOIN	Captages des Sables Blancs : FORAGE BASSES PESSADES	HE	> 30 ans	BON
AE8303	83	SAINT-CYR-SUR-MER	PUITS LONG	BE	Captage abandonné	

Tableau 13 : Classe d'âge et indice de confiance des captages de Provence-Alpes-Côte d'Azur pour la campagne Hautes Eaux 2023

6.2.2.2. Indice de confiance – Occitanie

L'indice de confiance des résultats pour la région Occitanie est illustré par les figures suivantes.

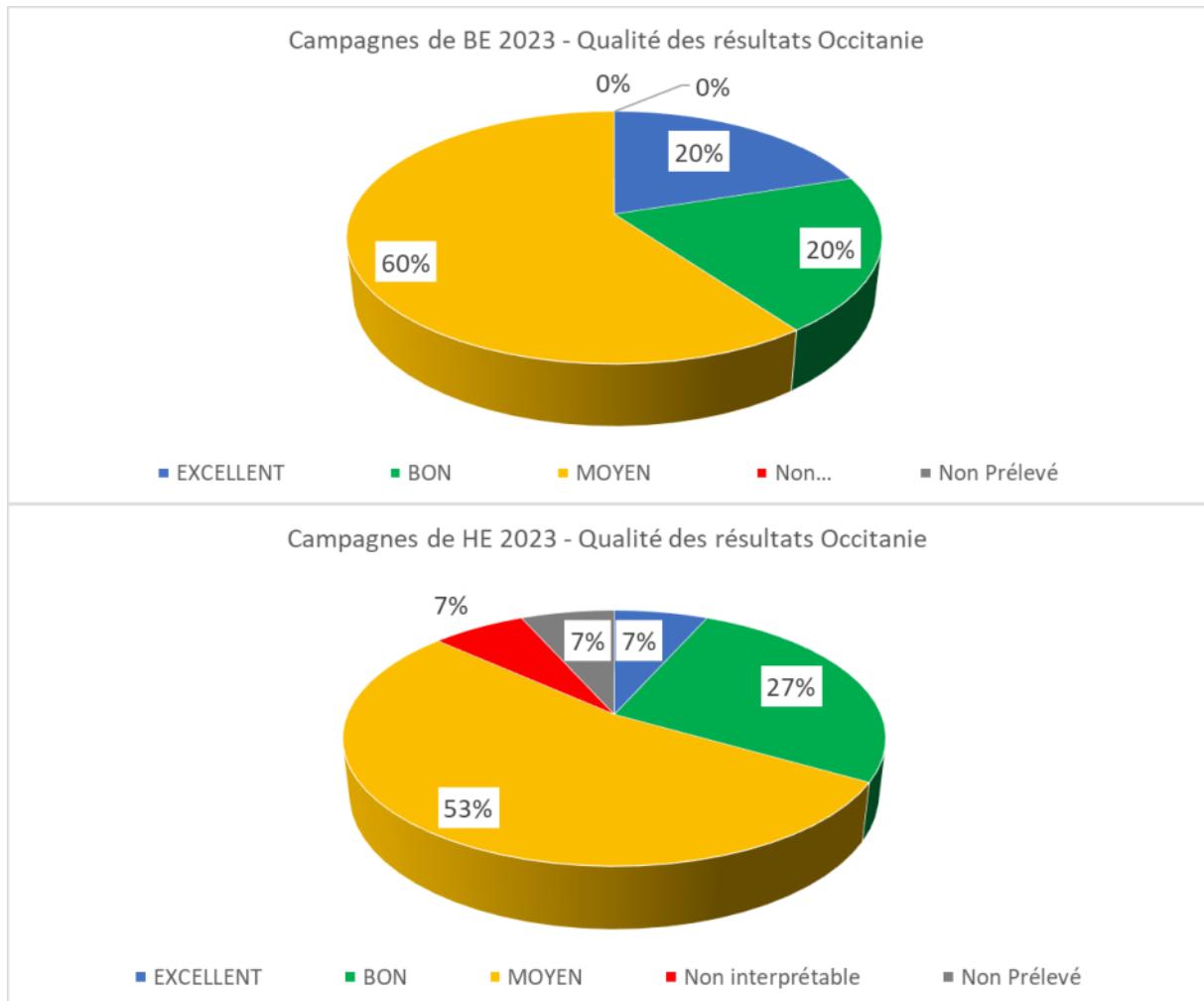


Figure 18 : Qualité des résultats des campagnes 2022-2023 – Région Occitanie

Les tableaux suivants présentent les classes d'âges et les indices de confiance retenus pour chaque campagne.

CODE OUVRAGE	DEPARTEMENT	COMMUNE	NOM	CAMPAGNE	CLASSE D'ÂGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE
AE1101	11	MONTREDON-DES-CORBIERES	Forage de la Croix Blanche	BE	25 à 30 ans	MOYEN
AE1102	11	RAISSAC-SUR-LAMPY	Sources Bondouire Basse et Haute	BE	> 30 ans	MOYEN
AE1103	11	CAPENDU	Puits Station, Saint-Maurice, La Garrigue	BE	> 30 ans	MOYEN
AE1104	11	MOUSSAN	Captage Mailloles	BE	> 30 ans	BON
AE3001	30	SABRAN ET SAINT-PONS-LA-CALM	Source et Forages Moulin d'Auzigue - Forage st Pons la Calm/Combe Gazell - Forage St-Pons-la-Calm/Boulidouire	BE	15 à 20 ans	EXCELLENT
AE3002	30	GENERAC	Source La Fontaine	BE	20 à 25 ans	MOYEN
AE3401	34	MARAUSSAN	PERDIGUIER NORD ET SUD	BE	> 30 ans	BON
AE3402	34	SERVIAN	Forages VIEULESSE (F91 et F2017)	BE	> 30 ans	BON
AE3403	34	SAINT-JUST	FORAGES AUBETTES et AUBETTES 1	BE	10 à 15 ans	MOYEN
AE3404	34	CREISSAN	LES BORIES C00	BE	10 à 15 ans	EXCELLENT
AE3405	34	CRUZY	SOURCE ROQUEFOURCADE	BE	> 30 ans	EXCELLENT
AE3406	34	SERVIAN	FORAGE DE LA BAUME 06	BE	> 30 ans	MOYEN
AE6601	66	TRILLA	F3 TRILLA	BE	25 à 30 ans	MOYEN
AE6602	66	TREVILLACH	PUITS CAMP DEL PLA	BE	25 à 30 ans	MOYEN
AE6602	66	TREVILLACH	FORAGE F1 TREVILLACH	BE	> 30 ans	MOYEN

Tableau 14 : Classe d'âge et indice de confiance des captages d'Occitanie pour la campagne Basses Eaux 2022

CODE OUVRAGE	DEPARTEMENT	COMMUNE	NOM	CAMPAGNE	CLASSE D'ÂGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE
AE1101	11	MONTREDON-DES-CORBIERES	Forage de la Croix Blanche	HE	10 à 15 ans	MOYEN
AE1102	11	RAISSAC-SUR-LAMPY	Sources Bondouire Basse et Haute	HE	> 30 ans	BON
AE1103	11	CAPENDU	Puits Station, Saint-Maurice, La Garrigue	HE	15 à 20 ans	FAIBLE
AE1104	11	MOUSSAN	Captage Mailloles	HE	> 30 ans	BON
AE3001	30	SABRAN ET SAINT-PONS-LA-CALM	Source et Forages Moulin d'Auzigue - Forage st Pons la Calm/Combe Gazell - Forage St-Pons-la-Calm/Bouliouire	HE	15 à 20 ans	EXCELLENT
AE3002	30	GENERAC	Source La Fontaine	HE	10 à 15 ans	MOYEN
AE3401	34	MARAUSSAN	PERDIGUIER NORD ET SUD	HE	< 10 ans	MOYEN
AE3403	34	SAINT-JUST	FORAGES AUBETTES et AUBETTES 1	HE	15 à 20 ans	MOYEN
AE3404	34	CREISSAN	LES BORIES C00	HE	20 à 25 ans	BON
AE3405	34	CRUZY	SOURCE ROQUEFOURCADE	HE	> 30 ans	BON
AE3406	34	SERVIAN	FORAGE DE LA BAUME 06	HE	> 30 ans	MOYEN
AE6601	66	TRILLA	F3 TRILLA	HE	> 30 ans	MOYEN
AE6602	66	TREVILLACH	PUITS CAMP DEL PLA	HE	Résultat inexploitable	
AE6602	66	TREVILLACH	FORAGE F1 TREVILLACH	HE	10 à 15 ans	MOYEN
AE3402	34	SERVIAN	Forages VIEULESSE (F91 et F2017)	HE	Installations à l'arrêt en février 2023	

Tableau 15 : Classe d'âge et indice de confiance des captages d'Occitanie pour la campagne Hautes Eaux 2023

6.3. Résultats des campagnes de datation

Nous avons regardé l'ensemble des résultats quel que soit l'indice de confiance, c'est-à-dire pour les 35 points :

- en basses eaux, 2 captages sont non interprétables car ils n'ont pas été prélevés,
- en hautes eaux, 2 captages sont non interprétables car ils n'ont pas été prélevés et 4 captages sont non interprétables car les 4 traceurs sont en excès ou contaminés).

Remarque : Lors des campagnes de datations 2017-2018, cette même analyse n'avait pas été réalisée avec l'ensemble des points mais uniquement à partir des résultats des 2 classes supérieures d'indice de confiance (excellent et bon).

BE 2022						
Classe d'âge (années)	Modèle Piston	Modèle Exponentiel	Modèle Mélange	Total	Pourcentage	Pourcentage cumulé
<= 10	1	1	0	2	6%	6%
10 à 15	0	4	1	5	14%	20%
15 à 20	1	1	1	3	9%	29%
20 à 25	0	3	0	3	9%	37%
25 à 30	1	3	0	4	11%	49%
> 30	3	5	8	16	46%	94%
Non Interprétable				2	6%	100%
Total	6	17	10	35	100%	

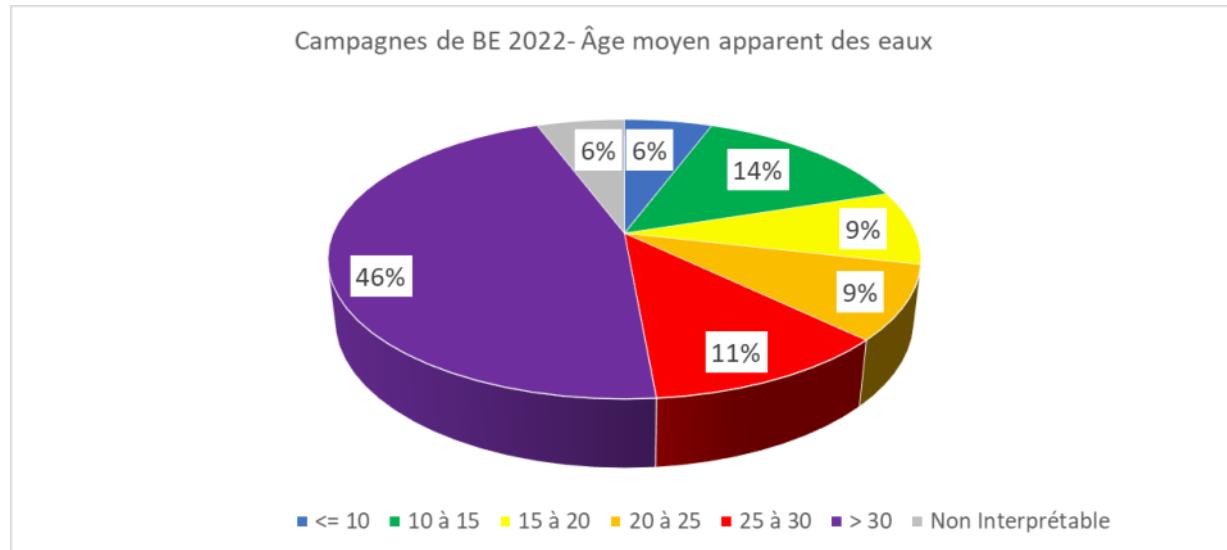


Figure 19 : Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne BE 2022

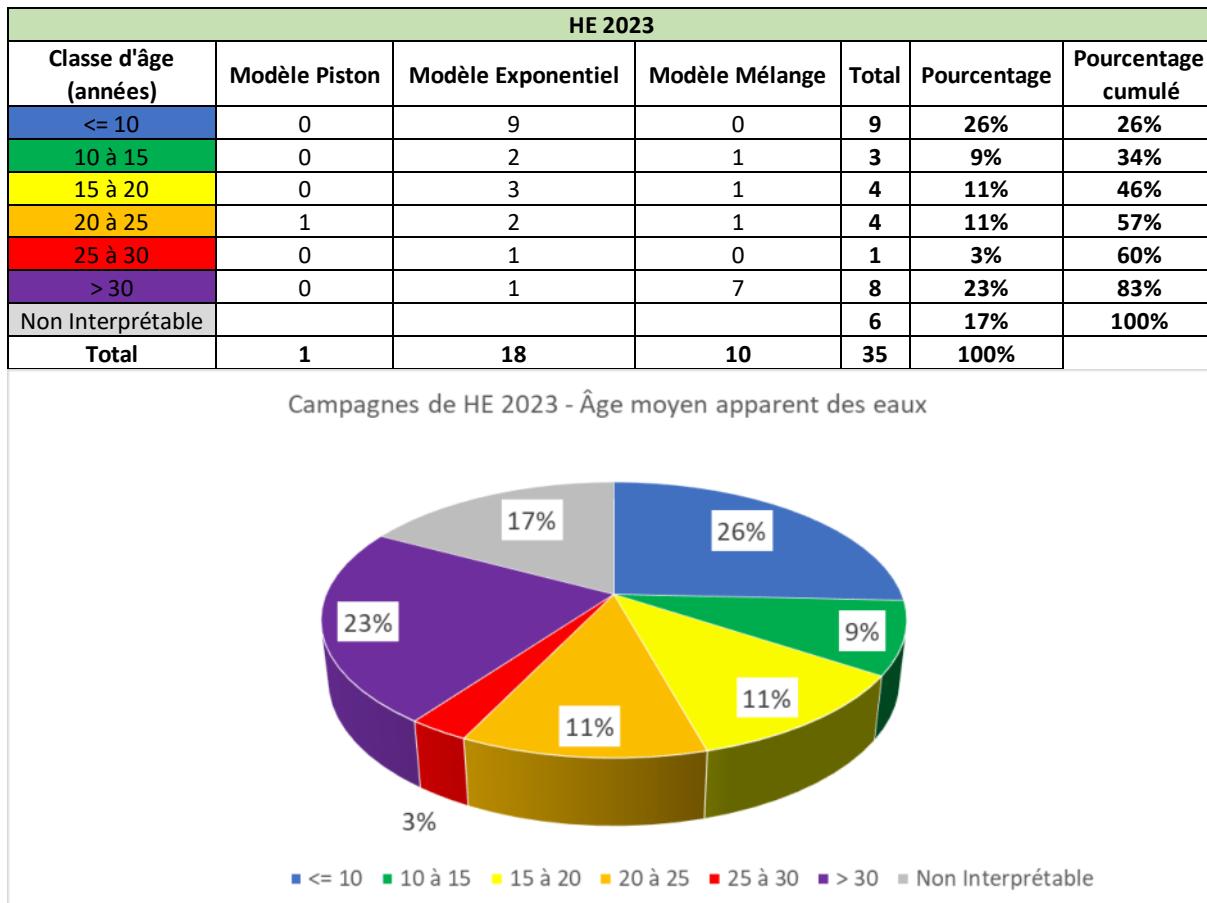


Figure 20 : Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne HE 2023

Les résultats montrent que les modèles les plus représentés sont les modèles Exponentiel (environ 50%) et Mélange (environ 30%).

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.

6.4. Répartition des indices de réactivité par classe d'âge

Pour chaque classe d'âge représentative du temps moyen nécessaire au renouvellement des nappes, nous avons compté le nombre de captage classé (Cf. 5.4) :

- En type 1 : Point d'eau représentatif d'un système sans facteur de retard,
- En type 2 : Point d'eau représentatif d'un système avec facteur de retard,
- En 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,
- En type 4 : Point d'eau représentatif d'un système inertiel laissant présager une recharge lente de la nappe.

Pour rappel, chaque captage a été classé, à dire d'expert, dans ces 4 catégories 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.

Comportement de la zone non saturée - Statistiques campagne Basses Eaux										
Classe d'âge (années)	BE 2023						Non Interprétable	Total	Pourcentage	Pourcentage cumulé
	<= 10	10 à 15	15 à 20	20 à 25	25 à 30	> 30				
Type 1		1	1	1	4	5	2	14	40%	40%
Type 2	2	2	2	1		7		14	40%	80%
Type 3		2		1		1		4	11%	91%
Type 4						3		3	9%	100%
Total	2	5	3	3	4	16	2	35	100%	

Comportement de la zone non saturée - Statistiques campagne Moyennes à Hautes Eaux										
Classe d'âge (années)	HE 2023						Non Interprétable	Total	Pourcentage	Pourcentage cumulé
	<= 10	10 à 15	15 à 20	20 à 25	25 à 30	> 30				
Type 1	3	2	1	1	1	2	4	14	40%	40%
Type 2	5	1	2	1		3	2	14	40%	80%
Type 3	1		1	2				4	11%	91%
Type 4						3		3	9%	100%
Total	9	3	4	4	1	8	6	35	100%	

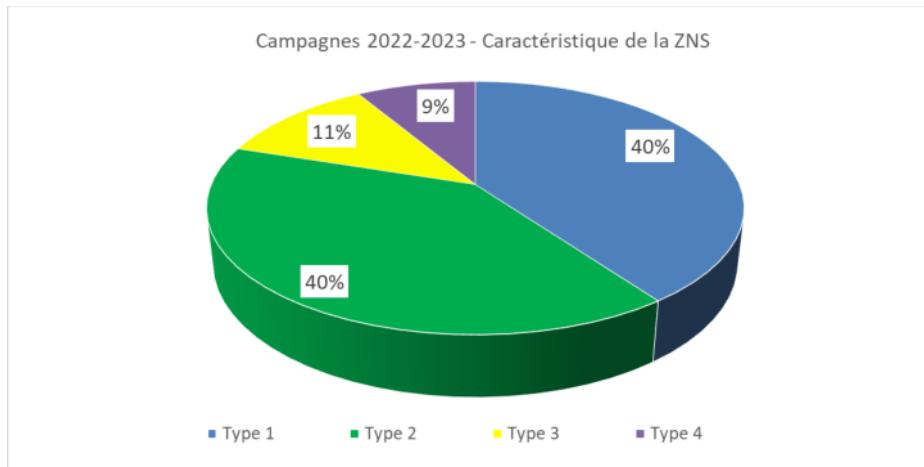


Figure 21 : Répartition des indices de réactivités par classes d'âge moyen de la totalité des captages

Cette analyse montre que :

- 51% des points (18 captages) sont classés soit en type 1 soit en type 3, ce qui suggère pour ces points que les bénéfices du programme d'actions devraient être observables :
 - dès les premières années pour 40% des captages en type 1 et pendant toute la durée nécessaire au renouvellement de la nappe,
 - dès les premières années pour 11% des captages en type 3 mais avec une efficacité moindre que pour le type 1 en raison d'une alimentation de versant plus longue. L'efficacité des programmes d'actions est susceptible de s'étaler sur une durée plus longue que le temps estimé pour renouveler la nappe (prise en compte d'un facteur retard sur la part d'alimentation du ou des versants),
- 40 % des points (14 captages) sont classés en type 2 pour lesquels il faut ajouter avec facteur de retard entre la mise en place des programmes d'actions et les premiers bénéfices attendus sur la nappe. L'amélioration de la qualité de la nappe durera pendant le temps nécessaire au renouvellement de la ressource (plus le facteur de retard) avec de possibles relargages de nitrates lors de périodes de fortes pluies et de nappes hautes,
- 9 % des points (3 captages) sont classés en type 4 représentants 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.

6.5. Répartition géographique

Pour chaque campagne, les résultats sont présentés sous forme cartographique en fonction des classes d'âge moyen des eaux et des indices de confiance.

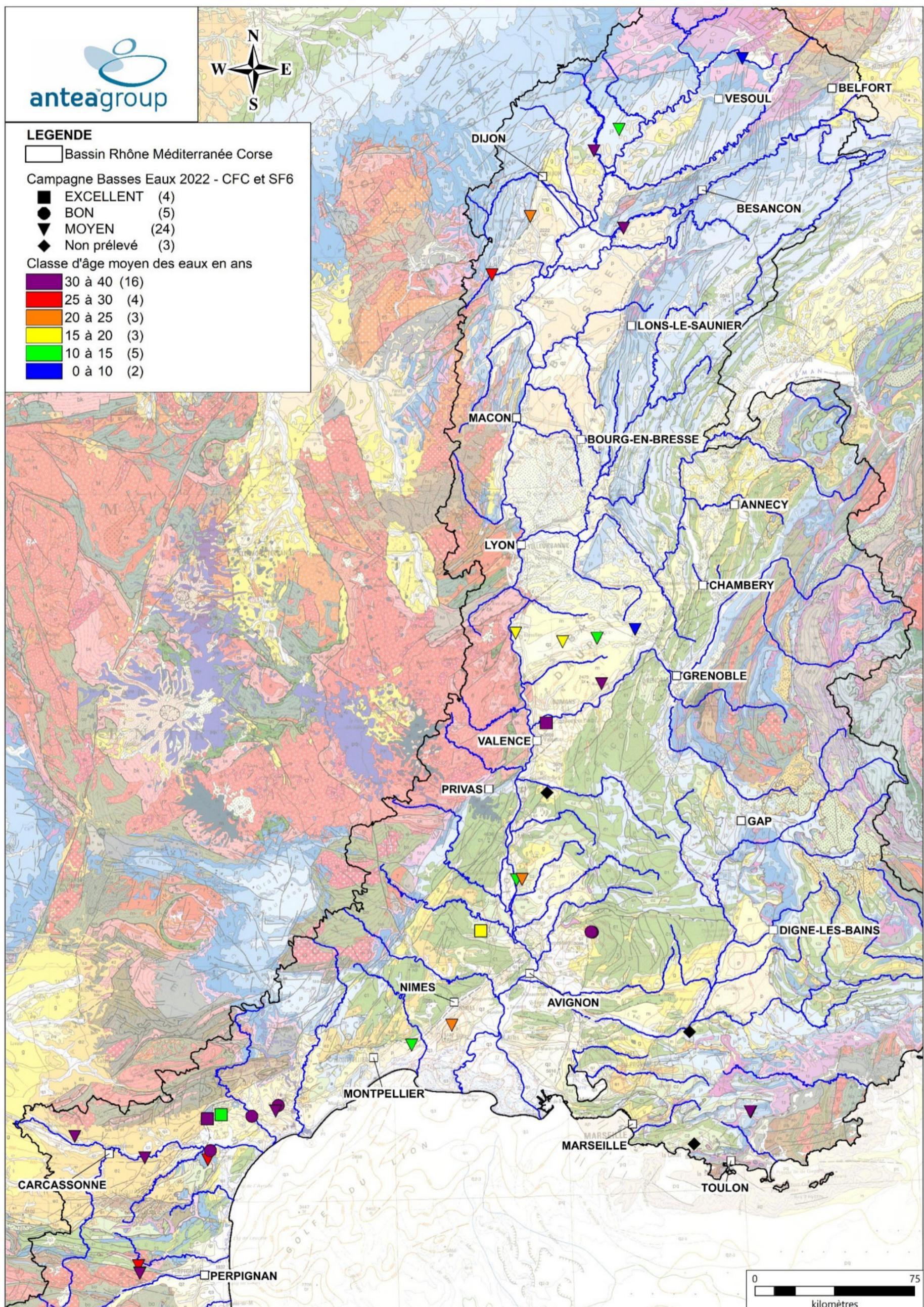


Figure 22 : Répartition des classes d'âge moyen pour la campagne Basses Eaux 2022

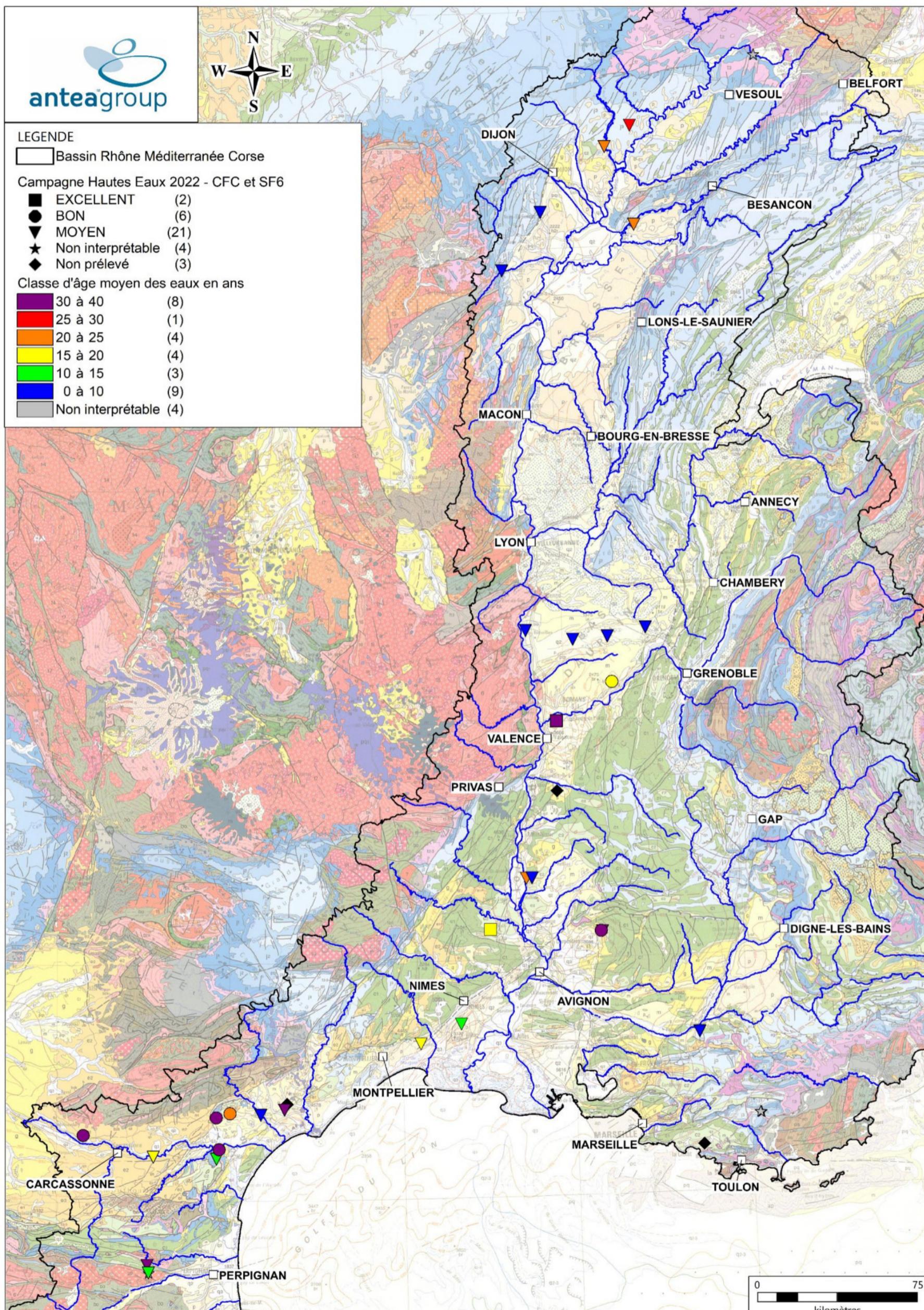


Figure 23 : Répartition des classes d'âge moyen pour la campagne Moyennes à Hautes Eaux 2023

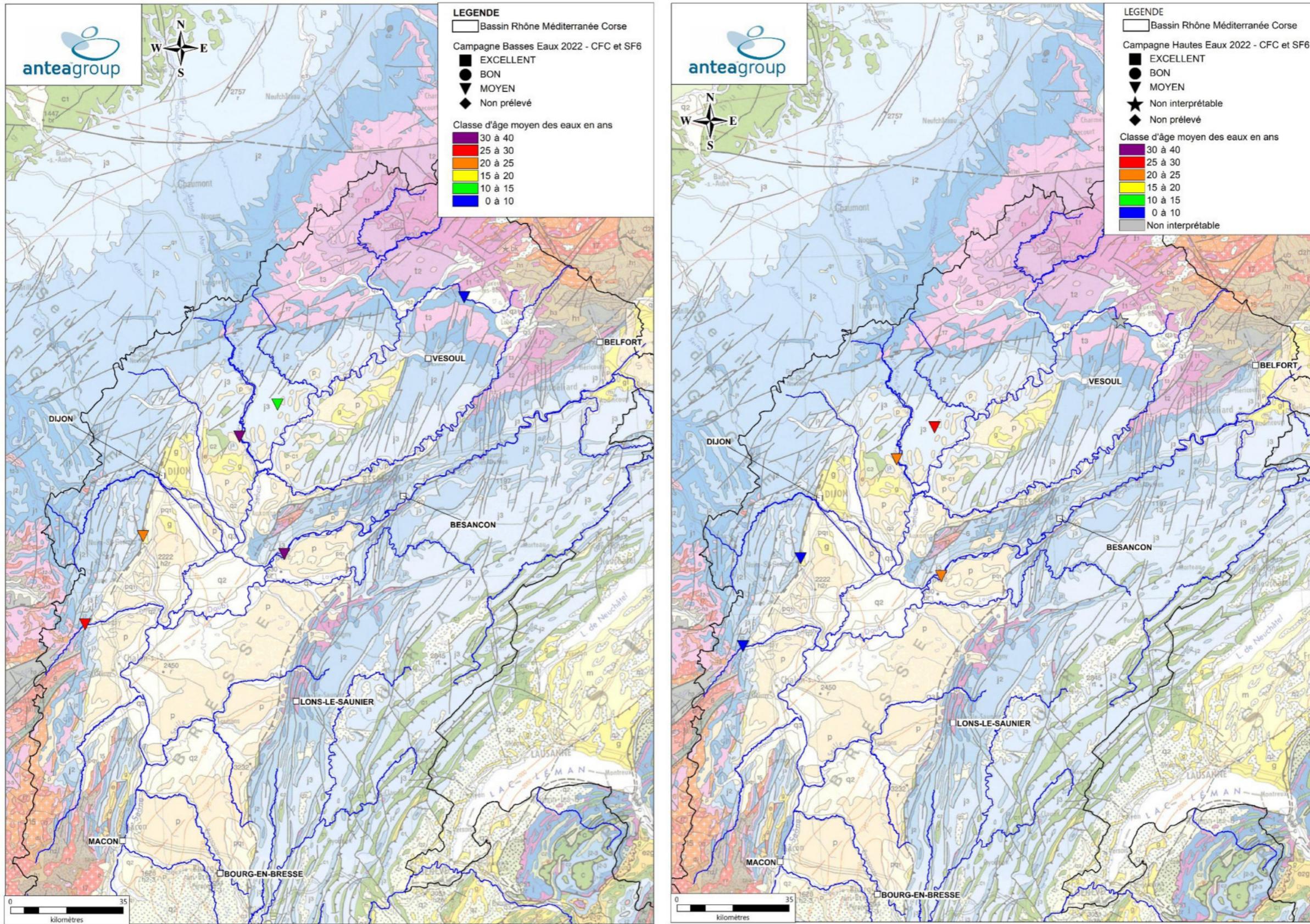


Figure 24 : Répartition des classes d'âge moyen en Bourgogne/Franche-Comté en Basses Eaux et Moyennes à Hautes Eaux

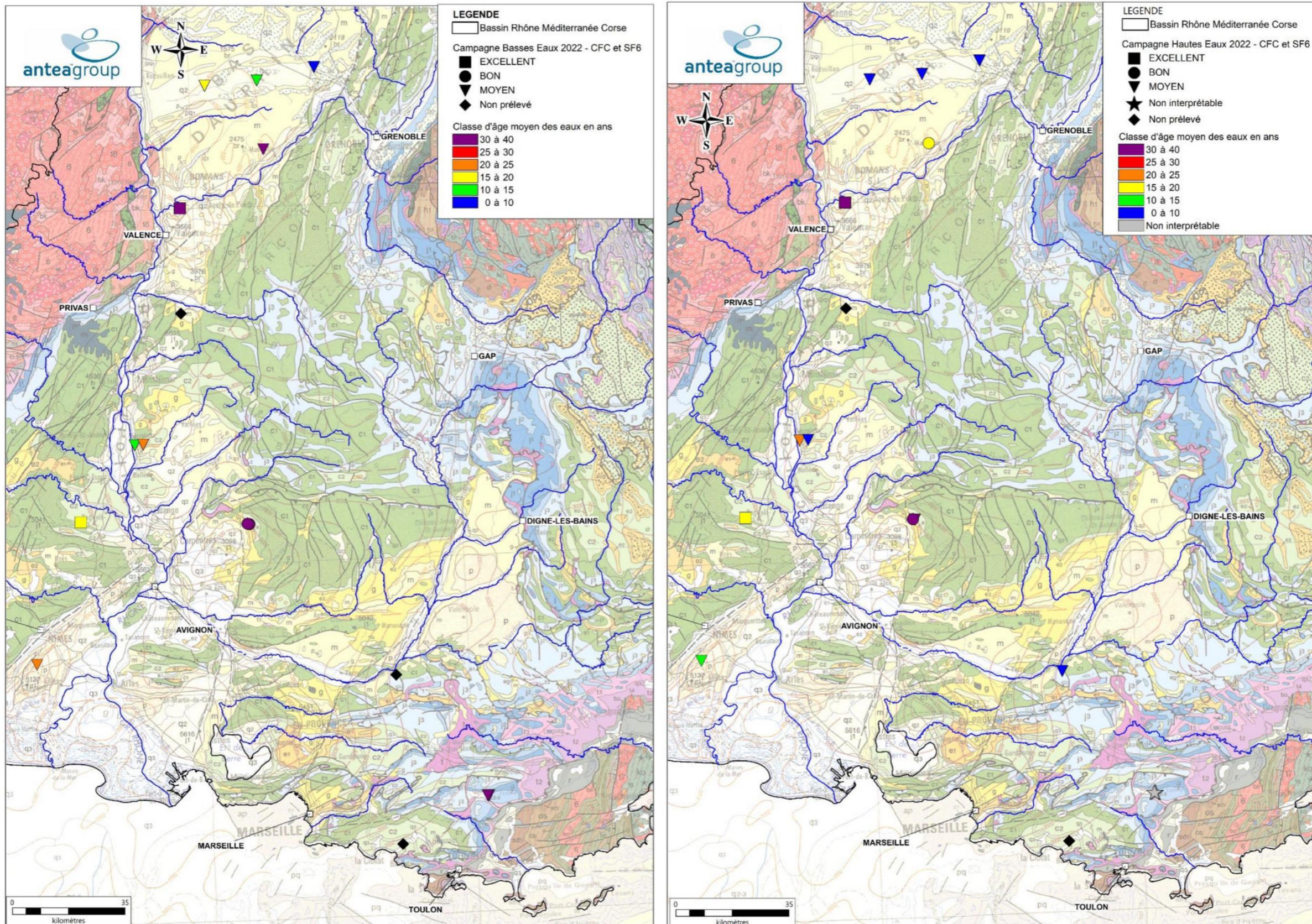


Figure 25 : Répartition des classes d'âge moyen en Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur en Basses Eaux et Moyennes à Hautes Eaux

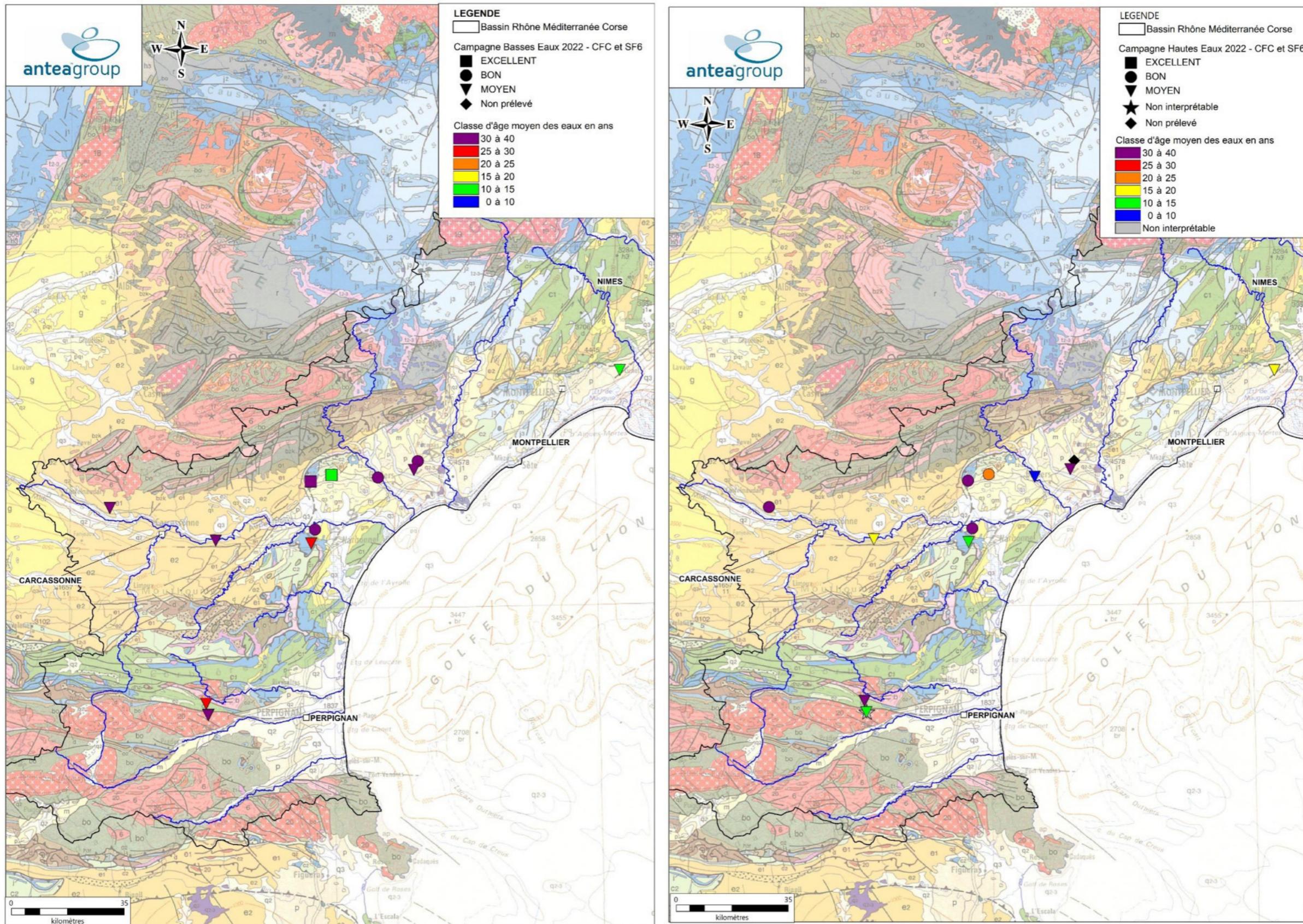


Figure 26 : Répartition des classes d'âge moyen en Occitanie en Basses Eaux et Moyennes à Hautes Eaux

6.5.1. Résultats – Bourgogne/Franche-Comté

Les résultats de datation pour la région Bourgogne/Franche-Comté sont présentés dans les tableaux et figures suivants :

CODE	DEP.	COMMUNE	NOM	AQUIFERE	BE 2022 CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE BE	HE 2023 CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE HE	AGE MOYEN 2022-2023 RETENU	REMARQUES SUR L'INTERPRETATION
AE2106	21	SANTENAY	S. DU RU DE BOICHOT	Calcaires jurassiques de la Côte dijonnaise	25 à 30 ans	MOYEN	< 10 ans	MOYEN	< 10 ans	Age moyen retenu < 10 ans (le plus cohérent avec le contexte pour des indices de confiance similaires).
AE2107	21	VOSNE-ROMANEE	SOURCE DE LABORNUÉ		20 à 25 ans	MOYEN	< 10 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu 10 à 15 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).
AE2108	21	OISILLY	P. DE OISILLY	Calcaires jurassiques du châtillonnais et seuil de Bourgogne entre Ouche et Vingeanne	> 30 ans	MOYEN	20 à 25 ans	MOYEN	20 à 25 ans	Age moyen retenu 20 à 25 ans.
AE3911	39	BREVANS	Forages de Brevans Sud et Nord	Alluvions de la vallée du Doubs	> 30 ans	MOYEN	20 à 25 ans	MOYEN	20 à 25 ans	Age moyen retenu 20 à 25 ans.
AE7017	70	AUVET-ET-LA-CHAPELOTTE	SOURCE DE MAISON ROUGE	Calcaires jurassiques des plateaux de Haute-Saône	10 à 15 ans	MOYEN	25 à 30 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu le plus jeune, plus cohérent avec le contexte karstique.
AE7018	70	SAINTE-MARIE-EN-CHAUX	PUITS DE SAINTE MARIE	Alluvions de l'interfluve Breuchin-Lanterne en amont de la confluence	< 10 ans	MOYEN	-	-	< 10 ans	Aucun traceur exploitable lors de la campagne de HE. Age moyen retenu < 10 ans (datation BE 2022).

Tableau 16 : Ages moyens apparents en Basses Eaux et Moyennes à Hautes Eaux – Bourgogne/Franche-Comté

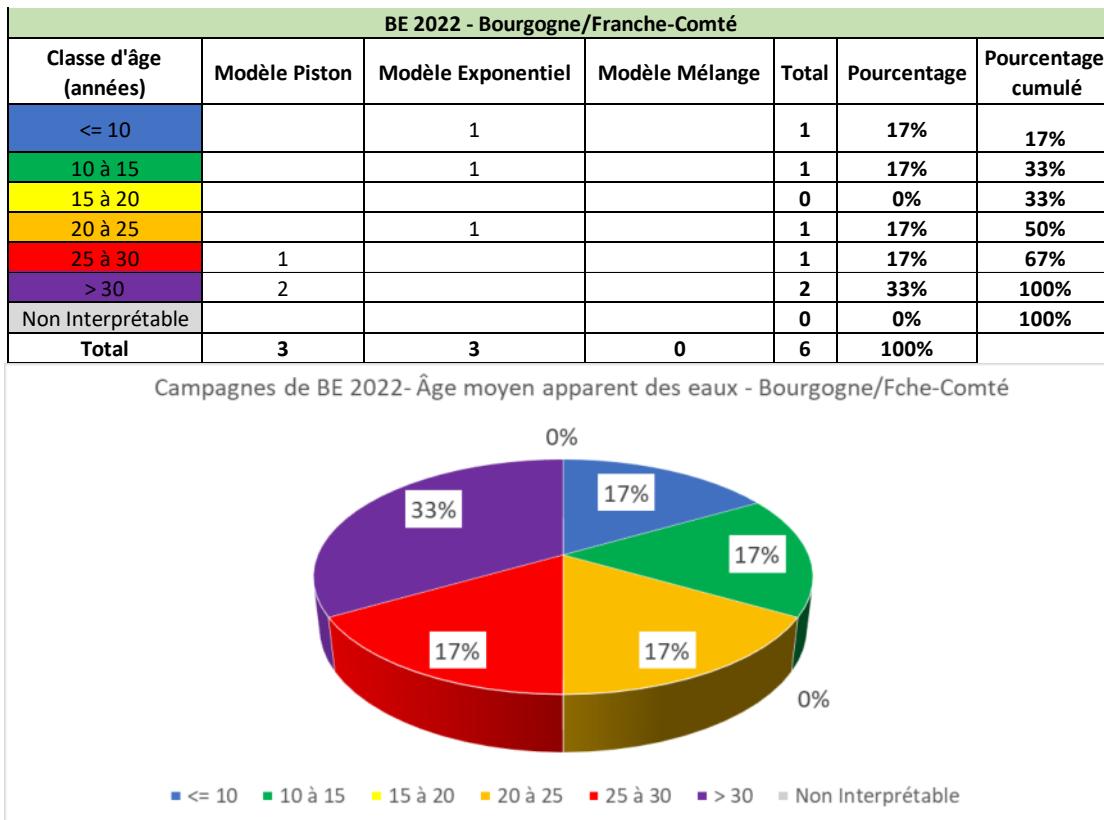


Figure 27 : Bourgogne/Franche-Comté - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne BE 2022

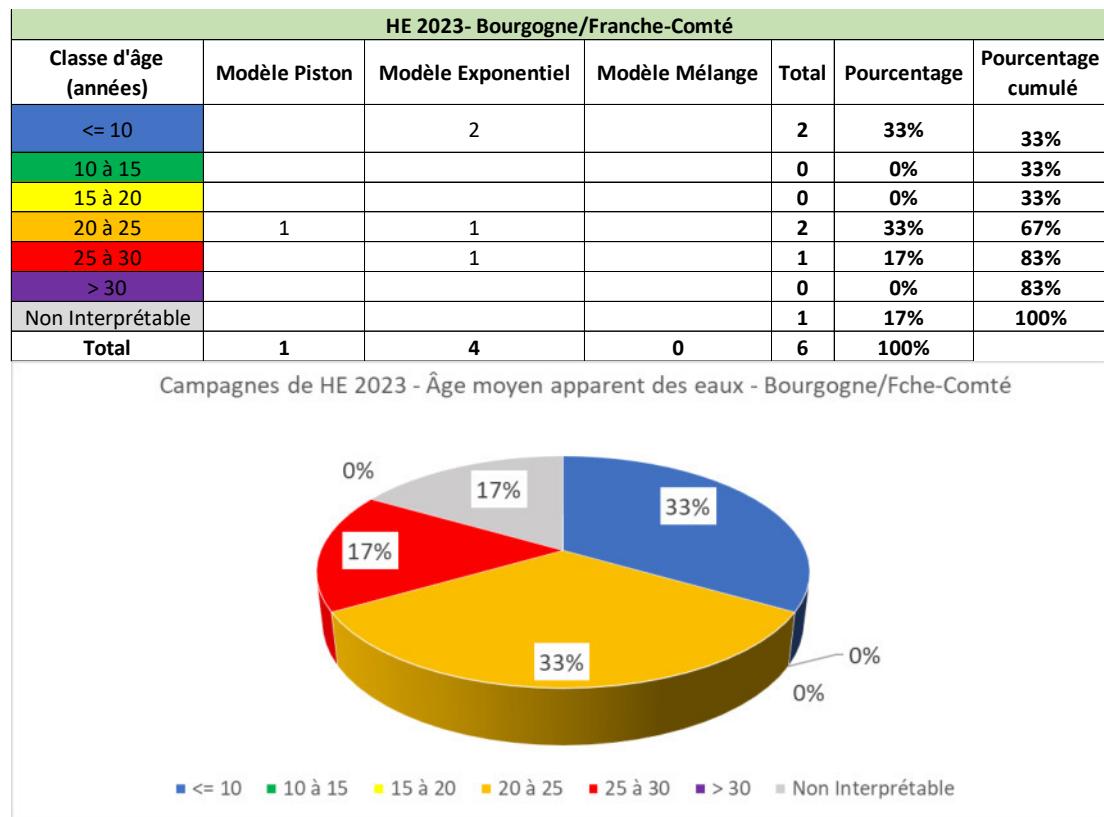


Figure 28 : Bourgogne/Franche-Comté - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne HE 2023

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 à 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.

6.5.2. Résultats – Rhône-Alpes

Les résultats de datation pour la région Rhône-Alpes sont présentés dans les tableaux et figures suivants :

CODE	DEP.	COMMUNE	NOM	AQUIFERE	BE 2022 CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE BE	HE 2023 CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE HE	AGE MOYEN 2022-2023 RETENU	REMARQUES SUR L'INTERPRETATION
AE2608	26	CHABRILLAN	SOURCE ROUEYROL	Molasses miocènes du Bas Dauphiné plaine de Valence et Drôme des collines	-	-	-	-	Assec pour les 2 campagnes	-
AE2609	26	CHATEAUNEUF SUR-ISERE	FORAGE LES DEVEYS		> 30 ans	EXCELLENT	> 30 ans	EXCELLENT	> 30 ans	Age moyen retenu > 30 ans.
AE2610	26	ST-PAUL-TROIS-CHATEAUX	GONSARD 2	Alluvions du Rhône du défilé de Donzère au confluent de la Durance et alluvions de la basse vallée de l'Ardèche	10 à 15 ans	MOYEN	20 à 25 ans	MOYEN	15 à 20 ans	Age moyen retenu 15 à 20 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).
AE2611	26	ST-PAUL-TROIS-CHATEAUX	LES ALENES	Marno-calcaires et grès Collines Côte du Rhône rive gauche et de la bordure du bassin du Comtat	20 à 25 ans	MOYEN	< 10 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu 10 à 15 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).
AE3807	38	LA CÔTE-SAINT-ANDRE	Les Alouettes (le Rival)	Alluvions de la plaine de Bièvre-Valloire	10 à 15 ans	MOYEN	< 10 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu le plus élevé, plus cohérent avec l'épaisseur de ZNS et le l'AAC.
AE3808	38	SAINT-BARTHELEMY	Forage Les Imberts		15 à 20 ans	MOYEN	< 10 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu 10 à 15 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).
AE3809	38	APPRIEU	Source Planche Cattin	Formations quaternaires en placages discontinus du bas Dauphiné et terrasses région de Roussillon	< 10 ans	MOYEN	< 10 ans	MOYEN	< 10 ans	Age moyen retenu < 10 ans.
AE3810	38	CHATTE	Scie - Courbon		> 30 ans	MOYEN	15 à 20 ans	BON	15 à 20 ans	Age moyen retenu 15 à 20 ans (car meilleure convergence des résultat lors de la campagne HE).
AE3811	38	SAINT-MAURICE-L'EXIL	Sources de Louze (Francou)		15 à 20 ans	MOYEN	< 10 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu 10 à 15 ans.

Tableau 17 : Ages moyens apparents en Basses Eaux et Moyennes à Hautes Eaux – Rhône-Alpes

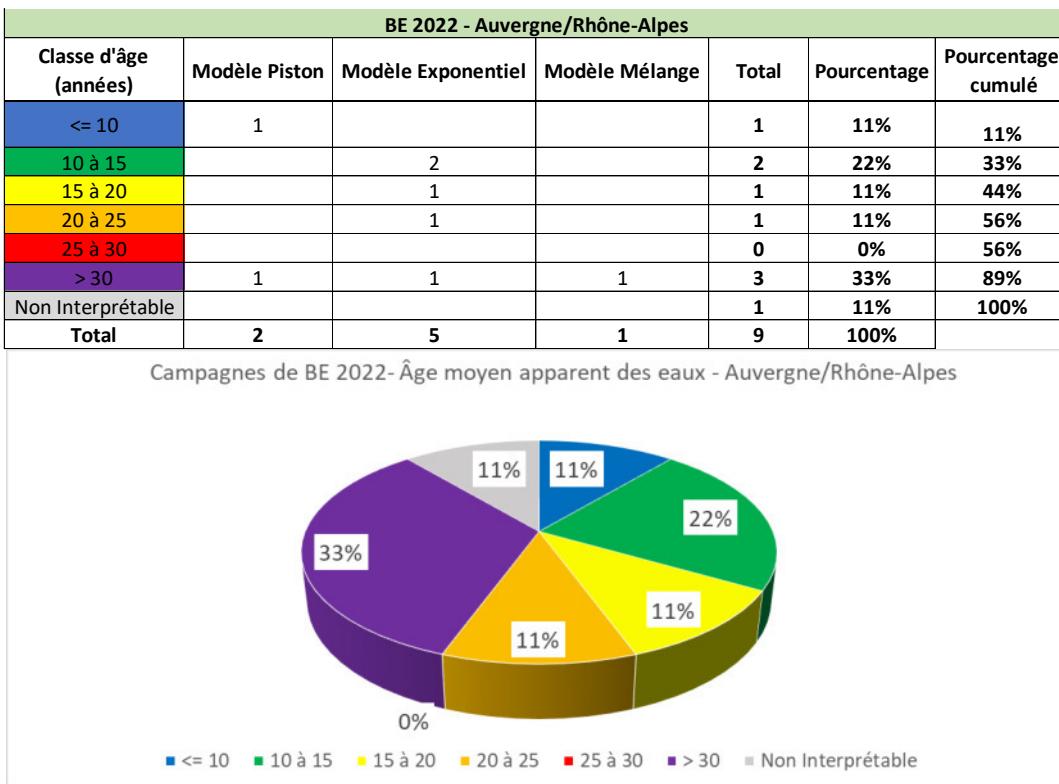


Figure 29 : Rhône-Alpes - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne BE 2022

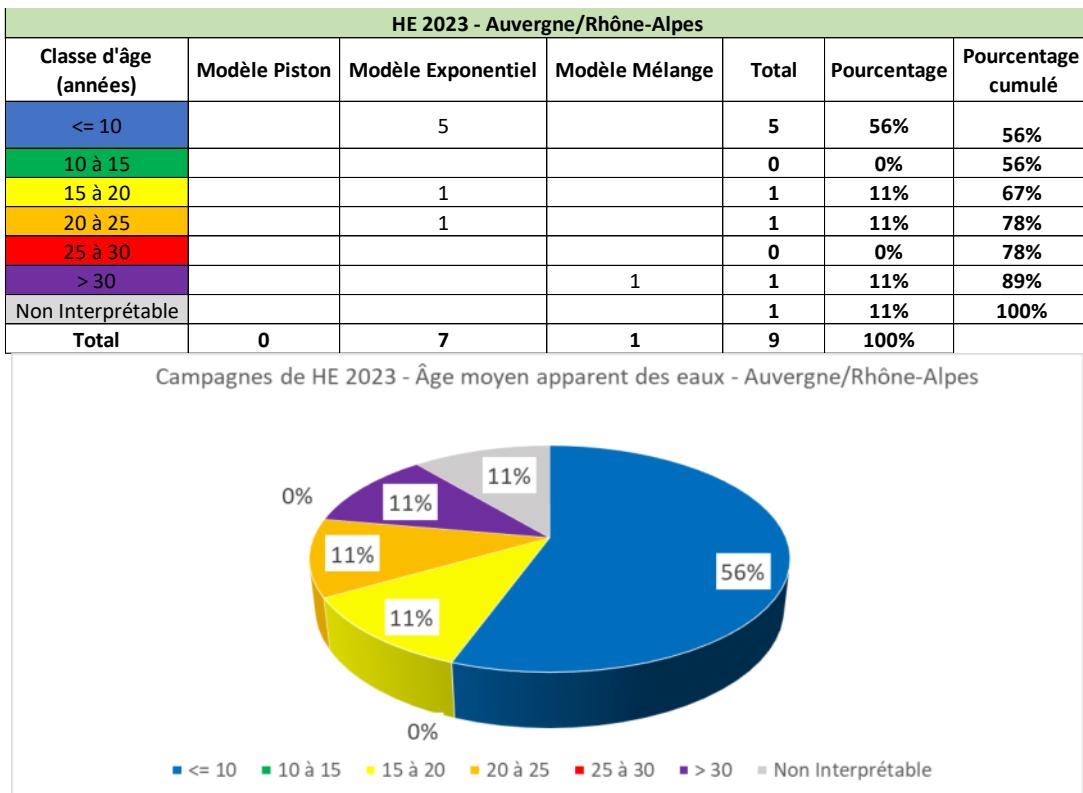


Figure 30 : Rhône-Alpes - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne HE 2023

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.

6.5.3. Résultats – Provence-Alpes-Côte d’Azur

Les résultats de datation pour la région Provence-Alpes-Côte d’Azur sont présentés dans les tableaux et figures suivants :

CODE	DEP.	COMMUNE	NOM	AQUIFERE	BE 2022 CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE BE	HE 2023 CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE HE	AGE MOYEN 2022-2023 RETIENUE	REMARQUES SUR L'INTERPRETATION
AE1301	13	SAINT-PAUL-LES-DURANCE	SOURCE FONT REYNAUDE	Unités calcaires Nord-Ouest varois (Mont Major, Cadarache, Vautubière)	-	-	< 10 ans	MOYEN	< 10 ans	Age moyen retenu < 10 ans.
AE8304	83	GAREOULT	FORAGES LES GUINES	Formations gréseuses et marno-calcaires de l'avant-Pays Provençal	> 30 ans	MOYEN	-	-	> 30 ans	Aucun traceur exploitable lors de la campagne de HE. Age moyen retenu > 30 ans (datation BE 2022).
AE8305	83	ROCBARON (GAREOULT)	PUITS ET FORAGE DE FONT DE CLASTRE - FORAGES CASCAVEOU	Formations gréseuses et marno-calcaires de l'avant-Pays Provençal	> 30 ans	MOYEN	-	-	> 30 ans	Aucun traceur exploitable lors de la campagne de HE. Age moyen retenu > 30 ans (datation BE 2022).
AE8401	84	BEDOIN	Captages des Sables Blancs : FORAGE GIARDINI	Sables blancs cénonmaniens de Bédoïn-Mormoiron	> 30 ans	BON	> 30 ans	MOYEN	> 30 ans	Age moyen retenu > 30 ans (moyenne des 2 datations).
AE8401	84	BEDOIN	Captages des Sables Blancs : FORAGE BASSES PESSADES	Sables blancs cénonmaniens de Bédoïn-Mormoiron	> 30 ans	BON	> 30 ans	BON	> 30 ans	Age moyen retenu > 30 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).

Tableau 18 : Ages moyens apparents en Basses Eaux et Moyennes à Hautes Eaux – Provence-Alpes-Côte-D’azur

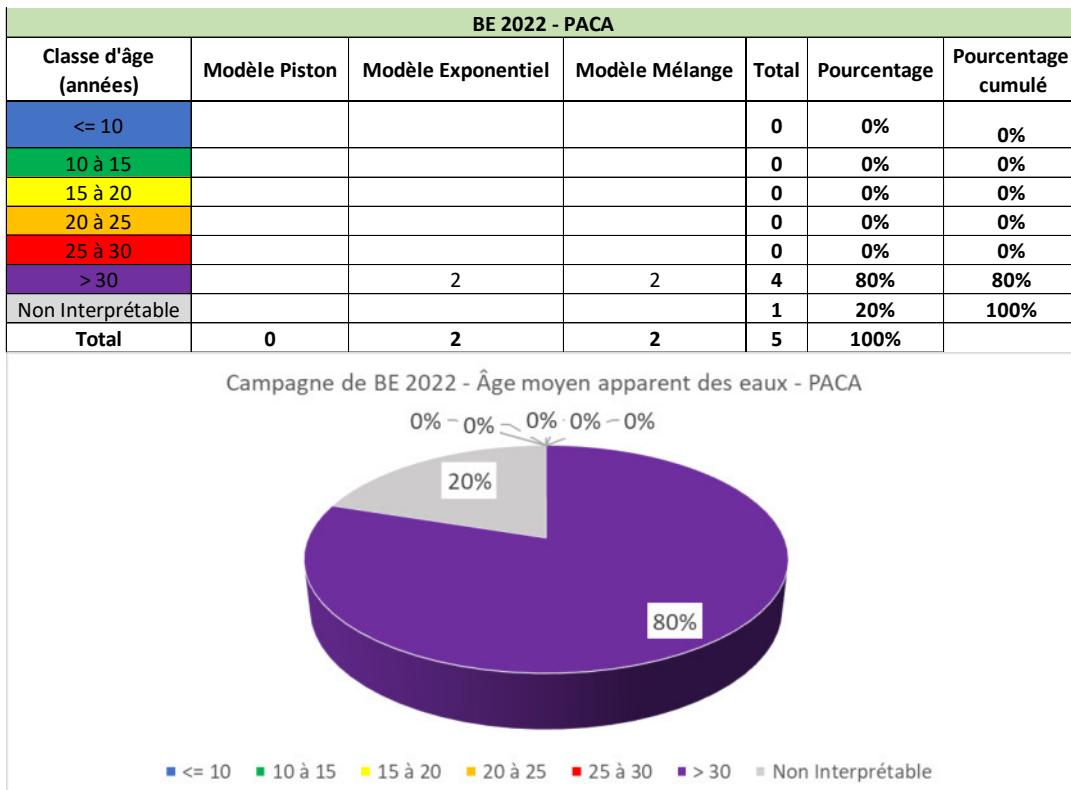


Figure 31 : PACA - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne BE 2022

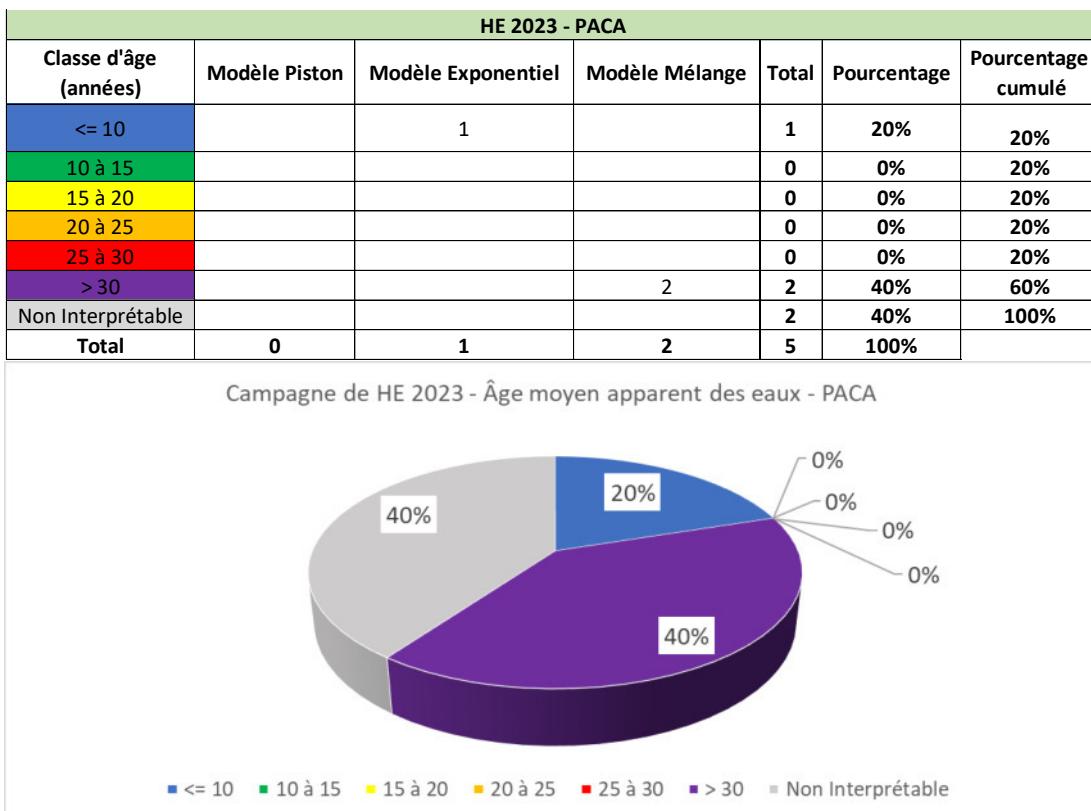


Figure 32 : PACA - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne HE 2023

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.

6.5.4. Résultats – Occitanie

Les résultats de datation pour la région Occitanie sont présentés dans le tableau suivant :

CODE	DEP.	COMMUNE	NOM	AQUIFERE	BE 2022 CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE BE	HE 2023 CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIANCE HE	AGE MOYEN 2022-2023 RETENU	REMARQUES SUR L'INTERPRETATION
AE1101	11	MONTREDON-DES-CORBIERES	Forage de la Croix Blanche	Calcaires et marnes jurassiques et triasiques de la nappe charriée des Corbières	25 à 30 ans	MOYEN	10 à 15 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu 10 à 15 ans (le plus cohérent avec le contexte pour des indices de confiance similaires).
AE1104	11	MOUSSAN	Captage Mailloles		> 30 ans	BON	> 30 ans	BON	> 30 ans	Age moyen retenu > 30 ans.
AE1102	11	RAISSAC-SUR-LAMPY	Sources Bondouire Basse et Haute	Calcaires éocènes du Cabardès	> 30 ans	MOYEN	> 30 ans	BON	> 30 ans	Age moyen retenu > 30 ans.
AE1103	11	CAPENDU	Puits Station, Saint-Maurice, La Garrigue	Alluvions Aude médiane et affluents (Orbieu, Cesse...)	> 30 ans	MOYEN	15 à 20 ans	MOYEN	15 à 20 ans	Age moyen retenu 15 à 20 ans (le plus cohérent avec le contexte pour des indices de confiance similaires).
AE3001	30	SABRAN ET SAINT-PONS-LA-CALM	Source et Forages Moulin d'Auzigue	Formations variées côtes du Rhône rive gardoise	15 à 20 ans	EXCELLENT	15 à 20 ans	EXCELLENT	15 à 20 ans	Age moyen retenu 15 à 20 ans.
AE3002	30	GENERAC	Source La Fontaine	Alluvions anciennes de la Vistrenque et des Costières	20 à 25 ans	MOYEN	10 à 15 ans	MOYEN	15 à 20 ans	Age moyen retenu 15 à 20 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).
AE3401	34	MARAUSSAN	PERDIGUIER NORD ET SUD	Alluvions de l'Orb et du Libron	> 30 ans	BON	< 10 ans	MOYEN	20 à 25 ans	Age moyen retenu 20 à 25 ans (moyenne des 2 datations). Les apports de l'Orb en HE peuvent être à l'origine d'un âge apparent inférieur sur cette période de prélèvement.
AE3402	34	SERVIAN	Forages VIEULESSE (F91 et F2017)	Sables astiens de Valras-Agde	> 30 ans	BON	-	-	> 30 ans	En amont, F4 de l'Usine à Eau (même aquifère et BV) a fait l'objet d'une datation en 2016 : modèle mélange retenu et âge apparent > 30 ans. Age moyen retenu 2022 > 30 ans.
AE3406	34	SERVIAN	FORAGE DE LA BAUME 06		> 30 ans	MOYEN	> 30 ans	MOYEN	> 30 ans	Age moyen retenu > 30 ans.
AE3403	34	SAINT-JUST	FORAGES AUBETTES et AUBETTES 1	Alluvions anciennes entre Vidourle et Lez et littoral entre Montpellier et Sète	10 à 15 ans	MOYEN	15 à 20 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu le plus jeune, en lien avec l'alimentation par les cours d'eau.
AE3404	34	CREISSAN	LES BORIES COO	Formations plissées calcaires et marnes Arc de St Chinian	10 à 15 ans	EXCELLENT	20 à 25 ans	BON	15 à 20 ans	Age moyen retenu 15 à 20 ans (moyenne des 2 datations).
AE3405	34	CRUZY	SOURCE ROQUEFOUR CADE		> 30 ans	EXCELLENT	> 30 ans	BON	> 30 ans	Age moyen retenu > 30 ans.
AE6601	66	TRILLA	F3 TRILLA	Formations variées du Fenouillèdes, des Hautes Corbières et du bassin de Quillan	25 à 30 ans	MOYEN	> 30 ans	MOYEN	25 à 30 ans	Age moyen retenu 25 à 30 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).
AE6602	66	TREVILLACH	PUITS CAMP DEL PLA	Domaine plissé Pyrénées axiales dans le bassin versant de la Têt et de l'Agly	25 à 30 ans	MOYEN	-	-	25 à 30 ans	Age moyen retenu 25 à 30 ans (datation BE 2022).
AE6602	66	TREVILLACH	FORAGE F1 TREVILLACH		> 30 ans	MOYEN	10 à 15 ans	MOYEN	20 à 25 ans	Age moyen retenu 20 à 25 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).

Tableau 19 : Ages moyens apparents en Basses Eaux et Moyennes à Hautes Eaux – Occitanie

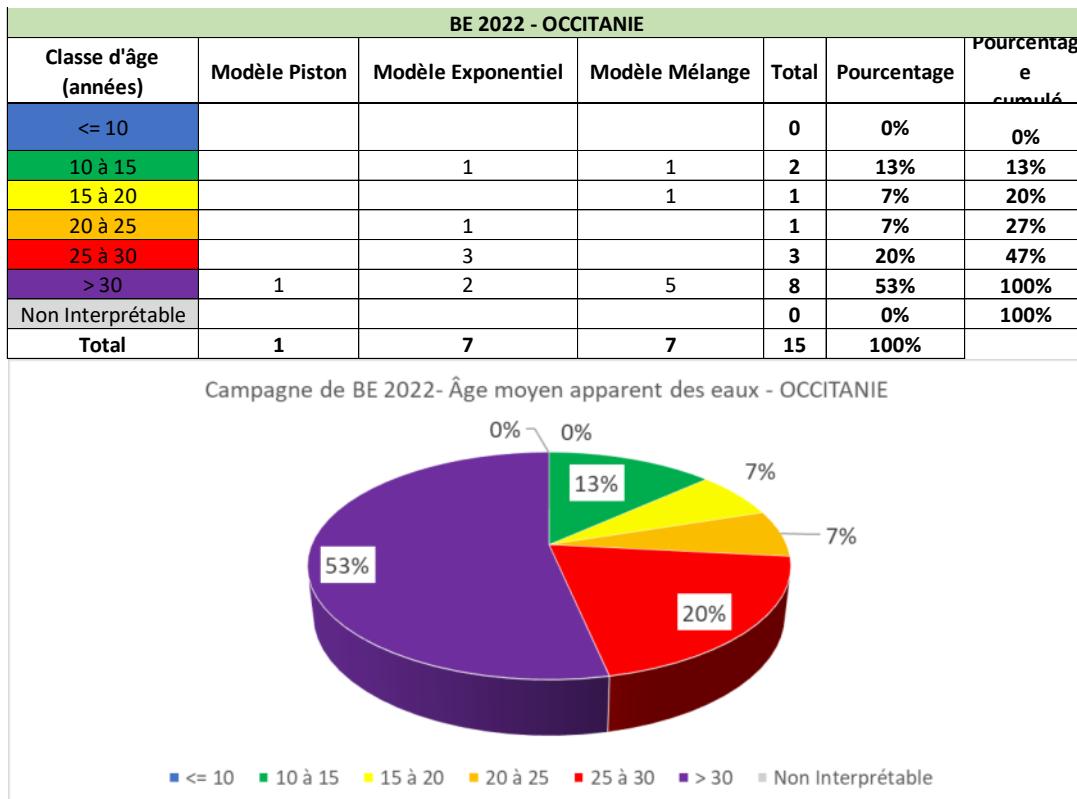


Figure 33 : Occitanie - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne BE 2022

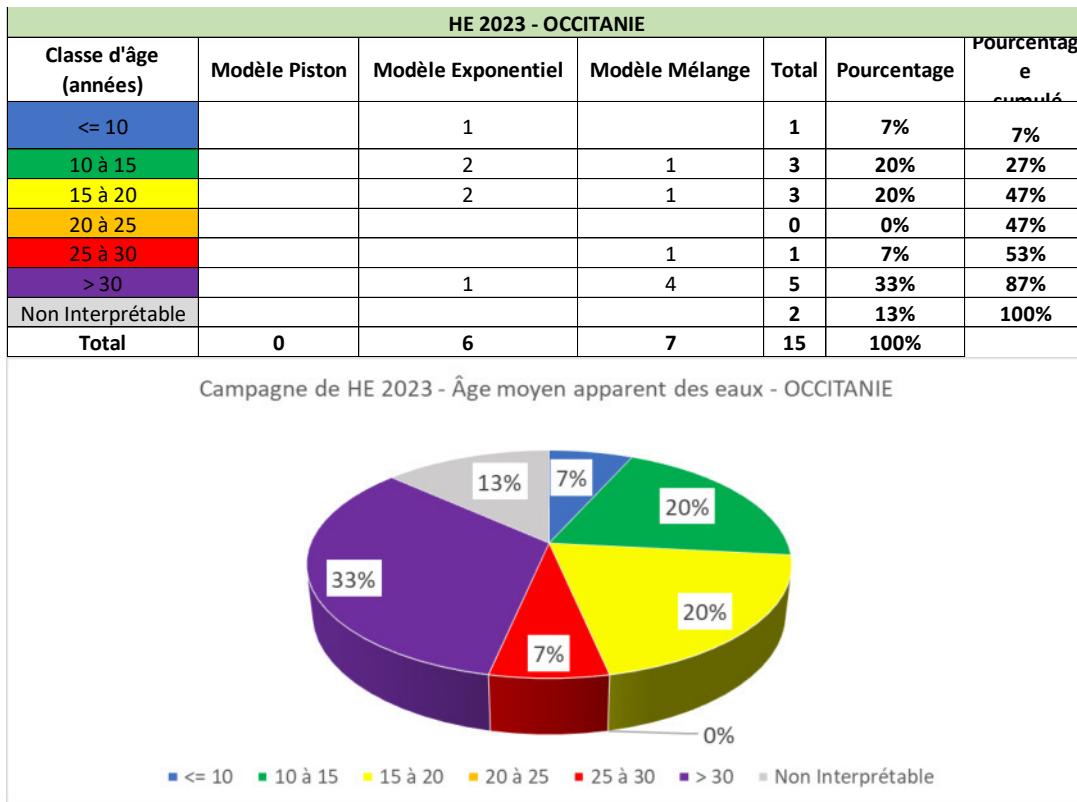


Figure 34 : Occitanie - Répartition des âges moyens apparents des eaux de la campagne HE 2023

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 Mousson (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 villafrançais 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 Perdiguer 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) ce 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 Vieulessé 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 Vieulessé 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'Hettangien et correspond à une résurgence de type vauclusienne. 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 Trevillac, 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.

6.6. Ages moyens apparents retenus

Les résultats consolidés des deux campagnes ont conduit à retenir les âges moyens apparents présentés dans le tableau et sur la figure de synthèse pages suivantes.

CODE	DEP.	COMMUNE	NOM	AQUIFERE	BE 2022 CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIAINCE BE	HE 2023 CLASSE D'AGE MOYEN	INDICE DE CONFIAINCE HE	AGE MOYEN 2022- 2023	REMARQUES SUR L'INTERPRETATION
AE1101	11	MONTREDON-DES-CORBIERES	Forage de la Croix Blanche	Calcaires et marnes jurassiques et triasiques de la nappe charriée des Corbières	25 à 30 ans	MOYEN	10 à 15 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu 10 à 15 ans (le plus cohérent avec le contexte pour des indices de confiance similaires).
AE1102	11	RAISSAC-SUR-LAMPY	Sources Bondouire Basse et Haute	Calcaires écènes du Cabardès	> 30 ans	MOYEN	> 30 ans	BON	> 30 ans	Age moyen retenu > 30 ans.
AE1103	11	CAPENDU	Puits Station, Saint-Maurice, La Garrigue	Alluvions Aude médiane et affluents (Orbieu, Cesse...)	> 30 ans	MOYEN	15 à 20 ans	MOYEN	15 à 20 ans	Age moyen retenu 15 à 20 ans (le plus cohérent avec le contexte pour des indices de confiance similaires).
AE1104	11	MOUSSAN	Captage Mailloles	Calcaires et marnes jurassiques et triasiques de la nappe charriée des Corbières	> 30 ans	BON	> 30 ans	BON	> 30 ans	Age moyen retenu > 30 ans.
AE1301	13	SAINTE-PAUL-LES-DURANCE	SOURCE FONT REYNAUDE	Unités calcaires Nord-Ouest varois (Mont Major, Cadarache, Vautubiére)	-	-	< 10 ans	MOYEN	< 10 ans	Age moyen retenu < 10 ans.
AE2106	21	SANTENAY	S. DU RU DE BOICHOT	Calcaires jurassiques de la Côte dijonnaise	25 à 30 ans	MOYEN	< 10 ans	MOYEN	< 10 ans	Age moyen retenu < 10 ans (le plus cohérent avec le contexte pour des indices de confiance similaires).
AE2107	21	VOSNE-ROMANEE	SOURCE DE LA BORNUE	Calcaires jurassiques de la Côte dijonnaise	20 à 25 ans	MOYEN	< 10 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu 10 à 15 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).
AE2108	21	OISILLY	P. DE OISILLY	Calcaires jurassiques du châtillonnais et seuil de Bourgogne entre Ouche et Vingeanne	> 30 ans	MOYEN	20 à 25 ans	MOYEN	20 à 25 ans	Age moyen retenu 20 à 25 ans.
AE2608	26	CHABRILLAN	SOURCE ROUVEYROL	Molasses miocènes du Bas Dauphiné plaine de Valence et Drôme des collines	-	-	-	-	Assec pour les 2 campagnes	-
AE2609	26	CHATEAUNEUF-SUR-ISERE	FORAGE LES DEVEYS	Molasses miocènes du Bas Dauphiné plaine de Valence et Drôme des collines	> 30 ans	EXCELLENT	> 30 ans	EXCELLENT	> 30 ans	Age moyen retenu > 30 ans.
AE2610	26	ST-PAUL-TROIS-CHATEAUX	GONSARD 2	Alluvions du Rhône du défilé de Donzère au confluent de la Durance et alluvions de la basse vallée de l'Ardèche	10 à 15 ans	MOYEN	20 à 25 ans	MOYEN	15 à 20 ans	Age moyen retenu 15 à 20 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).
AE2611	26	ST-PAUL-TROIS-CHATEAUX	LES ALENES	Marno-calcaires et grès Collines Côte du Rhône rive gauche et de la bordure du bassin du Comtat	20 à 25 ans	MOYEN	< 10 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu 10 à 15 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).
AE3001	30	SABRAN ET SAINT-PONS-LA-CALM	Source et Forages Moulin d'Auzigue - Forage st Pons la Calm/Combe Gazell - Forage St-Pons-la-Calm/Bouliodouire	Formations variées côtes du Rhône rive gardoise	15 à 20 ans	EXCELLENT	15 à 20 ans	EXCELLENT	15 à 20 ans	Age moyen retenu 15 à 20 ans.
AE3002	30	GENERAC	Source La Fontaine	Alluvions anciennes de la Vistrenque et des Costières	20 à 25 ans	MOYEN	10 à 15 ans	MOYEN	15 à 20 ans	Age moyen retenu 15 à 20 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).
AE3401	34	MARAUSSAN	PERDIGUER NORD ET SUD	Alluvions de l'Orb et du Libron	> 30 ans	BON	< 10 ans	MOYEN	20 à 25 ans	Age moyen retenu 20 à 25 ans (moyenne des 2 datations). Les apports de l'Orb en HE peuvent être à l'origine d'un âge apparent inférieur sur cette période de prélèvement.
AE3402	34	SERVIAN	Forages VIEULESSE (F91 et F2017)	Sables astiens de Valras-Agde	> 30 ans	BON	-	-	> 30 ans	Le captage F4 de l'Usine à Eau, situé en amont dans le même bassin versant et qui capte le même aquifère, a fait l'objet d'une datation en 2016. Le rapport avait conclu à un mélange avec un temps de résidence moyen des eaux supérieur à 30 ans. Age moyen retenu en 2022 > 30 ans.
AE3403	34	SAINT-JUST	FORAGES AUBETTES et AUBETTES 1	Alluvions anciennes entre Vidourle et Lez et littoral entre Montpellier et Sète	10 à 15 ans	MOYEN	15 à 20 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu le plus jeune, en lien avec l'alimentation par les cours d'eau.
AE3404	34	CREISSAN	LES BORIES C00	Formations plissées calcaires et marnes Arc de St Chinian	10 à 15 ans	EXCELLENT	20 à 25 ans	BON	15 à 20 ans	Age moyen retenu 15 à 20 ans (moyenne des 2 datations).
AE3405	34	CRUZY	SOURCE ROQUEFOURCADE	Formations plissées calcaires et marnes Arc de St Chinian	> 30 ans	EXCELLENT	> 30 ans	BON	> 30 ans	Age moyen retenu > 30 ans.
AE3406	34	SERVIAN	FORAGE DE LA BAUME 06	Sables astiens de Valras-Agde	> 30 ans	MOYEN	> 30 ans	MOYEN	> 30 ans	Age moyen retenu > 30 ans.
AE3807	38	LA CÔTE-SAINT-ANDRE	Les Alouettes (le Rival)	Alluvions de la plaine de Bièvre-Valloire	10 à 15 ans	MOYEN	< 10 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu le plus élevé, plus cohérent avec l'épaisseur de ZNS et le l'AAC.
AE3808	38	SAINT-BARTHELEMY	Forage Les Imberts	Alluvions de la plaine de Bièvre-Valloire	15 à 20 ans	MOYEN	< 10 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu 10 à 15 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).
AE3809	38	APPRIEU	Source Planche Cattin	Formations quaternaires en placages discontinus du bas Dauphiné et terrasses région de Roussillon	< 10 ans	MOYEN	< 10 ans	MOYEN	< 10 ans	Age moyen retenu < 10 ans.
AE3810	38	CHATTE	Scie - Courbon	Formations quaternaires en placages discontinus du bas Dauphiné et terrasses région de Roussillon	> 30 ans	MOYEN	15 à 20 ans	BON	15 à 20 ans	Age moyen retenu 15 à 20 ans (car meilleure convergence des résultat lors de la campagne HE).
AE3811	38	SAINT-MAURICE-L'EXIL	Sources de Louze (Francou)	Formations quaternaires en placages discontinus du bas Dauphiné et terrasses région de Roussillon	15 à 20 ans	MOYEN	< 10 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu 10 à 15 ans.
AE3911	39	BREVANS	Forages Brevans Sud et Nord	Alluvions de la vallée du Doubs	> 30 ans	MOYEN	20 à 25 ans	MOYEN	20 à 25 ans	Age moyen retenu 20 à 25 ans.
AE6601	66	TRILLA	F3 TRILLA	Formations variées du Fenouillèdes, des Hautes Corbières et du bassin de Quillan	25 à 30 ans	MOYEN	> 30 ans	MOYEN	25 à 30 ans	Age moyen retenu 25 à 30 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).
AE6602	66	TREVILLACH	PUITS CAMP DEL PLA	Domaine plissé Pyrénées axiales dans le bassin versant de la Têt et de l'Aglé	25 à 30 ans	MOYEN	-	-	25 à 30 ans	Age moyen retenu 25 à 30 ans (datation BE 2022).
AE6602	66	TREVILLACH	FORAGE F1 TREVILLACH	Domaine plissé Pyrénées axiales dans le bassin versant de la Têt et de l'Aglé	> 30 ans	MOYEN	10 à 15 ans	MOYEN	20 à 25 ans	Age moyen retenu 20 à 25 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).
AE7017	70	AUVET-ET-LA-CHAPELOTTE	SOURCE DE MAISON ROUGE	Calcaires jurassiques des plateaux de Haute-Saône	10 à 15 ans	MOYEN	25 à 30 ans	MOYEN	10 à 15 ans	Age moyen retenu le plus jeune, plus cohérent avec le contexte karstique.
AE7018	70	SAINTE-MARIE-EN-CHAUX	PUITS DE SAINTE MARIE	Alluvions de l'interfluve Breuchin-Lanterne en amont de la confluence	< 10 ans	MOYEN	-	-	< 10 ans	Aucun traceur exploitable lors de la campagne de HE. Age moyen retenu < 10 ans (datation BE 2022).
AE8303	83	SAINT-CYR-SUR-MER	PUITS LONG	Calcaires du Bassin du Beauasset et du massif des Calanques (Nappe alluviale de La Salle et ou grès Santonien) ?	-	-	-	-	ABANDON	-
AE8304	83	GAREOULT	FORAGES LES GUINES	Formations gréseuses et marno-calcaires de l'avant-Pays Provençal	> 30 ans	MOYEN	-	-	> 30 ans	Aucun traceur exploitable lors de la campagne de HE. Age moyen retenu > 30 ans (datation BE 2022).
AE8305	83	ROCBARON (GAREOULT)	PUITS ET FORAGE DE FONT DE CLASTRE - FORAGES CASCAVEOU	Formations gréseuses et marno-calcaires de l'avant-Pays Provençal	> 30 ans	MOYEN	-	-	> 30 ans	Aucun traceur exploitable lors de la campagne de HE. Age moyen retenu > 30 ans (datation BE 2022).
AE8401	84	BEDOIN	Captages des Sables Blancs : FORAGE GIARDINI	Sables blancs cénonmaniens de Bédoin-Mormoiron	> 30 ans	BON	> 30 ans	MOYEN	> 30 ans	Age moyen retenu > 30 ans (moyenne des 2 datations).
AE8401	84	BEDOIN	Captages des Sables Blancs : FORAGE BASSES PESSADES	Sables blancs cénonmaniens de Bédoin-Mormoiron	> 30 ans	BON	> 30 ans	BON	> 30 ans	Age moyen retenu > 30 ans (moyenne des 2 datations avec indice de confiance similaire).

Tableau 20 : Ages moyens retenus pour l'ensemble des captages

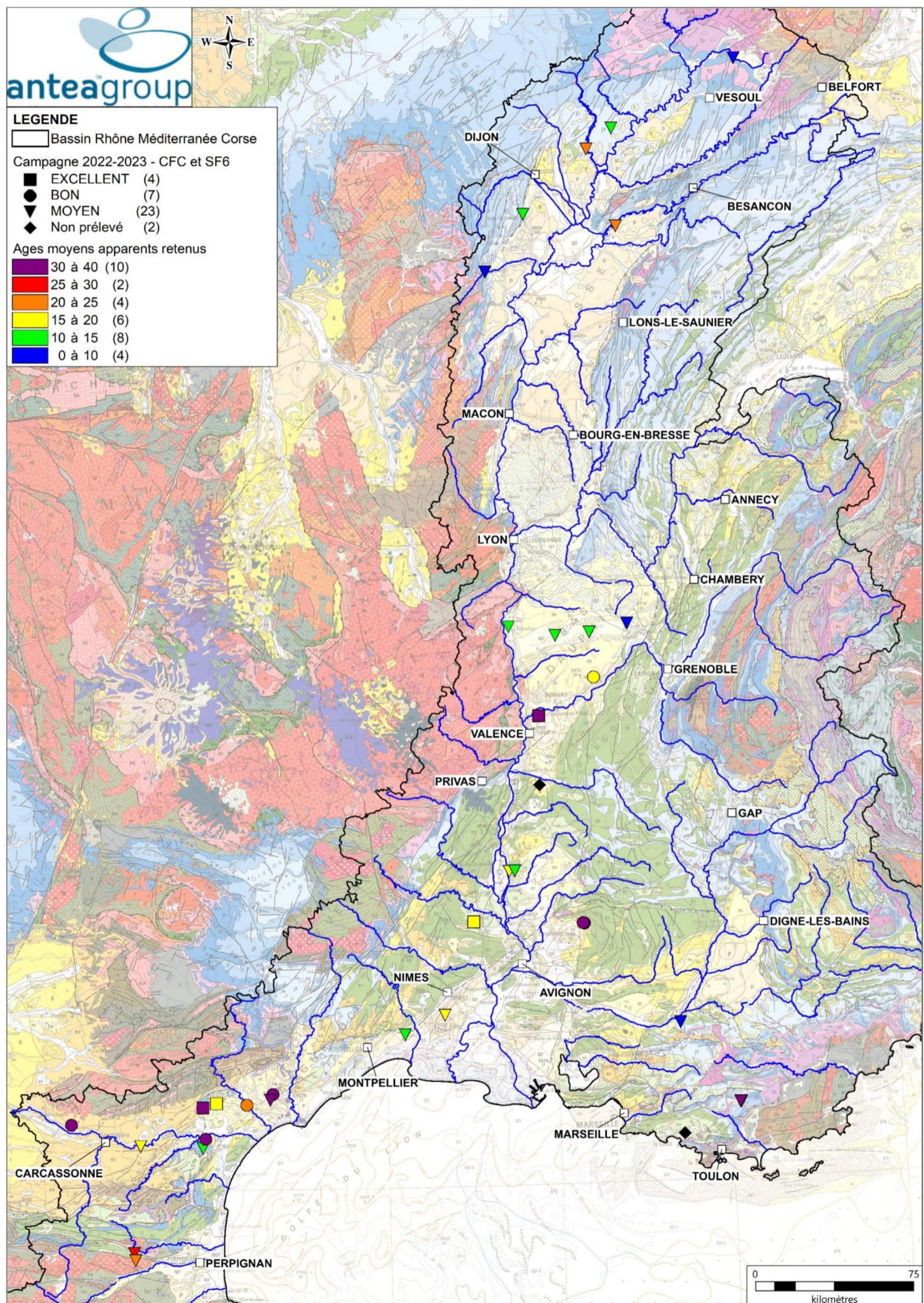


Figure 35 : Ages moyens retenus pour l'ensemble des captages

La répartition par classes d'âges apparents pour l'ensemble du bassin Rhône-Méditerranée est présentée dans le tableau et le graphique ci-dessous :

BASSIN RMC		
Classe d'âge (années)	AGE MOYEN 2022-2023	Pourcentage
<= 10	4	11%
10 à 15	8	23%
15 à 20	6	17%
20 à 25	4	11%
25 à 30	2	6%
> 30	10	29%
Non Interprétable	1	3%
Total	35	100%

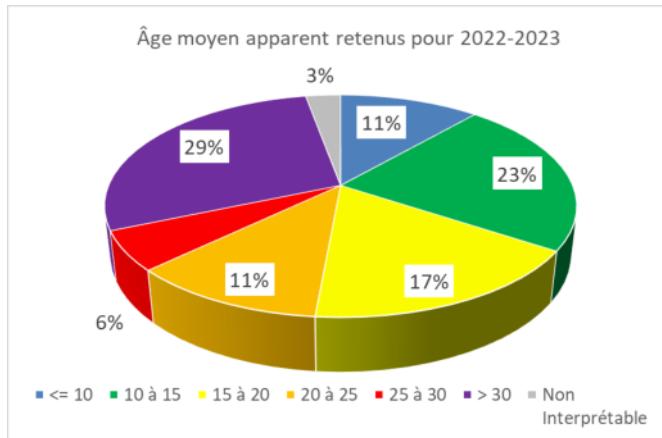


Figure 36 : Répartition des âges moyens apparents retenus pour 2022-2023

La répartition par classes d'âges apparents par région est présentée dans les tableaux et figures suivantes.

Bourgogne-Franche-Comté		
Classe d'âge (années)	AGE MOYEN 2022-2023	Pourcentage
<= 10	2	33%
10 à 15	2	33%
15 à 20	0	0%
20 à 25	2	33%
25 à 30	0	0%
> 30	0	0%
Non Interprétable	0	0%
Total	6	100%

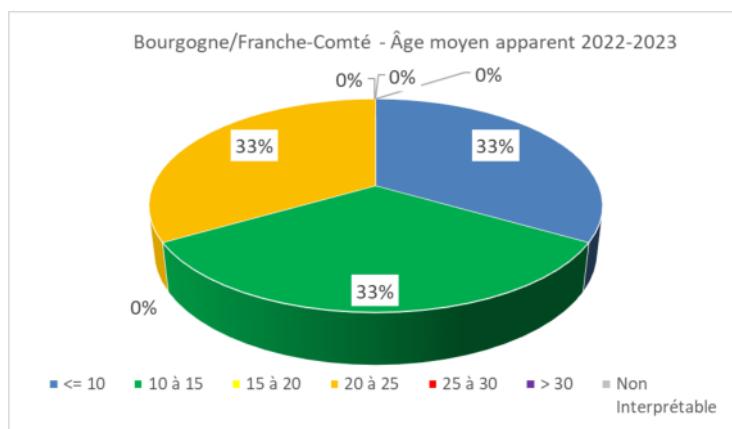


Figure 37 : Bourgogne/Franche-Comté - Répartition des âges moyens apparents retenus pour 2022-2023

Rhône-Alpes		
Classe d'âge (années)	AGE MOYEN 2022-2023	Pourcentage
<= 10	1	13%
10 à 15	4	50%
15 à 20	2	25%
20 à 25	0	0%
25 à 30	0	0%
> 30	1	13%
Non Interprétable	0	0%
Total	8	100%

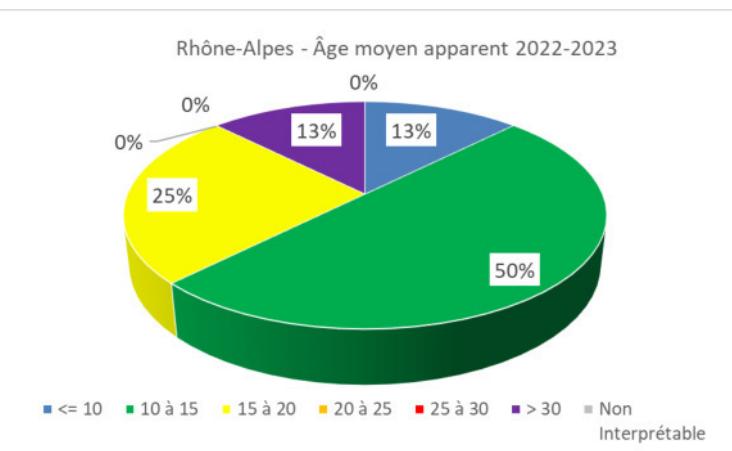


Figure 38 : Rhône-Alpes - Répartition des âges moyens apparents retenus pour 2022-2023

PACA		
Classe d'âge (années)	AGE MOYEN 2022-2023	Pourcentage
<= 10	1	20%
10 à 15	0	0%
15 à 20	0	0%
20 à 25	0	0%
25 à 30	0	0%
> 30	4	80%
Non Interprétable	0	0%
Total	5	100%

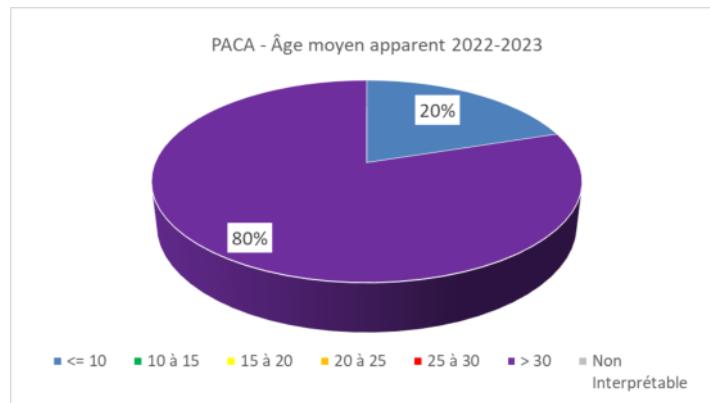


Figure 39 : PACA - Rhône-Alpes - Répartition des âges moyens apparents retenus pour 2022-2023

OCCITANIE		
Classe d'âge (années)	AGE MOYEN 2022-2023	Pourcentage
<= 10	0	0%
10 à 15	2	13%
15 à 20	4	27%
20 à 25	2	13%
25 à 30	2	13%
> 30	5	33%
Non Interprétable	0	0%
Total	15	100%

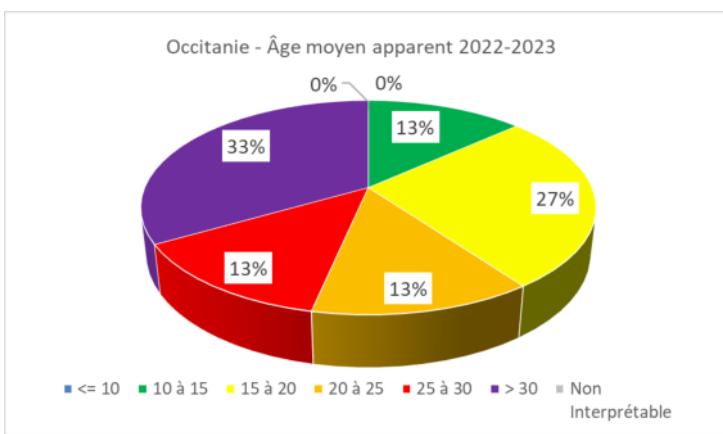


Figure 40 : Occitanie - PACA - Répartition des âges moyens apparents retenus pour 2022-2023

7. Conclusions

L'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse a confié au groupement constitué d'ANTEA GROUP et de la plateforme CONDATE EAU de l'Université de Rennes une étude dont les objectifs sont d'estimer le temps de renouvellement moyen des portions de nappe alimentant 34 captages prioritaires en eaux souterraines du bassin Rhône Méditerranée exposés à des contaminations en nitrates et pesticides, au moyen de datations des eaux prélevées au captage. L'exploitation de ces données (temps moyen de renouvellement de l'eau) couplée à l'examen de la configuration hydrogéologique de chaque site et de la situation hydrologique au moment des prélèvements, permet de mieux appréhender le fonctionnement de l'aquifère, son mode d'alimentation par les précipitations à sa surface ou par des apports latéraux de provenance plus lointaine. Le temps moyen de renouvellement (ou âge apparent) permet également de donner une estimation du délai à envisager pour obtenir les bénéfices des programmes d'actions engagés et restaurer la qualité des eaux au captage. Les résultats issus de cette étude, ayant bénéficiés d'une méthodologie identique et rigoureuse sur l'ensemble du bassin, a vocation à être un outil d'aide au pilotage et à la décision dans le dimensionnement et l'ambition des programmes d'actions territoriaux.

Ce rapport a pour objet la présentation des résultats obtenus sur l'année 2022-2023 pour les captages prioritaires qui ont fait l'objet de 66 prélèvements réalisés lors de 2 campagnes (basses eaux et hautes eaux). Ces ouvrages sont 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.

La méthode de datation est basée sur la détermination des concentrations en CFC (chlorofluorocarbones) et SF6 (hexafluorure de soufre) dans les eaux souterraines, ces gaz ayant la particularité, lorsqu'ils pénètrent dans les eaux souterraines au niveau du toit de la nappe sous forme dissoute, de conserver la signature atmosphérique existante au moment de leur mise en solution. En comparant les concentrations en gaz dissous dans les eaux souterraines et les chroniques de concentration des gaz CFC et SF6 dans l'atmosphère, il est alors possible en appliquant des modèles de calcul simples du mode de recharge des nappes (modèles piston, exponentiel et mélange) d'estimer le temps de renouvellement moyen d'une nappe.

L'âge d'une goutte d'eau souterraine au droit d'un captage correspond au temps écoulé entre le moment où l'eau s'infiltre dans le sol et le moment où elle atteint le captage. Un captage est alimenté par une multitude de gouttes d'eau qui ont des âges différents en fonction de la nature des terrains traversés, des chemins plus ou moins directs et rapides empruntés par l'eau (écoulements préférentiels à la faveur de fractures, de drains, ou circulations intergranulaire), de la distance au captage, etc. Etant donné qu'un échantillon d'eau souterraine est l'intégration de nombreuses lignes de flux, 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 la méthode des CFC et SF6 est considérée et nommé âge « apparent » ou âge « moyen ».

Il est également important de rappeler que l'âge moyen donné dans cette étude correspond au temps moyen nécessaire pour renouveler toute ou partie d'une nappe d'eau souterraine sans tenir compte :

- Du temps nécessaire à la recharge pour traverser la zone non saturée (zone située entre la surface du sol et la surface de la nappe),

- Des interactions éventuelles que peuvent avoir les nitrates et les pesticides avec les sols ou la zone non saturée (phénomènes de fixation des molécules).

Ces phénomènes 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 déterminées par la méthode présentée précédemment, 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, nous avons classé les captages étudiés suivant 4 types de comportement.

Les campagnes de prélèvements se sont déroulées :

- Entre juillet et août 2022 assimilée à une période de basses eaux ;
- Entre février et mars 2023 assimilée à une période de moyennes à hautes eaux avec des niveaux globalement inférieurs aux normales.

Les résultats des campagnes 2022-2023 sont fortement impactés par les « contaminations » anthropiques en CFC, et dans une moindre mesure en SF6, 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 & SF6 (origine souvent terrigène, lié à la géologie pour le SF6, décharges sauvages, industries pour les CFCs et les pratiques agricoles (gaz propulseurs de pesticides)), à l'état de traces qui ne permettent pas de calculer les temps de résidence pour les traceurs concernés. De ce fait, le nombre de traceur exploitable est fortement réduit ce qui impacte la fiabilité des résultats.

Les résultats sont considérés comme fiables pour les indices de confiance Excellent et Bon, ce qui représente seulement 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, résultats à conforter par d'autres méthodes (analyse des chroniques analytiques, analyses isotopiques). La qualité des résultats apparaît meilleure en Occitanie (34 à 40 % de résultats excellents à bons) alors qu'elle est plus incertaine en Bourgogne-Franche-Conté (100% de résultats en indice de confiance « moyen »).

La répartition du nombre d'ouvrage 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- Côte 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- Côte 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	

Tableau 21 : Synthèse des résultats des campagnes 2022-2023

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.

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.

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.

A cette analyse globale, il ne faut pas perdre de vue la réactivité des nappes aux modalités de recharge qui a été caractérisée pour chaque captage selon 4 comportements schématiques (types 1 à 4) rappelés dans le tableau ci-dessous.

Point d'eau représentatif d'un système		Bourgogne/ Franche-Comté		Rhône-Alpes		Provence-Alpes- Côte 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%

Tableau 22 : Répartition des indices de réactivités

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 représentants 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.

Les conditions hydrologiques au moment où sont réalisés les prélèvements impactent les résultats. Dans un cycle pluriannuel de déficit hydrique, les flux les plus lents contributeurs à l'alimentation des captages sont prédominants, ce qui a pour conséquence de donner des âges moyens apparents plus élevés par rapport à un cycle hydrique pluriannuel excédentaire.

Antea Group a appliqué une méthodologie d'interprétation reproductible qui exploite systématiquement l'ensemble des traceurs exploitables. Cette méthode permet de caractériser l'indice de confiance des résultats et de les présenter par classes d'âges apparents.

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>.



ANNEXES

- Annexe I. Protocole de prélèvement
- Annexe II. Exemple de fiche de synthèse
- Annexe III. Fichier des résultats des campagnes de basses eaux 2022 et hautes eaux 2023

Annexe I. Protocole de prélèvement

RECOMMANDATIONS GENERALES

Le Kit de prélèvement

1 kit de prélèvement pour chaque équipe, le matériel doit être utilisé uniquement pour les prélèvements CFC, SF6 et gaz nobles. Il sera envoyé 3 semaines avant la date de campagne au plus tard.

Le matériel de prélèvement est constitué :

- de flacons verres (2 par point), septums rouges, bagues acier
- petites ampoules acier (1 par point)
- grande ampoules acier (1 par point)
- un tuyau plastique 9/12mm avec connectique robinet
- un tuyau plastique 9/12mm seul
- connectiques diverses robinet
- connecteur, adaptateur, réducteurs de flux
- Une feuille de terrain à remplir
- Une étiquette de retour Chronopost valable 2 mois



Conditions de prélèvement :

Les risques de contamination d'un échantillon sont liés à la présence d'air pendant l'échantillonnage. Il est donc impératif de vérifier à tout moment qu'il n'y a pas de microbulles d'air :

- dans le tuyau connecté aux ampoules (dans le cas de forages profonds des microbulles liées à la différence de pression peuvent se former. Elles sont dans ce cas sans conséquences. Dans tous les cas le signaler sur la feuille de terrain).
 - sur les parois des bouteilles en verre. Tapoter légèrement les parois de la bouteille tout en la maintenant sous eau
- indiquer sur la feuille de terrain tout évènement pendant le prélèvement (arrêt des pompes, microbulles, difficulté particulière à assurer l'étanchéité...)
- relever température, pH, conductivité et oxygène dissous de l'eau prélevée

PROTOCOLE DE RAPATRIEMENT :

Les caisses doivent être renvoyées **dès qu'elles sont complètes** (5 échantillons). En attendant les conserver à l'obscurité et dans un endroit frais.

L'ensemble du matériel (y compris les connectiques) doivent être remise dans la caisse. Bien caler le matériel à l'aide des mousses fournies et de papier journal si nécessaire. **Ne pas oublier la feuille de terrain remplie**. Fermer la caisse avec du gros scotch pour éviter toute ouverture pendant le transport.

Apposer l'étiquette de retour et déposer la caisse dans un dépôt CHRONOPOST.

RECOMMANDATIONS GENERALES

Prélèvement dans des captages équipés de pompes

- Sur le robinet d'eau brute le plus proche de la tête de forage (avant traitement ou réservoir de stockages éventuels) afin de minimiser les risques de contaminations par du gaz accumulé dans les conduites,
- La pompe doit tourner en permanence pendant l'échantillonnage
- Pompe en fonctionnement depuis au moins 15 minutes. S'assurer que le réservoir n'est pas plein pour éviter tout arrêt du pompage en cours de prélèvement. En cas d'arrêt des pompes pour cause de réservoir plein, recommencer la procédure en introduisant une pompe dans l'ouvrage (cf. ci-après)
- Laisser couler le robinet pendant 5 minutes et mesurer les paramètres pH, Température, Conductivité et oxygène dissous
- Noter si connu ou mesurable le niveau piézométrique de la nappe dans le puits/forage

Prélèvement par pompe immergée (puits/forage)

- Eviter les pompes péristaltiques, préférer les pompes à rotor de type grundfoss
- Se positionner au droit de la zone productive (si identifiée) et dans tous les cas **dans la zone crépinée** de l'ouvrage
- Le pompage est réalisé à bas débit : noter le débit et la durée du pompage
- Les paramètres physico-chimiques (pH, Température, Conductivité et oxygène dissous) sont mesurés toutes les 5 minutes
- Le prélèvement est réalisé après la **stabilisation des paramètres physico-chimique et au moins après 20min de pompage**
- Mesurer la profondeur de la nappe dans le puits/forage par rapport à la margelle

Prélèvement d'une source

- Le prélèvement est réalisé par pompe immergée (éviter les pompes péristaltiques)
- Se positionner au droit de la sortie de la source où le débit est maximal
- Le pompage, à bas débit est maintenu 20 minutes au moins
- Mesurer les paramètres physico-chimiques au cours du pompage (pH, Température, Conductivité et oxygène dissous) et les relever au moment du prélèvement

Feuille de terrain :

Fournir la feuille de terrain jointe avec les flacons **ET** par mail sur osur-datation@univ-rennes1.fr (scan ou photo lisible prise avec un téléphone portable).

AMPOULES EN ACIER (petites-CFCs et grandes -SF6)

1. Enlever les bouchons en acier sur les vannes des ampoules
2. Noter le n° de l'ampoule, la date et l'heure sur la feuille de terrain (associé à un puits et une profondeur) **ET** noter sur le scotch blanc de l'ampoule le nom du prélèvement et la date

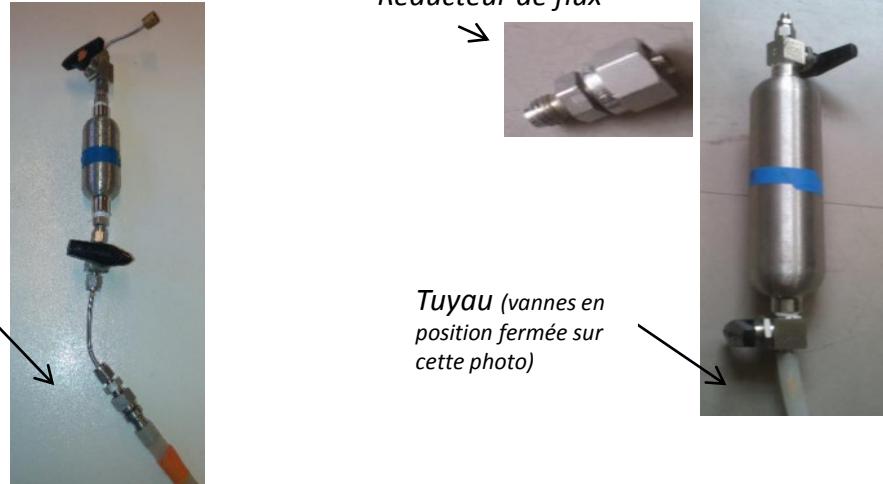
→ NE RIEN COLLER SUR L'AMPOULE

3. Connecter l'ampoule par le bas à l'arrivée d'eau (via le connecteur). Il ne doit y avoir aucune bulle d'air dans le tuyau qui fait la connexion entre la pompe (ou le robinet) et l'ampoule.

- Pour les grandes ampoules: connecter directement l'ampoule au connecteur
- Pour les petites ampoules: installer l'adaptateur sur le connecteur et connecter l'ampoule



4 . Ouvrir la vanne basse, puis la vanne haute de l'ampoule. Dès que l'eau sort, placer une réduction en sortie (tube 18^e de pouce en acier pour les petites ampoules, réducteur de flux pour les grandes) :



5. Placer les ampoules en position verticale (arrivée d'eau en bas). Tapoter légèrement l'ampoule pour chasser les bulles d'air éventuellement bloquées. Laisser l'eau circuler 1 à 2 minutes (5 à 6 fois le volume).
6. Fermer en premier la vanne du haut puis fermer celle du bas. *Si le tuyau s'est déconnecté avant la fermeture de la vanne basse, recommencer à l'étape 4*
7. Placer les bouchons en acier en serrant fortement à la main . Enlever les poignées noires des vannes à l'aide du tournevis fourni ou scotcher les vannes avec du ruban adhésif électrique. Attention à ne pas tourner les vannes!
Remettre les vannes dans la caisse.

FLACONS VERRE – GAZ DISSOUS

→ NE RIEN COLLER SUR LES FLACONS

Noter les n° des flacons, la date et l'heure de prélèvement sur la feuille de terrain

Inscrire sur le scotch du flacon le nom du prélèvement et la date

(2 flacons verre par point échantillonné)

Eau



- 1.** Placer la bouteille, la capsule acier et le septum rouge dans un seau. Placer le tuyau d'arrivée d'eau au fond de la bouteille en verre

Eau

Eau

- 2.** Laisser la bouteille se remplir et déborder dans le seau

Septum rouge

Eau



- 3.** Laisser le seau déborder pendant 30s au moins (2 litres minimum)

Eau

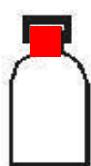


- 4.** Placer le septum rouge (s'assurer qu'il n'y ait pas de bulles), puis fermer avec la bague acier



La bague métallique est au-dessus du septum rouge

- 5.** Retourner la bouteille pour s'assurer de l'absence de bulles. Sécher la bouteille.

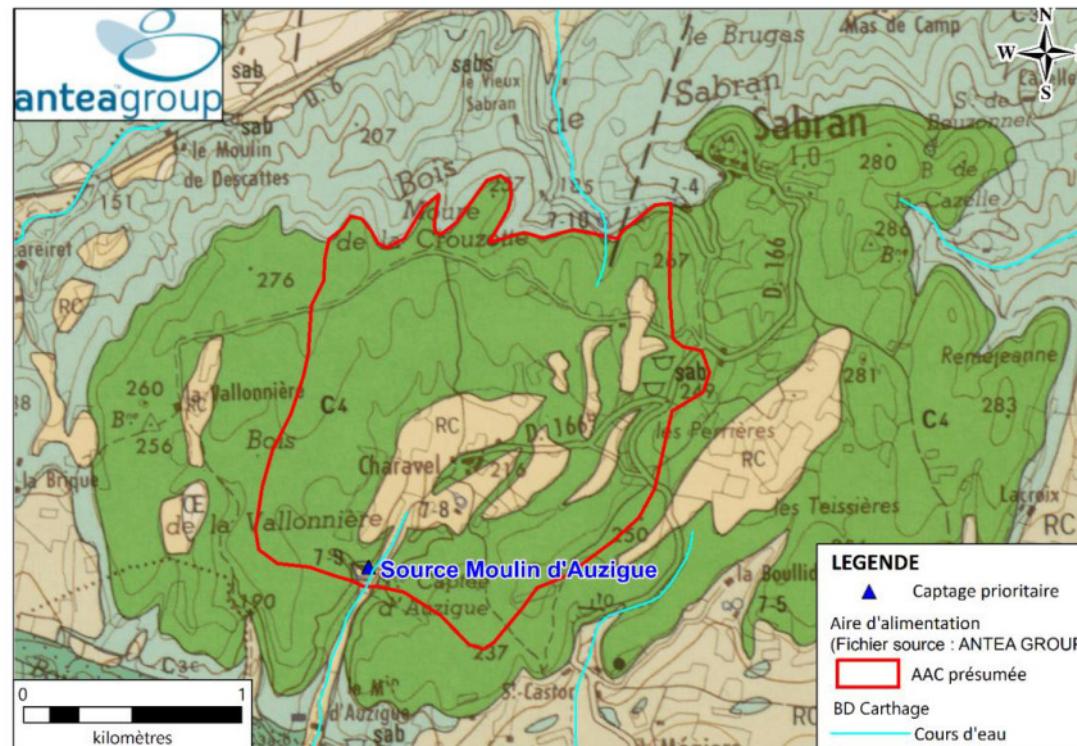


***Si des bulles sont présentes
– recommencer à l'étape 2***

Annexe II. Exemple de fiche de synthèse

FICHE DE SYNTHESE

AE3001 – SOURCE D'AUZIGUE (30)



INFORMATIONS GENERALES

Code ouvrage : AE3001
 Code BSS : BSS002CLLH (ancien code 09137X0009/AUZIGU)
 Commune : SABRAN
 Département : GARD (30)
 Sensibilité : Pesticides
 Surface de l'AAC estimée : 290 ha

AQUIFERE

Entité hydrogéologique : Formations variées côtes du Rhône rive gardoise
 Code Masse d'eau : FRD518
 Type : Calcaires fissurés et karstifiés
 Nappe libre

RESULTATS DES CAMPAGNES DE DATATION CFC/SF6

Hypothèses

Altitude de recharge : 190 à 270 m ≈ 230 m NGF
 Température de recharge : 12,5°C

Modèle choisi : Mélange

Estimation du temps nécessaire au renouvellement de la ressource

Date : 08/08/2022	Régime de nappe : BE	Age moyen : 15 à 20 ans	Degré de confiance : Excellent
Date : 15/02/2023	Régime de nappe : HE	Age moyen : 15 à 20 ans	Degré de confiance : Excellent

Temps de résidence moyen des eaux : 15 à 20 ans (ce temps de résidence doit être modulé par la réactivité de l'aquifère)

ESTIMATION DE LA REACTIVITE DE L'AQUIFERE

Epaisseur de la zone non saturée : 1 à 2 mètres au niveau du captage

Possibilité de stockage de nitrates dans la zone non saturée : Non

Connaissance de l'aquifère et des modalités de recharge / Investigations à prévoir : Faible / oui

Réactivité attendue de la nappe au programme d'action : Point d'eau représentatif d'un système sans facteur de retard (Type 1)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Avis de l'hydrogéologue agréé Source d'Auzigue – 2011 – J.L. Reille

Arrêté Préfectoral de Déclaration d'Utilité Publique des 4 Captages d'Auzigue du 27/02/2014

Consultation des données ADES et BSS

CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE LOCAL

La Source d'Auzigue est une source captée pour l'alimentation en eau potable de la commune de Cavillargues. Le débit d'exploitation maximal de l'ouvrage est de 25m³/h. Il s'agit d'une galerie en partie construite et en partie creusée dans les calcaires dont l'eau émerge à la faveur d'une diaclase subverticale d'une dizaine de centimètres de largeur. Cette source est localisée au niveau du pli synclinal de Sabran et constitue un exutoire naturel des eaux contenues dans les calcaires gréseux du Coniacien fissurées et karstifiées. La source émerge à la faveur d'un niveau argileux imperméable, présent au sein de la série coniacienne. L'aquifère est alimenté par l'infiltration des pluies efficaces au droit des calcaires affleurants. L'aquifère est libre et dispose d'une couverture médiocre (issue de la dégradation des calcaires donc peu épaisse et peu argileuse), il est donc vulnérable aux pollutions de surface.

De 2012 à 2022, la teneur en nitrates variait entre 7 et 15mg/l (pour une limite de qualité fixée à 50mg/l). Du point de vue des pesticides (limite de qualité de 0,1µg/l par molécule individuelle et de 0,5 µg/l pour la somme des pesticides) :

- La concentration en atrazine désisopropyl déséthyl est supérieure à 0,1µg/l depuis 2015 et a atteint un pic à 0,43 µg/l en avril 2022 ;
- La somme des pesticides détectés a dépassé le seuil de 0,5 µg/l à une seule reprise, en juin 2016 (0,56 µg/l).

INFORMATIONS MANQUANTES SUR LA CONNAISSANCE DU CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Compléments d'investigations proposés (quelques pistes a minima) :

Les investigations proposées doivent permettre de mieux cerner la géométrie des formations en présence de façon à permettre la délimitation de l'aire d'alimentation du captage et d'apporter des éléments permettant de caractériser la vulnérabilité de l'aquifère.

Nous préconisons de réaliser :

- une analyse du contexte géologique et structural (campagne de terrain, coupes géologiques) ;
- recensement des sources de la zone d'étude avec mesures de débit régulières sur un cycle hydrogéologique ;
- une campagne de traçages hydrogéologiques entre le plateau calcaire et la source pour valider les limites de l'aire d'alimentation ;
- un suivi du débit de la source sur un cycle hydrogéologique, couplé au suivi de la pluviométrie et éventuellement de la turbidité ;
- campagne de sondages pédologiques et enquête d'occupation des sols.

Guide de lecture fiche de synthèse étude datation

Avant propos :

Les durées ou temps de résidence moyens indiqués dans cette étude ont été obtenus par analyse des gaz CFC (chlorofluorocarbones) et du SF6 (hexafluorure de soufre) dissous dans les eaux souterraines par la plateforme Condate Eau de l'Université de Rennes 1 et interprétés par ANTEA Group en fonction des connaissances hydrogéologiques du site (méthode de datation). Il s'agit d'âges ou de temps de résidence **moyens apparents** car issus d'une interprétation par un modèle de circulation qui peut ne pas refléter l'ensemble de la complexité du milieu souterrain. En outre ces données ne sont valables que pour les conditions hydrologiques de la période de prélèvement.

CARTE

- Contexte géologique avec implantation du captage et report des limites de l'aire d'alimentation du captage (AAC). En l'absence d'étude spécifique, ANTEA a estimé l'AAC sur la base du contexte hydrogéologique, qui est indiquée en pointillée. Cette approche ne peut en aucun cas se substituer à une étude approfondie.

INFORMATION GENERALE

- **Code ouvrage :** code SDAGE du captage prioritaire
- **Code BSS du point de prélèvement**
- **Commune et département d'implantation du captage**
- **Sensibilité :** Sensibilité identifiée dans le SDAGE de la portion de la nappe captée aux nitrates et/ou aux pesticides
- **Surface de l'AAC :** superficie en hectares de l'Aire d'Alimentation du Captage déterminée dans le cadre d'une étude ou estimée par ANTEA. Cette approche ne peut en aucun cas se substituer à une étude approfondie.

AQUIFERE

- **Entité hydrogéologique :** désignation de l'aquifère capté par le point de prélèvement (intitulé de la masse d'eau)
- **Code Entité :** code de l'entité hydrogéologique (BdLisA)
- **Code de la Masse d'Eau**
- **Type d'aquifère :** alluvions récentes, alluvions anciennes, fluvio-glaciaires et / ou glaciaires, congolémat et alluvions anciennes, aquifères multicouches, calcaires karstifiés et fissurés, calcaires dolomies craies non karstifiés
- **Type de nappe :** nappe libre ou captive ou semi-captive

RESULTATS DES CAMPAGNES DE DATATION CFC/SF6

Deux campagnes de prélèvements ont été réalisées sur chaque point (une campagne en février-mars et en juillet-septembre 2017) lorsque la ressource n'est pas tarie. L'âge moyen apparent des eaux est donc déterminé pour chaque campagne et le résultat final résulte du croisement des deux campagnes.

Hypothèses de départ :

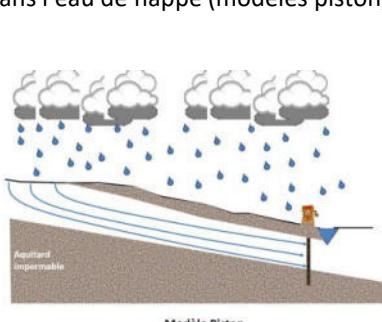
- **Altitude de recharge :** altitude moyenne de l'aire d'alimentation du captage
- **Température de recharge :** température moyenne de l'eau de recharge de la nappe en période d'alimentation

Estimation du temps de résidence moyen apparent nécessaire au renouvellement de la ressource captée :

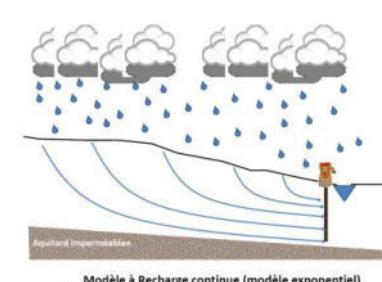
Indication des résultats de chaque campagne avec :

- Date des prélèvements d'eau
- Indice de confiance des résultats (bon, moyen ou mauvais)
- Régime des nappes au moment des prélèvements : hautes eaux (HE), moyennes eaux (ME), basses eaux (BE)
- Résultat de la classe d'âge moyen des eaux pour le régime de nappe considéré (< 10 ans, 10 à 15 ans, 15 à 20 ans, 20 à 25 ans, > 30 ans)

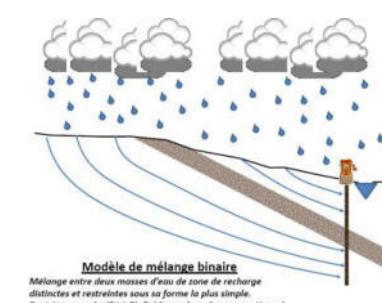
Le temps de résidence moyen apparent des eaux est apprécié sur la base des deux campagnes et de la qualité des résultats. Ce temps de résidence correspond au temps nécessaire pour renouveler la nappe dans son ensemble, c'est pour cela que l'on parle d'âge moyen. Il doit être modulé par la réactivité de l'aquifère aux modalités de recharge (types 1, 2, 3 ou 4) qui caractérise la réaction attendue de la qualité des eaux au programme d'actions.



Modèle piston : zone de recharge localisée, écoulement isolé de la surface



Modèle exponentiel : recharge tout le long du bassin-versant



Modèle mélange : mélange entre deux masses d'eau d'âge distinct

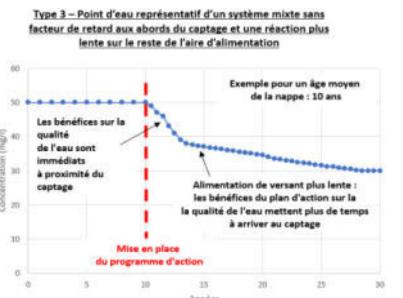
ESTIMATION DE LA REACTIVITE DE L'AQUIFERE

- **L'épaisseur de la zone non saturée** a été estimée à partir des données bibliographiques disponibles. Lorsqu'il s'agit d'une nappe captive, la profondeur moyenne du toit de l'aquifère a été indiquée.
- **Possibilité de stockage de nitrates dans la zone non saturée** : selon les terrains et les formations géologiques présentes au droit de l'aire d'alimentation du captage, la possibilité de stockage de nitrates dans la zone non saturée a été estimée.
- **Réactivité attendue de la portion de nappe captée au programme d'actions**
L'aquifère étudié est classé, à dire d'expert, dans 4 catégories dans l'objectif de caractériser le phénomène de recharge des nappes et identifier un éventuel facteur de retard à ajouter à l'âge moyen estimé des eaux.

Ce type d'aquifère correspond à un contexte de nappe peu profonde, caractérisée par une couverture drainante, peu épaisse laissant présager des vitesses d'infiltration rapides de la recharge vers la nappe (sans facteur de retard).



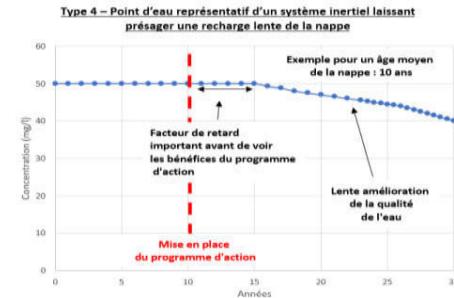
Ce type d'aquifère s'applique pour un point d'eau représentatif d'un aquifère bénéficiant d'une recharge rapide près du captage (type 1 – sans facteur de retard) et d'une recharge plus lente sur le reste de l'impluvium (type 4 ou 2 – avec facteur de retard).



Ce type correspond à un contexte de nappe peu profonde, caractérisée 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.



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 (facteur de retard important).



Annexe III. Fichier des résultats des campagnes de basses eaux 2022 et hautes eaux 2023

LEGENDE	
	Captage abandonné
	Analyses non réalisées
	Prélèvement reporté (casse de flacon)
	Eau turbide
	Présence de chlore
	Protocole non conforme (brassage, prélèvement au TP, mélange, etc.)

N° de colonne	Intitulé	Description
Colonne A	CODE OUVRAGE	Code SDAGE du captage prioritaire
Colonne B	SERIE	Nom du fichier CONDATE EAU présentant les résultats des analyses CFC et SF6
Colonne C	DEPARTEMENT	N° du département de la commune du captage
Colonne D	DELEGATION	Délégation Agence de l'Eau du captage
Colonne E	NOUVEAU CODE BSS	Nouveau code BSS du captage
Colonne F	ANCIEN CODE BSS	Ancien code BSS du captage
Colonne G	COMMUNE	Nom de la commune d'implantation du captage
Colonne H	NOM	Nom du captage
Colonne I	SENSIBILITE	Sensibilité pesticides et/ou nitrates de l'ouvrage
Colonne J	XL93	Coordonnée X en Lambert 93 (m)
Colonne K	YL93	Coordonnée Y en Lambert 93 (m)
Colonne L	MAITRE D'OUVRAGE	Maitre d'ouvrage du captage
Colonne M	TYPE	Type de captage
Colonne N	PROF_CAPTAGE	Profondeur du captage
Colonne O	CODMASSEAU	Code de la masse d'eau
Colonne P	AQUIFERE	Intitulé de la masse d'eau
Colonne Q	LIBGISEMENT	Type de nappe (libre, captive ou semi-captive)
Colonne R	KARSTIQUE	La nappe est-elle karstique (oui/non)
Colonne S	TYPE_AQUIFERE	Les aquifères sont regroupés en 7 groupes d'aquifères : alluvions récentes/alluvions anciennes/fluvioglaciaires et ou glaciaires/conglomérats et alluvions anciennes/aquifères multicouches/calcaires karstifiés et fissurés/calcaires-dolomies-craies non karstifiés
Colonne T	ZNS	Epaisseur de la zone non saturée, profondeur du toit de l'aquifère pour une nappe captive (m)
Colonne U	DATATION_ANTERIEURE	Indication d'une étude antérieure sur la détermination de l'âge moyen de la nappe, année de réalisation, résultat
Colonne V	METHODE	Si oui, par quelle méthode
Colonne W	CAMPAGNE	Régime hydrologique (HE= Hautes Eaux, ME=Moyennes Eaux et BE=Basses Eaux) de la campagne de prélèvements ANTEA/CONDATATE EAU
Colonne X	DATE PRELVT	Date de prélèvement des échantillons
Colonne Y	DATE ANALYSE	Date de l'analyse réalisée par CONDATE EAU
Colonne Z	SF6	Résultat en pmol/l de l'analyse en SF6
Colonne AA	CFC12	Résultat en pmol/l de l'analyse en CFC12
Colonne AB	CFC11	Résultat en pmol/l de l'analyse en CFC11
Colonne AC	CFC113	Résultat en pmol/l de l'analyse en CFC113
Colonne AD	CDTIONS DE PRELVT	Remarque éventuelle faite sur les conditions de prélèvement, non-conformité éventuelle vis-à-vis du protocole de prélèvement
Colonne AE	AAC	Le captage a-t-il fait l'objet d'une de détermination de son Aire d'Alimentation
Colonne AF	SURFACE_AAC	Si oui report de la superficie en hectares de l'AAC déterminée par le bureau d'étude, si non report de la superficie estimée de l'AAC déterminée par ANTEA sur la base des éléments en notre possession (analyse du contexte géologique, hydrogéologique, piézométrie, etc.)
Colonne AG	ALTITUDE_RECHARGE_ESTIMATION	Altitude moyenne représentative de l'Aire d'Alimentation du captage
Colonne AH	TEMPERATURE_RECHARGE	Température moyenne de l'eau à la période de recharge déduite des températures moyennes de l'eau au moment des prélèvements disponibles entre les mois de novembre à avril de chaque année dans la banque de données ADES
Colonne AI	MODELE_PISTON_MOYENNE	Age moyen de la nappe en année déduit du modèle Piston
Colonne AJ	MODELE_PISTON_ECART_TYPE	Dispersion des valeurs en année par rapport à la moyenne des âges calculés pour chaque traceur à partir du modèle Piston
Colonne AK	MODELE_EXPONENTIEL_MOYENNE	Age moyen de la nappe en année déduit du modèle Exponentiel
Colonne AL	MODELE_EXPONENTIEL_ECART_TYPE	Dispersion des valeurs en année par rapport à la moyenne des âges calculés pour chaque traceur à partir du modèle Exponentiel
Colonne AM	MODELE_MELANGE_BINAIRE_POLE1_%	Proportion en pourcentage d'eau d'âge moyen du pôle N°1 du modèle Mélange
Colonne AN	MODELE_MELANGE_BINAIRE_POLE1_ANNEE	Age moyen de la nappe du pôle N°1 du modèle Mélange
Colonne AO	MODELE_MELANGE_BINAIRE_POLE2_%	Proportion en pourcentage d'eau d'âge moyen du pôle N°2 du modèle Mélange
Colonne AP	MODELE_MELANGE_BINAIRE_POLE2_ANNEE	Age moyen de la nappe du pôle N°2 du modèle Mélange
Colonne AQ	MODELE_RETENU	Choix du modèle retenu pour le captage considéré
Colonne AR	AGE_INTERPRETE(AN)	Age moyen de la nappe (ou temps moyen de renouvellement de la nappe) en année avec l'erreur pour les modèles Piston et Exponentiel
Colonne AS	CLASSE_D'AGE_MOYEN	Classe d'âge moyen de la nappe (<10 ans, 10 à 15 ans, 15 à 20 ans, 20 à 25 ans, 25 à 30 ans ou > 30 ans)
Colonne AT	INDICE_CONFIANCE	Indice de confiance des résultats (Excellent, bon ou moyen)
Colonne AU	REMARQUES SUR L'INTERPRETATION	Remarque sur la qualité de l'interprétation et les arbitrages éventuels en cas d'incohérence des résultats entre les deux campagnes, la cohérence avec les données antérieures, les conditions de prélèvement au captage,
Colonne AV	REACTIVITE DE LA NAPPE AUX MODALITES DE RECHARGE	Caractérisation à dire d'expert de l'effet retard à ajouter à l'âge moyen en fonction de la nature et de l'épaisseur de la zone non saturée et/ou d'une alimentation différée en lien avec une nappe de versant. 4 types ont été définis: Type 1 : Point d'eau représentatif d'un système sans facteur de retard Type 2 : Point d'eau représentatif d'un système avec facteur de retard Type 3 : Point d'eau représentatif d'un système mixte sans facteur de retard aux abords du captage et une réaction plus lente sur le reste de l'aire d'alimentation Type 4 : Point d'eau représentatif d'un système inertiel laissant présager une recharge lente de la nappe
Colonne AW	BIBLIOGRAPHIE UTILISEE	Bibliographie exploitée pour l'étude



Acteur majeur de l'ingénierie de l'environnement et de la valorisation des territoires

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

Eau

Traitements 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