



Syndicat Mixte de  
l'Argens



## Rapport

### Etude de caractérisation des ressources souterraines du bassin versant de la Nartuby et définition de zones de sauvegarde

Rapport de phase 1 - Caractérisation des eaux souterraines sur le territoire



Rapport n°105501/version B – 29 janvier 2021

Projet suivi par Léo CLENET – 06.28.67.88.49 – leo.clenet@anteagroup.com



[www.anteagroup.fr/fr](http://www.anteagroup.fr/fr)

## Fiche signalétique

Etude de caractérisation des ressources souterraines du bassin versant de la Nartuby et définition de zones de sauvegarde  
Rapport de phase 1 - Caractérisation des eaux souterraines sur le territoire

CLIENT	SITE
Syndicat Mixte de l'Argens	Bassin versant de la Nartuby
Adresse postale	2 avenue de Lazare Carnot 83300 Draguignan
Nom	Rémi GUERISSE
Fonction	Chargé de projet contrat de rivière Nartuby
Tél	09.72.45.24.93
Mail	r.guerisse@syndicatargens.fr

### RAPPORT D'ANTEA GROUP

Responsable du projet	Léo CLENET
Interlocuteur commercial	Nicolas BLANCHOIN
	Implantation d'Aubagne
Implantation chargée du suivi du projet	

Rapport n°	105501
Version n°	version B
Votre commande et date	Référence / date : AE du 06/03/2020
Projet n°	PACP190431

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	L. CLENET (Antea Group)	Hydrogéologue	01_2021	
	P. FENART (Hydrofisis)	Hydrogéologue		
	J. JOUVES (CENOTE)	Karstologue		
Approbation	J. LACROIX	Expert hydrogéologue	01_2021	
Relecture qualité	M-L. ANTONUCCI	Secrétariat	01_2021	



## Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
<b>A</b>	18/01/2021	147	1	Version initiale
<b>B</b>	25/01/2021	147	1	Corrections suite relecture SMA

# Sommaire

1. Votre projet et l'objectif de votre commande .....	9
1.1. Le contexte de votre projet.....	9
1.2. Les objectifs de l'étude.....	10
1.3. L'objet de ce rapport.....	10
1.4. Bibliographie.....	11
1.4.1. Données techniques de référence .....	11
1.4.2. Données des gestionnaires d'eau .....	12
1.4.3. Données administratives.....	12
1.4.4. Données réglementaires .....	13
1.4.5. Données publiques ou privées issues d'internet .....	13
2. Présentation du secteur d'étude .....	15
2.1 Contexte géographique .....	16
2.1.1. Localisation .....	16
2.1.2. Topographie .....	18
2.1.3. Climatologie .....	21
2.2. Zones de protection environnementales .....	23
2.3. Inventaire des principales pressions anthropiques.....	25
2.3.1. Occupation du sol .....	25
2.3.2. Zonages des documents d'urbanisme.....	27
2.3.3. Infrastructures linéaires .....	30
3. Eaux superficielles .....	31
3.1. Contexte hydrologique.....	31
3.1.1. Présentation du réseau hydrographique .....	31
3.1.2. Contraintes réglementaires .....	37
3.2. Potentiels écologiques des compartiments superficiels.....	40
3.3. Principaux résultats de l'étude EVP de l'Argens.....	44
4. Eaux souterraines .....	45
4.1. Cadre géologique et géomorphologique.....	45
4.1.1. Contexte géologique régional .....	45
4.1.2. Stratigraphie.....	46
4.1.3. Contexte structural et tectonique.....	51
4.2. Contexte hydrogéologique .....	53
4.2.1. Caractérisation des aquifères .....	53
4.2.2. Identification des unités hydrogéologiques.....	55
4.2.3. Piézométrie .....	63
4.2.4. Relations nappe/rivière.....	73
5. Usages des eaux souterraines .....	86

5.1. Inventaire des points d'eau .....	86
5.2. Zonages réglementaires .....	89
5.3. Localisation et caractéristiques des infrastructures de production et de distribution .....	92
5.4. Caractérisation des prélèvements.....	96
5.4.1. Approche quantitative .....	96
5.4.2. Qualité des eaux prélevées .....	113
6. Synthèse et avis sur l'état des connaissances actuelles .....	118
6.1. Compréhension du fonctionnement hydrogéologique.....	118
6.2. Compréhension du fonctionnement des relations nappe/rivière .....	120
6.3. Usage des eaux souterraines.....	123
6.4. Vulnérabilité intrinsèque de la ressource et principaux risques de pollution .....	125
6.5. Lacunes existantes sur l'état des connaissances actuelles .....	125
6.6. Programme d'investigations proposé .....	127
6.6.1. Traçages .....	127
6.6.2. Piézométrie .....	128
6.6.3. Jaugeages .....	131
6.6.4. Observations visuelles.....	132
6.6.5. Autres.....	133
6.6.6. Synthèse.....	135

## Table des figures

Figure 1 : Procédures associées à la protection des ressources en eau	9
Figure 2 : Schéma "type" de représentation des bassins versants topographiques et hydrogéologiques (source : EPFL)	15
Figure 3 : Localisation géographique du secteur d'étude	17
Figure 4 : Pente topographique du bassin versant de la Nartuby	20
Figure 5 : Répartition mensuelle des pluies sur la commune de Draguignan (1997-2018)	21
Figure 6 : Fonction de densité des cumuls pluviométriques mensuels enregistrés sur la commune de Draguignan (1997-2018)	22
Figure 7 : Répartition mensuelle des pluies au Luc (1946-2018)	22
Figure 8 : Zones écologiques remarquables recensées au droit du bassin versant de la Nartuby	24
Figure 9 : Occupation des sols sur le territoire du bassin versant de la Nartuby (Corine Land Cover)	26
Figure 10 : Zonages des différents PLU des communes du bassin versant de la Nartuby	28
Figure 11 : Synthèse des orientations des différents documents d'urbanisme des communes du bassin versant de la Nartuby	29
Figure 12 : Réseau routier du secteur d'étude	30
Figure 13 : Métrologie et mesures hydrologiques associées au bassin versant de la Nartuby	33
Figure 14 : Evolution des débits de la Nartuby au cours d'une année (moyennes interannuelles, source : SMA)	34
Figure 15 : Résultats des campagnes de jaugeage du SMA en période de basses eaux (moyennes interannuelles)	35

Figure 16 : Résultats des campagnes de jaugeage du SMA en période de hautes eaux (moyennes interannuelles)	36
Figure 17 : Profil en long de la Nartuby (Artelia, 2011)	37
Figure 18 : PPRI en vigueur sur le bassin versant de la Nartuby	39
Figure 19 : Etat physico-chimique de la Nartuby (sources : AERMC, SUEZ, SESAMA)	42
Figure 20 : Etat biologique et bactériologique de la Nartuby (sources : AERMC, SUEZ, SESAMA)	43
Figure 21 : Localisation du bassin versant de la Nartuby dans Le bassin d'avant-pays de Provence modifié d'après Bestani (2014)	46
Figure 22 : Carte géologique simplifiée du bassin versant de la Nartuby. Modifiée d'après BRGM BD Charm 50.	48
Figure 23 : Log stratigraphique simplifié du bassin versant de la Nartuby	49
Figure 24 : Le Saut du Capelan à La Motte recoupant les travertins Pléistocènes.	51
Figure 25 : Synthèse cartographique des surfaces d'aplanissements karstiques identifiées sur le secteur	61
Figure 26 : Localisation générale des unités hydrogéologiques karstiques du bassin versant de la Nartuby	62
Figure 27 : Extrait de la carte hydrogéologique du Var au 1/200 000 montrant les compartiments hydrogéologiques et écoulements majeurs (CENOTE)	64
Figure 28 : Carte piézométrique des plaines de Figanières-Callas en septembre 1969 (Arvois et al., 1969)	65
Figure 29 : Isohypses des calcaires du Muschelkalk au droit de la plaine de Draguignan	66
Figure 30 : Carte piézométrique de la nappe alluviale relevée en 1969 (source : BRGM)	67
Figure 31 : Campagnes piézométriques (Jurassique/Trias) réalisées en 2013 à Draguignan (BRGM-CEREMA)	68
Figure 32 : Piézométrie de la nappe des calcaires du Muschelkalk (R. COVA, 1974)	69
Figure 33 : Suivi du niveau et de la température des eaux souterraines au droit de l'aven du Mouret	70
Figure 34 : Chroniques piézométriques des ouvrages ADES présents sur le bassin versant de la Nartuby	71
Figure 35 : IPS du piézomètre ADES à Draguignan	72
Figure 36 : Synthèse des zones de perte ou d'apport identifiées en 2013 (BRGM CEREMA)	74
Figure 37 : Localisation des zones d'apport et de perte de la Nartuby identifiées par le BRGM-CEREMA en 2013	76
Figure 38 : Caractérisation des relations nappe/rivière au nord-est du bassin versant de la Nartuby	77
Figure 39 : Zones de perte identifiées (en orange) au droit de l'unité hydrogéologique d'Ampus-Frayères	78
Figure 40 : Schéma explicatif des relations nappe-rivière selon les variations de section d'écoulement	79
Figure 41 : Caractérisation des relations nappe/rivière au nord-ouest du bassin versant (Nartuby d'Ampus)	80
Figure 42 : Caractérisation des relations nappe/rivière au niveau de la plaine de Draguignan	82
Figure 43 : Caractérisation des relations nappe/rivière en aval du bassin versant de la Nartuby	84
Figure 44 : Utilisation des points d'eau référencés dans la BSS	86
Figure 45 : Recensement des points d'eau (source : BSS, BRGM)	87
Figure 46 : Volumes prélevés entre 2012 et 2018 sur le territoire du bassin versant de la Nartuby (source : BNPE)	88
Figure 47 : Périmètres de protection des captages au droit et à proximité du bassin versant de la Nartuby	91
Figure 48 : Synoptique du réseau de distribution d'eau potable de la commune de Draguignan (RAD VEOLIA, 2019)	92
Figure 49 : Structure du réseau de distribution d'eau potable à l'échelle du territoire d'étude	94

Figure 50 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique d'Aups-Fontigon	99
Figure 51 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique d'Ampus-Frayères	100
Figure 52 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique de Bivosque	101
Figure 53 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique de Favas	102
Figure 54 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique de La Doux	103
Figure 55 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique de La Magdeleine	104
Figure 56 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique du Malmont	105
Figure 57 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique du Puy de la Sigüe	106
Figure 58 : Evolution des prélèvements en nappe par unités hydrogéologiques	107
Figure 59 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique des Arcs	109
Figure 60 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique de La Foux	110
Figure 61 : Recensement des prélèvements des eaux de la Nartuby par des canaux gravitaires	112
Figure 62 : Diagramme de Piper représentatif des eaux prélevées au droit des points de suivi dans le cadre de l'étude des dolines du Malmont (février 2020 en haut et mai 2020 en bas, Antea Group)	114
Figure 63 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff représentatif des eaux prélevées au droit des points de suivi dans le cadre de l'étude des dolines du Malmont (février 2020 en haut et mai 2020 en bas, Antea Group)	115
Figure 64 : Concentrations maximales mesurées en sulfates (qualitomètres ADES associés à l'aquifère du Muschelkalk)	116
Figure 65 : Synthèse des zones d'apports et de pertes identifiées ou suspectées au sein du réseau hydrographique du territoire d'étude	122
Figure 66 : Synthèse des prélèvements en nappe (AEP) à l'échelle du territoire d'étude et occupation des sols au droit des unités hydrogéologiques identifiées	124
Figure 67 : Localisation du doublet de forage envisagé sur la commune de Draguignan	129
Figure 68 : Localisation du forage envisagé sur la commune de Trans-en-Provence	130
Figure 69 : Proposition d'investigations complémentaires - secteur nord-est	137
Figure 70 : Proposition d'investigations complémentaires - secteur nord-ouest	138
Figure 71 : Proposition d'investigations complémentaires - secteur Ampus Frayères-Rebouillon	139
Figure 72 : Proposition d'investigations complémentaires - secteur de Draguignan	140
Figure 73 : Proposition d'investigations complémentaires - secteur Trans-La Motte	141
Figure 74 : Proposition d'investigations complémentaires - secteur Figanières-Callas-Claviers	142
Figure 75 : Proposition d'investigations complémentaires - secteur Les Arcs	143

## Table des tableaux

Tableau 1 : Communes intégrées au périmètre d'étude	16
Tableau 2 : Synthèse des données issues des stations hydrologiques existantes sur le bassin versant de la Nartuby	31
Tableau 3 : Etat qualitatif du réseau hydrographique du bassin versant de la Nartuby (source : contrat de rivière - SMA)	41
Tableau 4 : Synthèse des caractéristiques karstologiques des unités hydrogéologiques du Jurassique	56
Tableau 5 : Synthèse des caractéristiques karstologiques des unités hydrogéologiques du Muschelkalk	57
Tableau 6 : Synthèse des périmètres de protection sur le bassin versant de la Nartuby	90
Tableau 7 : Synthèse des éléments constitutifs des réseaux d'eau potable des communes du territoire d'étude	95
Tableau 8 : Synthèse des calculs caractérisant les pressions d'exploitation actuelle sur les unités hydrogéologiques du Jurassique	98



Tableau 9 : Synthèse des calculs caractérisant les pressions d'exploitation actuelle sur les unités hydrogéologiques du Muschelkalk	108
Tableau 10 : Paramètres physico-chimiques des eaux de l'aquifère du Muschelkalk	133
Tableau 11 : Synthèse des investigations complémentaires proposées	136

## Table des annexes

Annexe I : Identification et caractérisation des unités hydrogéologiques karstiques du bassin versant de la Nartuby (83), CENOTE, 2020
--

# 1. Votre projet et l'objectif de votre commande

## 1.1. Le contexte de votre projet

Le Syndicat Mixte de l'Argens (SMA) a été créé en 2014 en réponse aux inondations de 2010 sur les secteurs de la Dracénie et de la basse vallée de l'Argens. Son périmètre de compétence s'étend au bassin versant de l'Argens et regroupe 74 communes réparties en 8 intercommunalités sur le département du Var.

Si l'alimentation en eau potable présente un enjeu d'intérêt majeur, la compréhension des modalités d'échanges entre le karst et la nappe alluviale de la Nartuby, les problématiques de soutien d'étiage ou encore le maintien de la fonctionnalité des milieux constituent également des enjeux essentiels pour le SMA.

Les ressources utilisées pour l'alimentation en eau potable de la zone d'étude sont actuellement diversifiées et suffisantes mais sont en revanche toutes soumises à des problématiques variées (turbidité, augmentation de la salinité, changement climatique). La présente étude doit donc participer à la sécurisation de l'alimentation en eau potable, tant pour les captages actuels que pour la recherche de nouvelles zones à anticiper).

Les études de caractérisation et de protection des zones de sauvegarde sont des sujets complexes. Elles nécessitent des méthodologies d'étude éprouvées (retours d'expérience) et des actions de concertation et de communication avec les différents acteurs du territoire afin de proposer des actions d'interventions opérationnelles.

Le tableau ci-dessous positionne la démarche engagée par rapport aux autres procédures de protection et de préservation de la ressource en eau.

Type d'outils	Protection d'un captage (qualitatif et quantitatif)		Actions correctives	Prospective amont
	Loi sur l'eau et les milieux aquatiques	DUP et Périmètres de protection	Aire d'alimentation de captage	Zones de sauvegarde
Service pilote	DDTM	ARS	DDTM	Agence de l'Eau
Bases juridiques	Articles L214-1 à L214-4 et R214-1 du code de l'environnement	Articles L.1321-2 et R.1321-13 du code de la santé publique	DCE (orientations) Articles L211-3-5 de la loi sur l'eau Articles R.114-1 à R144-10 du code rural	DCE (orientations) SDAGE (mise en application) Article L211-3 du Code de l'Environnement
Objectifs	Préservation des équilibres des écosystèmes	Protection contre les pollutions ponctuelles et accidentelles	Lutte contre les pollutions diffuses	Préserver des zones en vue de leur utilisation dans le futur pour la consommation humaine.
Fait générateur	Tous les captages publics d'eau destinée à la consommation humaine		Captages Grenelle ou Comité Dep. de l'Eau	Masses d'eau définies dans le SDAGE
Moyens d'actions	Déclaration d'Utilité Publique (déclinaison dans les documents d'urbanismes)		Actions volontaires : programme d'actions	SAGE SCOT, PLU
Application	Systématique et obligatoire pour tous les captages		A l'initiative du Préfet (possibilité de rendre obligatoires les mesures préconisées)	Mesures et préconisations dans le SAGE (PAGD et Règlement)

Figure 1 : Procédures associées à la protection des ressources en eau

## 1.2. Les objectifs de l'étude

Dans le cadre de l'action B1.1 du second contrat de rivière de la Nartuby et en réponse à l'action 5E-01 « protéger les ressources stratégiques pour l'alimentation en eau potable » du SDAGE 2010-2015, la présente étude lancée par le SMA a pour objectifs principaux :

- D'améliorer la connaissance et de caractériser le fonctionnement hydrogéologique des eaux souterraines ;
- D'identifier les secteurs stratégiques pour l'alimentation en eau potable et de déterminer des objectifs de gestion de nappe ;
- De définir et caractériser des zones de sauvegarde pour le futur (ZSF) pour l'alimentation en eau potable et de mettre en œuvre des actions concrètes pour assurer la protection des ressources en eau au niveau des différents documents d'urbanisme ;
- De mieux comprendre les relations entre eaux souterraines et superficielles et de définir un réseau de suivi piézométrique permettant d'aboutir à une gestion durable de la ressource.

Il est important de noter que les deux principales masses d'eau souterraines du secteur d'étude, à savoir « l'Aquifère des Plateaux calcaires des Plans de Canjuers » (masse d'eau FRDG139) et les « Calcaires et dolomies du Muschelkalk de l'avant-pays provençal » (masse d'eau FRDG169), sont identifiées dans le SDAGE comme ressources patrimoniales pour l'AEP et/ou comme aquifères stratégiques (karst) pour l'alimentation en eau potable.

A ce titre, l'approche de type « ressource stratégique » qui sera menée vise à identifier des secteurs à forts enjeux (déjà exploités ou non), appelés zones de sauvegarde pour le futur (ZSF), qu'il conviendra de préserver pour la satisfaction des besoins futurs en eau potable et de prendre les dispositions nécessaires à leur protection.

En ce sens, la mission est organisée selon le phasage suivant :

- Phase 1 : Caractérisation des eaux souterraines sur le territoire ;
- Phase 2 : Détermination des objectifs de gestion de nappe ;
- Phase 3 : Détermination des ZSRE et des ZSRNE (Zones de Sauvegarde des Ressources Exploitées et des Ressources Non Exploitées) ;
- Phase 4 : Proposition d'un réseau de suivi piézométrique ;
- Phase 5 (au cours de l'étude) : Réalisation de reconnaissances complémentaires.

## 1.3. L'objet de ce rapport

Les attendus du CCTP pour la Phase 1 sont les suivants :

- Réaliser des reconnaissances de terrain à l'échelle du BV hydrogéologique de la Nartuby et un état des connaissances sur les données bibliographiques disponibles (SMA et autres) ;
- Réaliser un bilan des volumes prélevés et rejetés dans les milieux (souterrains et superficiels) ;
- Définir la géométrie des réservoirs et décrire les écoulements souterrains ;
- Déterminer les relations nappe-rivière ;

- Améliorer la connaissance sur la qualité des eaux souterraines.

Le présent rapport présente l'ensemble de ces éléments.

## 1.4. Bibliographie

### 1.4.1. Données techniques de référence

Les documents apparaissant en gras dans la liste ci-dessous sont considérés comme structurants dans le cadre de la présente étude.

- [1] Essai de coloration des eaux de la Nartuby au Riou Blanc, 1955 ;
- [2] Recherche de ressources nouvelles en vue d'une amélioration de l'alimentation en eau de la ville de Draguignan, 1957, C. Gouvernet ;
- [3] Alimentation en eau de Draguignan, recherche d'un complément de ressources possible aux Frayères, 1972, BRGM ;
- [4] **Draguignan son environnement : situation géographique, géologique et géomorphologique, hydrologie et alimentation en eau, 1973, R. COVA ;**
- [5] Alimentation en eau potable, compte-rendu des recherches en eau, 1974-1975, ADEAR géologie ;
- [6] Délimitation de périmètres de protection de points d'eau utilisés pour l'alimentation en eau potable, 1976 ;
- [7] Déroulement des études ayant abouties à la réalisation du forage de St Barbe, 1976, ADEAR géologie ;
- [8] Compte-rendu des travaux de mise en exploitation des secteurs de St Anne-St barbe, 1976, DDAF ;
- [9] Compte rendu des travaux de captage au Pont d'Aups, 1980, ADEAR géologie ;
- [10] Travaux de mise en exploitation du forage Pont d'Aups, 1982, ADEAR géologie ;
- [11] Travaux de mise en exploitation d'un deuxième forage au pont d'Aups, 1983, ADEAR géologie ;
- [12] Source du Dragon, compte rendu des travaux d'amélioration du captage, 03/1984, ADEAR géologie ;
- [13] Commune de Draguignan, Quartier de la Clappe, prospection géophysique suite à un effondrement, 1988, EDG ;
- [14] Compte rendu des travaux de recherche et mise en exploitation, 1999 ;
- [15] Renouvellement du forage n°1 Quartier Saint Anne, 06/2001, Département du Var ;
- [16] Canaux d'irrigation du bassin versant de la Nartuby, 06/2001, SCP Ingenierie-Developpement ;
- [17] Captages utilisés pour l'AEP, définition des périmètres de protection du forage de Pont d'Aups n°3, 2003, C. Mangan ;
- [18] Synthèse hydrogéologique des ressources d'eau souterraine, 2006, Riou Consultant SARL ;
- [19] Contrat de rivière Nartuby- dossier minute, 10/2007, SIAN ;
- [20] Etude sur l'influence qualitative et quantitative des eaux pluviales de la Nartuby - Phase 1 à 4,

- 2009-2010, IPSEAU ;
- [21] Etude de la qualité des eaux de la Nartuby et de ses affluents sur l'année 2011, 2012, SUEZ ;
  - [22] Sources potentielles de pollution et points de mesure ARPE, données SESAMA, 2012 et 2018 ;
  - [23] Les inondations du Var, 04/2013, CETE Méditerranée ;
  - [24] **Etude de détermination des volumes prélevables-bassin versant de l'Argens-Phase 1 2 3, 06/2013, Grontmij ;**
  - [25] **Analyse des phénomènes de dissolution du gypse et de leur lien avec l'aléa effondrement - Commune de Draguignan, 06/2014, BRGM CEREMA ;**
  - [26] Mise en place et rétablissement d'aménagement hydrauliques sur la haute et basse Nartuby, 02/2015, Artelia ;
  - [27] **Projet KRHU, 11/2015, BRGM ;**
  - [28] Amélioration de la compréhension du fonctionnement hydrogéologique du secteur de la source d'Entraigues, 12/2015, BRGM ;
  - [29] Les sources Triasique en PACA, 2016, Maison Régionale de l'Eau ;
  - [30] Caractérisation de la vulnérabilité des milieux aquatiques et des zones humides de Provence Alpes Côte d'Azur aux changements climatiques - Phase 1 à 4, 2016-2017, Maison Régionale de l'Eau ;
  - [31] **Etude du ruissellement et de l'écrêtement des crues à Draguignan, 08/2017, EKS hydrogéologie ;**
  - [32] Contrat de rivière n°2-dossier d'avant-projet, 2018, SMA ;
  - [33] Maitrise d'œuvre sur l'aménagement hydraulique de la Nartuby, 2018, INGEROP ;
  - [34] SIVOM de CALLAS, Source et forage de La Madeleine, 09/2018, ARS ;
  - [35] Actions d'amélioration de la qualité de la Nartuby intégrées à l'action 35, 02/2019, INGEROP ;
  - [36] Maitrise d'œuvre sur l'aménagement hydraulique de la Nartuby - rapport d'avant-projet, 02/2019, INGEROP ;
  - [37] **Rapport n°A104645 : Draguignan Interprétation des résultats du multi-traçage des dolines du Malmont, ANTEA GROUP.**

#### 1.4.2. Données des gestionnaires d'eau

- [38] Rapport Annuel du Délégué Eau potable : communes du territoire d'étude ;
- [39] Rapport Annuel du Délégué Assainissement : communes du territoire d'étude.

#### 1.4.3. Données administratives

- [40] PLU de la commune d'Ampus, 10/2015 ;
- [41] PLU de la commune de Châteaudouble, 05/2016, Poulain urbanisme conseil ;
- [42] PLU de la commune de Draguignan, 11/2015 ;
- [43] PLU de la commune de La Motte, 04/2012 ;
- [44] PLU de la commune de Le Muy, 2016, Cabinet C. Luyton ;



- [45] PLU de la commune de Montferrat, 05/2011 ;
- [46] PLU de la commune de Trans-en-Provence, 2013, Begeat ;
- [47] SCoT de la Dracénie, 11/2015, Dracénie.

#### 1.4.4. Données réglementaires

- [48] Cartographie des périmètres de protection des captages AEP du bassin versant de la Nartuby, ARS ;
- [49] DUP d'instauration des périmètres de protection du forage de Ravel sur la commune d'Ampus, 24/10/2005 ;
- [50] DUP d'instauration des périmètres de protection des forages de Lentier sur la commune d'Ampus, 28/03/1977 et arrêté complémentaire du 02/08/1991 ;
- [51] DUP d'instauration des périmètres de protection de la source de Béou Boutéou sur la commune d'Ampus, 24/10/2005 ;
- [52] DUP d'instauration des périmètres de protection du forage du Péical sur la commune des Arcs, 30/03/1990 ;
- [53] DUP d'instauration des périmètres de protection des forages de Favas sur la commune de Bargemon, 26/05/1998 ;
- [54] DUP d'instauration des périmètres de protection du forage du stade sur la commune de Bargemon, 14/05/2007 ;
- [55] DUP d'instauration des périmètres de protection des sources de l'Adoux sur la commune de Bargemon, 09/12/1991 ;
- [56] DUP d'instauration des périmètres de protection du forage des Raillourets sur la commune de Draguignan, 16/01/1996 ;
- [57] DUP d'instauration des périmètres de protection des forages du Pont d'Aups sur la commune de Draguignan, 05/02/1990 ;
- [58] DUP d'instauration des périmètres de protection de la source de Fontvieille sur la commune de Figanières, 10/01/1990 ;
- [59] DUP d'instauration des périmètres de protection des forages de Vallongue sur la commune de La Motte, 25/02/1994 ;
- [60] DUP d'instauration des périmètres de protection du forage de Colle Basse sur la commune de La Motte, 20/06/1990 ;
- [61] DUP d'instauration des périmètres de protection de la source et du forage de La Madeleine sur la commune de Montferrat, 14/11/2019 ;
- [62] DUP d'instauration des périmètres de protection du puits de Maurin sur la commune de Trans-en-Provence, 10/01/1978 et 20/12/1982 ;
- [63] DUP d'instauration des périmètres de protection du forage du Défens sur la commune de Vérignon, 30/10/2014 ;
- [64] Arrêté du 31/01/2001 portant ouverture de l'enquête publique relative à l'institution des périmètres de protection du puits de Mérendole sur la commune de Vérignon.

#### 1.4.5. Données publiques ou privées issues d'internet

- [65] Banque de données du Sous-sol BSS du BRGM ;
- [66] Cartes topographiques de l'IGN 1/25 000 ;
- [67] Cartes géologiques du BRGM 1/50 000 ;
- [68] Banque de données nationale des eaux souterraines ADES ;
- [69] Banque de données nationale des prélèvements d'eau BNPE ;
- [70] Banque de données nationale des référentiels sur l'eau SANDRE ;
- [71] Banque de données nationale du patrimoine naturel de l'INPN ;
- [72] Banque de données nationale du réseau hydrographique HYDRO ;
- [73] Banque de données de la DREAL PACA ;
- [74] Entité hydrogéologique du BRGM : Plateaux calcaires des Plans de Canjuers (FRDG139) ;
- [75] Entité hydrogéologique du BRGM : Calcaires et dolomies du Muschelkalk (FRDG169).

## 2. Présentation du secteur d'étude

L'étude porte sur la caractérisation des ressources souterraines au droit du bassin versant de la Nartuby.

En premier lieu, il convient de dissocier le bassin versant topographique du bassin versant hydrogéologique :

- Le premier résulte directement du relief et comprend les eaux de surface et subsurface (ruissellement principalement) qui alimentent le cours d'eau de la Nartuby jusqu'à son exutoire (confluence avec l'Argens) ;
- Le bassin versant hydrogéologique comprend l'ensemble des circulations d'eaux souterraines jusqu'à un exutoire considéré (source, cours d'eau, etc.).

Les limites de ces bassins versants ne sont pas forcément identiques comme le démontre le schéma ci-dessous :

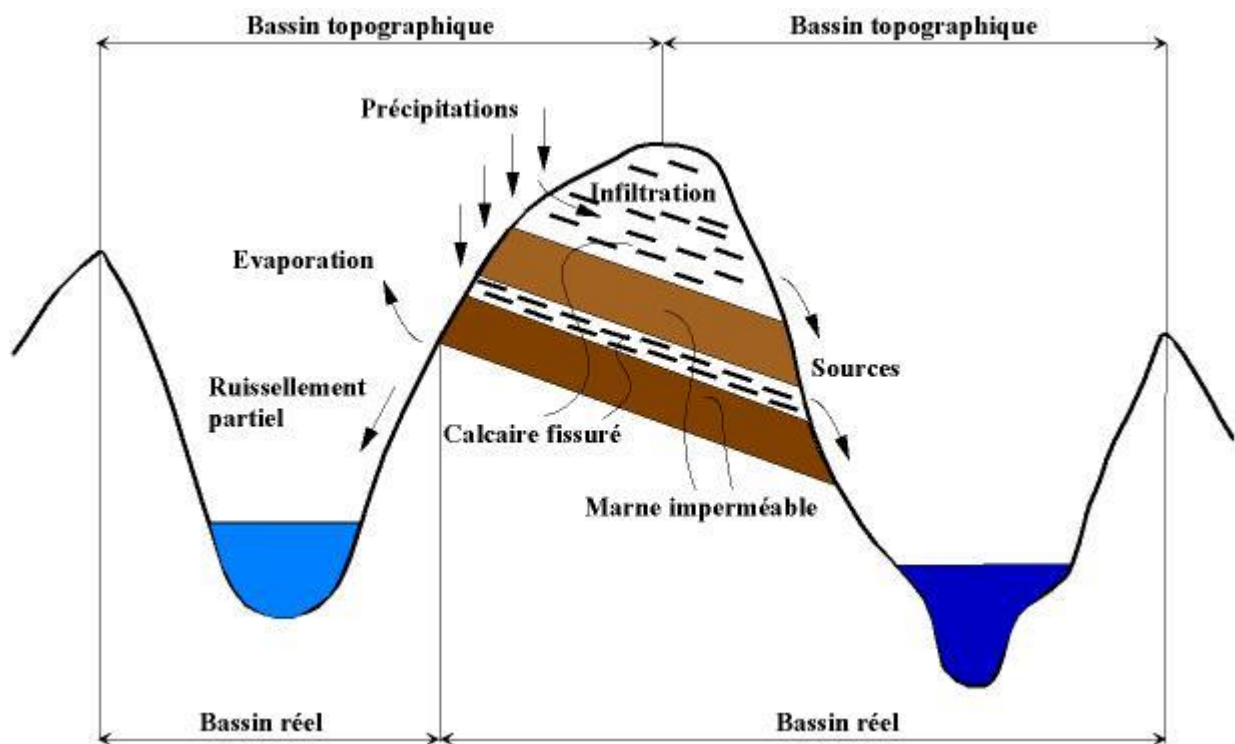


Figure 2 : Schéma "type" de représentation des bassins versants topographiques et hydrogéologiques (source : EPFL)

En première approche, le domaine d'étude présenté dans le chapitre ci-après correspond au bassin versant topographique de la Nartuby. En fonction des éléments de compréhension acquis au cours de l'étude, les limites de ce domaine sont susceptibles d'être ajustées : une source recensée sur le terrain peut par exemple présenter une aire d'alimentation au-delà de la limite topographique du bassin versant de la Nartuby.

## 2.1 Contexte géographique

### 2.1.1. Localisation

La vallée de la Nartuby est située dans le Sud-Est de la France à l'Est du département du Var (83). La Nartuby est l'affluent de l'Argens, le fleuve principal du département du Var. Elle prend sa source sur le plateau du Canjuers, traverse les communes de Montferrat, Châteaudouble, Ampus, Draguignan, Trans-en-Provence, la Motte, Muy, puis se jette dans l'Argens.

Le bassin de la Nartuby est globalement orienté selon un axe nord-ouest/sud-est. Il est élargi en amont, au nord de Draguignan, et étroit sur sa partie aval. Il est constitué du plateau de Canjuers en amont du bassin, du massif du Malmont au nord de Draguignan et de plaines en aval.

En amont du bassin versant, on distinguera un affluent principal appelé « La Nartuby d'Ampus » qui rejoint la Nartuby sur la commune de Châteaudouble.

Son bassin versant topographique s'étend sur 21 255 ha sur un ensemble de 13 communes :

Commune	Code postal	Surface sur le bassin versant de la Nartuby (ha)	Emprise sur la surface totale du bassin versant (%)
AUPS	83630	22,6	0,1
VERIGNON	83630	1 497,8	7
AMPUS	83111	5 392,6	25,4
CHATEAUDOUBLE	83300	3 150,7	14,8
MONTFERRAT	83131	2 341,8	11
BARGEMON	83830	784	3,7
TOURTOUR	83690	320,7	1,5
FIGANIERES	83830	338,7	1,6
DRAGUIGNAN	83300	3 586,3	16,9
TRANS-EN-PROVENCE	83720	1 367,4	6,4
LA MOTTE	83920	1 896,2	8,9
LE MUY	83490	538,4	2,5
LES ARCS	83460	18	< 1%
<b>Total</b>		<b>21 255 ha</b>	<b>100 %</b>

Tableau 1 : Communes intégrées au périmètre d'étude

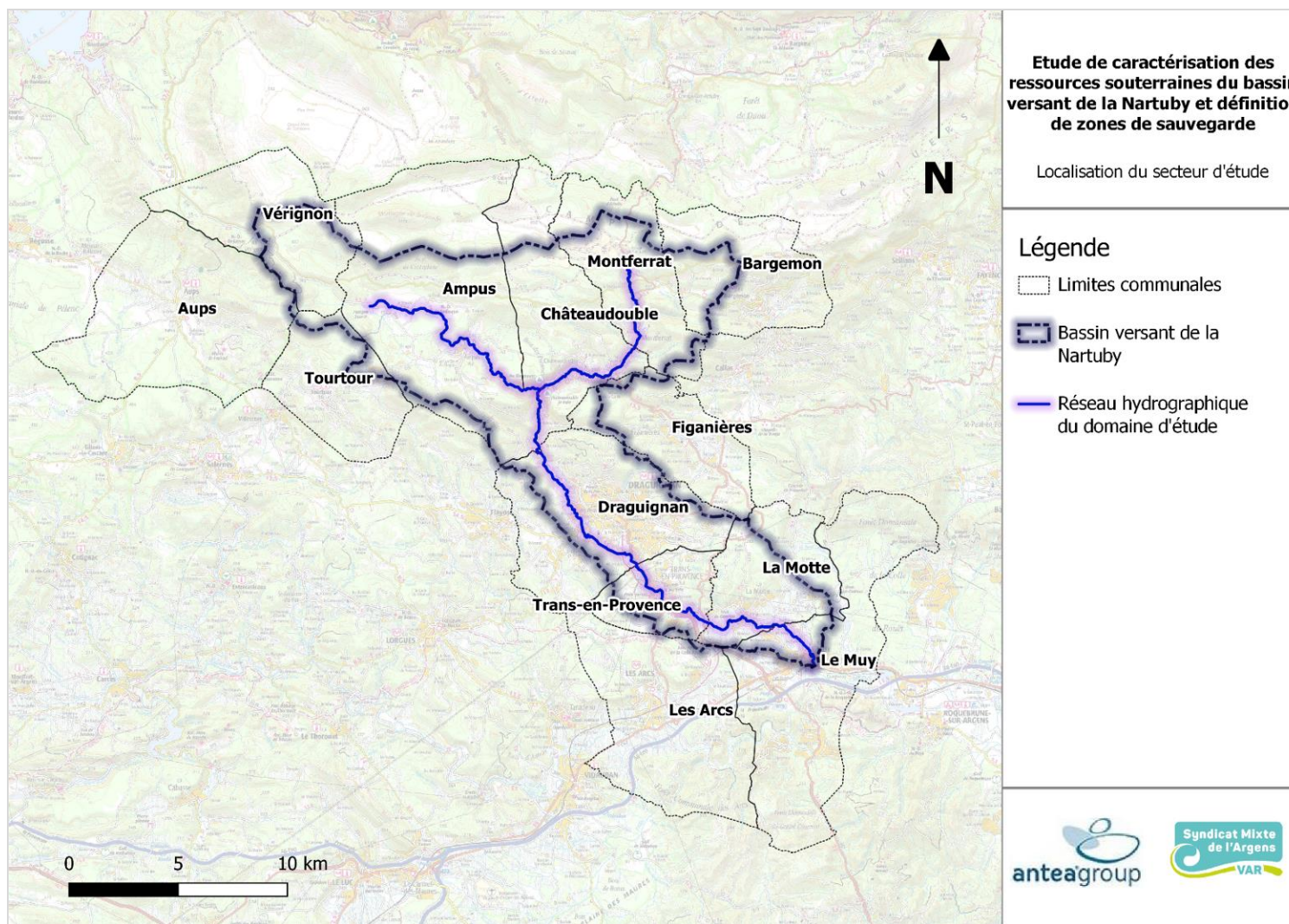


Figure 3 : Localisation géographique du secteur d'étude



## 2.1.2. Topographie

Sur le territoire du bassin versant de la Nartuby, l'altitude varie de 12 mNGF (sur la commune du Muy) à 1100 mNGF (Plateau de Canjuers). Le bassin versant est marqué par les massifs et reliefs suivants :

- La partie nord-est du bassin versant, communes de Châteaudouble et Montferrat :

Ce secteur du bassin versant est délimité par le camp de Canjuers au nord, culminant à 950 mNGF, et par les gorges de Châteaudouble au sud où de fortes pentes sont constatées de part et d'autre de la Nartuby (environ 47%). Les gorges sont cernées par des vallons présentant de plus faibles pentes (de 10 à 20%).

- La partie nord-ouest du bassin versant, commune d'Ampus :

Elle est délimitée par le plateau du Canjuers au nord qui culmine à 1100 mNGF d'altitude et par les gorges d'Ampus au sud qui se démarquent par de fortes pentes. Au centre du secteur se trouvent de vastes plaines avec de faibles pentes avoisinant les 5%.

- Le cœur du bassin versant, le massif du Malmont et la commune de Draguignan :

Le massif du Malmont culmine au nord de Draguignan à 550 mNGF et domine la plaine alluviale de la Nartuby. Ses versants présentent des pentes comprises entre 20 et 30%. La vallée alluviale s'établit à environ 175 m NGF.

- La partie aval du bassin versant, communes de Trans-en-Provence et de la Motte :

La plaine alluviale de la Nartuby se prolonge vers le sud-est jusqu'à l'exutoire situé à 15 m NGF. L'aval du bassin versant se distingue par la présence d'une vaste plaine jalonnée de canaux de part et d'autre de la Nartuby. Les pentes y sont très faibles, de l'ordre de 5 à 10%.

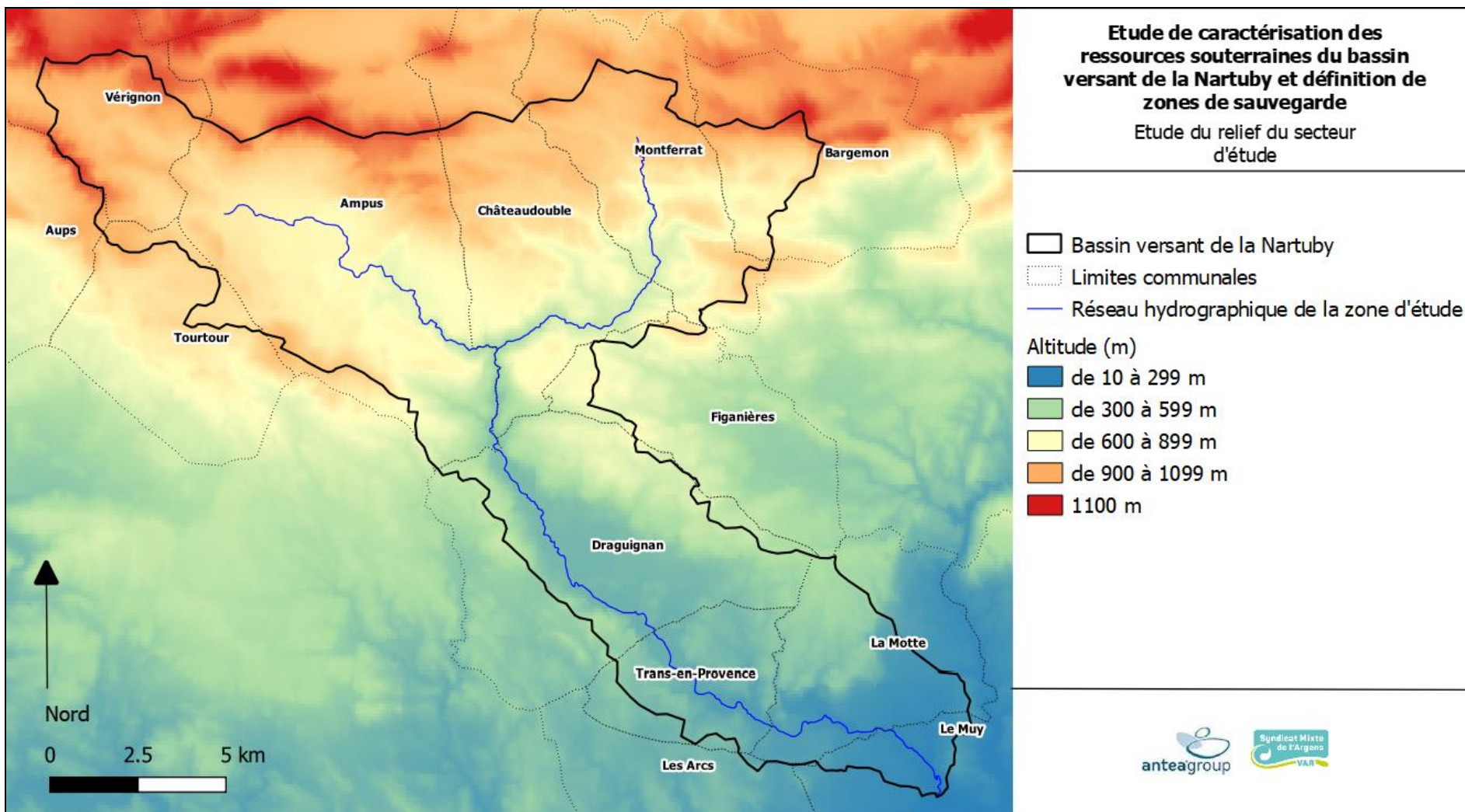


Figure 4 : Topographie du bassin versant de la Nartuby

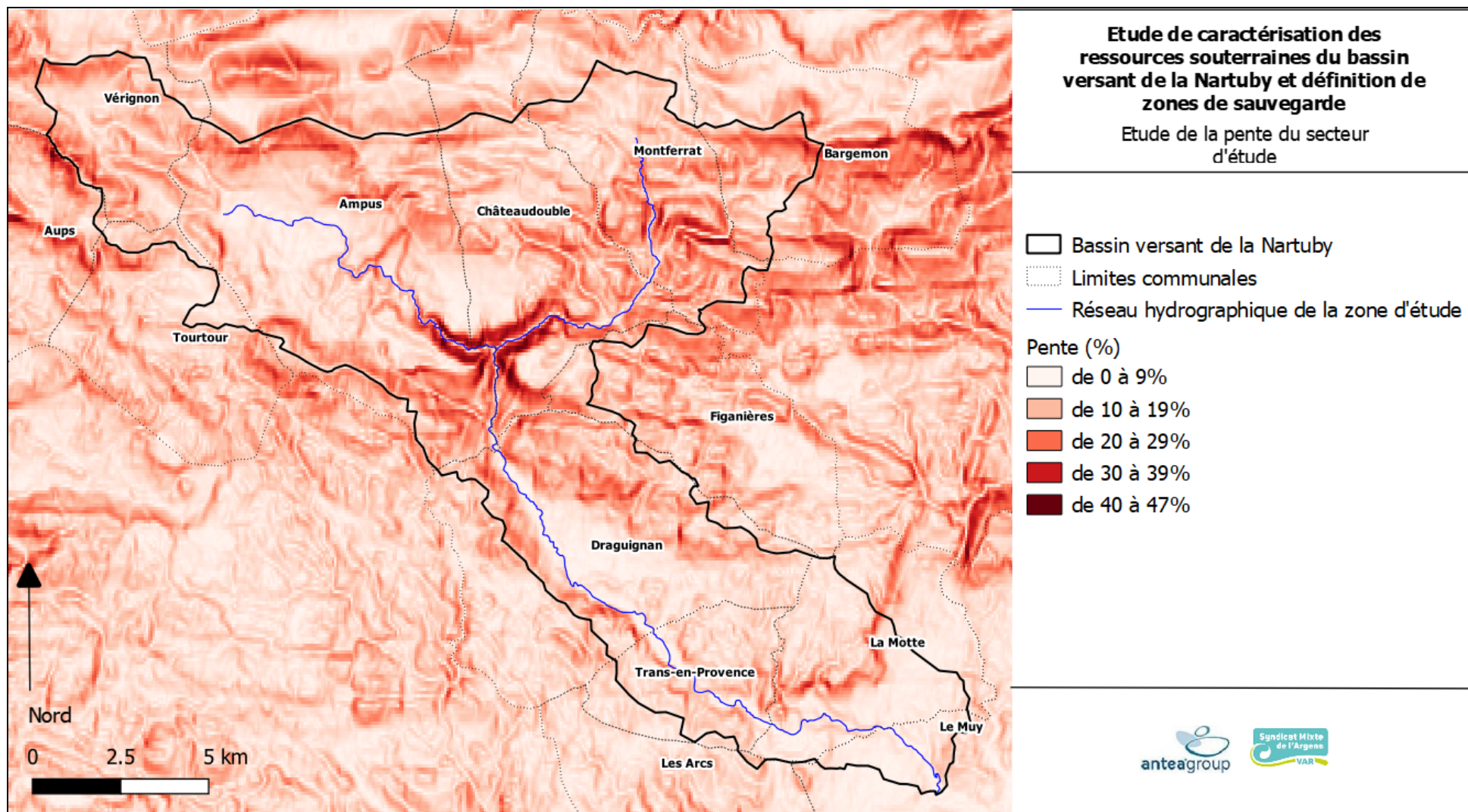


Figure 4 : Pente topographique du bassin versant de la Nartuby

### 2.1.3. Climatologie

Le bassin versant de la Nartuby se situe en zone de climat méditerranéen, avec des hivers doux ( $T^{\circ}$  moyennes  $<10^{\circ}\text{C}$ ) et des étés chauds ( $T^{\circ}$  moyennes  $\approx 25^{\circ}\text{C}$ ). Il est caractérisé par de fréquentes sécheresses estivales et de violentes précipitations orageuses. La position géographique de la zone d'étude (à proximité de la mer et de massifs) engendre des champs pluvieux à très fort potentiel de précipitation.

Une station Météo France est localisée au droit de Draguignan dans le quartier « Salamandrier » (code station : 83050007). La station, ouverte depuis le 01/03/1996, permet d'évaluer la pluviométrie au cœur du bassin versant de la Nartuby.

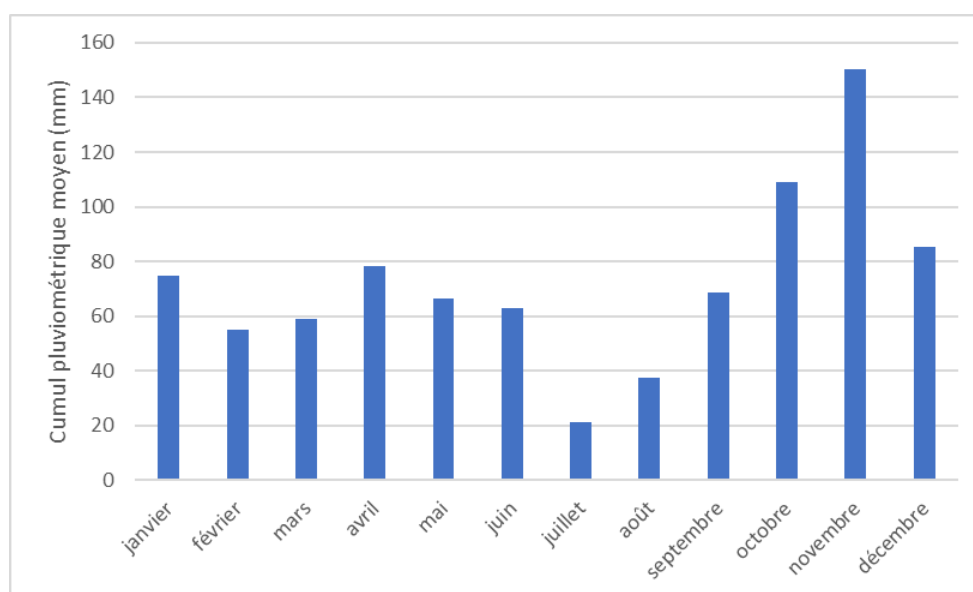


Figure 5 : Répartition mensuelle des pluies sur la commune de Draguignan (1997-2018)

D'après la Figure 5, le cumul pluviométrique moyen au cours de l'année oscille aux alentours de 70 mm à l'exception des deux périodes suivantes :

- Entre juillet et août, le cumul pluviométrique moyen ne dépasse pas les 40 mm au cours du mois. Les apports pluviométriques sont donc faibles et correspondent aux périodes d'étiage des nappes et des cours d'eau ;
- Entre octobre et novembre, les cumuls pluviométriques moyens atteignent respectivement 108 et 150 mm. Cela correspond à presque 30 % des apports pluviométriques annuels répartis sur ces deux mois (moyenne interannuelle du cumul pluviométrique égale à 868 mm). La période automnale est donc propice à la recharge des nappes du secteur.

La Figure 6 ci-après permet de visualiser rapidement la répartition des cumuls pluviométriques mensuels enregistrés sur cette station. A noter les éléments suivants :

- Le cumul pluviométrique mensuel moyen est de 72,3 mm ;
- 50 % des données enregistrées présentent un cumul supérieur à 50 mm ;
- Seuls 11 % des cumuls enregistrés atteignent les 150 mm, et seuls 3 % dépassent les 250 mm ;



- Le maximum enregistré est de 477 mm en novembre 2014. Des inondations ont d'ailleurs eu lieu à cette époque. En 2010, le cumul pluviométrique a atteint 292 mm sur le mois de juin.

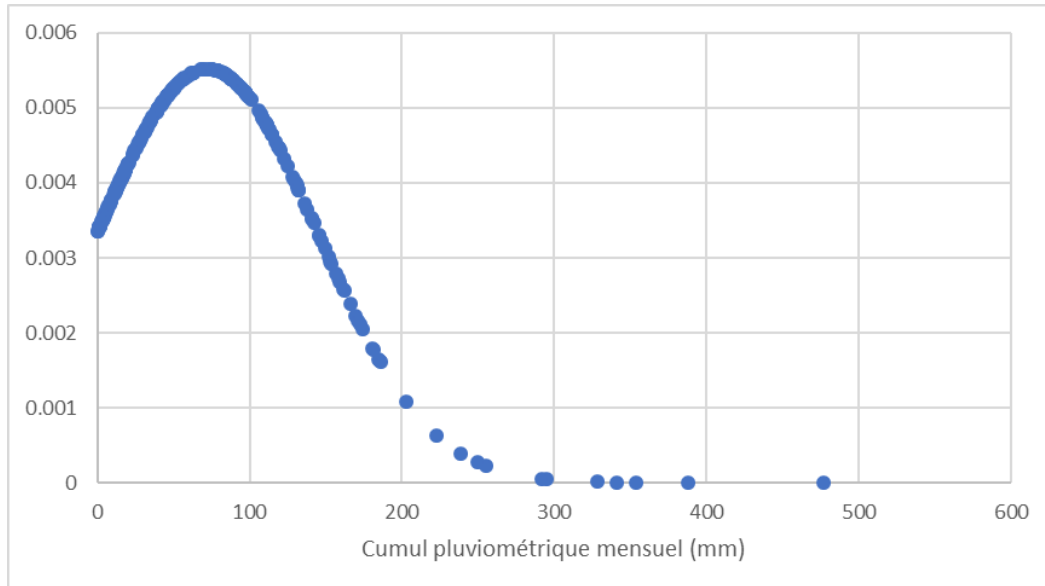


Figure 6 : Fonction de densité des cumuls pluviométriques mensuels enregistrés sur la commune de Draguignan (1997-2018)

A titre de comparaison, les données de la commune de Draguignan peuvent être comparées à celles enregistrées sur la station Météo France du Luc (code station : 83031001) qui sert de référence dans la région.

D'après la Figure 7, la répartition des pluies au cours de l'année semble plus homogène sur la station du Luc. On observe toutefois les mêmes périodes sèches (juillet/août) et humides (octobre/novembre).

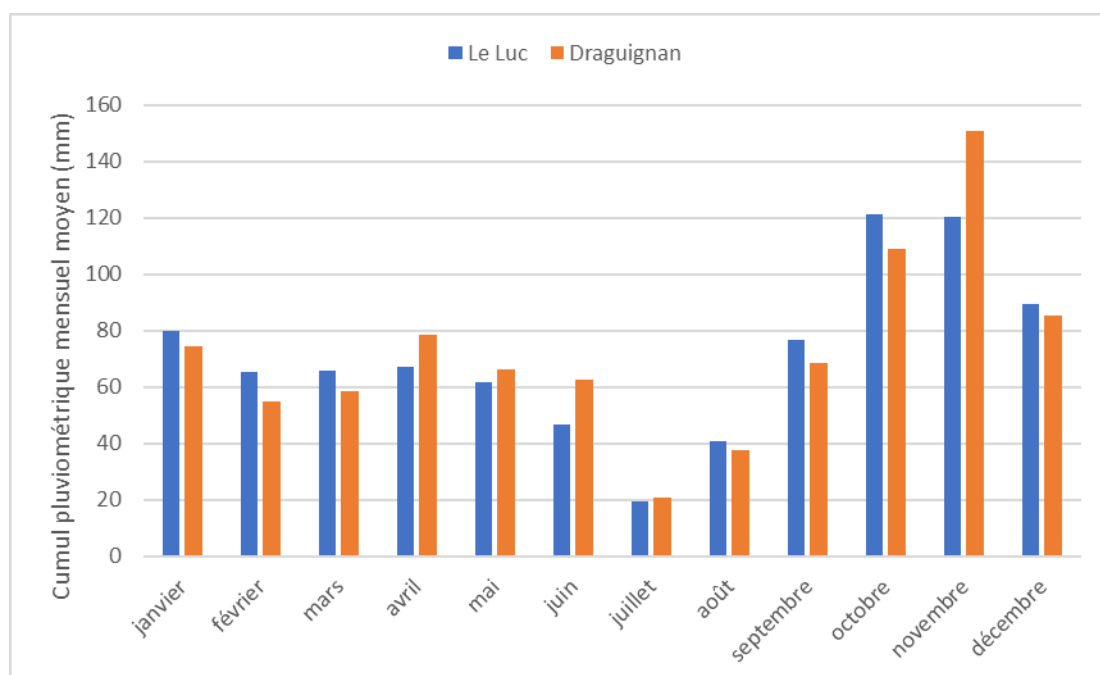


Figure 7 : Répartition mensuelle des pluies au Luc (1946-2018)



## 2.2. Zones de protection environnementales

Les zones écologiques présentes sur le bassin versant de la Nartuby sont :

- ZNIEFF de type 1 : Montagne de Bargeaude (ref 930012565).
- ZNIEFF de type 2 : Vallée de l'Argens (ref 930012479).
- ZNIEFF de type 2 : Plaine et plateau de Fontignon (ref 930020303).
- ZNIEFF de type 2 : Vallée de la Nartuby et de la Nartuby d'Ampus (ref 930020304).
- ZNIEFF de type 2 : Forêt de Vérignon (ref 930012563).
- ZNIEFF de type 2 : Gorges de Châteaudouble (ref 930012564).
- ZNIEFF de type 2 : Bois de Palayson et Terres Gastes (ref 930012555).
- Site d'Intérêt Communautaire - Natura 2000 (SIC) : Plaine de Vergelin - Fontigon - gorges de Châteaudouble - bois des Clappes (ref FR9301620).
- Site d'Intérêt Communautaire - Natura 2000 (SIC) : Val d'Argens (ref FR9301626).
- Zone de Protection Spéciale – Natura 2000 (ZPS) : Colle du Rouet (ref FR9312014).
- Parc national régional : Verdon (ref FR8000033).
- Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux (ZICO) : BOIS DE PALAISON, DU ROUET ET DE MALVOISIN Bois de Palaison, du Rouet et de Malvoisin (ref 00296).

Les zones écologiques recensées sont principalement situées en amont du bassin versant, sur les communes d'Ampus et de Châteaudouble.

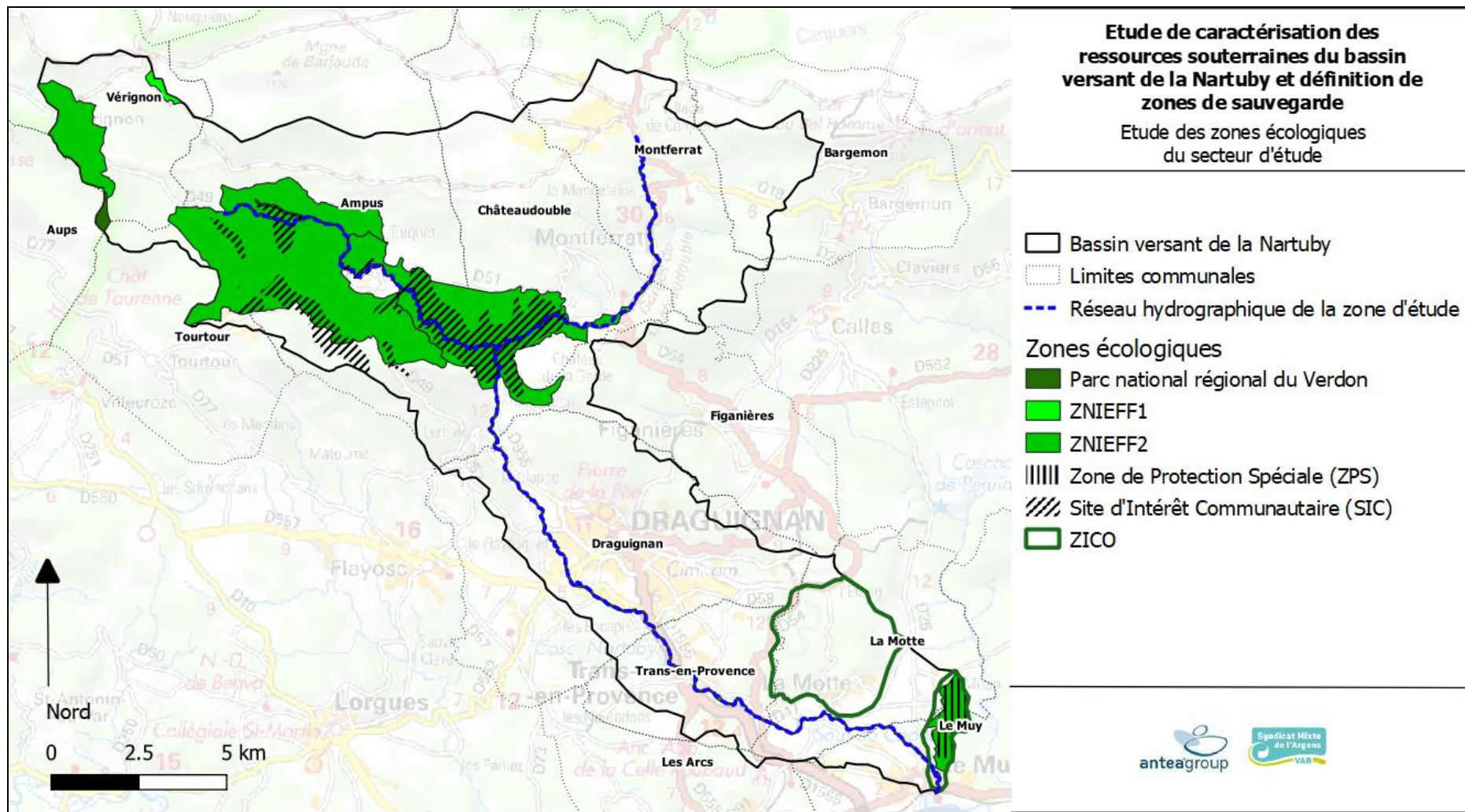


Figure 8 : Zones écologiques remarquables recensées au droit du bassin versant de la Nartuby

## 2.3. Inventaire des principales pressions anthropiques

### 2.3.1. Occupation du sol

Le bassin versant de la Nartuby est en majorité composé de zones forestières, constituant environ 75% de la surface totale du bassin. Elles sont constituées en majorité de feuillus et conifères (60% de la surface du bassin). Cette végétation est principalement située en amont du bassin versant, au nord de Draguignan, l'aval étant plus urbanisé ou agricole.

Les surfaces cultivées occupent environ 16% de la surface du bassin versant et sont majoritaires au sud-est du bassin versant. 50 % des surfaces agricoles correspondent à des vignobles.

Les zones urbaines et industrielles constituent 7% de la surface du bassin versant et sont regroupées majoritairement en aval du secteur d'étude.

L'occupation du sol est en accord avec les zones de protection environnementales mises en valeur dans le chapitre précédent.

**Le nord du bassin versant, représenté majoritairement par des espaces naturels protégés ou préservés, en fait un espace favorable pour la protection de la ressource en eau.**



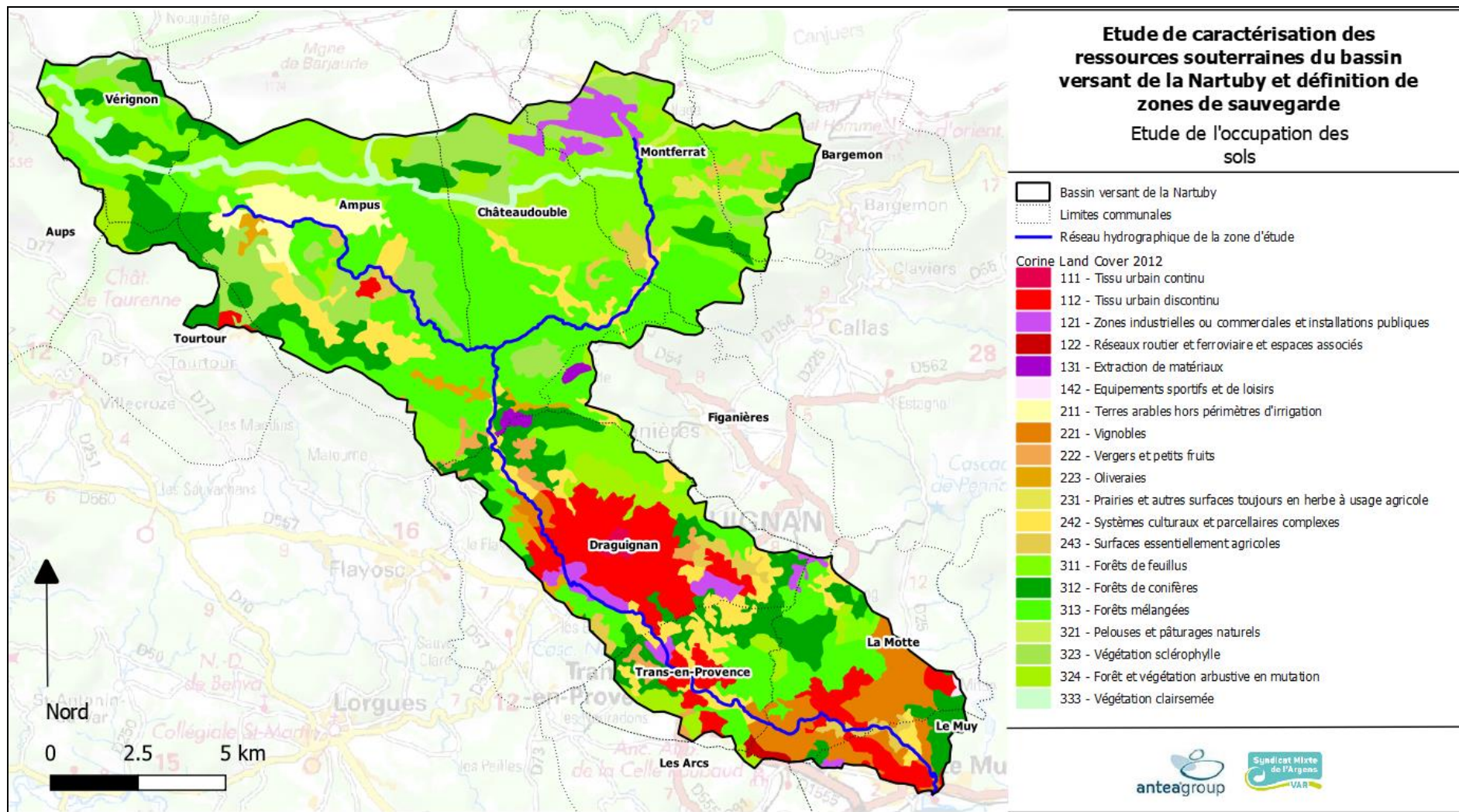


Figure 9 : Occupation des sols sur le territoire du bassin versant de la Nartuby (Corine Land Cover)

### 2.3.2. Zonages des documents d'urbanisme

Les cartographies ci-après sont basées sur les documents d'urbanisme constitutifs des PLU associés aux communes du territoire d'étude.

A noter que :

- Le PLU de la commune de Bargemon est en cours de révision (révision prescrite le 25 mars 2015). L'ancien PLU date de juin 2013 ;
- La cartographie du zonage de la commune de Montferrat est issue du POS de 1993 (source : Géoportail).

Les zonages des différents PLU se décomposent de la façon suivante :

- Zone N : secteurs naturels et forestiers de la commune où le principe d'inconstructibilité est maintenu pour la sauvegarde du territoire ;
  - Secteur Nh : habitats isolés en milieu naturel. La construction de logements neufs peut y être autorisée (taille et capacité d'accueil limitées).

**La zone N, en tant que zone de sauvegarde du milieu naturel, en fait un secteur favorable à la préservation des ressources en eau.**

- Zone A : terrains à vocation agricole sources de richesse biologique, agronomique, économique et paysagère ;
  - Secteur Ah : zone agricole avec bâti existant où l'insuffisance des réseaux ne permet pas une densification de l'urbanisation.

Les zones agricoles correspondent également à des secteurs où la biodiversité tend à être conservée.

**Les exploitations agricoles raisonnées et excluant l'usage de produits phytosanitaires dommageables pour l'environnement doivent être privilégiées afin de conserver le bon état qualitatif des eaux souterraines.**

- Zone AU : milieu à caractère naturel destinés à être ouverts à l'urbanisation ;
  - Secteur AUc : prolongement du centre-bourg, cette zone est destinée à être aménagée pour des habitations, activités et services nécessaires à la vie sociale ;
  - Secteur : AUs : zone réservée pour le développement de l'urbanisation sous réserve de développement des réseaux collectifs encore insuffisants.
- Zone U : secteur urbain dense.

La Figure 11 présente les orientations de développement ou de préservations des espaces intégrés aux PADD ou OAD des différents PLU.

Dans la lignée des zonages, **les trames verte et bleue constituent un outil de préservation de la biodiversité dans la planification et les projets d'aménagement des politiques environnementales nationales (objectifs de bon état écologique des masses d'eau notamment).**



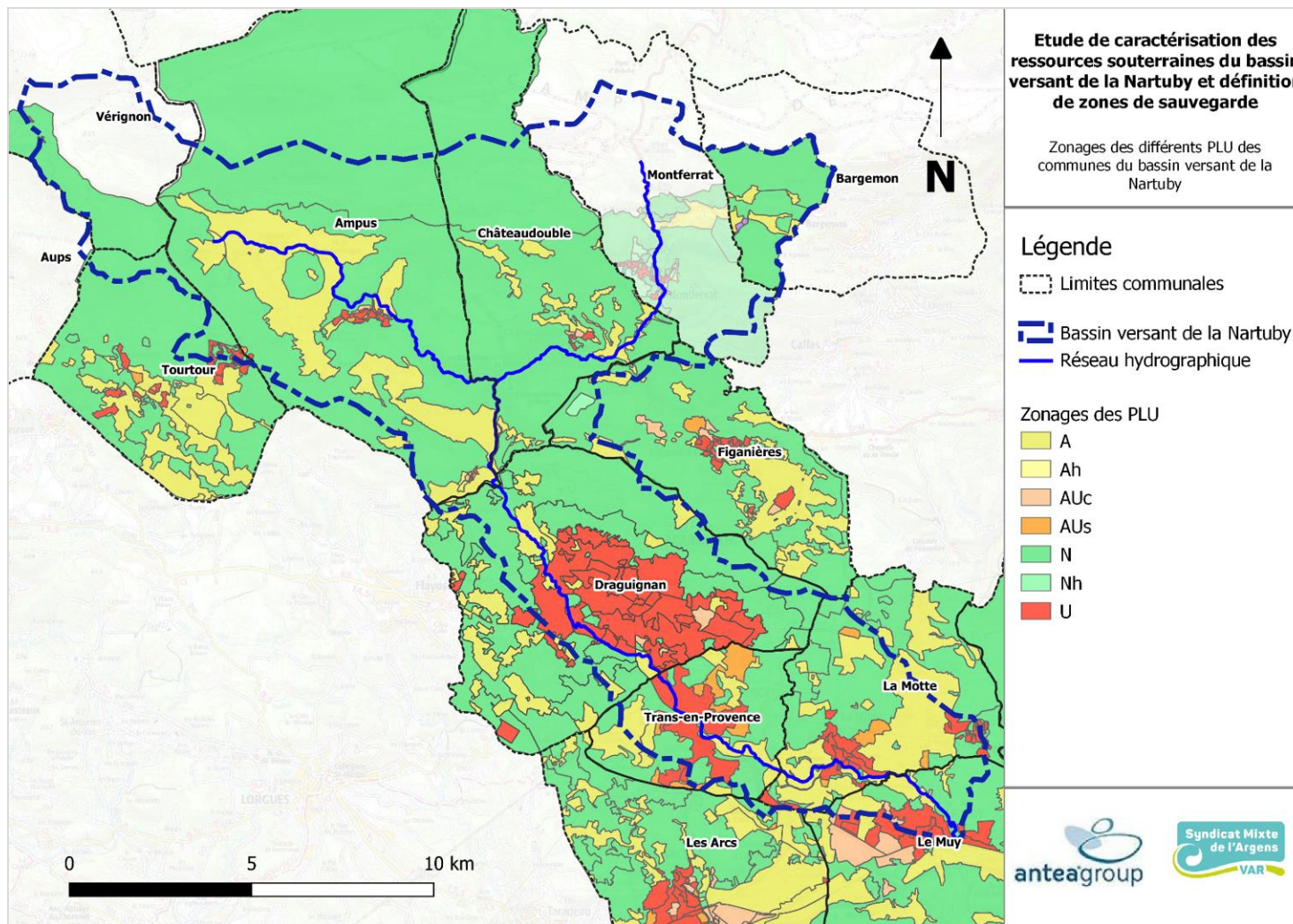


Figure 10 : Zonages des différents PLU des communes du bassin versant de la Nartuby

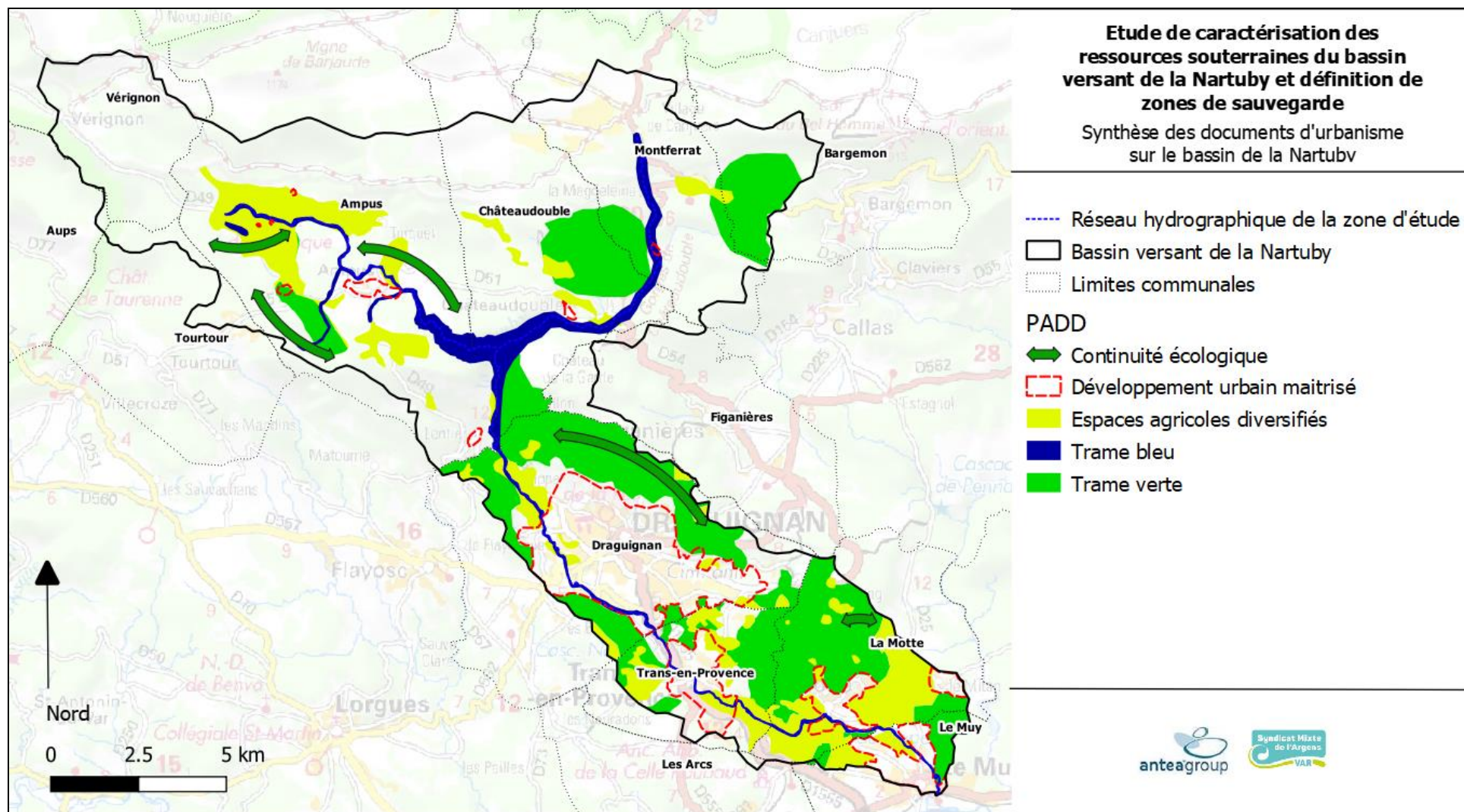


Figure 11 : Synthèse des orientations des différents documents d'urbanisme des communes du bassin versant de la Nartuby



### 2.3.3. Infrastructures linéaires

Le réseau routier de la zone d'étude est plus dense en aval, notamment sur la commune de Draguignan (sous-préfecture du Var) qui correspond à un nœud stratégique routier. Les principaux axes routiers sont :

- La D1555, qui relie Draguignan à l'autoroute A8 ;
- La DN7, à l'extrême aval du secteur d'étude (commune du Muy) qui longe l'autoroute A8.

Les principales routes départementales sont :

- La D955, au départ de Draguignan, traverse la commune de Montferrat en passant par le plateau de Canjuers et continue jusqu'à Comps-sur-Artuby ;
- La D49, de la Clappe à Draguignan jusqu'à Vérignon.

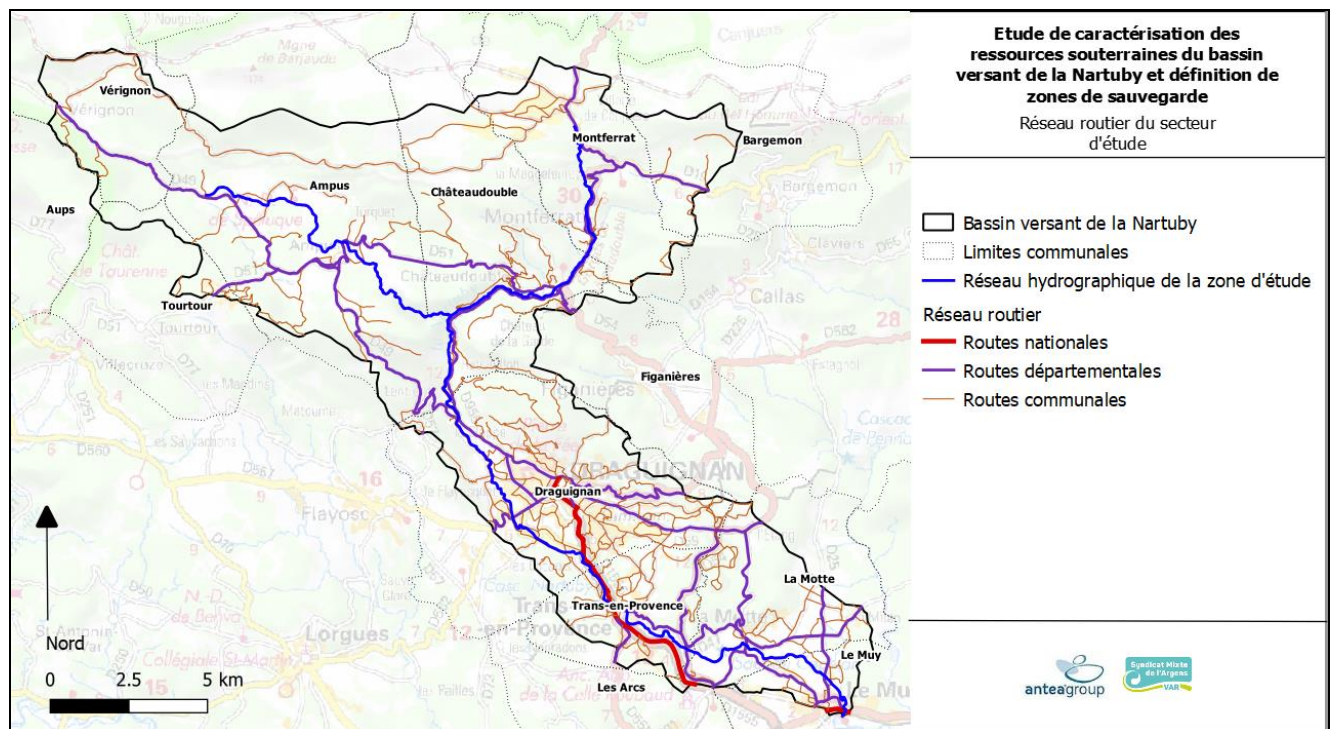


Figure 12 : Réseau routier du secteur d'étude

## 3. Eaux superficielles

### 3.1. Contexte hydrologique

#### 3.1.1. Présentation du réseau hydrographique

La Nartuby prend sa source sur le plateau de Canjuers au niveau de l'ancien moulin de la Magdeleine (commune de Montferrat) à 579 m NGF. Son bassin versant représente une surface de 212 km<sup>2</sup> et son exutoire correspond à sa confluence avec l'Argens sur la commune du Muy.

Les principaux affluents sont les suivants :

- En amont de Draguignan : le Beudron, la Bivosque, le vallon de la Baume Garnier, le Riou de Ville, la Nartuby d'Ampus et le vallon de Tunis ;
- En aval de Draguignan : La Foux, le vallon du Rayouret, le vallon des Prouits et le Gros Vallat.

Un réseau de canaux gravitaires serpente également les plaines alluviales et alimente les cultures agricoles du bassin (en amont de Draguignan dans le secteur de La Clape, sur la commune de Trans-en-Provence et en aval du bassin versant sur la commune de La Motte).

Nom de la station	Code de la station	X (L93)	Y (L93)	Chronique de mesure	BV topographique (km <sup>2</sup> )	Débit instantané maximal (m <sup>3</sup> /s)
La Clape	Y5235020	930721	1848283	1850-2020	163	76.8
Trans-en-Provence	Y5235010	935648	1842521	1969-2020	190	132
Rebouillon	Y5235030	930446	1850179	1974-2010	111	55.3
Ampus	Y5235620	925667	1855083	1988-1994	22.9	1.32
Frayères	Y5235630	930421	1851604	1990-2010	33	0.804
La Foux	Y5235810	935235	1843369	1974-1989	5.22	12.7

Tableau 2 : Synthèse des données issues des stations hydrologiques existantes sur le bassin versant de la Nartuby

Seule la station hydrologique de Trans-en-Provence est encore en activité. **Le débit moyen interannuel y est de 1,55 m<sup>3</sup>/s, tandis que les débits moyens mensuels sont compris entre 0,53 et 2,04 m<sup>3</sup>/s** (respectivement en septembre et en janvier). Le débit instantané maximal connu à ce jour est égal à 132 m<sup>3</sup>/s (novembre 2019).

La comparaison des débits spécifiques calculés pour les stations de Trans-en-Provence et de Rebouillon révèle un comportement hydrologique identique entre les deux points de mesure. Pour un même évènement pluviométrique, ceci induit une réponse hydrologique similaire pour les deux sous-bassins versants.

Dans le secteur de La Clape, la Nartuby a drainé une surface de 163 km<sup>2</sup> soit l'équivalent de 77 % du bassin versant total.

Au niveau du hameau de Rebouillon, environ 50 % du bassin versant est drainé par la Nartuby d'Ampus et l'autre moitié par la Nartuby en provenance de Châteaudouble.

En parallèle de la station hydrologique pérenne, le SMA organise des campagnes de jaugeages mensuelles à divers points du bassin versant (cf. figure en page suivante). Ceci peut permettre de quantifier les zones d'apports ou de pertes sur des portions de la Nartuby et de suivre l'évolution des débits de la rivière et de certains de ses affluents. La chronique de mesure disponible s'établit entre 2007 et 2020.

En période de basses eaux (d'août à octobre), il apparaît que le Bivosque et la Nartuby d'Ampus sont secs (aux points de mesure). Le Beudron présente quant à lui un débit résiduel très faible : entre 0,01 et 0,04 m<sup>3</sup>/s. Pour ces affluents du secteur nord-est du bassin versant, il sera précisé dans le chapitre 4.2.4 que les points de jaugeage ne sont pas correctement positionnés et devraient être implantés plus en amont de la confluence (avant les zones de pertes sous-alluviales).

Les débits les plus importants sont mesurés en aval de Trans-en-Provence (station Retru), La Motte et dans une moindre mesure Le Muy : débits moyens interannuels respectivement équivalents à 1,45, 0,99 et 0,85 m<sup>3</sup>/s.

En période de hautes eaux, les débits mesurés peuvent être de 2 à 13 fois supérieurs par rapport à ceux mesurés en basses eaux, notamment sur le Beudron où le débit moyen interannuel est équivalent à 0,22 m<sup>3</sup>/s en hautes eaux et seulement 0,02 m<sup>3</sup>/s en basses eaux (cette valeur est à prendre avec précaution étant donné que le point de jaugeage n'est pas représentatif du débit réel des apports du cours d'eau). La Nartuby d'Ampus, bien que sèche en basses eaux, présente un débit moyen significatif en hautes eaux de 0,18 m<sup>3</sup>/s.

A noter que l'année 2017 témoigne d'une année particulièrement sèche où le débit maximal de La Nartuby n'a atteint que 0,99 m<sup>3</sup>/s en aval de Trans-en-Provence. Sur cette année, La Nartuby d'Ampus était sèche au point de mesure également en période de hautes eaux.

Enfin, **les mesures du SMA révèlent une augmentation significative du débit de la Nartuby entre Trans-en-Provence et Retru (débit plus élevé d'environ 1 à 1,5 m<sup>3</sup>/s en aval). Ceci quelle que soit la période hydrologique (basses/hautes eaux).**



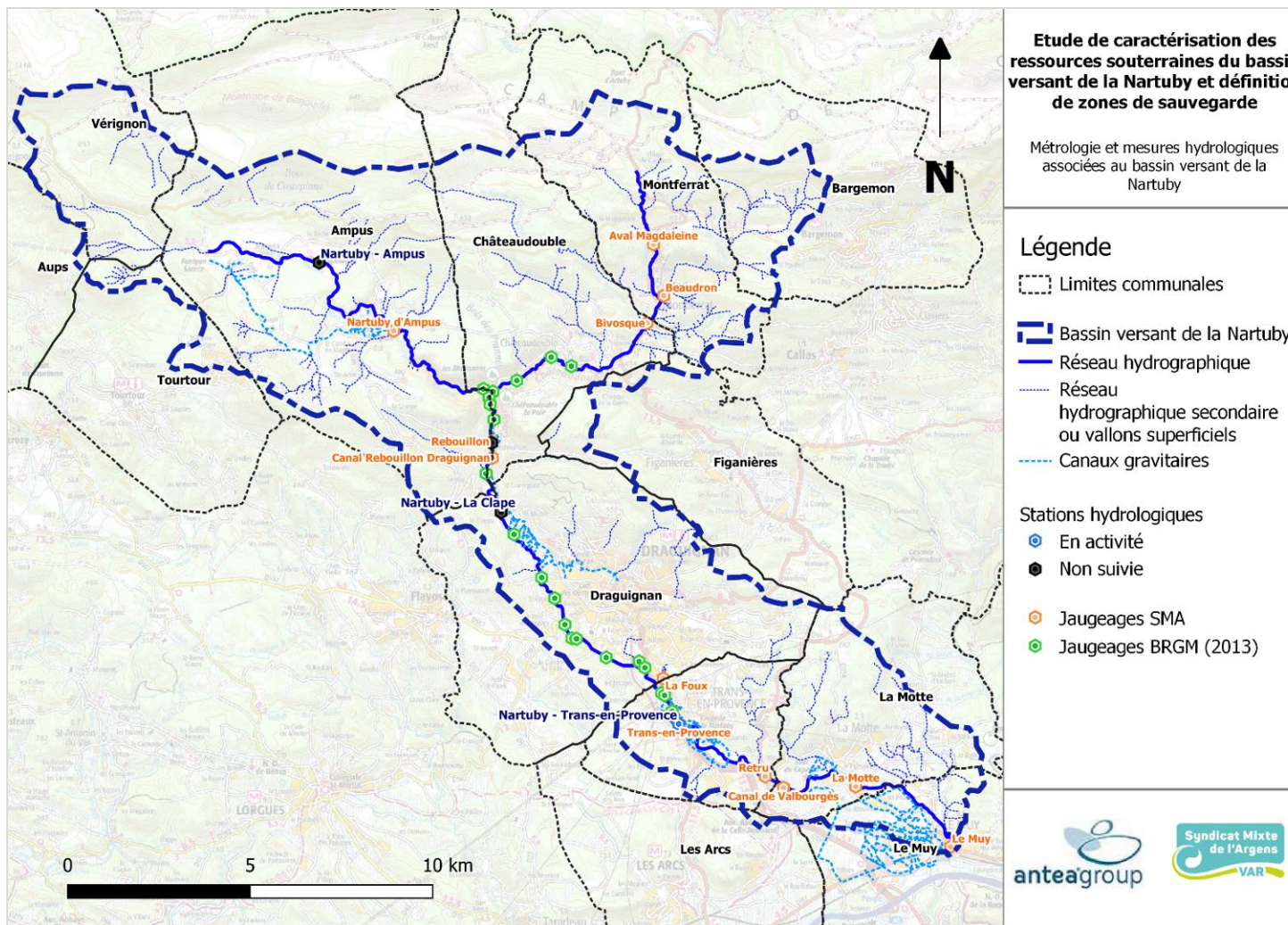


Figure 13 : Métriologie et mesures hydrologiques associées au bassin versant de la Nartuby

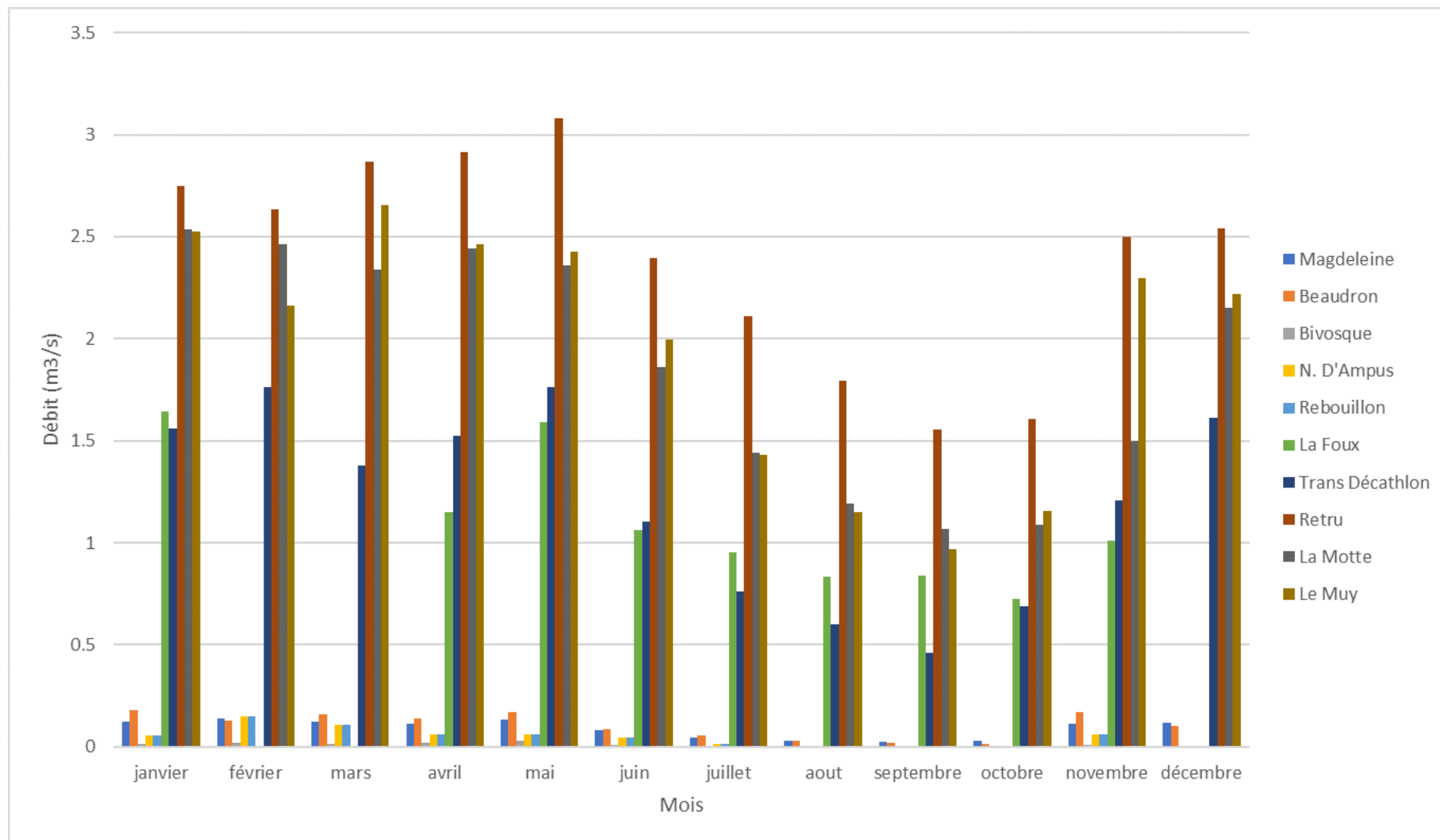


Figure 14 : Evolution des débits de la Nartuby au cours d'une année (moyennes interannuelles, source : SMA)



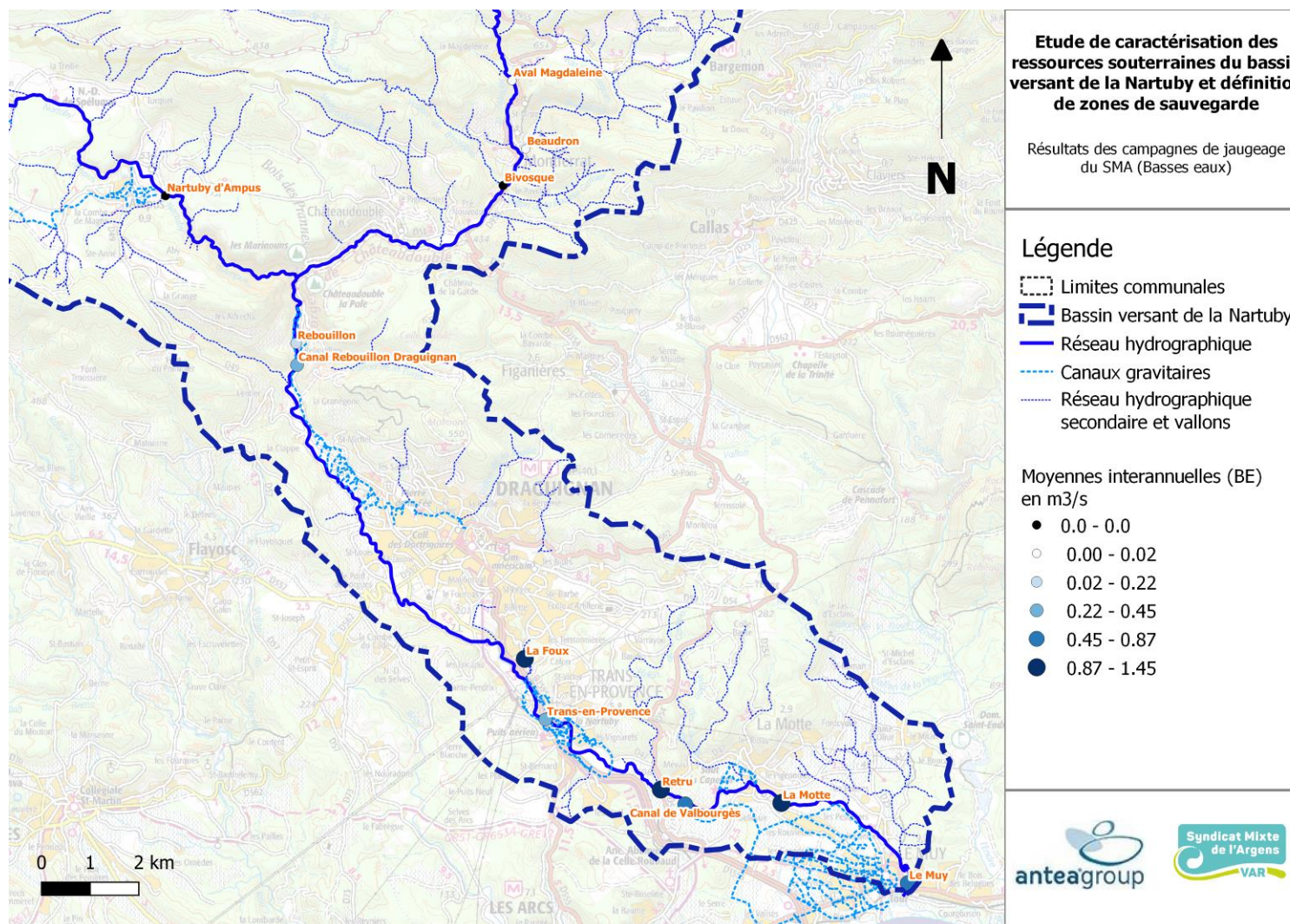


Figure 15 : Résultats des campagnes de jaugeage du SMA en période de basses eaux (moyennes interannuelles)



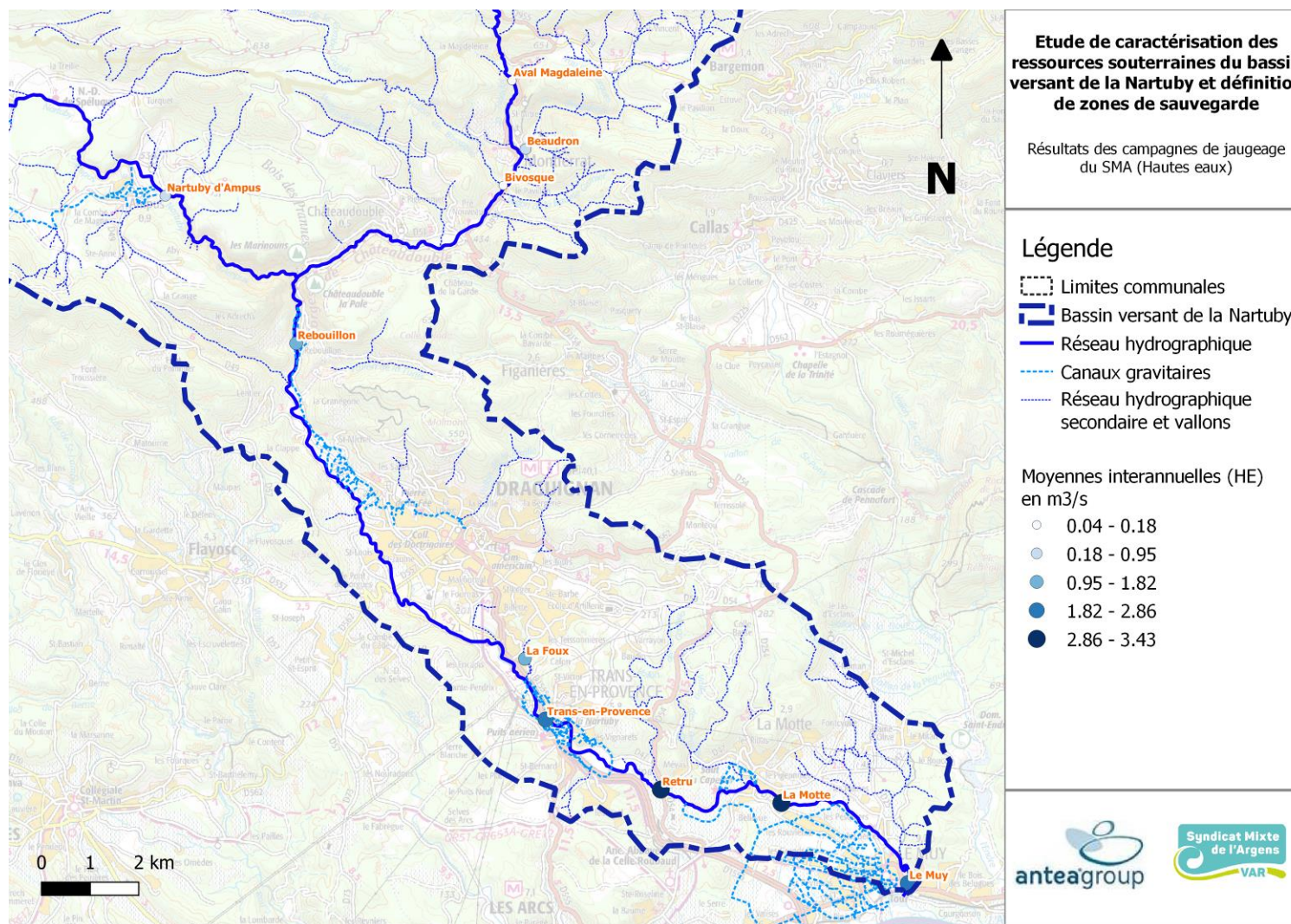


Figure 16 : Résultats des campagnes de jaugeage du SMA en période de hautes eaux (moyennes interannuelles)



Le fond de la Nartuby présente une pente de 1,7% en moyenne, plus forte en amont (3,4% entre la source et la confluence avec la Nartuby d’Ampus) qu’en aval (1,1%, entre Trans-en-Provence et le Muy). Le profil de la Nartuby se caractérise notamment par :

- Les gorges de Châteaudouble où un fort dénivelé est constaté (140 m sur 3 km, soit une pente de presque 5%) ;
- Les cascades de Trans-en-Provence, d’une hauteur de 24 m ;
- Le saut de Cappelain sur la commune de la Motte, d’une hauteur de 22 m.

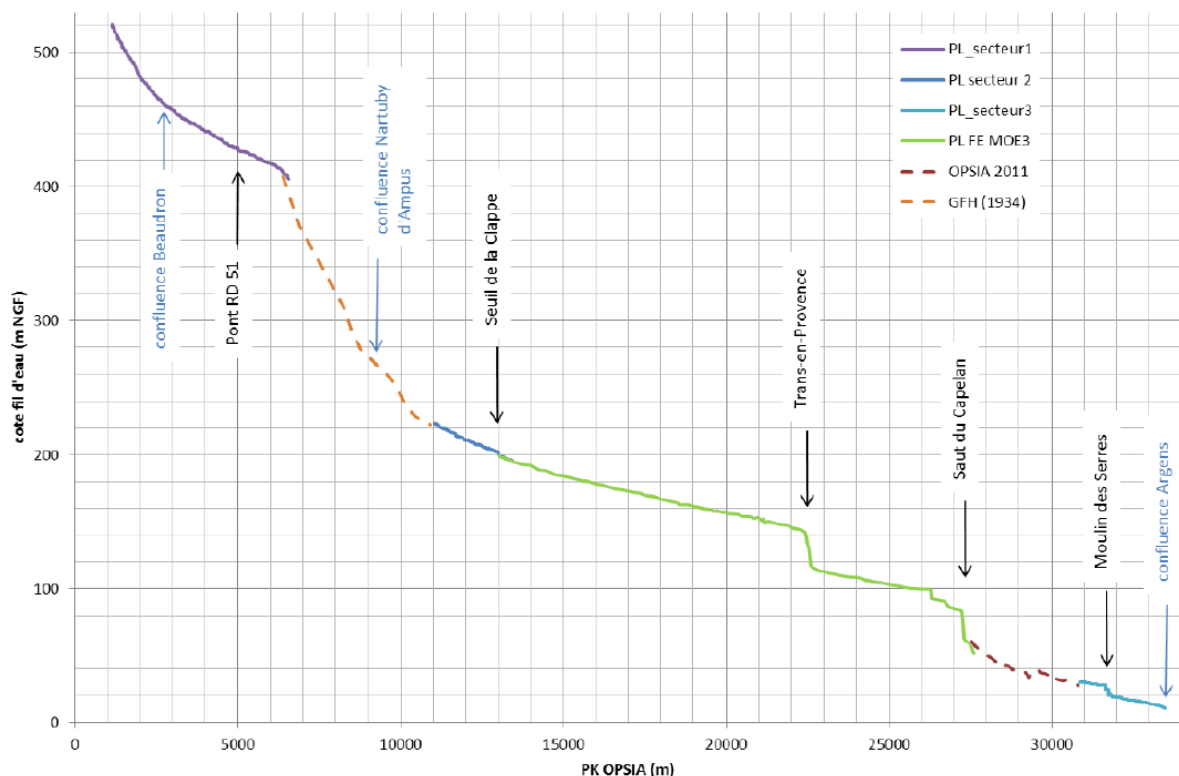


Figure 17 : Profil en long de la Nartuby (Artelia, 2011)

### 3.1.2. Contraintes réglementaires

Les conséquences des inondations des 15 et 16 juin 2010 ont mis en évidence la nécessité de mettre à jour le plan de prévention des risques inondation (PPRI) de la commune de Draguignan.

Ainsi, par arrêté du 8 septembre 2010, le préfet du Var a prescrit la révision de l’ancien PPRI de la Nartuby approuvé en 2005. **Le plan de prévention des risques d’inondation de Draguignan a été définitivement approuvé par arrêté préfectoral le 10 février 2014.**

Le territoire de la commune est découpé en zones selon l’exposition au risque des terrains :

- Les « zones d'interdiction de construire », dites « zones rouges » (R), lorsque le niveau d'aléa est fort et que la règle générale est l'interdiction de construire ;
- Les « zones soumises à prescriptions », dites « zones bleues » (B), lorsque le niveau d'aléa est moyen et que les projets sont soumis à des prescriptions adaptées au type d'enjeu ;

- Les zones non directement exposées aux risques mais où des constructions, des ouvrages, des aménagements ou des exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux, soumises à interdictions ou prescriptions.

Chaque zone dispose d'un règlement spécifique qui détermine les utilisations du sol permises ou interdites.

Sur le territoire du bassin versant de la Nartuby, seules les communes en aval de Montferrat sont concernées par un PPRI (hors Nartuby d'Ampus). Le risque inondation est d'autant plus important sur la commune du Muy : risque cumulé avec l'Argens.

En règle générale, **l'extension des zones rouges se limite à l'étendue des alluvions à l'affleurement.** Ceci se confirme notamment à Draguignan où la zone R1 se prolonge à l'est de la Nartuby jusqu'au stade Raoul Brulat conformément à l'extension des alluvions mentionnée sur la carte géologique.

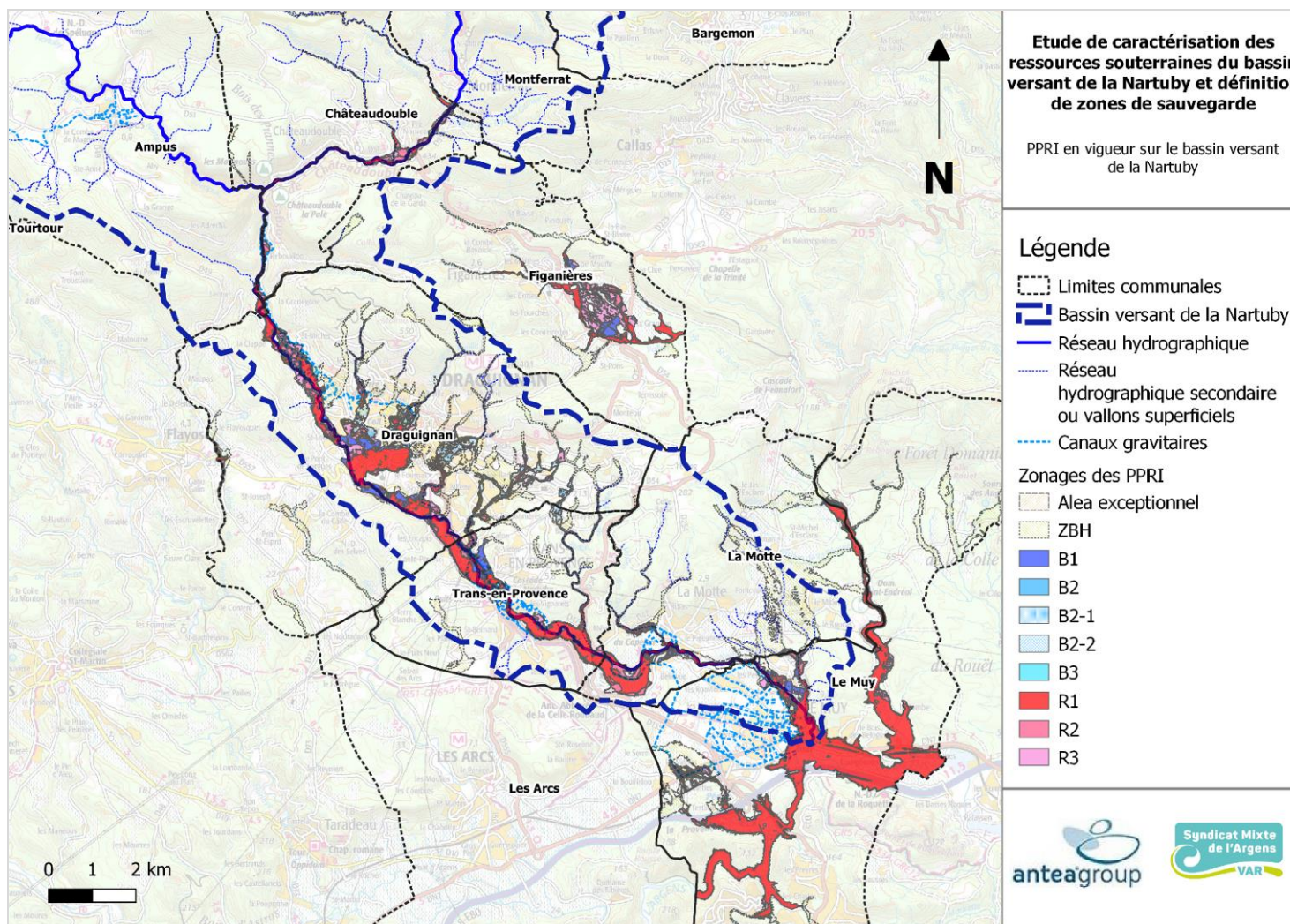


Figure 18 : PPRI en vigueur sur le bassin versant de la Nartuby

## 3.2. Potentiels écologiques des compartiments superficiels

Aucun plan d'eau n'est présent au sein du périmètre d'étude.

En ce qui concerne les cours d'eau, l'agence de l'eau RMC publie chaque année un bilan de l'état qualitatif des cours d'eau. Pour cela, elle s'appuie sur un réseau de surveillance composé de stations de mesure.

Les paramètres mesurés sont les suivants :

- Physico-chimie : oxygène, température, nutriments azotés, nutriments phosphatés, acidification, polluants spécifiques ;
- Biologie : invertébrés, diatomées, macrophytes, poissons, hydromorphologie, pressions hydromorphologiques ;
- Etat écologique ;
- Potentiel écologique ;
- Etat chimique.

Actuellement, seule la station en aval de la STEP de Trans-en-Provence fait l'objet de mesures annuelles.

La carte en page suivante synthétise les données acquises au droit du bassin versant de la Nartuby (station actuelle et antérieure). Même si les données ne sont pas synchrones, cela peut donner une indication sur le potentiel écologique et l'état qualitatif des cours d'eau.

Ces données sont complétées par les **données acquises dans le cadre du contrat de rivière : étude de la qualité des eaux de la Nartuby de 2011 [21]** (synthétisant les données acquises dans le cadre des études AQUASCOP de 2001 et ASCONIT de 2007), et **données SESAMA de 2012 et 2018 [22][21]**. Ces études font état :

- En 1999/2000, même en période d'étiage, la qualité de la Nartuby amont et de la plupart de ses affluents est bonne. L'état du cours d'eau se dégrade en aval de la STEP de Trans-en-Provence (teneurs en matières azotées et phosphorées) ;
- En 2007, en période d'étiage, la qualité de la Nartuby est dégradée en aval des STEP de Canjuers (rejets phosphorés) et de Trans-en-Provence. A noter qu'en période hivernale, la qualité des eaux en aval de Trans-en-Provence est bonne ;
- D'une contamination bactériologique entre les stations de Retru et la Motte en été 1999 et entre les Incapis et la Motte au printemps 2000 ;
- D'une contamination bactériologique entre les stations de Retru et en amont de la confluence avec l'Argens à l'automne 2006 ;
- Enfin, en 2011, la qualité bactériologique des eaux de la Nartuby et de ses affluents est bonne au droit de 6 points de mesure (principalement localisés à l'amont du bassin versant), moyenne pour 4 points de mesure (à partir de La Clappe jusqu'à Retru), et mauvaise pour 2 stations (en aval de La Motte jusqu'à la confluence avec l'Argens).



D'après le dossier d'AVP du contrat de rivière n°2 de la Nartuby [32], les analyses qualité de l'eau superficielle de 2011 ont mis en évidence les points suivants :

- Des rejets continus de matières phosphorées en aval des sources de la Magdaleine (rejet STEP Canjuers) ;
- Des rejets azotés hors nitrates à partir des gorges de Châteaudouble ;
- Un niveau de qualité bactériologique moyen après la Foux puis mauvais en aval de La Motte (rejet des STEP Trans-en-Provence) ;
- La crue de 2010 a pu diminuer la qualité écologique et biologique de la Nartuby ;
- Globalement, la qualité biologique et chimique de la Nartuby se dégrade en aval du bassin versant.

Point de mesure	MOOX			Azote			NTR			PHOS		
	2000	2007	2011	2000	2007	2011	2000	2007	2011	2000	2007	2011
1 Aval Magdeleine												
2 Gorges Châteaudouble												
3 Amont la Clappe												
4 Les Incapis												
5 Aval la Foux												
6 Retru												
7 Aval la Motte												
8 Confluence Argens												
9 Le Beaudron												
10 Le Bivrosque												
11 Aval Nartuby d'Ampus												
12 La foux												

MOOX	Oxygène dissout Demande biologique en oxygène Demande chimique en oxygène Carbone organique dissout	Azote	NH4 Nitrites	NTR	Nitrates	PHOS	Phosphore total Orthophosphates (PO4)
------	--	-------	-----------------	-----	----------	------	--

Tableau 3 : Etat qualitatif du réseau hydrographique du bassin versant de la Nartuby (source : contrat de rivière - SMA)

**Le potentiel écologique de la Nartuby, lié au bon état physico-chimique et biologique du cours d'eau, est plus important en amont du bassin versant, et plus particulièrement entre les gorges de Châteaudouble et l'aval des sources de Magdeleine.**

A noter que, d'après les observations effectuées sur le terrain, l'état de la Nartuby d'Ampus en amont des gorges d'Ampus doit être sensiblement moins bon du fait du rejet de la STEP d'Ampus (présence d'eau stagnante, algues vertes témoignant de l'eutrophisation des eaux).

**En aval, sur la commune du Muy, l'état biologique tend à être moyen** (probablement à cause des rejets de la STEP et des exploitations agricoles en plaine).

A noter, qu'une **amélioration globale de l'état des eaux superficielles est observée depuis les années 2000.**

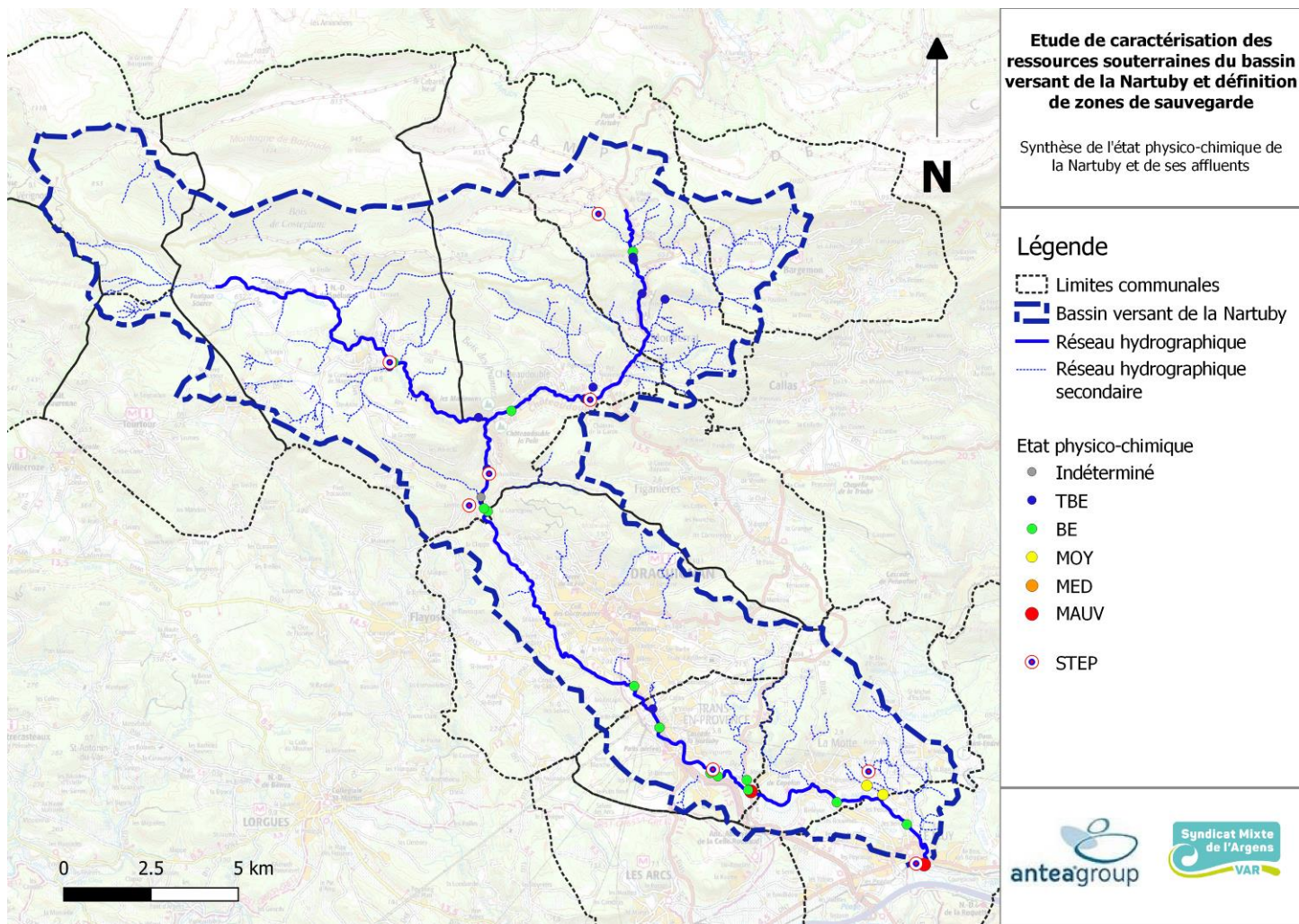


Figure 19 : Etat physico-chimique de la Nartuby (sources : AERMC, SUEZ, SESAMA)



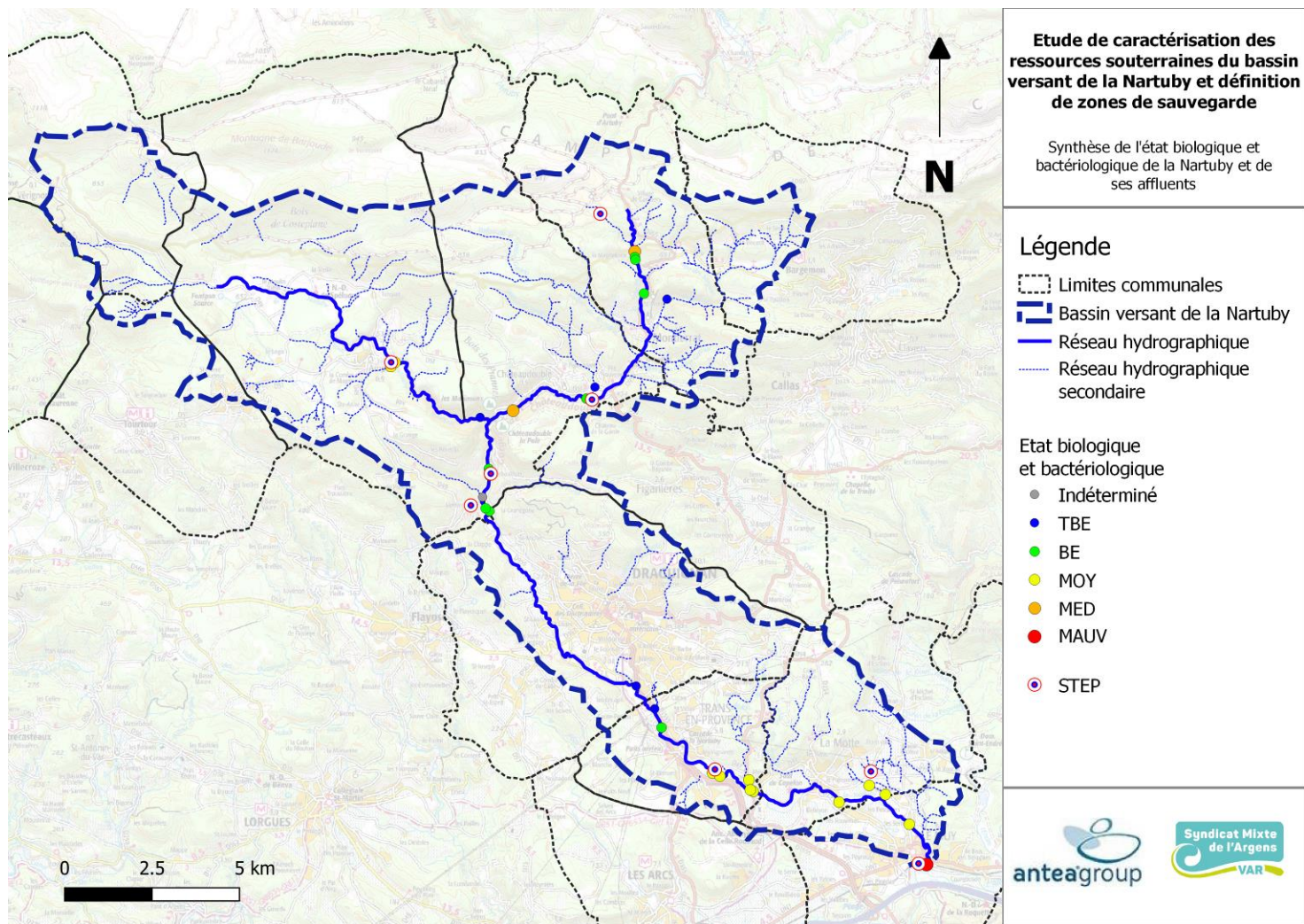


Figure 20 : Etat biologique et bactériologique de la Nartuby (sources : AERMC, SUEZ, SESAMA)

### 3.3. Principaux résultats de l'étude EVP de l'Argens

L'étude de détermination des volumes prélevables, étude portée par l'Agence de l'Eau RMC et réalisée en juin 2013, avait pour but de caractériser l'impact des prélèvements et de quantifier les ressources disponibles sur le bassin versant de l'Argens.

Les principaux résultats de l'étude en ce qui concerne le bassin versant de la Nartuby sont listés ci-dessous :

- Draguignan et La Motte disposent d'une alimentation en eau brute par la Société du Canal de Provence ;
- Les principales associations syndicales d'exploitation des canaux d'irrigation sont : l'ASA du canal de Fontigon, l'ASL des arrosants riverains de La Nartuby, l'ASA des arrosants amont de Draguignan, l'ASF des eaux de Trans-en-Provence et la Mairie du Muy. Concernant l'ASF des eaux de Trans-en-Provence, les investigations complémentaires ont mis en évidence :
  - Que l'association est composée de 315 adhérents ;
  - Une superficie du périmètre couvert par le réseau de 80 ha et une surface irrigable de 65 ha ;
  - Un débit à la prise d'eau de 197 L/s, tandis que le débit capable est évalué à 600 L/s ;
  - Un canal imperméable en bon état.
- Les prélèvements des canaux (de la source de la Nartuby au Muy) étaient évalués à 5147 milliers de m<sup>3</sup>/an ;
- En 2009, la source des Frayères ainsi que les forages de Sainte-Anne faisaient partie des 5 points de prélèvements en nappe karstique les plus importants du Bassin de l'Argens ;
- Sur la Nartuby, le volume total prélevé pour l'AEP sur le bassin est évalué à 8,4%. En 2009, les prélèvements ayant un impact sur les cours d'eau (ressource karstique) sont évalués à 16% du volume prélevé sur cette même année ;
- Les pressions de prélèvement à partir des eaux superficielles (canaux majoritairement) se concentrent sur la période estivale : 41 % en juillet et août ;
- Une campagne de jaugeage a eu lieu sur la Nartuby au niveau de sa confluence avec l'Argens. Les résultats de la campagne de hautes eaux (27/07/2011) et de basses eaux (14/09/2011) sont respectivement de 2,151 et 0,799 m<sup>3</sup>/s.

## 4. Eaux souterraines

### 4.1. Cadre géologique et géomorphologique

Ces chapitres ne constituent qu'une synthèse de l'analyse réalisée par CENOTE dans le cadre de cette étude. **Le rapport complet est intégré à l'annexe I.**

#### 4.1.1. Contexte géologique régional

Située dans le sud-est de la France, le bassin versant de la Nartuby enregistre une histoire géologique polyphasée de plus de 250 Ma. Il s'étend sur la transition entre la Provence cristalline au sud-est (massif de l'Estérel) et la Provence calcaire au nord-ouest (Massif de Canjuers), et dans les zones d'influence des déformations Pyrénéo-Provençale et Alpine (Figure 21).

La géologie du secteur dracénois est influencée par la succession d'épisodes d'extension, de compression, d'enfouissement, d'érosion et d'aplanissement qui ont affecté cette zone depuis le Paléozoïque. Les principales phases géodynamiques sont :

- Le démantèlement de la chaîne varisque (ou hercynienne) mise en place durant le Dévonien d'une compression responsable de grands accidents orientés environ N030. Cette orogénèse se termine au Carbonifère où sont mis en place des grands décrochements sénestres orientés N135 et dextres N045. **Ces deux phases vont conditionner les différents compartiments tectoniques que l'on retrouve encore aujourd'hui à l'échelle de la Provence** (Figure 21).
- Le rifting pangéen avec le permien discordant sur le socle hercynien (des manifestations éruptives se produisent au cours des dépôts). **Dans le secteur d'étude, ces termes se retrouvent au niveau de la dépression du Muy.** Toute la série secondaire (Trias-Jurassique) est concordante avec seulement quelques lacunes.
- Le "Bombement Durancien" après le Barrémien, structure est-ouest de type blocs basculés formant un haut structural au nord de la Provence. Ce système de horsts et grabens est contrôlé par des failles N110 en transtension. Ce bombement a mis à l'émersion les terrains de natures variées, formant une surface intensément karstifiée et bauxitisée.
- La compression Pyrénéo-Provençale se manifeste jusqu'à l'Eocène avec des directions de compression stables orientées environ N-S. Cette tectonique polyphasée est à l'origine de grandes structures provençales orientées est-ouest. **Dans le secteur, cette phase se manifeste par la mise en place de vastes rides flexurales orientées E-W dans lesquelles se déposent des sédiments fluvio-lacustres.**
- Le rifting ouest européen à l'Oligocène provoquant une extension N0 à N135, et l'ouverture du bassin liguro-provençal. La phase d'extension fini-oligocène a entraîné la dérive du bloc corso-sarde et l'ouverture du Golfe du Lion jusqu'à la fin du Burdigalien. **Cette phase se traduit dans le secteur par la création de bassins d'effondrement globalement N-S (Brovès au nord de la zone d'étude, ou Ampus).**



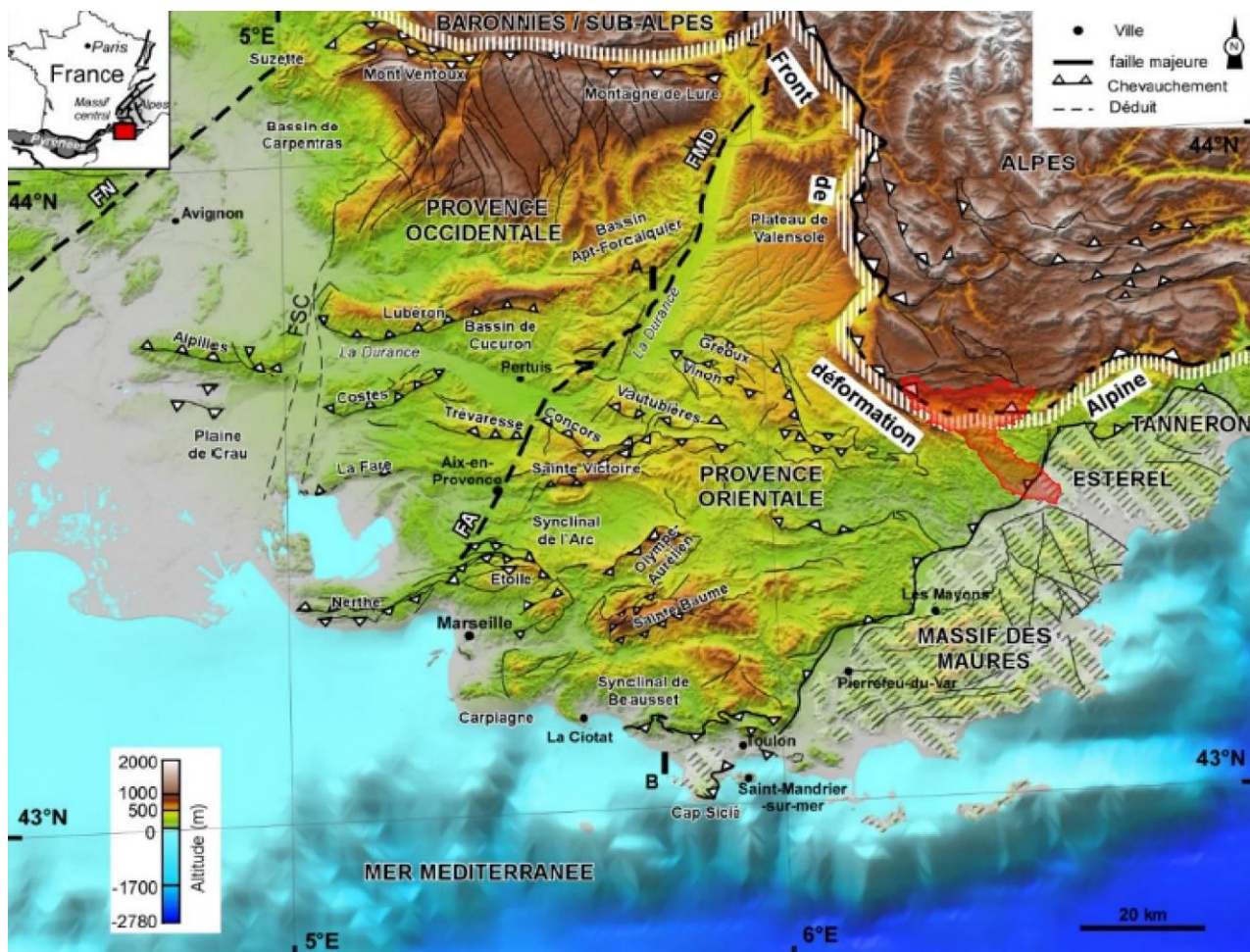


Figure 21 : Localisation du bassin versant de la Nartuby dans Le bassin d'avant-pays de Provence modifié d'après Bestani (2014)

- Le Mio-pliocène est marqué par la phase Alpine avec la convergence de l'Afrique et l'Europe. Cette phase de compression globalement N20 à l'échelle du bassin versant entraîne la formation de plis et chevauchement d'orientation E-W. L'accentuation des phénomènes compressifs entraîne la rupture des flancs qui s'écaillent et chevauchent vers le sud. Ces accidents sont accompagnés par la formation de décrochements conjugués N20 senestres et N130 dextres. Le système hérité de fossés N-S est découpé par des failles inverses E-W et des décrochements. Dans les enregistrements sédimentaires cette phase est marquée dans le secteur par des dépôts continentaux.
- Le Quaternaire, notamment le Pléistocène, est marqué par une phase de calme tectonique relatif et une phase de réajustement isostatique marquée par la surélévation de la région, conduisant à une forte érosion et altération.

#### 4.1.2. Stratigraphie

Sur un axe SE-NW, depuis le bassin du bas Argens et la confluence avec la Nartuby jusqu'aux plateaux carbonatés de Canjuers (Figure 22), la série stratigraphique est sujette à des changements latéraux de faciès et d'épaisseur. Il n'existe pas de stratigraphie détaillée de la zone. Néanmoins celle-ci peut être globalement restituée par la succession suivante (Figure 23) :

- Le socle carbonifère et anté-carbonifère affleure à l'extrême sud-est du BV de la Nartuby. Il est essentiellement constitué de terrains cristallins paléozoïques.
- Permien : il est composé successivement des formations du Muy, du Mitan, de la Motte et des Arcs. La stratigraphie est hétérogène et composée principalement d'arkoses, plus ou moins fines, parfois conglomératiques et dont la couleur varie du jaune au rose en surface. Ces arkoses contiennent des galets de roches cristallophylliennes ainsi que des fragments de rhyolite. On y retrouve également des passées d'argiles rouge brique, de grès et de sables beiges, roux ou rougeâtres. Dans la partie est du bassin du Luc, le Permien repose en discordance sur les micaschistes des Maures. La puissance de ces formations détritiques n'est pas constante puisque dépendante de petits bassins.
- Trias inférieur (grès bigarré provençal) : discordant sur le permien, il est constitué de grès blancs et roses, grossiers, arkosiques et micacés à dragées de quartz. Son épaisseur oscille entre 10 et 30 mètres.
- **Trias moyen (Muschelkalk)** : la série est principalement carbonatée et successivement composée par des dolomies grises, cargneules, marnes et évaporites ("anhydrite group"), des calcaires et des dolomies blanches. Plusieurs unités sont individualisées avec de la base vers le sommet (Toutin-Morin *et al.*, 1994) :
  - Unité C : calcaires jaunes, marnes puis brèche/cargneules,
  - Unité D (35 m) : calcaires gris à noir ;
  - Unité E (10 m) : marnes et évaporites ;
  - Unité F (45 m) : calcaires et dolomies

L'épaisseur totale est voisine de 150 m. La formation affleure au sud du secteur de Draguignan. Les calcaires triasiques sont affectés par des phénomènes d'altération et d'effondrements par suite de la dissolution des gypses. Cet étage affleure largement sur les plateaux en rive droite et gauche de la Nartuby au niveau de Trans-La Motte et plus largement sur "l'avant pays triasique" au-dessus du Permien au contact des formations de socle du massif des Maures et de l'Estérel. Dans le secteur de Draguignan, ils sont noyés sous les colluvions et alluvions de la plaine de la Nartuby. Les sources salées suggèrent que cette formation renferme également du sel gemme (halite).



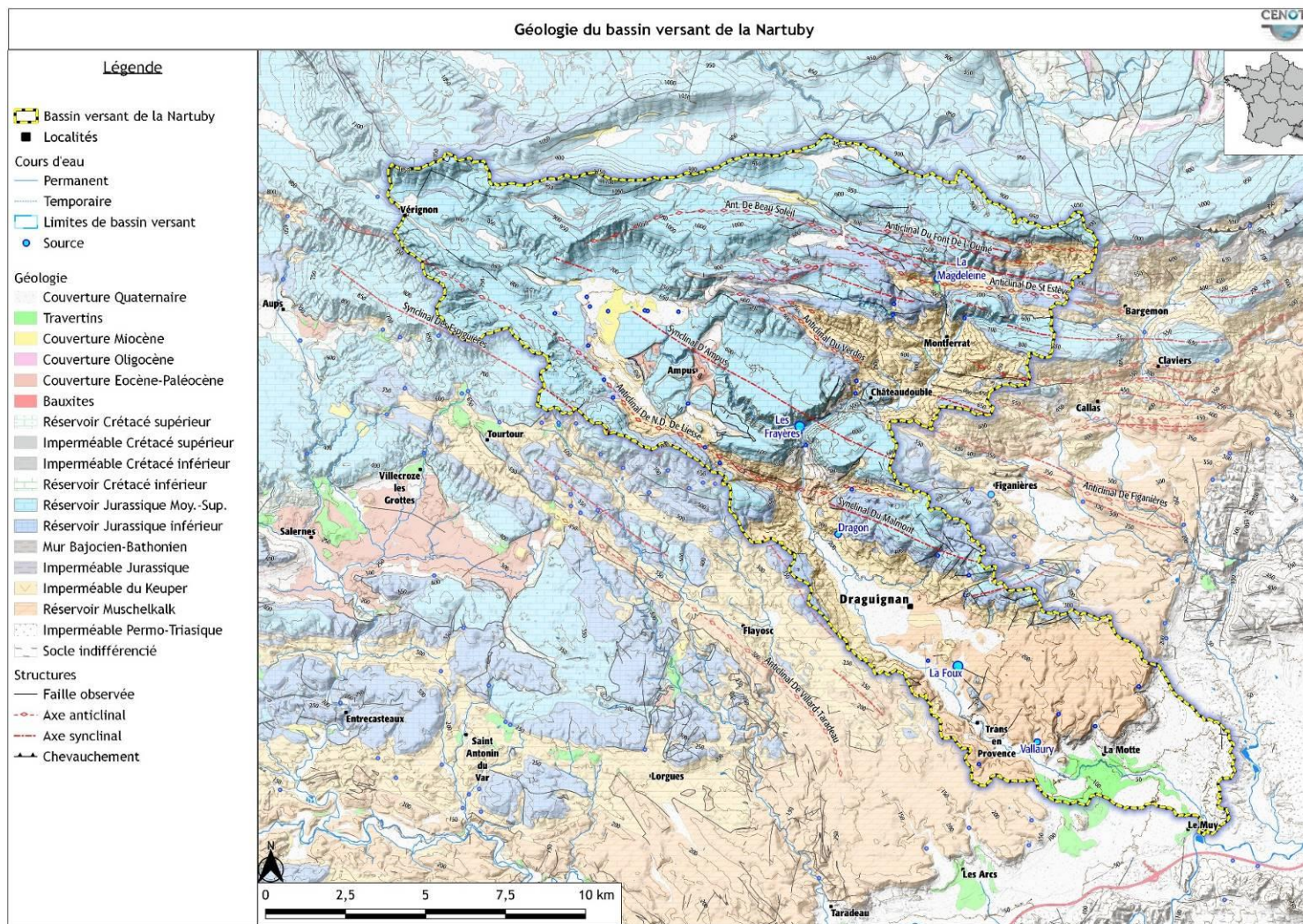


Figure 22 : Carte géologique simplifiée du bassin versant de la Nartuby. Modifiée d'après BRGM BD Charm 50.



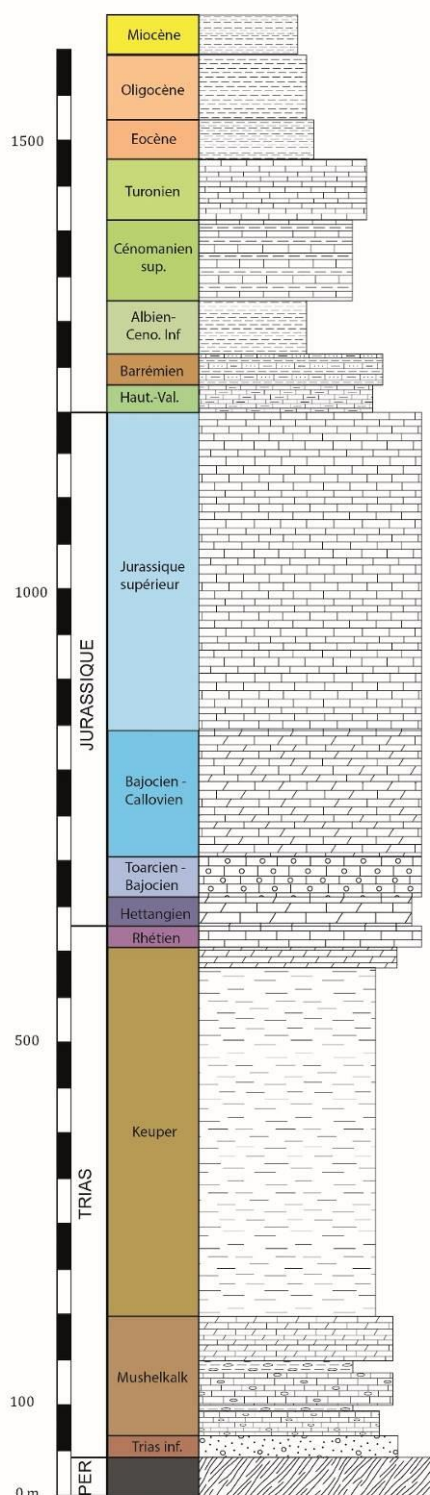


Figure 23 : Log stratigraphique simplifié du bassin versant de la Nartuby

- **Trias supérieur (Keuper) :** la formation du Trias supérieur ou Keuper affleure largement sur le secteur Dracénois ainsi que plus au nord. La stratigraphie du Keuper présente de la base au sommet :

- Des marnes jaunes et du gypse avec cargneules, des dolomies cargneulisées en bancs stratifiés, des argiles noires à gypse, des argiles plastiques à lignites ;
- Des dolomies stratifiées et des marnes vertes avec cargneules et gypse ;

L'étage du Keuper est affecté par la tectonique, mais également par les phénomènes d'érosion et de dissolution du gypse, ce qui lui donne un aspect « chaotique ». Cet étage est considéré comme imperméable dans son ensemble, sauf en cas de dissolution du gypse à la faveur de discontinuités préexistantes. Son épaisseur peut dépasser 800 m.

- Trias terminal (Rhétien) : D'une épaisseur d'environ 60 m, il est essentiellement constitué de calcaires et de marnes.
- Hettangien (Jurassique inférieur) : il est constitué par des dolomies blanchâtres ou grises cendrées, calcaires, marnes. Sa puissance peut atteindre 80 mètres.
- Toarcien à Bajocien (Jurassique inf. à moyen) : série de calcaires à silex intercalés avec quelques lits de marnes jaunes et calcaire-marneux. Son épaisseur est d'environ 60 à 80 m.
- Bajocien à Callovien (Jurassique moyen) : Puissante série monotone de calcaires marneux jaunes et gris, alternant avec des marnes un peu schisteuses. Les calcaires sont progressivement envahis par la dolomitisation. Le Bathonien se montre partout à l'état de dolomies grises bien stratifiées à la base. Au sommet, sur une épaisseur d'environ 100 m, les formations sont composées de calcaires durs, zoogènes, oolithiques et graveleux, jaune clair ou jaune miel, bien lités.

- **Jurassique supérieur** : cette série carbonatée forme l'ossature des Plans de Canjuers. La série présente des calcaires blancs passant progressivement à des dolomies vers le NW, avec quelques niveaux de calcaires marneux et marnes. Son épaisseur est variable augmentant d'est en ouest d'environ 200 à 300 m jusqu'à plus de 1000 m dans le Verdon.
- Valanginien-Hautérivien : Ces étages sont représentés par une série de marnes et marno-calcaires gris ou jaunes. La puissance de cette série varie de 40 à 70 mètres.
- Barrémien : Il est constitué de calcaires blancs légèrement marneux à intercalation marneuses. L'épaisseur moyenne est de 30 mètres.
- Bauxite : les dépôts d'altérites de type bauxite sont les témoins d'une phase de karstification ancienne. Sur le plateau d'Ampus et le Bois des Prannes, ces bauxites se développent sur le Jurassique supérieur dolomitique. Dans le secteur des Tuilières et du Bois de Saint-Val (au sud-est du massif du Malmont), les formations bauxitiques apparaissent remaniées sous forme d'aramonite et de brèches à bauxite.
- Albien-Cénomaniens : Il s'agit d'une puissante série de marnes noires avec quelques intercalations marno-calcaires
- Cénomaniens supérieurs : Formation de calcaires marneux détritiques ou graveleux, compacts, de teinte beige clair d'une puissance d'environ 150 mètres.
- Turonien : Série de 40 à 80 mètres de calcaires zoogène durs avec de minces lits de marnes vertes.
- Eocène : il s'agit essentiellement de sables, marnes et de conglomérats d'une puissance de 40 à 100 mètres. Il affleure notamment sur le plateau d'Ampus et correspond à une série lacustre argileuse et calcaire avec des sables fluviaux torrentiels bleutés à dragées de quartz et galets de roches cristallines.
- Oligocène (stampien continental) : Il affleure principalement dans les fossés d'effondrement (Luby, Brovès) et est constitué de marnes grises, jaunes ou orangées, à passées de grès noduleux et verdâtres en dalles minces. Localement, les horizons peuvent être conglomératiques. Son épaisseur maximale est d'environ 100 mètres.
- Miocène moyen (Vindobonien) : il affleure également sur le plateau d'Ampus et correspond à des formations lacustres discontinues et de faciès variés, notamment des marnes jaunes, calcaires lacustres et conglomérats d'une épaisseur d'environ 20 m.

Des massifs de travertins se développent au débouché de la vallée de la Nartuby dans la dépression permienne entre Trans et la Motte (Figure 24). Ce massif de travertins est constitué de plusieurs entablements étagés, et qui se retrouve aujourd'hui jusqu'à 50 m au-dessus de la Nartuby. Le sommet est daté du la fin du Pléistocène (Tyrrhénien).



Figure 24 : Le Saut du Capelan à La Motte recoupant les travertins Pléistocènes.

### 4.1.3. Contexte structural et tectonique

Structuralement, le secteur d'étude se situe à la transition entre le domaine Alpin des chaînons du Verdon et de Canjuers au nord, et le massif cristallin des Maures au sud.

La série stratigraphique comprend deux ensembles calcaréo-dolomitiques principaux (Muschelkalk et Jurassique) séparés par l'épaisse série marno-gypseuse du Keuper. Les affleurements de marnes-gypseuses supportent les assises carbonatées jurassiques profondément entaillées par les réseaux hydrographiques de la Nartuby, de la Nartuby d'Ampus et de l'Endre (Figure 22).

Les différentes phases tectoniques notamment les compressions pyrénéo-provençale et alpine, ont favorisées le décollement de la couverture mésozoïque carbonatée sur les terrains triasiques contenant des niveaux à évaporites. **Il en résulte une structure de la couverture carbonatée présentant un faisceau de plis de direction WNW-ESE** plus ou moins écaillés qui dominent « l'avant pays triasique ».

Structuralement, l'ensemble Jurassique supérieur constitue une unité massive et compétente. Elle est affectée par un morcèlement dû aux failles et aux effets de bascules. Cette structure laisse apparaître des **langues de carbonates jurassiques s'étendant vers le SE entrecoupées d'affleurements de Keuper apparaissant dans les structures anticlinales et au gré des talwegs.**

**Sur les terrains jurassiques au nord et nord-est, quatre directions majeures de fracturation sont identifiées** : N0, N20-50, N90 et N130. Les failles N20-50 et N130 correspondent en majorité à des accidents décrochants conjugués issus de la phase alpine. Les failles N90 ont des rejets faibles et n'interviennent que très peu dans la structure générale ; ce sont des failles qui bordent les structures synclinales orientées Est-Ouest. Les failles N-S délimitent des fossés de type graben dont les accidents présentent des pendages fort en vis-à-vis (Ampus).



Du SW au NE, les traits structuraux majeurs suivants sont distingués (Figure 22) :

- **Plis NW-SE de la série jurassique de la zone de Tourtour-Flayosc-Draguignan** qui apparaît en synclinaux (Espiguières, Puy de la Sigüe, Malmont). Dans son prolongement, au Sud de Draguignan, le Muschelkalk est affecté par des ondulations et des accidents NW-SE ou N-S. À l'Est de Draguignan les plis tendent à s'orienter E-W (petit massif triasique du Bois de St Val).
- Vers le NW, le **synclinal du Puy de la Sigüe** est relayé par celui des Espiguières, limité au Sud par une ligne de chevauchements dirigés vers le Sud (chevauchement d'Aups).
- **Zone anticlinale de Gypières-Rebouillon** faisant affleurer le Keuper aux Gypières, à ND de Liesse, au Nord du Puy de la Sigüe, et le Muschelkalk à Rebouillon. Il y a chevauchement du Keuper sur le Jurassique d'Ampus au Sud de ce village.
- **Synclinal d'Ampus - Bois des Prannes - La Pale** affecté d'effondrement (fossé d'Ampus) ou de failles (Châteaudouble - les Frayères) , et limité au Nord par la faille (ou pli faille) de Mourjai.
- **Zone du Bois des Blaques : succession de synclinaux et d'anticlinaux serrés**, chevauchant vers le Sud. Ces plis s'amortissent vers l'Ouest, au Nord d'Ampus. Vers l'Est, au-delà de la faille N-S de Montferrat, s'alignent les synclinaux jurassiques de Coste Rousse et du Bois du Puy.
- **Anticlinal de Beau Soleil** se prolongeant l'Est jusqu'à Bargemon. Et le **synclinal des Cinq Salles - Bargemon - Bois de la Pigne**.
- **Zone des écaillés entre la Mathurine et Seillans**. Le Keuper affleure largement (et même le Muschelkalk au NE de Bargemon). Vers l'Ouest (la Mathurine) anticlinaux et synclinaux sont peu écaillés. À l'Est au contraire (Seillans) une série d'écaillés, entre lesquelles affleure le Keuper, sont en position effondrée en-dessous des entablements de calcaires karstifiés de Blaque-Meyanne (nord de Bargemon).
- **Zone triasique Callas - Claviers - Pennafort**. Le Muschelkalk est ici affecté par des plis aigus de direction générale E-W séparés par de larges affleurements de Keuper. Vers le Sud le Muschelkalk a des allures plus tabulaires, et il y a interférence entre la direction générale de plissement E-W ou NW-SE et des accidents (affectant plus au Sud le socle cristallin et le Permien) de direction générale NO à N10.

## 4.2. Contexte hydrogéologique

### 4.2.1. Caractérisation des aquifères

#### 4.2.1.1. Masses d'eau souterraines

Les masses d'eau souterraines présentes au droit de la zone d'étude sont les suivantes :

- FRDG139 : Plateaux calcaires des Plans de Canjuers, de Tavernes-Vinon et Bois de Pelenq ;
- FRDG169 : Calcaires et dolomies du Muschelkalk de l'avant-Pays Provençal.

La masse d'eau FRDG139 est associée au système karstique du Jurassique à l'affleurement principalement dans la partie NW du secteur ainsi que sur le massif du Malmont qui constitue le prolongement SW de la structure synclinale d'Ampus, tandis que la masse d'eau FRDG169 correspond à l'aquifère carbonaté du Trias (calcaires de Muschelkalk).

#### 4.2.1.2. Identification des aquifères

##### 4.2.1.2.1. Aquifère Jurassique

L'aquifère karstique du Jurassique repose sur le substratum du Trias supérieur formé par les marnes du Keuper pouvant dépasser 250 m d'épaisseur. La série Jurassique composée principalement de calcaires et dolomies peut disposer de niveaux argileux pouvant localement jouer le rôle d'écran imperméable (présence locale d'une nappe perchée à l'origine de sources temporaires).

La compartimentation de l'aquifère est d'abord due à la karstification des massifs. Les grands réseaux sont partiellement guidés par la structure du massif avec une double compartimentation imposée par de grands accidents tectoniques (boutures anticlinales) qui peuvent former des barrières aux écoulements.

De grandes unités hydrogéologiques peuvent être décelées au sein de la masse d'eau :

- Plan de Canjuers : au nord du secteur d'étude où siège la ligne de partage des eaux alimentant le bassin versant de la Nartuby et la source de Fontaine L'Evêque sur le bassin versant du Verdon ;
- Montagne de Mons : à l'est du secteur d'étude et séparée de l'unité du Plan de Canjuers par le fossé de Brovès ;
- Secteur du bois de Prannes-Malmont : unité calcaire jurassique orientée nord-ouest/sud-est, qui s'étend vers le sud dans la région de Draguignan.

Des unités jurassiques individualisées sont également présentes au nord du secteur d'étude. Localement exploitées, ou présentant des résurgences en pourtour de massif, elles constituent des aquifères localisés. Le détail de ces unités est présenté dans le chapitre suivant.

La recharge des aquifères karstiques est principalement uniaxe, liée aux apports pluviométriques directs (zones d'affleurement des terrains jurassiques, notamment au droit des indices karstiques : poljé, ponors, dolines...). Elle peut être également indirecte par :

- Contribution par ruissellement sur versants imperméables et pertes dans les aquifères situés en aval ;
- Infiltration dans une unité karstique et transfert souterrain dans une autre ;



- Infiltration dans les réservoirs amonts, restitution aux sources alimentant les cours d'eau aériens puis pertes dans les aquifères karstiques en aval (cas de la Nartuby et de la Nartuby d'Ampus notamment).

Les exutoires sont principalement représentés par les sources en pourtour ou en point bas des massifs. On peut citer par exemple la source des Frayères (principal exutoire du secteur du bois de Prannes :  $Q_{\text{moy}}=170$  l/s), la source de La Doux à Bargemon, la source du Dragon et de Fontvieille en pourtour du massif du Malmont.

Dans sa partie supérieure, l'aquiclude du Keuper présente des faciès carbonatés qui se rattachent à l'aquifère Jurassique. En-dessous, cet étage fortement affecté par la tectonique est considéré comme imperméable dans son ensemble avec plus de 300 m de marnes gypseuse. Sur tout le territoire d'étude, cet étage conditionne la présence de sources en agissant comme mur de l'aquifère jurassique sus-jacent, ce qui marque un argument indirect du rôle étanche de ce niveau. Des phénomènes de drainance pourraient néanmoins se produire dans cet étage par le relais de lentilles gypseuses partiellement connectées à la faveur de discontinuités préexistantes.

#### 4.2.1.2.2. Aquifère Muschelkalk

On distinguera l'aquifère des calcaires du Muschelkalk qui constitue une ressource majeure sur le territoire. Les calcaires et dolomies du Muschelkalk inférieur à supérieur peuvent atteindre une épaisseur d'une centaine de mètres et présentent une altération à l'origine d'un réseau karstique. La base du Muschelkalk peut présenter une nature gypseuse ou inclure la présence de lentilles de sel gemme (halite) à l'origine de résurgences fortement minéralisées.

L'ensemble des carbonates forme un réservoir aquifère important dont le drainage s'effectue vers une série d'émergences au point bas du contact entre le Muschelkalk et l'incision de la Nartuby. Une série d'émergences sourdent en rive gauche de la Nartuby entre Trans-en-Provence et La Motte avec des venues d'eau massives dans le cours de la Nartuby en aval des gorges de Trans-en-Provence (rapport de débit de l'ordre de 2 fois entre le débit en amont des gorges et en aval à la station Retru).

Le principal exutoire visible de cet ensemble est constitué par la source de la Foux (entre Draguignan et Trans-en-Provence). Cet exutoire est situé en retrait amont et un peu plus haut (160 m) de la ligne d'émergence aval à 110 m d'altitude. Cette source, impropre à la consommation, est fortement minéralisée, chargée en sulfates et chlorures (2,5g de résidus secs et 1g de NaCl avec une conductivité supérieure à 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), et avec un débit moyen de l'ordre de 800 à 900 l/s. Cette minéralisation est due au lessivage et à la dissolution des dépôts d'évaporites intercalés dans la série triasique. **La source de La Foux semble être alimentée par des eaux d'origines différentes :**

- Cette source semble être alimentée en partie par les infiltrations d'eau superficielle de la Nartuby à la faveur des zones de pertes identifiées entre la Clappe et St Hermentaire ;
- Il est fort probable que cette source draine au moins en partie le massif de Muschelkalk s'étendant au nord de Trans-en-Provence et La Motte jusqu'au sud de Callas.

Plus à l'est, l'aquifère nourrit également le long de la bordure permienne une série d'émergences de débits modestes dont, en règle générale, le débit décroît et la concentration en sels croît avec l'altitude.

Dans l'ensemble, **les formations du Trias supérieur (Keuper) jouent bien le rôle d'écran entre les karsts triasique et jurassique.** Le socle Permien constitue la base imperméable de l'aquifère.

L'aquifère est rechargé par les apports pluviométriques sur les zones d'affleurement et indirectement par les pertes de la Nartuby et les apports en provenance des unités hydrogéologiques du Jurassique en amont du bassin versant.

Mangan (2008) estime ainsi que les exutoires du Muschelkalk peuvent être alimentés par des apports extérieurs jusqu'à hauteur de 45%, le reste provenant des infiltrations directes dans le massif carbonaté. Ces infiltrations sont concentrées sur certains points d'absorption privilégiés (ponors, poljé, dolines...), mais peuvent être retardées par la faible capacité du réseau karstique (dimension, colmatage) [75].

#### 4.2.2. Identification des unités hydrogéologiques

La description complète des unités hydrogéologiques identifiées est intégrée au rapport de CENOTE présenté en annexe I. Les modalités de définition de ces unités hydrogéologiques sont argumentées dans le rapport.

Au sein du bassin versant de la Nartuby, les unités hydrogéologiques karstiques concernent environ 61 % de la superficie soit 141 km<sup>2</sup> sur les 232 km<sup>2</sup>. Il est à noter deux points :

- Ces unités s'étendent largement en dehors des limites du BV de la Nartuby sur 126 km<sup>2</sup> ;
- Près de 91 % de la surface du territoire est concerné par des terrains pouvant receler ou contribuer à l'alimentation des ressources en eau souterraines si l'on considère les zones de contributions potentielles situées au nord (36 km<sup>2</sup> dans l'axe Plan de Cluaye-Auveine-Ranguis) ainsi que les zones d'alimentation par ruissellement pouvant contribuer par pertes aux unités situées en aval (36 km<sup>2</sup>) (versants de Montferrat).

##### 4.2.2.1. Unités hydrogéologiques du Jurassique

A l'échelle du bassin versant, 8 unités hydrogéologiques associées à l'aquifère du Jurassique sont identifiées. Leurs principales caractéristiques sont présentées dans le tableau en page suivante, et leur localisation est intégrée à la Figure 26.

##### 4.2.2.2. Unités hydrogéologiques du Muschelkalk

A l'échelle du bassin versant, 2 unités hydrogéologiques associées à l'aquifère du Muschelkalk sont identifiées. Leurs principales caractéristiques sont présentées dans le tableau en page suivante, et leur localisation est intégrée à la Figure 26.

Unité hydrogéologique	Surface	Géologie	Morphologie structurale	Exutoire principal	Recharge	Systèmes de drainage	Relation avec d'autres milieux
<b>Aups-Fontigon</b>	44 km <sup>2</sup>	Jurassique inférieur et supérieur	Anticlinal de N.D. de Liesse et synclinal des Espiguières (N120)	Source du Rosaire (20 l/s)	Unaire	Données insuffisantes pour déduire des sous-systèmes	Alimentation partielle de l'unité d'Ampus-Frayères
<b>Puy de la Sigüe</b>	11,7 km <sup>2</sup>	Jurassique inférieur et moyen-supérieur	Synclinal des Espiguières (N120) bordé par deux anticlinaux	Sources de bordure nord (1 à 20 l/s)	Unaire	Un compartiment NW et un compartiment SE séparé par un accident	Peu ou pas d'interactions
<b>Ampus-Frayères</b>	55 km <sup>2</sup>	Jurassique inférieur à supérieur	Structure synclinale ouverte (plateau d'Ampus), N120, bordée par des anticlinaux	Source des Frayères (170 l/s)	Binaire	3 systèmes probables : Frayères, Ferrières, Massif de l'Englugi et d'Aby	(1) Alimentation par unité d'Aups-Fontigon + Nartuby et unités amonts (?) (2) Contribution à la Nartuby
<b>Bivosque</b>	5,7 km <sup>2</sup>	Jurassique inférieur à supérieur	Synclinal des Blaques (N120) bordé par deux anticlinaux au nord et au sud (anticlinal de Verdos)	Source du Tuf (10 l/s)	Unaire	2 systèmes : source du Tuf et source de Bivosque	(1) Connexion avec unités Ampus-Frayères ? (2) Contribution à la Nartuby
<b>Magdeleine</b>	11,9 km <sup>2</sup>	Rhétien au jurassique supérieur	Succession d'anticlinaux et synclinaux (5 Salles, Mathurine)	Source de la Magdeleine	Unaire	Un compartiment drainé vers Magdeleine	Contribution à la Nartuby
<b>Favas</b>	3,5 km <sup>2</sup>	Jurassique inférieur	Synclinal relayé par l'anticlinal de St Estève au sud	Forage AEP de St-Roch-Le Stade	Binaire	Un compartiment drainé vers l'est	Peu ou pas d'interactions
<b>Coste-Rousse</b>	7 km <sup>2</sup>	Jurassique inférieur et moyen-supérieur	Synclinal de Coste Rousse	Source de Pierrepont (100 l/s)	Binaire	2 systèmes : Pierrepont et La Doux	Contribution à la Nartuby et Riou de Claviers
<b>Malmont</b>	18 km <sup>2</sup>	Rhétien au jurassique supérieur	Structure sub-tabulaire à synclinale N120, faille NE-SO de la Tuilière	Source du Dragon (17 l/s), Fontvieille	Unaire	Plusieurs systèmes de drainage karstiques sollicitant un même réservoir	Contribution à la Nartuby et Rioufreid

**Tableau 4 : Synthèse des caractéristiques karstologiques des unités hydrogéologiques du Jurassique**

Unité hydrogéologique	Surface	Géologie	Morphologie structurale	Exutoire principal	Recharge	Systèmes de drainage	Relation avec d'autres milieux
<b>La Foux</b>	66 km <sup>2</sup>	Trias moyen (Muschelkalk)	Anticlinal de Figanières	La Foux (800-900 l/s)	Binaire	3 compartiments : Sainte Anne (Figanières-Callas), La Foux (Draguignan-Rebouillon), Trans-La Motte	Alimentation partielle par des pertes des cours d'eau : Nartuby, Rioufreid (?), Garidelle (?)
<b>Les Arcs</b>	42 km <sup>2</sup>	Trias moyen (Muschelkalk)	Structure anticlinale N-S sur l'axe Flayosc-Taradeau	Source Ste Cécile (1-30 l/s)	Binaire	Données insuffisantes pour déduire des sous-systèmes	Peu ou pas d'interactions

**Tableau 5 : Synthèse des caractéristiques karstologiques des unités hydrogéologiques du Muschelkalk**



#### 4.2.2.3. Synthèse du diagnostic karstologique

Le bassin versant de la Nartuby recèle de nombreux indices karstiques attestant de l'évolution de la structuration des réservoirs karstiques et de l'organisation des chemins de drainage.

Il est à retenir dans le secteur que :

- L'impact de la crise de salinité messinienne (- 1500 m d'eau dans la Méditerranée) durant le Miocène terminal (5,96 à 5,32 Ma) ne semble pas se traduire sur le bassin versant de la Nartuby. Ce n'est que plus au sud-est dans la basse vallée de l'Argens que se retrouvent les témoins de vallées surcreusées au Messinien et envahies par la mer au Pliocène inférieur et transformées en rias. Mais cette incision ne semble pas s'être propagée loin dans les terres et son impact dans la structuration des réseaux karstiques sur le versant Dracénois paraît négligeable. **Il en résulte que les réseaux de drainage ne sont pas structurés largement sous le niveau de base actuel. Les ressources sous le niveau de base actuels sont par conséquent modérées du fait de faible développement de réseau karstiques.**
- L'essentiel de l'organisation des chemins de drainage souterrain s'est effectué durant le Plio-quaternaire, phase durant laquelle le gradient d'altitude évolue fortement. Cette organisation est en relation avec la tectonique alpine (phase rhodanienne) en compression NE-SW, **induisant raccourcissement et exhaussement des unités**, chevauchements et décrochements (Laurent *et al.*, 2000). Les niveaux de base sont alors contrôlés vers le sud par l'incision du réseau hydrographique et vers nord par le bassin de Valensole.
- La phase néotectonique du Pléistocène ancien, jouant en compression NE-SW, a surélevé le front subalpin, mais aussi les autres unités chevauchantes. Elle a entraîné un approfondissement des canyons et un abaissement du niveau des circulations hydrologiques sous les Plans. Les surfaces alors portées en altitudes (920 à 640 m) sont soumises au soutirage karstique où se développe des champs de dolines, agencés suivant la fracturation héritée des phases tectoniques successives, et rouverte par un jeu général en distension et le processus de détente (Nicod, 2004). Dans les poljés et les ouvalas, les vieux sols fersiallitiques (terra rossa) sont érodés et migrent à l'intérieur des réseaux karstiques.

C'est durant cette phase Plio-Pléistocène que l'abaissement relatif du niveau de base engendre probablement la mise en place de la Nartuby, l'incision des gorges de Châteaudouble et la réorganisation des chemins de drainage. Les structures de drainage initialement structurées en direction du Verdon sont ici capturées par le cours de la Nartuby qui crée des fenêtres hydrogéologiques à la faveur des incisions dans les séries carbonatées. C'est ici le cas des sources apparaissant aux points bas des formations carbonatées en relation avec l'incision : la Magdeleine, Bivosque, et les Frayères et Ferrières. **Ces sources constituent aujourd'hui des systèmes conquérants sur les réseaux de drainage initialement structurés en direction du verdon et des systèmes de Fontaines l'Evêque.**

La géologie implique des remontées de Keuper imperméable dans l'axe des plis et chevauchements, ce qui suggère une **compartmentation verticale de l'aquifère** avec des phénomènes de seuil de débordement : en dessous d'une certaine cote le drainage se fait probablement vers Fontaine

l'évêque, alors qu'en dessus les écoulements participent probablement aux sources du BV de la Nartuby et notamment des Frayères.

**Le profil de la Nartuby est contraint par la nature des terrains rencontrés.** Lorsque la Nartuby et/ou ses affluents se développent dans les terrains du Keuper, il en résulte un déchaussement des massifs carbonatés sus-jacents. Ce déchaussement est quant à lui à l'origine des sources périphériques notamment celles du Malmont. Mais ce déchaussement rapide des massifs par érosion mécanique peut également être à l'origine de l'absence de réseaux de drainage bien structurés dans la mesure où l'évolution des versants est plus rapide que la structuration des chemins de drainage souterrains.

La dynamique de structuration karstique du réservoir Muschelkalk est en relation avec l'érosion et le recul de la couverture de Keuper. Au fur et à mesure de l'incision des réseaux hydrographiques de surface, l'érosion de la couverture de Keuper révèle des terrains karstifiables. Le ruissellement et la concentration des eaux sur les versants imperméables fournit l'énergie chimique nécessaire à la réalisation de vastes surfaces de corrosion tandis que l'érosion mécanique fournit les insolubles permettant un maintien d'une couverture peu perméable. Il en résulte la formation de poljés développés au contact Keuper-Muschelkalk (Figanières, Callas, Fayence, Montauroux). Ces poljés se sont structurés de manière endoréique ce qui nécessite l'absence des cours d'eau du Rioufreid et du vallon de la Bouisse ainsi que l'absence de la dépression SSW-NNE de La Motte-Esclan. Le drainage se faisait alors sensiblement du nord vers le sud depuis les pertes (ponors) de ces paléo-poljés vers un exutoire (La Foux ?) ou un paléo-exutoire le long du recoupement de ce réservoir par La Nartuby dans la zone de Trans-en-Provence. Les travertins de La Motte, associés des phases humides, interglaciaires, et datée de la fin du Pléistocène (Tyrrhénien  $\approx$  11ka) (Dubar, 1984 ; Toutin-Morin *et al.*, 1994) ont certainement un lien avec les circulations dans le réservoir Muschelkalk. En effet, leur position est en lien avec la présence de la source de la Foux ou un ancien exutoire du massif de Muschelkalk, dont le mélange des eaux en aval avec la Nartuby a provoqué la déstabilisation des équilibres calco-carboniques et engendré la mise en place et l'entretien de ces travertins. Ces travertins sont aujourd'hui entaillés par le cours d'eau et certains entablements se retrouvent 50 m au-dessus du cours actuel ce qui atteste des dynamiques d'incision des vallées durant le quaternaire.

**Ainsi, à l'échelle du bassin versant de la Nartuby les ressources en eau souterraines sont localisées dans les deux aquifères carbonatés karstiques du Jurassique et du Muschelkalk.** Ces deux réservoirs sont séparés par un niveau considéré comme aquiclude, le Keuper marno-gypseux (Figure 23).

**Les écoulements souterrains au sein du réservoir jurassique sont dirigés au niveau du Keuper sous-jacent, puis dans des directions contrôlées structurellement par des plis, et plus exactement par les gouttières synclinales, avec des zones de restitution situées aux points bas des contacts entre les carbonates et les formations imperméables.** Les grandes failles sont susceptibles de jouer un rôle prépondérant dans le drainage des eaux souterraines dans la mesure où elles peuvent constituer, lorsqu'elles affectent la masse carbonatée, une fracturation plus importante qui augmente la connectivité des fractures et induit une perméabilité accrue.

À la base du réservoir jurassique, le rhétien calcaire et marneux, possède une perméabilité relative dans les strates calcaires et faible dans les passées marneuses. En raison de la fracturation d'origine tectonique, l'infiltration et les écoulements dans cette unité géologique rejoignent le contact avec le Keuper.

**Certaines sources montrent des compositions essentiellement bicarbonatées calciques et magnésiennes attestant d'un transit qui s'effectue principalement dans les terrains carbonatés. D'autres sources présentent des teneurs en sulfates élevées. La composition chimique et la disposition de ces sources au contact des terrains du Keuper traduit l'organisation de chemins de**

**drainage selon des karst de contact développés entre les terrains du Keuper marno-gypseux et les terrains carbonatés sus-jacent (Keuper terminal, Rhétien ou jurassique inférieur).**

Le Keuper, puissante série argilo-marneuse et gypsifère, est imperméable. Certaines passées dolomitiques peuvent receler de petits aquifères généralement captifs, peu ou pas réalimentés car inclus dans la masse argileuse.

Stratigraphiquement en dessous et hydrogéologiquement en aval du Keuper, le réservoir du Muschelkalk se développe sur le contact avec le trias inférieur et le socle imperméable.

Sur la rive gauche de la Nartuby l'hydrogéologie conditionnée par l'existence de deux zones d'émergence : (1) la Foux, émergence de débit moyen important (de l'ordre de 800 l/s) et de régime régulier, mais chargée en NaCl, et (2) une zone d'émergence plus diffuse entre Trans et La Motte attesté par un accroissement du débit de la Nartuby. À ces deux zones d'émergences, on est obligé d'attribuer un impluvium très vaste et s'étendant loin vers le NE.

Dans ce réservoir, le problème est d'atteindre les circulations en amont des zones où s'opère la minéralisation. Selon Arvois *et al.* (1969), cette minéralisation s'effectuerait à proximité même de la zone d'émergence de la Foux dans le secteur des Négadis. Mais ce schéma ne permet pas d'expliquer le fonctionnement hydrogéologique de la Foux. Les paléo-poljés de Figanières et de Callas mis en place au contact des formations carbonatées du Muschelkalk suggèrent la structuration de réseaux de drainage en direction du sud, vers le cours de la Nartuby, contribuant au réservoir et ainsi l'existence de potentielles zones productives. **Des études géologiques et hydrogéologiques sont nécessaires afin de mieux contraindre ce réservoir aux potentialités importantes.**

L'alimentation des unités est de type soit unaire soit binaire. Les terrains du Keuper participent activement à la recharge des aquifères en aval du bassin versant via les ruissellements et pertes notamment pour les unités de La Foux, La Doux, Favas. L'unité d'Ampus-Frayères est alimentée par des pertes sur le cours de la Nartuby d'Ampus et pourrait l'être par des apports de la Nartuby à l'entrée des gorges de Châteaudouble. **Ce fait serait à confirmer par des essais de traçage.**

Les relations entre les unités hydrogéologiques sont également à prendre en considération et à confirmer. Ces relations concernent trois modalités principales :

- Par transfert de surface par ruissellement, concentration des eaux dans des pertes contribuant à la recharge d'une unité karstique en aval d'un bassin versant contributif. Ce type d'échange concerne particulièrement l'unité de la Foux ;
- Par transfert par fonctionnement à éclipse d'émergence d'une unité karstique amont contribuant à la recharge d'une unité karstique aval. Ce type d'échange concerne également en premier lieu l'unité de la Foux qui reçoit, via les pertes de la Nartuby, la contribution des sources des unités en amont, mais également l'unité des Frayères susceptible de recevoir la contribution des sources de bordure NE des unités d'Aups-Fontigon, du Puy de la Sigüe et potentiellement des pertes de la Nartuby (donc des unités de Magdeleine-Bivosque et La Doux)
- Par transfert souterrain d'une unité hydrogéologique karstique à une autre, par le biais de la structure géologique ou d'accidents tectoniques réutilisés par la karstification et les circulations souterraines comme cela est susceptible de se produire dans les unités situées au nord du BV de la Nartuby entre les unités d'Aups-Fontigon, Ampus-Frayères, Bivosque, Magdeleine et surtout la zone de partage des eaux souterraines au nord de ces unités dans laquelle le devenir des eaux peut être partagé entre le bassin de Fontaine l'Evêque et le bassin des Frayères.



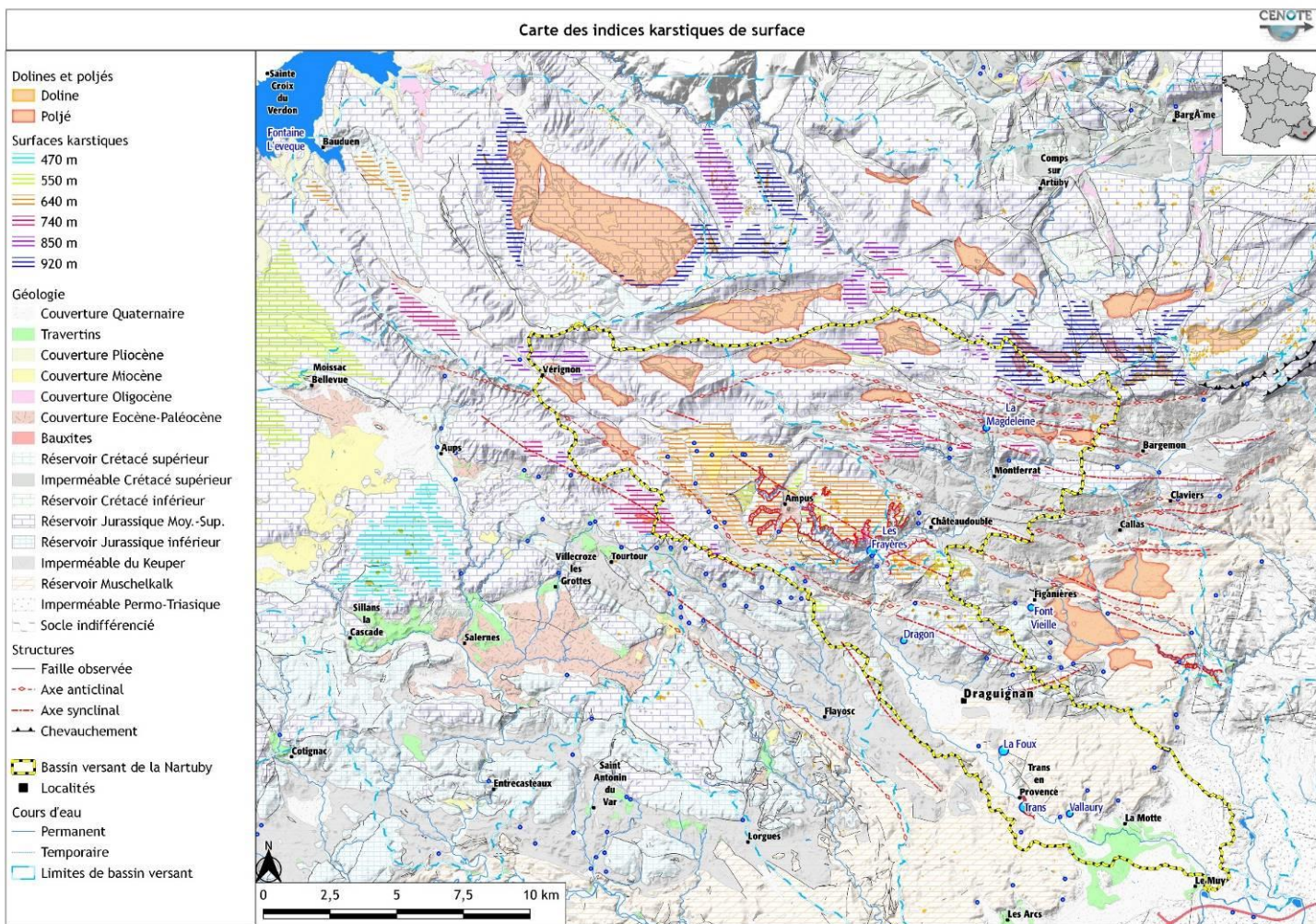


Figure 25 : Synthèse cartographique des surfaces d'aplanissements karstiques identifiées sur le secteur



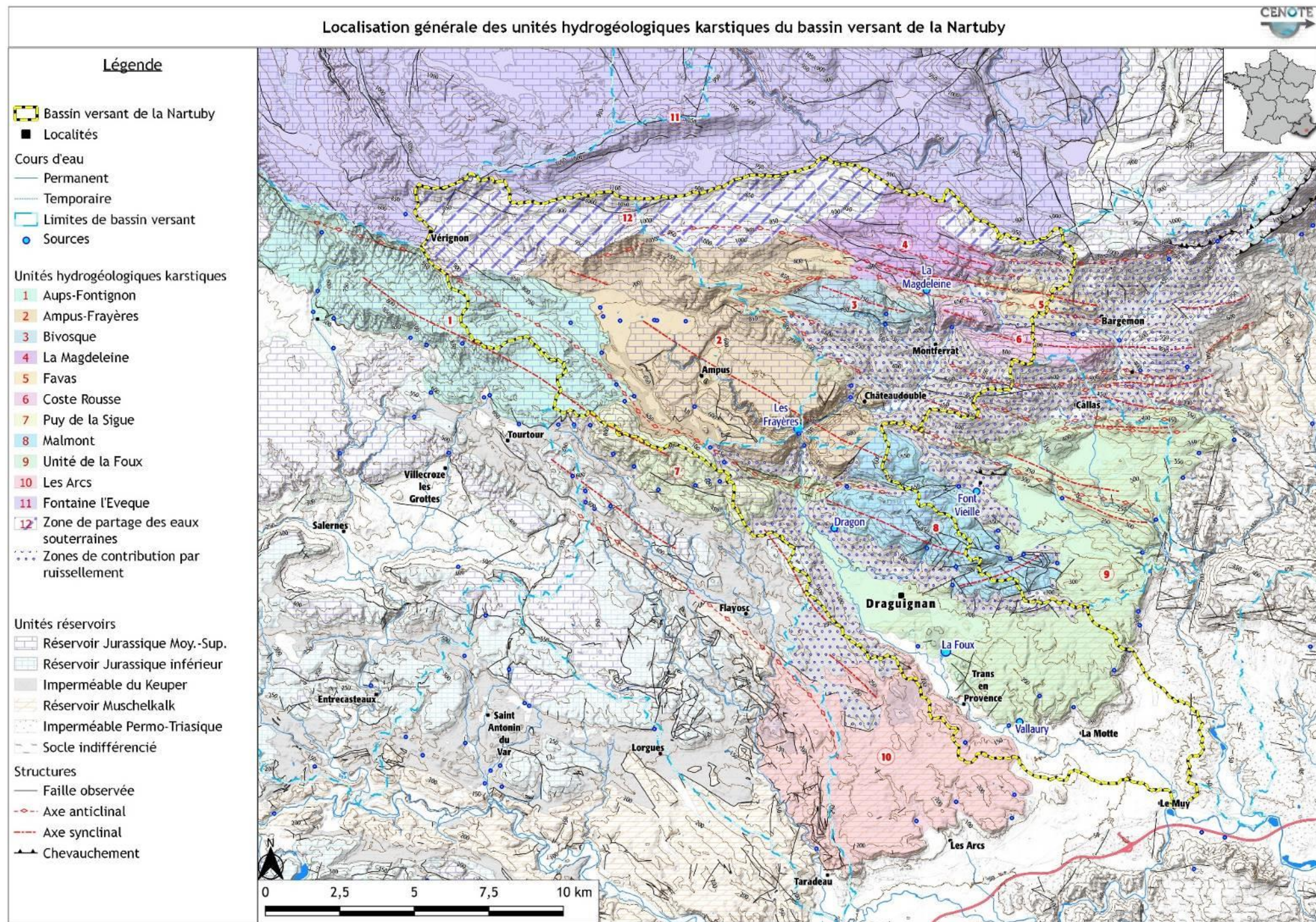


Figure 26 : Localisation générale des unités hydrogéologiques karstiques du bassin versant de la Nartuby



### 4.2.3. Piézométrie

#### 4.2.3.1. Directions d'écoulement

L'organisation spatiale du drainage souterrain est conditionnée par la structure géologique des massifs et, en particulier pour le réservoir jurassique, par la géométrie du compartiment de marnes gypseuses du Keuper (Trias) qui constitue un écran aux circulations souterraines.

D'amont en aval, les écoulements peuvent être décrits par :

- Le drainage de la majeure partie des plateaux de Canjuers vers les sources occidentales de Fontaine l'Evêque, de la Sambuc et des Garrubys, submergées, dans la retenue de Sainte-Croix du Verdon. Ces émergences karstiques offrent un débit moyen annuel de 6 m<sup>3</sup>/s et un régime d'une grande régularité en raison de la forte participation des pertes de rivières à leur alimentation ;
- Le drainage de la partie orientale du massif de Canjuers vers les sources de la Siagnole-de-Mons de Mons (bassin de la Siagne), avec un débit d'étiage d'environ 300 l/s ;
- Le drainage de la partie sud du massif vers plusieurs exutoires jalonnant le contact frontal avec le Trias. La source des Frayères représente la principale émergence, avec un débit moyen annuel de l'ordre de 170 l/s. D'autres exutoires de moindre importance sont localisées proche du contact jurassique/Keuper (sources de Vallauray, de Ste Rosaire et de Béou Téou; de la Madeleine, de l'Adoux, de Baou Roux, du Neisson et de Camandre) ;
- Le drainage du Massif du Malmont par plusieurs exutoires localisés au contact du Keuper (Dragon, Fontvieille) ;
- Le drainage du massif de Muschelkalk au sud-est par la source de la Foux (≈ 900 l/s) et plusieurs exutoires en rive gauche de la Nartuby entre Trans en Provence et La Motte.



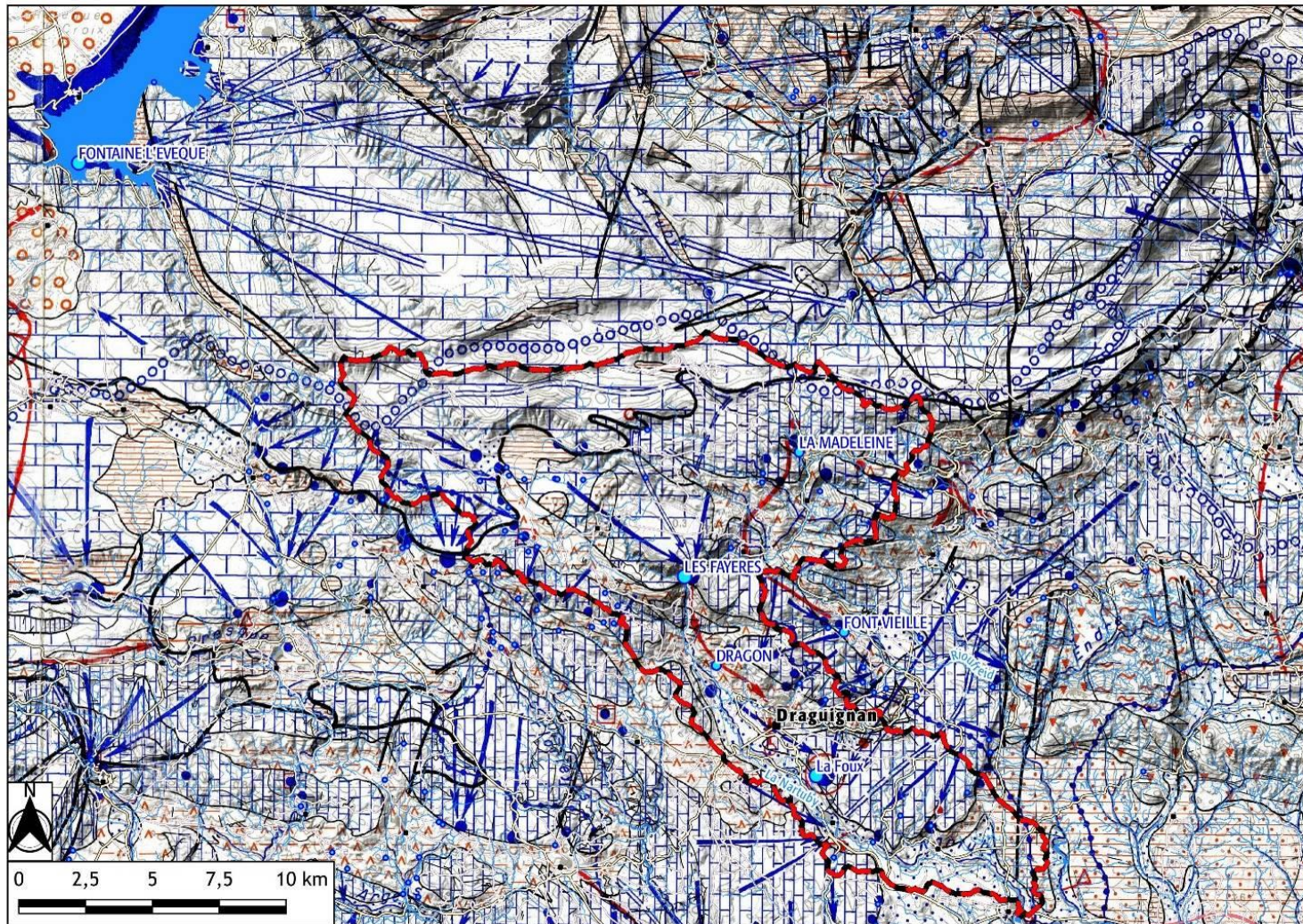


Figure 27 : Extrait de la carte hydrogéologique du Var au 1/200 000 montrant les compartiments hydrogéologiques et écoulements majeurs (CENOTE)



Dans la plaine de Draguignan, plusieurs nappes superficielles ont été distinguées : des nappes de versant de part et d'autre de la plaine en amont de Draguignan, la nappe alluviale de la Nartuby et des nappes dans les formations bréchiques à matrice sableuse et argileuse qui proviennent de la dégradation du Muschelkalk calcaires et des terrains sus-jacents.

Les aquifères superficiels et profonds sont en interactions les uns avec les autres. Les relevés piézométriques, montrent que la dépression de la nappe superficielle, au droit de la source de la Foux, en direction de la cuvette des Négadis présente un important soutirage qui se développe au sein des formations bréchiques, à partir du karst sous-jacent. Cela traduit l'alimentation du réservoir profond par la nappe superficielle, au droit de structures karstiques de type poljé.

Le même dispositif semble s'établir dans les plaines de Figanières, Callas et la petite dépression de l'Etang. Une nappe s'établit dans les alluvions, les épandages de pentes et la tranche des terrains altérés sur les argiles et marnes du Keuper. La carte des surfaces piézométriques (Figure 28) montre, pour les deux plaines de Figanières et de Callas, un drainage par les calcaires du Muschelkalk (Arvois *et al.*, 1969). Dans chaque cas, les eaux se dirigent vers une zone d'absorption située sur l'axe principal de drainage superficiel (vallons de St Pons et de Garidelle).

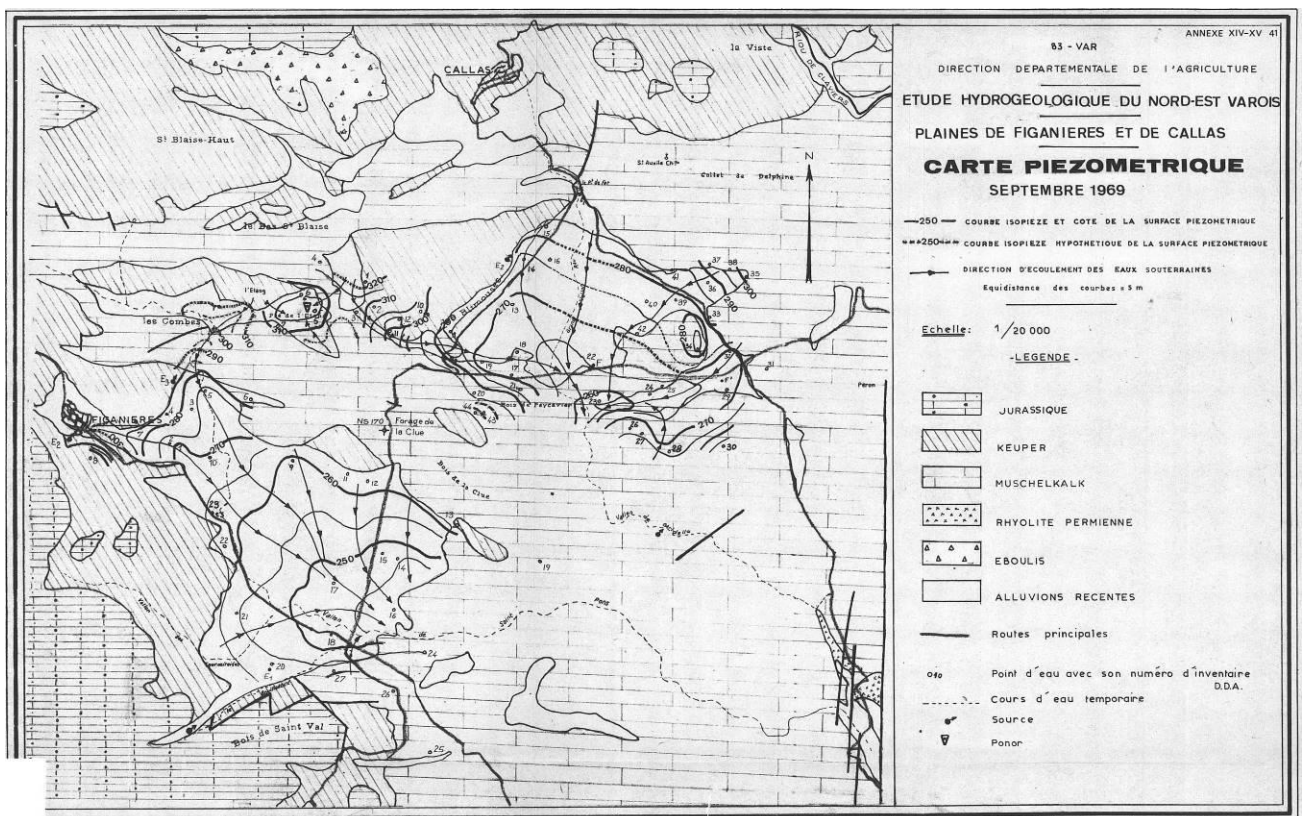


Figure 28 : Carte piézométrique des plaines de Figanières-Callas en septembre 1969 (Arvois *et al.*, 1969)

Concernant la nappe superficielle au droit de la plaine de Draguignan (Figure 30), elle présente un axe de drainage en amont de La Foux. La Nartuby semble drainer la nappe alluviale sur tout son linéaire.

La nappe alluviale semble être alimentée par les versants des massifs environnants de part et d'autre de la Nartuby. Un fort gradient hydraulique existe à la transition entre les marnes du Keuper et les formations alluviales.

Les écoulements convergent vers le sud-est en direction de Trans-en-Provence.



Concernant l'aquifère des calcaires du Muschelkalk, la piézométrie réalisée en 2013 semble variable. La piézométrie est comprise entre 160 et 256 m NGF à l'est de Draguignan. La cote piézométrique dans le secteur de Sainte-Anne et Pont d'Aups atteint environ 170 m NGF **ce qui peut sous-entendre un éventuel équilibre avec la nappe alluviale.**

La carte piézométrique de 1974 indique des cotes piézométriques en accord avec les mesures du BRGM, de l'ordre de 110 m NGF (secteur de Trans-en-Provence) à 160 m NGF (secteur de Pont de Lorgues).

Tout comme la nappe superficielle, les écoulements convergent en direction du sud-est.

Dans la plaine de Draguignan, les écoulements identifiés sont à relier avec la structure du Muschelkalk masquée par le recouvrement alluvial. A partir des données issues de la BSS [65], la cartographie ci-après présente les courbes altimétriques du toit des calcaires du Muschelkalk (isohypses). Ces dernières confirment la présence d'une dépression entre Sante Anne et La Foux (axe de drainage d'autant plus marqué lorsque le point de résurgence est intégré à l'interpolation). La morphologie des isopièzes (Figure 30) est ainsi très similaire à celle des isohypses (Figure 29).

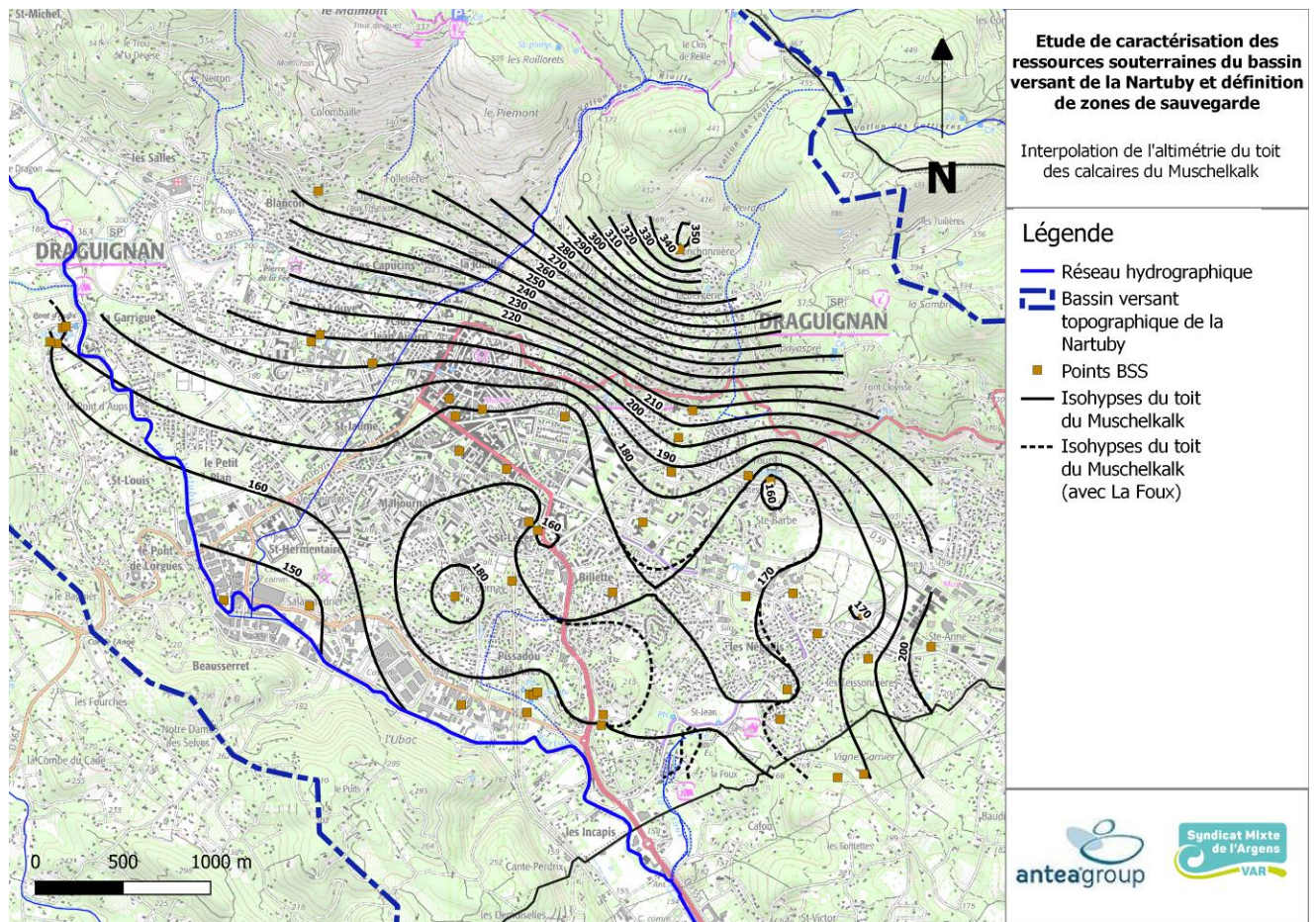


Figure 29 : Isohypses des calcaires du Muschelkalk au droit de la plaine de Draguignan



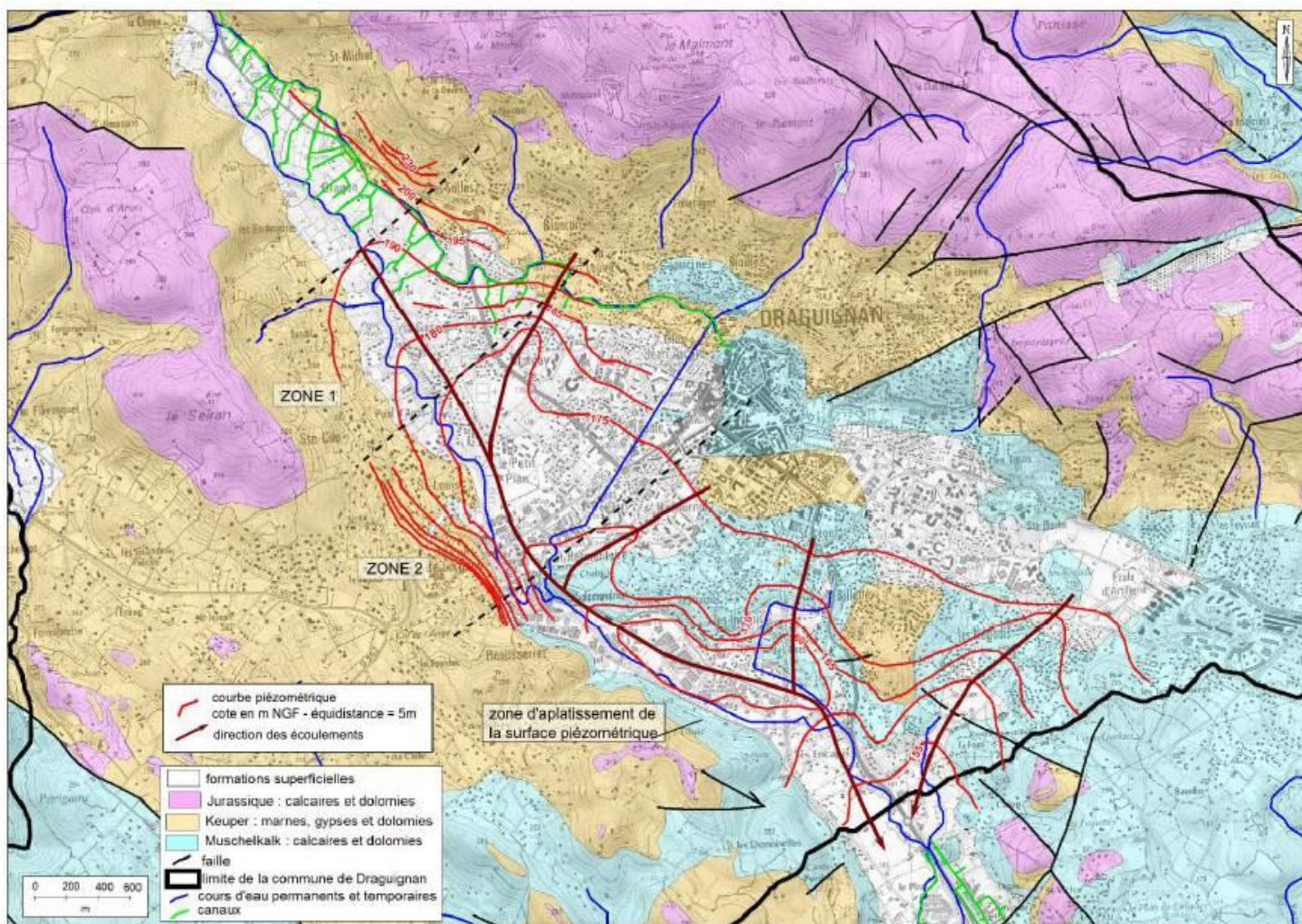


Figure 30 : Carte piézométrique de la nappe alluviale relevée en 1969 (source : BRGM)



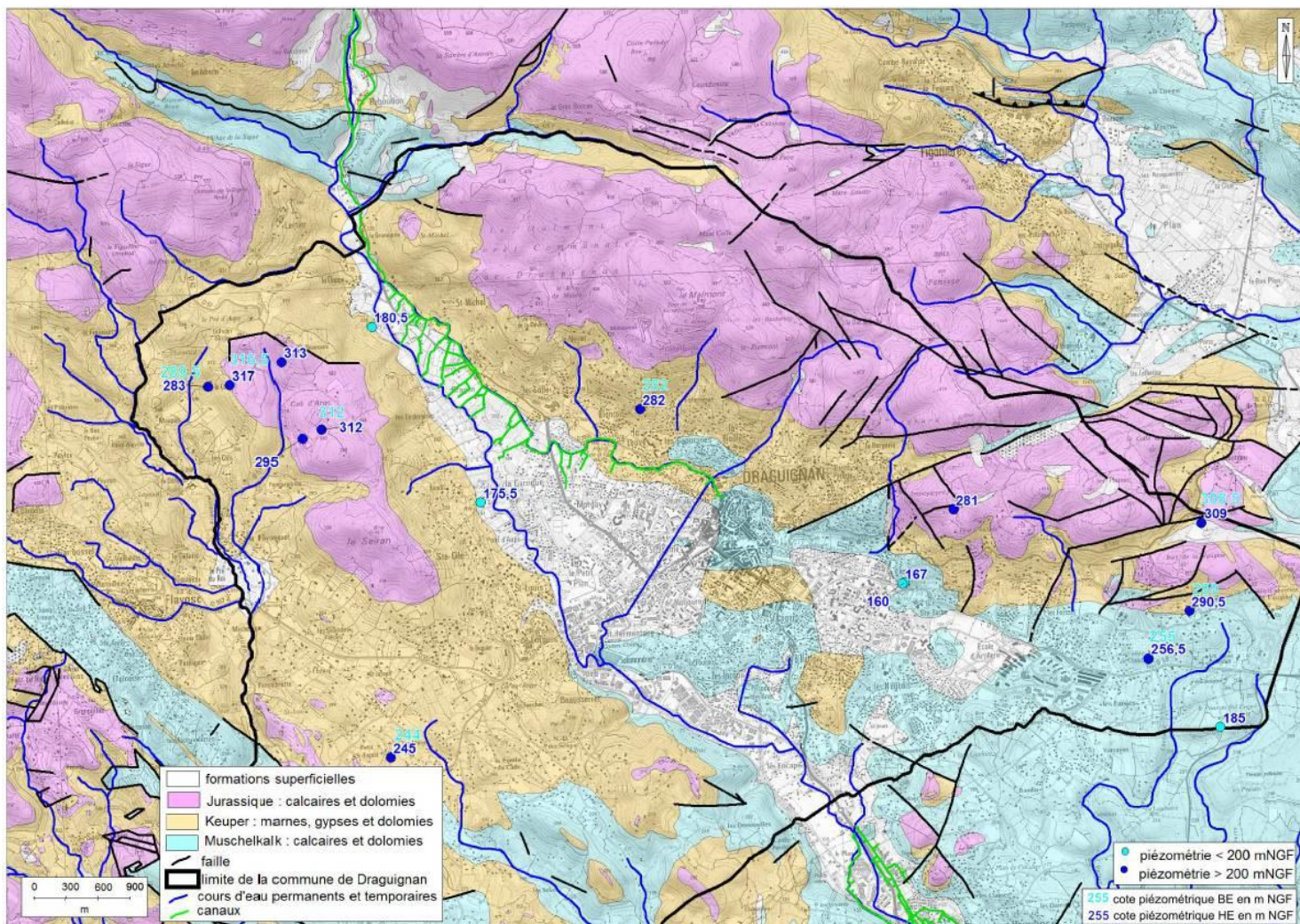


Figure 31 : Campagnes piézométriques (Jurassique/Trias) réalisées en 2013 à Draguignan (BRGM-CEREMA)



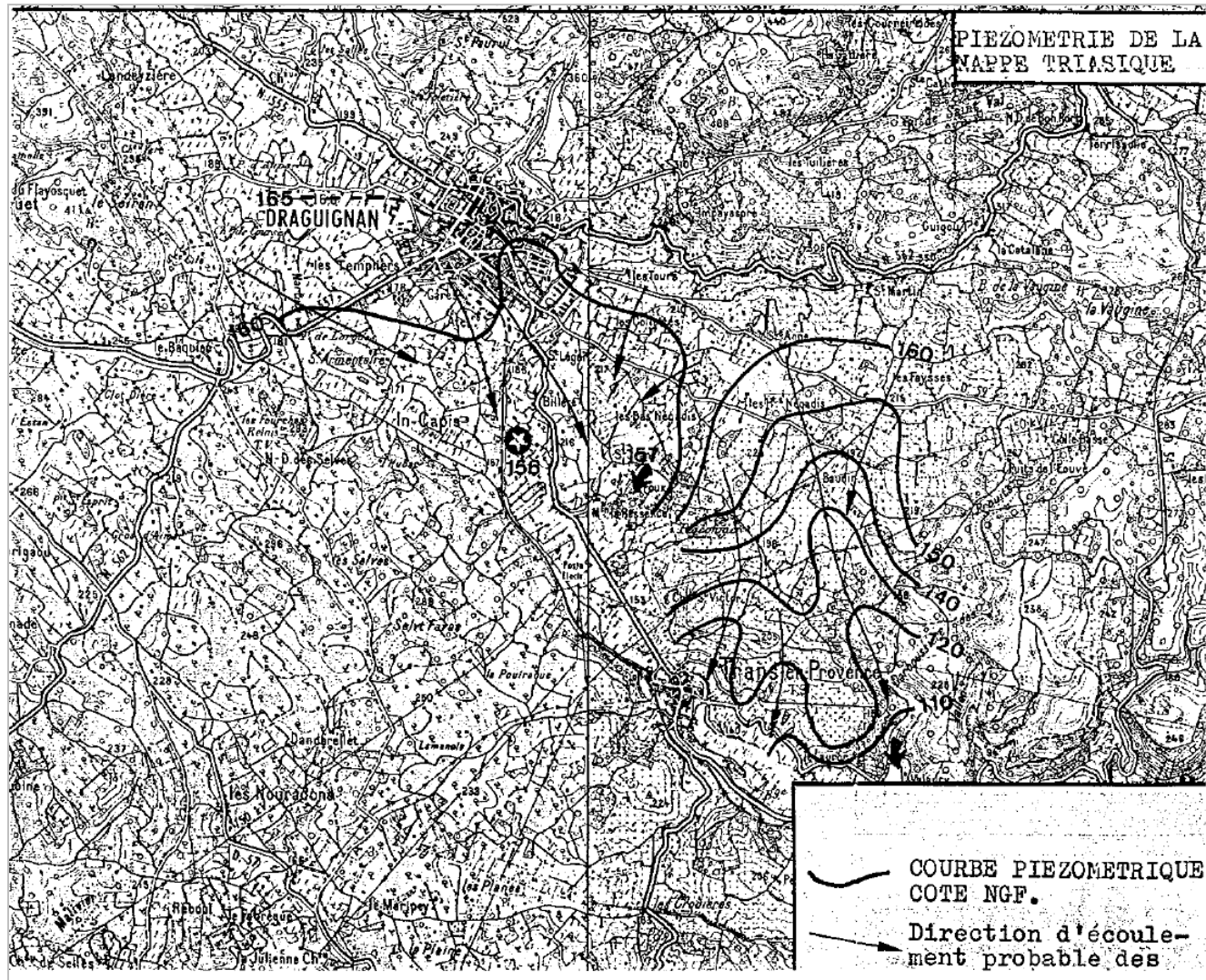


Figure 32 : Piézométrie de la nappe des calcaires du Muschelkalk (R. COVA, 1974)



#### 4.2.3.2. Dynamique des nappes

A l'échelle du bassin-versant, quelques points de suivi sont présents et permettent de suivre localement les variations piézométriques de la nappe captée. **A noter que le réseau de suivi n'est pas dimensionné pour permettre d'établir une carte piézométrique ou une analyse fine des variations piézométriques à l'échelle des unités hydrogéologiques identifiées.**

L'aven du Mouret, situé en amont immédiat de la source des Frayères, est instrumenté depuis septembre 2013 dans le cadre du projet KRHU [27]. Il constitue un indicateur de mise en charge du réseau karstique face aux pluies et aux crues.

Le capteur de pression est positionné à 55 m de profondeur dans un conduit dénoyé. Lorsque la colonne d'eau atteint la hauteur de + 55 m au-dessus du capteur, l'aven fonctionne comme une émergence.

Le graphique ci-après présente les variations de niveau enregistrées au droit de l'aven du Mouret.

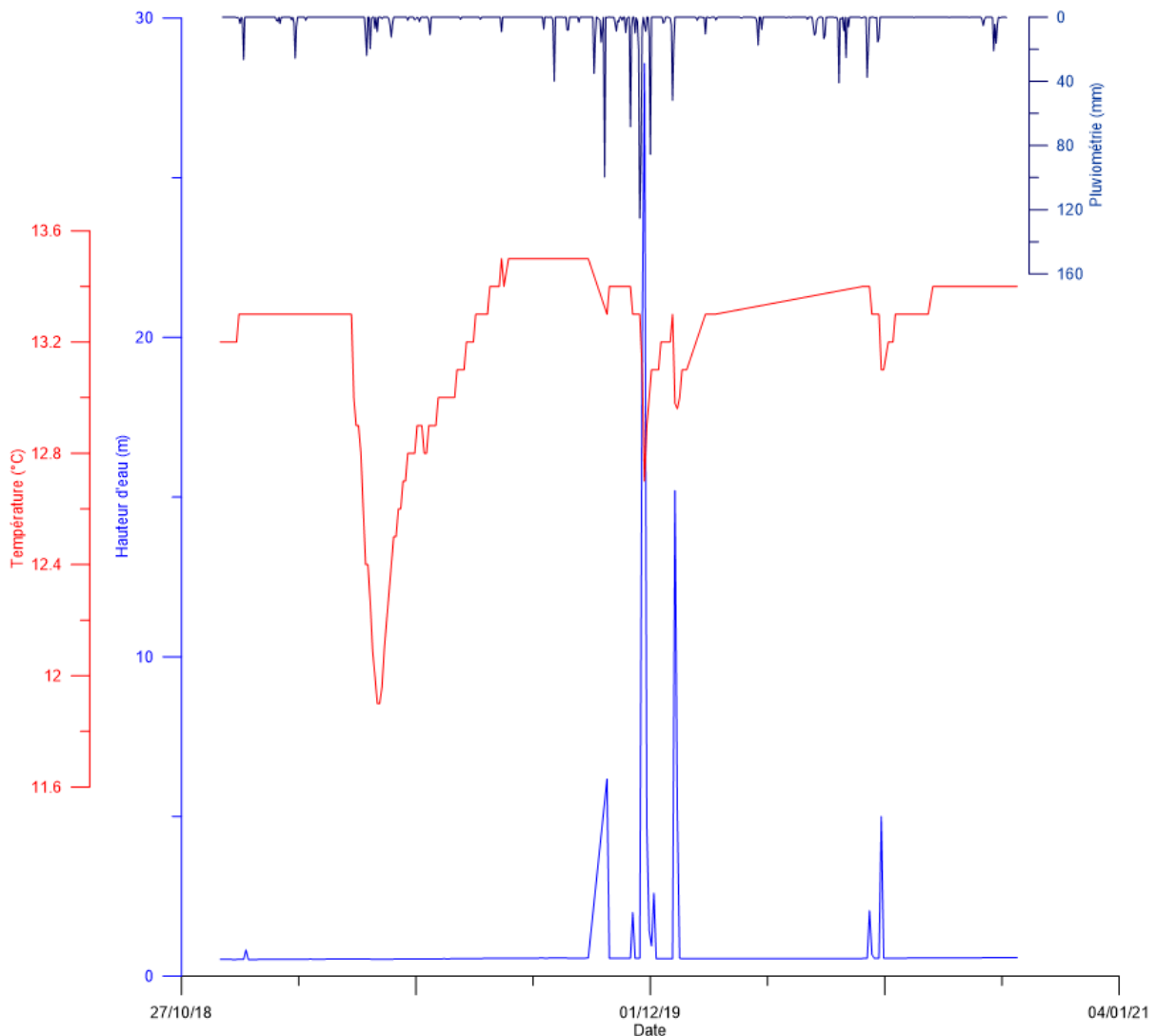


Figure 33 : Suivi du niveau et de la température des eaux souterraines au droit de l'aven du Mouret

Entre octobre 2018 et octobre 2020, l'aven du Mouret a fait l'objet de 5 épisodes de mise en charge :

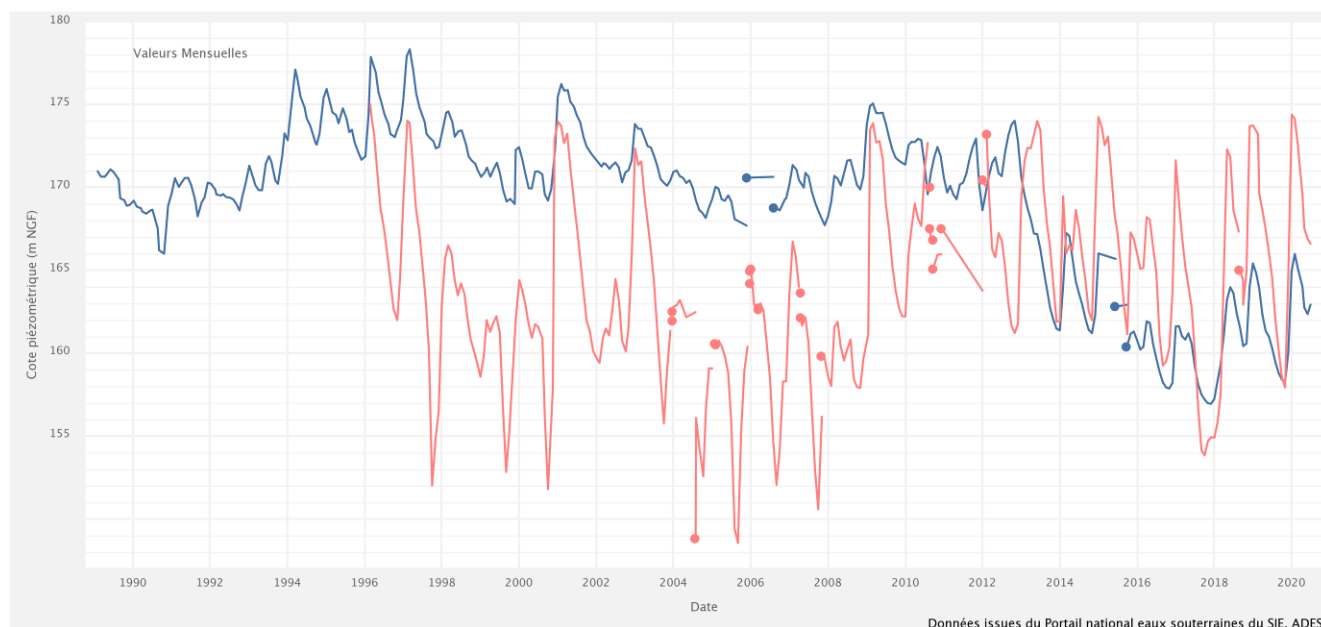
- Le 25/10/2019 suite à l'évènement pluviométrique du 23 octobre (cumul journalier de 99,7 mm) ;
- A la fin novembre 2019 où la colonne d'eau a atteint 29 m au-dessus du capteur (cumul pluviométrique d'environ 250 mm entre le 20/11 et le 24/11) ;
- Le 04/12/2019 suite à la pluie du 1<sup>er</sup> décembre pour laquelle le cumul journalier atteint 48,2 mm ;
- A la fin décembre 2019 avec une colonne d'eau de 15 m atteint le 22 décembre suite aux pluies survenues entre le 19 et le 21 décembre (cumul de 74,4 mm sur les trois jours) ;
- En juin 2020, le 05/06 suite aux pluies survenues les 3 et 4 juin (cumul de 65,1 mm sur les deux jours), et le 15/06 suite aux évènements pluviométriques du 12 et 13 juin (cumul de 25,5 mm sur les deux jours).

La température mesurée reste globalement stable sur la période de mesure : entre 12 et 14 °C malgré les périodes estivales et hivernales.

**Il semblerait que la mise en charge de l'aven présente un décalage avec les évènements pluviométriques de 1 à 2 jours.**

Deux piézomètres intégrés à la banque de données ADES sont situés sur le périmètre d'étude :

- 10241X0154/F : forage de la Motte à Draguignan ;
- 10241X0173/F : forage des Combarons à La Motte.



**Figure 34 : Chroniques piézométriques des ouvrages ADES présents sur le bassin versant de la Nartuby**

Les deux ouvrages présentent une réponse synchrone au contexte hydrologique. Toutefois, **l'amplitude des variations est bien plus importante sur l'ouvrage de La Motte**. Il est difficile d'expliquer ces variations piézométriques en début d'étude, sans investigations complémentaires. En première approximation, on peut cependant proposer les pistes de réflexion suivantes :

- Les variations sont plus faibles sur le piézomètre de St Anne que sur celui de La Motte. Avant 2012, les moyennes piézométriques sont aussi significativement différentes, avec des niveaux plus hauts à St Anne (moyenne interannuelle équivalente à + 167,55 mNGF) qu'à la Motte (+ 163,74 mNGF) ; ces niveaux s'harmonisent après 2012 mais cela pourrait être expliqué par une augmentation des prélèvements AEP dans le secteur de St Anne liée à l'abandon des prélèvements sur les sources des Frayères. Pour finir, on peut observer que les variations ne sont pas toujours synchrones. Ces observations conduisent à émettre l'hypothèse d'une compartimentation de l'aquifère Muschelkalk avec deux systèmes karstiques différents. Cette hypothèse est rediscutée plus avant dans le rapport.
- L'observation de minima différents sur les deux chroniques est un argument supplémentaire pour une compartimentation de l'aquifère Muschelkalk. Pour le piézomètre de St Anne, les minima correspondent approximativement à l'altitude la Foux (+ 157 à 159 m NGF) alors que, pour le piézomètre de la Motte, ils sont représentatifs de l'aval de Trans en Provence (+ 143 m NGF).
- Les fortes variations de piézométrie à la hausse en hautes eaux montrent des arrivées massives en cas d'événements pluvieux. On peut noter que les amplitudes sont plus fortes sur le piézomètre de La Motte, ce qui pourrait témoigner d'un système karstique binaire alimenté par des pertes seulement en période de pluies (cours d'eau temporaires) ; le système représenté par le piézomètre de St Anne semble témoigner d'alimentation plus stable dans le temps (impluvium plus réduit et pertes plus permanentes). Les dynamiques à la baisse interrogent, en particulier sur le piézomètre de La Motte. Ce type de chutes brutales observées en basses eaux sont en effet généralement associé à la fin d'une alimentation dans des zones de pertes (mises en assec d'un cours d'eau alimentant « normalement » le système karstique).

Des analyses croisées entre données de piézométrie, données de pluie et données hydrologiques (dynamiques des assecs et débits mesurés sur tous les cours d'eau du bassin versant) seront réalisées en Phase 2 (couplée avec les investigations de Phase 5) de l'étude pour essayer d'apporter des arguments à toutes ces interrogations et hypothèses.

L'Indicateur Piézométrique Standardisé (IPS) calcule les quantiles des niveaux sur la base de fréquences empiriques (sans ajustement d'une loi de probabilité). Ces quantiles sont ensuite retranscrits en périodes de retour.

Dans les deux cas, l'année 2001 correspond à une année humide (niveaux hauts) et l'année 2017 à une année sèche (niveaux bas).

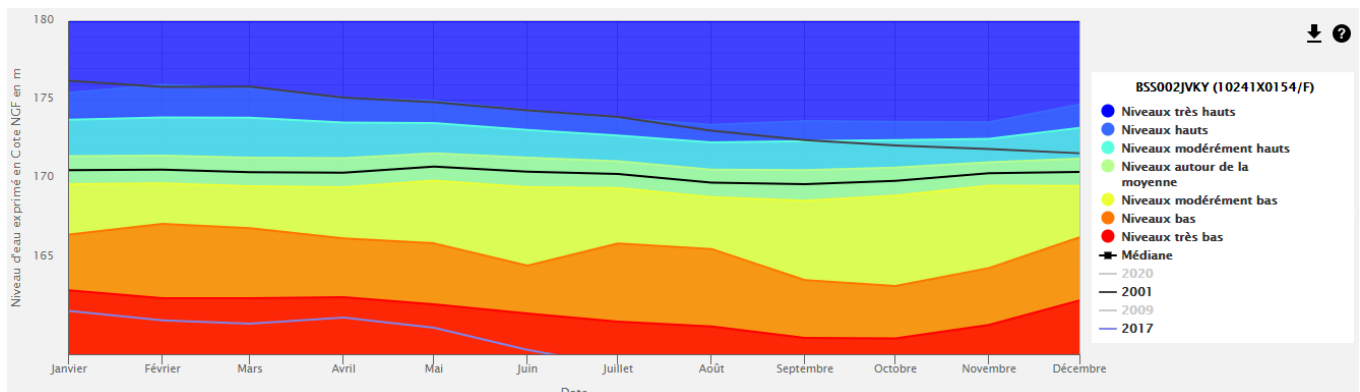


Figure 35 : IPS du piézomètre ADES à Draguignan



#### 4.2.4. Relations nappe/rivière

La Nartuby est en relation étroite avec les masses d'eau du bassin versant dont les formations encaissantes constituent le substratum de la Nartuby :

- Des calcaires du Jurassique (Portlandien et Bathonien) sur sa partie amont occidentale (Nartuby d'Ampus) ;
- Des formations imperméables du Keuper sur sa partie amont orientale (de sa source jusqu'aux gorges de Châteaudouble) et en amont de Draguignan ;
- Des calcaires du Jurassique de Châteaudouble jusqu'à Rebouillon ;
- Des calcaires du Muschelkalk de Draguignan jusqu'à La Motte ;
- Les formations du Permien sous recouvrement Quaternaire en partie aval du bassin versant de La Motte jusqu'à sa confluence avec l'Argens au Muy.

##### 4.2.4.1. Rappel des conclusions de l'étude du BRGM-CEREMA (2013)

L'étude à ce jour la plus complète en termes de description des relations nappe-rivière est l'étude BRGM/CEREMA qui avait réalisée avec comme objectif de mieux caractériser le risque d'effondrement dans le secteur de Draguignan lié à la dissolution du gypse. Nous en rappelons ici les principales informations.

Des campagnes de jaugeage ont permis de mettre en évidence des zones d'apports ou de pertes caractérisant les échanges entre la nappe et la rivière : campagnes de hautes et basses eaux réalisées par le BRGM en 2013 (de Châteaudouble à Trans-en-Provence).

Les échanges ont été considérés comme significatifs lorsque la différence est supérieure à 15 % du débit amont.

Les débits mesurés sont plus faibles en basses eaux. Les ordres de grandeur des volumes échangés entre le substratum et les cours d'eau sont globalement comparables (volumes légèrement plus importants en hautes eaux). Les zones d'apport et de pertes identifiées restent tout de même cohérentes entre les deux périodes hydrologiques :

- Zones de perte : à l'amont de la confluence avec la Nartuby d'Ampus, diffuses entre le hameau du Clos et le pont de Salamandrier ;
- Zone d'apport : entre le pont de Salamandrier et les Incapis.

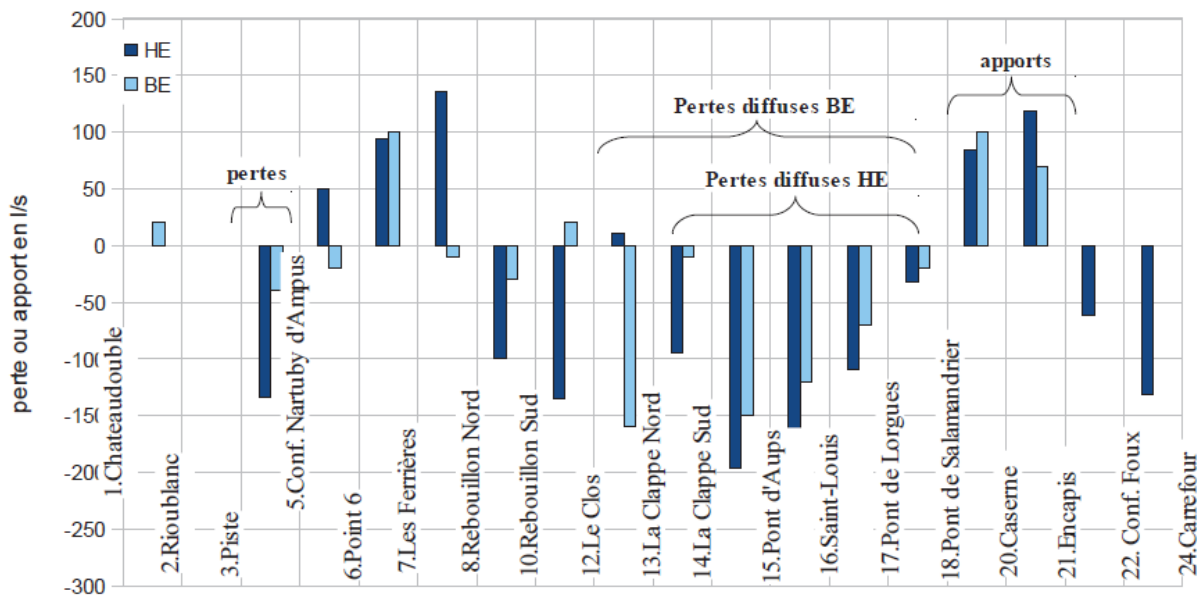


Figure 36 : Synthèse des zones de perte ou d'apport identifiées en 2013 (BRGM CEREMA)

Les conclusions de l'étude sont les suivantes :

- Les échanges nappe/rivière diffèrent en fonction de la nature du substratum ;
- Des pertes ou des apports sont identifiés dans les secteurs où le substratum est constitué de calcaires du Jurassique ;
- Des pertes sont identifiées dans les secteurs où le substratum est constitué des marnes et gypses du Keuper ;
- Des apports sont identifiés dans les secteurs où le substratum est constitué de calcaires du Muschelkalk.

Le rapport fait état de deux hypothèses principales :

- Hypothèse 1 : [les zones d'apport et de perte correspondent à des zones d'échange entre la rivière et le substratum, le sens des échanges étant variable en fonction des conditions locales d'écoulement souterrain et ne serait pas lié au type du substratum ; la nappe alluviale ne servant que d'aquifère de transition entre la rivière et le substratum. Les pertes dans le substratum du Keuper se font alors par l'intermédiaire de zones d'infiltration privilégiées dans le gypse...]
- Hypothèse 2 :
  - [dans les zones où le substratum est constitué de calcaires et dolomies, les écoulements participent à l'alimentation de la rivière (directement ou via les alluvions)] ;
  - [dans les zones où le substratum est constitué de marnes, gypses et dolomies du Keuper, la nappe alluviale n'est plus alimentée par les écoulements souterrains mais principalement par la rivière] ;
  - [... pas d'alimentation massive des petits compartiments aquifères gypseux par l'intermédiaire d'une perte localisée sur la Nartuby mais plutôt par l'infiltration

*diffuse en surface et certainement par des infiltrations diffuses de la nappe alluviale  
ers les gypses via les zones de fractures.]*

La cartographie en page suivante synthétise la localisation de ces zonages.

**A noter que ces campagnes d'investigation ne permettent pas de lever les incertitudes sur :**

- **Le bilan des apports et des pertes de la Nartuby à l'échelle du bassin versant. En effet, aucune mesure n'a été réalisée en aval de la Nartuby (les mesures s'arrêtant dans le secteur de Trans-en-Provence) ;**
- **L'alimentation issue de la Nartuby d'Ampus via des zones de pertes vers les unités hydrogéologiques jurassiques amont, notamment celle d'Ampus-Frayères ;**
- **Les relations nappes/rivières dans les secteurs où les zones d'apports/de pertes s'inversent en fonction des périodes hydrologiques pour un même tronçon (cf. zones orange sur la Figure 37).**



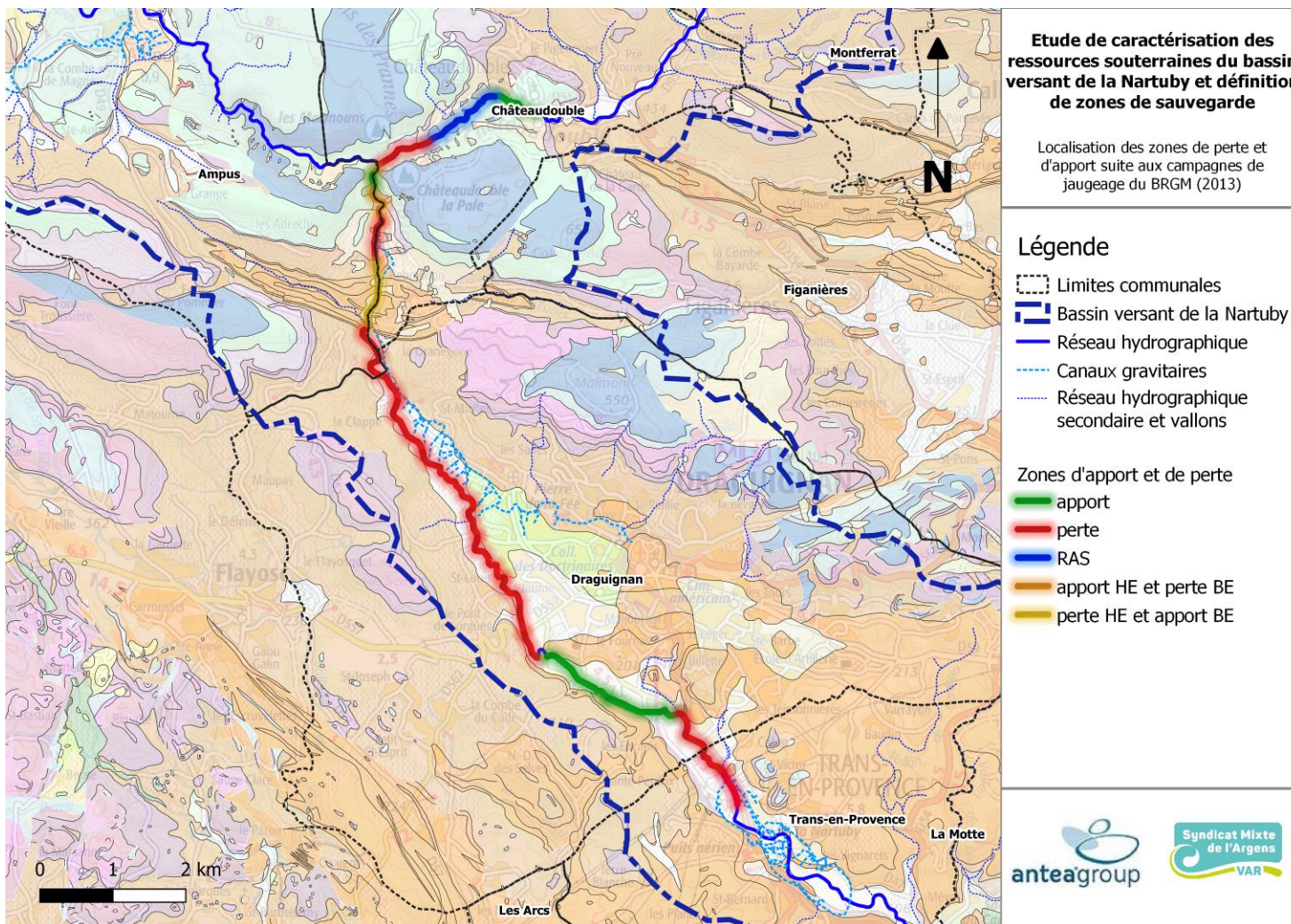


Figure 37 : Localisation des zones d'apport et de perte de la Nartuby identifiées par le BRGM-CEREMA en 2013



#### 4.2.4.2. Analyse terrain et synthèse bibliographique critique

- Des sources liasiques à la confluence entre Nartuby d’Ampus et Nartuby de Châteaudouble (650 à 400 m NGF)

La Nartuby prend source au droit du vallon de la Madeleine et reste ainsi en eau jusqu’à l’aval de Montferrat. Le débit sera augmenté par les apports latéraux d’abord en rive gauche (source de Montferrat qui draine une petite unité karstique situé au Nord-Est du village) puis en rive droite (apports du vallon de Bivosque alimenté par les sources du Tuf et de Bivosque) ; de façon hypothétique des gains pourraient aussi être observés au Nord du hameau de St Mitre (possibles venues sous-alluviales).

En rive droite, le massif jurassique du Bois de Lacoste alimente les sources de Montferrat. On observe un massif jurassique (du Lias au Jurassique supérieur) qui affleure sur près de 7 km<sup>2</sup>. Il est exploité par le forage de Favas et la source de l’Adoux (SIVOM de Callas).

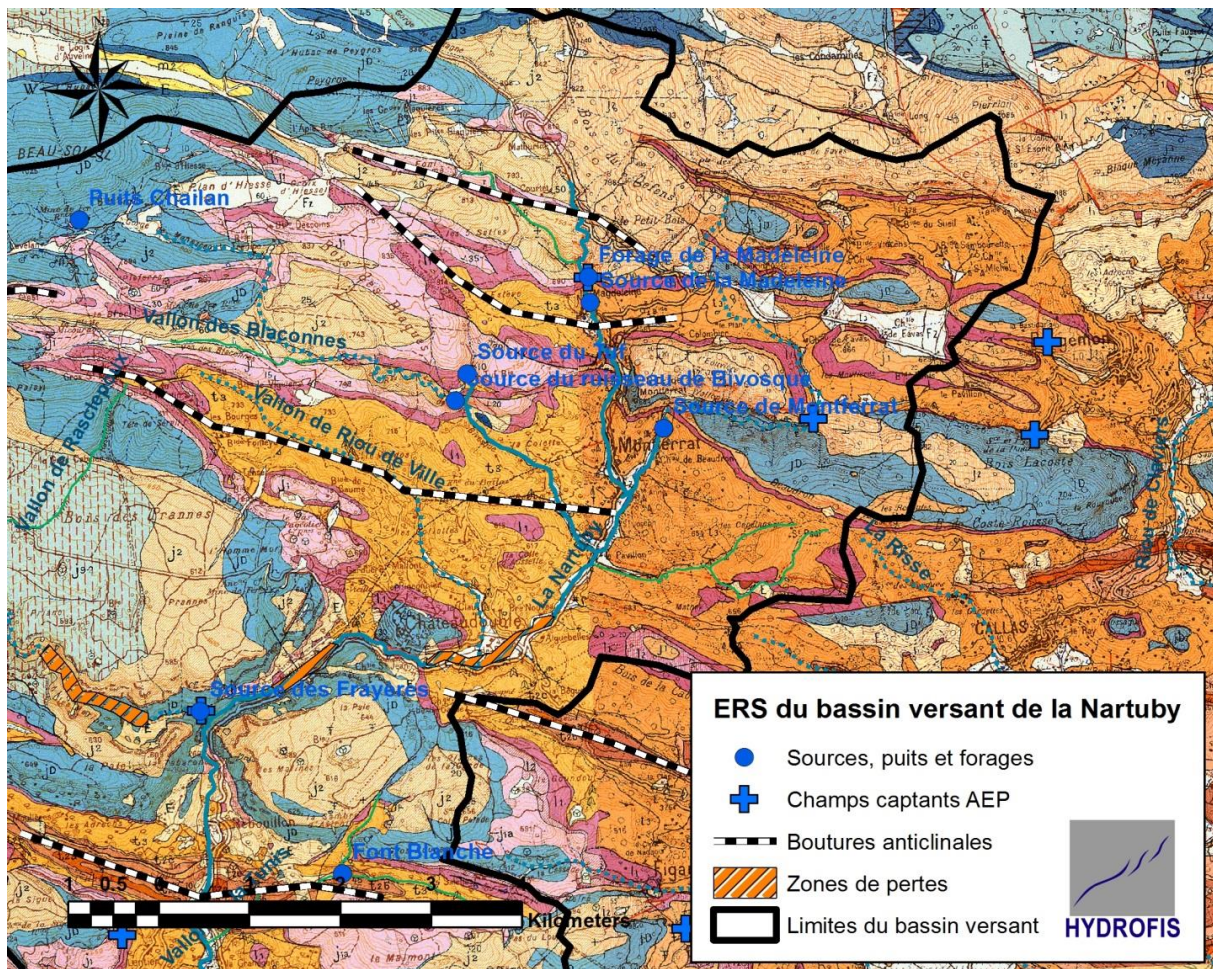


Figure 38 : Caractérisation des relations nappe/rivière au nord-est du bassin versant de la Nartuby

Concernant les sources liasiques en rive gauche :

- Source de la Madeleine « amont » captée (vers 580 m NGF). Cette source fait l’objet d’un prélèvement (prise d’eau sur la source et forage amont au bénéfice de la commune de Montferrat).







- L'unité de Bivosque qui correspond à la structure synclinale des Bois des Blaques. Cette dernière aurait les sources du vallon de Bivosque comme principaux exutoires. Pour une surface d'impluvium de l'ordre de 10 km<sup>2</sup> et un module d'infiltration annuel d'environ 10 l/s/km<sup>2</sup>, le débit moyen de la zone de résurgence devrait être de 100 l/s.

Pour estimer les apports des karsts liasiques en tête de bassin versant, nous disposons d'une seule mesure BRGM/CEREMA, avec un débit de l'ordre de 170 l/s en juillet 2013 à l'entrée des gorges. Précisons que dans ce secteur, la Nartuby et son appareil alluvial repose sur les séries peu perméables du Trias supérieur (Keuper) et que les échanges avec le substratum géologique peuvent être considérés comme négligeables.

En période estivale, à l'aval du gué du Gourdoulé, on observe une première zone de pertes liées à un élargissement de la plaine alluviale quaternaire. Le cours d'eau est alors complètement sec en fin de période estivale ; le cours d'eau retrouve ensuite son débit entier en fermeture de la plaine alluviale, à l'entrée des gorges de Châteaudouble. C'est donc un **phénomène d'inféoflux** que l'on observe ici (échanges entre le cours d'eau et son appareil alluvial).

On observe le même type de phénomènes dans le vallon de Bivosque et celui de Beaudron. Dès que les développements alluviaux deviennent importants, les eaux de surface ont tendance à disparaître au bénéfice d'un trajet souterrain dans le corps alluvionnaire.

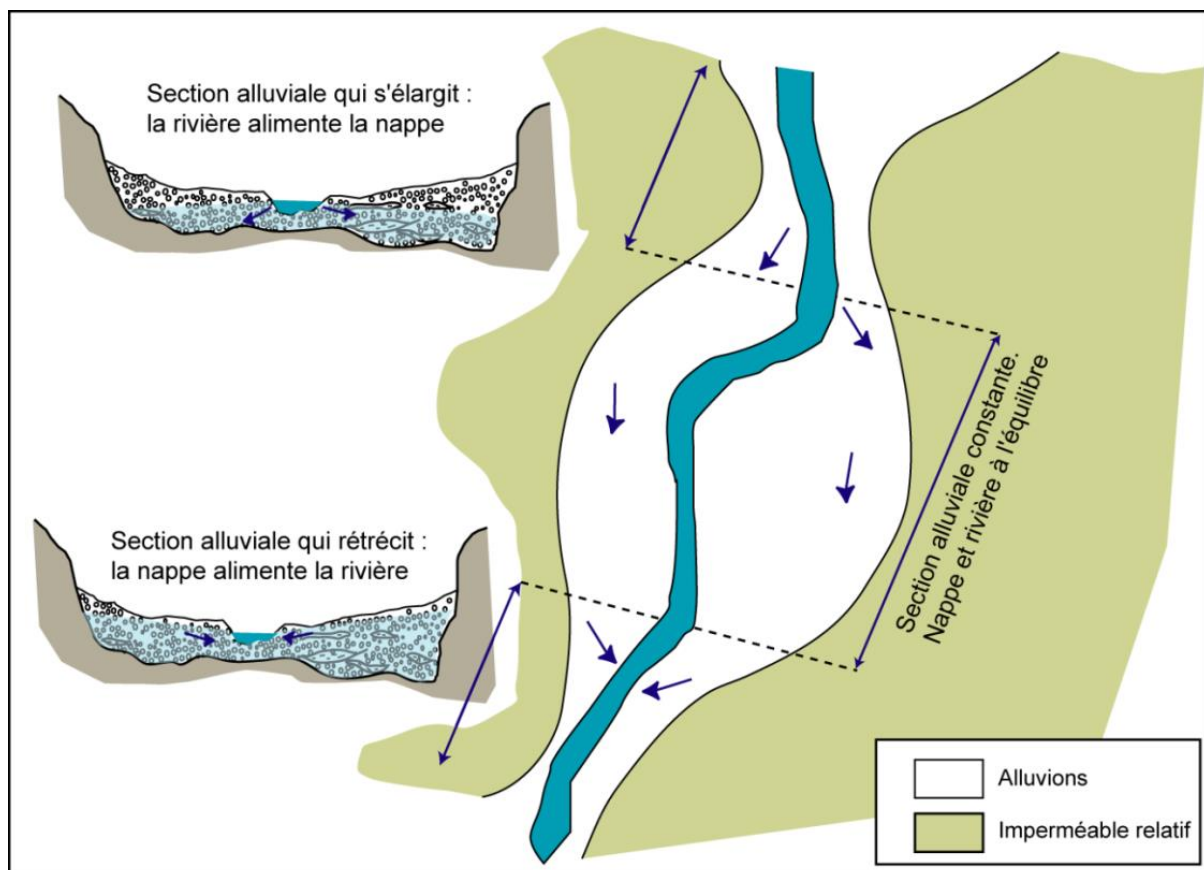


Figure 40 : Schéma explicatif des relations nappe-rivière selon les variations de section d'écoulement

Plus à l'aval, on observe une zone de pertes au droit des gorges de Châteaudouble et l'infiltration des eaux superficielles se fait alors au bénéfice de l'aquifère karstique du jurassique supérieur, avec un bénéfice supposé pour la source des Frayères. On peut estimer le début de la zone de perte relative au contact entre Keuper et Jurassique à environ 400 m NGF à l'entrée des gorges.

Il aurait été montré par essai de coloration que ces pertes alimentent pour partie la source des Frayères, située à 280 m NGF (vitesse de transfert de l'ordre de 100 m/h, Gouvernet et Bertrand 1969). Quel que soit la destination des eaux souterraines, cette zone de pertes est confirmée par les mesures BRGM/CEREMA qui donnent des pertes de l'ordre de 40 l/s en juillet 2013 et de 130 l/s en février 2013.

➤ **La Nartuby d'Ampus : depuis la source de Fontigon à la source des Frayères (de 675 à 280 m NGF)**

La Nartuby d'Ampus présente elle aussi des zones de pertes avec des assècs estivaux.

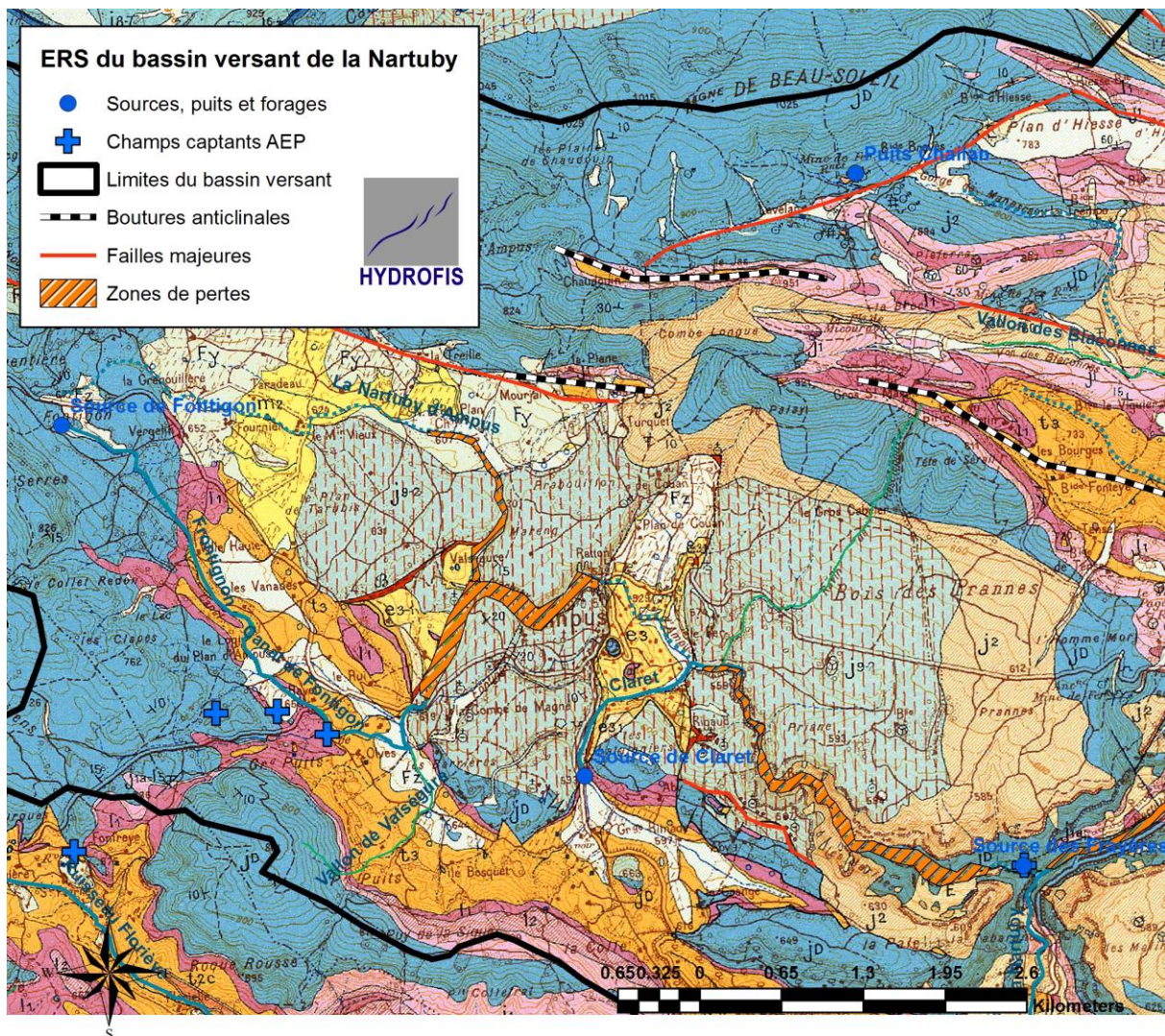


Figure 41 : Caractérisation des relations nappe/rivière au nord-ouest du bassin versant (Nartuby d'Ampus)

Il peut être distingué deux sections : une section amont et une section aval.

- La section amont est alimentée par deux cours d'eau permanents. Le premier correspond à une dérivation de la source captée de Fontigon issue de l'unité de calcaires du jurassique supérieur du Bas Claret. Une partie des eaux du canal de Fontigon est redirigée vers le vallon de Valségures, en amont du village d'Ampus et au profit l'unité jurassique du Bois de Prannes ; les observations de terrain montrent qu'hors période pluvieuse, ces eaux se perdent dans les gorges à l'aval au profit de l'aquifère jurassique. Les observations de terrain



ont montré qu'il y a aussi un ruisseau alimenté par des sources miocènes dans la plaine de Taradeau ; selon la carte géologique, il s'agit bien de la Nartuby d'Ampus qui serait aussi alimentée plus à l'Ouest par le trop-plein de la source de Fontigon. Ce cours d'eau se perd intégralement hors période de pluie au contact des calcaires jurassiques. Ces pertes en amont d'Ampus n'ont jamais été tracées mais la disposition géologique permet de déterminer de façon équivoque qu'elles participent à la recharge du système karstique jurassique drainé par la source des Frayères.

- La section aval est alimentée hors temps de pluie, soit par les rejets de la station d'épuration localisée à l'entrée des gorges, soit des eaux de la source du Claret qui draine un placage quaternaire. Les pertes se font en partie médiane et basse dans les gorges d'Ampus. Selon Mangan (2003). Ces pertes, totales à 300 m à l'amont du captage, ont été tracées en 1973 ; la restitution est retrouvée à la source des Frayères avec une vitesse de 10 m/h.

Ainsi, ces deux zones de pertes, amont et aval d'Ampus, alimentent l'aquifère karstique du Jurassique supérieur qui est drainé par la source des Frayères. Nous ne disposons pas à ce jour de mesures de débit pour estimer les débits de pertes au profit des aquifères karstiques.

Physiquement parlant, la source des Frayères doit être rattachée à la Nartuby d'Ampus (altitude estimée de 280 m NGF). Son débit moyen serait estimé à environ 170 l/s (Mangan, 2003). Il a été suivi entre 1970 et 2002 ; la source présente des débits variants entre 50 et 800 l/s, ce qui atteste d'une karstification évoluée. C'est l'exutoire le plus bas du système karstique et c'est le seul qui peut cumuler les flux liés à l'infiltration des eaux météoriques et les flux liés aux pertes en rivières.

Le lien entre le plan d'Hiesse plus au Nord et cette source a été démontré par une expérience de traçage en 1973 : rejet de 15 kg de fluorescéine dans l'embut du plan d'Hiesse avec une chasse d'eau de 12 m<sup>3</sup>/s. Le colorant est apparu 21 jours après injection dans l'aven qui drainait le plan d'Hiesse ; ceci étant, des venues d'eau colorées seraient aussi apparues dans la Nartuby d'Ampus.

#### ➤ **Confluence des Nartuby à Rebouillon (280 à 240 m NGF)**

Sur cette section, l'appareil alluvial de la Nartuby est au contact avec les séries du Jurassique supérieur et du Lias, réputées aquifères. Le contact peut être direct ou indirect via des éboulis qui sont en position de relais hydraulique entre les séries aquifères du Jurassique et l'appareil alluvial de la Nartuby. C'est une zone d'alimentation de la Nartuby par les aquifères karstiques, dont la compartimentation reste à être déterminée.

Plus à l'aval, la confluence entre les deux Nartuby, deux exutoires sont réputés drainer les unités karstiques en rive gauche de la Nartuby (La Pale et les Maliens, la Sambre d'Astroin) et en rive droite de la Nartuby d'Ampus (la Pale et la croupe d'Aby) : sources des Ferrières (240 m NGF) et source aval des Frayères (260 m NGF).

Pour estimer les apports à l'appareil alluvial, nous disposons des mesures BRGM/CEREMA qui donnent un gain de l'ordre de 300 l/s en février 2013 et de 320 l/s en juillet 2013, entre l'amont des Frayères et Rebouillon Sud.

#### ➤ **De Rebouillon au Clos (de 240 à 200 m NGF)**

Sur cette section, l'appareil alluvial de la Nartuby est au contact avec les séries carbonatées du Muschelkalk réputées aquifères (aquifère fissuré et karstifié).



Pour estimer les apports à l'appareil alluvial, nous disposons des mesures BRGM/CEREMA. De façon étonnante, elles montrent un gain de l'ordre de 20 l/s en juillet 2013 (situation de basses eaux) et une perte de l'ordre de 135 l/s en février 2013 (situation de hautes eaux).

**Les relations nappe-rivières dans ce secteur doivent donc être considérées comme indéterminées.** En effet, l'aquifère karstique liasique se prolonge vers le Sud sous couverture et il est fort probable que ces échanges soient variables dans le temps et contrôlés par le niveau piézométrique de l'aquifère liasique.

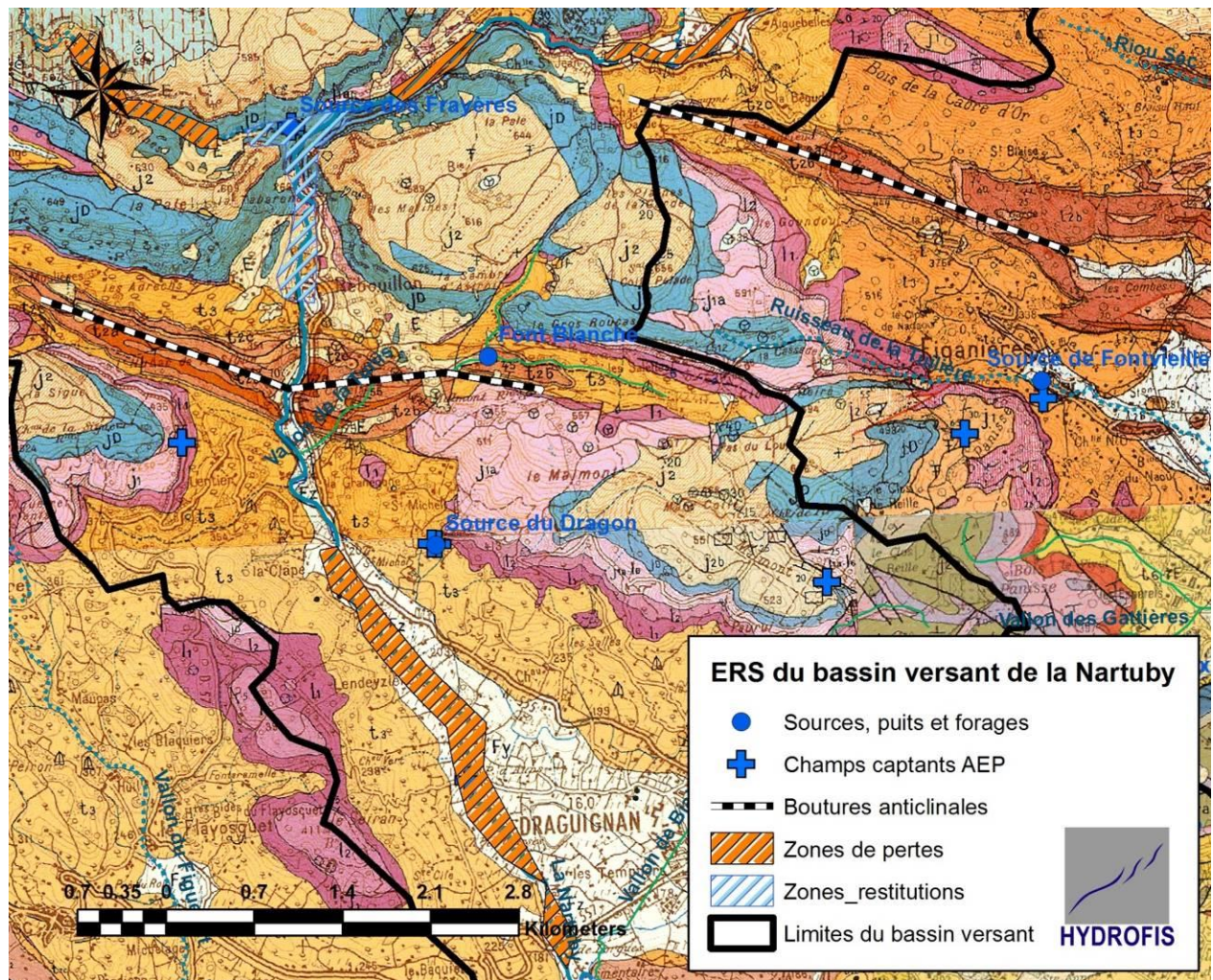


Figure 42 : Caractérisation des relations nappe/rivière au niveau de la plaine de Draguignan

➤ **Entre le Clos et St Hermentaire (de 220 à 170 m NGF)**

Sur cette section, l'appareil alluvial de la Nartuby est au contact avec les séries peu perméables du Keuper (masses argileuses avec bancs dolomitiques et lentilles de gypses). Notons que nous ne disposons pas de données de forages qui permettent de bien localiser le contact masqué par les alluvions, sous la plaine, entre le Keuper peu perméable et les séries carbonatées du Muschelkalk. Il serait localisé entre le secteur de la Clappe et le Pont d'Aups.

Nous disposons de peu de données piézométriques historiques sur ce secteur.

La carte hydrogéologique de Draguignan montre des niveaux compris entre 190 (Pont d'Aups) et 170 m NGF (St Hermentaire).

Pour estimer les pertes de l'appareil alluvial au profit de la nappe du Muschelkalk, nous disposons des mesures BRGM/CEREMA qui donnent des pertes de l'ordre de 700 l/s en février 2013 et de 530 l/s en juillet 2013. C'est une portion de la Nartuby réputée pour ces assecs.

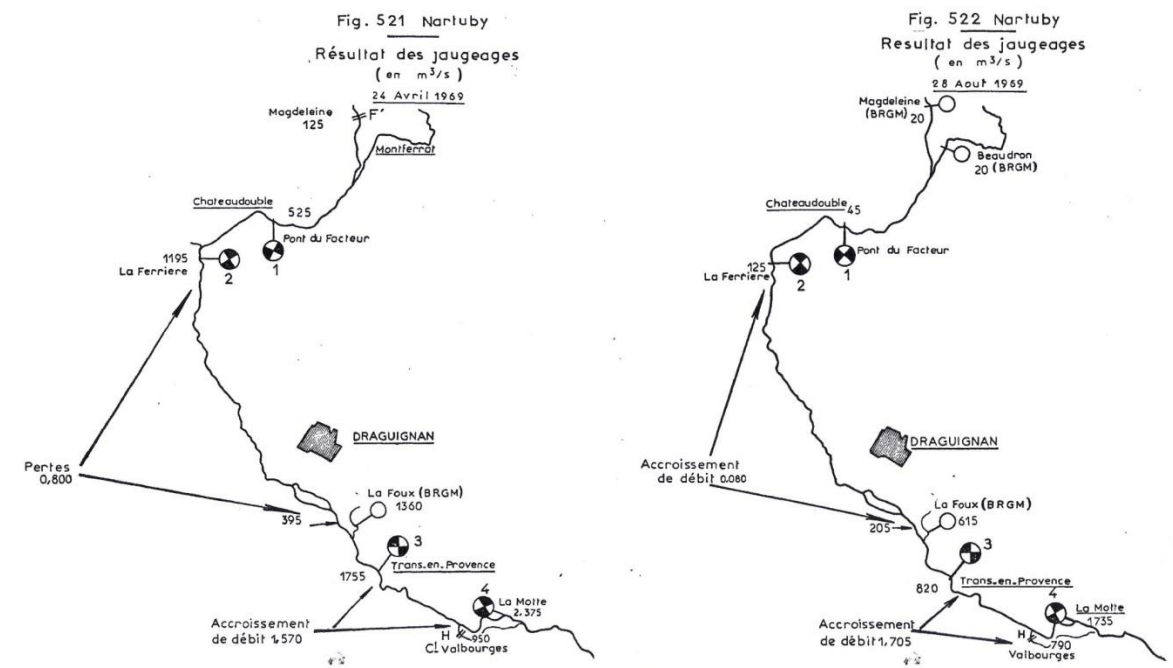
**Les dynamiques d'échange nappe-rivière restent à être précisées.**

En effet, plusieurs phénomènes explicatifs de la baisse de débit de la Nartuby peuvent se cumuler : pertes au profit de l'aquifère liasique, inféoflux dans l'appareil alluvial et prélèvements dans l'appareil alluvial.

➤ **Entre St Hermentaire et la D54 (de 170 m NGF à 100 m NGF)**

Sur cette section, l'appareil alluvial de la Nartuby est au contact avec les séries carbonatées du Muschelkalk réputées aquifères (aquifère fissuré et karstifié).

La carte hydrogéologique de Draguignan montre des niveaux compris entre 170 m NGF (St Hermentaire) et 150 m NGF (fermeture de la formation aquifère).



Dans leur synthèse régionale, Arvois et al. (1969) montre que la Nartuby bénéficie d'un apport des séries du Muschelkalk très important :

- En avril : + 1 360 l/s par la Foux / + 1 570 l/s en venues sous-alluviales.
- En août : +615 l/s par la Foux / + 1705 l/s en venues sous-alluviales.

**Pour estimer les apports à l'appareil alluvial, les mesures BRGM/CEREMA sont peu pertinentes car elles ne vont pas jusqu'au contact entre Trias et permien.**

Les gains estimés sont donc des gains partiels, limités à la section entre St Hermentaire et l'amont de Trans en Provence :



- En avril : + 1 080 l/s par la Foux / + 50 l/s en venues sous-alluviales en amont de la confluence avec la Foux.
- En août : +1170 l/s par la Foux / + 100 l/s en venues sous-alluviales en amont de la confluence avec la Foux.

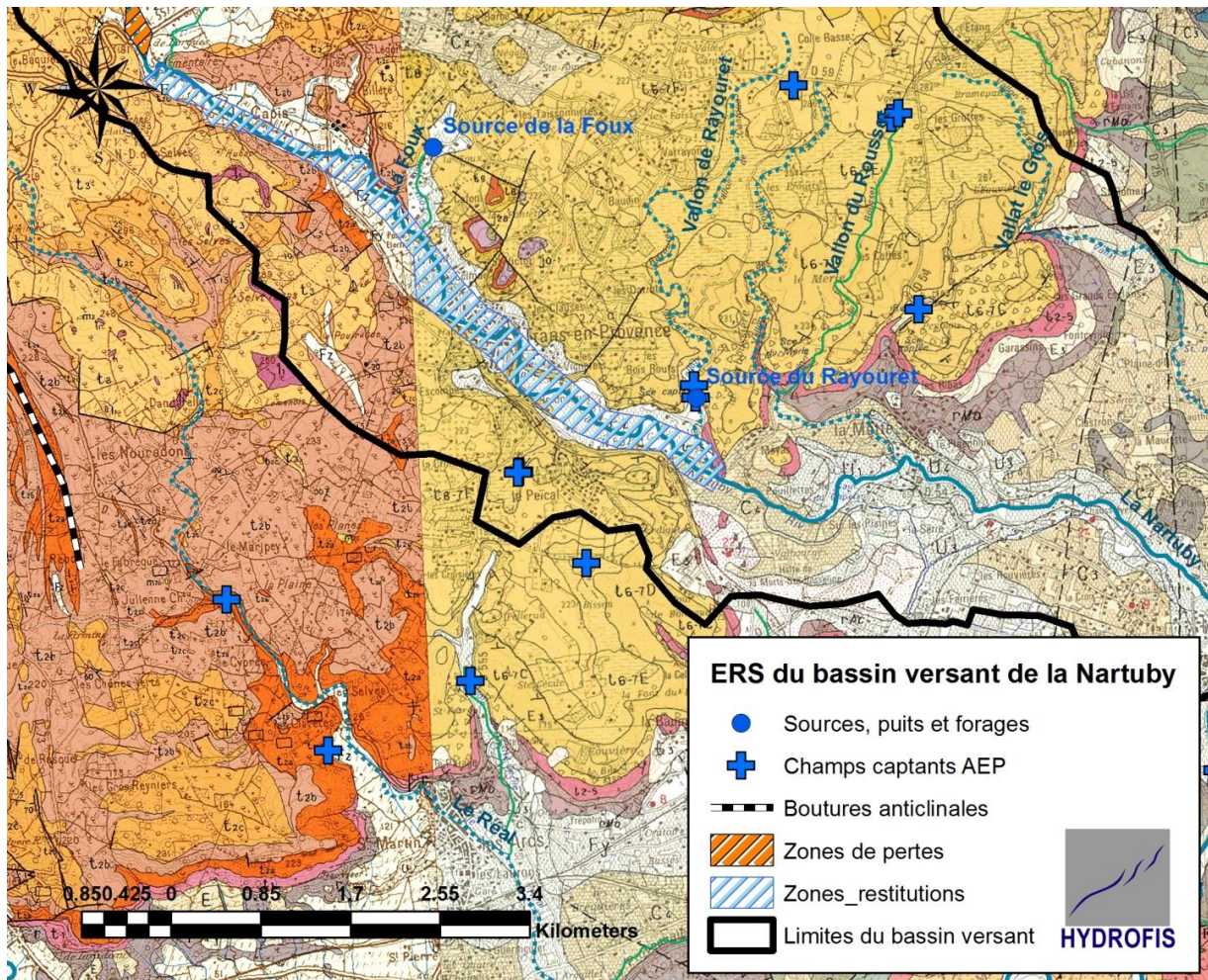


Figure 43 : Caractérisation des relations nappe/rivière en aval du bassin versant de la Nartuby

Les données de la littérature scientifique et technique, couplées aux observations de terrain, tendent à montrer que les retours à la Nartuby se feraient au droit de trois zones d'exutoire :

- Secteur de St Hermentaire avec des retours masqués de type sous-alluvial. L'observation d'assecs sur ce secteur en fin d'étiage conduirait à proposer comme hypothèse une zone d'exutoire temporaire ; les retours à la Nartuby ne seraient effectifs que pour des situations de hauts niveaux piézométriques.
- La source de la Foux, exutoire permanent et relativement puissant (de plus de 1 000 l/s en moyennes eaux à environ 200 l/s pour les étiages sévères).
- Secteur des Gorges à l'aval de Trans-en-Provence. Les mesures de débits réalisés sur le cours d'eau montrent l'existence de venues sous-alluviales très importantes comprises entre 1 000 et 2000 l/s.



Toutes ces hypothèses seront travaillées en phase 2 de l'étude. L'existence de plusieurs zones d'exutoires est un argument supplémentaire de la compartimentation probable de l'aquifère du Muschelkalk.

➤ **A l'aval de la D54**

L'appareil alluvial de la Nartuby est au contact des séries réputées peu aquifères du Permien. Si des échanges existent entre les alluvions et les séries du Permien, ils sont faibles et localisés.

A noter qu'une analogie peut être faite entre le comportement de la Nartuby et celui des cours d'eau en dehors du bassin versant :

- **Le Réal :**

Situé à l'Ouest du bassin versant, le Réal est susceptible de présenter des interactions importantes avec l'aquifère du Muschelkalk carbonaté.

En effet, ce cours d'eau temporaire inscrit son lit d'abord dans les séries du Keuper, favorables au ruissellement. Il traverse ensuite sur plusieurs kilomètres les séries aquifères du Muschelkalk carbonaté avec un risque évident de pertes au bénéfice de cet aquifère.

Des observations par temps de pluie sur ce cours d'eau seraient judicieuses.

- **Le vallon de la Catalane, le Riou sec, Tuilière et Risse :**

Situés au Nord-Est hors du bassin versant, ces cours d'eau sont susceptibles de présenter des interactions importantes avec l'aquifère du Muschelkalk carbonaté (apports potentiellement importants de la tête du bassin versant). On suspecte en effet des pertes dans ces cours d'eau temporaires, par temps de pluie.

Des observations par temps de pluie sur ce cours d'eau seraient judicieuses.

- **Le Riou de Claviers :**

Situés relativement loin du bassin versant, ce cours d'eau interroge. Il draine en effet un bassin versant très important (près de 20 km<sup>2</sup>). Il est important de savoir si des pertes se produisent sur ce cours d'eau au passage des séries du Muschelkalk et si ces pertes se font au bénéfice des systèmes karstiques drainés par la Nartuby.

Sur ces cours d'eau, trois schémas de fonctionnement sont possibles :

- Absence de pertes significatives ( $Q_{\text{entrée}} = Q_{\text{sortie}}$  avec absence d'assecs).
- Pertes au profit du système karstique drainé par la Nartuby ( $Q_{\text{entrée}} > Q_{\text{sortie}}$ ).
- Pertes en entrée du système mais retour en sortie dans une logique de système aquifère fermé ( $Q_{\text{entrée}} = Q_{\text{sortie}}$  avec observations d'assecs en partie médiane du Riou).

**Pour arbitrer entre ces trois configurations hydrogéologiques, nous recommandons des mesures de débit sur ce cours d'eau en période estivale, avec observations synchrones des extensions des zones d'assecs.**

## 5. Usages des eaux souterraines

### 5.1. Inventaire des points d'eau

Sur le territoire d'étude, un total de 538 forages ou sondages est recensé sur la BSS. Sur ce total, 38% ont été réalisés en vue d'une recherche d'eau, et 20% sont réellement exploités pour l'eau souterraine (ouvrages de surveillance et d'exploitation confondus). Cela représente 108 ouvrages référencés comme « point d'eau » dans la BSS.

La répartition des utilisations de ces points d'eau est représentée par le graphique ci-après.

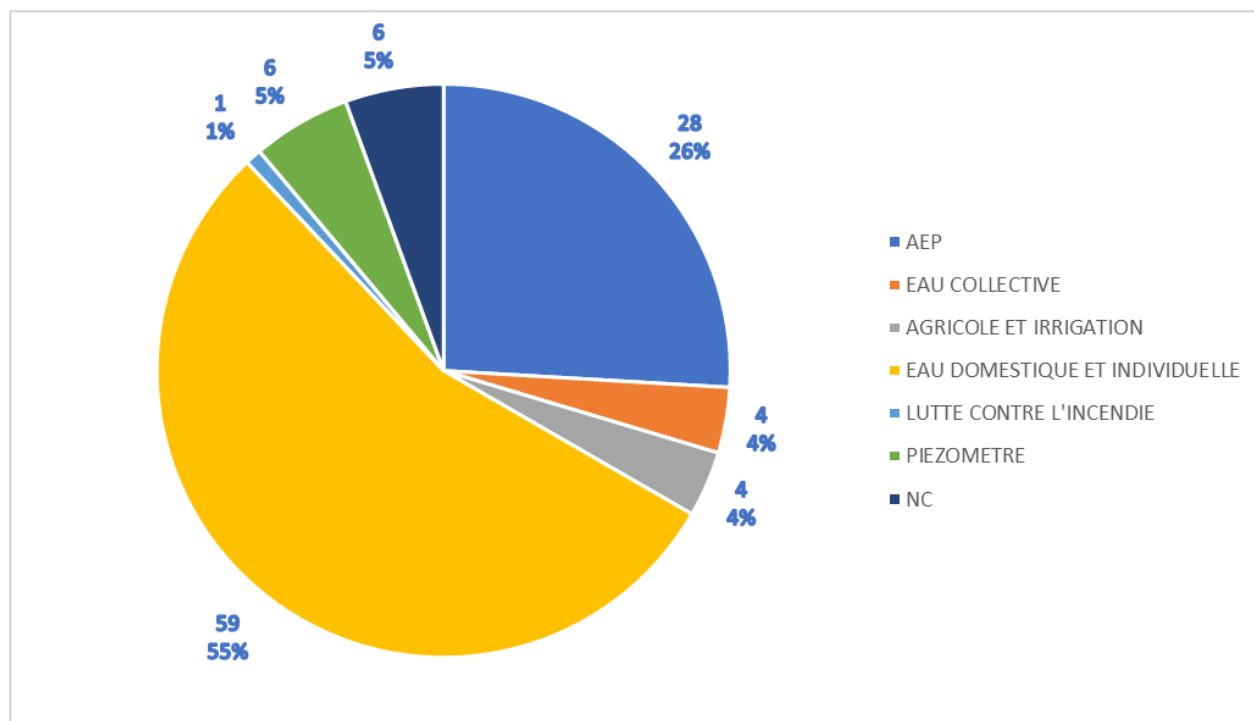


Figure 44 : Utilisation des points d'eau référencés dans la BSS

Deux catégories dominent cette répartition : l'exploitation des eaux souterraines pour l'AEP à hauteur de 26 %, et celle pour un usage domestique ou individuel (puits et forages privés) à hauteur de 55 %.

A noter que **les exploitations agricoles n'utilisent que peu la ressource souterraine étant donné le réseau de canaux gravitaires déjà disponible.**

Enfin, environ 50 % des points d'eau recensés sont localisés sur les communes de Draguignan et Trans-en-Provence.

La carte en page suivante présente la localisation des points d'eau recensés.

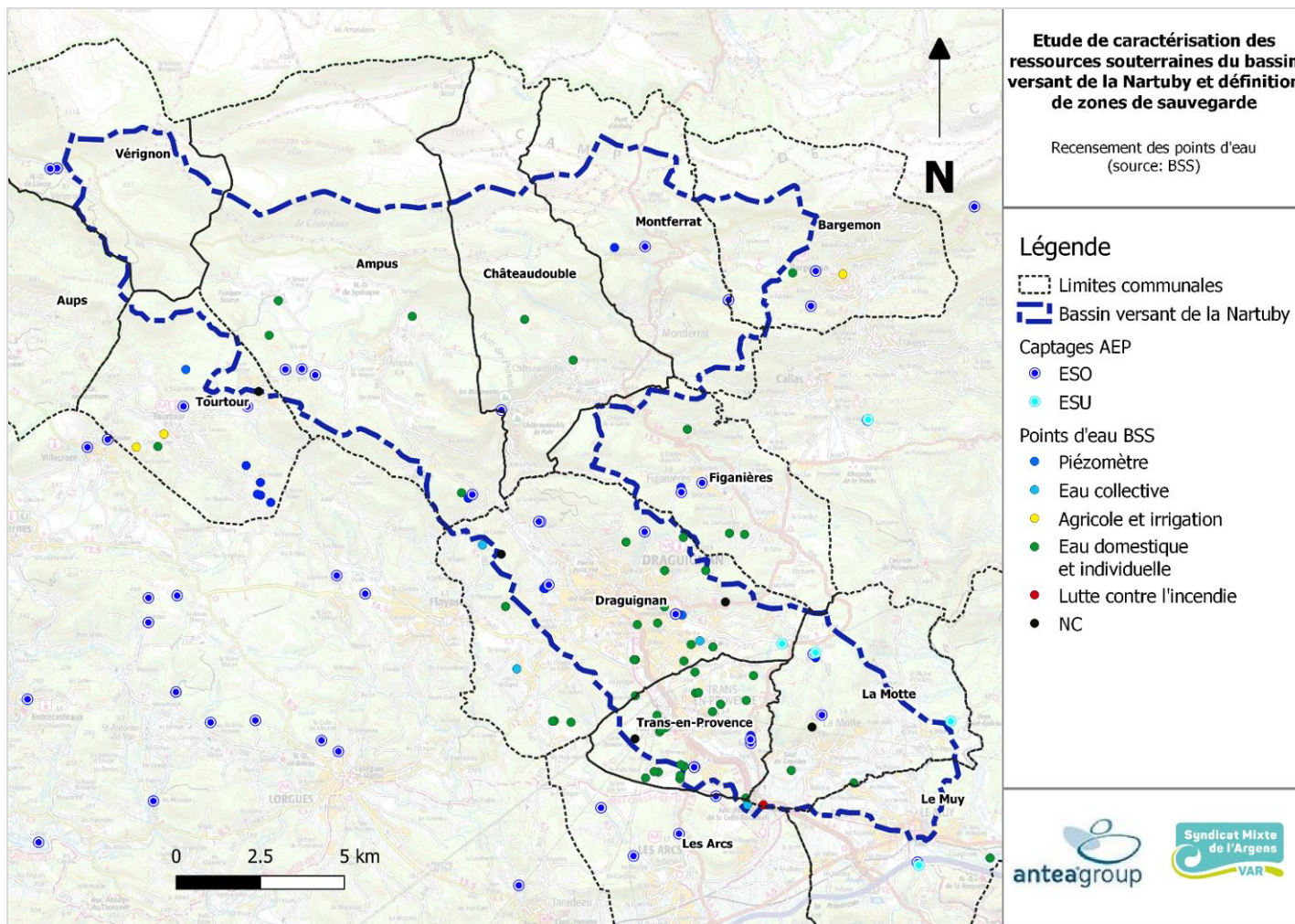


Figure 45 : Recensement des points d'eau (source : BSS, BRGM)



La Banque Nationale de données sur les Prélèvements d'Eau (BNPE) permet d'évaluer les volumes prélevés sur le territoire en fonction des usages et au cours du temps. Les données sont toutefois indisponibles avant 2012.

En 2018, 65 prélèvements sont répertoriés au sein des 13 communes du bassin versant de la Nartuby. Seulement 12 ouvrages concernent une prise d'eau superficielle.

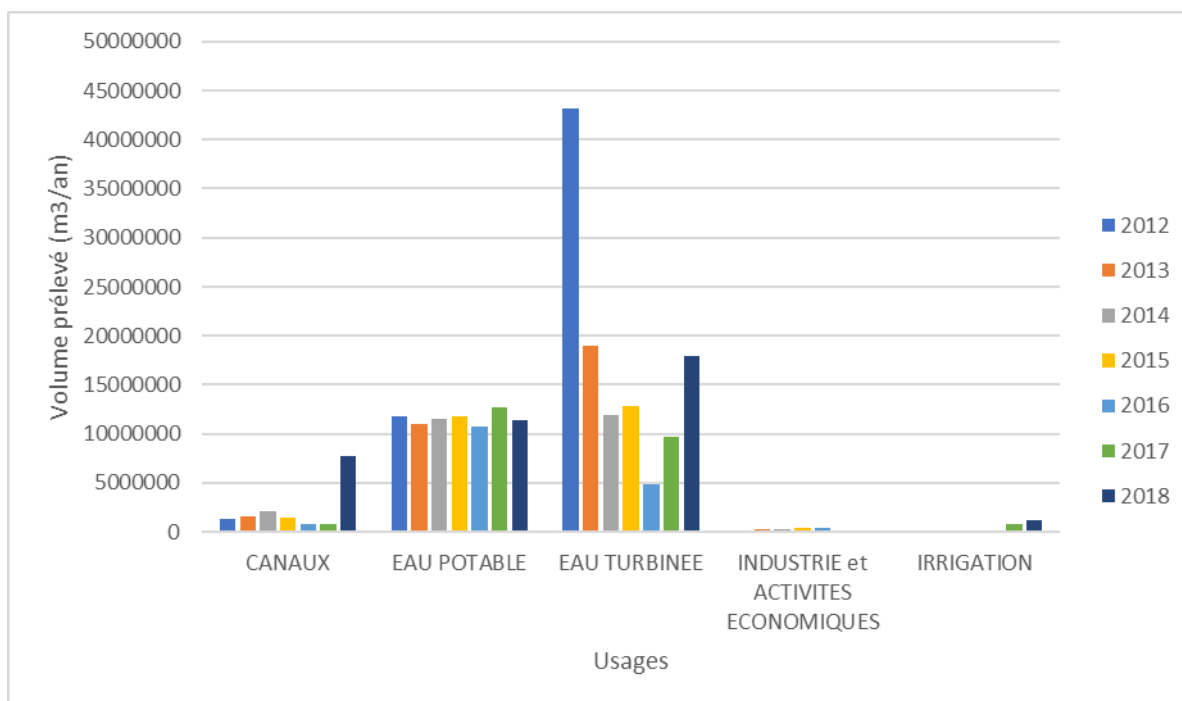


Figure 46 : Volumes prélevés entre 2012 et 2018 sur le territoire du bassin versant de la Nartuby (source : BNPE)

Entre 2012 et 2018, les volumes prélevés sont globalement stables hormis en 2012 où le prélèvement de l'usine hydroélectrique de La Motte a atteint 4,31 Mm<sup>3</sup>, et en 2018 où les prélèvements des canaux ont augmenté de 580 %. Cela est imputable au fait que les volumes prélevés par les canaux (ASA Cresson-Sault-Aups, ASA Fontigon, canal des Vignarets et canal du Plan) n'étaient pas intégrés à la BNPE avant 2018. Le volume total prélevé sur cette année est donc plus représentatif de la réalité en ce qui concerne les prélèvements des canaux.

Les prélèvements annuels pour l'eau potable atteignent un volume moyen de 1,16 Mm<sup>3</sup>/an. Les principaux points de prélèvements sont les suivants :

- Les forages de la nappe de l'Argens (S.A.E. Région de Fréjus) et la prise d'eau en rivière (Argens) sur la commune du Muy ;
- Les forages de Sainte-Anne et le champ captant du Dragon à Draguignan ;
- La source de Sainte Cécile sur la commune des Arcs.

Les prélèvements en nappe à vocation industrielle concernent quant à eux :

- Le prélèvement en nappe de Granulats du Midi sur la commune de Callas ;
- Le prélèvement en nappe de l'entreprise BCN Lafarge sur la commune de Draguignan.

Ces prélèvements sont en moyenne inférieurs à 50 000 m<sup>3</sup>/an.

## 5.2. Zonages réglementaires

Un PPC (périmètre de protection des captages) est un dispositif rendu obligatoire par la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 (article L-1321-2 du code de la santé public).

Il constitue la limite de l'espace réservé réglementairement autour d'un captage utilisé pour l'alimentation en eau potable, après avis d'un hydrogéologue agréé. Ces périmètres constituent donc un moyen de **préserver la qualité de la ressource en eau souterraine en amont des captages et d'assurer le bon état qualitatif des eaux prélevées.**

Les périmètres de protection sont actés officiellement grâce à la Déclaration d'Utilité Publique (DUP). Sur le territoire étudié, les captages faisant l'objet d'une DUP et disposant de périmètres de protection sont mentionnés dans le tableau ci-dessous.

Commune	Nom du captage	Date de la DUP	Surface PPI	Surface PPR	Surface PPE	Emprise des PP sur le bassin versant
Vérignon	Forage du Defens	30/10/2014	1 250 m <sup>2</sup>	176,1 ha	662 ha	0,1 %
Vérignon	Puits de Merendole	30/10/2001	3 860 m <sup>2</sup>	11,96 ha	101,5 ha	0,1 %
Tourtour	Forage des Mourgues	05/09/2013	-	36,5 ha	226 ha	0,5 %
Ampus	Sources Beou Bouteou	24/10/2005	4 250 m <sup>2</sup>	28,6 ha	368,6 ha	1,7 %
Ampus	Forage des Bœuf	24/10/2005	3 780 m <sup>2</sup>	24,8 ha	368,6 ha	1,7 %
Ampus	Forage Ravel	24/10/2005	1 700 m <sup>2</sup>	23,4 ha	368,6 ha	1,7 %
Ampus	Forage Lentier	02/08/1991	4 830 m <sup>2</sup>	41,7 ha	93,8 ha	0,4 %
Montferrat	Source et forage de la Magdeleine	19/10/1973	2 225 m <sup>2</sup>	156,8 ha	173,9 ha	1,5 %
Bargemon	Forage de Favas	26/05/1998	1 530 m <sup>2</sup>	32,2 ha	250,86 ha	1,2 %
Bargemon	Source de l'Adoux	09/12/1991	522 m <sup>2</sup>	69,1 ha	124,8 ha	0,04 %
Bargemon	Forage Saint-Roch – Le Stade	14/05/2007	617 m <sup>2</sup>	31,2 ha	338,27 ha	0,8 %
Figanières	Forage de Téolière	22/09/1995	4 935 m <sup>2</sup>	35,07 ha	212,8 ha	0,2 %
Figanières	Source de Fontvieille	10/01/1990	1 900 m <sup>2</sup>	88 ha	426,39 ha	0,3 %

Commune	Nom du captage	Date de la DUP	Surface PPI	Surface PPR	Surface PPE	Emprise des PP sur le bassin versant
<i>Draguignan</i>	<i>Source du Dragon</i>	-	3 860 m <sup>2</sup>	58,7 ha	319 ha	1,8 %
<i>Draguignan</i>	<i>Forage du Dragon</i>	-	3 850 m <sup>2</sup>	4,16 ha	313,5 ha	1,5 %
Draguignan	Forage des Raillorets	16/01/1996	1 070 m <sup>2</sup>	37,1 ha	77,5 ha	0,5 %
Draguignan	Forages de Pont d'Aups	05/02/1990	546,4 m <sup>2</sup>	6,6 ha	440,4 ha	2,1 %
<i>Draguignan</i>	<i>Forages Sainte-Anne</i>	-	407 m <sup>2</sup>	5,38 ha	30 ha	0,1 %
<i>Châteaudouble</i>	<i>Source des Frayères</i>	-	?	?	?	?
Trans-en-Provence	Source et forage de Valaury	21/12/1995	1,9 ha	12,6 ha	114 ha	0,5 %
Trans-en-Provence	Puits de Maurin	20/12/1982	2 320 m <sup>2</sup>	15,2 ha	68,8 ha	0,2 %
Les Arcs	Forage du Peical	30/03/1990	2 480 m <sup>2</sup>	18 ha	110,4 ha	0,02 %
La Motte	Forage Collebasse	20/06/1990	3 790 m <sup>2</sup>	21,9 ha	135,7 ha	0,6 %
La Motte	Forage Combarons ou Vallongue	25/02/1994	2 500 m <sup>2</sup>	36,3 ha	137,3 ha	0,8 %
<b>TOTAL</b>	-	-	-	-	-	<b>19,7 %</b>

Tableau 6 : Synthèse des périmètres de protection sur le bassin versant de la Nartuby

Remarques :

- Les lignes en italiques dans le tableau correspondent à des captages pour lesquels la DUP est en cours de révision ou à des périmètres de protection non actifs ;
- En ce qui concerne la source des Frayères, le rapport de l'hydrogéologue agréé de 2003 intègre des cartographies malheureusement tronquées à la numérisation. Ces périmètres ne sont pas intégrés à la base de donnée cartographique de l'ARS. De plus, ces périmètres sont en cours d'instruction en vue de l'exploitation de la source par la commune de Draguignan.

Hors effet de juxtaposition, le bassin versant de la Nartuby est couvert à près de 20 % de sa surface totale par des périmètres de protection.



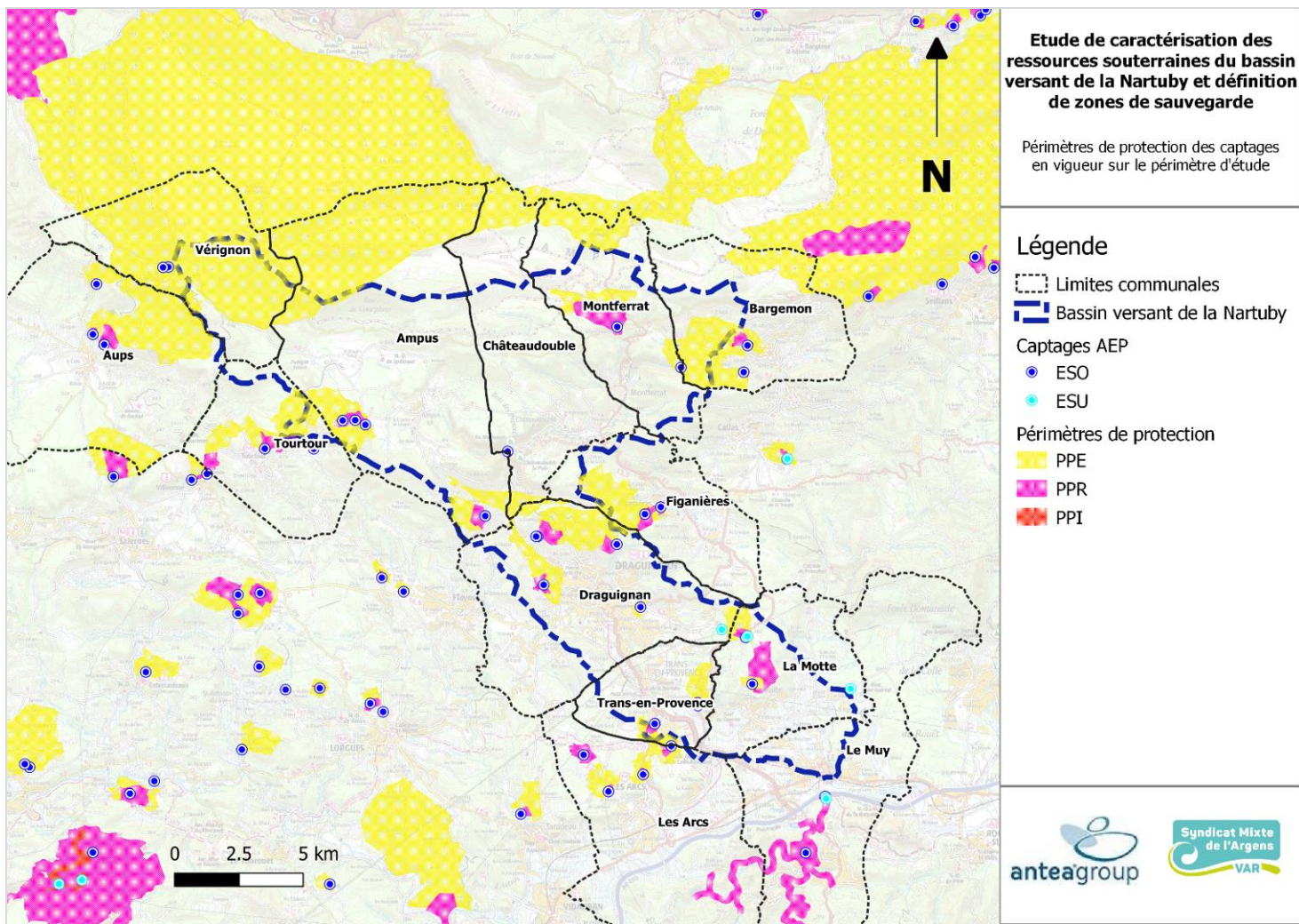


Figure 47 : Périmètres de protection des captages au droit et à proximité du bassin versant de la Nartuby

### 5.3. Localisation et caractéristiques des infrastructures de production et de distribution

Ce chapitre s’appuie sur la consultation et l’analyse des rapports annuels du délégataire de service [38] associées aux communes du territoire d’étude (rapports de 2015 à 2019).

Le réseau de distribution d’eau potable de la commune de Draguignan, dont VEOLIA est le délégataire de service, comprend :

- 7 installations de production : forage et source du Dragon, forages de Pont d’Aups, forages de Sainte Anne, forage du Raillouret, usine de Pous de l’EOUVE ;
- 16 réservoirs pour 251 km de linéaire de réseau. Le rendement du réseau en 2019 était estimé à 89,2 %.

A noter que les travaux de réhabilitation pour l’exploitation de la source des Frayères ont été terminés au cours de l’été 2020. La collectivité reste dans l’attente de la validation définitive par l’ARS de l’utilisation de la source pour la production d’eau potable. Dans l’attente, un dossier de demande d’autorisation provisoire a été déposé et devra permettre d’utiliser la ressource pendant 6 mois, le temps que l’autorisation définitive soit acceptée.

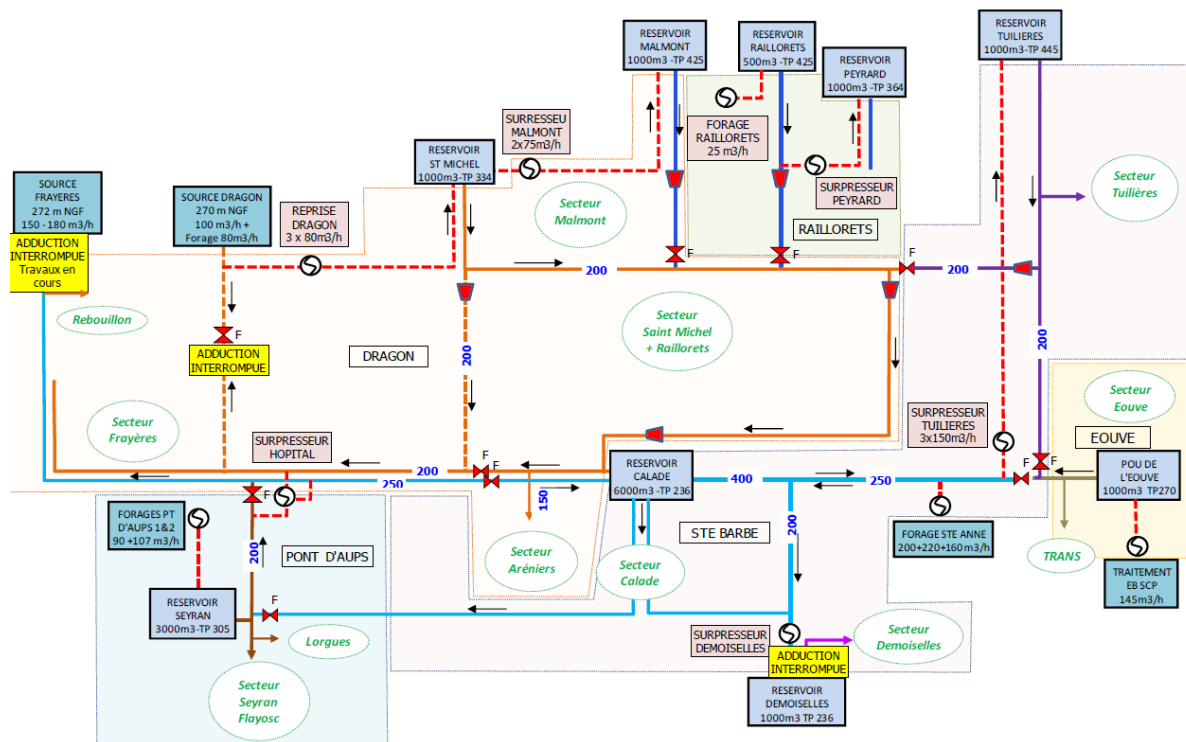


Figure 48 : Synoptique du réseau de distribution d’eau potable de la commune de Draguignan (RAD VEOLIA, 2019)

L'entreprise SAUR est le délégataire de service du territoire du SIVOM de Callas (communes de Châteaudouble, Montferrat, Bargemon, Claviers, Callas et Figanières), ainsi que de Trans-en-Provence et Ampus.

Le réseau de distribution d'eau potable du territoire du SIVOM de Callas comprend :

- 8 ouvrages de prélèvement dont 6 stations de production : forages de Favas (1 et 2), source de l'Addoux, forages des Costes (1 et 2), forage de Théolière, forage de la source de la Magdeleine ;
- 20 ouvrages de stockage (réservoirs de 120 à 1000 m<sup>3</sup> et bâches de 10 à 250 m<sup>3</sup>) pour 50,1 km de réseau. Le rendement du réseau était de 88,26 % en 2019.

Dans le cadre du transfert des compétences eau et assainissement à Dracénie Provence Verdon Agglomération, le contrat de Délégation de Service Public de l'eau potable de la commune de Callas est transféré à l'agglomération après le 31/12/2019.

Le réseau de distribution d'eau potable de la commune de Callas ne compte aucun ouvrage de production. Le linéaire de réseau atteint 30,37 km et comprend 2 ouvrages de stockages (pour une capacité totale de 300 m<sup>3</sup>).

En 2019, le rendement du réseau était de 87,32 %.

Le réseau de distribution d'eau potable de la commune de Trans-en-Provence comprend :

- 2 ouvrages de prélèvement dont 1 station de production : puits de Maurin composés du puits n°1 Lacroix avec un débit autorisé de 100 m<sup>3</sup>/h et du puits n°2 Peical avec un débit autorisé de 50 m<sup>3</sup>/h ;
- 4 ouvrages de stockage (pour une capacité totale de 1750 m<sup>3</sup>) pour 47,45 km de réseau. Le rendement du réseau était de 69,24 % en 2019.

Le réseau de distribution d'eau potable de la commune d'Ampus comprend :

- 4 ouvrages de prélèvement dont 4 stations de production : forage des Bœufs, forages de Lentier (1 et 2), forage de Ravel et la source de Béou boutéou ;
- 7 ouvrages de stockage (pour une capacité totale de 1182 m<sup>3</sup>) pour 40,7 km de réseau. Le rendement du réseau était de 93,12 % en 2019.

Le réseau d'adduction est nettement développé dans les milieux urbains de Draguignan jusqu'au Muy, soit la partie aval du bassin versant. Ce qui est nettement moins le cas sur les communes en amont, notamment Châteaudouble pour laquelle une interconnexion existe avec les communes de Figanières et Montferrat.



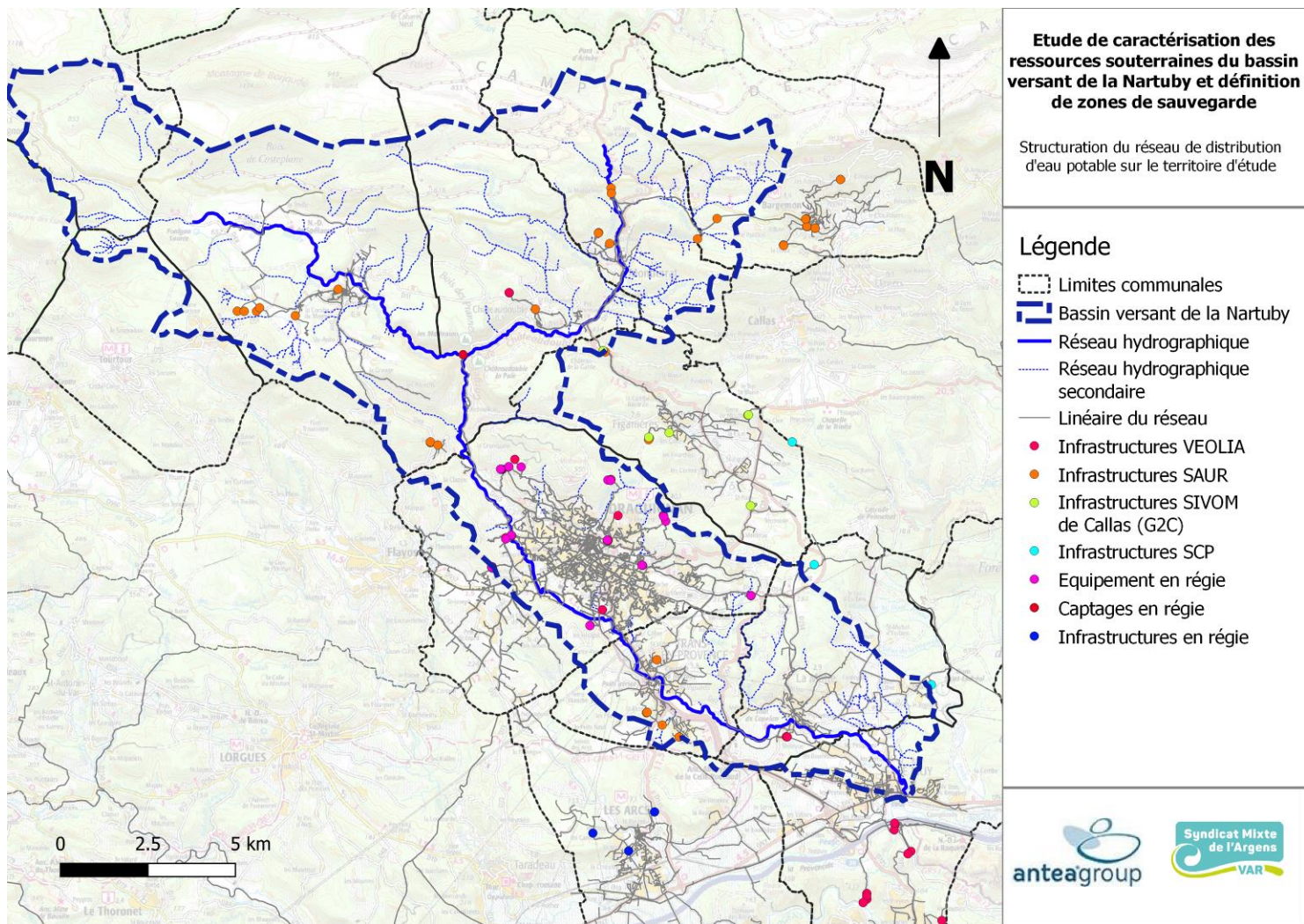


Figure 49 : Structure du réseau de distribution d'eau potable à l'échelle du territoire d'étude

Commune / Collectivité	Délégitaire	Volume produit en 2019 (m3)	Rendement du réseau en 2019	Linéaire de réseau (kml)	Nombre de branchement	Nombre d'ouvrages de prélèvement	Débit d'exploitation total autorisé (m3/h)	Nombre d'ouvrages de stockage	Volume de stockage disponible (m3)
<b>Draguignan</b>	VEOLIA	3 021 366	89,2 %	251	16 825	6	950	16	14 100
<b>SIVOM de Callas</b>	SAUR	577 416	88,26 %	50,1	?	8	222.5	20	6 530
<b>Ampus</b>	SAUR	74 453	93,12 %	40,67	581	4		7	1 182
<b>Trans-en-Provence</b>	SAUR	492 752	69,24 %	47,45	3 194	2	150	4	1 750
<b>La Motte*</b>	Régie								
<b>Aups*</b>	SUEZ								

Tableau 7 : Synthèse des éléments constitutifs des réseaux d'eau potable des communes du territoire d'étude

\* La collecte des informations liées au commune de La Motte et Aups n'a à ce jour pas aboutie. Ces éléments n'étant pas structurants pour finaliser la Phase 1, l'analyse sera complétée en Phase 2.

## 5.4. Caractérisation des prélèvements

**L'alimentation en eau issue du canal de Provence n'est ici pas décrite étant donné que le volume prélevé concerne une ressource en eau externe au bassin versant étudié.**

### 5.4.1. Approche quantitative

L'approche quantitative de caractérisation des prélèvements peut s'exprimer à travers un bilan « volumes entrée/sortie » pour chaque unité hydrogéologique identifiée dans le chapitre 4.2.2.

Les débits entrants peuvent être directs (recharge par la pluie brute sur les horizons aquifères à l'affleurement) ou indirects (alimentation par les zones de perte du réseau hydrographique ou par les unités hydrogéologiques en amont).

Les débits sortants, ou exutoires, comprennent :

- Les prélèvements d'eau souterraine (captages) ;
- Les structures drainantes telles que les résurgences généralement observées en pourtour du massif et en point bas, ou le réseau hydrographique.

A ce stade de l'étude, pour chaque unité hydrogéologique, il est possible d'identifier les apports issus de la pluviométrie et les prélèvements. Il reste toutefois complexe de caractériser dans le détail l'alimentation indirecte de chaque unité hydrogéologique et les débits drainés en sortie.

Les volumes prélevés sont issus de la base de données publique BNPE [69] et de l'AERMC. Afin de caractériser les apports pluviométriques, **une analyse locale et détaillée a été réalisée pour chaque unité hydrogéologique** :

- Caractérisation des volumes prélevés et des apports pluviométriques bruts sur une année de référence. En l'occurrence, l'année 2018 a été retenue pour deux raisons : année récente représentative des modes d'exploitation actuels, et données des volumes prélevés complètes ;
- Calcul de l'évapotranspiration réelle annuelle (ETR) selon la formulation de Turc. L'ETR correspond à la fraction de la pluie brute interceptée par les plantes et le sol (phénomène d'évaporation dépendant notamment des conditions climatiques et de l'état hydrique du sol). Pour le calcul, il est considéré que la réserve utile est constante ;
- Calcul de la pluie utile qui correspond à l'apport pluviométrique générateur d'écoulement (superficiel ou souterrain) ;
- Identification de l'occupation des sols selon des classes simplifiées : zones urbaines, agricoles, végétalisées/naturelles. Un coefficient de ruissellement est associé à chacune de ces zones en fonction, entre autres, du degré d'imperméabilisation des surfaces, respectivement : 80 %, 10 % et 5 % ;
- Calcul de la lame d'eau ruisselée à l'échelle de l'unité hydrogéologique ;
- Calcul de la pluie efficace qui correspond à la fraction de la pluie brute réellement à l'origine de la recharge des aquifères ;



- Calcul du débit infiltré à l'origine de la recharge des unités hydrogéologiques en fonction de leur surface totale.

#### 5.4.1.1. Aquifère Jurassique

8 unités hydrogéologiques identifiées concernent l'aquifère du Jurassique (inférieur/supérieur) : Aups-Fontigon, Ampus-Frayères, Bivosque, La Magdeleine, Favas, La Doux, Puy de la Sigue et Malmont.

Le tableau et les cartographies en pages suivantes synthétisent les éléments ayant permis d'aboutir aux résultats présentés ci-dessous.

D'après l'analyse réalisée, il en ressort les éléments suivants :

- Les données d'entrée ne font état d'aucun prélèvement en 2018 au droit des unités d'Ampus-Frayères et de Bivosque. **Nous ne disposons pas des volumes captés associés à l'exploitation du forage de la base militaire.** D'autre part, depuis l'automne 2020, l'exploitation de la source des Frayères est de nouveau opérationnelle. Elle n'est donc pas prise en compte dans cette analyse ;
- L'unité d'Aups-Fontigon fait l'objet de l'exploitation la plus intense avec 7 captages recensés pour un volume total prélevé (tout usage confondu) de plus de 2 millions de m<sup>3</sup> en 2018. La somme des volumes prélevés de la totalité des autres unités jurassiques est équivalente à près d'un million de m<sup>3</sup> en 2018. **Les prélèvements associés à l'unité d'Aups-Fontigon représentent donc 66 % du volume total capté au sein de l'aquifère Jurassique** sur le territoire d'étude ;
- L'unité de La Magdeleine présente une hauteur d'eau ruisselée plus importante étant donné son urbanisation plus développée (village de Canjuers et camp militaire) à l'échelle de la surface totale de l'unité ;
- Les unités hydrogéologiques soumises à une pression plus importante sont celles d'Ampus-Fontigon et de la Magdeleine. Le ratio prélèvement/recharge pluviométrique est proche de 10 % pour ces deux unités.

Pour rappel, les apports indirects ne sont pas pris en compte dans les calculs exposés. D'autre part, ces résultats ne sont valables que pour l'année 2018 mais permettent d'avoir une première idée des pressions exercées sur la ressource en eau.

Hydrogéologie		Occupation des sols				Prélèvement		Bilan hydrique						Vulnérabilité de la ressource
Unité hydrogéologique	Masse d'eau	Surface agricole (m <sup>2</sup> )	Surface urbanisée (m <sup>2</sup> )	Surface végétalisée (m <sup>2</sup> )	Surface totale (m <sup>2</sup> )	Nombre de prélèvements souterrains recensés	Volume prélevé en 2018 (m <sup>3</sup> )	Pluie brute en 2018 (mm/an)	ETR** (mm/an)	Pluie utile (mm/an)	Lame ruisselée (mm/an)	Pluie efficace (mm/an)	Qinfiltré maximal (m <sup>3</sup> /an)	ratio prélèvement/recharge en 2018 (%)
<b>Aups-Fontigon</b>	Jurassique	2.76E+06	4.67E+05	4.08E+07	4.40E+07	7	2038970	1433	792.27	640.73	39.15	601.58	2.65E+07	8%
<b>Ampus-Frayères*</b>	Jurassique	9.00E+06	6.35E+05	4.54E+07	5.50E+07	1	0	1433	792.27	640.73	42.82	597.90	3.29E+07	0%
<b>Bivosque</b>	Jurassique	6.36E+04	5.63E+04	5.88E+06	6.00E+06	0	0	1433	792.27	640.73	36.88	603.84	3.62E+06	0%
<b>La Magdeleine</b>	Jurassique	6.67E+04	1.84E+06	6.09E+06	8.00E+06	2	336543	1433	792.27	640.73	143.02	497.71	3.98E+06	8%
<b>Favas</b>	Jurassique	7.54E+05	3.64E+04	2.81E+06	3.60E+06	1	16632	1433	792.27	640.73	43.61	597.12	2.15E+06	1%
<b>La Doux</b>	Jurassique	4.40E+03	0.00E+00	7.00E+06	7.00E+06	2	210292	1433	792.27	640.73	32.06	608.67	4.26E+06	5%
<b>Puy de la Sigüe</b>	Jurassique	7.22E+05	9.22E+04	1.12E+07	1.20E+07	1	6592	1433	792.27	640.73	37.66	603.07	7.24E+06	0%
<b>Malmont</b>	Jurassique	1.27E+06	4.24E+05	1.63E+07	1.80E+07	4	412120	1433	792.27	640.73	45.61	595.11	1.07E+07	4%

**Tableau 8 : Synthèse des calculs caractérisant les pressions d'exploitation actuelle sur les unités hydrogéologiques du Jurassique**

\* L'exploitation de la source des Frayères n'est ici pas prise en compte étant donné sa récente mise en exploitation. De plus, en l'absence d'information, les volumes captés par le forage de la base militaire ne sont également pas mentionnés.

\*\* Le calcul de l'ETR s'appuie sur la température moyenne annuelle. En 2018, celle-ci est équivalente à 16,4°C (donnée issue de la station Météo France du Luc). Afin de simplifier notre approche, il est également considéré que la réserve utile est constante tout au long de l'année.

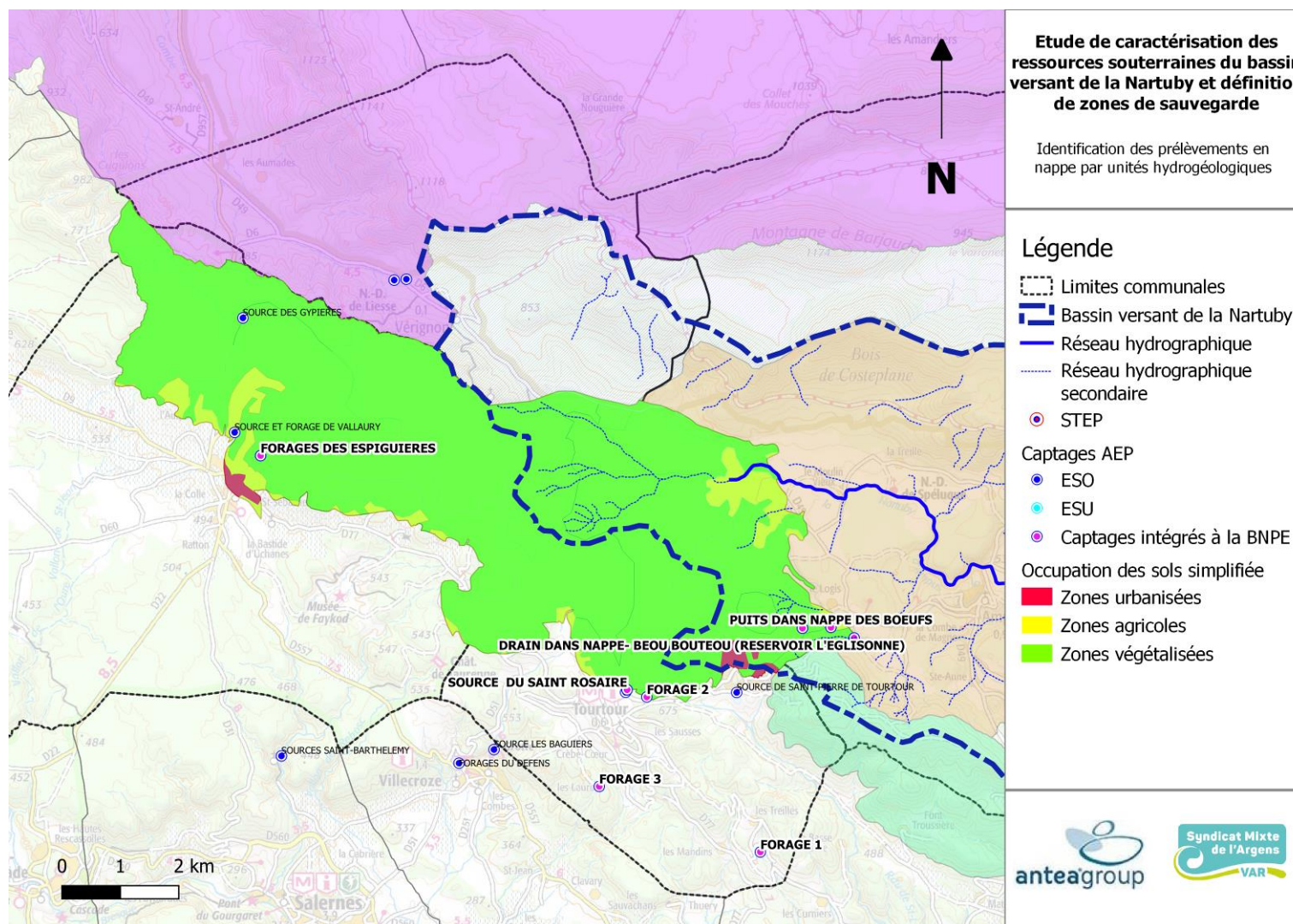
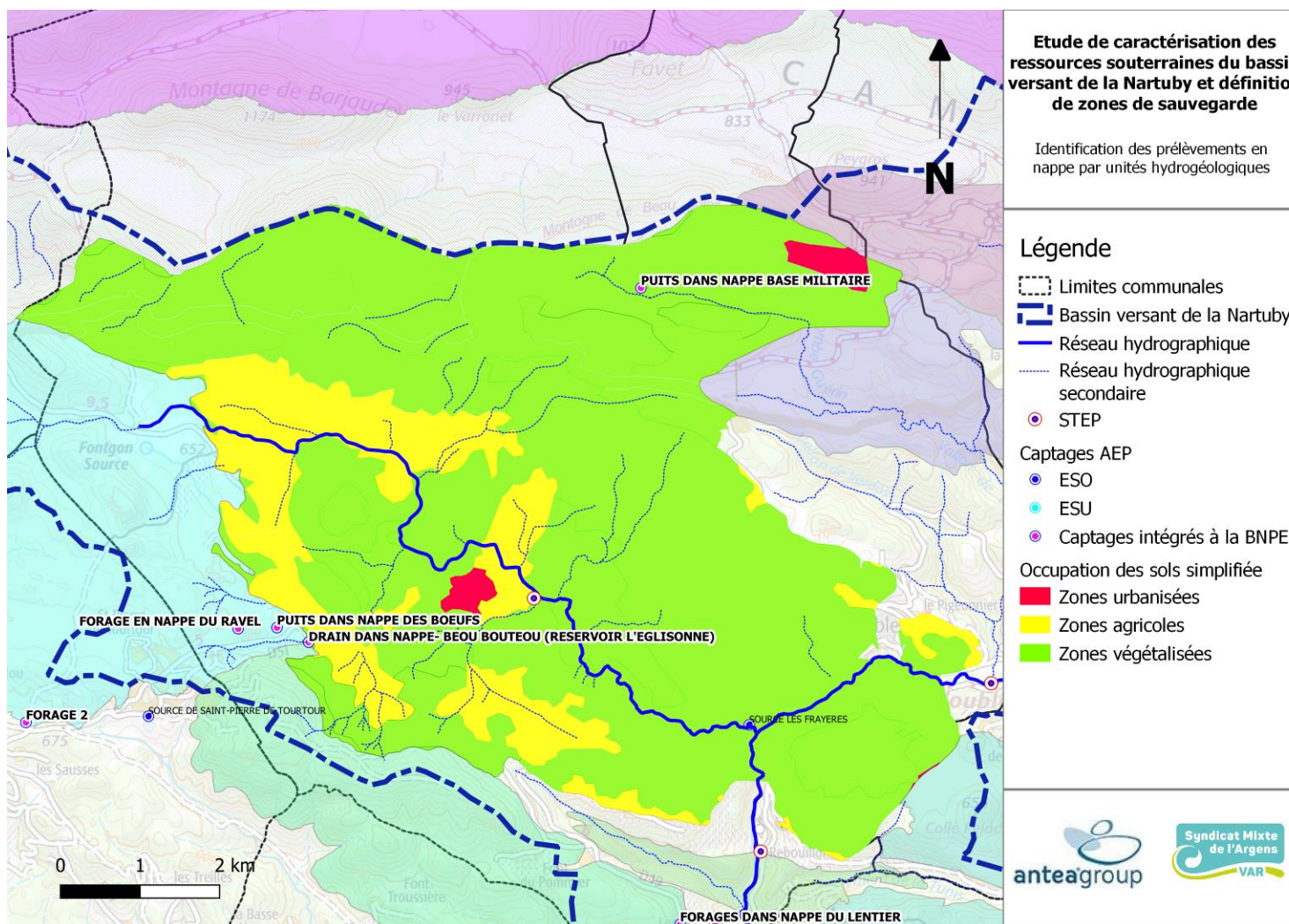


Figure 50 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique d'Aups-Fontigon





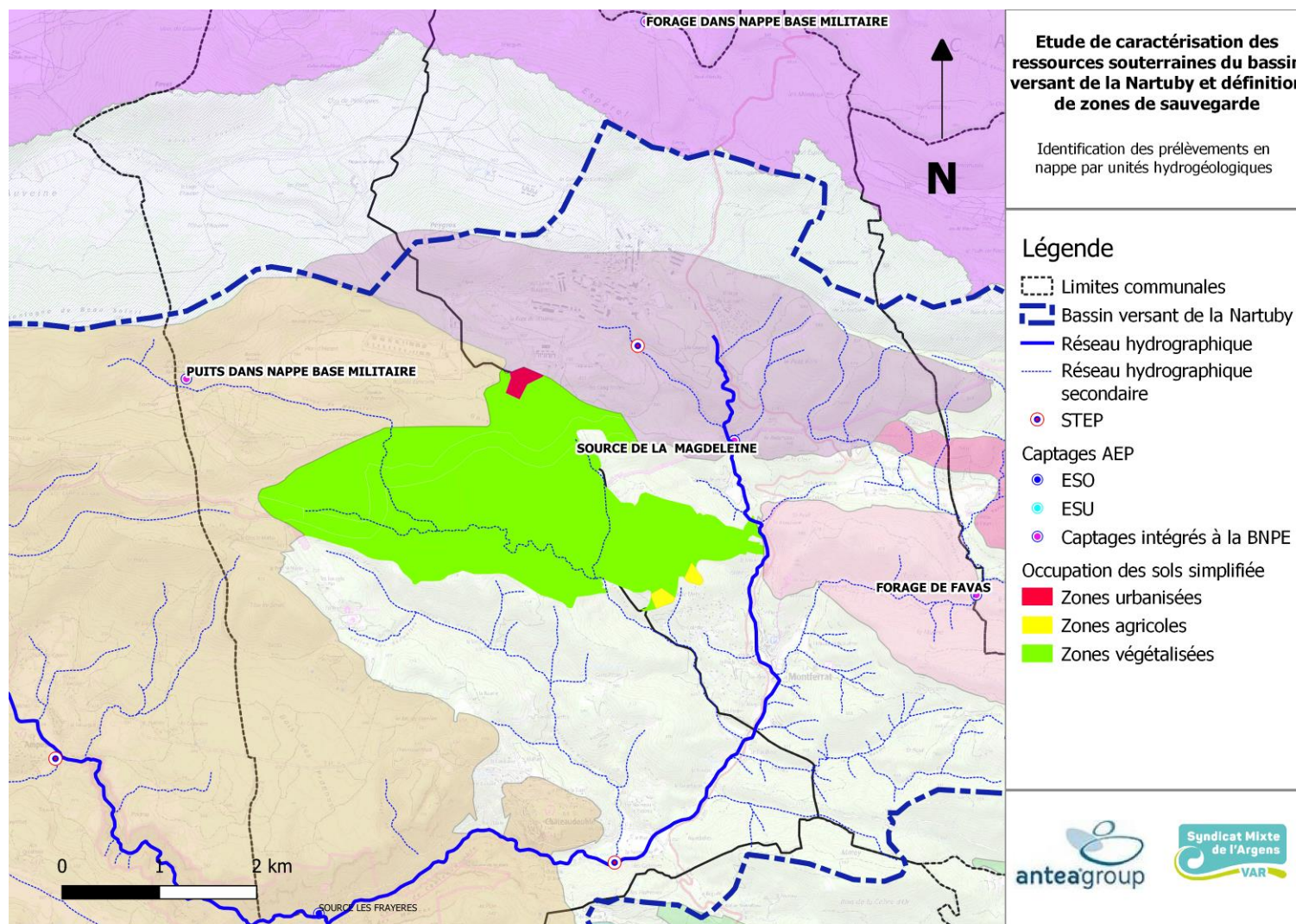


Figure 52 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique de Bivosque



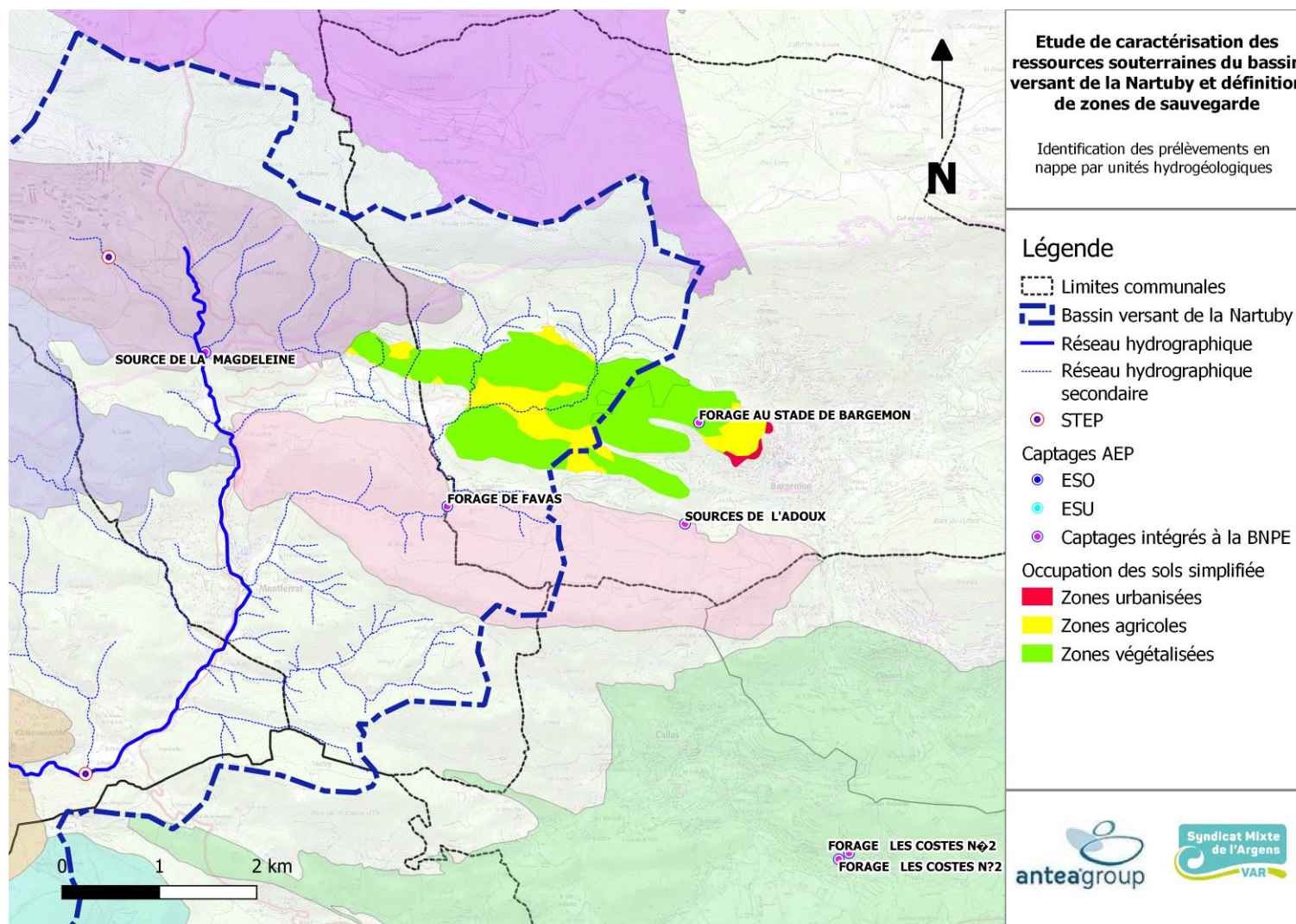


Figure 53 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique de Favas



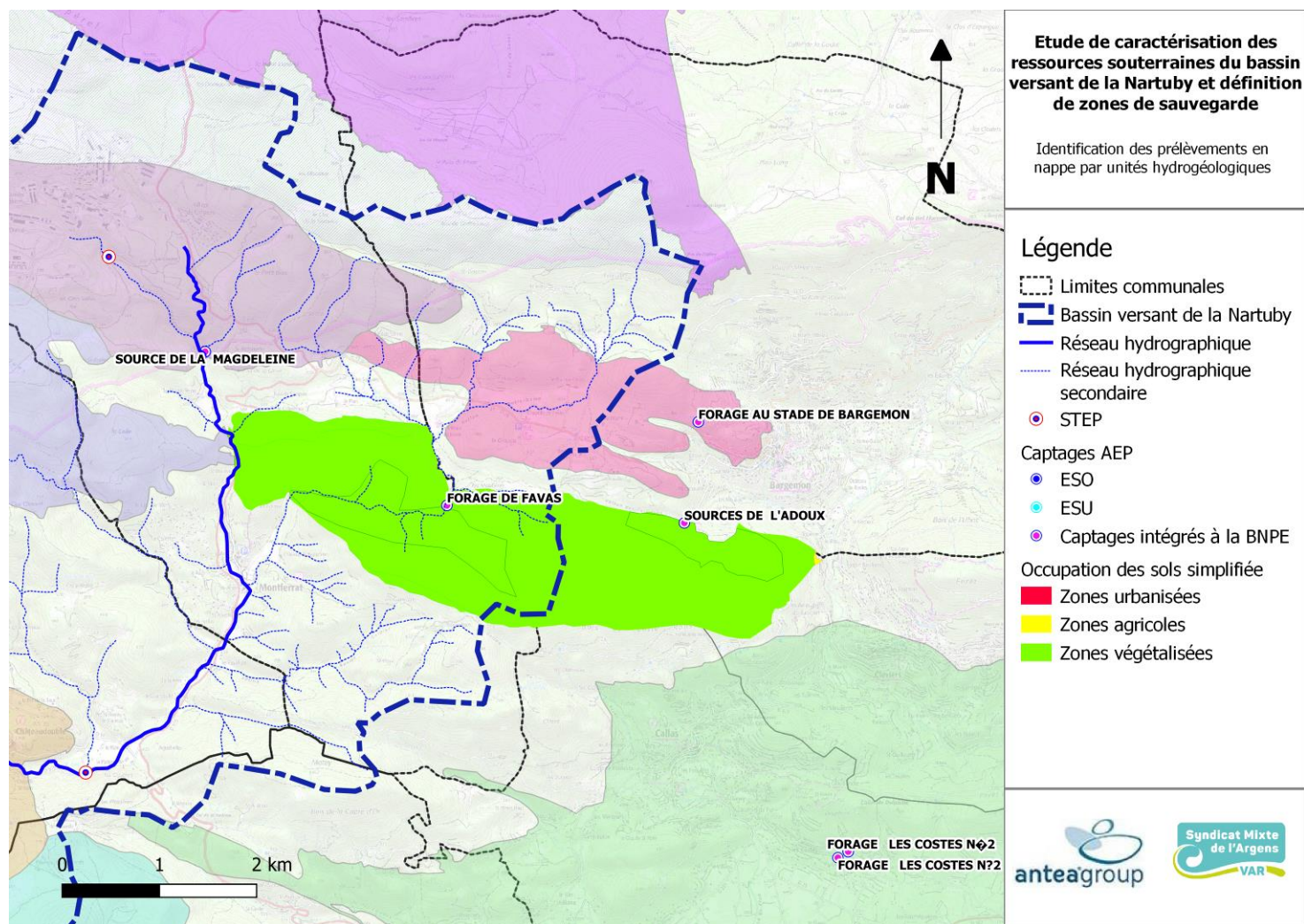


Figure 54 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique de La Doux

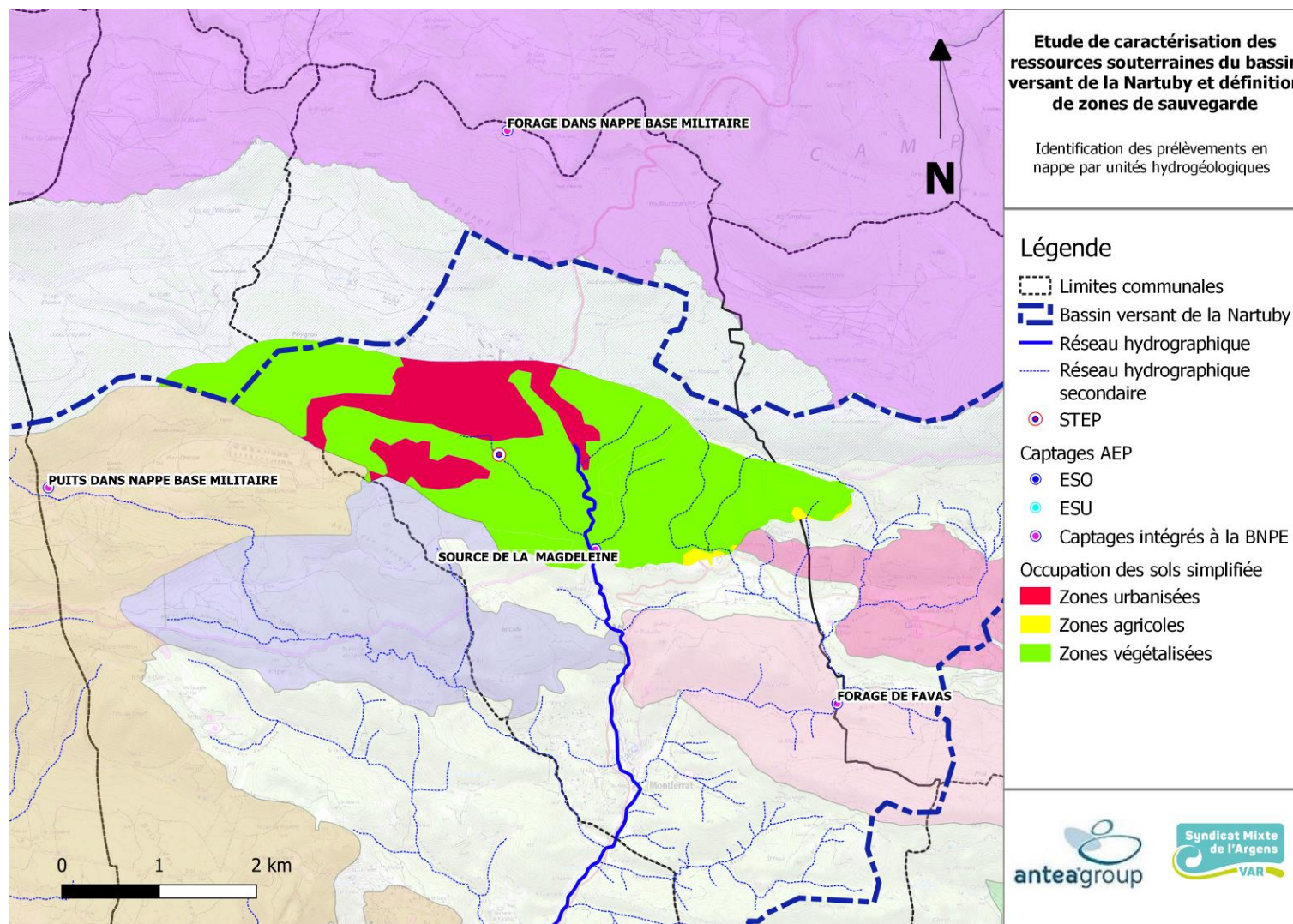


Figure 55 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique de La Magdeleine



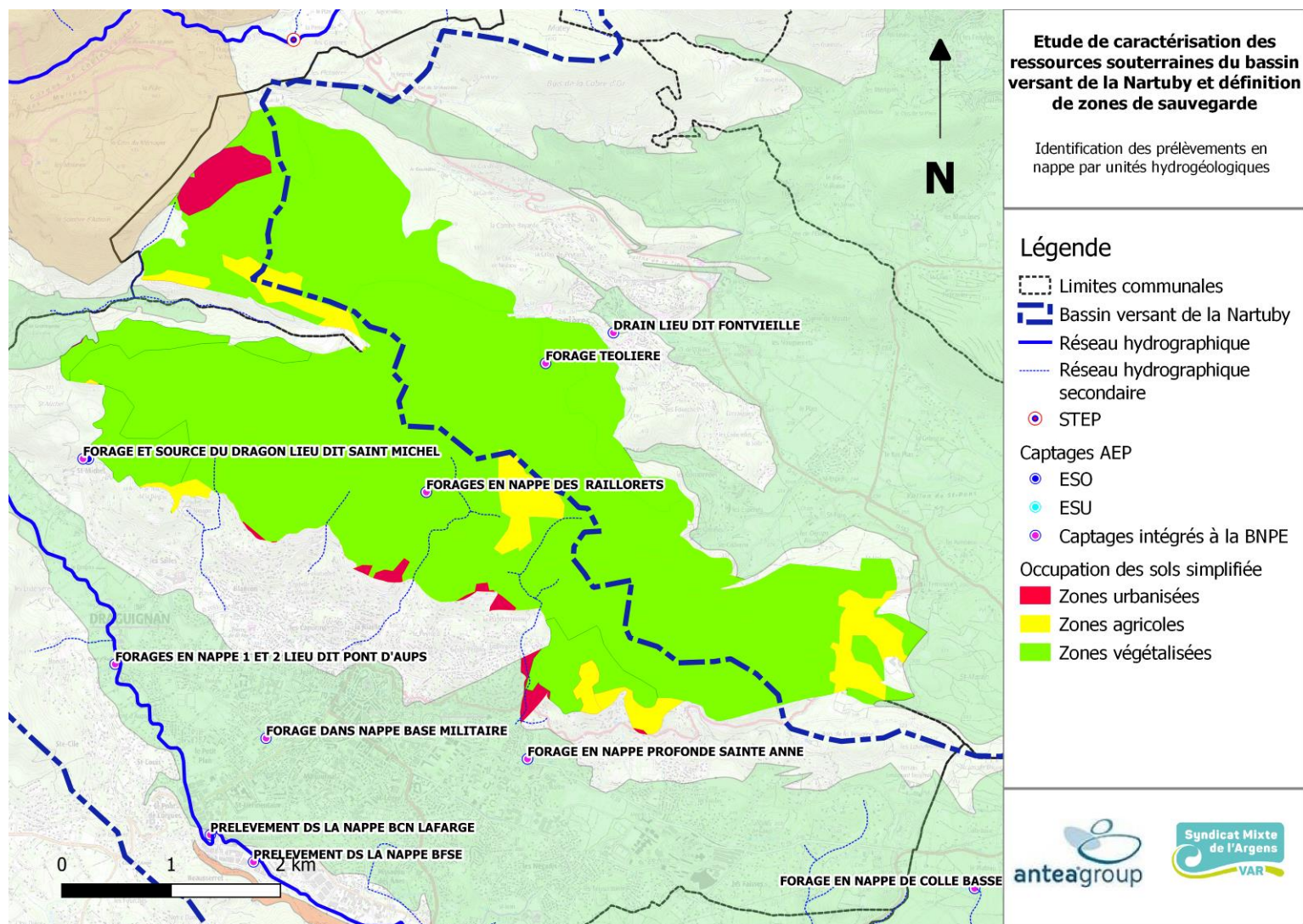


Figure 56 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique du Malmont



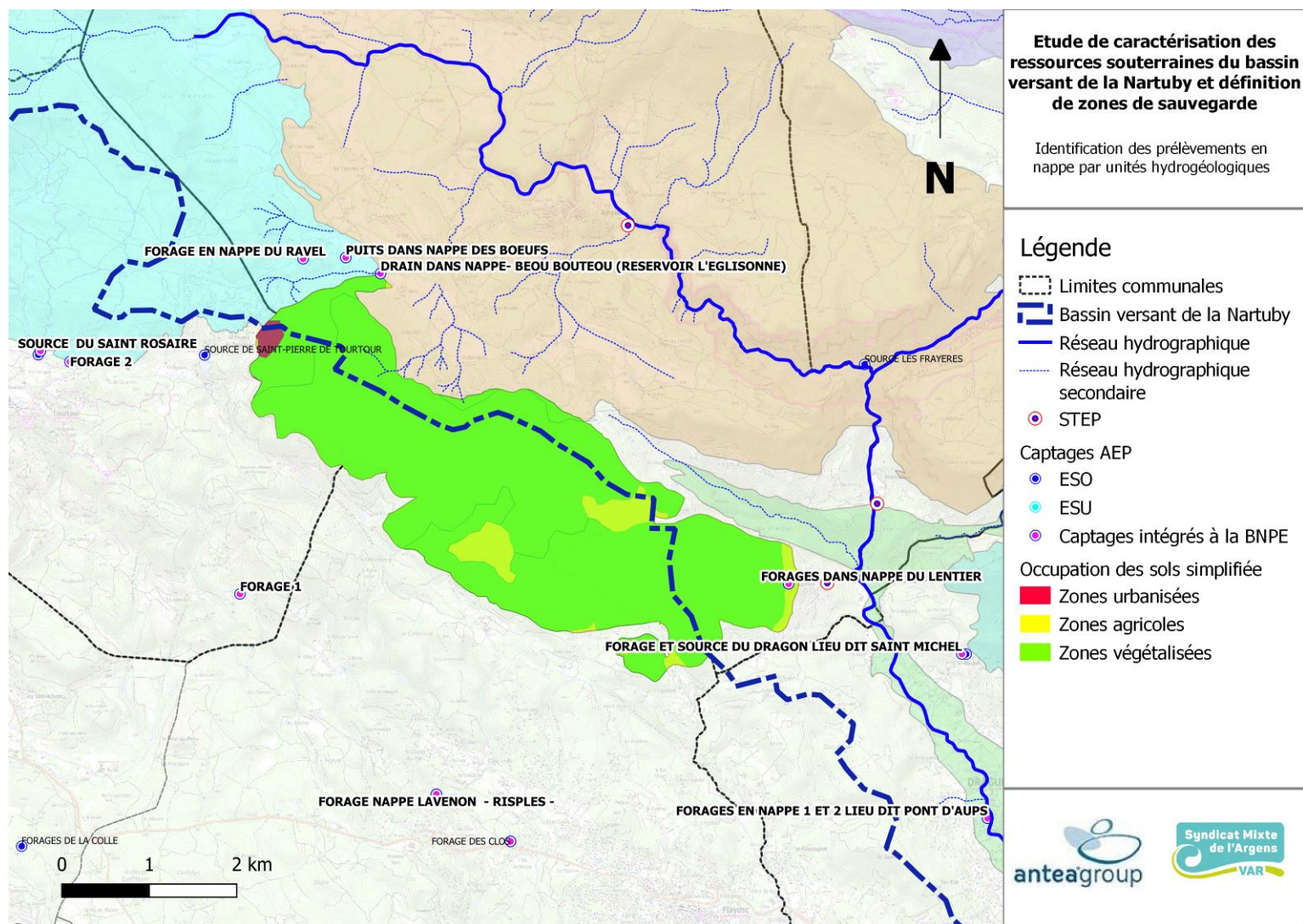


Figure 57 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique du Puy de la Sigüe

### 5.4.1.2. Aquifère Muschelkalk

2 unités hydrogéologiques identifiées au sud du bassin versant concernent l'aquifère du Muschelkalk : Les Arcs et La Foux.

Le tableau et les cartographies en pages suivantes synthétisent les éléments ayant permis d'aboutir aux résultats présentés ci-dessous.

D'après l'analyse réalisée, il en ressort les éléments suivants :

- L'unité de La Foux fait l'objet de l'exploitation la plus intense avec 10 captages recensés pour un volume total prélevé (tout usage confondu) de plus de 3,15 millions de m<sup>3</sup> en 2018. **Les prélèvements associés à l'unité de La Foux représentent presque 70 % du volume total capté au sein de l'aquifère Muschelkalk** sur le territoire d'étude. A noter que la surface de cette unité est également la plus grande ;
- L'unité de La Foux présente une hauteur d'eau ruisselée plus importante étant donné son urbanisation plus développée (plaine alluviale de Draguignan et village de Callas principalement) à l'échelle de la surface totale de l'unité ;
- Le ratio prélèvement/recharge pluviométrique de ces deux unités hydrogéologiques est compris entre 5 et 8 %.

Bien que plus étendues, **ces unités hydrogéologiques sont plus exploitées que celles de l'aquifère Jurassique** (volume exploité équivalent à 60 % du volume total prélevé à l'échelle du territoire d'étude). Les volumes mobilisables y sont possiblement plus importants.

Entre 2012 et 2019, l'exploitation des différentes unités aquifères est relativement stable à l'exception de l'unité d'Aups-Fontignon pour laquelle les prélèvements des canaux (source du Saint Rosaire) sont variables (fluctuant entre 735 000 et 2 050 000 m<sup>3</sup>).

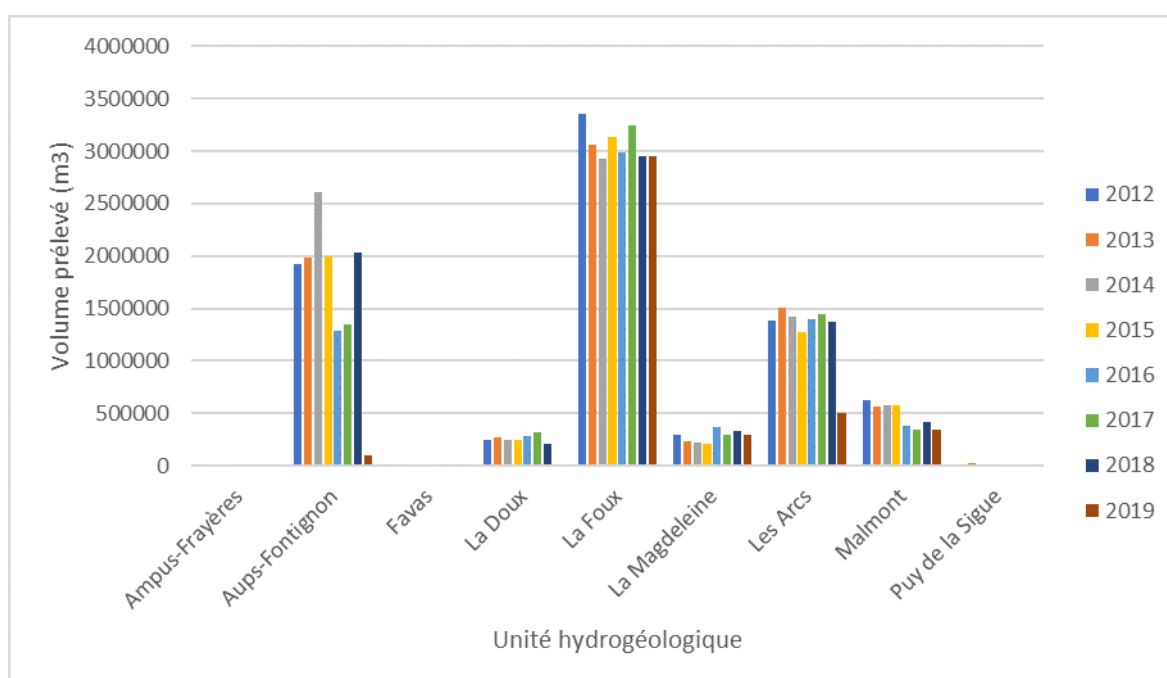


Figure 58 : Evolution des prélèvements en nappe par unités hydrogéologiques

Hydrogéologie		Occupation des sols				Prélèvement		Bilan hydrique						Vulnérabilité de la ressource
Unité hydrogéologique	Masse d'eau	Surface agricole (m <sup>2</sup> )	Surface urbanisée (m <sup>2</sup> )	Surface végétalisée (m <sup>2</sup> )	Surface totale (m <sup>2</sup> )	Nombre de prélèvements souterrains recensés	Volume prélevé en 2018 (m3)	Pluie brute en 2018 (mm/an)	ETR** (mm/an)	Pluie utile (mm/an)	Lame ruisselée (mm/an)	Pluie efficace (mm/an)	Qinfiltré maximal (m3/an)	ratio prélèvement/recharge en 2018 (%)
<b>La Foux</b>	Muschelkalk	1.79E+07	1.18E+07	5.03E+07	8.00E+07	10	3176107	1433	792.27	640.73	110.14	530.58	4.24E+07	7%
<b>Les Arcs</b>	Muschelkalk	1.16E+07	3.53E+06	2.69E+07	4.20E+07	6	1377453	1433	792.27	640.73	81.24	559.49	2.35E+07	6%

**Tableau 9 : Synthèse des calculs caractérisant les pressions d'exploitation actuelle sur les unités hydrogéologiques du Muschelkalk**



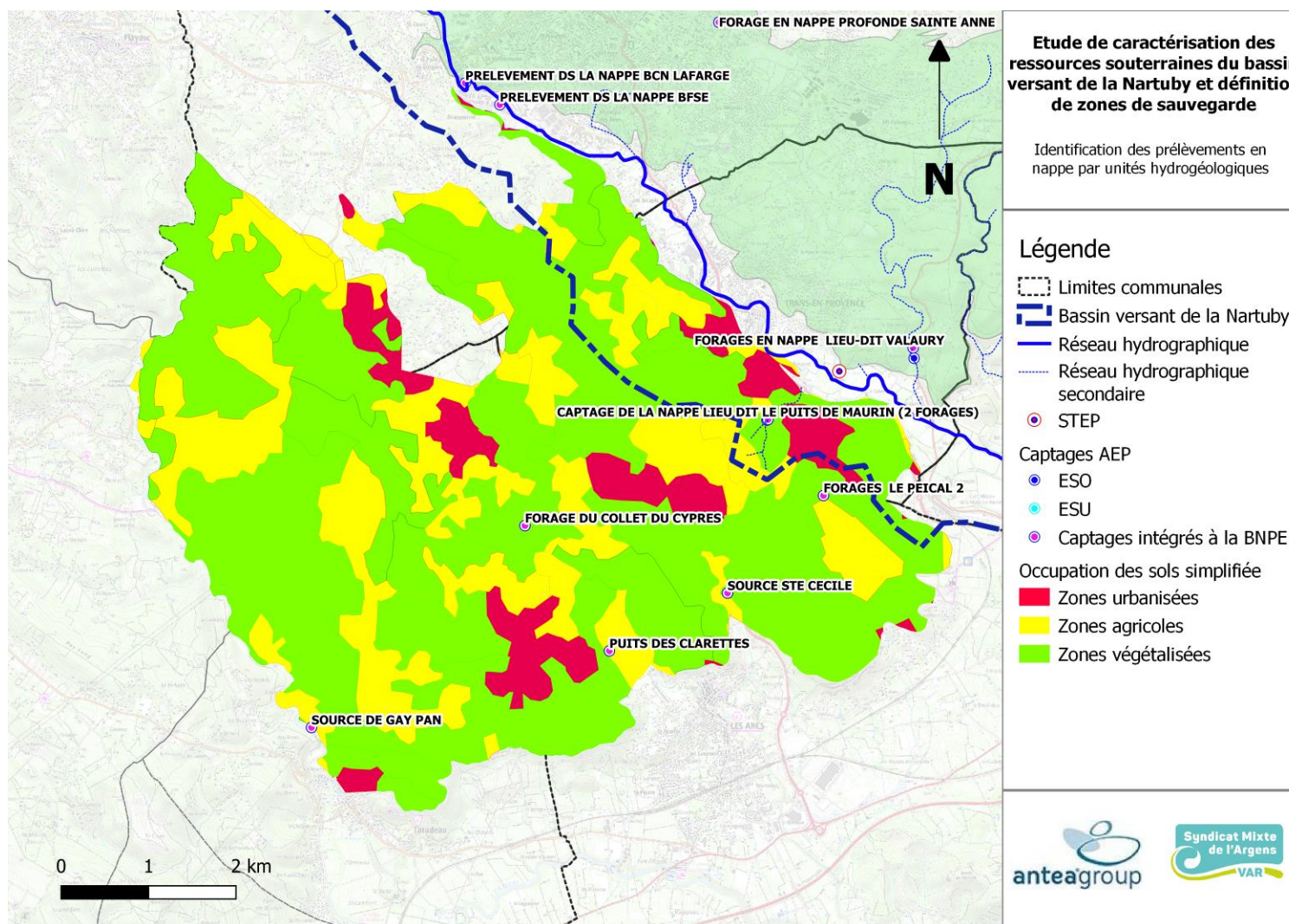
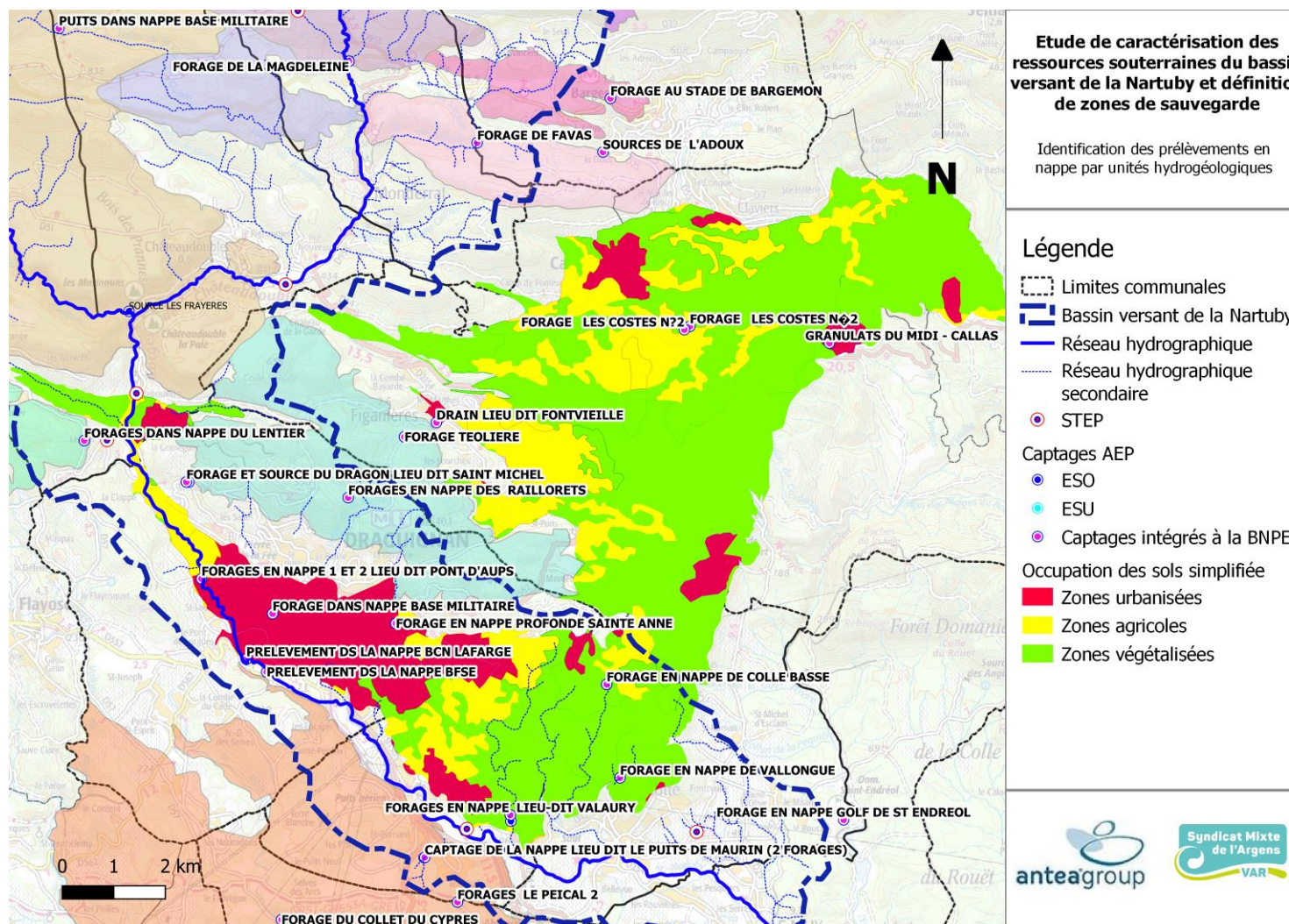


Figure 59 : Identification des prélèvements en nappe - Unité hydrogéologique des Arcs





A noter qu'à ce jour les prélèvements des canaux de Rebouillon (commune de Châteaudouble) et de Valbourgès (commune de La Motte) sont suivis mensuellement par le SMA entre les mois de mai et octobre. En effet, c'est en période estivale que les canaux ponctionnent un débit plus conséquent sur la Nartuby (besoins agricoles).

Les débits de pointe, mesurés sur les mois de juillet ou août, atteignent :

- Environ 0,2 m<sup>3</sup>/s pour le canal de Rebouillon (valeur maximale relevée en 2019) ;
- Environ 1 m<sup>3</sup>/s pour le canal de Valbourgès (valeur maximale relevée en 2020).

D'autres canaux sont présents sur le linéaire de la Nartuby, toutefois selon le SMA, les débits prélevés sont négligeables (< 0,5 m<sup>3</sup>/h).



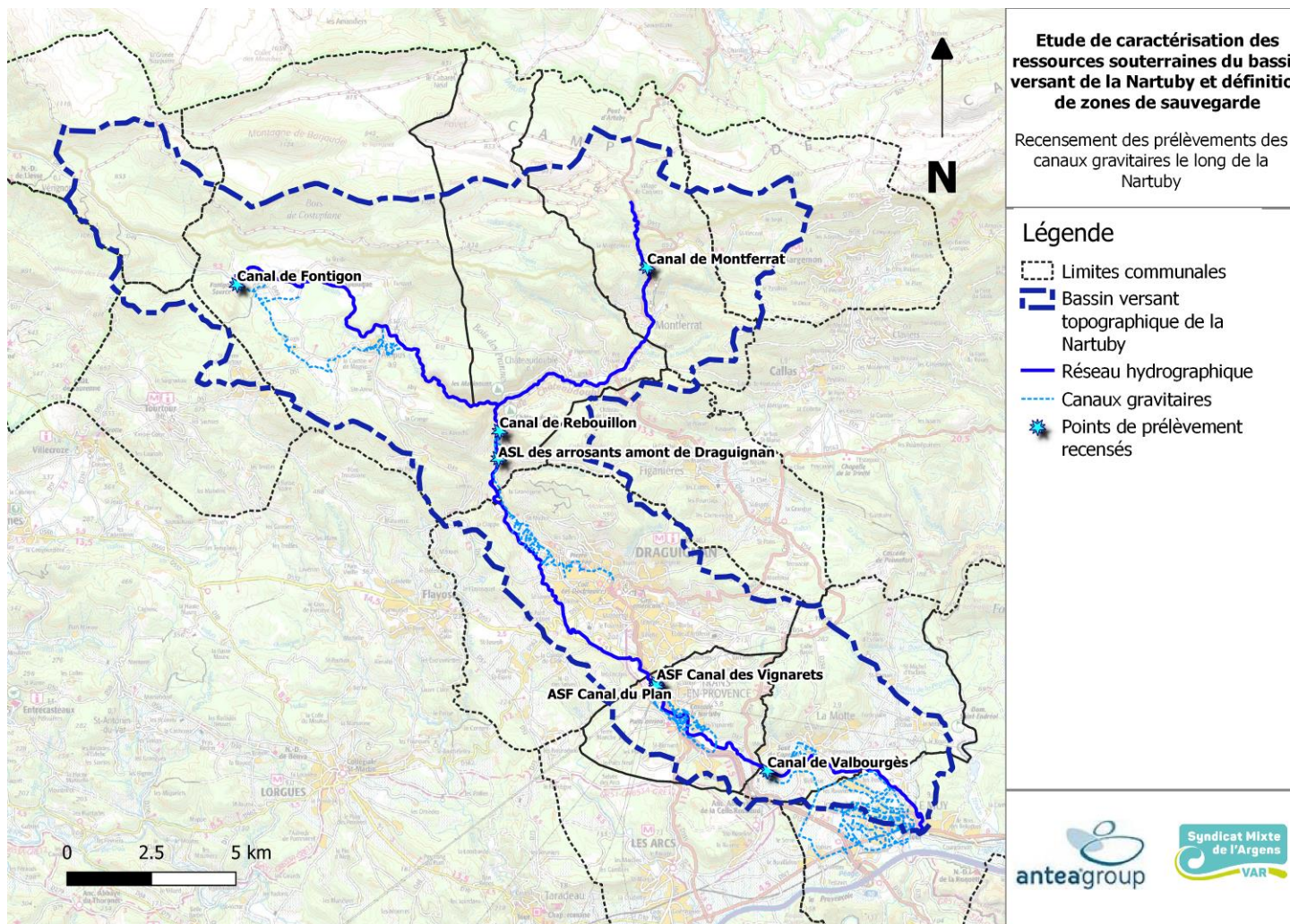


Figure 61 : Recensement des prélèvements des eaux de la Nartuby par des canaux gravitaires

## 5.4.2. Qualité des eaux prélevées

### 5.4.2.1. Cadre général

Les eaux de l'aquifère Jurassique sont de type bicarbonaté-calcique. Ces eaux montrent typiquement de fortes proportions de calcium, magnésium et bicarbonates, issus de la dissolution des roches calcaires. Un marquage sulfaté est possible sur le karst profond du fait de la présence du substratum Triasique (dissolution du gypse).

L'aquifère du Muschelkalk peut présenter une minéralisation variable en fonction des gisements gypsifères et salifères. La source de La Foux peut être un bon témoin et exemple de la qualité de ces eaux en aval du complexe Jurassique de l'amont du bassin versant. Ces dernières sont caractérisées par une concentration en chlorures, sulfates et calcium élevée. Le sodium et les chlorures proviennent probablement de la dissolution de l'halite (NaCl) tandis que celle des sulfates et du calcium provient très probablement de la dissolution du gypse.

D'après l'étude du BRGM de 2014 :

- En hautes eaux, le 21/02/2013, la conductivité était de 5120  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la concentration en chlorures de 1080 mg/l et la concentration en sulfates de 975 mg/l.
- En basses eaux, le 17/07/2013, la conductivité était de 4310  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la concentration en chlorures de 842 mg/l et la concentration en sulfates de 821 mg/l.

Au N-NE et au Nord-Est de la source de la Foux, des conductivités de l'ordre de 2 000 à 4 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sont mesurées. A l'Ouest de la commune de Draguignan, au niveau du Clos d'Aron, des conductivités de l'ordre de 2 000 à 3 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sont mesurées.

L'alimentation indirecte de l'aquifère du Muschelkalk par l'aquifère Jurassique, via les pertes de la Nartuby et les résurgences sur les pourtours des massifs, peut induire des zones de mélange des eaux entraînant une signature physico-chimique intermédiaire entre ces deux grands ensembles.

A proximité de Draguignan, carrefour névralgique des différents faciès des eaux souterraines, l'étude des dolines du massif du Malmont menée par Antea Group [37] a mis en évidence :

- L'absence de pollution d'origine anthropique (métaux lourds, composés chimiques, hydrocarbures) sur l'ensemble des points de mesure : résultats inférieurs aux seuils de quantification ;
- De faibles teneurs en nitrates : résultats inférieurs à 10 mg/l ;
- L'analyse des teneurs en anions et cations permet de mettre en évidence 3 types de signatures physico-chimiques des eaux :
  - **pôle n°1 - Eau de type bicarbonatée calcique et magnésienne ;**
  - **pôle n°2 - Eau de type bicarbonatée calcique et magnésienne, chlorurée et sulfatée ;**
  - **pôle n°3 - Eau de type chlorurée, sulfatée et sodique.**

En fonction de la période hydrologique, certains points de mesure sont susceptibles de changer de pôle comme le montrent les diagrammes en pages suivantes.



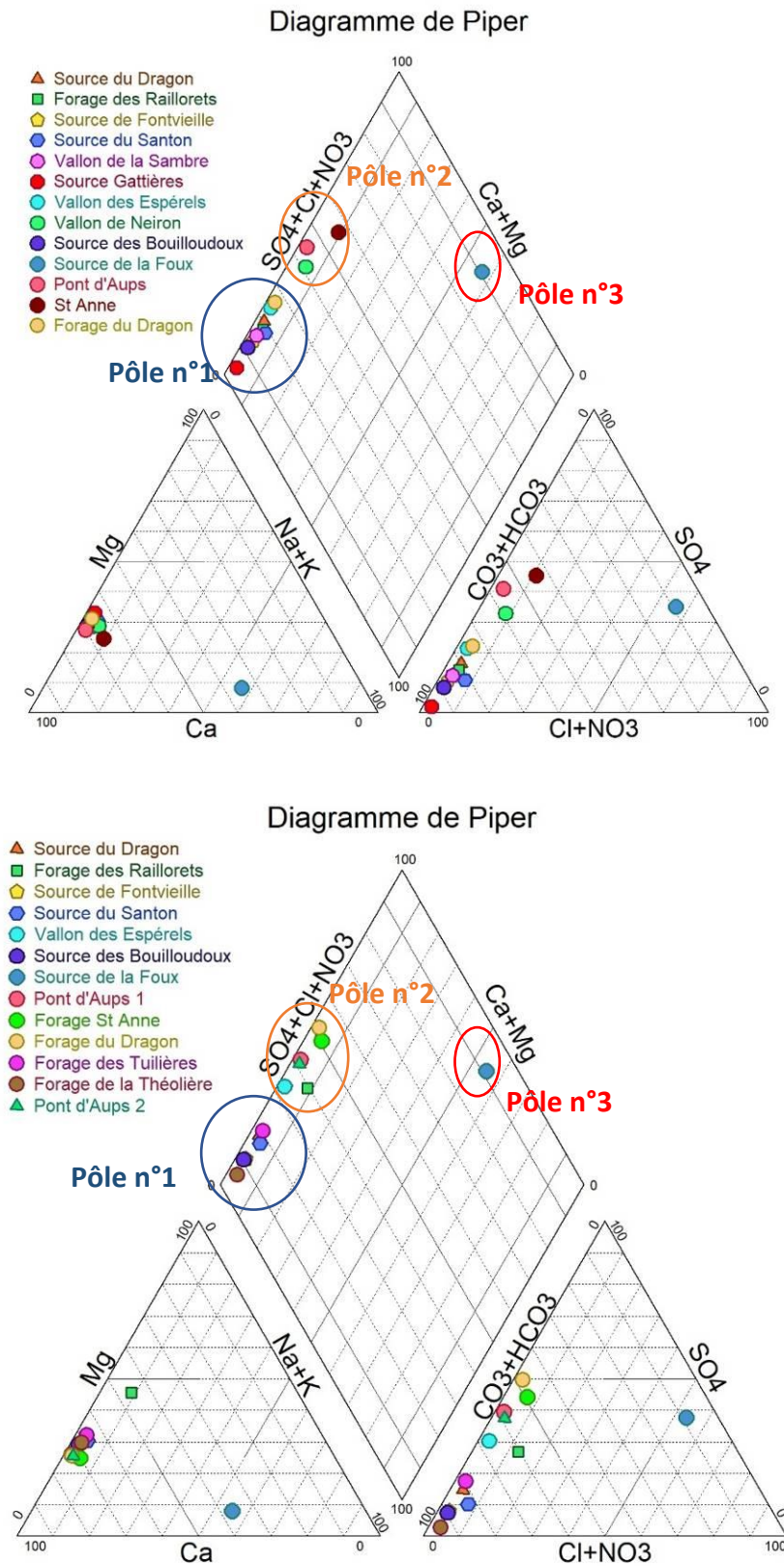


Figure 62 : Diagramme de Piper représentatif des eaux prélevées au droit des points de suivi dans le cadre de l'étude des dolines du Malmont (février 2020 en haut et mai 2020 en bas, Antea Group)



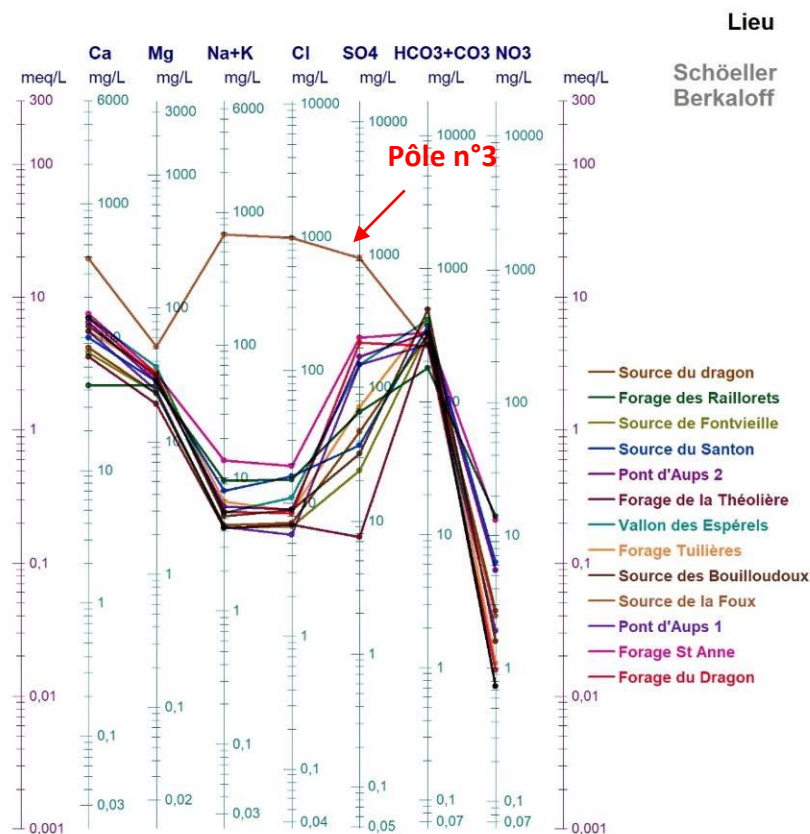
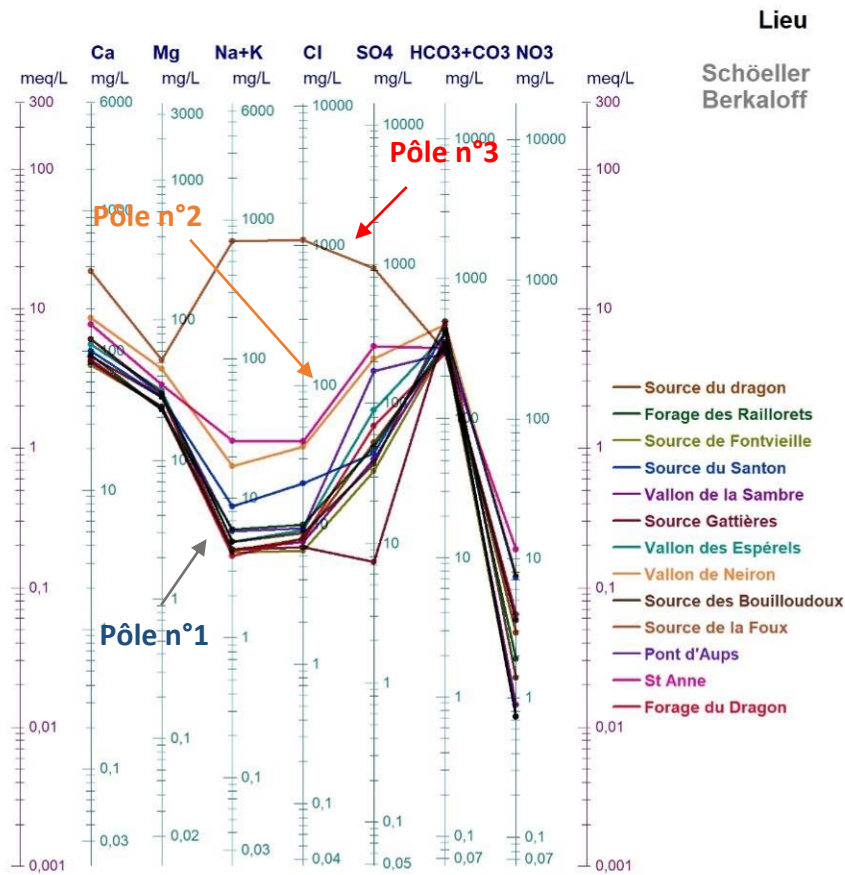


Figure 63 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff représentatif des eaux prélevées au droit des points de suivi dans le cadre de l'étude des dolines du Malmont (février 2020 en haut et mai 2020 en bas, Antea Group)

### 5.4.2.2. Sensibilité qualitative des aquifères

A l'échelle du bassin versant, et sur la base de la bibliographie disponible, les problèmes rencontrés vis-à-vis de l'exploitation de ces eaux à destination d'une consommation humaine peuvent être :

- **Aquifère Jurassique** : suite au retour d'expérience concernant l'exploitation de la source des Frayères, le risque de contamination bactériologique n'est pas à exclure compte tenu des vitesses rapides de circulation des eaux dans les drains karstiques et en l'absence de formation poreuse jouant le rôle de filtre naturel ou de formation superficielle imperméable jouant le rôle d'écran ;
- **Aquifère du Trias** : les concentrations en sulfates et chlorures de eaux peuvent être supérieures à la référence qualité mentionnée dans l'arrêté du 11 janvier 2007 fixant les limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. La concentration maximale acceptée pour ces paramètres est de 250 mg/l.

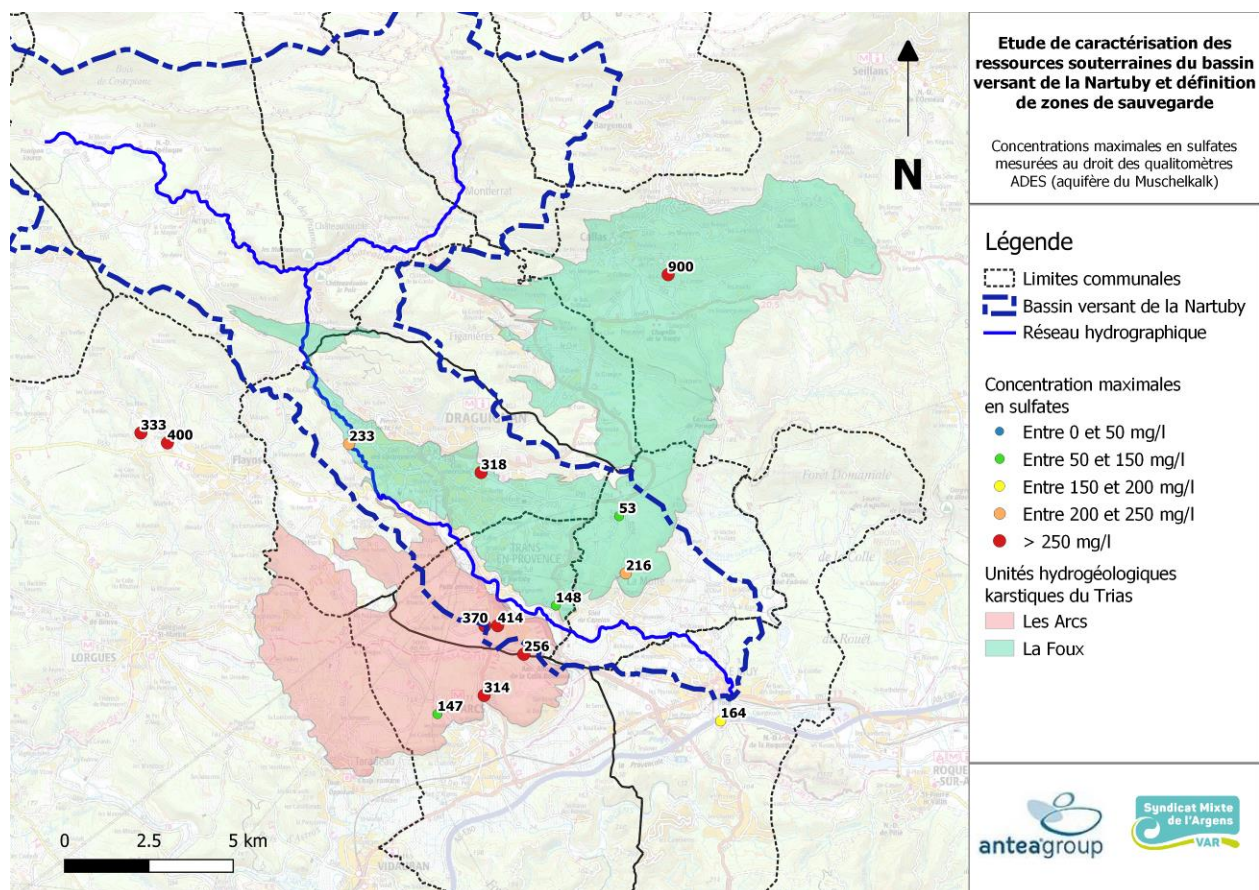


Figure 64 : Concentrations maximales mesurées en sulfates (qualitomètres ADES associés à l'aquifère du Muschelkalk)

A noter que le rejet des STEP peuvent constitués une source de pollution à part entière. Le BV de la Nartuby compte 7 STEP. Une STEP est également présente au droit de l'unité hydrogéologique de La Foux sur la commune de Callas.

D'après le RAD du service Assainissement du territoire de Draguignan et Trans-en-Provence, en 2017, le volume traité (équivalent au **volume rejeté vers le milieu naturel, soit la Nartuby**) est équivalent à environ 1,819 millions de m<sup>3</sup>. Le débit de pointe mesuré sur cette même année étant de 14 021 m<sup>3</sup>/j le 11/12/2017.

Dans ce secteur, aucune information n'est disponible pour quantifier les zones d'apports et de pertes de la Nartuby et son lien avec la nappe.

Le territoire du SIVOM de Callas compte 2 stations d'épuration : STEP de Châteaudouble et de Claviers. Les rejets de la STEP de Châteaudouble rejoignent la Nartuby en amont des gorges de Châteaudouble. Les volumes épurés par la station en 2019 sont estimés à 41 600 m<sup>3</sup>.

En 2019, la STEP de la commune de Callas a traité un volume total de 70 280 m<sup>3</sup>. Les eaux épurées sont rejetées dans le Vallon du Plan qui incise le massif du Muschelkalk. Il rejoint ensuite les gorges de Pennafort en aval.

En amont de l'unité hydrogéologique de La Foux, en 2019, les rejets de la STEP de Claviers-Bargemon sont estimés à 96 240 m<sup>3</sup>. Les eaux épurées sont rejetées dans le cours d'eau de la Doux qui rejoint le Riou en aval.



## 6. Synthèse et avis sur l'état des connaissances actuelles

### 6.1. Compréhension du fonctionnement hydrogéologique

À l'échelle du bassin versant de la Nartuby les ressources en eau souterraines sont localisées dans les deux aquifères carbonatés karstiques du Jurassique et du Muschelkalk. Ces deux réservoirs sont séparés par un niveau considéré comme aquiclude, le Keuper marno-gypseux (cf. Figure 23).

**Sur le territoire du bassin versant de la Nartuby (232 km<sup>2</sup>), 10 unités hydrogéologiques karstiques ont été identifiées** et caractérisées au vu des connaissances disponibles en termes de fonctionnement hydrogéologique et de structuration karstiques.

**Les remontées de Keuper imperméable dans l'axe des plis et chevauchements suggèrent une compartimentation verticale de l'aquifère** avec des phénomènes de seuil de débordement : en dessous d'une certaine cote le drainage se fait probablement vers Fontaine l'évêque, alors qu'en dessus les écoulements participent probablement aux sources du bassin versant de la Nartuby, et notamment des Frayères.

**Les écoulements souterrains au sein du réservoir jurassique sont dirigés au niveau du Keuper sous-jacent, puis dans des directions contrôlées structurellement par des plis**, et plus exactement par les gouttières synclinales, avec des **zones de restitution situées aux points bas** des contacts entre les carbonates et les formations imperméables.

Les grandes failles sont susceptibles de jouer un rôle prépondérant dans le drainage des eaux souterraines dans la mesure où elles peuvent constituer, lorsqu'elles affectent la masse carbonatée, une fracturation plus importante qui augmente la connectivité des fractures et induit une perméabilité accrue.

À la base du réservoir jurassique, le rhétien calcaire et marneux, possède une perméabilité relative dans les strates calcaires et faible dans les passées marneuses. En raison de la fracturation d'origine tectonique, l'infiltration et les écoulements dans cette unité géologique rejoignent le contact avec le Keuper.

Certaines sources montrent des compositions essentiellement bicarbonatées calciques et magnésienne attestant d'un transit qui s'effectue principalement dans les terrains carbonatés. D'autres sources présentent des teneurs en sulfates élevées. La composition chimique et la disposition de ces sources au contact des terrains du Keuper traduit l'organisation de chemins de drainage selon des karsts de contact développés entre les terrains du Keuper marno-gypseux et les terrains carbonatés sus-jacent (Keuper terminal, Rhétien ou jurassique inférieur).

Les travertins présents à l'aval au niveau de Trans-en-Provence, La Motte et les Arcs constituent également des indices karstiques de zone d'exutoire dans la mesure où ils traduisent des arrivées d'eau en relation avec le milieu karstique. Ce vaste dispositif de travertins, dont le sommet est daté de la fin du pléistocène (Tyrrhénien), traduit la pérennité de processus de dépôts et de précipitation. La position de ces travertins est probablement en lien avec la présence de la source de la Foux ou un ancien exutoire du massif de Muschelkalk, dont le mélange des eaux en aval avec la Nartuby a provoqué la déstabilisation des équilibres calco-carboniques et engendré la mise en place et l'entretien de ces travertins.

**Le diagnostic karstologique et hydrogéologique du bassin versant fait état de zones d'incertitude pour lesquelles des hypothèses sont suggérées sur la base des connaissances acquises via la bibliographie existante, renforcées par les visites de terrain :**

- Structuralement, le bassin d'alimentation suspecté des Frayères était limité au nord par l'anticlinal de Chandon qui amène en position haute le Keuper. Cet anticlinal constituerait ainsi la ligne de partage des eaux souterraines entre les systèmes de drainage karstiques des Frayères et de Fontaine l'Evêque. Cependant, la coloration de 1973 aurait montré une relation entre le Plan d'Hiesse et les Frayères, mais également avec des venues d'eau dans la Nartuby d'Ampus. Cette coloration avait amené à étendre le bassin d'alimentation des Frayères plus au nord. **Cet essai de traçage, sur lequel peu d'information sont disponibles soulève des incertitudes quant aux chemins de drainage** avec notamment deux possibilités :
  - Un drainage essentiellement souterrain par l'ouest de l'anticlinal de Chandon et du Verdos aboutissant à la source des Frayères ;
  - Un drainage mixte souterrain-aérien vers les sources de Bivosque ou de la Magdeleine, puis dans le cours de la Nartuby pour se réinfiltrer dans les gorges de Châteaudouble et aboutir aux Frayères. Cependant les mesures effectuées en 1955 ne semble pas en accord avec cette hypothèse puisqu'elles supposent une participation des pertes de la Nartuby au compartiment sud (Ferrières) et non au compartiment alimentant les Frayères.

A la suite de précipitations importantes, apparaît une émergence temporaire en rive droite de la Nartuby, au niveau du chemin d'accès au captage des Frayères, soit à 5 mètres environ au-dessus du lit. Cette source temporaire serait située 300 m à l'aval de la confluence entre les deux Nartuby, vers la cote 260 m NGF. Son débit avait été jaugé à une centaine de litres par seconde en octobre 1968. Cette source, initialement dénommée "E.24" (référence de la cavité dans le Fichier des cavités du Var (CDS83, 2020), correspondrait à la **source dite des Ferrières**.

- Les terrains du Keuper participent activement à la recharge des aquifères en aval du bassin versant via les ruissellements et pertes notamment pour les unités de La Foux, La Doux, Favas. L'unité d'Ampus-Frayères est alimentée par des pertes sur le cours de la Nartuby d'Ampus et pourrait l'être par des apports de la Nartuby à l'entrée des gorges de Châteaudouble. **Ce fait serait à confirmer par des essais de traçage.**
- Stratigraphiquement en dessous et hydrogéologiquement en aval du Keuper, le réservoir du Muschelkalk se développe sur le contact avec le trias inférieur et le socle imperméable. Sur la rive gauche de la Nartuby l'hydrogéologie conditionnée par l'existence de deux zones d'émergence :
  - La Foux, émergence de débit important (de l'ordre de 800 à 900 l/s) et de régime régulier, mais chargée en NaCl ;
  - Une zone d'émergence plus diffuse entre Trans et La Motte.

À ces deux zones d'émergences, on est obligé d'attribuer un impluvium très vaste et s'étendant significativement vers le NE.

Dans ce réservoir, le problème est d'atteindre les circulations en amont des zones où s'opère la minéralisation. Cette minéralisation s'effectuerait à proximité même de la zone d'émergence de la Foux dans le secteur des Négadis. Mais **ce schéma ne permet pas d'expliquer le fonctionnement hydrogéologique de la Foux**. Les paléo-poljés de Figanières et de Callas mis en place au contact des formations carbonatés du Muschelkalk suggèrent la

structuration de réseaux de drainage en direction du sud, vers le cours de la Nartuby, contribuant au réservoir et ainsi l'existence de potentielles zones productives. **Des études géologiques et hydrogéologiques sont nécessaires afin de mieux contraindre ce réservoir aux potentialités importantes.**

En première approche, il est probable que ce réservoir soit donc compartimenté avec des interactions faibles entre les deux réservoirs du fait de leur séparation par le niveau marnogypsieux-dolomitique :

- Un compartiments supérieur drainé par la source de la Foux ;
- Un compartiment inférieur drainé par la zone de résurgence à Trans-en-Provence et par les sources de débordement à l'est.

## 6.2. Compréhension du fonctionnement des relations nappe/rivière

La Nartuby est en relation étroite avec les masses d'eau du bassin versant dont les formations encaissantes constituent le substratum de la Nartuby :

- Des calcaires du Jurassique (Portlandien et Bathonien) sur sa partie amont occidentale (Nartuby d'Ampus) ;
- Des formations imperméables du Keuper sur sa partie amont orientale (de sa source jusqu'aux gorges de Châteaudouble) et en amont de Draguignan ;
- Des calcaires du Jurassique de Châteaudouble jusqu'à Rebouillon ;
- Des calcaires du Muschelkalk de Draguignan jusqu'à La Motte ;
- Les formations du Permien sous recouvrement Quaternaire en partie aval du bassin versant de La Motte jusqu'à sa confluence avec l'Argens au Muy.

L'étude à ce jour la plus complète en termes de description des relations nappe-rivière est l'étude BRGM/CEREMA de 2013. Elle ne permet toutefois pas de lever les incertitudes sur un bilan global à l'échelle du bassin versant et la caractérisation des pertes sur les affluents dont la Nartuby d'Ampus.

Les échanges nappe/rivière dépendent évidemment du substratum sous-jacent. Lorsque la Nartuby et son corps alluvial reposent sur les séries peu perméables du Trias supérieur (Keuper), les échanges avec le substratum géologique peuvent être considérés comme négligeables.

Toutefois, la morphologie du corps alluvial encaissant peut également avoir un impact direct sur les échanges avec la rivière. Dès que les développements alluviaux deviennent importants, les eaux de surface ont tendance à disparaître au bénéfice d'un trajet souterrain dans le corps alluvionnaire : phénomène d'inféoflux (échanges entre la rivière et les alluvions). C'est le cas en amont immédiat des gorges de Châteaudouble.



De façon synthétique, la répartition des zones d'apports et de pertes identifiées à l'échelle du bassin versant est la suivante :

- La partie Nord-Est en amont du bassin versant est caractérisée par des **zones de pertes** à la faveur du corps alluvial.
- La partie Nord-Ouest en amont du bassin versant se caractérise par des **zones de pertes** localisées dans les gorges de la Nartuby d'Ampus (vallon de Valségure ainsi qu'à l'aval de la station d'épuration) au profit des unités jurassique supérieur à proximité immédiate. Ces infiltrations sont drainées in fine par la source des Frayères (exutoire le plus bas du système karstique jurassique).
- A la confluence des Nartuby, l'appareil alluvial de la Nartuby est au contact avec les séries du Jurassique supérieur et du Lias, réputées aquifères. Le contact peut être direct ou indirect via des éboulis qui sont en position de relais hydraulique entre les séries aquifères du Jurassique et l'appareil alluvial de la Nartuby. C'est une **zone d'alimentation** de la Nartuby par les aquifères karstiques, dont la compartimentation reste à être déterminée. Plus à l'aval, deux exutoires sont réputés drainer les unités karstiques en rive gauche de la Nartuby et en rive droite de la Nartuby d'Ampus : sources des Ferrières (240 m NGF) et source aval des Frayères (260 m NGF).
- De Rebouillon à St Hermentaire, les échanges nappe/rivière ne sont pas clairement identifiés. Dans le secteur de Rebouillon, il est fort probable que ces échanges soient variables dans le temps et contrôlés par le niveau piézométrique de l'aquifère liasique. Plus en aval, le contact Keuper/Muschelkalk n'est pas défini masquant les relations nappe/rivière dans ce secteur.
- Dans la partie aval du bassin versant, les mesures partielles ne permettent pas de localiser précisément les zones d'apports. Les données acquises tendent à montrer que les retours à la Nartuby se feraient au droit de **trois zones d'exutoire** : secteur St Hermentaire (venues d'eau sous-alluviales), source de La Foux et secteur des gorges de Trans-en-Provence (sources diffuses ou localisées).

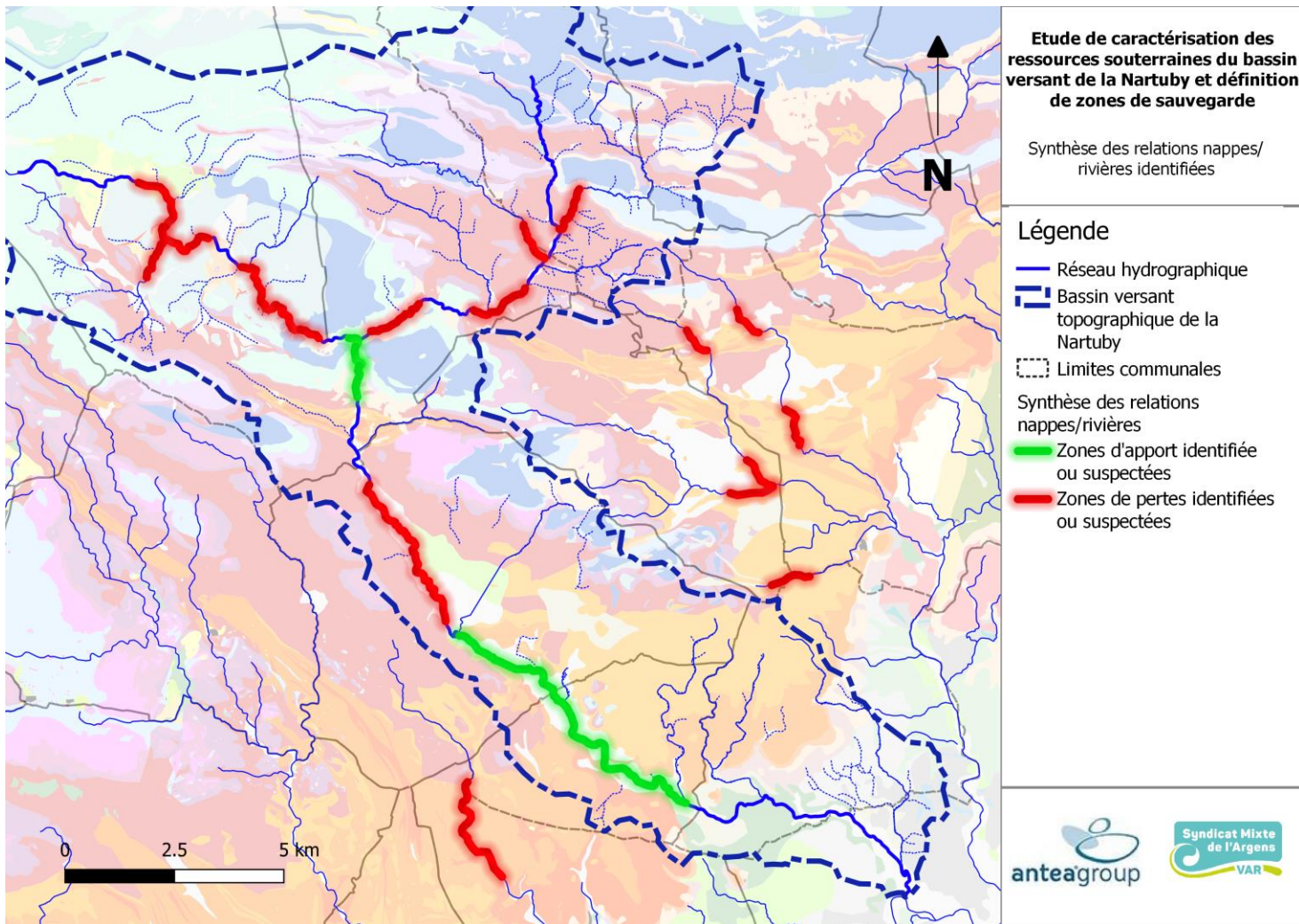


Figure 65 : Synthèse des zones d'apports et de pertes identifiées ou suspectées au sein du réseau hydrographique du territoire d'étude

### 6.3. Usage des eaux souterraines

La plupart des unités sont aujourd'hui partiellement ou totalement exploitées, cette notion étant dépendante du mode de gestion des aquifères (forage, captage gravitaire, gestion active). Seules les unités du Puy de la Sigüe et de la Foux sont pas ou peu exploitées.

Sur le territoire d'étude, un total de 538 forages ou sondages est recensé sur la BSS. Sur ce total, 38% ont été réalisés en vue d'une recherche d'eau, et 20% sont réellement exploités pour l'eau souterraine (ouvrages de surveillance et d'exploitation confondus).

Hors effet de juxtaposition, le bassin versant de la Nartuby est couvert à près de 20 % de sa surface totale par des périmètres de protection ce qui est favorable à l'objectif de préservation de la ressource en eau.

Les prélèvements en nappe à vocation industrielle concernent quant à eux :

- Le prélèvement en nappe de Granulats du Midi sur la commune de Callas ;
- Le prélèvement en nappe de l'entreprise BCN Lafarge sur la commune de Draguignan.

Ces prélèvements sont en moyenne inférieurs à 50 000 m<sup>3</sup>/an.

Les unités hydrogéologiques du Jurassique soumises à une pression plus importante sont celles d'Aups-Fontigon et de la Magdeleine. Après une analyse hydrologique permettant de calculer la recharge réelle liée aux apports pluviométriques, le ratio prélèvement/recharge pluviométrique est proche de 10 % pour ces deux unités. L'année 2018 ne comprend bien sûr pas l'exploitation des Frayères.

L'unité d'Aups-Fontigon fait l'objet d'une exploitation plus intense à travers 7 captages. Le volume prélevé en 2018 à l'échelle de l'unité hydrogéologique s'élevait à environ 2 Mm<sup>3</sup>.

Les unités hydrogéologiques des calcaires du Muschelkalk sont plus exploitées que celles de l'aquifère Jurassique (volume exploité équivalent à 60 % du volume total prélevé à l'échelle du territoire d'étude). Les volumes mobilisables y sont possiblement plus importants.

L'unité de La Foux présente une hauteur d'eau ruisselée plus importante étant donné son urbanisation plus développée (plaine alluviale de Draguignan et village de Callas principalement). Elle fait également l'objet de l'exploitation la plus intense (10 captages recensés sur son étendue) avec un volume prélevé d'environ 3,15 Mm<sup>3</sup> en 2018.

Les forages d'exploitation structurants concernent les forages de Sainte Anne pour l'aquifère Muschelkalk (unité de La Foux) avec environ 2 Mm<sup>3</sup>/an, et l'exploitation de la source du Saint Rosaire à Tourtour pour l'aquifère Jurassique (unité d'Aups-Fontigon) avec un volume prélevé variant entre 700 000 et 2 Mm<sup>3</sup>/an.

Bien que plus étendues, **les unités hydrogéologiques du Muschelkalk sont plus exploitées que celles de l'aquifère Jurassique** (volume exploité équivalent à 60 % du volume total prélevé à l'échelle du territoire d'étude). Les volumes mobilisables y sont possiblement plus importants.

Entre 2012 et 2019, l'exploitation des différentes unités aquifères est relativement stable à l'exception de l'unité d'Aups-Fontigon pour laquelle les prélèvements des canaux (source du Saint Rosaire) sont variables (fluctuant entre 735 000 et 2 050 000 m<sup>3</sup>)



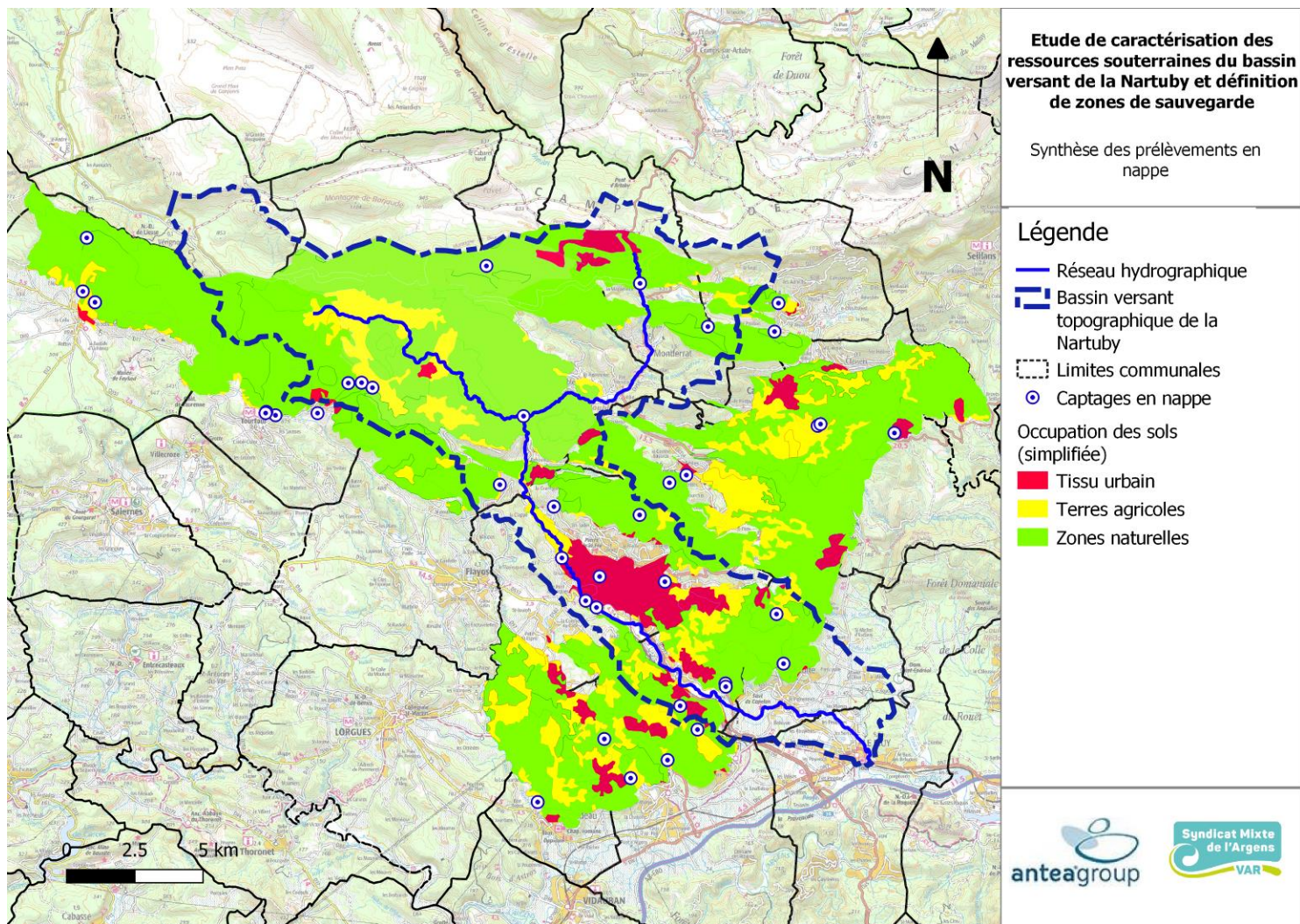


Figure 66 : Synthèse des prélèvements en nappe (AEP) à l'échelle du territoire d'étude et occupation des sols au droit des unités hydrogéologiques identifiées

## 6.4. Vulnérabilité intrinsèque de la ressource et principaux risques de pollution

La vulnérabilité de la ressource est dépendante de plusieurs facteurs d'origine naturelle (contexte géologique) ou anthropique (occupation du sol et pression associée).

Vis-à-vis de l'exploitation de ces eaux à destination d'une consommation humaine, les risques de pollution peuvent être :

- **Aquifère Jurassique** : suite au retour d'expérience concernant l'exploitation de la source des Frayères, le **risque de contamination bactériologique** n'est pas à exclure compte tenu des vitesses rapides de circulation des eaux dans les drains karstiques (à la faveur de structure karstologique favorisant l'infiltration des eaux en surface) et en l'absence de formation poreuse jouant le rôle de filtre naturel.

De plus, l'absence de formations superficielles jouant le rôle d'écran en surface peut aussi constituer un facteur de risque aggravant vis-à-vis d'une pollution ponctuelle ;

- **Aquifère du Trias** : à l'image de la source de La Foux (principal exutoire de cet aquifère dans le secteur de Draguignan), les eaux souterraines circulant au sein des calcaires du Muschelkalk peuvent être fortement minéralisées, chargées en sulfates et chlorures, et par conséquent impropres à la consommation. Directement liées aux caractéristiques géologiques du sous-sol, les concentrations en sulfates et chlorures des eaux peuvent être supérieures à la référence qualité mentionnée dans l'arrêté du 11 janvier 2007 fixant les limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. La concentration maximale acceptée pour ces paramètres est de 250 mg/l.

D'après le réseau de qualitomètres ADES disponible, 6 ouvrages présentent une concentration élevée en sulfates (entre 180 et 350 mg/l et des concentrations maximales comprises entre 256 et 900 mg/l). Parmi ces mêmes ouvrages, 3 présentent également des concentrations élevées en chlorures (entre 235 et 387 mg/l et des concentrations maximales comprises entre 320 et 1910 mg/l). Les ouvrages sensibles sont les suivants : puits de Maurin à Trans-en-Provence, forages de Sainte Anne à Draguignan (et dans une moindre mesure ceux de Pont d'Aups également), et forages Les Costes à Callas.

A noter que **pour ces deux aquifères, le rejet des STEP peut constituer une source de pollution** à part entière via les zones de perte de la Nartuby et de la Nartuby d'Ampus.

## 6.5. Lacunes existantes sur l'état des connaissances actuelles

Les acquis concernant la connaissance hydrogéologique des unités sont très inégaux y compris pour les secteurs les mieux étudiés comme le Malmont ou les Frayères. L'amélioration de l'exploitation de la ressource passera nécessairement par une amélioration des connaissances sur les aquifères.

Il est ainsi nécessaire d'évaluer les réserves potentielles, notamment des unités les plus intéressantes, dans un équilibre quantitatif de manière à ne pas impacter durablement les ressources notamment au moyen de pompages et rabattements excessifs, sachant que l'intérêt principal des réservoirs karstiques est leur recharge rapide en cas de précipitations soutenues et leur capacité à la

surexploitation saisonnière. Il convient donc d'évaluer lesquels de ces réservoirs présentent une ressource renouvelable cohérente avec leur exploitation durable.

En ce sens, deux types d'exploitation pourront être envisagés avec :

- Une exploitation gravitaire comme cela est actuellement le cas sur de nombreuses sources (Dragon, FontVielle, Frayères, Magdeleine, Béou Téou, Domaine, etc. ;
- Une exploitation par forage ou captage immergé (souterrain) et gestion active avec rabattement du niveau piézométrique. Dans ce type d'exploitation, des études complémentaires seront nécessaires afin d'évaluer les capacités des aquifères (recharge vs pompages) et l'impact des pompages sur de potentielles interconnexions entre aquifères notamment les relations entre rivière/nappe alluviale/karst dans la plaine de Draguignan.

D'un point de vue quantitatif, nous ne disposons pas des volumes captés associés à l'exploitation du forage de la base militaire. Ce point d'incertitude devra être levé pour la suite du projet.

Dans une démarche de sauvegarde des masses d'eau, les zones contributives devront être prises en considération. Une analyse des modalités d'infiltration permettrait de définir des zones de priorité en termes de protection de la ressource, en définissant notamment des zones d'alimentation directe et rapide, des zones de contribution retardée ou tamponnée avec potentiellement des phénomènes de dilution ou de concentration et des zones d'alimentation par ruissellements. Notamment, l'importance des infiltrations directes des précipitations, auxquelles s'ajoutent les pertes des ruissellements de surface à leur traversée des reliefs calcaires, font des aquifères karstiques des ressources particulièrement vulnérables aux pollutions.

L'analyse bibliographique complétée par les visites de terrain amènent aux hypothèses suivantes :

- Les pertes localisées dans les gorges de Châteaudouble pourraient participer à l'alimentation du massif karstique en rive gauche de la Nartuby dont une zone de résurgence serait localisée aux Ferrières (plus en aval de la source exploitée des Frayères) ;
- L'aquifère du Muschelkalk serait compartimenté en deux nappes distinctes séparées par un horizon marneux d'une vingtaine de mètres. Le compartiment supérieur serait représentatif de l'amont de la vallée de Draguignan : forages de Pont d'Aups ou Sainte Anne. Le compartiment inférieur serait à l'origine des résurgences entre Trans-en-Provence et La Motte (débit total estimé à 1 m<sup>3</sup>/s) ;
- La source de la Foux pourrait être alimentée conjointement par les deux compartiments Muschelkalk dans des proportions variables ;
- Le toit des calcaires du Muschelkalk pourrait présenter une zone de dépression dans le secteur de Sainte Anne (paléo-poljé) jusqu'à la Foux. Ce talweg pourrait constituer un axe de drainage préférentiel de la nappe. La source de la Foux étant située en point bas de la plaine de Draguignan.



## 6.6. Programme d'investigations proposé

Le caractère étendu du territoire et la disparité des unités hydrogéologiques s'est traduit par des études asynchrones et d'ampleurs inégales qui ne permettent pas d'avoir une vision globale du fonctionnement à l'échelle du bassin versant de la Nartuby. Ainsi, si les caractéristiques hydrogéologiques les plus importantes sont identifiées, il manque des données pour produire une approche quantitative des ressources.

Les perspectives à l'issue de cette première phase d'étude concernent des investigations supplémentaires, notamment des acquisitions de terrain nécessaires afin d'affiner la phase d'identification et de compléter la connaissance sur certains secteurs complexes des réservoirs jurassiques et triasiques.

### 6.6.1. Traçages

#### 6.6.1.1. Aquifère Jurassique

La zone nord du bassin versant de la Nartuby se situe sur une zone de partage des eaux entre 3 grande unités hydrogéologiques. En l'absence de traçage dans cette zone, il est difficile de dresser des limites de bassin d'alimentation des unités hydrogéologiques karstiques, notamment ce qui transite vers les Frayères et la Magdeleine ou ce qui alimente Fontaine l'Evêque.

Dans un premier temps, l'objectif est de valider le traçage peu documenté du Plan d'Hiesse de 1973. Ce traçage pose en effet question dans la mesure où la structure géologique fait remonter le Keuper entre le Plan d'Hiesse et les Frayères. La validation de ce traçage permettrait d'obtenir des données plus robustes sur le cheminement des eaux souterraines dans ce secteur qui peuvent s'effectuer selon deux cheminements différents :

- Injection au Plan d'Hiesse et restitution directe au Frayères ;
- Injection au Plan d'Hiesse, restitution à Bivosque ou Magdeleine, transit en surface dans le cours de la Nartuby et pertes aboutissant aux Frayères ;

Cette **validation peut être envisagée de manière indirecte dans un premier temps par un traçage relativement simple entre les pertes dans l'amont des gorges de Châteaudouble et les Frayères.**

Ce traçage permettrait également d'apporter des éléments sur le bassin d'alimentation des Frayères (prise en compte ou non du cours amont de la Nartuby dans l'alimentation), et de confirmer ou d'infirmer l'individualisation du compartiment jurassique en rive gauche de la Nartuby (via la faille SW-NE à l'W de Châteaudouble).

#### 6.6.1.2. Aquifère Muschelkalk

Il est possible que cet aquifère soit compartimenté en deux réservoirs plus ou moins individualisées (supérieur et inférieur). Alors que le réservoir supérieur est fortement minéralisé (source de la Foux) et impropre à la consommation, les eaux transitant probablement dans le réservoir inférieur apparaissent moins minéralisées.

Cette compartimentation pourrait être en lien avec la stratigraphie du Muschelkalk où l'unité E marno-évaporitique serait susceptible de créer un écran peu perméable sauf en faveur d'accidents tectoniques. Cet écran serait également susceptible de guider les écoulements souterrains du compartiment supérieur qui se feront principalement au toit de cette unité E selon une disposition de karst de contact.

Une étude pourrait être menée sur ce réservoir avec notamment **un ou des traçages dans les ruisseaux de Rioufreid et du Riou de Clavier où les eaux peuvent sensiblement se perdre dans les**

**talwegs et rejoindre le réservoir triasique pour ressortir à la Foux et/ou dans les zones de résurgence entre Trans-en-Provence et La Motte.** La zone d'injection des traceurs, tout comme les points de suivi, devront être identifiés en amont par observation visuelle.

## 6.6.2. Piézométrie

### 6.6.2.1. Création de piézomètres

A l'échelle du territoire d'étude, il n'existe que quelques ouvrages de suivi répartis de façon éparées entre Draguignan et La Motte :

- Deux ouvrages captant l'aquifère du Muschelkalk disposent d'une chronique de mesure en continu (ADES) : piézomètres à Sainte Anne (Draguignan) et les Séouves (La Motte) ;
- Un ouvrage réalisé dans le cadre de missions géotechniques fait l'objet d'un suivi mensuel par le SMA : secteur de la zone commerciale à Trans-en-Provence. Ce piézomètre capterait la nappe superficielle contenue dans les alluvions sans atteindre les calcaires du Muschelkalk.

**A ce jour, aucun ouvrage ne capte la nappe du Muschelkalk à proximité de la Nartuby** ce qui ne permet pas de définir clairement les relations complexes entre la rivière et l'aquifère du Muschelkalk. C'est pourquoi il est proposé de réaliser d'une part :

- Un doublet de forages sur une parcelle identifiée comme disponible (section BL et numéro 635) par le SMA avec :
  - Un piézomètre peu profond captant la nappe superficielle alluviale et le compartiment supérieur du Muschelkalk et ancré dans les marnes jaunes ou noires (profondeur prévisionnelle de 50 m selon la coupe géologique des ouvrages de Pont d'Aups) ;
  - Un piézomètre captant le compartiment inférieur des calcaires du Muschelkalk (profondeur prévisionnelle de 100 m selon la coupe géologique des ouvrages de Pont d'Aups) avec occultation de la nappe supérieure superficielle.

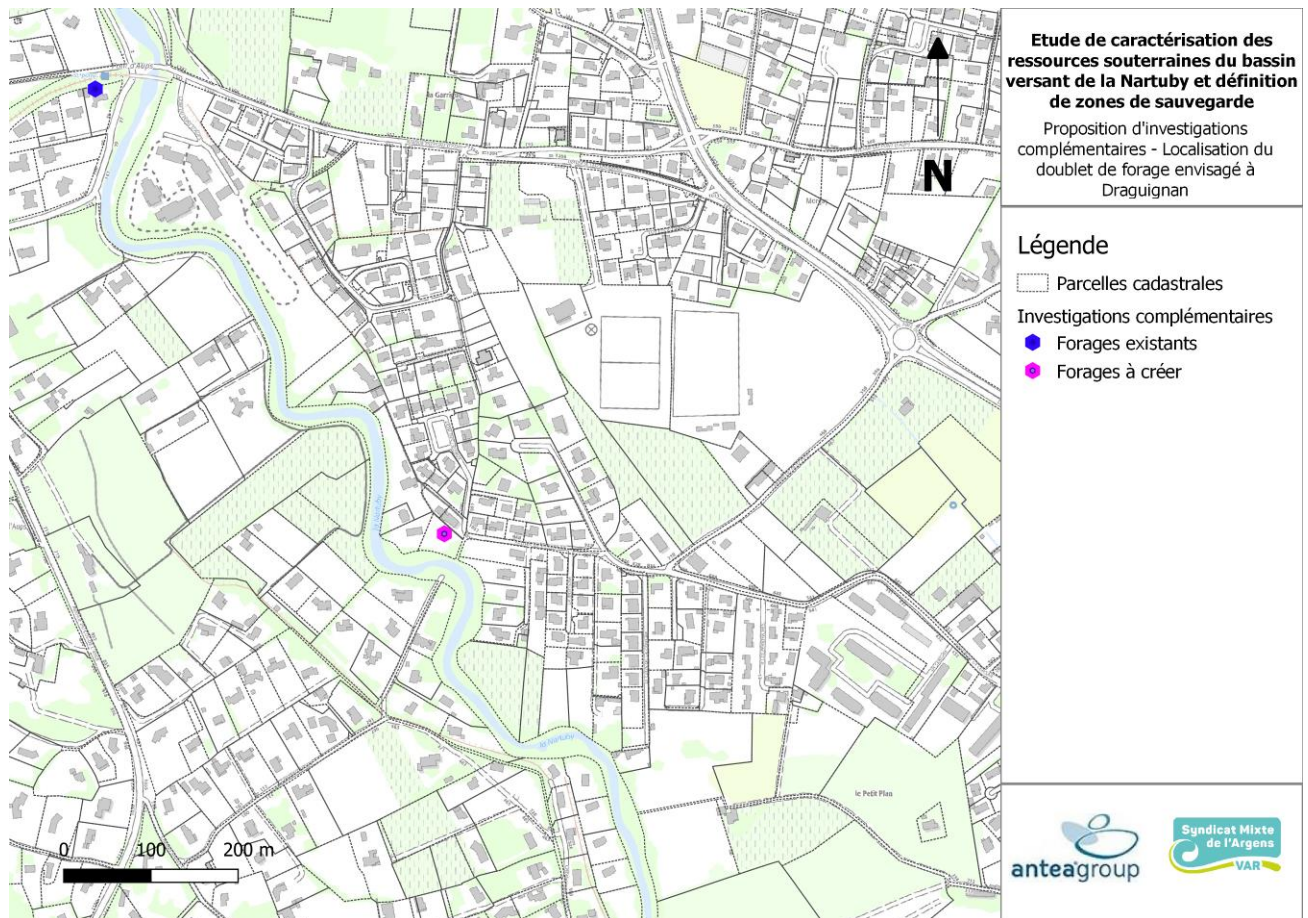


Figure 67 : Localisation du doublet de forage envisagé sur la commune de Draguignan

D'autre part, comme évoqué dans le chapitre 6.5, des incertitudes demeurent quant aux modalités d'alimentation de la source de la Foux, et vis-à-vis des apports des compartiments de l'aquifère du Muschelkalk. Le piézomètre existant sur la commune de La Motte ne permet pas, au regard de sa localisation, d'apporter des éléments de réflexion sur ces aspects.

Il est donc proposé d'implanter un piézomètre complémentaire au sein du massif du Muschelkalk entre le piézomètre existant de La Motte et la source de la Foux. L'objectif est de capter le compartiment inférieur du Muschelkalk et d'isoler les formations sus-jacentes (profondeur prévisionnelle de 100 m) afin de vérifier les hypothèses suivantes :

- La source de la Foux est alimentée en partie par des venues d'eau en provenance du massif à l'est de Draguignan (nappe contenue dans le compartiment supérieur du Muschelkalk) ;
- Les résurgences observées dans le secteur de Trans-en-Provence et La Motte sont alimentées par une nappe contenue dans le compartiment inférieur du Muschelkalk.

A l'occasion des réunions de travail, le DST de Trans-en-Provence a précisé que des investigations ont été réalisées dans ce secteur en concertation avec l'hydrogéologue agréé entre 2005 et 2006. 4 forages de reconnaissance auraient été réalisés mais rebouchés du fait de la faible productivité de la mauvaise qualité des eaux souterraines. Aucune information complémentaire n'a pu être collectée (localisation, log géologique, coupe techniques...).



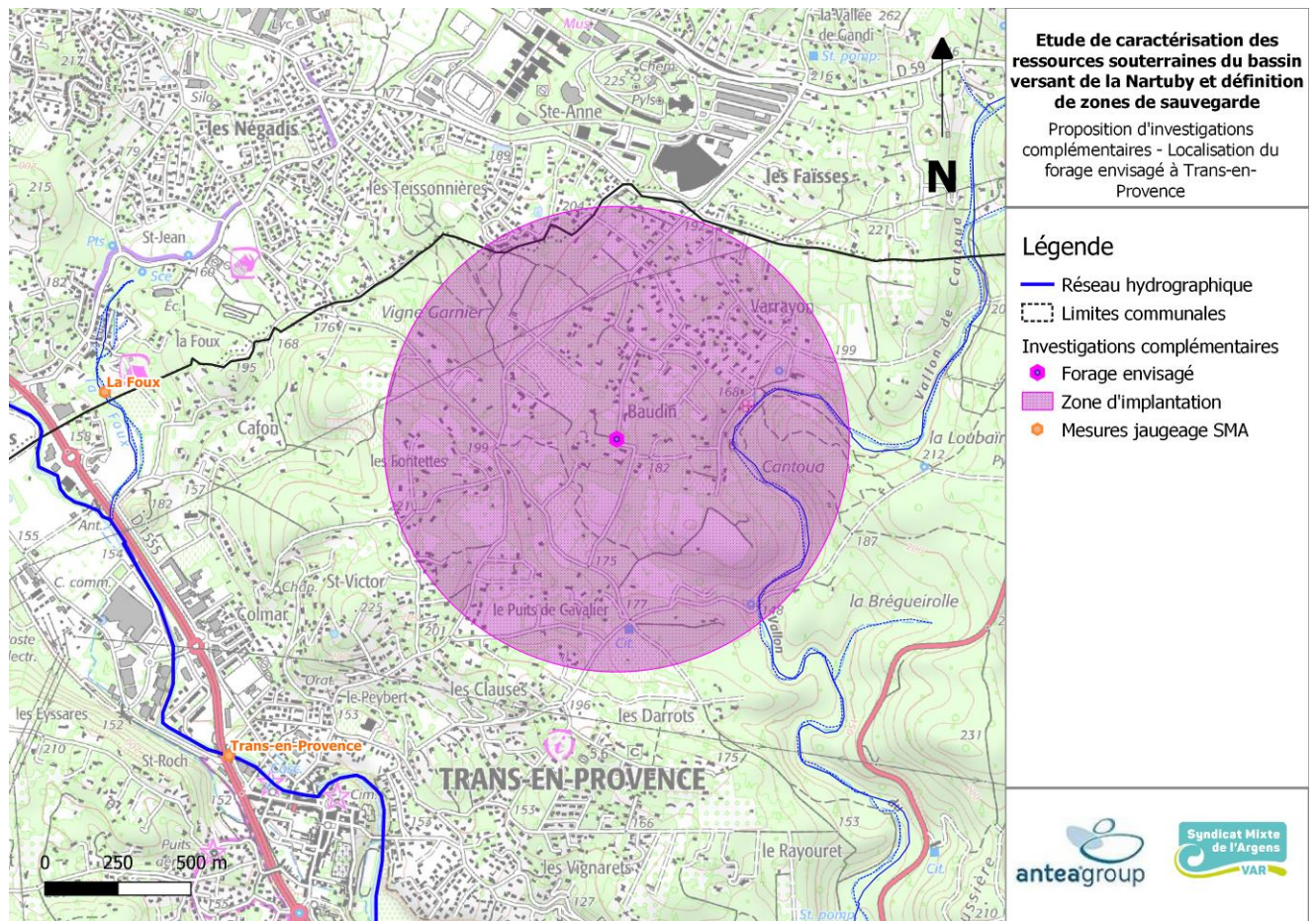


Figure 68 : Localisation du forage envisagé sur la commune de Trans-en-Provence

### 6.6.2.2. Instrumentation et suivi piézométrique

Afin d'obtenir une **chronique de mesure complète pouvant être comparée aux variations de débit de la Nartuby et à la pluviométrie (définition de la dynamique des nappes supérieure et inférieure du Muschelkalk)**, il est envisagé d'équiper certains ouvrages avec des capteurs de pression (mesure horaire du niveau de la nappe) :

- Le doublet de forages projeté à Draguignan, soit deux ouvrages instrumentés ;
- Le forage du Muschelkalk projeté à Trans-en-Provence ;
- Deux forages existants situés dans le quartier des Incapis à Draguignan.

Le réseau de suivi piézométrique sera constitué par les ouvrages cités ci-avant et complété par les ouvrages existants suivants :

- Mesure du niveau de la nappe au droit des forages en exploitation de Pont d'Aups et Sainte Anne à Draguignan (VEOLIA) ;
- Mesure du niveau de la nappe au droit des piézomètres ADES existants (Sainte Anne à Draguignan et La Motte).

### 6.6.3. Jaugeages

Le suivi réalisé par le SMA comprend 12 points de mesure répartis sur la Nartuby, ses affluents et les principaux canaux gravitaires (cf. Figure 13).

Afin de confirmer les hypothèses émises à l'issue de l'analyse bibliographique et des visites de terrain, et afin de lever les incertitudes encore présentes (cf. 6.5), il est proposé de renforcer le suivi existant par l'implantation de points de jaugeage complémentaires. Les mesures permettront également de dresser un bilan des apports vers le karst à la faveur des zones de perte.

Certains jaugeages comprennent des points de mesure inclus à la campagne de mesure du BRGM-CEREMA réalisée en 2013.

Le programme d'investigation comprend 16 points de jaugeage en complément des points de mesure existants :

- Affluents du Beaudron et du Bivosque sur la commune de Montferret : modification des points de mesure existants avec une mesure en amont des pertes sous alluviales ;
- La Nartuby d'Ampus sur la commune d'Ampus :
  - Mesure en aval de la source de Fontigon qui correspond à la naissance de la Nartuby d'Ampus ;
  - Mesure dans le vallon de Valségure pour quantifier les apports de ce vallon vers la Nartuby d'Ampus. Ces eaux devraient ensuite s'infiltrer dans les gorges en amont du village d'Ampus et participer directement à la recharge de l'aquifère karstique ;
  - Mesure en amont des Frayères pour quantifier les pertes entre l'amont et l'aval des gorges d'Ampus.
- La Nartuby dans les gorges de Châteaudouble :
  - Mesure en amont des gorges au niveau du verrou alluvial ;
  - Mesure en amont des Frayères dans la partie aval des gorges afin de quantifier les pertes sur ce tronçon.
- La Nartuby dans le secteur de Rebouillon :
  - Mesure en aval des Frayères qui correspondra à la somme des apports de la source des Frayères, de la Nartuby en provenance des gorges de Châteaudouble, et de la Nartuby d'Ampus ;
  - Deux mesures en amont et en aval des apports identifiés dans le secteur des Ferrières. Ceux-ci auront été préalablement identifiés par le SMA au moyen d'une campagne de mesure préalable ;
  - Mesure en aval de Rebouillon après la bouture anticlinale. Cette mesure permettra de quantifier les apports/pertes associés aux calcaires du Muschelaklk entre la mesure existante du SMA (référéncée « Rebouillon ») et celle-ci.
- La Nartuby entre Draguignan et Trans-en-Provence :
  - Mesure à Pont de Lorgues pour quantifier les pertes de la Nartuby entre Rebouillon et ce point de mesure ;
  - Mesure dans le secteur des Incapis en amont de la Foux pour quantifier les pertes de la Nartuby entre Pont de Lorgues et ce point de mesure ;

- Mesure en aval des gorges de Trans-en-Provence pour quantifier les apports vers la Nartuby identifiés dans ce secteur. Une campagne de mesure préalable permettra de localiser précisément les venues d'eau justifiant l'augmentation de débit observé entre les stations de mesure existantes de Trans-en-Provence et Retru.
- Le Riou de Claviers :
  - Mesure au niveau du moulin du Riou pour quantifier le débit du cours d'eau en amont d'éventuelles zones de perte (gorges du Muschelkalk) ;
  - Mesure au niveau du lieu-dit « Les Baux » au contact Muschelkalk/Keuper pour quantifier le débit du cours d'eau en aval d'éventuelles zones de perte. Ces jaugeages, couplés à des observations visuelles, permettront de savoir si ces pertes alimentent en partie le réservoir Muschelkalk plus au sud.

Dans le cas où la mesure par jaugeage ne serait pas réalisable (débit ou hauteur d'eau insuffisant), le point de mesure fera l'objet d'une observation visuelle à minima. Celle-ci sera retranscrite à travers une fiche de synthèse mentionnant :

- La localisation de l'observation (commune, coordonnées X, Y) ;
- Une photographie du cours d'eau et la date de la prise de vue ;
- Un descriptif de l'état du cours d'eau (assec, résurgence, encroûtement du fond, eau stagnante, etc.).

#### 6.6.4. Observations visuelles

Les mesures de jaugeage seront couplées à des observations visuelles des cours d'eau à des points clés (17 points d'observation au total) :

- La Nartuby d'Ampus :
  - En amont de la plaine Miocène à l'est de la source de Fontigon. Une première observation sera réalisée au niveau de la chapelle de N.D. de Spéluque. En l'absence d'écoulement, l'observation sera réalisée plus en amont au niveau du moulin ;
  - En aval des gorges d'Ampus du village pour confirmer l'absence d'écoulement et l'infiltration des eaux dans les gorges au profit du karst Jurassique.
- Le vallon de Tunis : en amont et en aval de la carrière de Granegone pour confirmer les pertes de ce vallon au profit du karst Muschelkalk.
- Le réal sur la commune des Arcs : aux zones de transition géologique (Keuper/Muschelkalk et Muschelkalk/alluvions) pour confirmer la présence de pertes au profit du réservoir Muschelkalk dont des résurgences pourraient être observées en rive droite de la Nartuby entre Trans-en-Provence et La Motte.
- Le vallon de la Catalane vers La Motte : en amont et en aval du cours d'eau pour l'identification des zones d'apports ou pertes pouvant participer à la recharge de l'aquifère Muschelkalk ;
- Le Rioufreid à Figanières :
  - En aval du poljé au contact des formations quaternaires et Muschelkalk ;



- En aval du cours d'eau afin d'identifier des zones d'apports ou pertes pouvant participer à la recharge de l'aquifère Muschelkalk.
- Le Riou sec à Figanières et Callas : un point en sortie des terrains du Keuper, et un autre en amont du poljé au contact Muschelkalk et Quaternaire.
- Le vallon du Plan à Callas : un point en sortie de Keuper, un point avant le poljé, un point en sortie du poljé, et un point en fermeture du karst.

Les observations visuelles seront retransmises dans des fiches de synthèse telles que décrites dans le chapitre précédent.

**Dans le cas où une mesure de jaugeage est réalisable (débit et/ou hauteur d'eau suffisants), un jaugeage du cours d'eau sera effectué afin de renforcer l'ensemble des données acquises dans le cadre des investigations complémentaires.**

**Les mesures par jaugeage et les observations visuelles pourront débuter à la fin de la période de hautes eaux (mars 2021) selon une fréquence mensuelle et pendant une durée comprenant au minimum la période d'étiage.**

## 6.6.5. Autres

### 6.6.5.1. Analyses physico-chimiques

L'analyse de paramètres physico-chimique comme la température, la conductivité et les débits sont classiquement utilisées en hydrogéologie afin de décrire le fonctionnement des systèmes karstiques. L'acquisition de données harmonisées et comparables à l'échelle du bassin versant sur les différentes unités hydrogéologiques permettrait d'affiner la compréhension de leur fonctionnement.

**A ce titre, l'ensemble des points de suivi proposés pourront être associés à des mesures physico-chimiques de base (pH, conductivité, température).**

En complément, et afin de déterminer les apports des différents compartiments vers la source de la Foux, des analyses plus complètes peuvent être réalisées.

Si l'on considère les forages de Pont d'Aups comme représentatifs du compartiment supérieur du Muschelkalk (les forages de Sainte Anne sont écartés étant donné qu'un mélange des eaux a déjà été évalué dans ce secteur), et le captage de Vallauray ou de Vallongue comme représentatifs du compartiment inférieur, certains paramètres physico-chimiques peuvent être révélateurs de l'origine des eaux :

Paramètres	Pont d'Aups	Vallauray	Vallongue	La Foux
Calcium (mg/l)	117.2	138.6	149.9	370.0
Carbonates (mg/l)	0.7	0.3	0.7	< 10
Chlorures (mg/l)	8.3	36.1	12.1	1100.0
Conductivité à 20°C (µS/cm)	713.7	602.0	610.0	
Hydrogénocarbonates (mg/l)	269.4	411.8	386.4	290.0
Magnésium (mg/l)	26.4	12.4	11.5	52.0
Nitrates (mg/l)	2.8	2.8	2.3	3.6
Potassium (mg/l)	1.3	1.1	1.1	18.0
Potentiel en Hydrogène (pH)	7.3	7.1	7.2	
Sodium (mg/l)	4.2	19.6	5.4	680.0
Sulfates (mg/l)	167.6	59.4	93.6	930.0

Tableau 10 : Paramètres physico-chimiques des eaux de l'aquifère du Muschelkalk

Le Tableau 10 présente les moyennes interannuelles des concentrations en anions et cations majeurs des eaux issues des forages de Pont d'Aups, Vallauray et Vallongue (données ADES comprenant environ 22 mesures pour Pont d'Aups depuis 1996, 6 mesures pour Vallauray depuis 2007 et une dizaine de mesure pour Vallongue depuis 1998). Les concentrations associées à la source de La Foux sont issues d'une campagne de prélèvement réalisée lors de l'étude des dolines du massif du Malmont en 2020 [37].

**Des différences notables sont observées sur les concentrations en sulfates et magnésium (plus faibles dans le compartiment inférieur).** Afin de confirmer cette tendance, il peut être envisagé de réaliser une campagne de prélèvement mensuelle au cours d'un cycle hydrologique (ou à défaut sur 6 mois comprenant la période de basses eaux) au droit de ces 3 points (Pont d'Aups, La Foux, Vallauray).

#### 6.6.5.2. Géophysique

La détermination de la géométrie du toit des carbonates du Muschelkalk et de son interaction avec les alluvions de la plaine de la Nartuby au niveau de Draguignan doit permettre de mieux identifier les interactions entre la rivière, la nappe alluviale et le karst. **Cette détermination pourrait être réalisée par méthode géophysique électrique avec calibration par sondage.**

Deux zones de prospection sont envisagées et peuvent être dissociées en deux lots distincts si nécessaire :

- Détermination de la géométrie du Muschelkalk dans le secteur de Sainte Anne et La Foux. Cela permettrait de valider la dépression supposée du toit des carbonates créant un axe de drainage de la nappe vers la Foux ;
- Détermination de la géométrie du Muschelkalk sous le recouvrement alluvial en amont de Draguignan et localisation de la zone de transition entre le Keuper et le Muschelkalk.

A ce stade de l'étude, le lot 1 (amont de Draguignan) comprend 6 profils orientés NE-SO pour un linéaire total de 5,5 km, tandis que le lot 2 (secteur Sainte Anne/La Foux) comprend 3 profils pour un linéaire total de 5,8 km.

#### 6.6.5.3. Bilan quantitatif à l'échelle des unités hydrogéologiques

Enfin, pour aller plus loin dans l'analyse quantitative des ressources disponibles, des investigations complémentaires peuvent être envisagées (campagne de suivi physico-chimique, débit et traçage) afin de mieux individualiser les aires d'alimentation et les zones de protection à mettre en œuvre. Dans cette optique une cartographie des modalités d'infiltration permettrait également d'appréhender les conditions de recharge des aquifères et de prioriser les mesures à mettre en œuvre, en définissant notamment des zones d'alimentation directe et rapide, des zones de contribution retardée ou tamponnée avec potentiellement des phénomènes de dilution ou de concentration et des zones d'alimentation par ruissellements.

La réalisation de mesures de débit en continu permettrait également de (1) caractériser la variabilité des écoulements, (2) mieux caractériser le fonctionnement des aquifères, et (3) aboutir à des modélisations globales pluies/débits afin d'estimer les réserves potentiellement mobilisables de manière durable pour chaque unité.

### 6.6.6. Synthèse

Le tableau en page suivante ainsi que les cartographies associées rendent compte des investigations complémentaires proposées.

A noter que les investigations envisagées pour la Phase 5 ont été choisies de telle sorte à respecter l'enveloppe budgétaire de 20 000 €HT disponible.



Investigation	Objectif(s)	Zone d'investigation envisagée	Coût	Intégrée à la Phase 5
<b>Traçage – Gorges de Châteaudouble</b>	Caractériser le bassin d'alimentation des Frayères et confirmer ou infirmer l'alimentation des Ferrières via les pertes de la Nartuby dans les gorges de Châteaudouble	Injection dans les zones de perte des gorges de Châteaudouble, et suivi aux Frayères et Ferrières	Faible : 10-15 k€	Oui
<b>Traçage – vallons Muschelkalk</b>	Définir les modalités d'alimentation et l'extension du/des bassin(s) d'alimentation de/des aquifères Muschelkalk et les directions d'écoulement des différents compartiments	Injection dans les zones de perte du Rioufreid et du Riou de Claviers, et suivi à La Foux et aux résurgences entre Trans et La Motte et sur la bordure Est	Elevé : 50-70 k€ (quantité de traceur importante vue la distance et les dynamiques supposées, suivi dense)	Non
<b>Jaugeages (ou observation visuelle a minima)</b>	Caractériser les zones d'apport et de perte sur le linéaire de la Nartuby ou de ses affluents, et définir des seuils de débit pour lesquels la Nartuby alimente le karst	La Nartuby de Montferrat à Trans-en-Provence	Faible : prise en charge SMA	Non (prise en charge SMA)
<b>Observations visuelles (ou jaugeage si possibilité)</b>	Définir les zones de perte et la recharge via les apports des cours d'eau de surface	Rioufreid (Figanières), Riou sec (Figanières/Callas), le Réal (Les Arcs), Riou de Claviers (Claviers), Nartuby d'Ampus	Faible : prise en charge SMA	Non (prise en charge SMA)
<b>Piézométrie – Doublet de piézomètres en bordure de la Nartuby</b>	Caractériser les relations entre la Nartuby et la nappe alluvions/Muschelkalk sup., et la dynamique du compartiment inférieur sous-jacent	Parcelle BL635 à Draguignan	Modéré : 40-60 k€ (profondeurs prévisionnelles de 50 et 100 m)	Non (marché à bon de commande géotechnique)
<b>Piézométrie – Piézomètre sur le massif Muschelkalk</b>	Caractériser la dynamique du compartiment Muschelkalk inférieur	Secteur du lieu-dit « Baudin » à Trans-en-Provence	Modéré : 20-30 k€ (profondeur prévisionnelle 100 m)	Non (marché à bon de commande géotechnique)
<b>Piézométrie – Instrumentation</b>	Caractériser la dynamique des différentes nappes en aval de Rebouillon (nouveaux forages, Incapis)	Draguignan et Trans-en-Provence (5 ouvrages)	Faible : 550€/ouvrage en location (pour un an sans mise en place) ou 1200€/ouvrage en achat	Oui
<b>Mesures physico-chimiques de base</b>	Définir la signature physico-chimique des eaux de façon simple et rapide au cours de l'année	Points de jaugeage, observations visuelles et suivi piézométrique	Faible : 1 000 € (acquisition sonde multi-paramètres par SMA)	Oui (en cas d'impossibilité de prise en charge par SMA)
<b>Mesures physico-chimiques (ions et anions majeurs)</b>	Définir la signature physico-chimique des eaux en laboratoire au cours d'un cycle hydrologique (Caractériser la dynamique et les interactions entre les différents compartiments aquifères)	Forage de Pont d'Aups, source de La Foux, forage de Vallauray	Faible : 60€/points Suivi mensuel sur un cycle hydrologique pour 3 points : 2 160€ (frais de laboratoire uniquement)	Oui
<b>Prospection géophysique</b>	Détermination de la géométrie du toit des carbonates du Muschelkalk et des zones de relations rivière/nappe/karst (de son interaction avec les alluvions de la plaine de la Nartuby)	2 lots : - Draguignan de la Clappe à Pont d'Aups - Draguignan secteur Sainte Anne et La Foux	Modéré : 20 – 30 k€ (REX SEVE)	Non
<b>Mesure de débit en continu</b>	Caractériser le fonctionnement des aquifères à l'échelle des unités hydrogéologiques et d'estimer les ressources mobilisables	Chaque unité hydrogéologique	Elevé (nombreux exutoires, suivi dense et sur un cycle hydrologique complet au minimum)	Non

Tableau 11 : Synthèse des investigations complémentaires proposées

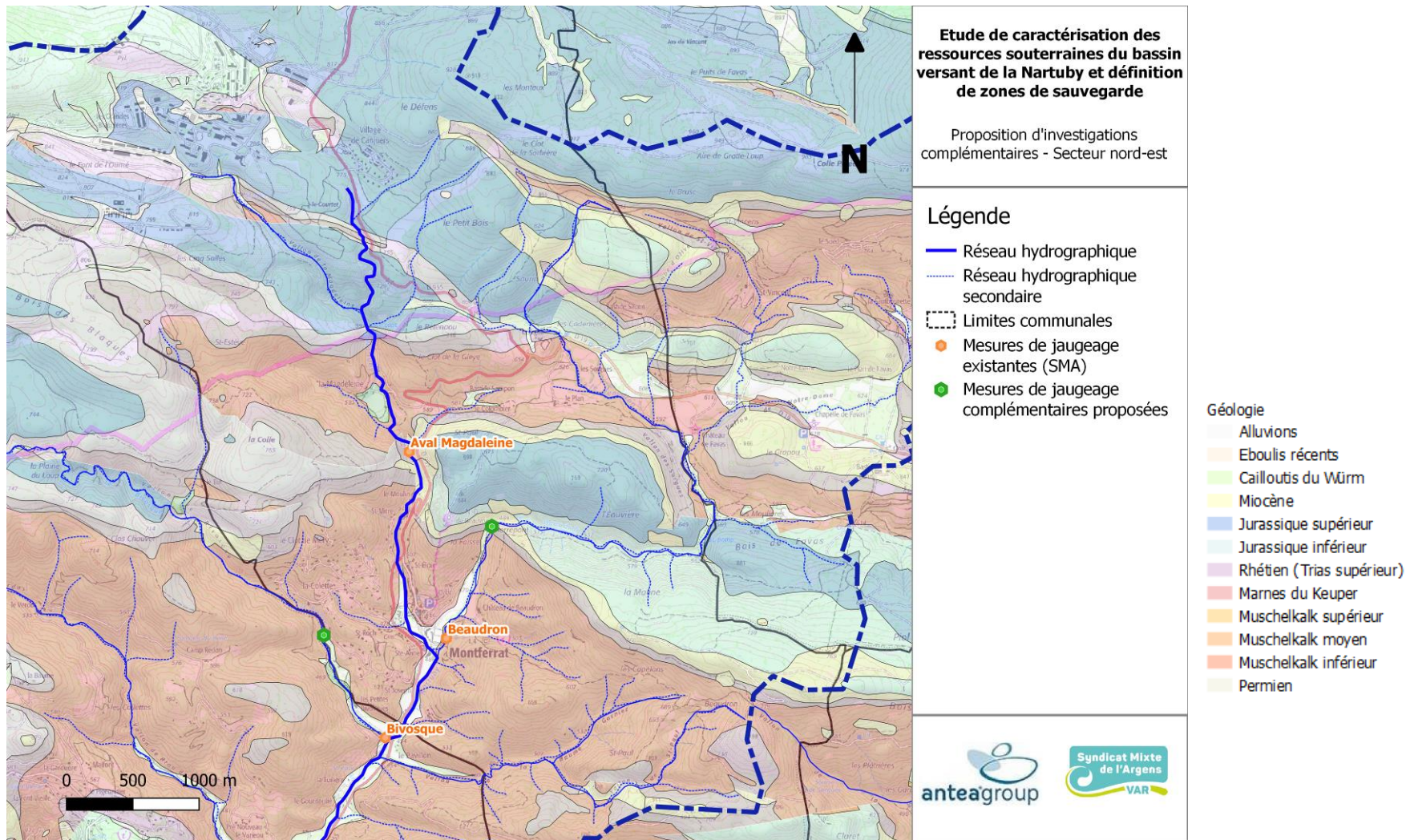


Figure 69 : Proposition d'investigations complémentaires - secteur nord-est



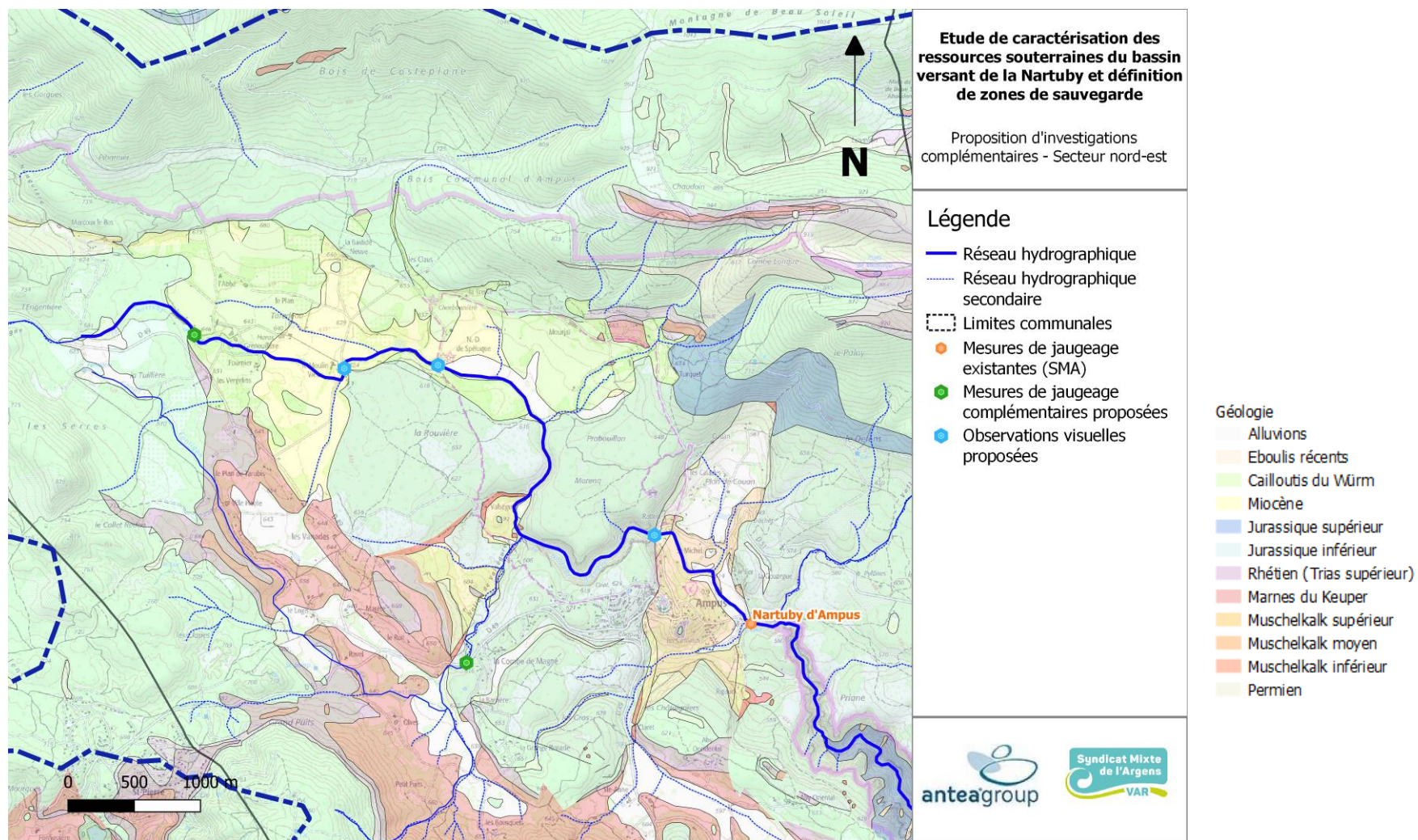


Figure 70 : Proposition d'investigations complémentaires - secteur nord-ouest



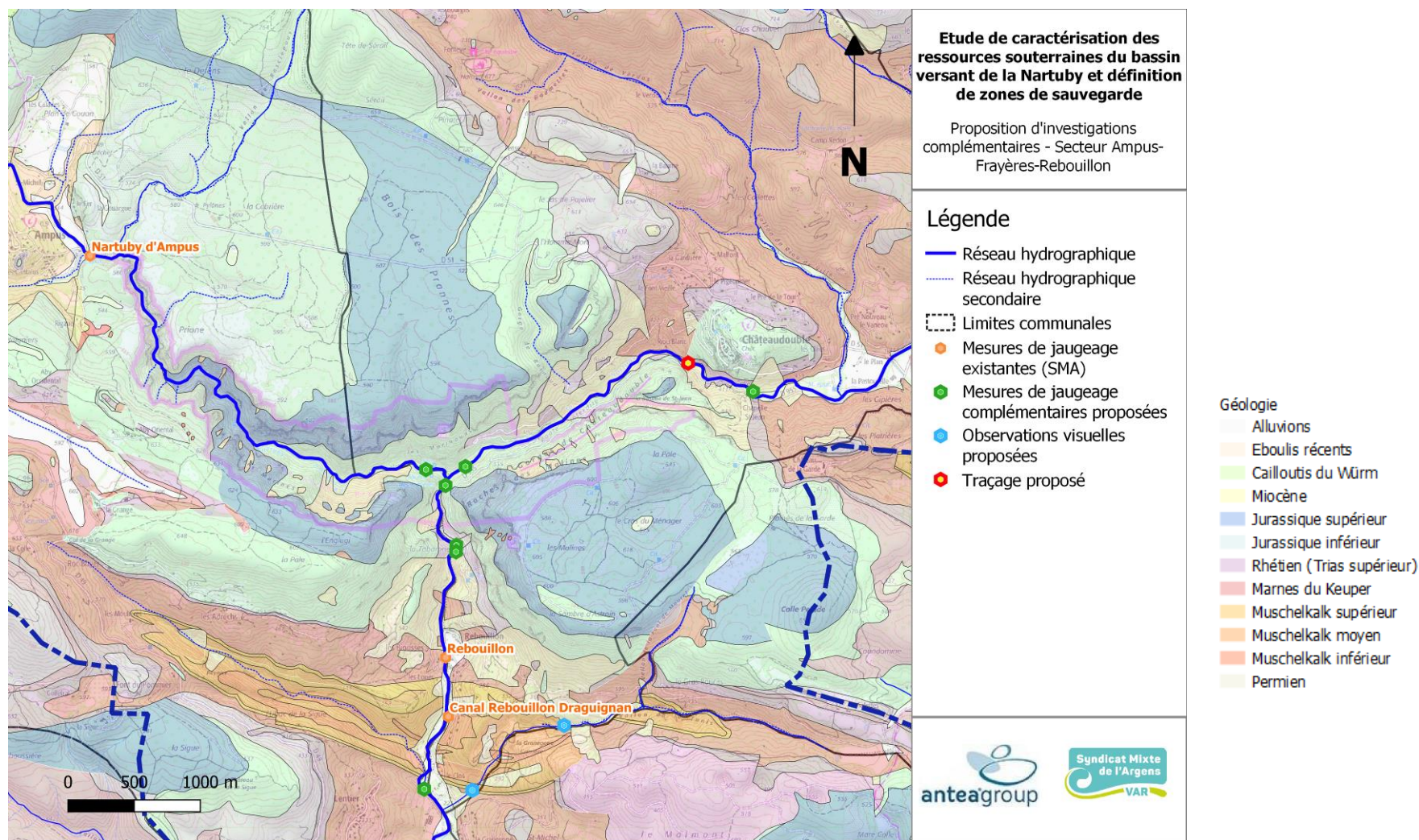


Figure 71 : Proposition d'investigations complémentaires - secteur Ampus Frayères-Rebouillon



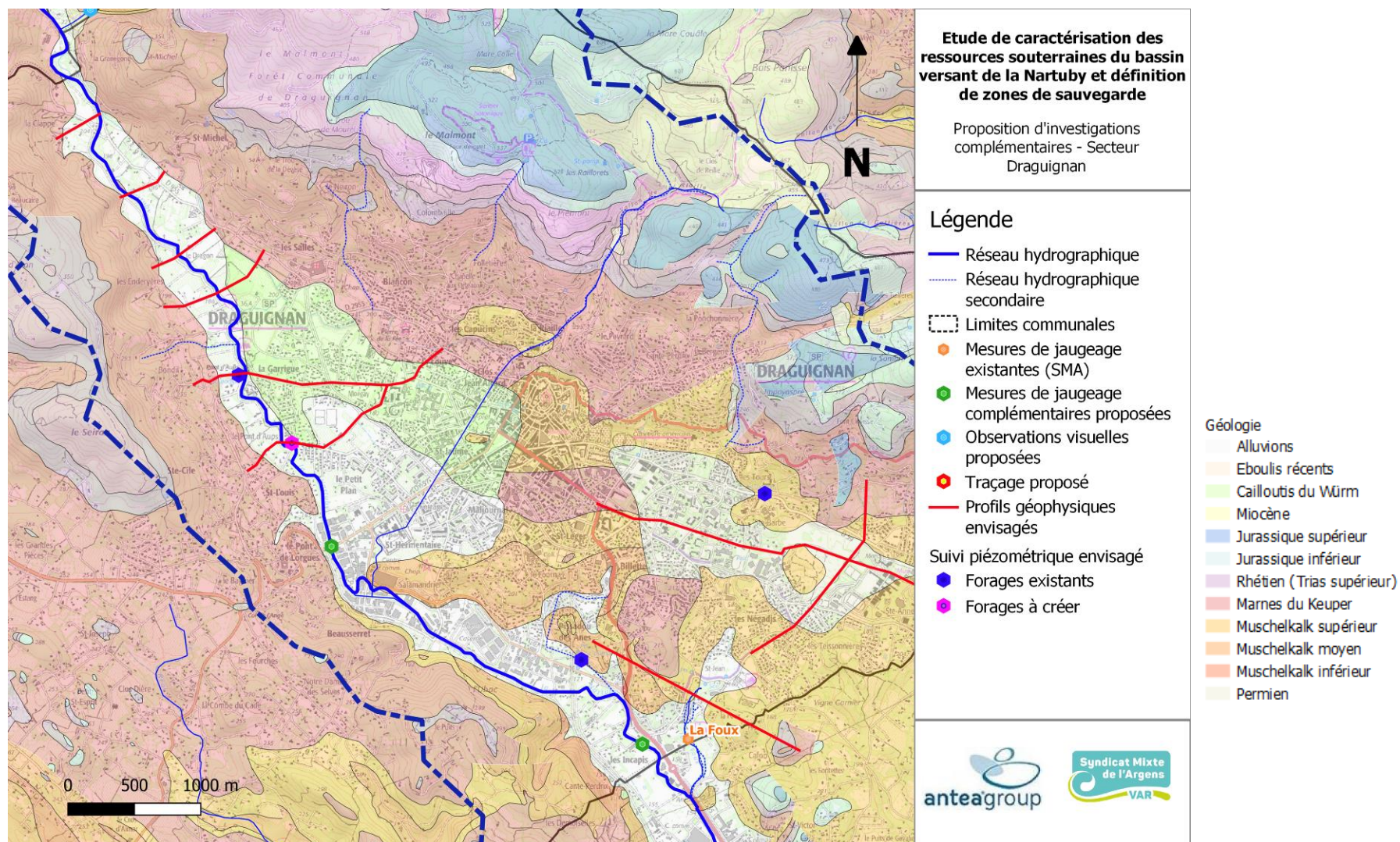


Figure 72 : Proposition d'investigations complémentaires - secteur de Draguignan



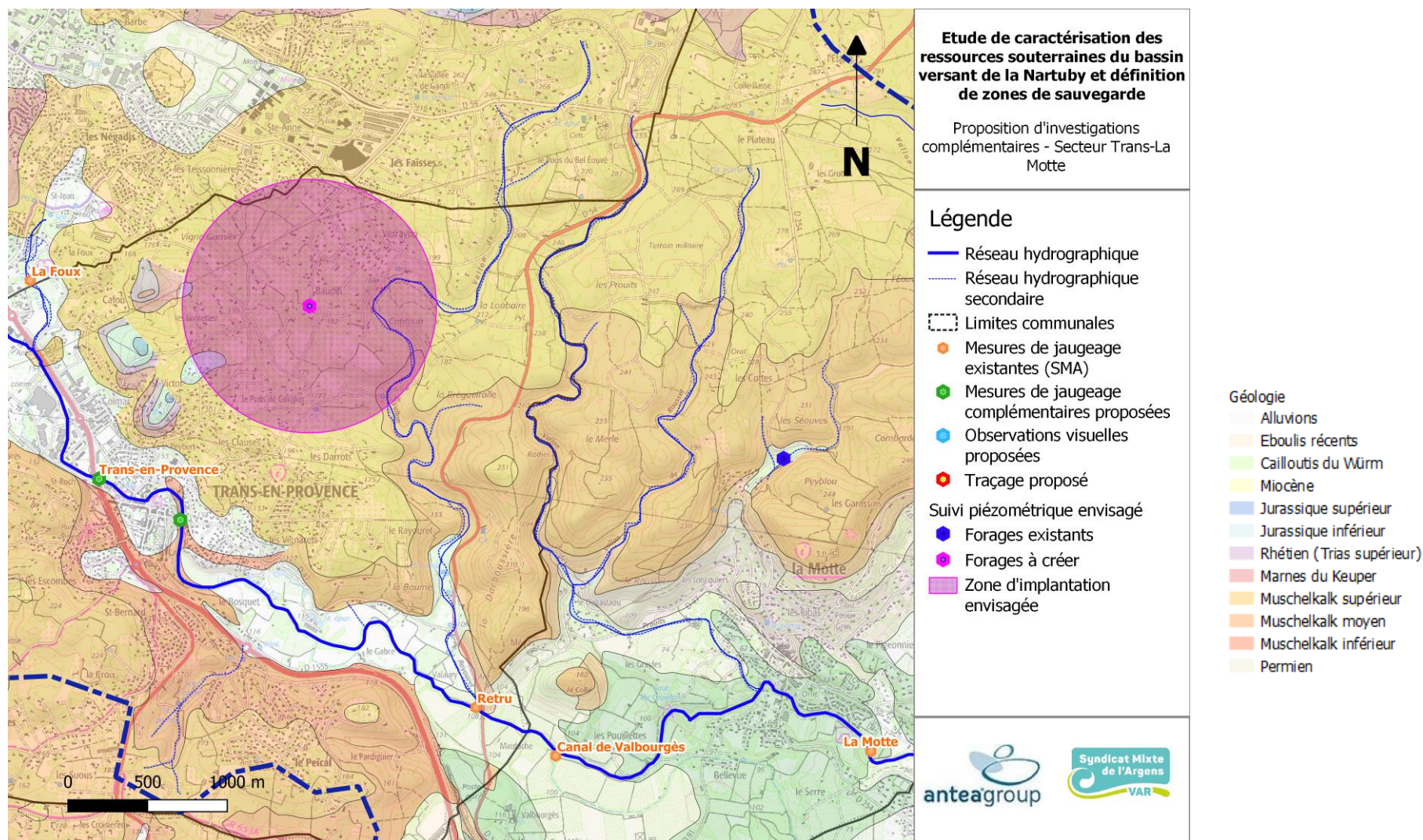


Figure 73 : Proposition d'investigations complémentaires - secteur Trans-La Motte



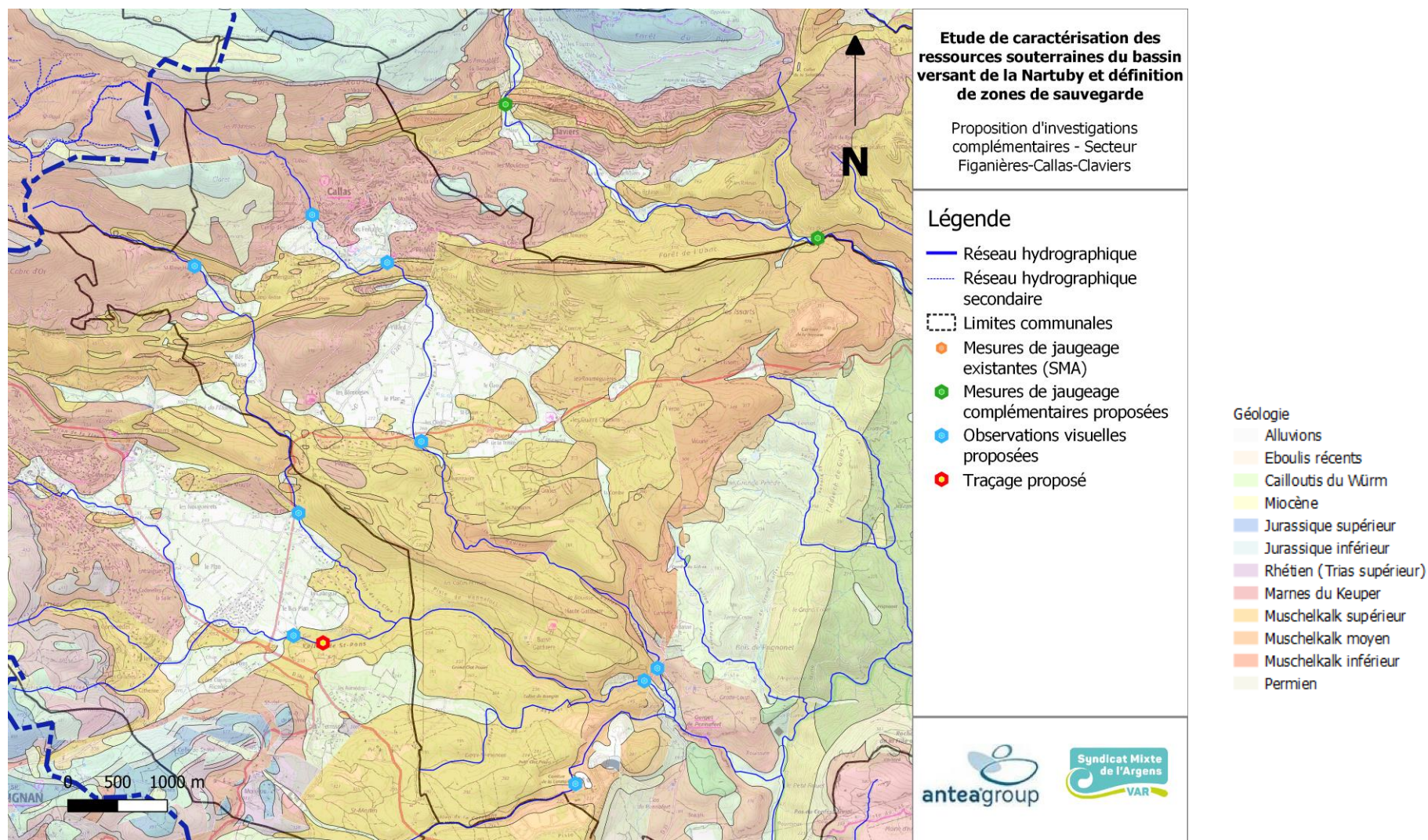


Figure 74 : Proposition d'investigations complémentaires - secteur Figinières-Callas-Claviers



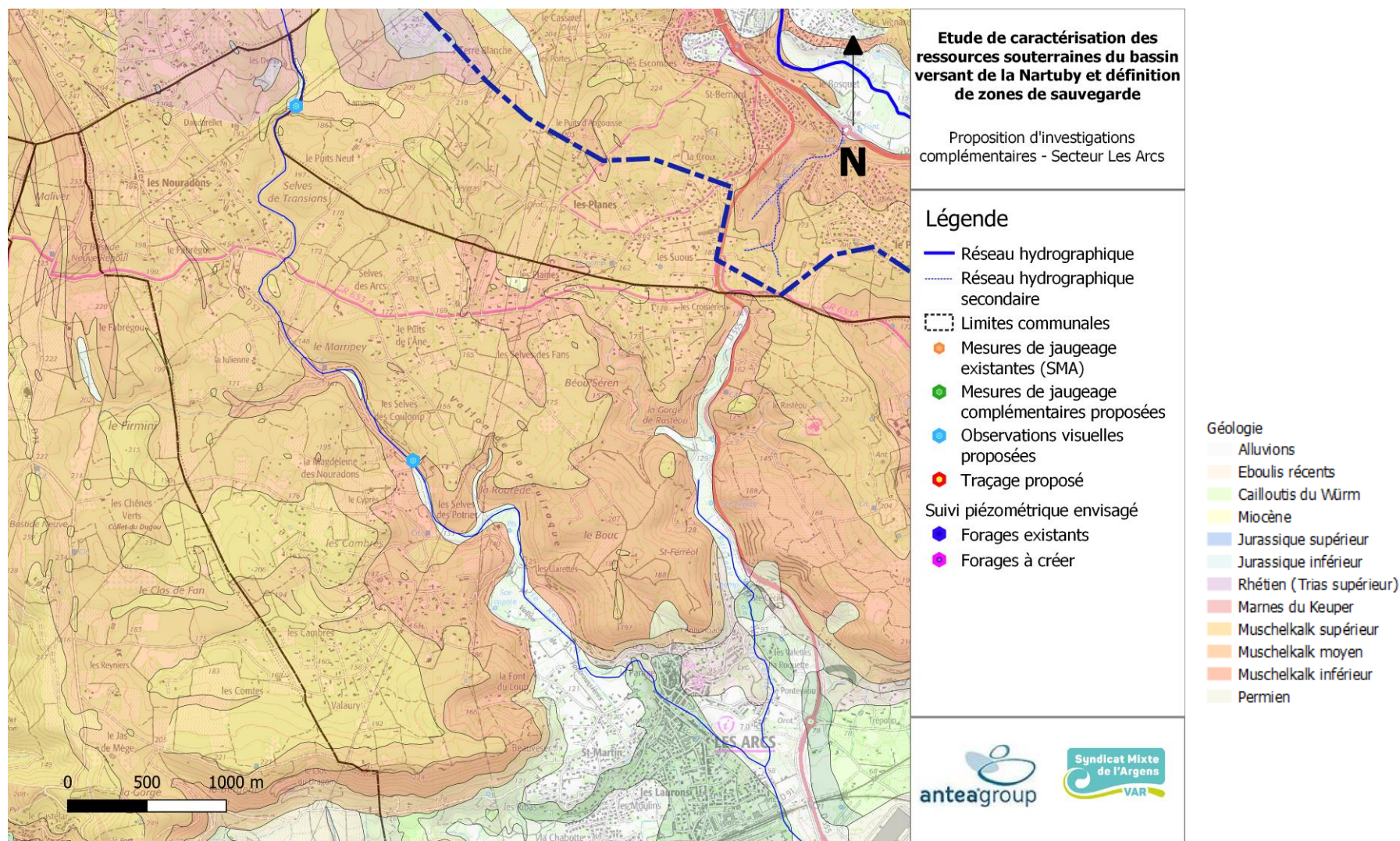


Figure 75 : Proposition d'investigations complémentaires - secteur Les Arcs

## 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. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé 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 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.

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



**Mesure**

- Air ambiant
- Air intérieur
- Exposition professionnelle
- Eau
- Pollution atmosphérique

**Environnement**

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



**Eau**

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

**Data**

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

**Infrastructures**

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

**Aménagement du territoire**

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

**Références :**



Portées  
communiquées  
sur demande

[www.lne.fr](http://www.lne.fr)



# ANNEXES

Annexe I : Identification et caractérisation des unités hydrogéologiques karstiques du bassin versant de la Nartuby (83), CENOTE, 2020

**Annexe I : Identification et caractérisation des unités  
hydrogéologiques karstiques du bassin versant de la Nartuby (83),  
CENOTE, 2020**





ÉTUDE DE CARACTERISATION DES RESSOURCES SOUTERRAINES DU BASSIN VERSANT  
DE LA NARTUBY ET DEFINITION DE ZONES DE SAUVEGARDE  
VOLET GEOLOGIE - KARSTOLOGIE

## **Contacts :**

*Guilhem Maistre*

*Responsable projets*

*Port. : 06 75 24 08 95*

*Tel : 04 90 87 49 91*

*[guilhem.maistre@cenote.fr](mailto:guilhem.maistre@cenote.fr)*

*Hubert Camus*

*Expert Géologue*

*Port. : 06 15 27 73 40*

*[hubert.camus@cenote.fr](mailto:hubert.camus@cenote.fr)*

*Jean-Yves Boschi*

*Gérant*

*Port. : 06 08 98 03 44*

*Bureau : 04 66 23 64 97*

*[cenote@9business.fr](mailto:cenote@9business.fr)*

Cenote

1 chemin de Valdegour, 30 900 NÎMES.

N° SIREN 482 6 48 7 48



## FICHE SIGNALÉTIQUE

---

**Objet :**

Identification et caractérisation des unités hydrogéologiques karstiques du bassin versant de la Nartuby (Var - 83)

**Destinataire :**

**Antea Group - Antea France SAS**  
Parc Napollon - Bât. C  
400 avenue du Passe-Temps  
13676 AUBAGNE Cedex

**Document CENOTE :**

Type	Rapport
Numéro	R-2020-05
Version n°	A
Rédaction :	Jouves J.
Vérification :	Maistre G.
Date de distribution :	03/12/2020



# SOMMAIRE

<b>FICHE SIGNALÉTIQUE</b> .....	<b>1</b>
<b>1. PRESENTATION ET OBJET DU RAPPORT</b> .....	<b>4</b>
1.1. CONTEXTE ET OBJECTIF GENERAL DE L'ETUDE .....	4
1.2. LA ZONE D'ETUDE : LE BASSIN VERSANT DE LA NARTUBY .....	4
1.3. OBJET DU RAPPORT : IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUE KARSTIQUES .....	5
1.4. STRUCTURE DU RAPPORT .....	5
<b>2. CONTEXTE GENERAL D'ETUDE</b> .....	<b>6</b>
2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET HYDROGRAPHIQUE .....	6
2.2. APERÇU DU CONTEXTE GEOLOGIQUE .....	8
2.2.1. <i>Contexte géologique régional</i> .....	8
2.2.2. <i>Stratigraphie</i> .....	10
2.2.3. <i>Contexte structural</i> .....	14
2.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE .....	15
2.3.1. <i>Aquifères et aquicludes</i> .....	15
2.3.1. <i>Organisation générale des écoulements</i> .....	17
<b>3. CARACTERISATION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES KARSTIQUES</b> .....	<b>18</b>
3.1. MODALITE DE RECHARGE ET DELIMITATION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES KARSTIQUES .....	18
3.2. LOCALISATION GENERALE DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES KARSTIQUES .....	19
3.3. UNITE D'AUPS-FONTIGON .....	21
3.3.1. <i>Délimitation de l'unité</i> .....	21
3.3.2. <i>Géologie et formation aquifère</i> .....	21
3.3.3. <i>Hydrogéologie</i> .....	23
3.3.1. <i>Karstification</i> .....	23
3.4. UNITE DU PUY DE LA SIGUE .....	25
3.4.1. <i>Délimitation de l'unité</i> .....	25
3.4.2. <i>Géologie et formation aquifère</i> .....	25
3.4.1. <i>Hydrogéologie</i> .....	25
3.4.2. <i>Karstification</i> .....	26
3.5. UNITES D'AMPUS-FRAYERES .....	28
3.5.1. <i>Délimitation de l'unité</i> .....	28
3.5.1. <i>Géologie et formation aquifère</i> .....	28
3.5.2. <i>Hydrogéologie</i> .....	29
3.5.3. <i>Karstification</i> .....	32
3.6. UNITES DE BIVOSQUE .....	37
3.6.1. <i>Délimitation de l'unité</i> .....	37
3.6.2. <i>Géologie et formation aquifère</i> .....	37
3.6.3. <i>Hydrogéologie</i> .....	37
3.6.4. <i>Karstification</i> .....	37
3.7. UNITES DE MAGDELEINE .....	40
3.7.1. <i>Délimitation de l'unité</i> .....	40
3.7.1. <i>Géologie et formation aquifère</i> .....	40
3.7.2. <i>Hydrogéologie</i> .....	41
3.7.3. <i>Karstification</i> .....	41
3.8. UNITES DE FAVAS .....	43
3.8.1. <i>Délimitation de l'unité</i> .....	43

3.8.2.	<i>Géologie et formation aquifère</i> .....	43
3.8.3.	<i>Hydrogéologie</i> .....	43
3.8.4.	<i>Karstification</i> .....	43
3.9.	UNITES DE COSTE-ROUSSE .....	44
3.9.1.	<i>Délimitation de l'unité</i> .....	44
3.9.2.	<i>Géologie et formation aquifère</i> .....	44
3.9.3.	<i>Hydrogéologie</i> .....	44
3.9.4.	<i>Karstification</i> .....	45
3.10.	UNITE DU MALMONT .....	46
3.10.1.	<i>Délimitation de l'unité</i> .....	46
3.10.2.	<i>Géologie et formation aquifère</i> .....	46
3.10.3.	<i>Hydrogéologie</i> .....	49
3.10.4.	<i>Karstification</i> .....	50
3.11.	UNITE DE LA FOUX ET DES CARBONATES DU MUSCHELKALK .....	53
3.11.1.	<i>Délimitation de l'unité</i> .....	53
3.11.2.	<i>Géologie et formation aquifère</i> .....	53
3.11.3.	<i>Hydrogéologie</i> .....	55
3.11.4.	<i>Karstification</i> .....	60
3.12.	UNITE DU MUSCHELKALK DES ARCS (RD NARTUBY) .....	63
3.12.1.	<i>Délimitation de l'unité</i> .....	63
3.12.2.	<i>Géologie et formation aquifère</i> .....	63
3.12.3.	<i>Hydrogéologie</i> .....	63
3.12.1.	<i>Karstification</i> .....	63
<b>4.</b>	<b>SYNTHESE ET PRECONISATION</b> .....	<b>66</b>
4.1.	STRUCTURATION KARSTIQUE DES RESERVOIRS AQUIFERES .....	66
4.1.1.	<i>Etagement des niveaux de bases et organisations des structures de drainage</i> .....	66
4.1.2.	<i>Incision des vallées et canyons</i> .....	69
4.2.	AVIS SUR LES RESERVES EN EAU ET LEUR PROTECTION .....	70
4.3.	PRECONISATIONS .....	72
4.3.1.	<i>Investigations complémentaires dans la zone de partage des eaux souterraines au nord du BV de la Nartuby</i> .....	72
4.3.2.	<i>Investigations complémentaires sur le réservoir du Muschelkalk</i> .....	73
4.3.3.	<i>Acquisition de données sur le fonctionnement hydrogéologiques des aquifères karstiques</i> ...	73
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>74</b>

# 1. PRESENTATION ET OBJET DU RAPPORT

---

## 1.1. Contexte et objectif général de l'étude

Le syndicat Mixte de l'Argens vise, à travers l'action B1.1 du second Contrat de rivière Nartuby et en réponse à l'action 5E-01 du SDAGE 2010-2015, à "protéger les ressources stratégiques pour l'alimentation en eau potable". Cette démarche a ainsi pour objectif de préserver les masses d'eau souterraine recelant des ressources en eau d'intérêt départemental à régional qui sont soit d'ores et déjà fortement sollicitées et dont l'altération poserait des problèmes immédiats pour les populations qui en dépendent, soit pas ou faiblement sollicitées à l'heure actuelle mais à fortes potentialités, préservées à ce jour et à conserver en l'état pour la satisfaction des besoins futurs. L'étude globale a ainsi pour objectifs :

- D'améliorer la connaissance et de caractériser le fonctionnement hydrogéologique des eaux souterraines ;
- D'identifier les secteurs stratégiques pour l'alimentation en eau potable et de déterminer des objectifs de gestion de nappe ;
- De définir et caractériser des zones de sauvegarde pour le futur (ZSF) pour l'alimentation en eau potable et de mettre en œuvre des actions concrètes pour assurer la protection des ressources en eau au niveau des différents documents d'urbanisme ;
- De mieux comprendre les relations entre eaux souterraines et superficielles et de définir un réseau de suivi piézométrique permettant d'aboutir à une gestion durable de la ressource.

La présente étude, concerne le volet géologie/hydrogéologie/karstologie et a pour but une identification préalable des unités hydrogéologiques et karstiques en vue de la délimitation de zones de sauvegarde potentielles des masses d'eau souterraines présentes sur le bassin versant de la Nartuby.

## 1.2. La zone d'étude : le bassin versant de la Nartuby

Le périmètre d'étude correspond au bassin versant de la Nartuby depuis la zone amont des Plans de Canjuers jusqu'à sa confluence aval avec le fleuve Argens sur la commune du Muy (Figure 1). Le bassin versant est localisé dans la partie nord-est du département du Var (83), sur le territoire de la Dracénie Provence-Verdon agglomération, et regroupe sept communes avec Montferrat, Châteaudouble, Ampus, Draguignan, Trans-en-Provence, la Motte et le Muy.

Le bassin versant de la Nartuby s'étend sur une superficie de 232 km<sup>2</sup> comprenant une topographie contrastée comprise entre 1130 m et 30 m d'altitude. La Nartuby prend sa source sur la commune de Montferrat, au niveau de La Magdeleine. Au long de son parcours de 33 kilomètres, jusqu'à l'Argens, la Nartuby traverse les reliefs du bassin Dracénois. De sa source à 600 mètres d'altitude jusqu'à sa confluence avec l'Argens à 20 m d'altitude, la Nartuby reçoit principalement en amont du bassin les écoulements de nombreux ruisseaux et vallons de quelques kilomètres de long comme par exemple de l'amont à l'aval : le Beudron de 2,9 km le long, le Bivosque de 4,5 km, le Riou de Ville de 3,1 km, la Nartuby d'Ampus de 12 km, la Foux de 900 m, le Saint-Joseph de 800 m et le Parot de 1,2 km. La Nartuby d'Ampus constitue le principal affluent de la Nartuby, avec un bassin versant de 60 km<sup>2</sup> à sa confluence avec la Nartuby au droit des gorges de Châteaudouble au niveau de la source des Frayères soit 26 % du BV de la Nartuby.

Deux masses d'eau identifiées comme stratégiques par le SDAGE sont identifiées pour partie sur le territoire d'étude :

- L'aquifère des Plateaux calcaires des Plans de Canjuers (masse d'eau FRDG139), présent sur une large partie amont du bassin versant ainsi que très au-delà du bassin de la Nartuby ;



- La masse d'eau FRDG169 des calcaires et dolomies du Muschelkalk de l'avant-pays provençal localisé notamment au droit de Draguignan, Trans-en-Provence et la Motte et s'étendant largement en dehors des limites du BV de la Nartuby vers le NE et le SW.

### **1.3. *Objet du rapport : Identification et caractérisation des unités hydrogéologiques karstiques***

Le présent rapport se focalise sur l'identification et la caractérisation des unités hydrogéologiques karstiques. La notion d'unité hydrogéologique karstique définit la notion d'unité hydrogéologique karstique comprend le réservoir karstiques s.s. ainsi que les zones contributives à son alimentation et à son fonctionnement.

Ce rapport a pour but d'identifier et de caractériser les unités réservoirs hydrogéologiques en définissant leur contexte karstologique en dressant un état des lieux des connaissances sur les phases de karstification et la répartition des systèmes de drainage karstiques actifs dans les zones concernées.

Ce rapport a ainsi pour objectif de :

- Délimiter de manière la plus précise possible les aquifères karstiques et leur bassin d'alimentation ;
- Déterminer leurs caractéristiques géologiques et hydrogéologiques, avec notamment la caractérisation de la géométrie des aquifères, de leur compartimentation et de leur limites (connues ou supposées) ;
- Identifier les processus de karstification dominant à l'origine de la structuration karstique des réservoirs ;
- Apporter des éléments de connaissances sur le fonctionnement général des aquifères karstiques et sur leur sensibilité karstique (vulnérabilité, accessibilité, évaluation de la ressource).

Ce rapport vise à alimenter la connaissance des aquifères karstiques sur le territoire d'étude afin de contribuer à la pré-identification des zones de sauvegardes. Il fournit les éléments de base nécessaire à la réalisation d'un document synthétique présentant les différents systèmes karstiques et leur bassin d'alimentation, leur structure, leur fonctionnement et leur ressource. L'ensemble de ces résultats permet de proposer une stratégie d'investigations/recherches complémentaires pour améliorer la connaissance et la gestion des masses d'eau souterraine.

Etant donné l'étendue du secteur d'étude, la stratégie adoptée a été de découper le territoire en grandes unités réservoir hydrogéologiques. Ces unités sont détaillées dans les parties suivantes.

### **1.4. *Structure du rapport***

Le rapport est structuré en :

- Une section (§2) présentant les éléments majeurs du contexte géographique, géologique et hydrogéologique d'étude ;
- Une section (§3) détaillant les unités hydrogéologiques karstiques ;
- Une section (§4) de synthèse et portant des préconisations d'investigations complémentaires.

## 2. CONTEXTE GENERAL D'ETUDE

---

### 2.1. *Contexte géographique et hydrographique*

Le bassin versant (BV) hydrographique de la rivière Nartuby (232 km<sup>2</sup>) affluent du fleuve Argens se situe au NE du département du Var (83) sur le territoire de la Dracénie (Figure 1). Le BV s'étend globalement sur un axe sud-est/nord-ouest depuis la confluence de la Nartuby avec l'Argens au Muy aux zones amont à Vérignon et auquel se rajoute une partie nord-est vers Montferrat. Les altitudes sont comprises entre 30 mètres et plus de 1000 mètres. Le climat est de type méditerranéen à influence continentale voire à méditerranéen montagnard. Dans la zone aval, la morphologie est marquée par la plaine de la Nartuby entre 200 m au niveau de Draguignan et 30 m au droit la Motte. Au Nord de Trans-en-Provence et la Motte, la morphologie est marquée par un plateau de carbonates de Muschelkalk (Trias) dont l'altitude varie entre 200 et 300 m.

Le massif du Malmont surplombe le nord de la ville de Draguignan avec des altitudes de 450 à 600 m. Il est parsemé de nombreuses formes karstiques de type doline. Le massif est limité au nord par les vallons de La Tunis, affluent en rive gauche de la Nartuby au niveau de la Granegone et par le Vallon de Rioufreid (ou Cassade drainé vers l'est en direction de Figanières. Le versant sud du Malmont est parcouru par plusieurs vallons, notamment Les Tours et La Riaille, dont le dernier débouche à proximité du centre-ville de Draguignan. Plus en amont, la Nartuby entaille les plateaux carbonatés en formant les gorges de Châteaudouble profondes de plus de 300 mètres. La Nartuby d'Ampus, principal affluent rive droite, rejoint la Nartuby dans les gorges au niveau de la source des Frayères. Cet affluent prend naissance sur les plateaux d'Ampus et s'étend plus au nord-ouest en direction de Vérignon. La zone borde les Plans de Canjuers, une région de hauts plateaux dont l'altitude moyenne s'établit vers 900 m. Ces plateaux sont séparés par des reliefs allongés pouvant dépasser les 1500 m d'altitude. Ces plateaux sont fortement karstifiés et ne présentent pas de circulations subaériennes.

Le cours de la Nartuby en amont de Châteaudouble est marqué par la multiplicité de petits affluents rive droite et gauche jusqu'aux contreforts des Plans de Canjuers.

À l'ouest de la zone d'étude, le secteur s'étendant de Figanières à Bargemon est drainé par les affluents de rive droite de l'Endre, rivière affluente de l'Argens.



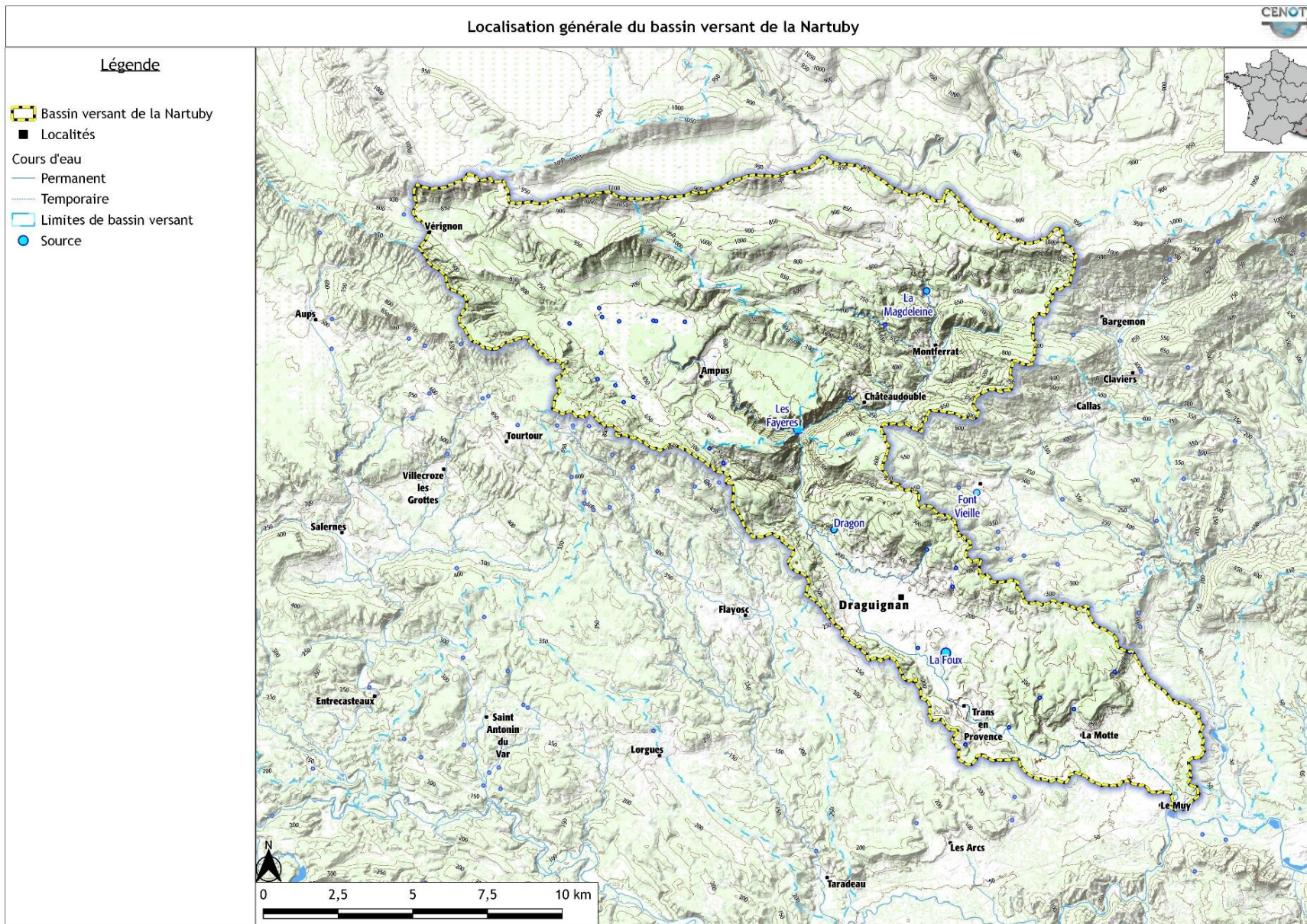


Figure 1 : Localisation générale du bassin versant de la Nartuby.



## 2.2. Aperçu du contexte géologique

### 2.2.1. Contexte géologique régional

Située dans le sud-est de la France, le bassin versant de la Nartuby enregistre une histoire géologique polyphasée de plus de 250 Ma. Il s'étend sur la transition entre la Provence cristalline au sud-est (massif de l'Estérel) et la Provence calcaire au nord-ouest (Massif de Canjuers), et dans les zones d'influence des déformations Pyrénéo-Provençale et Alpine (Figure 2).

La géologie du secteur dracénois est influencée par la succession d'épisodes d'extension, de compression, d'enfouissement, d'érosion et d'aplanissement qui ont affecté cette zone depuis le Paléozoïque. Les principales phases géodynamiques sont :

- Le démantèlement de la chaîne varisque (ou hercynienne) mise en place durant le Dévonien d'une compression responsable de grands accidents orientés environ N030 (Arthaud et Matte, 1975). Cette orogénèse se termine au Carbonifère où sont mis en place des grands décrochements sénestres orientés N135 et dextres N045 (Arthaud et Matte, 1975). Ces deux phases vont conditionner les différents compartiments tectoniques que l'on retrouve encore aujourd'hui à l'échelle de la Provence (Figure 2) (Guyonnet-Benaize *et al.*, 2010).
- Le rifting pangéen responsable de l'ouverture du bassin liguro-piémontais (Rudkiewicz, 1988) et la mise en place, entre l'Afrique et l'Europe, de l'océan Téthys durant le Permien jusqu'au Jurassique (Stampfli *et al.*, 2002). Le permien est discordant sur le socle hercynien et des manifestations éruptives se produisent au cours des dépôts. Dans le secteur d'étude ces termes se retrouvent au niveau de la dépression du Muy. Toute la série secondaire (Trias-Jurassique) est concordante avec seulement quelques lacunes.
- Le rifting nord-atlantique durant le Crétacé inférieur responsable d'une extension orientée nord-sud jusqu'au Valanginien, puis est-ouest au Barrémien (Masse *et al.*, 2009).
- Le "Bombement Durancien" après le Barrémien, structure est-ouest de type blocs basculés formant un haut structural au nord de la Provence (Chorowitz et Mekarina, 1992). Ce système de horsts et grabens est contrôlé par des failles N110 (Hennuy, 2003) en transtension avec une déformation à grande longueur d'onde (Guyonnet-Benaize *et al.*, 2010). Ce bombement a mis à l'émersion les terrains de natures variées, formant une surface intensément karstifiée et bauxitisée (Laville, 1981).
- La compression Pyrénéo-Provençale qui débute en Provence vers 80 Ma et est en relation avec la subduction de la plaque africaine sous la plaque européenne. Cette phase de compression se manifeste jusqu'à l'Eocène avec des directions de compression stables orientées environ N-S (Le Pichon *et al.*, 1988). Cette tectonique polyphasée est à l'origine de grandes structures provençales orientées est-ouest (Tempier, 1987). Dans le secteur cette phase se manifeste par la mise en place de vastes rides flexurales orientées E-W dans lesquels se dépose des sédiments fluvio-lacustres.
- Le rifting ouest européen à l'Oligocène provoquant une extension N0 à N135 (Arthaud *et al.*, 1977), et l'ouverture du bassin liguro-provençal (Hippolyte *et al.*, 1993 ; Mauffret et Gorini, 1996). La phase d'extension fini-oligocène a entraîné la dérive du bloc corso-sarde et l'ouverture du Golfe du Lion jusqu'à la fin du Burdigalien (Gattacceca *et al.*, 2007). Cette phase se traduit dans le secteur par la création de bassins d'effondrement globalement N-S (Brovès au nord de la zone d'étude, ou Ampus ?).

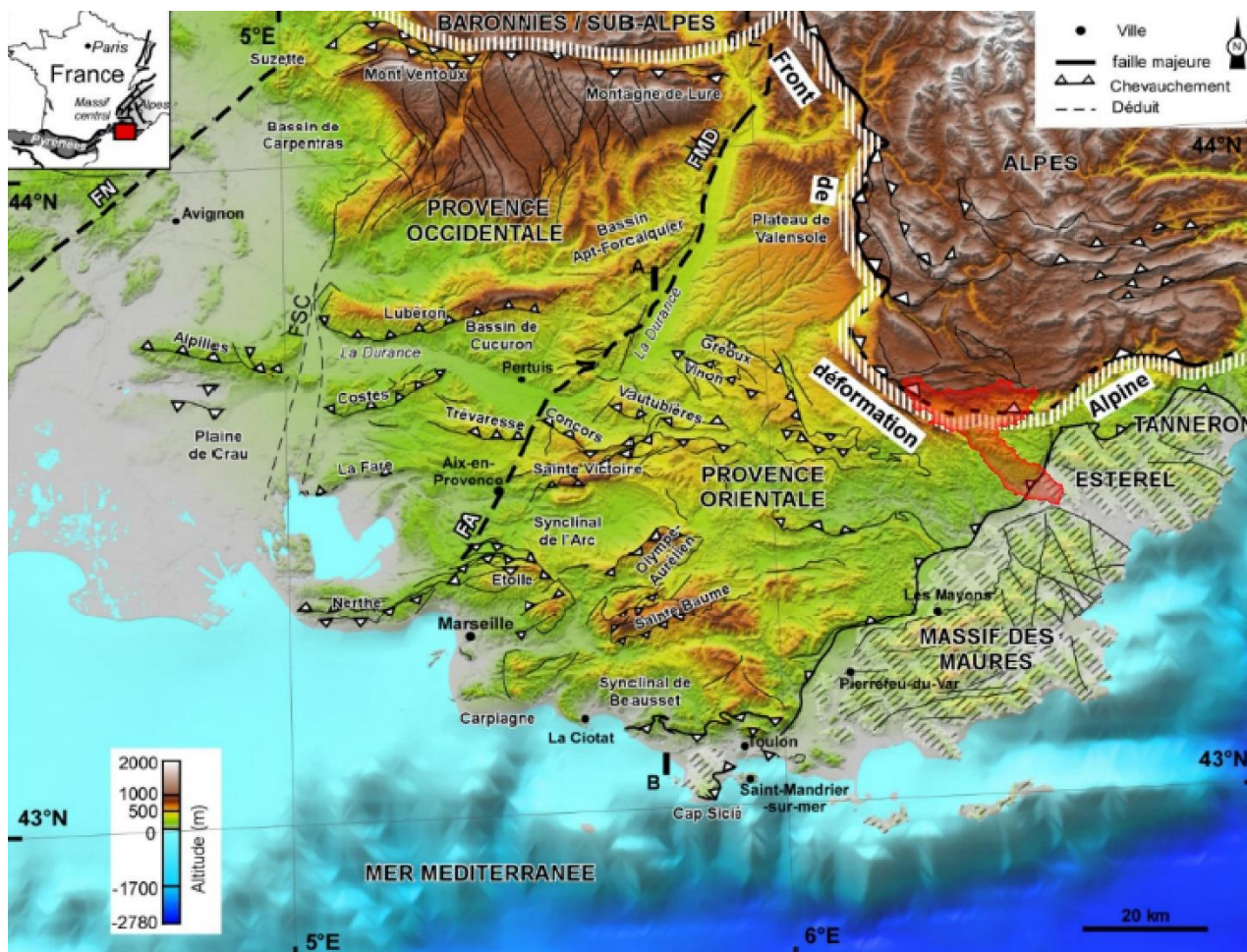


Figure 2 : Le bassin d'avant-pays de Provence et localisation du bassin versant de la Nartuby (périmètre rouge). MNT issu de données altimétriques de la NASA (50m). Les zones hachurées grises/blanches correspondent aux massifs paléozoïques des Maures et du Tanneron. FN : Faille de Nîmes. FSC : Faille de Salon-Cavaillon. FA : Faille d'Aix-en-Provence. FMD : Faille de la Moyenne Durance. Modifié d'après Bestani (2014).

- Le Mio-pliocène est marqué par la phase Alpine avec la convergence de l'Afrique et l'Europe (Champion *et al.*, 2000). Cette phase de compression globalement N20 dans le secteur entraîne la formation de plis et chevauchement d'orientation E-W. L'accentuation des phénomènes compressifs entraîne la rupture des flancs qui s'écaillent et chevauchent vers le sud. Ces accidents sont accompagnés par la formation de décrochements conjugués N20 senestres et N130 dextres. Le système hérité de fossés N-S est découpé par des failles inverses E-W et des décrochements. Dans les enregistrements sédimentaires cette phase est marquée dans le secteur par des dépôts continentaux.
- La crise de salinité Messinienne à la fin du Miocène pendant laquelle la Méditerranée se retrouve isolée de l'océan Atlantique suite à la fermeture du détroit de Gibraltar (Clauzon *et al.*, 1996). L'évaporation provoque une chute drastique du niveau marin de la Méditerranée : plus de 1500 m de profondeur (Ryan, 1976). Cette "crise messinienne" (5,96 à 5,32 Ma) provoque une forte incision du réseau hydrographique formant des canyons pouvant atteindre 1000 m de profondeur (Clauzon, 1973 ; Clauzon, 1978). La remise en eau a provoqué le remblaiement des rias durant le Pliocène, oblitérant les réseaux karstiques profonds lorsque ceux-ci se sont développés.
- Le Quaternaire, notamment le Pléistocène, est marqué par une phase de calme tectonique relatif et une phase de réajustement isostatique marquée par la surélévation de la région, conduisant à une forte érosion et altération.

### 2.2.2. Stratigraphie

Sur un axe SE-NW, depuis le bassin du bas Argens et la confluence avec la Nartuby jusqu'aux plateaux carbonatés de Canjuers (Figure 3), la série stratigraphique est sujette à des changements latéraux de faciès et d'épaisseur. Il n'existe pas de stratigraphie détaillée de la zone. Néanmoins celle-ci peut être globalement restituée par la succession suivante (Figure 4) :

- Le socle carbonifère et anté-carbonifère affleure à l'extrême sud-est du BV de la Nartuby. Il est essentiellement constitué de terrains cristallins paléozoïques.
- Permien : Il est constitué de plusieurs formations sédimentaires détritiques cantonnées à de petits bassins intra-montagneux orientés WNW-ESE et qui fonctionnent en graben s'ouvrant le long des grands accidents. Dans ce secteur, le Permien est composé successivement des formations du Muy, du Mitan, de la Motte et des Arcs. La stratigraphie est hétérogène et composée principalement d'arkoses, plus ou moins fines, parfois conglomératiques et dont la couleur varie du jaune au rose en surface. Ces arkoses contiennent des galets de roches cristallophylliennes ainsi que des fragments de rhyolite. On y retrouve également des passées d'argiles rouge brique, de grès et de sables beiges, roux ou rougeâtres. Dans la partie est du bassin du Luc, le Permien repose en discordance sur les micaschistes des Maures. La puissance de ces formations détritiques n'est pas constante puisque dépendante de petit bassins.
- Trias inférieur (grès bigarré provençal) : discordant sur le permien, il est constitué de grès blancs et roses, grossiers, arkosiques et micacés à dragées de quartz. Son épaisseur oscille entre 10 et 30 mètres.
- Trias moyen (Muschelkalk) : la série est principalement carbonatée et successivement composée par des dolomies grises, cargneules, marnes et évaporites ("anhydrite group"), des calcaires et des dolomies blanches. Plusieurs unités sont individualisées avec de la base vers le sommet (Toutin-Morin *et al.*, 1994) :
  - Unité C : calcaires jaunes, marnes puis brèche/cargneules,
  - Unité D (35 m) : calcaires gris à noir ;
  - Unité E (10 m) : marnes et évaporites ;
  - Unité F (45 m) : calcaires et dolomies

L'épaisseur totale est voisine de 150 m. La formation affleure au sud du secteur de Draguignan. Les calcaires triasiques sont affectés par des phénomènes d'altération et d'effondrements par suite de la dissolution des gypses. Cet étage affleure largement sur les plateaux en rive droite et gauche de la Nartuby au niveau de Trans-La Motte et plus largement sur "l'avant pays triasique" au-dessus du Permien au contact des formations de socle du massif des Maures et de l'Estérel. Dans le secteur de Draguignan, ils sont noyés sous les colluvions et alluvions de la plaine de la Nartuby. Les sources salées suggèrent que cette formation renferme également du sel gemme (halite).



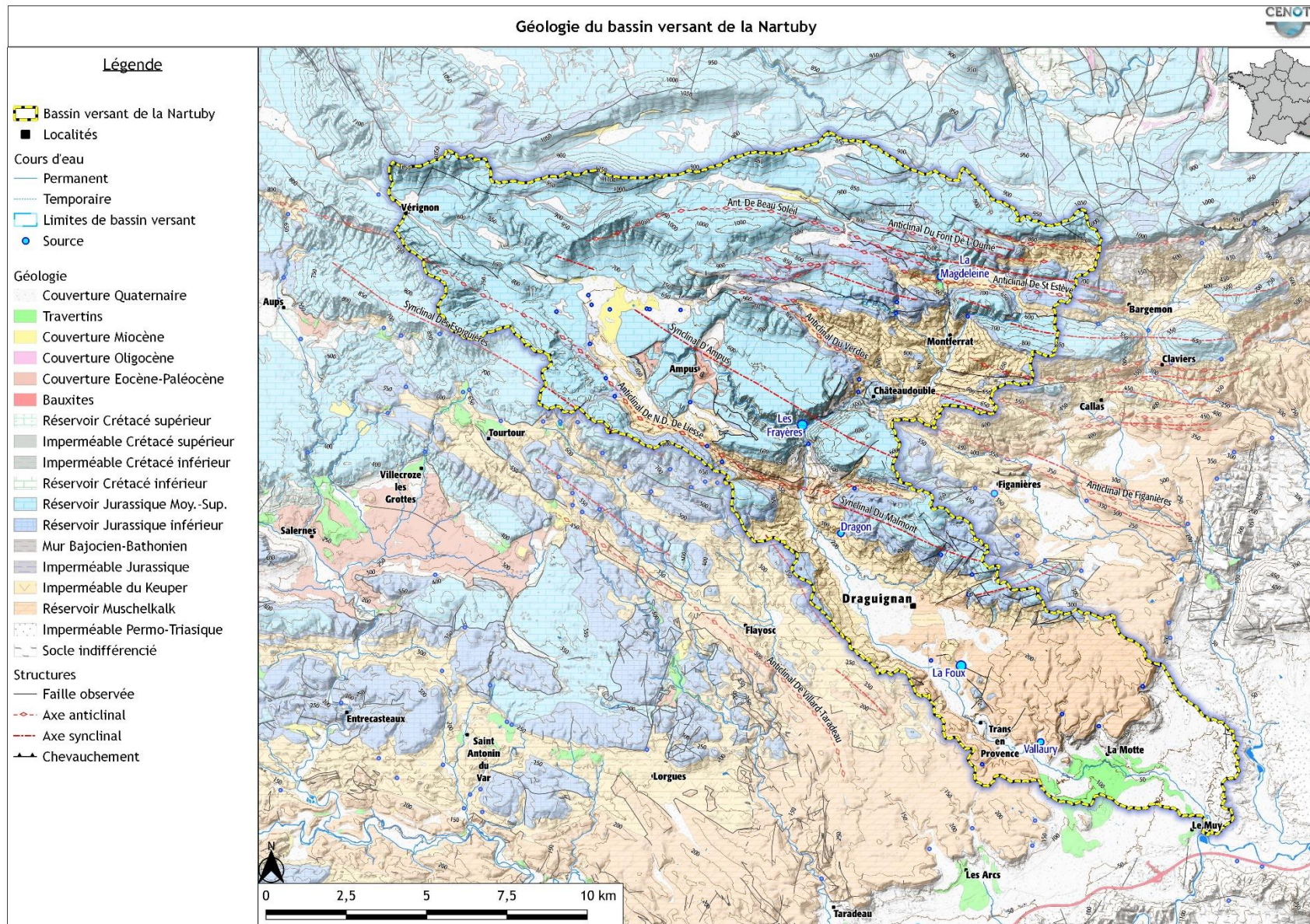


Figure 3 : Carte géologique simplifiée du bassin versant de la Nartuby. Modifiée d'après BRGM BD Charm 50.



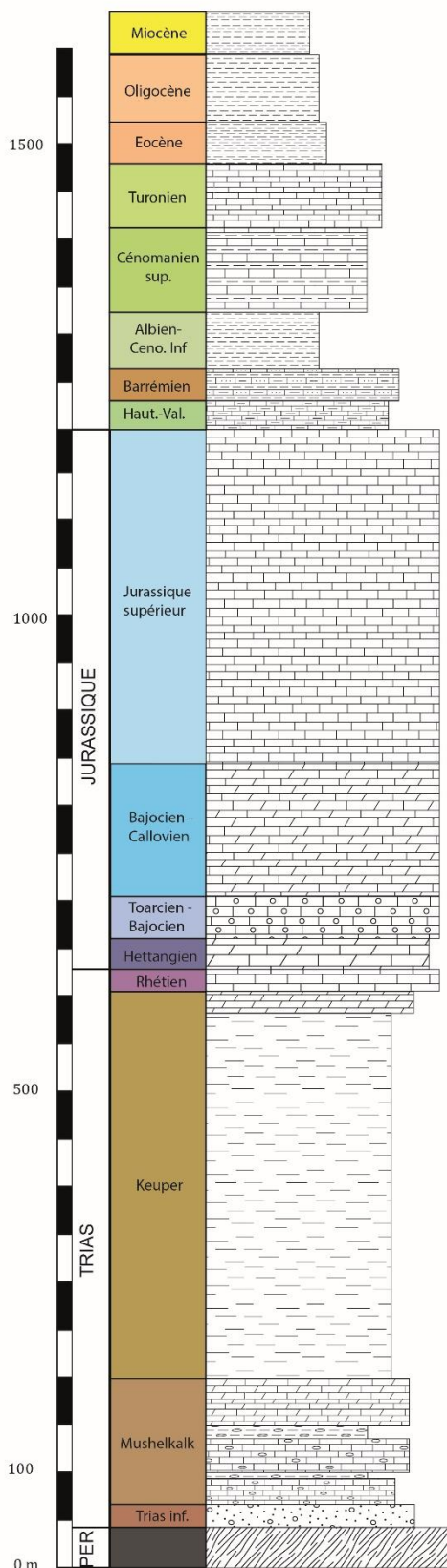


Figure 4 : Log stratigraphique simplifié du bassin versant de la Nartuby. Modifié d'après Mennessier (1959) et Lemprière (1997).

- Trias supérieur (Keuper) : Stratigraphiquement au-dessus du Muschelkalk, la formation du Trias supérieur ou Keuper affleure largement sur le secteur Dracénois ainsi que plus au nord. La stratigraphie du Keuper (Arvois R., 1969) présente de la base au sommet :
  - Des marnes jaunes et du gypse avec cargneules, des dolomies cargneulisées en bancs stratifiés, des argiles noires à gypse, des argiles plastiques à lignites ;
  - Des dolomies stratifiées et des marnes vertes avec cargneules et gypse ;
 L'étage du Keuper est affecté par la tectonique, mais également par les phénomènes d'érosion et de dissolution du gypse, ce qui lui donne un aspect « chaotique ». Cet étage est considéré comme imperméable dans son ensemble, sauf en cas de dissolution du gypse à la faveur de discontinuités préexistantes. Son épaisseur peut dépasser 800 m.
  
- Trias terminal (Rhétien) : D'une épaisseur d'environ 60 m, il est essentiellement constitué de calcaires et de marnes
  
- Hettangien (Jurassique inférieur) : il est constitué par des dolomies blanchâtres ou grises cendrées, calcaires, marnes. Sa puissance peut atteindre 80 mètres.
  
- Toarcien à Bajocien (Jurassique inf. à moyen) : série de calcaires à silex intercalés avec quelques lits de marnes jaunes et calcaire-marneux. Son épaisseur est d'environ 60 à 80 m.
  
- Bajocien à Callovien (Jurassique moyen) : Puissante série monotone de calcaires marneux jaunes et gris, alternant avec des marnes un peu schisteuses. Les calcaires sont progressivement envahis par la dolomitisation. Le Bathonien se montre partout à l'état de dolomies grises bien stratifiées à la base. Au sommet, sur une épaisseur d'environ 100 m, les formations sont composées de calcaires durs, zoogènes, oolithiques et graveleux, jaune clair ou jaune miel, bien lités et parfois à stratification entrecroisée.

- Jurassique supérieur : cette série carbonatée forme l'ossature des Plans de Canjuers. La série présente des calcaires blancs passant progressivement à des dolomies vers le NW, avec quelques niveaux de calcaires marneux et marnes.  
Son épaisseur est variable augmentant d'est en ouest d'environ 200 à 300 m jusqu'à plus de 1000 m dans le Verdon.
- Valanginien-Hautérvien : Ces étages sont représentés par une série de marnes et marno-calcaires gris ou jaunes. La puissance de cette série varie de 40 à 70 mètres.
- Barrémien : Il est constitué de calcaires blancs légèrement marneux à intercalation marneuses. L'épaisseur moyenne est de 30 mètres.
- Bauxite : les dépôts d'altérites de type bauxite sont les témoins d'une phase de karstification ancienne remontant à la phase de l'isthme durancien à la charnière Crétacé inférieur-Crétacé supérieur, avant le dépôt des altérites à l'Albien-Cénomaniens. Ces témoins correspondent à des altérites de types bauxite remplissant des poches de dissolution. Sur le plateau d'Ampus et le Bois des Prannes, ces bauxites se développent sur le Jurassique supérieur dolomitique. Dans le secteur des Tuilières et du Bois de Saint-Val (au sud-est du massif du Malmont), les formations bauxitiques apparaissent remaniées sous forme d'aramonite et de brèches à bauxite (Toutin-Morin *et al.*, 1994).
- Albien-Cénomaniens : Il s'agit d'une puissante série de marnes noires avec quelques intercalations marno-calcaires
- Cénomaniens supérieur : Formation de calcaires marneux détritiques ou graveleux, compacts, de teinte beige clair d'une puissance d'environ 150 mètres.
- Turonien : Série de 40 à 80 mètres de calcaires zoogène durs avec de minces lits de marnes vertes.
- Eocène : il s'agit essentiellement de sables, marnes et de conglomérats d'une puissance de 40 à 100 mètres. Il affleure notamment sur le plateau d'Ampus et correspond à une série lacustre argileuse et calcaire avec des sables fluviatiles torrentiels bleutés à dragées de quartz et galets de roches cristallines.
- Oligocène (stampien continental) : Il affleure principalement dans les fossés d'effondrement (Luby, Brovès) et est constitué de marnes grises, jaunes ou orangées, à passées de grès noduleux et verdâtres en dalles mince. Localement, les horizons peuvent être conglomératiques. Son épaisseur maximale est d'environ 100 mètres.
- Miocène moyen (Vindobonien) : il affleure également sur le plateau d'Ampus et correspond à des formations lacustres discontinues et de faciès variés, notamment des marnes jaunes, calcaires lacustres et conglomérats d'une épaisseur d'environ 20 m.
- Pliocène : du Pliocène marin affleure au sud-est de la zone d'étude dans la basse vallée de l'Argens au niveau de Roquebrune-sur-Argens. Les dépôts pliocènes correspondent à un remplissage de ria suite à la remontée du niveau de la Méditerranée, et sont composés de marnes grises ou bleutées, sables et graviers au sommet.



Des massifs de travertins se développent au débouché de la vallée de la Nartuby dans la dépression permienne entre Trans et la Motte (Figure 5). Ce massif de travertins est constitué de plusieurs entablements étagés, et qui se retrouve aujourd'hui jusqu'à 50 m au-dessus de la Nartuby. Le sommet est daté du la fin du Pléistocène (Tyrrhénien) (Dubar, 1984), montrant ainsi que l'édifice est encore fonctionnel durant le dernier interglaciaire (Toutin-Morin *et al.*, 1994).



Figure 5 : Le Saut du Capelan à La Motte recoupant les travertins Pléistocènes.

### 2.2.3. Contexte structural

Structuralement, le secteur d'étude se situe à la transition entre le domaine Alpin des chaînons du Verdon et de Canjuers au nord, et le massif cristallin des Maures au sud.

La série stratigraphique comprend deux ensembles calcaréo-dolomitiques principaux (Muschelkalk et Jurassique) séparés par l'épaisse série marno-gypseuse du Keuper. Les affleurements de marnes-gypseuses supportent les assises carbonatées jurassiques profondément entaillées par les réseaux hydrographiques de la Nartuby, de la Nartuby d'Ampus et de l'Endre (Figure 3). Les différentes phases tectoniques notamment les compressions pyrénéo-provençale et alpine, ont favorisées le décollement de la couverture mésozoïque carbonatée sur les terrains triasiques contenant des niveaux à évaporites. Il en résulte une structure de la couverture carbonatée présentant un faisceau de plis de direction WNW-ESE (Arvois *et al.*, 1969) plus ou moins écaillés qui dominent « l'avant pays triasique ». Structuralement, l'ensemble Jurassique supérieur constitue une unité massive et compétente. Elle est affectée par un morcèlement dû aux failles et aux effets de bascules. Cette structure laisse apparaître des langues de carbonates jurassiques s'étendant vers le SE entrecoupées d'affleurements de Keuper apparaissant dans les structures anticlinales et au grès des talweg. Sur les terrains jurassique au nord et nord-est, quatre directions majeures de fracturation sont identifiées : N0, N20-50, N90 et N130 (Lemperière, 1997). Les failles N20-50 et N130 correspondent en majorité à des accidents décrochants conjugués issus de la phase alpine. Les failles N90 ont des rejets faibles et n'interviennent que très peu dans la structure générale ; ce sont des failles qui bordent les structures

synclinales orientées Est-Ouest. Les failles N-S délimitent des fossés de type graben dont les accidents présentent des pendages fort en vis-à-vis (Ampus).

Du SW au NE, les traits structuraux majeurs suivants sont distingués (Arvois *et al.*, 1969) (Figure 3) :

- 1) Une zone anticlinale de Villard-Taradeau marquée par des anticlinaux serrés de Muschelkalk, se relayant, orientés d'abord NW-SE (Le Villard-Fayos) puis s'infléchissant N-S vers Taradeau. Ce pli, recoupant celui orienté E-W de Carcès qui s'étend vers l'Ouest, provoque la formation d'une zone faillée au Nord de Taradeau.
- 2) Plis NW-SE de la série jurassique de la zone de Tourtour-Flayos-Draguignan qui apparaît en synclinaux (Espiguières, Puy de la Sigüe, Malmont). Dans son prolongement, au Sud de Draguignan, le Muschelkalk est affecté par des ondulations et des accidents NW-SE ou N-S. À l'Est de Draguignan les plis tendent à s'orienter E-W (petit massif triasique du Bois de St Val).  
Vers le NW, le synclinal du Puy de la Sigüe est relayé par celui des Espiguières, limité au Sud par une ligne de chevauchements dirigés vers le Sud (chevauchement d'Aups).
- 3) Zone anticlinale de Gypières-Rebouillon faisant affleurer le Keuper aux Gypières, à ND de Liesse, au Nord du Puy de la Sigüe, et le Muschelkalk à Rebouillon. Il y a chevauchement du Keuper sur le Jurassique d'Ampus au Sud de ce village.
- 4) Synclinal d'Ampus - Bois des Prannes - La Pale affecté d'effondrement (fossé d'Ampus) ou de failles (Châteaudouble - les Frayères) , et limité au Nord par la faille (ou pli faille) de Mourjai.
- 5) Zone du Bois des Blaques : succession de synclinaux et d'anticlinaux serrés, chevauchant vers le Sud. Ces plis s'amortissent vers l'Ouest, au Nord d'Ampus. Vers l'Est, au-delà de la faille N-S de Montferrat, s'alignent les synclinaux jurassiques de Coste Rousse et du Bois du Puy.
- 6) Anticlinale de Beau Soleil se prolongeant l'Est jusqu'à Bargemon ;
- 7) Synclinal des Cinq Salles - Bargemon - Bois de la Pigne.
- 8) Zone des écaillés entre la Mathurine et Seillans. Le Keuper affleure largement (et même le Muschelkalk au NE de Bargemon). Vers l'Ouest (la Mathurine) anticlinaux et synclinaux sont peu écaillés. À l'Est au contraire (Seillans) une série d'écaillés, entre lesquelles affleure le Keuper, sont en position effondrée en-dessous des entablements de calcaires karstifiés de Blaque-Meyanne (nord de Bargemon).
- 9) Zone triasique Callas - Claviers - Pennafort. Le Muschelkalk est ici affecté par des plis aigus de direction générale E-W séparés par de larges affleurements de Keuper. Vers le Sud le Muschelkalk a des allures plus tabulaires et il y a interférence entre la direction générale de plissement E-W ou NW-SE et des accidents (affectant plus au Sud le socle cristallin et le Permien) de direction générale NO à N10.

## 2.3. Contexte hydrogéologique

### 2.3.1. Aquifères et aquicludes

À l'échelle du bassin versant de la Nartuby, deux ensembles calcaréo-dolomitiques correspondent à deux réservoirs aquifères principaux ; le Muschelkalk et le Jurassique. Ces deux réservoirs sont séparés par un niveau considéré comme aquiclude, le Keuper (Figure 3 et Figure 4).

#### 2.3.1.1. Aquifère du Jurassique inférieur et moyen

Les carbonates du Jurassique affleurent principalement dans la partie NW du secteur ainsi que sur le massif du Malmont qui constitue le prolongement SW de la structure synclinale d'Ampus. Cet aquifère, d'une puissance de plusieurs centaines de mètres, représente une ressource majeure pour l'alimentation en eau de la Dracénie au travers de l'exploitation de nombreuses sources et forages.

Le caractère karstique de cet aquifère en fait toutefois une ressource vulnérable face aux pollutions diffuses (lessivage par les eaux de ruissellement) ou accidentelles (déversement). Quelques niveaux marneux se répartissent au sein de la série stratigraphique (dans l'Argovien, au sommet du Bajocien et dans le Bathonien)

et peuvent localement créer des nappes perchées, mais ne suffisent pas à constituer un écran imperméable aux écoulements souterrains.

L'exutoire principal du secteur de cet ensemble est constitué par les émergences des Frayères ( $Q_{\text{moy}} \approx 170$  L/s) et des Ferrières dans les gorges de la Nartuby.

Dans la Partie NE du BV de la Nartuby, dans le secteur de Montferrat, l'ensemble jurassique forme des langues de carbonates en haut topographique au-dessus du Keuper déprimé. Il est compartimenté en plusieurs unités.

#### 2.3.1.2. Aquiclude du Trias supérieur (Keuper)

Dans sa partie supérieure cet étage présente des faciès carbonatés qui se rattachent à l'aquifère Jurassique. En-dessous, cet étage fortement affecté par la tectonique est considéré comme imperméable dans son ensemble avec plus de 300 m de marnes gypseuse. Sur tout le territoire d'étude, cet étage conditionne la présence de sources en agissant comme mur de l'aquifère jurassique sus-jacent, ce qui marque un argument indirect du rôle étanche de ce niveau. Des phénomènes de drainance pourraient néanmoins se produire dans cet étage par le relais de lentilles gypseuses partiellement connectées à la faveur de discontinuités préexistantes.

#### 2.3.1.3. L'aquifère des carbonates triasiques du Muschelkalk

L'aquifère des calcaires et dolomies triasiques du Muschelkalk se développe sous l'aquiclude du Keuper, principalement à l'est de Draguignan selon une bande sud-ouest/nord-est au contact du Permo-Trias gréseux puis des formations de socle constituant le mur du réservoir. L'ensemble des carbonates forme un réservoir aquifère important dont le drainage s'effectue vers une série d'émergences au point bas du contact entre le Muschelkalk et l'incision de la Nartuby. Une série d'émergences sourdent en rive gauche de la Nartuby entre Trans-en-Provence et La Motte avec des venues d'eau massives dans le cours de la Nartuby en aval des gorges de Trans-en-Provence (rapport de débit de l'ordre de 1,5 à 2 fois le débit amont en période de basse eaux, comm. SMA). Le principal exutoire visible de cet ensemble est constitué par la source de la Foux (entre Draguignan et Trans-en-Provence). Cet exutoire est situé en retrait amont et un peu plus haut (160 m) la ligne d'émergence aval à 110 m. Cette source, impropre à la consommation, est fortement minéralisée, chargée en sulfates et chlorures (2,5g de résidus secs et 1g de NaCl avec une conductivité supérieure à 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), et avec un débit moyen de l'ordre de 800 à 900 l/s. Cette minéralisation est due au lessivage et à la dissolution des dépôts d'évaporites intercalés dans la série triasique. Cette source semble être alimentée par des eaux d'origines différentes. Des jaugeages dans la Nartuby ont mis en évidence des relations rivière/nappe (karst) particulièrement importantes avec des pertes diffuses de la Nartuby qui alimenterait cet aquifère notamment dans les secteur où le substratum est constitué de marnes et de gypse du Keuper (approximativement entre La Clappe et le Pont de Salamandrier (Rivet *et al.*, 2014)). Il est fort probable que cette source draine au moins en partie le massif de Muschelkalk s'étendant au nord de Trans-en-Provence et La Motte jusqu'au sud de Callas. Plus à l'est, l'aquifère nourrit également le long de la bordure permienne une série d'émergences de débits modestes dont, en règle générale, le débit décroît et la concentration en sels croît avec l'altitude (Arvois *et al.*, 1969).

#### 2.3.1.4. Le Permo-Trias

Le Permo-trias gréseux joue le rôle de mur imperméable par rapport au grand ensemble calcaréo-dolomitique du Muschelkalk (Arvois *et al.*, 1969).

Les assises gréseuses du Permien peuvent être aquifères mais les écoulements sont diffus, localisés dans des bancs massifs fissurés. Dans la région du Mitan, au nord du Muy, existe un groupe de petites émergences paraissant liées au système de fracture N-S affectant le socle et le Permien.

Les grès triasiques peuvent également être aquifères. Il s'agit toujours de très petits débits.



### 2.3.1. Organisation générale des écoulements

L'organisation spatiale du drainage souterrain est conditionnée par la structure géologique des massifs et, en particulier pour le réservoir jurassique, par la géométrie du compartiment de marnes gypseuse du Keuper (Trias) qui constitue un écran aux circulations souterraines.

D'amont en aval, les écoulements peuvent être décrits par (Arvois *et al.*, 1969 ; Therond, 1972 ; Cova et Durozoy, 1980 ; Etienne, 1987 ; Cova, 1990 ; Tapoul et Cova, 2003) :

- Le drainage de la majeure partie des plateaux de Canjuers vers les sources occidentales de Fontaine l'Evêque, de la Sambuc et des Garrubys, submergées, dans la retenue de Sainte-Croix du Verdon. Ces émergences karstiques offrent un débit moyen annuel de 6 m<sup>3</sup>/s et un régime d'une grande régularité en raison de la forte participation des pertes de rivières à leur alimentation
- Le drainage de la partie orientale du massif de Canjuers vers les sources de la Siagnole-de-Mons de Mons (bassin de la Siagne), avec un débit d'étiage d'environ 300 l/s.
- Le drainage de la partie sud du massif vers plusieurs exutoires jalonnant le contact frontal avec le Trias. La source des Frayères représente la principale émergence, avec un débit moyen annuel de l'ordre de 170 l/s. D'autres exutoires de moindre importance sont localisées proche du contact jurassique/Keuper (sources de Vallauray, de Ste Rosaire et de Béou Téou; de la Madeleine, de l'Adoux, de Baou Roux, du Neïsson et de Camandre) ;
- Le drainage du Massif du Malmont par plusieurs exutoires localisés au contact du Keuper (Dragon, Fontvieille) ;
- Le drainage du massif de Muschelkalk au sud-est par la source de la Foux (≈ 900 l/s) et plusieurs exutoires en rive gauche de la Nartuby entre Trans en Provence et La Motte.

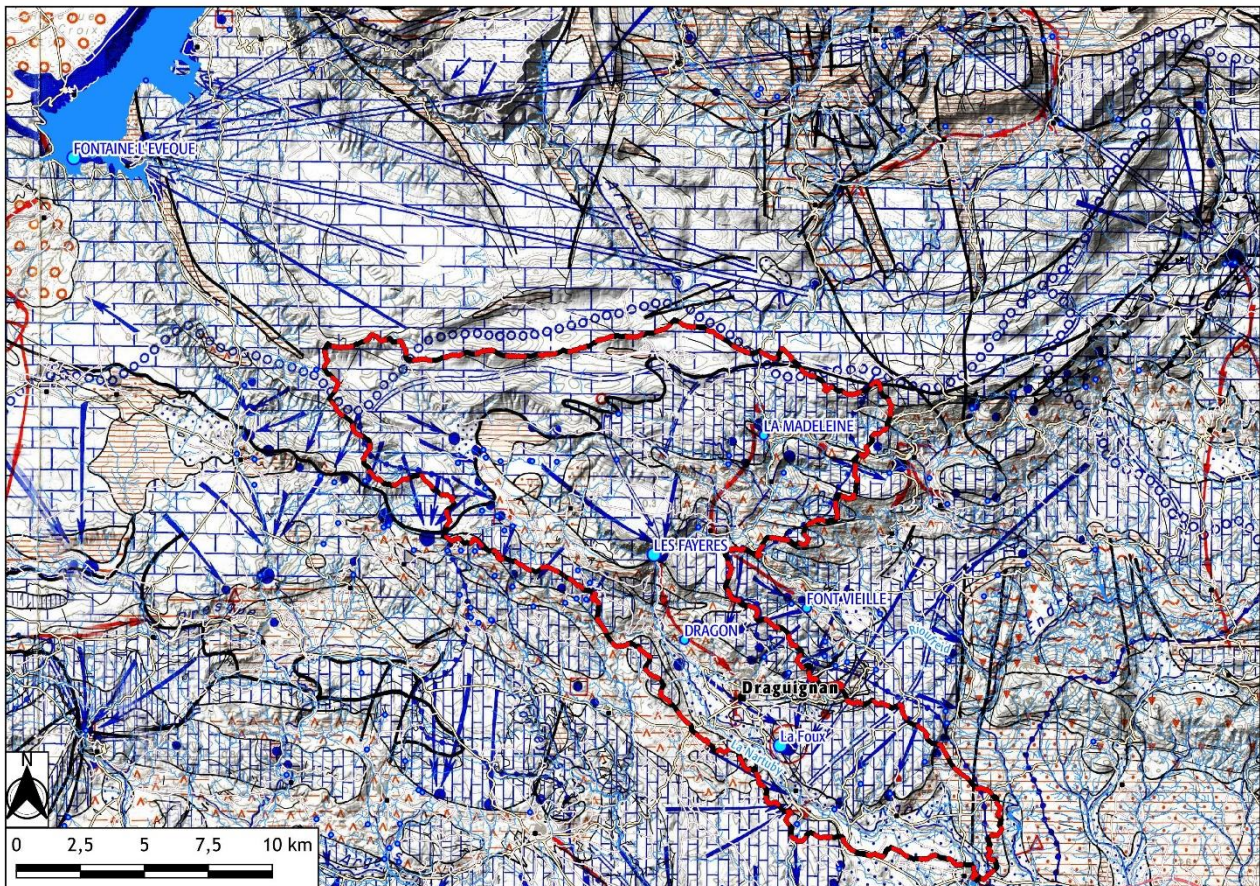


Figure 6 : Extrait de la carte hydrogéologique du Var au 1/200 000 montrant les compartiments hydrogéologiques et écoulements majeurs. Le bassin versant de la Nartuby en rouge et noir. Modifié d'après Cova et Durozoy (1980).

### 3. CARACTERISATION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES KARSTIQUES

Cette section caractérise chaque unité hydrogéologique karstique présente sur le secteur d'étude. Il s'agit de la première étape de pré-identification de zones de sauvegarde dans la mesure où cette étape recense les aquifères carbonatés karstiques ainsi que leurs bassins d'alimentation. Le terme d'unité hydrogéologique karstique désigne une même masse d'eau souterraine dans un même ensemble structural et hydrographique dont les écoulements souterrains aboutissent à une émergence définie ou à plusieurs émergences comparables. Ces unités hydrogéologiques karstiques peuvent contenir un ou plusieurs systèmes karstiques ou unités de drainage karstique.

#### 3.1. Modalité de recharge et délimitation des unités hydrogéologiques karstiques

La recharge des aquifères carbonatés karstiques peut être autochtone ou allochtone. Dans le premier cas, le karst est dit « unaire » et la recharge s'effectue sur toute la surface de l'aquifère à l'affleurement (Figure 7). La recharge allochtone forme dans la plupart des cas un « karst binaire » et correspond à un apport d'eau de surface par ruissellement sur une zone de roches non carbonatées imperméables, s'infiltrant ensuite dans les formations karstifiées par le biais de pertes (Figure 7).

Les limites des unités hydrogéologiques karstiques proposées dans les sections suivantes repose ainsi sur la prise en compte de :

- L'alimentation directe par infiltration sur les terrains aquifères karstifiables ;
- Les connexions souterraines prouvées par traçages ou supposées ;
- L'alimentations par ruissellement et pertes.

Les limites des unités sont en outre basées sur la lithologie (caractère plus ou moins karstifiable des terrains), sur la tectonique (faille et chevauchement pouvant mettre en contact différentes unités aquifères ou pouvant barrer un aquifère) et sur la limite des bassins versant hydrographiques (pour la contribution indirecte par ruissellement des karsts binaires). Les limites cartographiques basées sur la lithologie sont issues de la carte géologique vecteur harmonisée du BRGM au 1/50 000 (BD Charm).

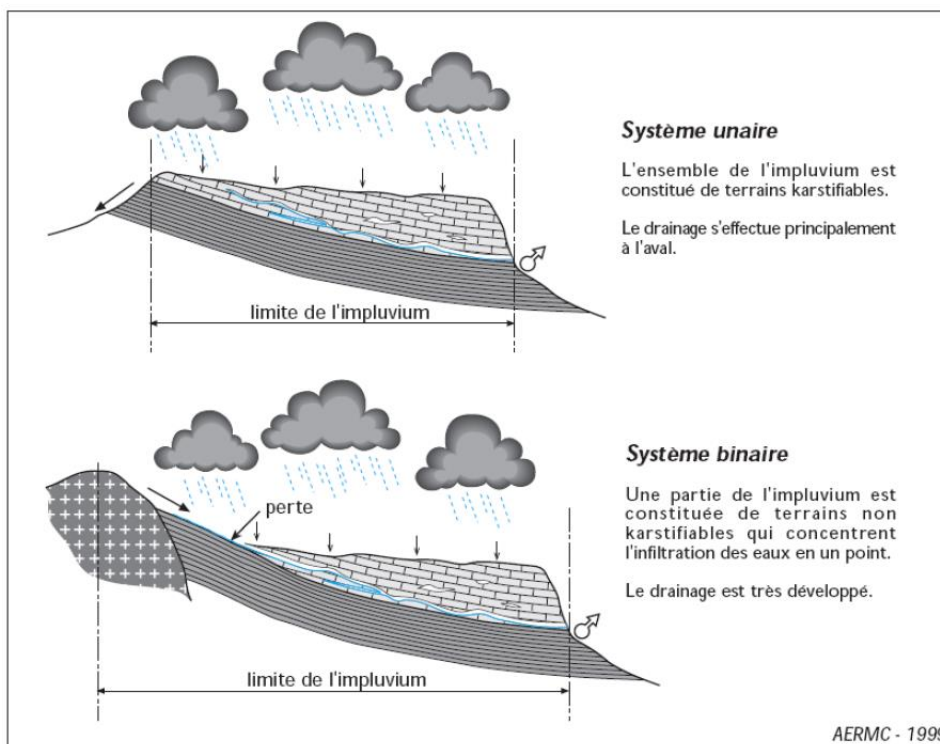


Figure 7 : Deux types de recharge de systèmes karstiques : alimentation unaire où l'intégralité de la recharge autochtone est assurée par les précipitations tombant sur le massif, et alimentation binaire où la recharge est à la fois autochtone et allochtone alimentée par des ruissellements et des pertes provenant de massifs en amont.



### 3.2. Localisation générale des unités hydrogéologiques karstiques

La localisation générale des unités hydrogéologiques karstiques est donnée en Figure 8. La superficie totale des unités et la superficie à l'intérieur du bassin versant de la Nartuby est donnée dans le Tableau 1. À l'intérieur du bassin versant de la Nartuby, les unités hydrogéologiques karstiques concernent environ 61 % de la superficie soit 141 km<sup>2</sup> sur les 232 km<sup>2</sup>. Il est à noter deux points :

- Ces unités s'étendent largement en dehors des limites du BV de la Nartuby sur 126 km<sup>2</sup> ;
- Près de 91 % de la surface du territoire est concerné par des terrains pouvant receler ou contribuer à l'alimentation des ressources en eau souterraines si l'on considère les zones de contributions potentielles situées au nord (36 km<sup>2</sup> dans l'axe Plan de Cluaye-Auveine-Ranguis) ainsi que les zones d'alimentation par ruissellement pouvant contribuer par pertes aux unités situées en aval (36 km<sup>2</sup>) (versants de Monferrat (Figure 8)).

Tableau 1 : Superficie totale et superficie dans le BV de la Nartuby des unités hydrogéologiques karstiques.

Unité hydrogéologique karstique (zones de contribution directe)	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie de l'unité dans le bassin versant de la Nartuby (km <sup>2</sup> )
Aups Fontigon	44.3	44.3
Puy de la Sigüe	11.7	3.9
Ampus-Frayères	55.8	55.8
Bivosque	5.7	5.7
La Magdeleine	12.1	12.1
Favas	2.3	3.6
Coste Rousse	7.1	4.2
Malmont	18.4	10.6
La Foux	65.6	29.0
Les Arcs	42.5	3.6
<b>Somme de la superficie des unités hydrogéologiques karstiques</b>	<b>267</b>	<b>141</b>
<b>Superficie des unités en dehors du BV de la Nartuby</b>		<b>126</b>
<b>Superficie du BV de la Nartuby</b>		<b>232</b>
<b>Pourcentage de la superficie des unités à l'intérieur du BV de la Nartuby</b>		<b>61 %</b>



Localisation générale des unités hydrogéologiques karstiques du bassin versant de la Nartuby

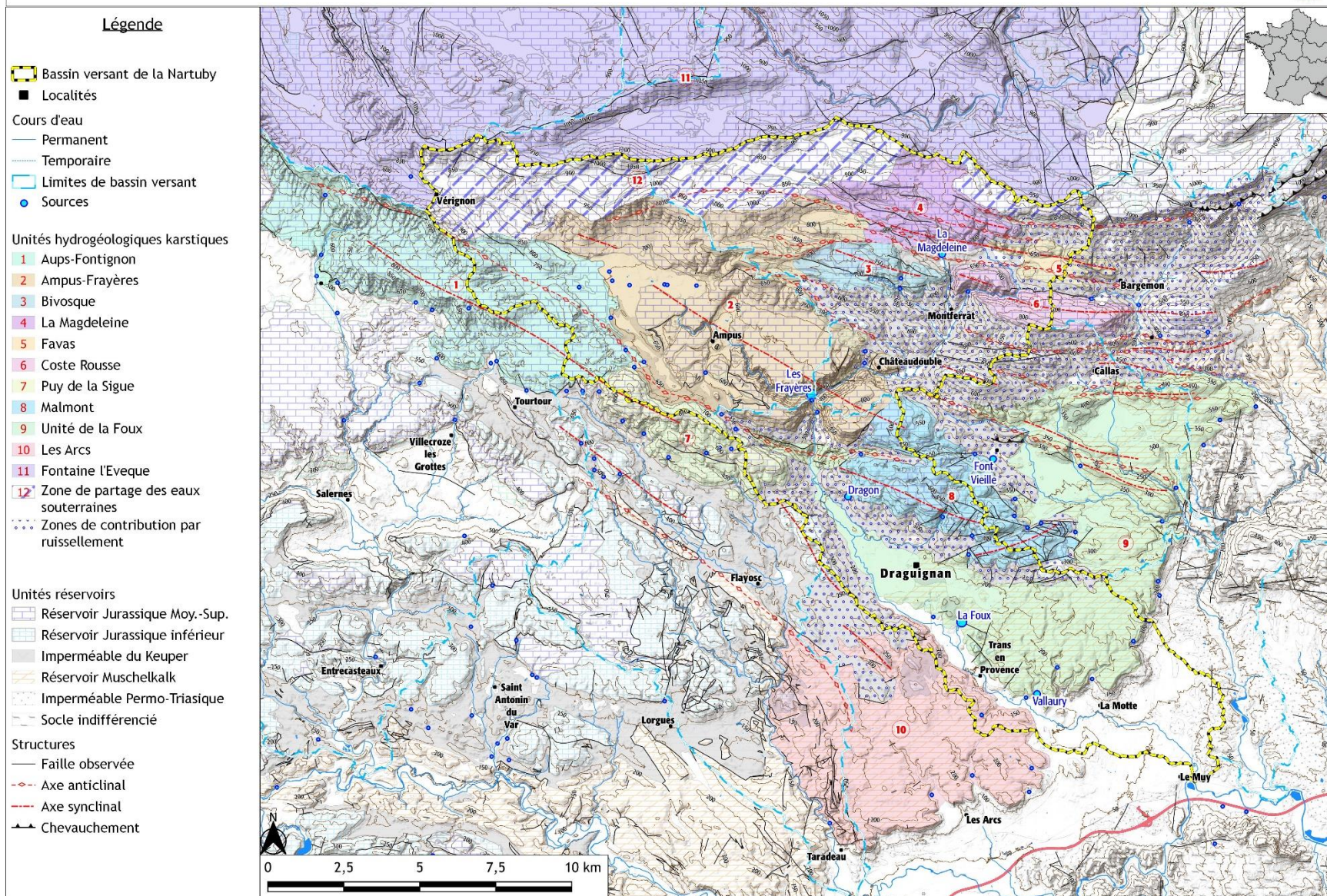


Figure 8 : Localisation générale des unités hydrogéologiques du Bassin versant de la Nartuby.



### 3.3. Unité d'Aups-Fontigon

#### 3.3.1. Délimitation de l'unité

L'unité hydrogéologique karstique d'Aups-Fontigon s'étend sur une superficie d'environ 44 km<sup>2</sup> dont une large partie s'étend en dehors du bassin versant hydrographique de la Nartuby. Cette unité forme une bande NW-SE d'environ 3 km de large et 13 km de long épaulé au NE d'une ligne passant par Aups et Tourtour. La limite NW de l'unité est fixée de manière arbitraire au vallon de Valmouissine au NE d'Aups. Au SE, la limite est marquée par l'axe Saint-Pierre-de-Tourtour/Ravel. La bordure Est correspond à la remontée des terrains du Keuper à l'ouest d'Ampus. La limite Nord passe par le sommet de la montagne de Notre Dame de Liesse formant l'anticlinal.

#### 3.3.2. Géologie et formation aquifère

L'unité est majoritairement composée de terrains carbonatés du jurassique inférieur et supérieur qui forment l'aquifère karstique. Le mur du réservoir est constitué par la série marno-gypseuse du Keuper.

L'unité se présente sous la forme d'une structure anticlinale (N. D. de Liesse) au nord-est suivi d'une structure synclinale ouverte vers le sud-ouest. Ces traits structuraux d'orientations N120 correspondent aux axes des structures majeures. La structure anticlinale faisant remonter le Keuper dans le versant sud de la montagne de N. D. de Liesse marque ici une limite hydrogéologique. L'unité est limitée dans ce secteur à la crête du relief formant la limite du bassin versant topographique.

L'aquifère forme ici une cuvette continue qui se développe relativement peu sous le niveau de base contrôlé par la position des exutoires périphériques. Les structures aquifères du jurassique ne présenteraient pas de prolongements directs en direction du sud-ouest, sous le bassin tertiaire d'Aups, et seraient limitées par un accident N120 faisant sub-affleurer le mur de Keuper, visible aux alentours de Tourtour.

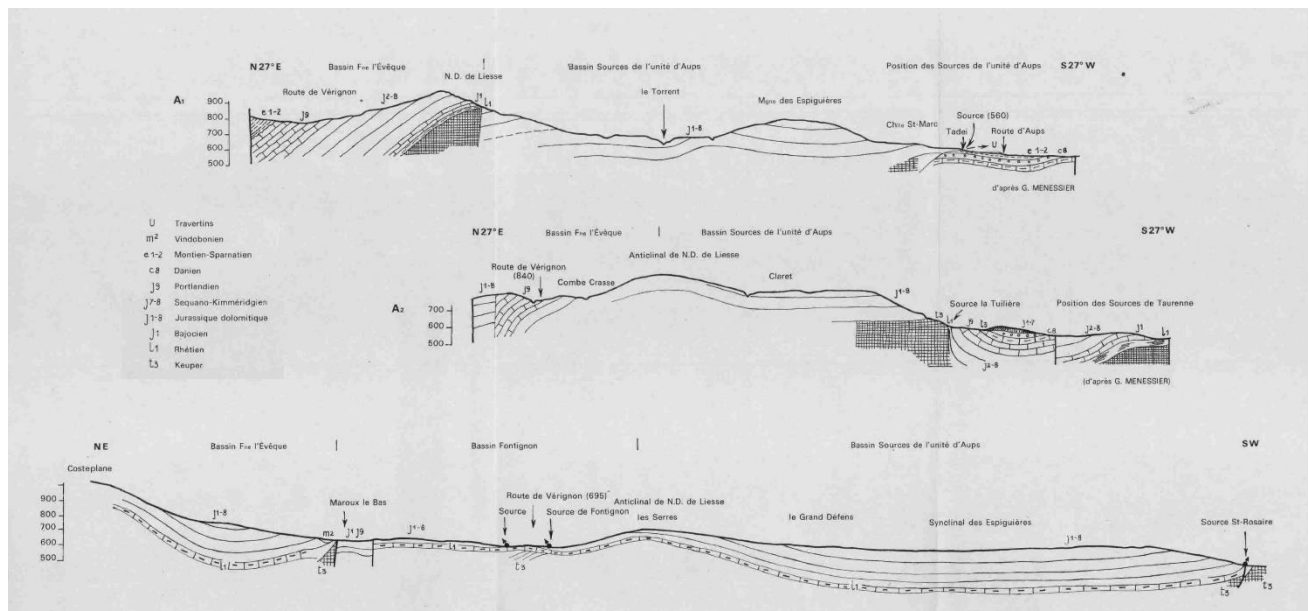


Figure 9 : Coupe géologique de l'unité d'Aups-Fontigon (Arvois *et al.*, 1969).



### Unité hydrogéologique karstique d'Aups-Fontigon

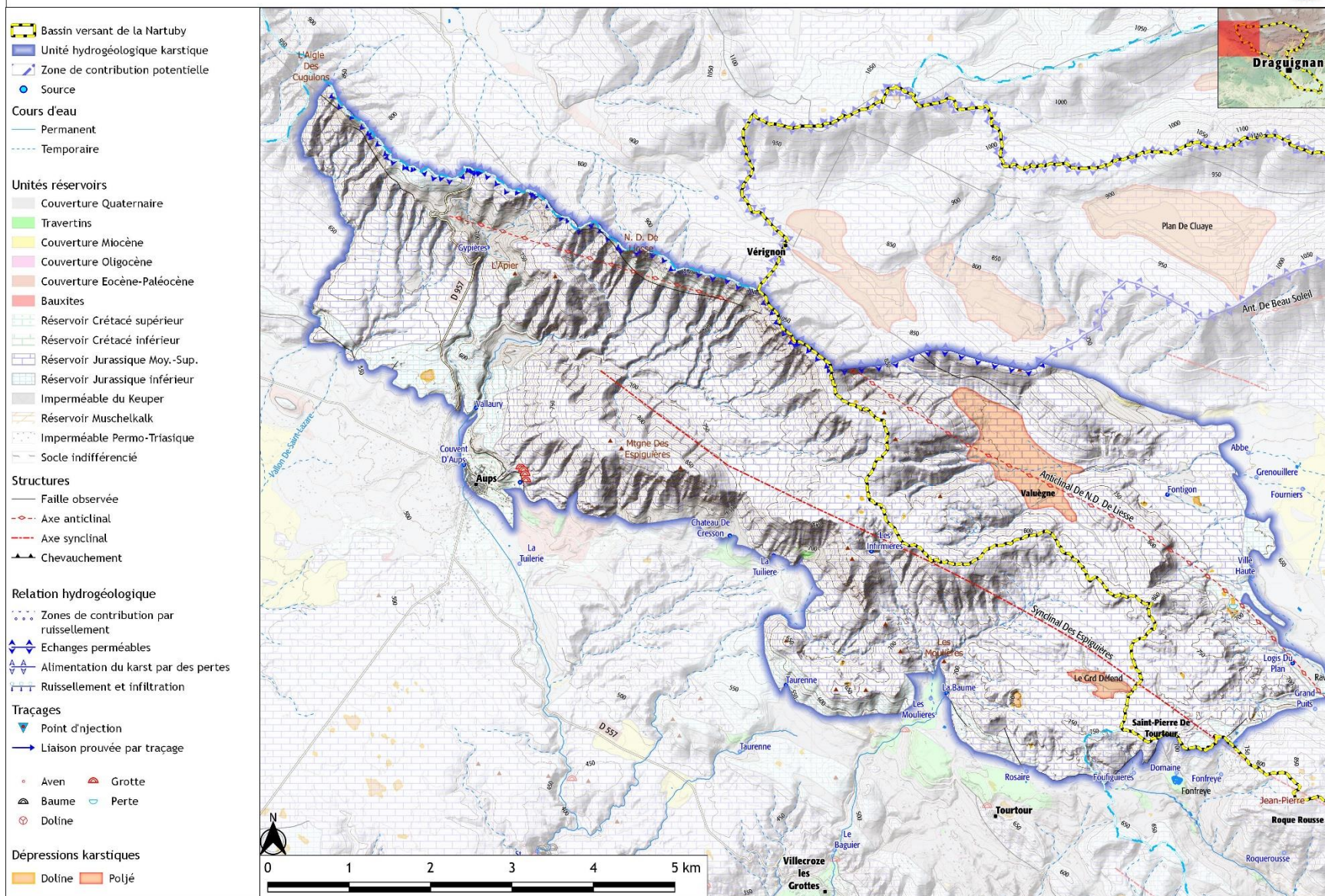


Figure 10 : Unité hydrogéologique karstique d'Aups-Fontigon.



### 3.3.3. Hydrogéologie

#### 3.3.3.1. Exutoires

L'unité est drainée par une multitude de sources de débordement situées majoritairement en périphérie de l'unité sur sa bordure sud et est. Les principaux exutoires sont :

- Dans le secteur d'Aups : les sources de Vallaury, Couvent d'Aups et Charmante avec un débit total moyen d'environ 25 l/s (Arvois *et al.*, 1969) ;
- Entre Aups et Tourtour : Source du Château de Cresson, La Tuilière ainsi que la source perchée des Infirmières ;
- Dans le secteur de Tourtour et de Saint-Pierre de Tourtour : Sources des Molières (ou Moulières), de la Baume, du Rosaire, Foufiguières, et du Domaine avec un débit total moyen d'environ 25 l/s (Arvois *et al.*, 1969);
- Sur le versant est à l'ouest d'Ampus : Source du Grand Puits, Béou-Téou, Logis du Plan d'Ampus, Ville Haute et Fontigon. Cette dernière constitue la source de la Nartuby d'Ampus et avait un débit moyen estimé en 1968 d'environ 10l/s.

La source caractéristique la plus abondante du versant sud est celle du Rosaire avec un débit moyen d'environ 20 l/s qui sourd à une altitude de 660 m au contact du Jurassique et du Keuper faillé (Glantzboeckel et Syssau, 1974). Sur le versant nord, la source de Fontigon constitue la principale résurgence avec des débits modestes (Arvois *et al.*, 1969). Ces deux sources s'établissent à une altitude sensiblement identique, respectivement de 660 m et 675 m. Le faciès de ces eaux est voisin, bicarbonatées calciques et magnésiennes, à très faible teneur en  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ , caractéristiques d'eaux ayant circulé dans des dolomies ou calcaires dolomitiques sans lessivage de Keuper. Des teneurs plus élevées avaient toutefois été observées durant les basses eaux. La plupart des autres sources ont un faciès identique excepté les sources du couvent d'Aups et de Vallaury sur la bordure sud-ouest qui ont des teneurs élevées en  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Cl}^-$  traduisant une influence du Keuper (Arvois *et al.*, 1969).

#### 3.3.3.1. Aire d'alimentation et conditions de recharge

La recharge de l'unité d'Aups-Fontigon s'effectue à partir des affleurements carbonatés de jurassique essentiellement supérieur. La recharge est unaire, assurée essentiellement par les pluies tombant sur le massif. Il n'y a pas d'alimentation par des ruissellements et pertes.

Des échanges souterrains peuvent avoir lieu au contact avec l'unité de Canjuers (nord d'Ampus) mais compte tenu de la structure géologique (anticlinal de Keuper) et de la topographie, ces derniers sont certainement limités. Plus à l'est, des échanges souterrains peuvent avoir lieu avec la zone au devenir des eaux souterraines indéterminée (SE de Vérignon).

### 3.3.1. Karstification

#### 3.3.1.1. Indices karstiques de surfaces

Les indices karstiques de surface sont ici constitués par des aplanissements, quelques dolines et structures de poljés.

Les aplanissements se retrouvent à des altitudes compris entre 680 m dans le secteur de Fontigon, 720 à 750 m au niveau du Grand Défens (NW de St-Pierre de Tourtour), 770 m au nord de la source du Château de Cresson et 890 m sur le massif de Claret. Ces aplanissements correspondent sensiblement à des paléo-surfaces anté-creusement des vallées. Ces paléo-surfaces marquent des stades d'emboitements de niveaux de base successifs sur lesquels des paléo-drains de systèmes karstiques sont susceptibles d'avoir été structurés. À ce titre, la source des Infirmières (790 m) qui sourd dans le massif jurassique pourrait être en relation avec la surface à 770 m identifiée au nord de la source du Château de Cresson.

Trois structures de poljé apparaissent également dans la morphologie ; au niveau du Grand Défens imprimé dans la surface à 720-740 m, au lieudit le Lac et drainé par un ponor (perte), et une structure beaucoup plus étendue au niveau de Valuègne. Cette dernière structure s'étendant vers le NW apparaît aujourd'hui entaillée par le vallon de Valuègne et ne fonctionne plus en poljé. La présence de ces poljés traduit des fonctionnements spécifiques, actifs ou fossiles dans le cas de Valuègne, fonctionnement qui tendent à concentrer les eaux de surface avant qu'elles ne rejoignent le milieu souterrain. Ces structures endoréiques caractéristiques de milieu karstiques se retrouvent largement développées dans les parties nord de la zone d'étude au niveau du Camp de Canjuers (Grand Plan de Canjuers, Plan du Château de Lagne, Plan d'Auveine, Plan d'Hiesse, Plaine de Ranguis, etc.) .

Sur toute la bordure sud, du sud de St-Pierre de Tourtour à Aups, les travertins témoignent de la pérennité des sources karstiques à la bordure du massif dolomitique. Chaque massif de travertin semble ici associé à une source amont (source du Domaine, Foufiguière, Rosaire, La Baume, Cresson).

### Rappel sur les poljés :

Les poljés sont des dépressions karstiques fermées ou semi-ouvertes, drainées en surface en direction d'un point d'infiltration concentrée, le ponor. Ces dépressions à fond plat évoluent latéralement par dissolution basale sous contrôle d'un plan d'eau temporaire ou permanent en formant une bordure de corrosion sur leur pourtour. Lors de leur évolution, ces poljés s'embroient dans leur propre plancher en laissant des trottoirs de corrosion en périphérie (Figure 11).

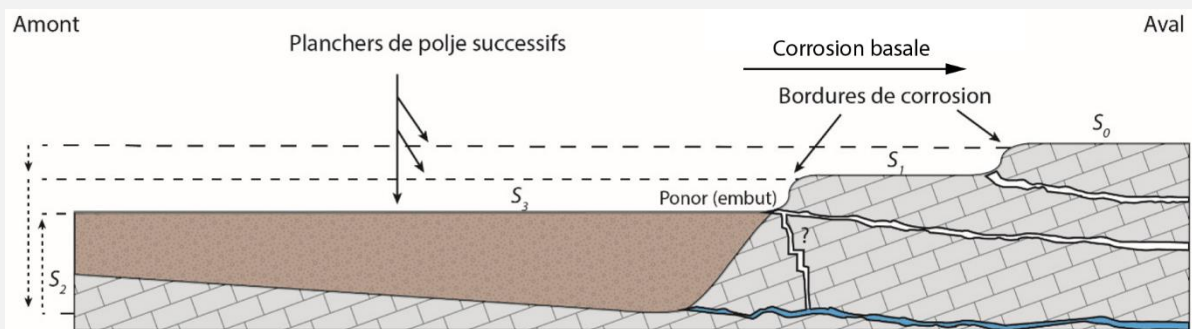


Figure 11 : Schéma d'établissement de planchers de poljés successifs par érosion latérale régressive et conditionnés par le niveau de base. Chaque niveau d'enfoncement de planchers de poljés est limité par des bordures de corrosion. Dans le cas d'une remontée du niveau de base, le poljé se comble par aggradation de sédiments. A chaque étape d'évolution, un nouveau ponor relié à un réseau karstique se met en place au niveau du plancher actif, le plus souvent au droit d'une bordure de corrosion. Jouves (2018)

#### 3.3.1.2. Cavités et réseaux karstiques

À notre connaissance aucune cavité ou réseau karstique présentant un développement significatif n'est connu dans l'unité.

#### 3.3.1.3. Système(s) de drainage karstique

La multiplicité des sources périphériques drainant cette unité traduit la présence de plusieurs systèmes de drainage karstiques. Du fait de la structure géologique synclinale notamment dans le secteur sud-est, ces systèmes de drainage intéressent sensiblement une même masse d'eau souterraine.

La présence des travertins, traduit à la fois la pérennité de ces multiples systèmes de drainage de débordement vis-à-vis d'un aquifère jurassique barré par le Keuper, et à la fois un chimisme certainement similaire attestant d'eaux de même origine.

En l'absence de données complémentaires comme de débits et de traçages il n'est pas possible d'individualiser l'aire des différents systèmes de drainage.

### 3.4. Unité du Puy de la Sigüe

#### 3.4.1. Délimitation de l'unité

L'unité du Puy de la Sigüe s'inscrit dans la continuité SE de l'unité d'Aups-Fontignon sur une superficie de 11,7 km<sup>2</sup>. L'unité forme une bande NW-SE d'environ 1,5 km de large et 6,5 km de long depuis St-Pierre de Tourtour au NW jusqu'à la vallée de la Nartuby au niveau de Lentier.

#### 3.4.2. Géologie et formation aquifère

L'unité est majoritairement composée de terrains carbonatés du jurassique inférieur et du jurassique moyen-supérieur qui forment le réservoir karstique. Le mur du réservoir est constitué par la série argilo-gypseuse du Keuper. La structure aquifère (Figure 12) forme un synclinal N120 (synclinal des Espiguières) bordé par deux anticlinaux faisant apparaître le Keuper au nord et au sud (anticlinal de N. D. de Liesse au nord). Un accident local fait remonter le Keuper sur un axe E-W entre Collefrat et la Haute Vaoure. L'unité forme ainsi une cuvette plus ou moins continue qui se développe relativement peu sous le niveau de base contrôlé par les exutoires périphériques.

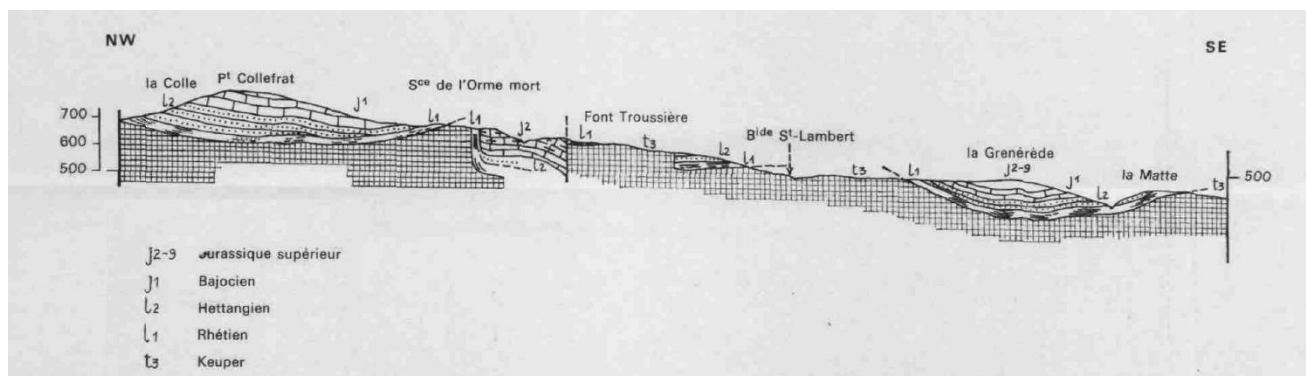


Figure 12 : Coupe géologique de l'unité du Puy de la Sigüe (Arvois *et al.*, 1969).

#### 3.4.1. Hydrogéologie

##### 3.4.1.1. Exutoires

L'unité est drainée par plusieurs sources périphériques dont la plupart sourdent sur la bordure sud. Les sources les plus importantes, qui restent toutefois modérées avec des débits de l'ordre de quelques litres voir dizaines de litres par seconde (Arvois *et al.*, 1969) se retrouvent principalement dans la partie nord avec : Fontfreye, Béoutéou, Roquerousse, Haute Vaoure et l'Orme mort. À l'extrémité sud vers la terminaison périsynclinale quelques sources apparaissent au points situés topographiquement les plus bas (le Lentier, le Figueiret) mais celles-ci présentent de faible débit (Arvois *et al.*, 1969). Les eaux sont bicarbonatées calciques peu magnésiennes (Fontfreye, Hte Vaoure) mais peuvent présenter des teneurs en sulfate importantes (Fonfreye) (Arvois *et al.*, 1969). Cette composition suggère une influence de la série marno-gypseuse du Keuper sous-jacente.

##### 3.4.1.2. Aire d'alimentation et conditions de recharge

La recharge de l'unité est essentiellement unaire, effectuée à partir des affleurements carbonatés de jurassique. Il n'y a pas d'alimentation par des ruissellements et pertes. L'unité est isolée et ne bénéficie pas d'échange avec d'autre unités, excepté peut être quelques échanges minimes au contact nord-est avec l'unité d'Aups Fontignon. En revanche, les sources et ruissellements issues de cette unité, notamment sur le versant nord du Puy de la Sigüe alimentent de façon indirecte l'unité



d'Ampus Frayères par des infiltrations concentrées (pertes) dans les canyons à l'ouest d'Ampus (zone de Valségure).

### 3.4.2. Karstification

#### 3.4.2.1. Indices karstiques de surfaces

Les indices karstiques de surface sont ici constitués par deux lambeaux résiduels de surface karstique correspondant à des aplanissements avec :

- Un lambeau de surface à 850 m sur le Massif de Roquerousse se raccordant aux aplanissements identifiés plus au nord au niveau de la Magdeleine ;
- Un lambeau à 550 m au niveau au sud-est de Collefrat et se raccordant à la basse surface présente sur le plateau d'Ampus.

#### 3.4.2.2. Cavités et réseaux karstiques

Peu de cavités et réseaux karstiques sont référencés dans cette unité. Seul l'aven Jean-Pierre (ou Faille d'Ampus) présente un développement, qui reste toutefois modéré (Figure 13). La topographie montre une organisation en un réseau de diaclases ou fractures élargies d'orientation N0-10° et N100-120°. Ce type d'organisation reflète l'héritage tectonique et pourrait ici constituer un indice de karstification par fantômisiation (phénomène de karstification en deux temps par (1) altération isovolumique des discontinuités les plus propices et (2) évacuation de l'altérite par soutirage lié à la baisse du niveau de base – Dubois *et al.* (2014). Si tel était le cas, cela traduirait une pré-structuration du réservoir sous des conditions de faible gradient hydraulique, ce qui est en cohérence avec la multiplicité des surfaces d'aplanissement karstiques identifiées dans le secteur et qui marquent des phases de stabilité du niveau de base.

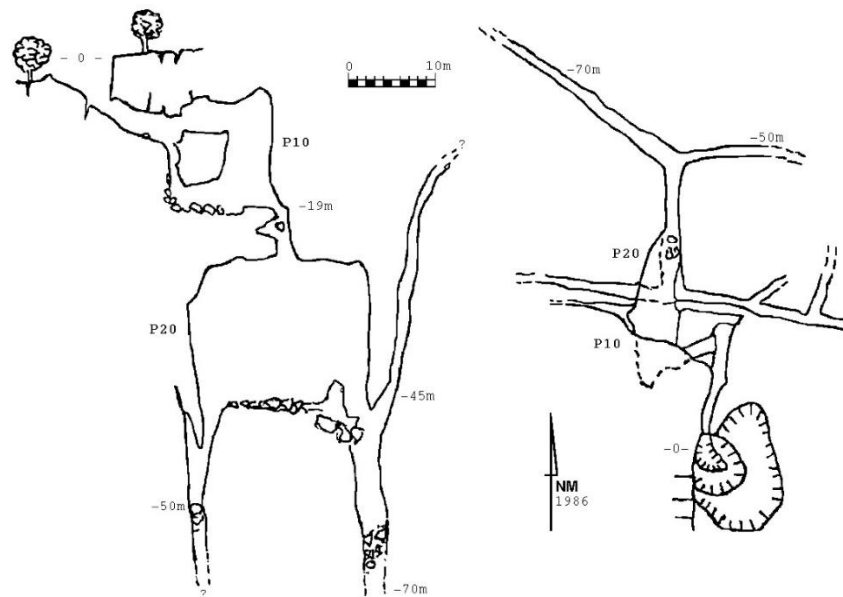


Figure 13 : Topographie en plan et coupe de l'aven Jean-Pierre. Topographie : Y. Frebourg. GRS / SC Var / AENSDV (CDS83, 2020).

#### 3.4.2.3. Système(s) de drainage karstique

La multiplicité des sources périphériques drainant cette unité traduit la présence de plusieurs systèmes de drainage karstiques. Deux compartiments relativement mal connectés sont distingués avec un compartiment NW et un compartiment SE séparé par un accident faisant remonter le Keuper sur un axe E-W Haute Vaoure-Collefrat. La présence des sources de l'Orme mort, Solliès et Collefrat traduit indirectement cette barrière hydraulique relative. Le compartiment SE est, quant à lui, drainé vers les points bas des affleurements carbonatés situés au SE (le Lentier, le Figueiret).

### Unité hydrogéologique karstique du Puy de la Sigüe

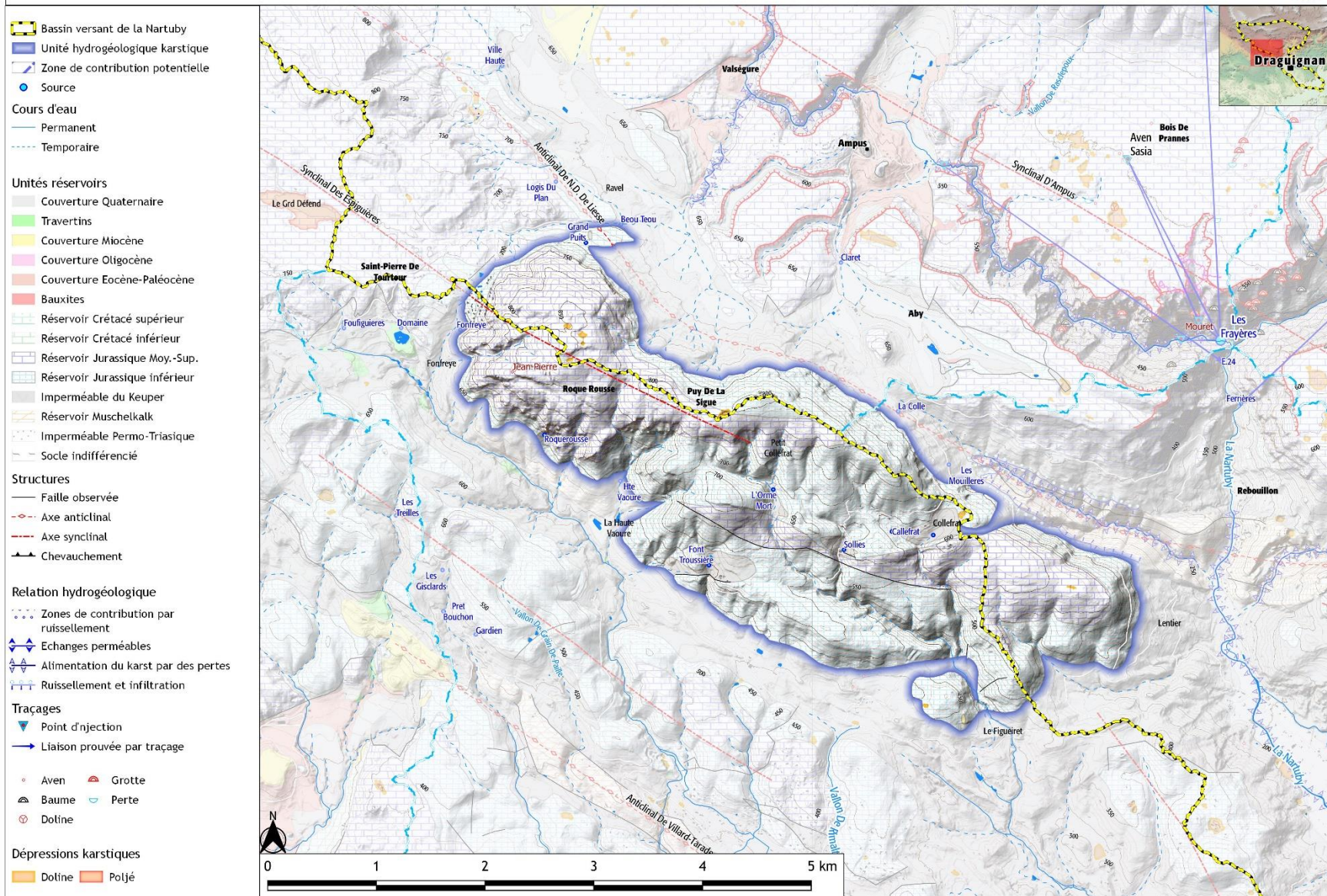


Figure 14 : Unité hydrogéologique karstique du Puy de la Sigüe.



### 3.5. Unités d'Ampus-Frayères

#### 3.5.1. Délimitation de l'unité

L'unité des Frayères se développe dans le secteur nord-est du BV de la Nartuby sur une superficie d'environ 55 km<sup>2</sup> comprise intégralement dans le bassin versant de la Nartuby (Figure 16).

Cette unité s'étend du nord au sud depuis la ligne de crête passant par l'Ubac de la Nouguière, la montagne de Cabrière puis de Beau Soleil. Au nord-est l'unité englobe le plan d'Hiesse dans la mesure où un traçage de 1973 dans l'aven qui draine le plan (ponor) serait ressorti après 21 jours à la source des Frayères (Tapoul et Cova, 2003). Cette zone nord appartient à la zone dites des Plans de Canjuers. Il est à noter que la zone de Vérignon aux Plans de Cluaye, Auveine voire du Château de Lagne est également susceptible de participer à l'alimentation de cette unité.

La limite ouest borde les unités d'Aups Fontigon et du Puy de la Sigüe, puis comprend les affleurements carbonatés du jurassique inférieur au nord de l'anticlinal de N.D. de Liesse. L'unité englobe également le massif de La Pale en rive gauche des gorges de Châteaudouble dans la mesure où celui-ci est très probablement drainé vers la Nartuby dans son défilé (en aval ?) des gorges (apport d'eau identifié dans les gorges (Arvois *et al.*, 1969 ; Rivet *et al.*, 2014)).

La limite Est est fixée de manière arbitraire au contact de l'unité de Bivosque mais en incluant le Plan d'Hiesse (cf. supra traçage).

#### 3.5.1. Géologie et formation aquifère

L'unité est principalement constituée de Jurassique inférieur à supérieur. Le plateau d'Ampus constitue une structure synclinale ouverte orientée N120 bordée par des anticlinaux faisant apparaître le Keuper qui constitue le mur du réservoir, au niveau de l'anticlinal du Verdos au nord et de Rebouillon au sud. Un accident orthogonal à la direction générale des plis recoupe le synclinal à l'Ouest de Châteaudouble (Figure 15). Le compartiment nord (Bois des Prannes) est surélevé par rapport au compartiment sud (Colle Pelade); ce rejet, très accentué au NE, s'annule au SW. La discontinuité introduite par cet accident a favorisé la traversée du synclinal par la Nartuby (Durozoy, 1972).

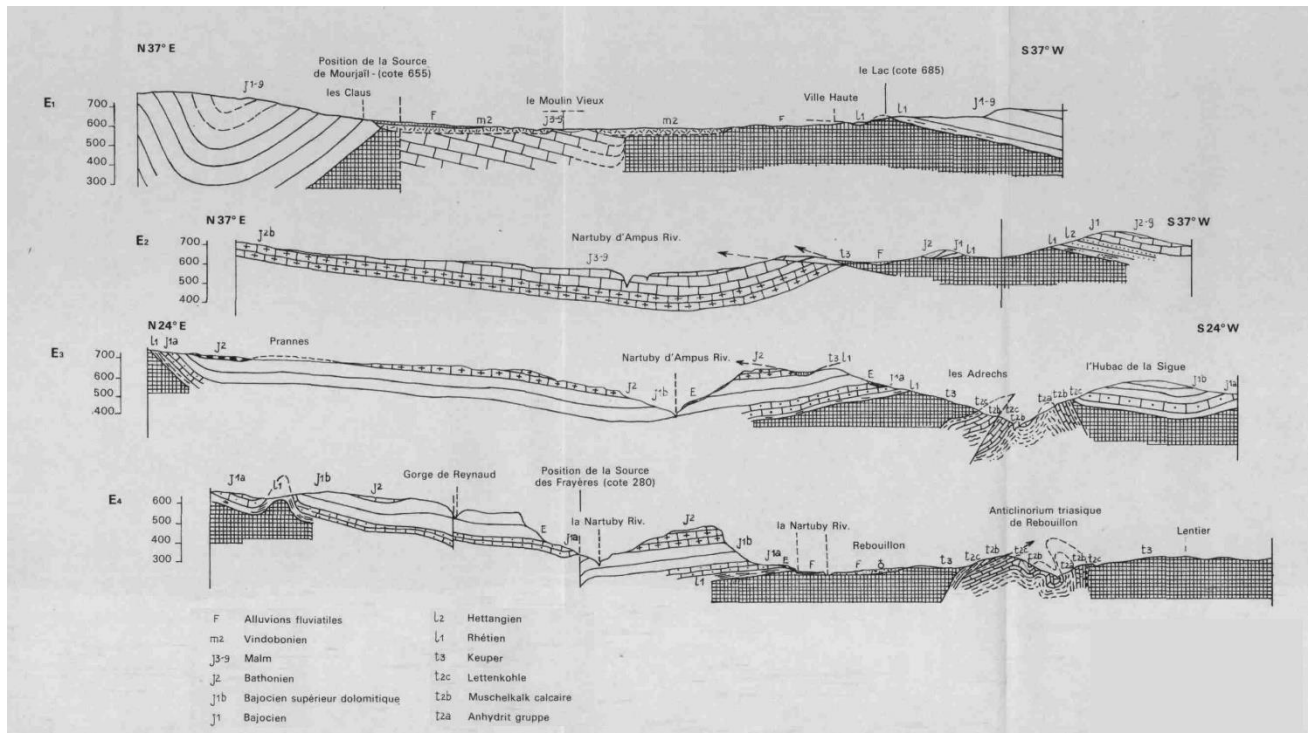


Figure 15 : Coupes géologiques de l'unité d'Ampus-Frayères (Arvois *et al.*, 1969).



Dans la partie nord et nord-ouest les terrains à l'affleurement sont principalement constitués de jurassique supérieur sub-tabulaires affectés par des plis légèrement chevauchants. Des failles d'orientations N80 et N 130-150 découpent le massif et forment des escarpements, qui au niveau d'Ampus, déterminent des fossés d'effondrement comblés par des sédiments crétacés à miocènes.

### 3.5.2. Hydrogéologie

#### 3.5.2.1. Exutoires

Excepté les petites sources amont (Abbé, Grenouillère, Fourniers, Treille, Turquet) qui sourdent dans les dépôts miocènes et quaternaires, la source des Frayères (260 m NGF) constitue le principal exutoire de cette unité, mais également le principal exutoire de la partie sud des plans de Canjuers. Le débit moyen annuel est d'environ 170 l/s (données DIREN de 1990 à 2002), avec un comportement karstique typique de faibles débits lors des étiages estivaux et des débits de crue de l'ordre du mètre cube par seconde.

Le faciès des eaux est assez voisin de ceux des eaux issues du massif dolomitique de l'unité d'Aups avec une plus faible teneur en  $Mg^{2+}$ . En 1955, des jaugeages ont mis en évidence une augmentation du débit de la Nartuby de 100 l/s entre les Frayères (dont la surverse ne débitait pas) et la Perrière ce qui traduit des arrivées d'eau occultes dans la Nartuby. Une augmentation de débit est également observée à l'entrée des gorges de la Nartuby, sous Châteaudouble ; qui provient de la réapparition de la Nartuby absorbée à l'amont par les alluvions de la plaine de Châteaudouble.

L'analyse des courbes de tarissement et l'évaluation des capacités d'emmagasinement avait montré, à la source des Frayères, une réaction rapide pouvant correspondre à la vidange des grosses fissures ou du réseau karstique, et une capacité d'emmagasinement de 1,8 Mm<sup>3</sup> (Arvois *et al.*, 1969)

A la suite de précipitations importantes, apparaît en rive droite de la Nartuby, au niveau du chemin d'accès au captage des Frayères, soit à 5 mètres environ au-dessus du lit, une émergence temporaire à gros débit. Cette source temporaire serait située 300 m à l'aval de la confluence entre les deux Nartuby, vers la cote 260 m NGF (Gouvernet et Bertrand, 1969 ; Cova, 1975). Son débit avait été jaugé à une centaine de litres par seconde en octobre 1968 (Gouvernet et Bertrand, 1969). Dans la suite cette source est dénommée "E.24" (référence de la cavité dans le Fichier des cavités du Var (CDS83, 2020)).

En aval et au nord de Rebouillon, des émergences semblent s'effectuer dans le cours de la Nartuby à une cote d'environ 240 m (Gouvernet et Bertrand, 1969). Ces émergences sont dénommées Les Ferrières dans la bibliographie.

La source de Riou Blanc sous Châteaudouble est très chargée en sulfates et provient probablement des terrains du Keuper (Durozoy, 1972).

#### 3.5.2.2. Aire d'alimentation et conditions de recharge

##### a. Aire d'alimentation

Plusieurs traçages ont permis de préciser l'impluvium de la source des Frayères qui s'étend vers le Nord jusqu'au pied de la Montagne de Beusoleil (Cova, 1974, 1975 ; Cova et Durozoy, 1980) :

- Le 9 mars 1973 : Injection de 15 kg de fluorescéine dans l'embut du Plan d'Hiesse avec une chasse d'eau de 12m<sup>3</sup>. Le traceur est restitué à la source des Frayères à partir du 30 mars (vitesse de 12 m/h) et durant tout le mois d'avril.
- Le 26 septembre 1973, puis le 5 novembre 1973 : Traçages à la fluorescéine des pertes de la Nartuby d'Ampus, totales 300 m à l'amont du captage. La restitution est retrouvée à la source des Frayères avec une vitesse de 10 m/h.
- Le 1er décembre 1973 : Dilution de 300 g de fluorescéine dans le 1er lac de l'aven du Mouret. Le traceur apparaît à la source des Frayères le 5 décembre (vitesse de 2 m/h).



### Unité hydrogéologique karstique d'Ampus-Frayères

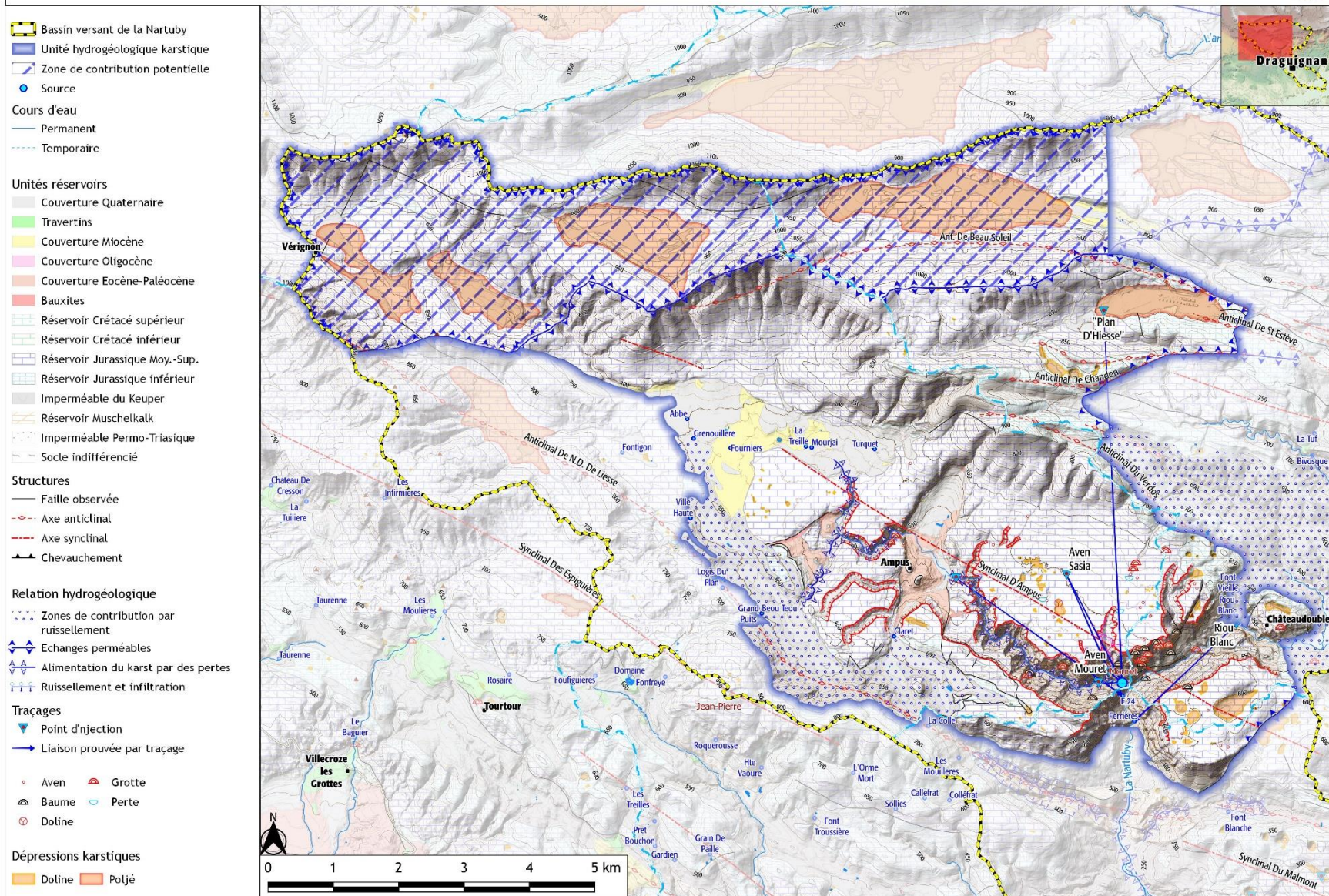


Figure 16 : Unité hydrogéologique karstique d'Ampus-Frayères.



- Le 20 mars 1975 : 1,5 kg de fluorescéine sont déversés dans le puits de l'aven Sasia, avec une chasse d'eau de 3,5 m<sup>3</sup>. Le traceur apparaît dans le 1<sup>er</sup> lac de l'aven Mouret 20 h plus tard (vitesse de 80 m/h), puis à la source des Frayères le 9 avril (vitesse inférieure à 1 m/h) ;
- En 1955 des jaugages et des essais de coloration ont été effectués entre Châteaudouble et Rebouillon (Bertrand, 1956 ; Gouvernet et Bertrand, 1969). Ces investigations auraient mis en évidence :
  - Des pertes de la Nartuby entre Châteaudouble et les Frayères; ces pertes paraissent alimenter le système de drainage karstique du compartiment sud.
  - Des arrivées d'eau importantes d'environ 100 l/s (incluant vraisemblablement la restitution des pertes amont) entre les Frayères et la Ferrière.
- Un traçage le 15 mars 1975 10h : injection de 1,5kg de fluorescéine en amont des gorges de la Nartuby d'Ampus et restitution avant le 17 mars 16 h au niveau de la source de trop plein E.24 en rive droite de la Nartuby en aval de la confluence avec la Nartuby d'Ampus. Ce traçage montrerait une relation rapide entre la Nartuby d'Ampus et cette source temporaire (max 54 h). Ces résultats avaient conduit à supposer que les pertes de la Nartuby d'Ampus s'effectuent au bénéfice du système des Frayères en rive gauche et au bénéfice de la source E.24 en rive droite (Cova, 1975). Le suivi ne s'étant effectué vraisemblablement qu'au niveau de la source E.24, il n'est pas possible d'affirmer que les pertes tracées ne participent qu'à l'alimentation de cette source et pas à l'alimentation de la source des Frayères. Il pourrait alors s'agir d'un aquifère interconnecté dont la source E24 pourrait correspondre à un paléo-exutoire abandonné au profit de la source des Frayères et réactivé en hautes eaux.

La détection de ces essais de traçages ayant été effectué par analyse de fluocapteurs, aucune donnée quantitative ne permet d'aller plus loin dans l'interprétation.

Structuralement, le bassin d'alimentation suspecté des Frayères était limité au nord par l'anticlinal de Chandon qui amène en position haute le Keuper. Cet anticlinal constituerait ainsi la ligne de partage des eaux souterraines entre les systèmes de drainage karstiques des Frayères et de Fontaine l'Evêque (Arvois *et al.*, 1969). Cependant, la coloration de 1973 aurait montré une relation entre le Plan d'Hiesse et les Frayères, mais également avec des venues d'eau dans la Nartuby d'Ampus. Cette coloration avait amené à étendre le bassin d'alimentation des Frayères plus au nord (Tapoul et Cova, 2003). Cet essai de traçage, sur lequel peu d'information sont disponibles soulève des incertitudes quant aux chemins de drainage avec notamment deux possibilités :

- Un drainage essentiellement souterrain par l'ouest de l'anticlinal de Chandon et du Verdos aboutissant à la sources des Frayères ;
- Un drainage mixte souterrain-aérien vers les sources de Bivosque ou de la Magdeleine, puis dans le cours de la Nartuby pour se réinfiltrer dans les gorges de Châteaudouble et aboutir aux Frayères. Cependant les mesures effectuées en 1955 ne semble pas en accord avec cette hypothèse puisqu'elles supposent une participation des pertes de la Nartuby au compartiment sud (Ferrières) et non au compartiment alimentant les Frayères.

#### b. Conditions de recharge

L'alimentation de l'unité hydrogéologique est principalement uniaxiale mais des fonctionnements de type binaire par ruissellement et perte sont identifiés :

- Au niveau de la structure endoréique du poljé du plan d'Hiesse drainée par un ponor induisant une alimentation par perte concentrée. Ce type de fonctionnement se produit également dans les poljés plus au nord (Plan de Cluaye, Auveine, Ranguis), mais la contribution à la source des Frayères reste incertaine ;
- Au niveau du canyon de la Nartuby d'Ampus où des pertes sont identifiées et ont fait l'objet de traçage ;



- Au niveau des canyons amonts du bassin versant de la Nartuby d'Ampus dans la zone de Valségure à l'ouest d'Ampus ;
- Probablement au niveau de la Nartuby dans les gorges de Châteaudouble dont les circulations souterraines rejoindraient les Ferrières.

Ce type d'alimentation binaire induit une forte vulnérabilité vis-à-vis de pollution dans la mesure où les eaux rejoignent de manière concentrée sans effet de dilution les circulations souterraines aboutissant aux sources. Il est à noter à ce sujet que les eaux de la STEP d'Ampus sont rejetées dans la Nartuby d'Ampus et que celles-ci rejoignent la source des Frayères. De la même manière les eaux de la STEP de Châteaudouble se déversent dans la Nartuby en amont des gorges de Châteaudouble où des pertes probables alimentent vraisemblablement les Ferrières et potentiellement les Frayères.

De manière indirecte, par résurgence, ruissellement et pertes, les unités situées en amont hydraulique de cette unité hydrogéologique sont susceptibles d'y contribuer. C'est notamment le cas de :

- L'unité d'Aups-Fontigon et de ses résurgences dans le bassin versant de la Nartuby d'Ampus ;
- Les unités de Bivosque, Magdeleine et La Doux dont les eaux alimentent la Nartuby puis sont susceptible de se perdre au niveau des gorges de Châteaudouble.

### 3.5.3. Karstification

#### 3.5.3.1. Indices karstiques de surfaces

Plusieurs paléo surfaces karstiques sont identifiées sur le plateau d'Ampus et le bois des Prannes. Ces paléo surfaces s'échelonnent entre 550 m et 680 m, s'emboîtent dans des reliefs alentours (le Palay, tête de Sérail, la Cabrière, les Serres qui culminent entre 900 et 1100 mètres d'altitude au nord) et s'emboîtent les unes dans les autres.

Deux générations principales de surfaces karstiques marquent largement le paysage sur le plateau d'Ampus et la colle Pélade. Ces surfaces sont aujourd'hui recoupées par les canyons de la Nartuby d'Ampus et de la Nartuby. La plus haute de ces surfaces correspond au plancher d'un vaste paléo-poljé marquant une phase importante de stabilité du niveau de base actuellement perché entre 600 et 700 m d'altitude (Figure 17). En contrebas de cette dernière on observe la surface emboîtée à 550-570 m correspondant à des niveaux d'emboîtement là aussi de type poljés.

Au moment de leur genèse, ces surfaces correspondaient aux points bas du paysage et constituaient des plaines karstiques proches du niveau de base. Actuellement ces surfaces sont portées en inversion de relief et sont incisées par les canyons de la Nartuby et de la Nartuby-d'Ampus. À partir de ces surfaces l'enfoncement du réseau hydrographique, en relation avec l'orogénèse alpine post miocène-moyen (Champion *et al.*, 2000), est responsable de l'isolement des massifs de part et d'autre des canyons de la Nartuby et de la Nartuby d'Ampus. L'origine de ces canyons est à relier à l'abaissement du niveau de base et l'enfoncement du réseau hydrographique provoqué par l'exhaussement tectonique, réputé post-miocène moyen comme l'attestent les dépôts fluvio-lacustres (Lemoine et Mennessier, 1963) sur les surfaces karstiques d'Ampus.

Il n'apparaît pas dans la morphologie de replats intermédiaires permettant de définir des stades d'enfoncement du réseau hydrographique postérieur, ce qui traduit que l'essentiel de l'incision entre 550 m et 280 m a été acquise durant cette phase.



Figure 17 : Surface karstique à 670 mètres sur le plateau d'Ampus. Vue vers le sud-ouest depuis le secteur de Mourjai-Prabuillon.

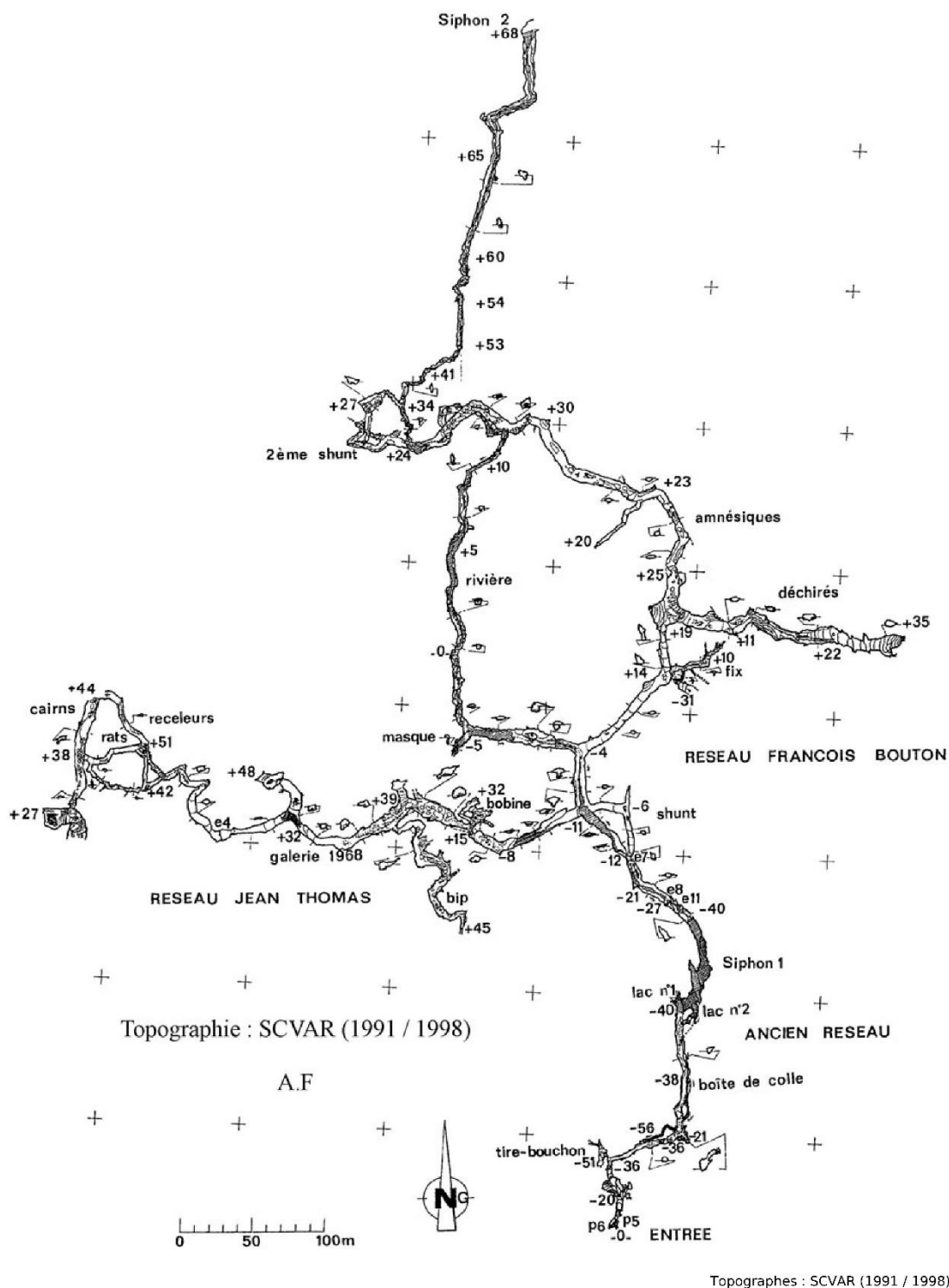
Sur ces paléo-surfaces, les phénomènes karstiques apparaissent fortement développés avec notamment de nombreuses dolines. Les formations superficielles semblent assez bien conservées au niveau du bois des Prannes ne laissant apparaître que le sommet des cryptolapiaz. Des structures de poljé apparaissent également sur l'unité avec notamment le poljé du plan d'Hiesse (785 m) au nord-est de l'unité. Cette dépression d'environ 2 km de long sur 350 m de large marque une topographie remarquablement plane entre les côtes 780 m à l'ouest et 790 m à l'est, avec une légère pente vers l'ouest. Ce poljé, sensiblement drainé vers l'ouest participe à l'alimentation de la source des Frayères (traçage de 1973).

### 3.5.3.2. Cavités, réseaux karstiques et minéralisations

Le Bois des Prannes qui domine directement la source des Frayères a fait l'objet de multiples prospections spéléologiques qui ont révélé de nombreuses cavités dont les dimensions sont généralement limitées (profondeurs inférieures à 30 m et développements inférieurs à 50 m).

Seul l'aven Mouret présente un développement important de 7,5 km de galeries sur un dénivelé de 130 m (Figure 18). Il s'ouvre 250 m au Nord-Ouest de la source des Frayères, vers la cote 360 m. Cette cavité est parcourue par un ruisseau souterrain permanent dont le débit d'étiage de quelques litres par seconde pourrait atteindre 100 à 150 l/s lors des crues (SpéléoClub du Var, 1998). Cet écoulement s'effectue sensiblement du Nord au Sud entre 440 m et 300 m, et participe à l'alimentation de la source des Frayères.

Les galeries se développent à la base de la série calcaire au-dessus des dolomies où l'eau finit cependant par pénétrer dans un réseau de fissures ce qui a été mis en évidence par un traçage dans le 1er lac de l'aven du Mouret et qui a été détecté aux Frayères (Durozoy, 1972). La coloration de 1973 dans le plan d'Hiesse a également mis en évidence que le réseau du Mouret était déconnecté de circulation plus profondes ayant véhiculé le colorant. Le réseau de l'aven du Mouret constituerait ainsi un paléo-drain perché aujourd'hui encore actif, mais partiellement déconnecté des circulations plus profondes.



Topographies : SCVAR (1991 / 1998)

Figure 18 : topographie en plan de l'aven du Mouret (CDS83, 2020).

Un autre type d'indice karstique est constitué par les minéralisations de fer fortement représentées dans l'unité ainsi que dans les unités voisines de Bivosque et La Doux (Figure 19). Ces gisements apparaissent sous la forme de dépôts résiduels de minerai de fer d'altération piégés dans des gîtes paléo-karstiques. Ces gîtes du minerai témoignent d'une altération de la couverture des marnes pyriteuses et glauconieuses du Crétacé inférieur, aujourd'hui en partie disparue, dont la goethite a été stockée dans des cavités karstiques, affectées ensuite par la tectonique du Miocène supérieur (Rousset, 1973). Ces minerais de fer karstiques traduisent une pré structuration des réservoirs karstiques sous les paléo-surfaces notamment celle à 650-700 m, avec



une concentration du fer dans les point bas (front de crypto-altération ou fond de crypto-doline) traduisant l'activité mécanique joué par le soutirage karstique. Ces discontinuités sont aujourd'hui susceptibles d'être réactivées par les infiltrations d'eaux météoriques. Certains de ces gisements ont fait l'objet d'exploitation conséquente comme à la mine de Beausoleil ou aux Genestières.

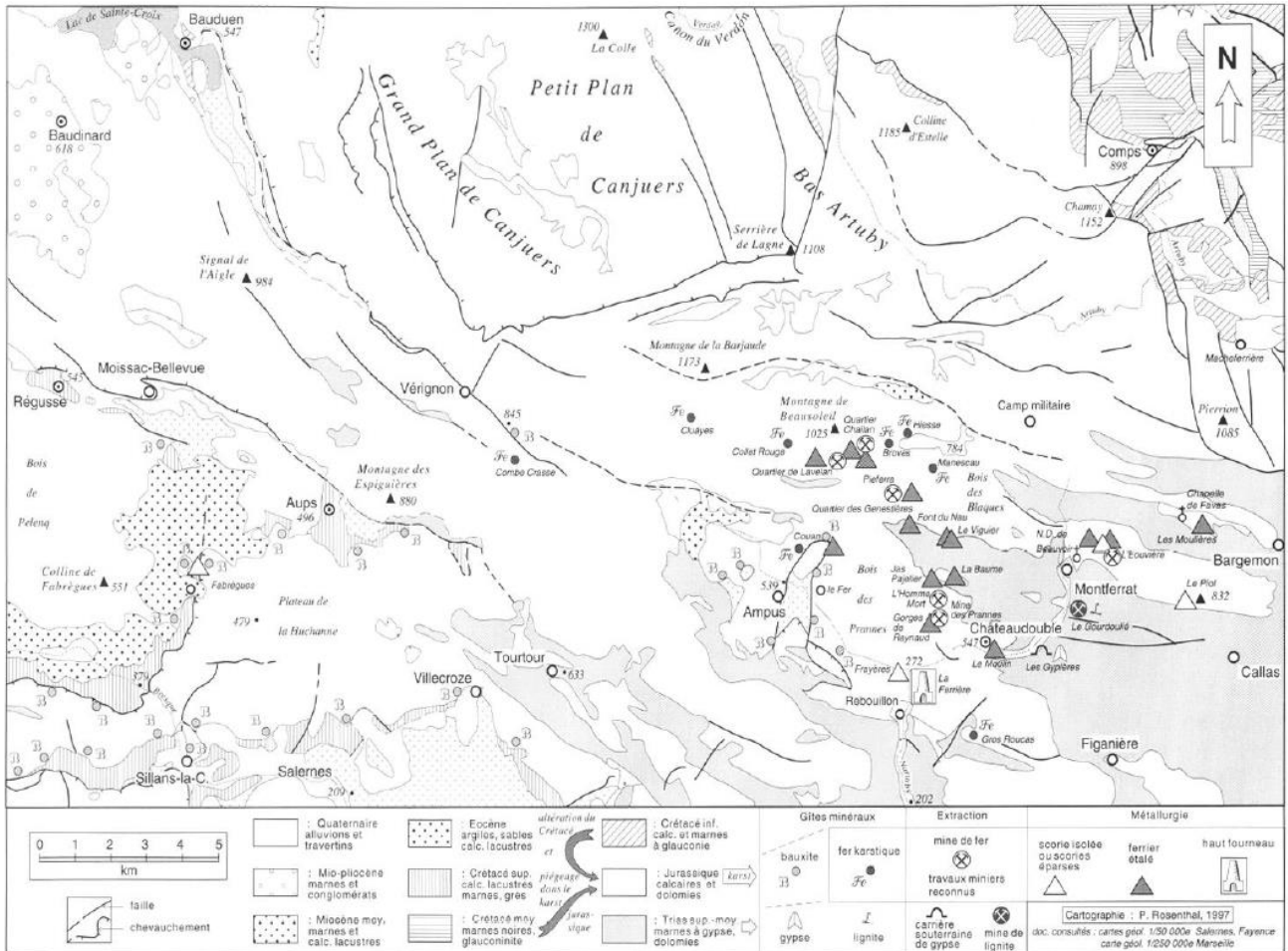


Figure 19 : Cartes de localisation de sites de mines et de métallurgie du fer en Provence et dans les Alpes du Sud (Morin, 1998).



Figure 20 : Couverture crétacée altérée en place (formation rougeâtre) recouvrant les calcaires du jurassique au niveau du bassin d'effondrement d'Ampus (Chemin du Fer)

### 3.5.3.3. Système(s) de drainage karstiques

Trois systèmes de drainage karstiques apparaissent au sein de l'unité hydrogéologique d'Ampus Frayères :

- Un système de drainage karstique principal dont l'exutoire est constitué par les Frayères. Le drainage de ce système semble assuré par deux compartiments interconnectés : un compartiment supérieur dans les calcaires alimenté par la surface du bois des Prannes (traçage aven Sasia), et un compartiment inférieur dans les faciès dolomitique alimenté par des apports d'eau pouvant s'étendre plus au nord (traçage du plan d'Hiesse).
- Un système de drainage probable au sud de l'accident de Châteaudouble et sollicitant le compartiment effondré du massif de la Pale en rive gauche de la Nartuby. Ce système trouverait son exutoire au niveau des Ferrières ;
- Un système de drainage probable en rive droite de la Nartuby et de la Nartuby d'Ampus sollicitant le massif de l'Englugi et d'Aby, et résurgent dans le cours de la Nartuby.

Une zone d'incertitude sur le devenir des eaux souterraines subsiste dans la partie nord de l'unité (Figure 16). Dans cette zone les eaux peuvent soit (1) contribuer à l'alimentation des Frayères soit (2) alimenter la source de Fontaine l'Evêque dans l'unité de Canjuers. La source des Frayères se situant vers 280 m NGF et la source de Fontaine l'Evêque se situant vers 400 m NGF, il apparaît que le gradient soit en faveur d'une alimentation des Frayères. Cependant, l'antériorité de réseaux hydrographiques en direction du bassin d'avant pays de Valensole structurés depuis l'Oligo-Miocène ainsi que l'antériorité probable du Verdon suggère que les écoulements souterrains se soient initialement structurés depuis les Plans de Canjuers en direction du Verdon et des sources de Fontaine l'Evêque et Garruby. Si tel est le cas, il est probable que dans le fonctionnement actuel, le système des Frayères soit conquérant sur celui de Fontaine l'Evêque, notamment par réutilisation des structures paléokarstiques. Cela signifie que la zone d'incertitude du devenir des eaux souterraines peut être sollicitée à la fois par Les Frayères et par Fontaine l'Evêque.

## 3.6. Unités de Bivosque

### 3.6.1. Délimitation de l'unité

L'unité de Bivosque se développe sur 5,7 km<sup>2</sup> au nord-est de l'unité d'Ampus-Frayère et au nord du vallon du Verdos (Figure 21). Sa bordure sud, est et nord-est est circonscrite aux affleurements de jurassique reposant sur les termes du Keuper imperméable. À l'est, l'unité est limitée par l'incision de la Nartuby au nord de Montferrat. La limite nord et nord-ouest est placée de manière arbitraire sur la prolongation vers l'est de l'anticlinal de Chandon.

### 3.6.2. Géologie et formation aquifère

L'unité est principalement constituée de Jurassique inférieur à supérieur. La structure correspond à un synclinal (synclinal des Blaques) d'orientation N120 bordé par deux anticlinaux au nord et au sud (anticlinal de Verdos) faisant apparaître le Keuper qui constitue le mur du réservoir. Au niveau du vallon de Bivosque, la structure synclinale est affectée par un accident subparallèle N120 correspondant sensiblement à une structure chevauchante vers le sud avec un plissement local de la série en anticlinal à la faveur duquel le Trias affleure au niveau de la source du Tuf.

### 3.6.3. Hydrogéologie

#### 3.6.3.1. Exutoires

La source du Tuf draine, au moins en partie, le Bois des Blaques. La position de cet exutoire est à relier à la structure géologique faisant apparaître le mur de Keuper. Le débit de la source du Tuf, abondant au printemps (environ 30 l/s début juin 69), décroît ensuite rapidement. La moyenne est certainement inférieure à 10 l/s (Arvois *et al.*, 1969).

La bande liasique au Sud de cette source nourrit au point bas, dans les gorges du ruisseau de Bivosque, en rive gauche, la source de Bivosque avec un débit de l'ordre de quelques litres par seconde (Arvois *et al.*, 1969). Les eaux sont bicarbonatées calciques peu magnésiennes avec une concentration générale plus élevée que celle de la Magdeleine.

#### 3.6.3.2. Aire d'alimentation et conditions de recharge

La recharge de cette unité est essentiellement unaire avec des contributions possibles d'infiltration concentrée dans le vallon de Bivosque en amont de la source. Des échanges avec les unités d'Ampus-Frayères et de la Magdeleine peuvent également se produire lorsque celles-ci sont en contact au niveau de compartiment aquifères jurassiques.

### 3.6.4. Karstification

#### 3.6.4.1. Indices karstiques de surfaces

Les indices karstiques de surface dans cette unité sont principalement constitués par des lambeaux résiduels de surfaces d'aplanissement karstique. Deux générations de paléo-surfaces apparaissent avec :

- Une surface à 840 m et qui forme le sommet du Bois des Blaques. Cette surface se retrouve également en rive gauche du vallon de la Magdeleine au niveau du Petit Bois à l'est de l'ancien village de Canjuers ;
- Une surface à 750 m dont il subsiste quelques lambeau (la plaine du Loup, La Colle) et qui se prolonge en rive gauche de la Nartuby sur l'Eouvière. Cette surface se retrouve également sur l'unité d'Aups-Fontigon.

Ces deux paléo-surfaces marquent la position de niveau de base successifs. Elles sont aujourd'hui démantelées suite à la baisse régionale du niveau de base et l'incision des vallons principalement dans les termes du Muschelkalk marneux.



### Unités hydrogéologiques karstiques de la Magdeleine - Bivosque - Favas - Coste Rousse

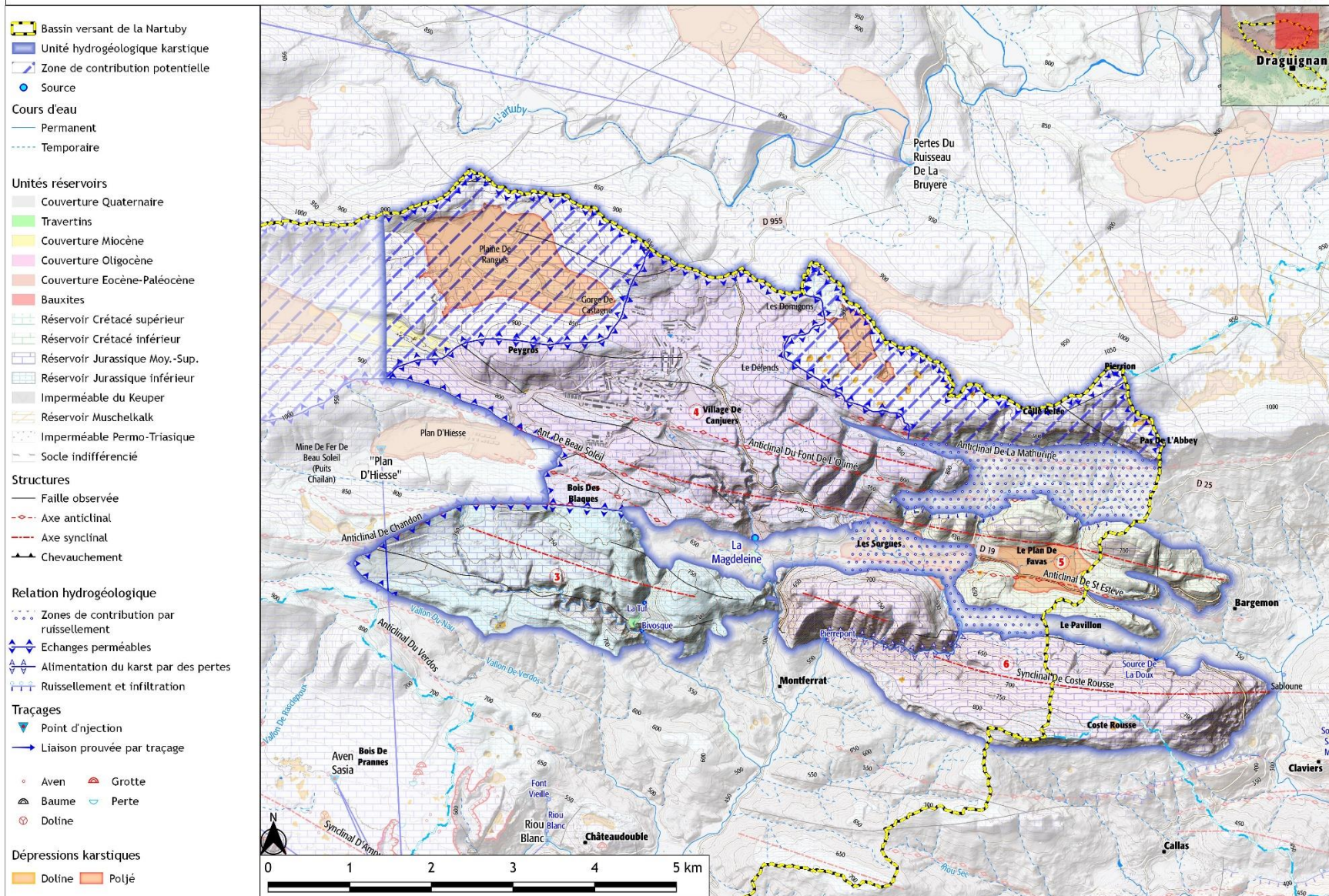


Figure 21 : Unités hydrogéologiques karstiques de Bivosque (3), la Magdeleine (4), Favas (5) et Coste Rousse (6).

#### 3.6.4.2. Cavités, réseaux karstiques et minéralisations

Aucune cavités ou réseau karstique n'est connu dans cette unité.

De la même manière que dans l'unité d'Ampus-Frayères, des minéralisations de fer apparaissent sur cette unité au niveau des surface karstiques notamment au niveau de Manescau et de Pieferra dans l'unité voisine d'Ampus-Frayères (Figure 19). Ici aussi ces gites de minerai témoignent d'une altération de la couverture une pré structuration des réservoirs karstiques.

#### 3.6.4.3. Système(s) de drainage karstique

Deux systèmes de drainage karstique sollicitent l'unité avec :

- Le système de la source du Tuf sollicitant les affleurements carbonatés au nord de l'accident de Bivosque ;
- Le système de la source de Bivosque sollicitant majoritairement les affleurements de la bande liasique au sud de l'accident de Bivosque. Ce dernier système en contrebas est susceptible d'être alimenté par le compartiment supérieur là où les unités aquifères sont en contact.



### 3.7. Unités de Magdeleine

#### 3.7.1. Délimitation de l'unité

L'unité de la Magdeleine est située au nord du bassin versant de la Nartuby sur une superficie de 11,9 km<sup>2</sup> (Figure 21). La limite sud est marquée par la dépression est-ouest passant par la Magdeleine. La limite nord borde les Plans de Canjuers en englobant une partie du terrain militaire. La limite nord englobe le bassin versant topographique de la Nartuby (secteur entre la gorge de Castagne-Le Défens-Les Domignons) dans lequel les eaux de ruissellement contribuent à l'alimentation de la Nartuby et les eaux d'infiltration alimentent potentiellement la Magdeleine. A l'est et à l'ouest l'unité est en contact avec les unités de Favas et d'Ampus-Frayères.

#### 3.7.1. Géologie et formation aquifère

Le réservoir de la source de la Madeleine se développe dans les formations calcaires et dolomitiques qui surmontent les séries argileuses du Trias supérieur (Keuper) formant le mur du réservoir. Le réservoir sollicité va du Rhétien (Trias Terminal) au jurassique supérieur dolomitique. La structure anticlinale du Keuper de St Estève limite l'impluvium de la source de la Magdeleine vers le SE à la ligne St Estève -Plan d'Hiesse, en drainant probablement le revers nord du Bois des Blaques. Les terrains aquifères forment une succession d'anticlinaux et synclinaux (5 Salles, Mathurine) chevauchant vers le sud. Le vallon de la Madeleine est déterminé par un accident décrochant dextre d'orientation N160° selon lequel sont drainées les eaux de la source (Campredon, 2015).

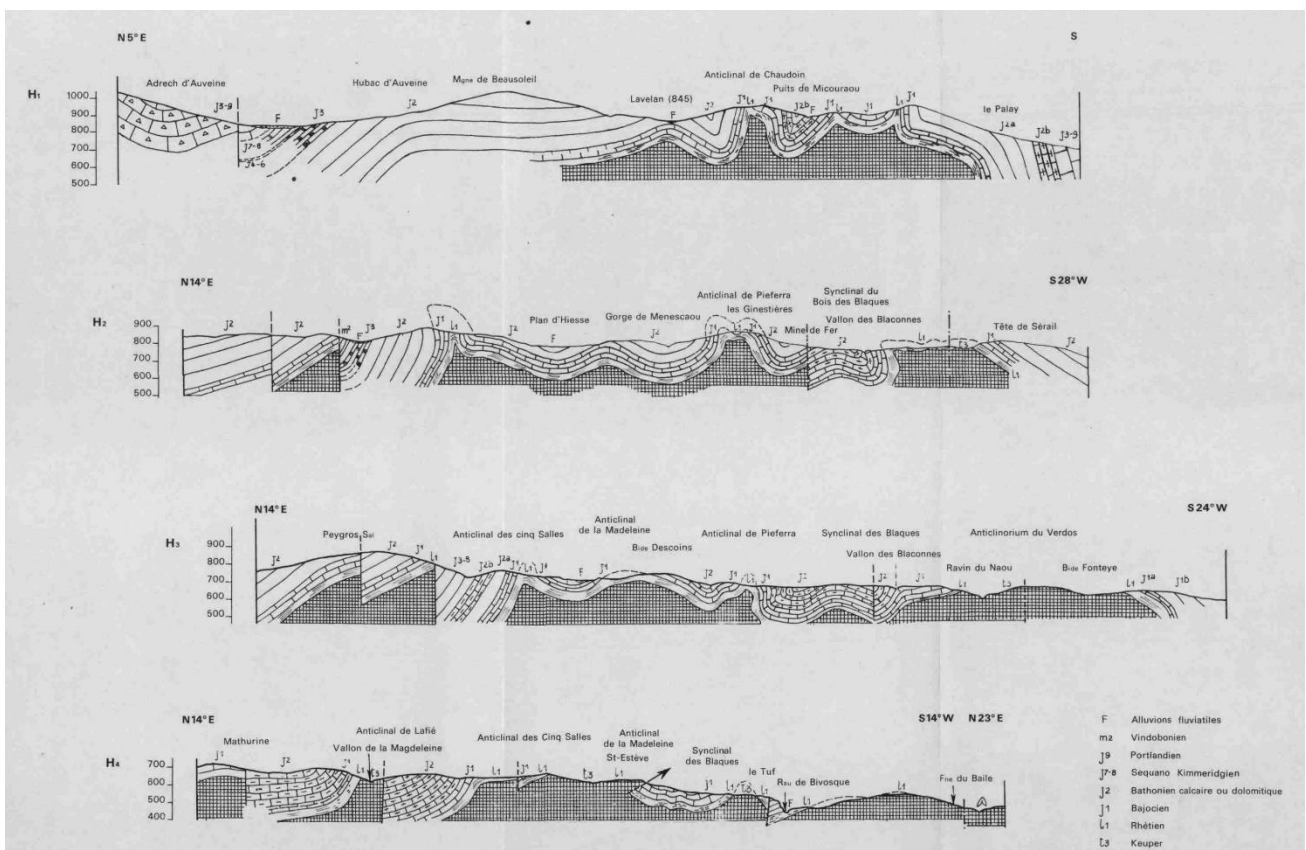


Figure 22 : Coupes géologiques du secteur nord de l'unité d'Ampus Frayères et des unités de Bivosque-Magdeleine (Arvois et al., 1969).



### 3.7.2. Hydrogéologie

#### 3.7.2.1. Exutoires

La source de la Madeleine sourd à la bordure méridionale du Plan de Canjuers au contact des formations imperméables du Keuper qui forment le cœur de la dépression anticlinale de la Magdeleine. Un forage est implanté un peu plus au nord. Ces deux ouvrages sont actuellement exploités pour l'alimentation d'une partie des communes du Syndicat (Montferrat, Châteaudouble, Figanières et Callas).

A l'aval de la source, le réservoir s'écoule par débordement dans l'axe du vallon de La Magdeleine où les eaux circulent dans le manteau de colluvions d'où elles jaillissent à la faveur d'une rupture de pente (Campredon, 2015).

Les eaux sont bicarbonatée calcique et magnésienne avec une conductivité de l'ordre de 475 $\mu$ S/cm, caractéristique d'une eau faiblement minéralisée (Campredon, 2015) ce qui suggère une faible interaction avec les séries marno-gypseuse sous-jacente. Cette minéralisation associée aux concentrations en magnésium (élément difficile à mettre en solution) et aux problèmes liés aux pics de turbidité, laissent sous-entendre des temps de séjour de l'eau plutôt courts et une vulnérabilité intrinsèque non négligeable de la ressource (Campredon, 2015).

#### 3.7.2.2. Aire d'alimentation et conditions de recharge

La recharge de cette unité est essentiellement uniaxe avec des contributions possibles d'infiltrations concentrées au droit du vallon de la haute Nartuby et du vallon de la Magdeleine. À ce titre, l'évacuation des eaux usées du camp militaire de Canjuers se fait en aval des captages de la Magdeleine par une conduite évacuant ces eaux en dehors des périmètres de protection.

Une incertitude importante sur le devenir des eaux souterraines existe au nord de cette unité notamment en raison de la proximité du traçage de l'Artuby au sud de Comps ayant été détecté à Fontaine l'Evêque. Les eaux de ce secteur se dirigeraient soit en direction de la Magdeleine, soit en direction de l'Artuby et de Fontaine l'Evêque.

Des échanges avec les unités d'Ampus-Frayères et Bivosque peuvent avoir lieu notamment dans la zone est du Plan d'Hiesse et le Bois des Blaque.

### 3.7.3. Karstification

#### 3.7.3.1. Indices karstiques de surfaces

Les indices karstiques de surface dans cette unité sont principalement constitués par des lambeaux résiduels de la paléo-surface à 850 m. Directement en contre-haut de cette surface apparaît une paléo-surface à 900-940 m (Les Montaux). Cette dernière est affectée par de nombreux indices karstiques de surface tels que des champs de dolines et des poljés. Elle constitue la plus haute surface identifiée sur le secteur d'étude.

Le relief du Peygros correspond à une butte karstique résiduelle dont le sommet se raccorde à la surface à 940 m.

#### 3.7.3.2. Cavités et réseaux karstiques

Aucune cavité ou réseau karstique significatif n'est connu dans cette unité.

Il n'apparaît pas de minéralisation de fer dans cette unité, contrairement aux unités de d'Ampus Frayère et de Bivosque. Ce trait suggère soit l'absence de dépôts à l'origine de ces minéralisations, soit le démantèlement par érosion ou soutirage karstique des minéralisations.

#### 3.7.3.3. Système(s) de drainage karstiques

L'unité apparaît être uniquement drainée par la source de la Magdeleine. Ce système de drainage correspond sensiblement à une reculée karstique dont la mise en place est en relation avec l'incision du vallon de la



Magdeleine. Cette incision crée aujourd'hui un point bas dans le réservoir jurassique à environ de 600 m d'altitude qui se retrouve barré en amont des affleurements de Keuper.

Dans la partie nord, dans le secteur entre la gorge de Castagne-Le Défens-Les Domignons, des incertitudes subsistent quant au devenir des eaux souterraines notamment en raison de la proximité de l'Artuby et du traçage de celui-ci positif à Fontaine l'Evêque. Les eaux souterraines peuvent en effet rejoindre soit le système de la Magdeleine, soit transiter vers le système de Fontaine l'Evêque.

### **3.8. Unités de Favas**

#### **3.8.1. Délimitation de l'unité**

L'unité de Favas se situe au nord-est de du bassin versant de la Nartuby (Figure 21) sur une superficie de 3,5 km<sup>2</sup>. Elle s'étend d'ouest en est depuis les Sorgues jusqu'à Bargemon.

#### **3.8.2. Géologie et formation aquifère**

L'unité est essentiellement composée des terrains aquifères du Jurassique inférieur. La structure forme un synclinal s'étendant de Bargemon à la Magdeleine relayé par un anticlinal au sud (anticlinal de St Estève).

#### **3.8.3. Hydrogéologie**

##### **3.8.3.1. Exutoires**

Il n'y a pas d'exutoire majeur connu dans cette unité. Plusieurs petites sources semblent alimenter le village de Bargemon. La ressource est captée au niveau du forage AEP de St-Roch-Le Stade.

##### **3.8.3.2. Aire d'alimentation et conditions de recharge**

L'alimentation de l'unité est de type binaire avec :

- Une alimentation par infiltration directe sur les terrains carbonatés ;
- Une alimentation par ruissellement sur les termes du Keuper dans le versant sud de la Colle Pelée et infiltration dans les carbonates aquifères.

#### **3.8.4. Karstification**

##### **3.8.4.1. Indices karstiques de surfaces**

Les reliefs de l'unité sont marqués par la présence de buttes (dont le Grapou au sud) qui bordent une dépression centrale ; le Plan de Favas. Les reliefs au nord de la dépression correspondent à des buttes karstiques résiduelles, tandis que le plan de Favas en contrebas, à une structure de paléo-poljé se prolongeant vers l'ouest au niveau des Sorgues. Ces poljés, sont aujourd'hui drainé en surface par le Baubron, affluent rive gauche de la Nartuby. Cependant, avant leur drainage de surface par le Baubron, ces structures étaient drainées par déversement latéral par les massifs situés au sud (l'Eouvière) et à l'est par la retombée de l'aquifère du jurassique inférieur vers Bargemon. Il en résulte que des structures de drainage souterrains se soient structurées en profondeur pour drainer les eaux vers le sud et vers l'est.

##### **3.8.4.2. Cavités et réseaux karstiques**

Aucune cavités ou réseau karstique au développement significatif n'est connu dans cette unité.

##### **3.8.4.3. Système(s) de drainage karstique**

Les indices de surface et la multiplicité des points d'eau dans Bargemon suggère que les écoulements souterrains se font en direction de l'est, vers Bargemon, au niveau du point bas des affleurements carbonatés au contact du Keuper vers 500 m d'altitude.



### 3.9. Unités de Coste-Rousse

#### 3.9.1. Délimitation de l'unité

L'unité de Coste-Rousse se situe en rive gauche de la haute Nartuby, à l'est de Montferrat jusqu'au sud de Bargemon sur une superficie de 7 km<sup>2</sup> (Figure 21). Cette unité trouve son prolongement vers l'est en dehors des limites du BV de la Nartuby. L'unité est entaillée dans le secteur ouest par le cours d'eau du Beudron trouvant sa source au niveau des Sorgues.

#### 3.9.2. Géologie et formation aquifère

L'unité constitue un synclinal (synclinal de Coste Rouse) de jurassique reposant sur les marnes du Keuper. Dans la partie est, ce synclinal est entaillé par le par le Riou de Clavier et se poursuit en rive gauche de celui-ci sur le Bois du Puy. Le réservoir jurassique repose sur les terrains marno-gypseux du Keuper qui forment le mur du réservoir.

#### 3.9.3. Hydrogéologie

##### 3.9.3.1. Exutoires

L'unité est drainée par deux exutoires de déversement drainant la cuvette synclinale :

- A l'ouest, dans le BV de la Nartuby, la source de Pierrepont (ou source du Ravin de Beudron) ;
- À l'est, dans le BV de l'Endre, la source de La Doux.

Ces deux sources se situent à des altitudes sensiblement identiques vers 480 m NGF.

L'eau de ces sources est bicarbonatée calcique peu magnésienne mais peut être assez sulfatée (Arvois *et al.*, 1969) ce qui traduirait une influence du Keuper sous-jacent. La source de La Doux est captée pour l'AEP des communes de Callas, Claviers, Bargemon et aurait un débit moyen d'environ 85 l/s (jaugeages de 1968-1969) (Arvois *et al.*, 1969).

La source de Pierrepont, présenterait un débit moyen d'environ 100 l/s (Arvois *et al.*, 1969). En aval de cette source, le cours du Beudron présente un fort encroutement de travertin limitant les phénomènes de ré-infiltration dans les alluvions quaternaires (comm. SMA) à l'inverse de ce qui se produit sur le cours de la Nartuby entre Montferrat et les gorges de Châteaudouble.

Hydrogéologiquement, des émergences devraient exister à l'extrémité orientale dans le Riou de Claviers vers le lieudit La Sablone, point topographiquement le plus bas des affleurements carbonatés de l'unité. Mais ces affleurements sont probablement des masses éboulées sur le Keuper (Arvois *et al.*, 1969), sans connexions hydrogéologiques avec l'unité.

##### 3.9.3.2. Aire d'alimentation et conditions de recharge

Compte tenu de la superficie de l'impluvium et du débit moyen des deux principales sources, Arvois *et al.* (1969) faisaient intervenir une infiltration dans le massif calcaire d'une partie du ruissellement provenant du bassin versant situé à l'amont afin d'expliquer les bilans qui nécessitaient de faire intervenir des coefficients d'infiltration élevés de l'ordre de 50%. Les morphologies de surface vont dans ce sens car elles suggèrent la présence d'un paléo-poljé en amont de l'unité (Les Sorgues, Le Plan de Favas). Ces morphologies traduisent en effet la structuration de bassins endoréiques en amont de l'unité et l'alimentation du réservoir au sud par des déversements latéraux rejoignant les sources au sud et à l'est en position de karst barré par le mur de Keuper.

L'alimentation de cette unité est donc vraisemblablement binaire avec des infiltrations diffuses sur les reliefs carbonatés et des infiltrations concentrées dans l'axe des vallons entaillant les carbonates, le long du Beudron et potentiellement le long du vallon des Tuilière en amont de la source de la Doux.

### 3.9.4. Karstification

#### 3.9.4.1. Indices karstiques de surfaces

Les indices karstiques reposent essentiellement sur un lambeau de paléo-surface karstique démantelée à 720-740 m sur le massif de l'Eouvière en rive droite du Beaudron et sur la présence de paléo-poljés au nord de l'unité. Ces paléo-poljés; les Sorgues et le Plan de Favas, s'établissent dans les termes du Keuper à l'ouest (Les Sorgues) et dans le réservoir jurassique inférieur à l'est (Plan de Favas dans l'unité de Favas). Ils traduisent la structuration de zones endoréiques au contact des formations carbonatés dans lesquelles se déversaient les eaux de ruissellement. La source de Pierrepont correspond ici à une reculée karstique au contact aquifère-imperméable à partir de laquelle s'est effectué une capture du Beaudron.

#### 3.9.4.2. Cavités et réseaux karstiques

Aucune cavités ou réseau karstique au développement significatif n'est connu dans cette unité.

#### 3.9.4.3. Système(s) de drainage karstique

L'unité forme une cuvette synclinale reposant sur l'imperméable du Keuper. Elle est drainée par deux exutoires de débordement sensiblement à la même côte qui sourdent au contact de l'imperméable avec à l'ouest la source de Pierrepont et à l'est la source de La Doux. Ces deux systèmes de drainage sont à mettre en relation avec l'incision régressive des vallées de la Nartuby et du Riou de Clavier qui entaillent les séries aquifères plissées au fur et à mesure du recul des versants. Cette dynamique marque également la structuration des paléo-poljés perchés des Sorgues et de Favas en amont de l'unité et dont le cours actuel du Beaudron est probablement imprimé sur les chemins de drainage souterrains hérités.

### 3.10. Unité du Malmont

#### 3.10.1. Délimitation de l'unité

L'unité hydrogéologique karstique du Malmont (Figure 23) est accolée au Nord de la ville de Draguignan (Var, 83) et s'étend sur 18 km<sup>2</sup> depuis le quartier des Plaines à l'est de Draguignan à la confluence du vallon de la Tunis et de la vallée de la Nartuby à l'ouest. Un diverticule NE s'étendant sur le massif de la Colle Pélade est également rattaché à cette unité. Le massif surplombe la ville de Draguignan au sud et la vallée de la Nartuby à une altitude atteignant 550 m d'altitude. Il est entaillé par plusieurs vallons avec

- Sur le versant sud : le vallon de la Riaille ou le vallon des Tours, affluent de la Nartuby dans la plaine au pied du massif.
- Sur le versant Nord :
  - Le ruisseau de Rioufreid, affluent de l'Endre ;
  - Les vallons des Gattières et des Corneirèdes, affluents du ruisseau de Rioufreid ;
  - Le vallon de la Tunis affluent rive droite de la Nartuby en aval de Rebouillon.

#### 3.10.2. Géologie et formation aquifère

Le massif du Malmont appartient à un faisceau de plis de direction WNW-ESE (Arvois *et al.*, 1969) plus ou moins écaillés qui surplombe "l'avant pays triasique". Les affleurements de marnes gypseuses et de calcaires triasiques inférieur supportent les assises carbonatées jurassiques profondément entaillées par les réseaux hydrographiques de la Nartuby, de la Nartuby d'Ampus et de l'Endre (Figure 24).

La série carbonatée Trias terminal (Rhétien)-Jurassique forme globalement une structure sub-tabulaire à synclinale N120 reposant sur les marnes du Keuper constituant le mur du réservoir (Figure 24). Au sud-est du Malmont, la faille NE-SO de la Tuilière semble favoriser la remontée du Trias à la faveur de l'effondrement du bloc au sud-est (Les Plaines).

Le vallon de la Tunis creusé principalement dans le Trias témoigne de la prolongation d'est en ouest de l'anticlinal de N.D. de Liesse jusqu'à Figanières. Cet anticlinal individualise le compartiment du Malmont au sud du massif de la colle Pelade au Nord. Ce dernier massif présente une structure synclinale se prolongeant vers le sud-est en direction de Figanières (Mennessier, 1959). Cette structure serait favorable à l'explication de la position des sources présentes à Figanières, au point bas de la structure aquifère en contact avec le Trias.



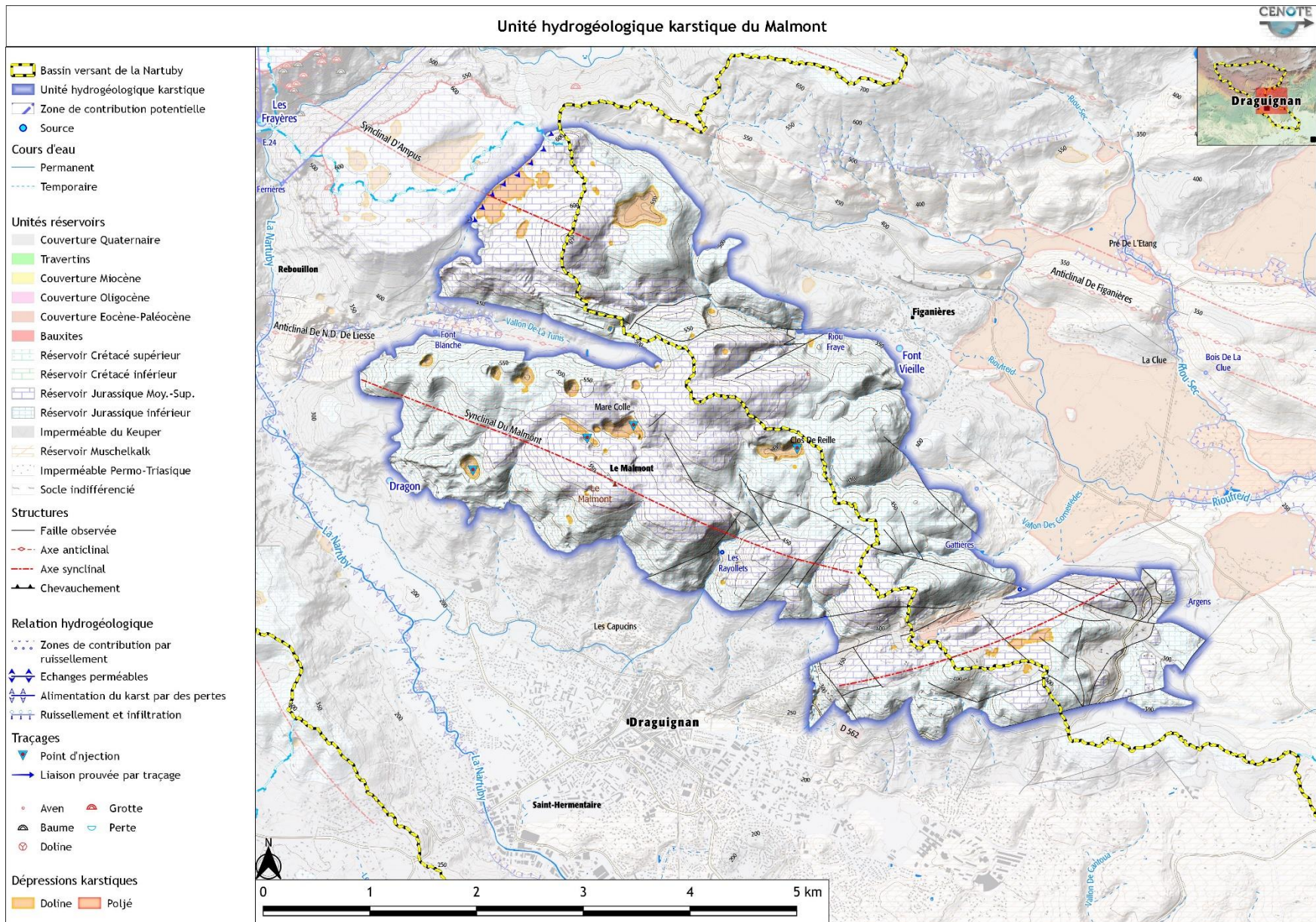
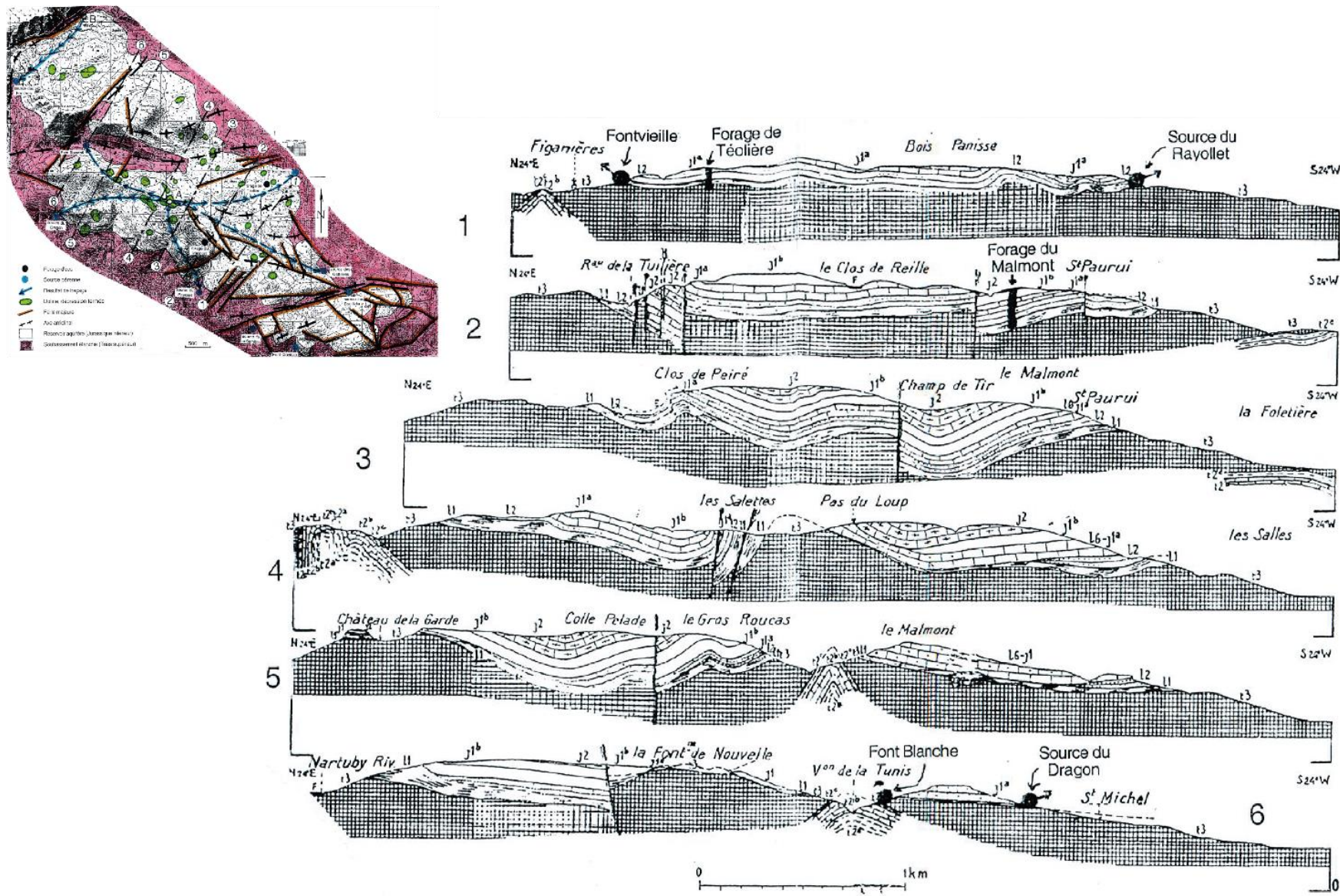


Figure 23 : Unité hydrogéologique karstique du Malmont.





D'après G. Mennessier, 1959

Figure 24 : Coupes géologique du massif du Malmont, d'après Mennessier (1959) modifié dans Mangan (2003).

### 3.10.3. Hydrogéologie

#### 3.10.3.1. Exutoires

L'unité hydrogéologique du Malmont alimente plusieurs sources de débordement en périphérie du massif. Sur le versant sud la source (et le forage) du Dragon ( $Q_{\text{moy}} \approx 17 \text{ L/s}$ ) et le forage des Rayollets sont exploités pour l'AEP de Draguignan. Au nord, la source de Fontvieille et le forage de Téolière alimentent en eau potable la commune de Figanières et le SIVOM de la région de Callas. Plusieurs autres sources sourdent dans les versants au contact entre les séries aquifères du Trias terminal-Jurassique inférieur et la série marnogypseuse du Keuper dont Font Blanche dans le vallon de la Tunis et la Gattière au nord-est dans le vallon du même nom. Lors de périodes de précipitations intenses, des sorties d'eau apparaissent à la faveur de ruptures de pentes dans les versants et dans les vallons du Malmont (trop plein temporaire au-dessus du captage des Rayollets dans le vallon de la Riaille, quartier des Salles, Blancon, vallon de Folletière).

Les eaux de ces sources ont un faciès bicarbonaté-calcique attestant d'eaux issues des calcaires jurassiques (Dragon, Rayollets, Frayères, Fontvieille) avec une forte proportion de calcium, magnésium et bicarbonates

Plusieurs essais de traçages ont intéressé l'aquifère du Malmont (Cova, 1974 ; Ducluzaux, 2017) avec notamment une étude récente dans le cadre de "l'étude globale de l'incidence des dolines sur la ressource en eau de la ville de Draguignan" (AntéaGroup, 2020). Ces traçages sont :

- En 1973, par la Cellule Géologique Départementale, la coloration de la doline de Mare-colle dans le Malmont avec 5kg de fluorescéine qui aurait été détectée sur la quasi-totalité des émergences de bordure. Sur les sites d'observation, seules les sources des Bouilliadoux et de la Foux n'avaient pas été colorées ;
- En 2017, le bureau d'études EKS réalise trois traçages à l'iodure de sodium sur le massif du Malmont :
  - Dans une fissure dans calcaires du Bajocien à proximité du réservoir du Malmont (100 m au-dessus du captage et distant de 600 m) avec 350g d'iodure de sodium poussé par 60 litres d'eau. Le traceur est décelé moins de 10 jours après l'injection sur la source du Dragon qui est le seul point d'eau suivi (vitesse maximale 2.8 m/h, vitesse modale 2.5 m/h). La véracité de ce traçage ne peut être confirmée en raison de la faible quantité d'eau de poussée et de la faible concentration maximale de restitution en iodure sodium à la source du Dragon ;
  - Dans le vallon de la Riaille à la cote 448 m NGF avec 790g d'iodure de sodium poussé par 30 litres d'eau dans les dolomies de Hettangien au-dessus du captage des Rayollets (altimétriquement 130 m au-dessus et à 327m de distance). La restitution est discutable, très faible (0.002%), observée moins de 18 heures après l'injection, au captage des Rayollets qui est le seul point de suivi.
  - Doline de Clos de Reille avec 6 kg d'iodure de sodium poussés par 12 m<sup>3</sup> d'eau qui ont été injectés sur le flanc de la doline dans les calcaires marneux du Bathonien. Aucune détection du traceur n'a été relevée sur les sources de Fontvieille, de Rayollet, du Dragon, des Espérèls et des Bouilliadoux. A la source de la Foux, la restitution du traceur est très faible et la concentration maximale en ions iodures a été mesurée à 6 µg/l maximum pour une concentration naturelle de 3 µg/l.
- En 2019-2020, une campagne de multi-traçages est réalisée par AntéaGroup avec l'injection de :
  - 15 kg d'acide amino-G au Trou de Maurel le 03/12/2019 ;
  - 10 kg de sulforhodamine à la Mare Colle le 03/12/2019 ;
  - 10 kg d'éosine à la doline "488" le 09/12/2019 ;
  - 15 kg de fluorescéine à Clos de Reille le 09/12/2019.

Malgré des conditions hydrogéologiques favorables de hautes eaux (209 mm de précipitation les 22 et 23/11/2019), aucun de ces traceurs n'a été détecté malgré un suivi sur 11 points en continu et 8 ponctuels sur tout le pourtour du massif (sources et forages) pendant plus de 6 mois par fluorimètre de terrain, prélèvement d'eau et analyses au spectrofluorimètre de laboratoire. Cette absence de



résultats malgré un dispositif d'injection et de suivi robuste suggère un aquifère fortement capacitif au temps de résidence long des eaux, ce qui est cohérent avec les suivis physico-chimique effectués aux sources et qui ne présentent pas (ou très peu) de variations des paramètres mesurés. De plus, l'absence de restitution de ces derniers traçages remet en cause les essais antérieurs.

### 3.10.3.2. Aire d'alimentation et conditions de recharge

Le massif du Malmont se retrouve dans sa configuration actuelle topographiquement isolé entre le canyon, puis la vallée de la Nartuby en aval et le poljé de Figanière, et hydrogéologiquement déconnecté (ou peu connecté) avec l'aquifère du Muschelkalk par l'imposant soubassement de marnes-gypseuse du Keuper (> 300 m). Cette déconnexion topographique et hydrogéologique aboutit aujourd'hui un aquifère perché avec une zone de recharge unaire restreinte et circonscrite aux limites d'affleurement carbonaté du Jurassique. La recharge est uniquement assurée par les précipitations tombant sur le massif. Les dolines et dépressions fermées du massif du Malmont constituent la composante endoréique de l'alimentation du réservoir jurassique sous forme de points d'absorption concentrée. De par sa position, il n'existe pas d'échanges avec d'autres unités ou ceux-ci sont limités dans la partie nord, au niveau de l'accident N-S de la Colle-Pélade.

La présence des couvertures, argile à chailles et sol bien développés, suggère une faible infiltration et un ruissellement important. Durant les précipitations, la recharge de l'aquifère est ainsi principalement assurée par les points d'absorption préférentiels vers lesquels se concentrent les écoulements de surfaces, c'est-à-dire les points bas des dolines qui démantèlent le paléo-réseau de vallons fluviokarstiques. Cela suggère des modalités d'infiltrations différentes avec :

- Une infiltration diffuse dominante sur les zones sommitales dénudées ;
- Une concentration des eaux par ruissellement sur les couvertures dans les bassins versants des dolines ;
- Une concentration des eaux par ruissellement sur les couvertures dans les bassins versants des vallons évacuant l'eau en dehors du massif.

Le rôle majeur en termes de recharge est assuré par la composante endoréique des infiltrations concentrées et de façon secondaire par l'infiltration diffuse sur les zones dénudées

Il est peu probable que le réservoir jurassique du Malmont soit alimenté par l'intégralité du massif de la Colle-Pélade au nord-est, du fait de la structure géologique anticlinale dans l'axe des vallons de la Tunis et de Rioufreid. La partie ouest est probablement drainée en direction de la Nartuby au niveau des gorges de Châteaudouble ou des Ferrières où des apports estimés entre 100 à 800 L/s avaient été mis en évidence (Arvois *et al.*, 1969). La partie est peut contribuer à l'alimentation des sources dans le secteur de Figanières via une zone relais dans les carbonates situés au col entre des vallons de la Tunis et de Rioufreid.

### 3.10.4. Karstification

#### 3.10.4.1. Indices karstiques de surfaces

Le massif du Malmont présente de nombreuses formes karstiques de surfaces dont les plus spectaculaires sont constituées par les dolines (Mare-Colle, Clos de Reille, Trou Maurel, etc.). Le diagnostic karstologique du massif du Malmont (Jouves, 2020) avait montré que les dolines correspondent à des phénomènes d'origines différentes contrairement au modèle précédemment proposé (Mennessier, 1957). Cette typologie implique des fonctionnements hydrogéologiques variables :

- Les dolines en position de crête alignées sur le contact nord du massif. Ces dolines jalonnent sans doute une zone d'infiltration préférentielle à l'époque où le vallon de la Tunis n'était pas encore creusé. Ces dolines se situent dans une position structurale où un contact hydraulique avec le Muschelkalk est possible. Actuellement ces dolines ont perdu leur bassin d'alimentation et jouent un rôle réduit en termes de recharge du réservoir ;
- Les dolines développées à partir de points d'absorption le long de paléo-vallons fluviokarstiques :

- Les dolines héritées de la dégradation du massif par altération sous couverture (Mare-Colle, 488). Ces dolines sont liées à des processus de crypto-altération et conservent une couverture résiduelle semi-perméable. Le fond de ces dolines joue un rôle de rétention d'eau permettant le maintien de mares qui s'infiltrent au-dessus d'un certain niveau en pied de versant par déversement latéral ;
- Les dolines héritées comme celle du Clos de Reille qui s'enfonce plus profondément sous le front d'altération. Cette doline présente un bassin d'alimentation conséquent qui explique la persistance d'une activité hydrogéologique importante sous forme d'un point d'absorption actif en fond de doline assurant une participation rapide à la recharge de l'aquifère.
- Les dolines d'effondrement en position de corniche (Trou de la Devèze et Trou Maurel). L'origine de ces dolines est sans doute en lien avec des fontis de faible profondeur potentiellement en relation avec un karst d'interface (contact entre les marnes et les carbonates du Keuper), voire des lentilles de gypse un peu plus profondes dans le Keuper. Les circulations d'interface à l'origine de la formation de ces dolines ont un impact sur l'alimentation souterraine des mouvements de masse qui affectent le versant sous-jacent.

Au nord, entre le Malmont et la Colle Pélade, le vallon de la Tunis se développe dans le cœur de l'anticlinal de trias et peut être considéré comme une vallée périphérique du massif karstique Malmont. Cette vallée s'est creusée par érosion différentielle des terrain meubles selon une dynamique d'érosion régressive qui aboutit au déchaussement des structures géologiques calcaires plus compétentes. En aval de ce vallon et juste en amont de la carrière de la Granegone, des pertes du ruisseau nous ont été signalées par Mme Boulot de la carrière. Ces pertes pourraient alimenter en partie l'aquifère du Trias carbonaté (Muschelkalk) et contribuer à l'alimentation de la source de la Foux selon deux modalités possibles :

- Soit par circulation "profonde" dans le Muschelkalk ;
- Soit par résurgence en aval de la fenêtre de Muschelkalk et ré-infiltration dans le cours de la Nartuby dans les zones d'absorption identifiées dans le secteur de La Clappe (Rivet *et al.*, 2014).

#### 3.10.4.2. Cavités et réseaux karstiques

Peu de cavités sont répertoriées sur le massif du Malmont. Seules deux cavités sont présentes au nord-est du quartier du Neiron (flanc sud) en bordure de la route du Malmont et à l'ouest du forage de Téolière. Ces cavités présentent de faibles développements, de l'ordre de quelques dizaines de mètres. La faible densité de cavités connues sur le massif pourrait suggérer une faible structuration des systèmes de drainage karstique, ce qui est en accord avec le signal fortement inertiel des sources de l'aquifère jurassique.

Les roches évaporitiques telles que le gypse, l'anhydrite et le sel, montrent de très forts taux de dissolution, favorisant la création rapide de vides. La transition intra-Keuper, entre les dolomies et les marnes gypseuses présentant des lentilles de gypse éparses, pourrait ainsi favoriser l'établissement d'un karst de contact dans cet intervalle au potentiel de développement important. Tout comme dans les autres unités hydrogéologiques, la position des sources dans ces intervalles est en faveur de ce type de développement karstique.

#### 3.10.4.3. Système(s) de drainage karstique

Les carbonates du Jurassique moyen se retrouvent en tête du massif du Malmont en position de château d'eau (Figure 25). Cet aquifère représente une ressource majeure actuelle pour l'alimentation en eau de la région de Draguignan au travers de l'exploitation de nombreuses sources et forages.

Ce massif se retrouve dans sa configuration actuelle topographiquement isolé entre le canyon, puis la vallée de la Nartuby en aval et le poljé de Figanières, et hydrogéologiquement déconnecté (ou peu connecté) avec l'aquifère du Muschelkalk par l'imposant soubassement de marnes-gypseuse du Keuper (> 300 m). Cette déconnexion topographique et hydrogéologique aboutit aujourd'hui un aquifère perché avec une zone de recharge unaire restreinte et circonscrite aux limites d'affleurement carbonaté du Jurassique. La multiplicité

des exutoires de bordure est également un autre argument en faveur de cette déconnexion hydrogéologique. Ces exutoires sont en outre localisés sur la transition carbonates/marnes-gypseuse intra Keuper supérieur, transition fortement propice au développement d'un karst de contact. La faible organisation des systèmes de drainage est quant à elle attestée par le caractère fortement tamponné des sources bordières suivies lors de la campagne de traçages réalisée en 2019-2020 par AnteaGroup : ces sources ne présentent peu ou pas de variations de débits, températures et conductivités en réponse aux précipitations. Ces sources sont reliées à une réserve conséquente localisée dans la porosité des terrains jurassiques formant une "cuvette" synclinale. Des phénomènes de drainance pourraient cependant exister entre le Jurassique et le Muschelkalk via le relais des lentilles gypseuses, mais il est peu probable que le réservoir jurassique participe de manière conséquente en termes de flux à l'alimentation du réservoir du Muschelkalk.

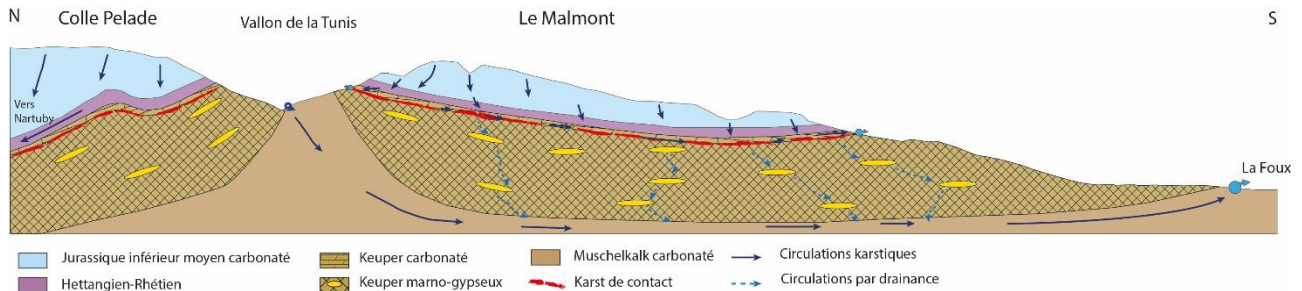


Figure 25 : Schéma conceptuel des relations hydrogéologiques du Malmont, Draguignan (var).



### 3.11. Unité de la Foux et des carbonates du Muschelkalk

#### 3.11.1. Délimitation de l'unité

L'unité s'étend sur une superficie d'environ 66 km<sup>2</sup> selon deux axes depuis son extrémité sud à Trans-La Motte (Figure 26) :

- Vers le NW, dans l'axe de la vallée de la Nartuby et jusqu'à Rebouillon ;
- Vers le N et le NE, jusqu'à une ligne formée par Figanières-Callas-Claviers au nord et la bordure formée par les affleurements de Muschelkalk reposant sur le Trias inférieur-Permien à l'est.

La limite NE est placée de manière arbitraire au niveau du ruisseau de Riou de Clavier. Il est à noter que des terrains aquifères du Muschelkalk situés plus au nord et nord-est en rive gauche du Riou de Clavier peuvent également contribuer à cette unité.

#### 3.11.2. Géologie et formation aquifère

L'unité est essentiellement constituée de Trias moyen (Muschelkalk). Quelques témoins de la couverture jurassique subsistent au-dessus du Keuper, mais étant donné leurs faibles dimensions et leur position au sommet des reliefs, leur rôle hydrologique est très réduit.

Depuis les contreforts du massif de Muschelkalk surplombant le Paléozoïque sur la ligne La Motte-Esclans-Pennafort, les carbonates s'ennoient vers le NW avec un léger pendage sous le Keuper marno-gypseux. Sur ces derniers terrains repose le Jurassique inférieur et moyen du Malmont et de Bois-Panisse haché par de nombreux accidents verticaux qui paraissent s'amortir dans le Keuper sous-jacent.

Dans la partie nord (Callas-Clavier), le Trias moyen, calcaire et dolomitique, apparaît sous la forme de lanières anticlinales et écailleuses. Ces lanières se raccordent avec les compartiments triasiques de Pennafort vers l'E et le SE. La structure de ces lanières est due à la présence, dans le Trias moyen, de deux niveaux carbonatés séparés par un horizon marneux et salifère, qui soumis aux actions tectoniques est à l'origine de dysharmonies dans les plissements (Arvois *et al.*, 1969).

Dans l'axe de la Nartuby, le Muschelkalk est recouvert par les alluvions de la vallée. Peu de données permettent de contraindre la position du toit du Muschelkalk. Plus au nord, le Muschelkalk apparaît selon un axe globalement E-W au niveau de la fenêtre de Rebouillon sur l'axe anticlinal de N.D. de Liesse.

Plusieurs dépressions comblées de formations superficielles quaternaires (Fz) apparaissent sur l'unité. Il s'agit des dépressions de Draguignan, de Saint-Anne, de Figanières, Callas, etc. Le matériel de ces formations est constitué d'alluvions graveleuses et limoneuses, au sein desquelles les graviers à éléments souvent grossiers constituent des lentilles allongées vers le SE, dans la dépression de Figanières, et vers le S, dans celle de Callas (Arvois *et al.*, 1969). Ces lentilles grossières attestent ici des phénomènes d'érosion et de transport sédimentaire dans l'axe de paléo cours de rivières. Dans la partie centrale des dépressions, les formations superficielles reposent sur le matériel hétérogène, caillouteux et argileux, résultant de la destruction de type karstique d'une partie du Muschelkalk et du Keuper. Ce type de dispositif correspond sensiblement à des structures de *poljé* de contact. Sur les bords des dépressions, les formations superficielles se raccordent avec des colluvions de pentes et des épandages de versant nourris par le Muschelkalk et le Keuper. Ces formations constituent un aquifère superficiel.

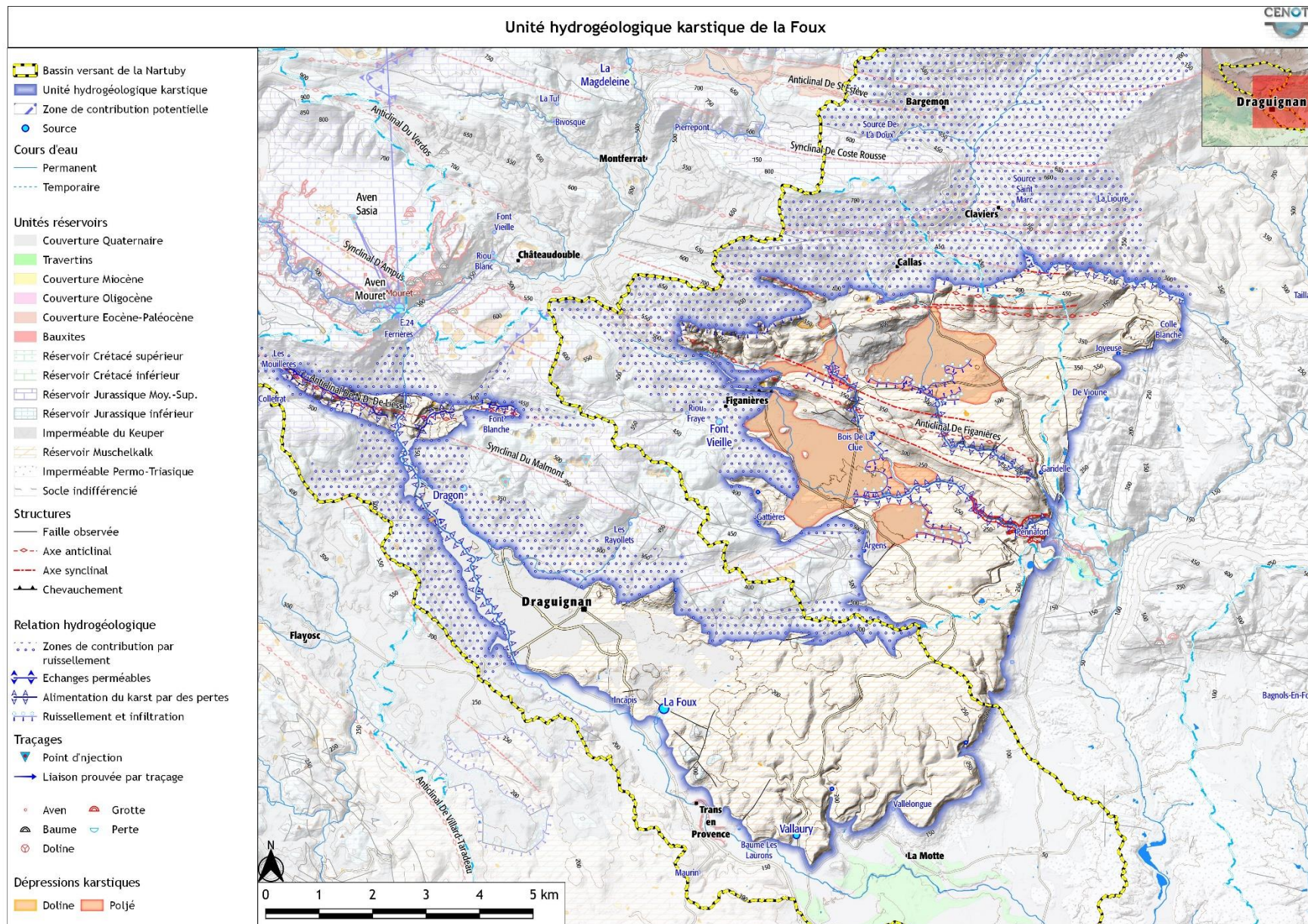


Figure 26 : Unité hydrogéologique karstique la Foux.



### 3.11.3. Hydrogéologie

L'hydrogéologie de cette unité avait été étudiée par Arvois *et al.* (1969). Ils identifiaient deux dispositifs hydrogéologiques ayant leur fonctionnement propre :

- Un dispositif "superficiel" s'établissant dans les alluvions et formations de pentes et ayant pour mur soit les marnes ou argiles du Keuper, soit la brèche à matrice argileuse provenant l'altération du Muschelkalk supérieur et du Keuper.
- Un dispositif en relation avec le substratum calcaire mésotriasique du Muschelkalk ;

#### 3.11.3.1. Réservoir superficiel des nappes alluviales

Dans la plaine de Draguignan, plusieurs nappes superficielles ont été distinguées (Arvois *et al.*, 1969) : des nappes de versant de part et d'autre de la plaine en amont de Draguignan, la nappe alluviale de la Nartuby et des nappes dans les formations bréchiennes à matrice sableuse et argileuse qui proviennent de la dégradation du Muschelkalk calcaires et des terrains sus-jacents. Ces nappes sont de type épidermique, avec des surfaces piézométriques le plus souvent parallèles à la topographie. Les toits des nappes profondes et superficielles se raccordent dans les zones d'exutoires, en bordure de la Nartuby.

Dans les versants, ces nappes sont alimentées par les précipitations, mais aussi, localement, par les débordements de la nappe perchée que renferment les entablements jurassiques. Des apports sont également fort probables en provenance des bancs dolomitiques intercalés dans le Keuper et qui jouent le rôle de drains au sein de la masse argileuse. Cela explique que certains puits, au bas des versants, fonctionnent comme des sources intermittentes (quartier des Salles).

Les formations bréchiennes à matrice argileuse et argilo-sableuse qui proviennent de la dégradation du Muschelkalk peuvent, dans leur tranche superficielle, constituer un gîte aquifère indépendant du gîte karstique et dont le comportement s'apparente à celui d'une nappe superficielle. Il s'agit là certainement de nappe locale de fond de poljé.

La nappe alluviale se développe dans les zones où la rivière traverse les affleurements du Keuper aisément érodables. Cette nappe alluviale est alimentée par le cours de la Nartuby et par ses dérivations pour l'irrigation. La Nartuby alimente également probablement le réservoir Muschelkalk (1) par pertes dans ce réservoir entre la Clappe et St-Hermentaire (Rivet *et al.*, 2014) et (2) par drainance de la nappe superficielle lorsque celle-ci est en contact avec le Muschelkalk.

Ces aquifères superficiels et profonds sont ainsi en interactions les uns avec les autres. Les relevés piézométriques (Arvois *et al.*, 1969), montrent que la dépression de la nappe superficielle, au droit de la source de la Foux, en direction de la cuvette des Négadis présente un important soutirage qui se développe au sein des formations bréchiennes, à partir du karst sous-jacent. Cela traduit l'alimentation du réservoir profond par la nappe superficielle, au droit de structures karstiques de type poljé.

Le même dispositif semble s'établir dans les plaines de Figanières, Callas et la petite dépression de l'Etang. Une nappe s'établit dans les alluvions, les épandages de pentes et la tranche des terrains altérés sur les argiles et marnes du Keuper. La carte des surfaces piézométriques (Figure 27) montre, pour les deux plaines de Figanières et de Callas, un drainage par les calcaires du Muschelkalk (Arvois *et al.*, 1969). Dans chaque cas, les eaux se dirigent vers une zone d'absorption située sur l'axe principal de drainage superficiel (vallons de St Pons et de Garidelle) (Figure 27). Il n'apparaît pas de zones d'absorption dans le Keuper lui-même. Cependant, au lieu-dit le Pré de l'Etang, une doline correspondant à un affaissement lié à un phénomène de dissolution de roches salines, est drainée par un ponor visible dans l'angle Est de la dépression. Le drainage est faible et après des précipitations importantes subsiste un fond marécageux (Arvois *et al.*, 1969).



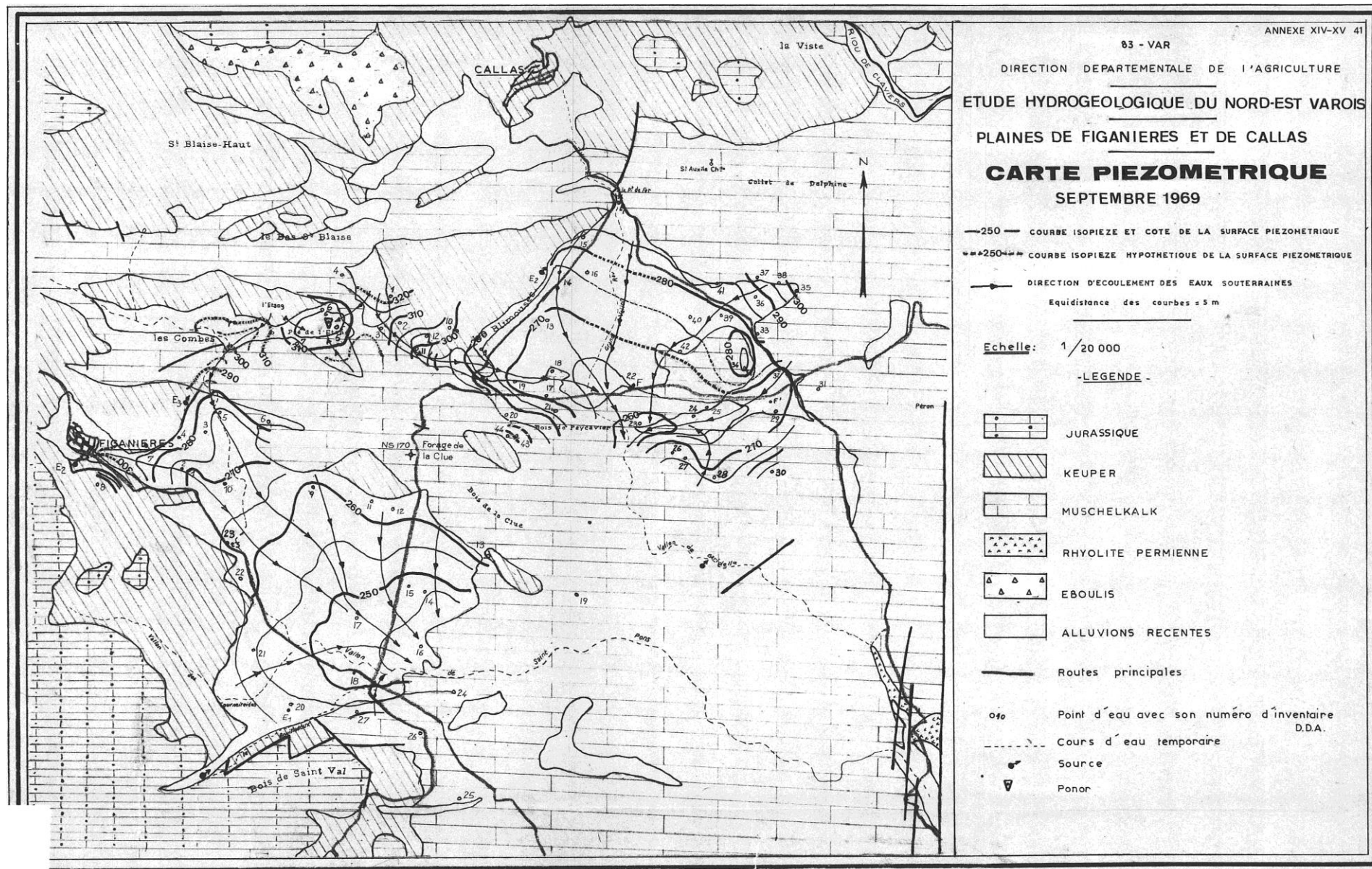


Figure 27 : Carte piézométrique des plaines de Figanières-Callas en septembre 1969 (Arvois *et al.*, 1969).

### 3.11.3.2. Réservoir du Muschelkalk

Le réservoir du Muschelkalk affleure largement sur une bande orientée SW-NE depuis Trans-en-Provence-La Motte vers le sud-est de Claviers. Dans la plaine de Draguignan, le Muschelkalk affleure de manière plus disparate sous les formations quaternaires.

Dans la plaine de Draguignan, la structure géologique semble conditionner plusieurs compartiments aquifères au sein du Muschelkalk du fait de la dysharmonie tectonique, celle-ci étant liée à la présence d'une couche de marnes et évaporites entre le Muschelkalk supérieur et inférieur. Alors que l'aquifère du Muschelkalk inférieur semble relativement homogène et continu en dehors des zones d'écaillage, l'aquifère du Muschelkalk supérieur apparaît plus compartimenté et étagé dans les flancs des plis et écailles (Arvois *et al.*, 1969).

Dans cette unité, le schéma proposé par Arvois *et al.* (1969) distinguait trois compartiments avec :

- Des écoulements issus des secteurs nord-ouest vers Draguignan et Rebouillon en direction de La Foux et des Encapis. La composition chlorurée et sulfatée de La Foux aurait pour origine un emprunt de sel, localisé dans le secteur des Négadis, par des eaux circulant du NW vers le SE dans la zone sud de Draguignan.
- Des écoulements en provenance du secteur de Sainte-Anne-Gandi (forage de Saint-Anne atteignant le Muschelkalk inférieur) et en provenance du nord (Figanière-Callas). Ces circulations se dirigeraient ensuite vers la zone de restitution entre Trans-en-Provence et La Motte (Vallaury, Vallelongue et potentiellement des arrivées d'eau dans la Nartuby entre Trans et La Motte : enrichissement de la Nartuby de l'ordre du m<sup>3</sup>/seconde).
- Des écoulements en provenance du nord et dirigés vers les exutoires en bordure de la dépression permienne de la Motte-Esclans et pouvant contribuer à l'alimentation des exutoires de la Trans-La Motte.

Dans ce schéma, les eaux auraient toutes pour origine un gîte dans les calcaires du Muschelkalk Inférieur. Le taux élevé de NaCl dans les eaux de la Foux notamment serait expliqué par une contamination "très localisée" ayant pour siège une lentille de sel en gisement au voisinage de la source, probablement sous la dépression des Négadis, dépression offrant l'aspect d'une cuvette de dissolution (Arvois *et al.*, 1969).

Dans le défilé de La Clue, un forage profond avait mis en évidence un gîte profond localisé dans les calcaires mésotriasiques. Les essais de pompage réalisés en février et mars 1948 avaient montré que la structure explorée était aquifère et renfermait une réserve en eau avec un niveau piézométrique aux alentours de la cote 170 m NGF. Les eaux de cet aquifère étaient chargées en chlorures (334 mg/l de Cl) et en sulfates (550 mg/l de SO<sub>4</sub>) avec un faible taux de carbonates. Cette composition minérale est de même faciès que les eaux de la source de la Foux. De la même manière que la contamination de la Foux, cette signature chimique serait là aussi un phénomène local d'un gîte de roches salines au niveau du Muschelkalk moyen (Arvois *et al.*, 1969). Les eaux de cet aquifère se dirigeraient ensuite vers le sud, sous la dépression de Figanières, pour rejoindre la zone d'émergence des sources situées entre Trans et La Motte.

Mais ce schéma ne peut que difficilement rendre compte du fonctionnement de l'exutoire de La Foux dont le comportement apparaît fortement inertiel et le signal physico-chimique peu variable (cf. infra). En effet, une alimentation de la Foux uniquement assurée par les pertes de la Nartuby selon un système de perte/résurgence paraît peu probable dans la mesure où la Foux devrait dans ce cas présenter des variations de débit et de propriétés physico-chimiques en corrélation avec les variations de régime de la Nartuby. De plus, une estimation grossière des débits entrants et sortants de l'aquifère ne permet d'expliquer que 30 à 60 % des débits sortants à la Foux : les campagnes de mesures effectuées par Rivet *et al.* (2014) mettent en évidence des pertes de la Nartuby de l'ordre de 500 à 700 l/s entre le sud de Rebouillon et Les Incapis. À ces pertes qui alimentent le réservoir de la Foux il faut retrancher les prélèvements AEP (St Anne ≈ 2Mm<sup>3</sup>/an (≈60 l/s) et Pont d'Aups ≈ 0,45 Mm<sup>3</sup>/an (≈15 l/s)) et les apports à la Nartuby entre St-Hermentaire et la confluence avec la Foux (150 à 200 l/s). Ce rapide bilan montrerait une alimentation de l'ordre de 280 l/s à 450 l/s pouvant contribuer au réservoir de la Foux dont le débit moyen est d'environ 800 l/s.



De plus, ce schéma implique des phénomènes très localisés de contamination saline. Or le niveau évaporitique intra-Muschelkalk apparaît continu dans la série, même si il peut présenter des surépaisseurs du fait de la tectonique, du décollement des terrains sur ce niveau et de l'accumulation sur certains axes de plis notamment anticlinaux. Les roches évaporitiques telles que le gypse, l'anhydrite et le sel, montrant de très forts taux de dissolution, favorisant la création rapide de vides, ce niveau évaporitique serait ainsi probablement un niveau au développement important des chemins de drainage plutôt que le siège de phénomène locaux de dissolution et de contamination des sources et forage comme évoqué par Arvois *et al.* (1969).

Il est alors probable que ce réservoir soit compartimenté avec des interactions faibles entre les deux réservoirs séparés par le niveau marno-gypseux-dolomitique :

- Un compartiments supérieur drainé par la source de la Foux ;
- Un compartiment inférieur drainé par la zone de résurgence à Trans-en-Provence et par les sources de débordement à l'est (cf. infra).

Ces deux compartiments se développeraient largement au nord selon la répartition des affleurements géologiques.

### 3.11.3.3. Exutoires

L'aquifère superficiel est drainé selon deux modalités :

- Vers la Nartuby, essentiellement en période de basses eaux ;
- Vers l'aquifère profond à la faveur de structures drainantes comme les failles et fractures et les structures karstiques, de type dolines ou poljés qui mette en contact l'aquifère superficiel et l'aquifère profond.

L'aquifère du Muschelkalk est quant à lui drainé vers trois zones de restitution :

- La source de la Foux avec un débit moyen d l'ordre de 800 l/s et des eaux au faciès chloruré-sodique (727 mg/l de Sodium dissous, 1170 mg/l de Chlorures et 991 mg/l de Sulfates ; Maison-Régionale-de-l'Eau (2016)). Le sodium et les chlorures proviendraient de la dissolution de la halite (NaCl) tandis que les sulfates et le calcium proviendraient de la dissolution du gypse (Arvois *et al.*, 1969). Ces teneurs suggèrent des exportations annuelles de minéraux dissous de l'ordre de 70 000 t/an, soit 28 000 m<sup>3</sup>/an (avec une densité du gypse de 2,5).
- La zone de restitution entre Trans-en-Provence et La Motte avec plusieurs sources (Vallaury, Vallelongue) et des venues d'eau dans le cours de la Nartuby mise en évidence par jaugeage (Arvois *et al.*, 1969) et dont le débit serait de l'ordre de 0,5 à 1 fois celui de la Foux. Ces sources présentent également de forte minéralisation et des faciès semblable aux eaux de la Foux.
- Des sources plus ou moins temporaires sur la bordure est du massif au contact du Trias inférieur-Permien. Ces sources s'échelonnent le long de la bordure est du relief triasique depuis 160 m au sud-ouest à 300 m au nord-est. Elles présentent un gradient négatif de débit et de minéralisation au fur et à mesure que l'altitude augmente (du SSW au NNE) (Arvois *et al.*, 1969).

Plusieurs forage AEP sont présents sur l'unité, notamment à Sainte Anne et au Pont d'Aups. Les faciès des eaux prélevées évoluent entre deux faciès sulfatés et bicarbonatés. Les eaux de ces forages proviendraient d'un aquifère captif sous une épaisse couche de marnes du Keuper, dont le lessivage serait susceptible de contribuer au stock de sulfates dans les eaux souterraines (Rivet *et al.*, 2014). La composition chimique des points d'eau (Figure 28) indique une augmentation de la teneur en sulfates et en chlorures d'amont en aval jusqu'à atteindre la saturation par rapport au gypse dans les eaux de la Foux et pour les points aval situés à Trans-en-Provence (Rivet *et al.*, 2014).



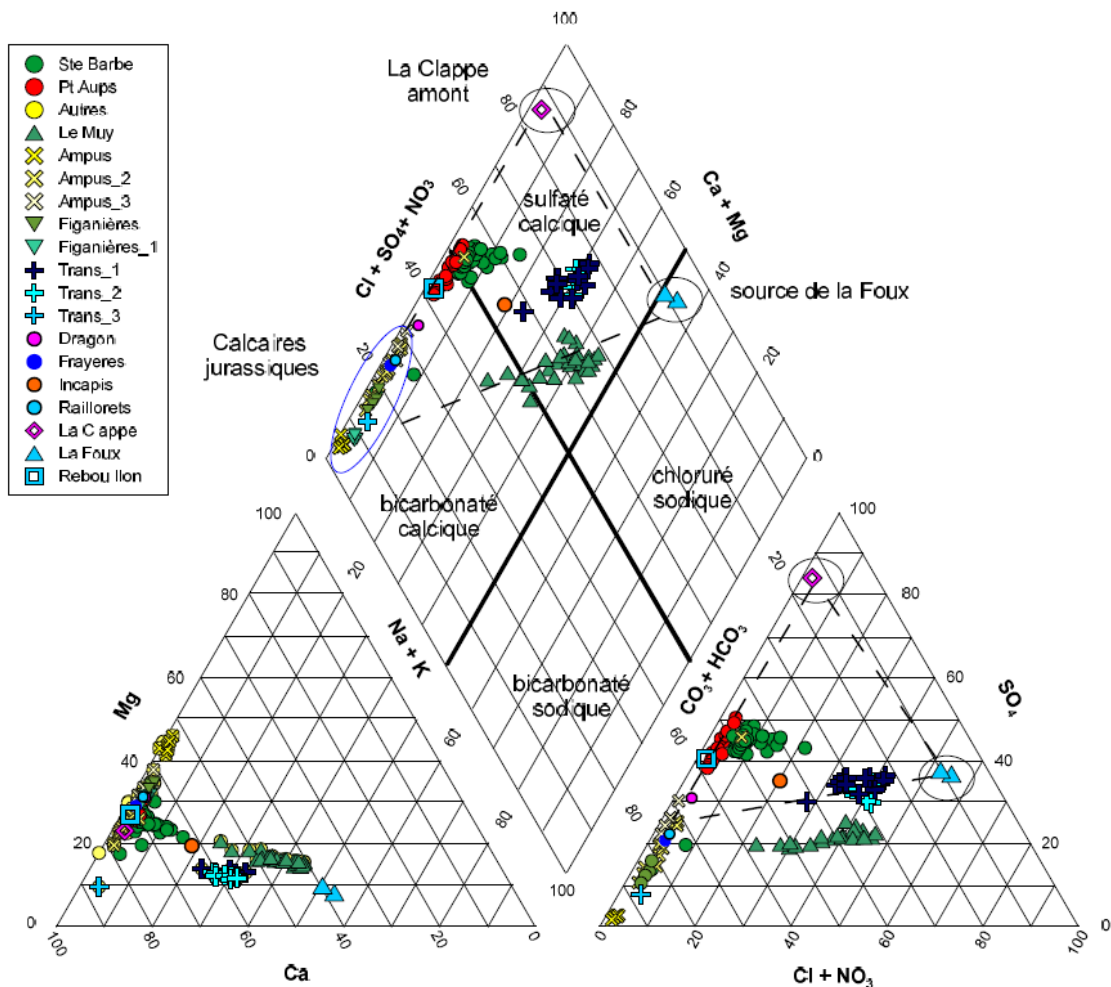


Figure 28 : Diagramme de Piper des points d'eau de la région de Draguignan, dont les points d'eau 10241X0170/F2 (Sainte Barbe) et 10234X0087/FEX1 (Pont d'Aups), ainsi que les points d'eau Dragon, Frayères et Rayollets des aquifères des calcaires du Jurassique, le point d'eau Incapis de l'aquifère des dolomies du Muschelkalk. Les données incluent des données des campagnes 2013 du CEREMA d'Aix (La Foux, la Clappe et Rebouillons). Rivet et al. (2014).

Plusieurs essais de traçage ont investigué les circulations souterraines de cette unité avec :

- Un traçage peu documenté de 1929, avec une injection de fluorescéine dans la Nartuby au niveau de la Clappe et qui serait ressorti à la source de la Foux au bout de 3 jours.
- Un traçage en 1973, avec une injection par la Cellule Géologique Départementale de 3 kg de fluorescéine dans de l'Aven de la Jarre (3kg de fluorescéine) dans le centre-ville de Draguignan et qui serait ressorti rapidement aux Incapis, à la source de la Foux et dans la Nartuby à Trans-en-Provence.
- En 2017, le bureau d'études EKS (Ducluzaux, 2017) réalise quatre traçages à l'iodure de sodium dont deux auraient concerné les écoulements à la source de la Foux. Compte tenu des conditions de réalisations et du très faible signal détecté dans une eau au bruit de fond élevé en traceur utilisé, ces traçages ne peuvent être considérés comme très fiables :
  - Un traçage le 04/04/2017 dans les pertes de la Nartuby au pont d'Aups (1kg d'iodure de sodium) qui ressort rapidement (11 jours) à la source de la Foux et montre que les pertes de la Nartuby participent à l'alimentation de la nappe du Trias (vitesse maximale 16.1 m/h, vitesse modale 5.8 m/h). Il convient de signaler que la source de la Foux était le seul point de surveillance pour cet essai et que le signal détecté montre une restitution extrêmement

faible avec une concentration maximale en ions iodures mesurée à 3,6 µg/l maximum pour une concentration naturelle de 2,7 µg/l, soit 0,9 µg/l de plus que le bruit de fond.

- Doline de Clos de Reille avec 6 kg d'iodure de sodium poussés par 12 m<sup>3</sup> d'eau qui ont été injectés sur le flanc de la doline dans les calcaires marneux du Bathonien. Aucune détection du traceur n'a été relevée sur les sources de Fonvieille, de Rayollet, du Dragon, des Espérèls et des Bouilladoux. Un signal est détecté à la source de la Foux 12 jours après, la restitution du traceur est très faible et la concentration maximale en ions iodures a été mesurée à 6 µg/l maximum pour une concentration naturelle de 3 µg/l.

Aucun essai de traçage connu n'a été effectué dans les prolongement nord-est de cette unité vers Figanières-Callas, dont les informations seraient pourtant riches sur la structuration de l'aquifère, les chemins de drainage et les phénomènes de transport.

#### 3.11.3.4. Aire d'alimentation et conditions de recharge

L'alimentation de l'unité de la Foux correspond à un système binaire, avec une part d'alimentation par l'infiltration diffuse des précipitations et une part d'alimentation concentrée par les pertes de la Nartuby (Rivet *et al.*, 2014). De par sa position en aval, l'unité de la Foux peut être alimentée par toutes les unités se trouvant en amont.

L'infiltration diffuse se produit essentiellement sur les reliefs entre Trans-La Motte et le Riou de Clavier au Nord, mais également par la drainance de l'aquifère superficiel vers l'aquifère profond lorsque les formations quaternaire recouvrent les carbonates.

L'infiltration concentrée se produit elle par des points de perte localisé dans l'axe des rivières (Nartuby, Rioufreid, Riou-Sec, Garidelle et Riou de Clavier principalement) et probablement en bordure des (paléo-) poljé démantelés (Figanières, Pré de l'étang, Callas).

Les deux campagnes de jaugeage réalisées en 2014 en basses et hautes eaux montrent des capacités d'absorption respectivement comprises entre 500 et 700 l/s (Rivet *et al.*, 2014) entre le sud de Rebouillon et St-Hermentaire. Ces eaux rechargent à la fois l'aquifère superficiel et l'aquifère profond.

Le réservoir Muschelkalk est également probablement alimenté par des pertes encore plus en amont au niveau de la fenêtre anticlinale de Rebouillon dans l'axe de la Nartuby, mais également dans l'axe des vallons de la Tunis (pertes en amont de la carrière de la Granegone) et dans le vallon en rive droite de la Nartuby.

#### 3.11.4. Karstification

##### 3.11.4.1. Indices karstiques de surfaces

Le réservoir du Muschelkalk présente en surface des morphologies karstiques de type (paléo-) poljés notamment au niveau des dépressions de Figanières, du Pré de l'Etang et de Callas. Ces paléo-poljés aujourd'hui entaillés par des cours d'eau aériens, attestent d'un fonctionnement relique endoréique alimentant de toute évidence le réservoir karstique du Muschelkalk par déversement latéral (fonctionnement d'un poljé - Figure 11).

Ces poljés résultent de la dégradation d'une surface initiale aux alentours des 300 m dans lesquels ils sont imprimés. Ils sont aujourd'hui drainés en surface par les cours d'eau aériens du Rioufreid, Riousec et Garidelle. Ces poljés se développent au contact des carbonates du Muschelkalk et des marnes-gypseuses du Keuper. Des exemples similaires sont présents au sud de Seillans, Fayence-Tourettes et Caillan-Montauroux. Ces structures de poljés indiquent une structuration karstique endoréique du réservoir du Muschelkalk recueillant les eaux de ruissellement et/ou des résurgences des terrains situés à l'amont, un engorgement des dépression fermées créées par corrosion latérale et un déversement dans le réservoir encaissant. La structuration de ces paléo-poljés suggère également que les vallons drainant aujourd'hui les dépressions n'existaient pas que durant leur fonctionnement en poljés. Ce fait suggère également que la cuesta de contact, dans l'axe La Motte-Esclans, entre le Trias inférieur et le socle n'existait pas. Le drainage de ces structures et du réservoir Muschelkalk s'effectuait alors vers un point bas de la topographie recoupant le réservoir, vraisemblablement vers l'incision

de la Nartuby. Le secteur de Draguignan pourrait également correspondre à ce type de dispositif notamment dans les secteurs des Négadis voire de Draguignan-St-Hermentaire. Dans ce secteur les formations quaternaires sont fortement représentées et les affleurements de carbonates du Muschelkalk forment des buttes résiduelles donnant l'aspect d'un karst à butte.

Les travertins présents à l'aval au niveau de La Motte constituent également des indices karstiques de zone d'exutoire dans la mesure où ils traduisent des arrivées d'eau en relation avec le milieu karstique. Au débouché de la Nartuby dans la plaine entre Trans-en-Provence et le Muy, ces travertins sont entaillés par le cours d'eau et certains entablements se retrouvent 50 m au-dessus du cours actuel (Toutin-Morin *et al.*, 1994). Ce vaste dispositif de travertins, dont le sommet est daté de la fin du pléistocène (Tyrrhénien) (Dubar, 1984), traduit la pérennité de processus de dépôts et de précipitation. La position de ces travertins est probablement en lien avec la présence de la source de la Foux ou un ancien exutoire du massif de Muschelkalk, dont le mélange des eaux en aval avec la Nartuby a provoqué la déstabilisation des équilibres calco-carboniques et engendré la mise en place et l'entretien de ces travertins.

Il n'apparaît pas d'impact du cycle messino-pliocène (- 1500 m d'eau dans la Méditerranée) dans le secteur en termes de structuration karstique dans la mesure où l'incision anté-quaternaire du réseau hydrographique est minimale (maximum 30 à 50 m d'après les sondages BSS, BRGM) et que les réservoirs sont déconnectés du niveau de base au sud par la présence du socle étanche. Cela implique l'absence d'une structuration karstique profonde largement développée sous le niveau de base actuel.

#### 3.11.4.2. Cavités et réseaux karstiques

Peu de cavités et réseaux karstiques sont connus dans cet unité.

Deux cavités sont répertoriées dans l'unité mais ne présentent pas de développements significatifs. Dans le secteur de Draguignan, le Trou des Capucins (prof. -29 m), présente une morphologie de diaclases élargies. À l'est de Figanières, dans le secteur des Aumèdes, l'aven grotte Saint-Pierre semble correspondre à une petite cavité horizontale dont le développement est en relation avec le poljé d'Aumède.

Même si les cavités sont peu représentées dans cet unités les indices de réseaux karstiques souterrains sont attesté par la multiplicité des effondrements liés à la dissolution des terrains du trias à la fois dans la région de Draguignan (Rivet *et al.*, 2014) mais également plus au nord avec les effondrements de Bargemon (1992) ou de Tourettes. Même s'ils attestent de phénomènes de dissolution par des circulations souterraines ces effondrements se produisent principalement dans les séries du Keuper marno-gypseuse et ne sont pas directement en lien avec le réservoir Muschelkalk.

#### 3.11.4.3. Systèmes de drainage karstiques

L'unité de la Foux et des carbonates du Muschelkalk présente plusieurs systèmes de drainage karstiques structurés en fonction des contraintes géologiques et géomorphologiques. Il apparaît en effet dans cette unité une compartimentation certainement liée à la stratigraphie du Muschelkalk :

- La source de la Foux intéresse l'unité supérieure des carbonates du Muschelkalk (  $t_{6-7F}$  Toutin-Morin *et al.* (1994))
- Le complexe de sources intéressant les termes inférieurs du Muschelkalk (  $t_{6-7C}$  et  $t_{6-7D}$  Toutin-Morin *et al.* (1994)) avec les venues d'eau dans la Nartuby en aval de Trans, les sources de Vallauray et Valleslongue ainsi que celle de la bordure Est du massif qui fonctionnent en débordement.

Entre ces deux, l'unité E marno-évaporitique est susceptible de créer un écran peu perméable sauf en faveur d'accident tectonique, mais surtout est susceptible de guider les écoulements souterrains qui se feront principalement au toit de cette unité E selon une disposition de karst de contact.

La disposition actuelle de la source de la Foux serait ainsi en relation avec (1) la géologie car située dans le compartiment supérieur du Muschelkalk et au droit d'une faille WNW-ESE recoupant le réservoir et susceptible



de mettre en contact les unités inférieure et supérieure (la forte minéralisation de la Foux est un argument en faveur d'axes de drainage développés au contact de l'unité marno-évaporitique - Unité E) et (2) en relation avec l'incision de la Nartuby et le bras orienté nord de cette incision pouvant correspondre à une reculée karstique et qui se retrouve aujourd'hui comblée par des sédiments quaternaires.

Les résurgences en aval de Trans semblent intéresser l'unité inférieure du Muschelkalk sous le niveau marno-évaporitique. Ces sources sont sensiblement alimentées par les termes du Muschelkalk inférieur à l'affleurement ainsi que potentiellement par drainance de l'unité supérieure.

La disposition des sources de bordure située sur le contact E du massif de Muschelkalk est à relier la mise en place de petits systèmes de drainage périphériques consécutivement au recul par érosion régressive des versant d'Esclans. Elles intéressent principalement les termes inférieurs du Muschelkalk.

L'hydrogéologie de la source de la Foux, émergence de débit moyen important (de l'ordre de 800 l/s) et de régime très régulier, mais chargée en NaCl, est à relier à un impluvium très vaste et s'étendant à la fois vers la vallée de la Nartuby, et à la fois vers le NE vers Figanières-Callas. La zone de la Foux serait ainsi située à la confluence entre deux systèmes de drainage, l'un structuré dans l'axe WNW-ESE de la Nartuby jusqu'à la fenêtre de Rebouillon, et l'autre structuré depuis le NE vers le SW. Les indices de surface, les paléo-poljés présents au NE sont en accord avec ce dernier axe de drainage. En effet, les paléo-poljés de Figanières et de Callas se mettent en place au contact des formations carbonatés du Muschelkalk à la suite de la dernière phase d'incision des canyons et de démantèlement des massifs. La mise en place de ces poljés indique une phase prolongée de stabilité du niveau de base alors que la dépression dans le permo-trias n'existait pas encore au sud-est. L'organisation endoréique de ces poljés de basse altitude et la présence d'imposants massifs de travertins au sud vers La Motte, traduisent une structuration des chemins de drainage NNE-SSW du réservoir du Muschelkalk vers un exutoire tel que la Foux ou un paléo exutoire dans le secteur de Trans-en-Provence (les des jaugeages effectués montrent à l'étiage un drainage important du Muschelkalk et des alluvions à l'aval de Trans de l'ordre de 1 m<sup>3</sup>/s). Cette structuration implique l'antériorité du cours de la Nartuby par rapport aux petits vallons des Tullières et de Rioufreid entaillant et drainant aujourd'hui le réservoir Muschelkalk en direction du sud-est.

Le débit du drainage vers la Nartuby de toute cette unité des carbonates du Muschelkalk avoisinerait les 2 m<sup>3</sup>/s (La Foux et émergences à l'aval de Trans principalement). Ce débit nécessiterait de faire intervenir, en plus de l'impluvium triasique, soit la contribution de terrains se développant sous les recouvrements du Keuper et du jurassique vers le NW, soit des apports de ruissellement sur les versants et s'infiltrant dans le réservoir.

### 3.12. Unité du Muschelkalk des Arcs (RD Nartuby)

#### 3.12.1. Délimitation de l'unité

L'unité se développe à l'aval du bassin versant de la Nartuby en rive droite de celle-ci. Seule une petite partie des 42 km<sup>2</sup> de cette unité est concernée par le périmètre du BV de la Nartuby. Dans le défilé de Trans en Provence.

Au sud l'unité est limitée par les limites d'affleurements des carbonates Muschelkalk sur les terrains du trias inférieur et du Permien. Au nord cette limite est définie par les recouvrements de Keuper sur le Muschelkalk. À l'est et à l'ouest les limites sont définies par les cours d'eau de la Nartuby et par le ravin de Gayepan respectivement.

#### 3.12.2. Géologie et formation aquifère

L'unité constitue le prolongement WSW de l'unité de la Foux, en rive droite de la Nartuby. Sa géologie en est similaire et présente la même succession d'unités (§2.2.2). Elle est essentiellement constituée de Trias moyen (Muschelkalk). Depuis les rebords du massif au nord des Arcs, les carbonates s'envoient vers le NW sous le Keuper marno-gypseux. Sur ces derniers terrains repose le Jurassique inférieur et moyen du Malmont et de Bois-Panisse haché par de nombreux accidents verticaux qui paraissent s'amortir dans le Keuper sous-jacent. Dans la partie ouest, la série présente une structure anticlinale N-S sur l'axe Flayosc-Taradeau.

Il n'apparaît pas de dépressions quaternaires dans cette unité hormis à la faveur des incision NS à l'est et à l'ouest des Arcs.

#### 3.12.3. Hydrogéologie

##### 3.12.3.1. Exutoires

Plusieurs sources sollicitent cette unité avec d'est en ouest les sources de Maurin, Ste Roseline, La baume, Ste Cécile, les Clarettes et Gayepan. Plusieurs de celles-ci sont captées pour l'AEP. Ces sources s'échelonnent sur la bordure sud de 135 m (Ste Roseline) à 90 m à l'ouest à la source de Gayepan.

La principale source de Ste-Cécile (1 à 30 l/s), est captée pour l'AEP, malgré une teneur élevée en chlorure et sulfate (150 mg/l) (Cond.  $\approx$  1400  $\mu$ S/cm - Données ADES). Ces fortes minéralisations indiquent l'influence de niveaux évaporitiques dans le transfert des eaux comme cela est le cas pour les sources de la Foux ou les eaux du défilé de la Clue dans l'unité de La Foux. La source des Clarettes au NW des Arcs a un faciès moins minéralisé (Arvois *et al.*, 1969).

##### 3.12.3.2. Aire d'alimentation et conditions de recharge

L'unité des Arcs correspond à un système binaire principalement alimenté par des infiltrations directes de l'eau de pluie tombant sur les carbonates du Muschelkalk, et secondairement par des apports par ruissellement et pertes à partir des contreforts nord-ouest formés par les terrains imperméables du Keuper qui dominent le réservoir au nord. L'alimentation par ruissellement et perte se produit particulièrement dans les zones de contact entre le recouvrement Keuper et le Muschelkalk, ainsi que dans l'axe des valons entaillant ces derniers.

#### 3.12.1. Karstification

##### 3.12.1.1. Indices karstiques de surfaces

Les indices karstiques de surface sont constitués par quelques dépression endoréiques correspondant principalement à des dolines dont certaines présentent des extensions non négligeable (le Clos de Fan). Il n'apparaît pas d'aplanissements ni de structure de poljé dans cette unité.

Les travertins au niveau des Arcs marquent également des indices karstiques de zone d'exutoire dans la mesure où ils traduisent des arrivées d'eau en relation avec le milieu karstique. Ces travertins polyphasés sont en relation avec ceux présent au débouché de la Nartuby datés de la fin du pléistocène (Tyrrhénien) (Dubar, 1984 ; Toutin-Morin *et al.*, 1994). La position de ces travertins est en lien avec la présence des sources en amont constituant des exutoires du massif.

#### 3.12.1.2. Cavités et réseaux karstiques

Aucune cavités ou réseaux karstique au développement significatif n'est connu dans cette unité.

#### 3.12.1.3. Système(s) de drainage karstique

Les principaux exutoires de cette unité correspondent soit à des sources de débordement, soit à des venues d'eau sous alluviales dans les vallons qui entaillent les plateaux calcaires. Ces sources sont toutes alimentées par le même réservoir karstique du Muschelkalk.

La multiplicité des exutoires suggère plusieurs systèmes de drainage et une compartimentation du réservoir d'autant que les sources ne semblent par toutes présenter les mêmes caractéristiques physico-chimiques. En l'absence d'information complémentaire, il est difficile de définir des sous-systèmes à l'intérieur de cette unité.



### Unité hydrogéologique karstique Les Arcs

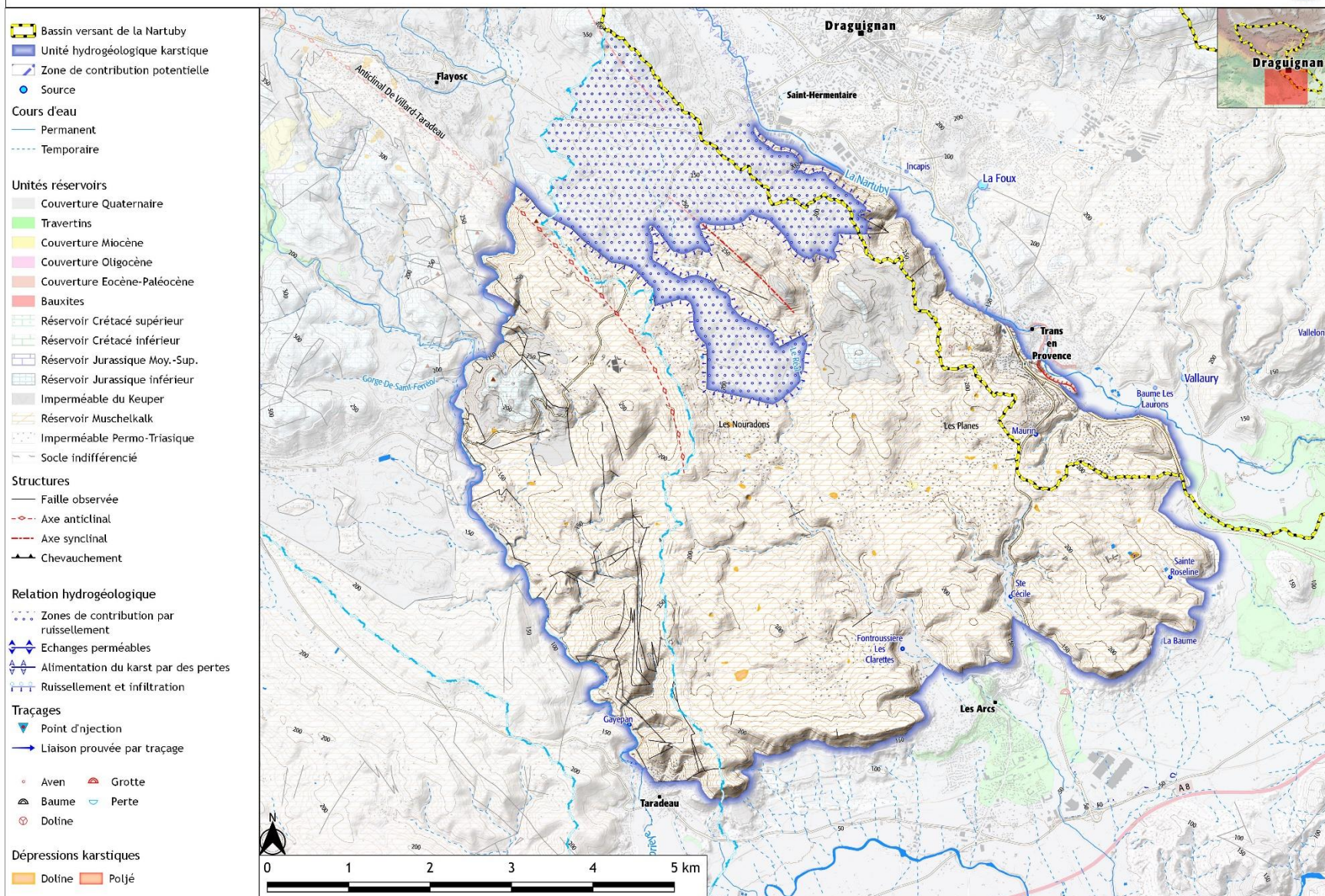


Figure 29 : Unité hydrogéologique karstique des Arcs.

## 4. SYNTHÈSE ET PRÉCONISATION

---

### 4.1. Structuration karstique des réservoirs aquifères

Le bassin versant de la Nartuby recèle de nombreux indices karstiques attestant de l'évolution des niveaux de base et de la structuration des réservoirs karstiques. Afin de définir un calage temporel à minima relatif, il nous a paru nécessaire d'élargir la zone d'étude et de s'intéresser notamment à la zone de Canjuers en relation avec le bassin de Valensole. La zone de Canjuers, qui constitue une unité hydrogéologique karstique à part entière, n'est pas traitée ici au sens de la caractérisation hydrogéologique car (1) elle ne participe pas au bassin de la Nartuby mais est drainée en direction du NW vers le verdon et les sources de Fontaine l'Evêque et Garruby aujourd'hui noyées sous le barrage de Sainte-Croix et (2) elle nécessite une étude à part entière de par sa superficie (près de 400 km<sup>2</sup>) et sa diversité géologique, hydrogéologique et karstologique.

#### 4.1.1. Etagement des niveaux de bases et organisations des structures de drainage

La position des niveaux de base successifs est attestée par la présence de paléo-surfaces qui se retrouvent plus ou moins bien conservées sur le bassin versant de la Nartuby ainsi que plus au nord et nord-est en direction des Plans de Canjuers (Figure 30). Ces surfaces se retrouvent principalement dans les niveaux carbonatés moins sensibles à l'érosion mécanique que les niveaux marno-gypseux du Keuper. Cinq niveaux d'aplanissements principaux sont identifiés :

- À 920 m, sur la bordure nord du BV de la Nartuby sur les plans de Canjuers et sur la bordure NE (Le Pierrion) ;
- À environ 850 m, elle se développe en contrebas de la première notamment dans le secteur au nord de la Magdeleine ;
- À environ 740 m, en contrebas de la surface à 850 m avec une migration vers le sud dans le secteur de Monferrat ;
- À environ 640 m, largement développée sur le plateau d'Ampus et qui se raccorde géométriquement au sommet du bassin tertiaire de Valensole dont les derniers témoins attestent d'un fonctionnement durant le plio-pléistocène (villafranchien 3 à 1 Ma) ;
- À environ 550 m emboîtée dans la surface à 640 m du plateau d'Ampus et qui se retrouve bien développée au nord de Régusse en relation géométrique avec les plateaux tertiaire au nord de Quinson ;

Chaque phase de développement de ces paléo-surfaces emboîtées correspond à un stade de stabilité du niveau de base propice au développement de vastes dépressions fonctionnant en poljés et à la concentration des eaux de surface. Par immunité karstique et entretien d'un fonctionnement hérité, les plus hauts poljés structurés à partir des surfaces sommitales, se retrouvent aujourd'hui en disposition "dinarique" c'est-à-dire largement perché au-dessus du niveau de base actuel (poljés de Canjuers, Lagne, Cluaye, Auveine, Hiesse, etc.). Ces paléo-poljés sont caractérisés par des surfaces de corrosion, une couverture discontinue de terra rossa, des dolines et canaux (i.e. couloirs d'altération labyrinthiques de surface, calqués sur la fracturation, dont la profondeur peut dépasser une vingtaine de mètres) et de nombreux avens. Le Grand Plan est situé à environ 870 m (au niveau du Grand Aven, ancien ponor) et s'emboîte dans la surface à 920 m sur laquelle apparaît un ancien niveau de corrosion (la Bastide-Neuve - 930 m) et des cônes rocheux (rock-fans) au débouché des ravins descendant du mont de La Colle (au N) (Mennessier, 1964 ; Nicod, 1967/68). Le nord du Petit Plan qui marque une surface à 850 a été recoupé par l'incision du Verdon.



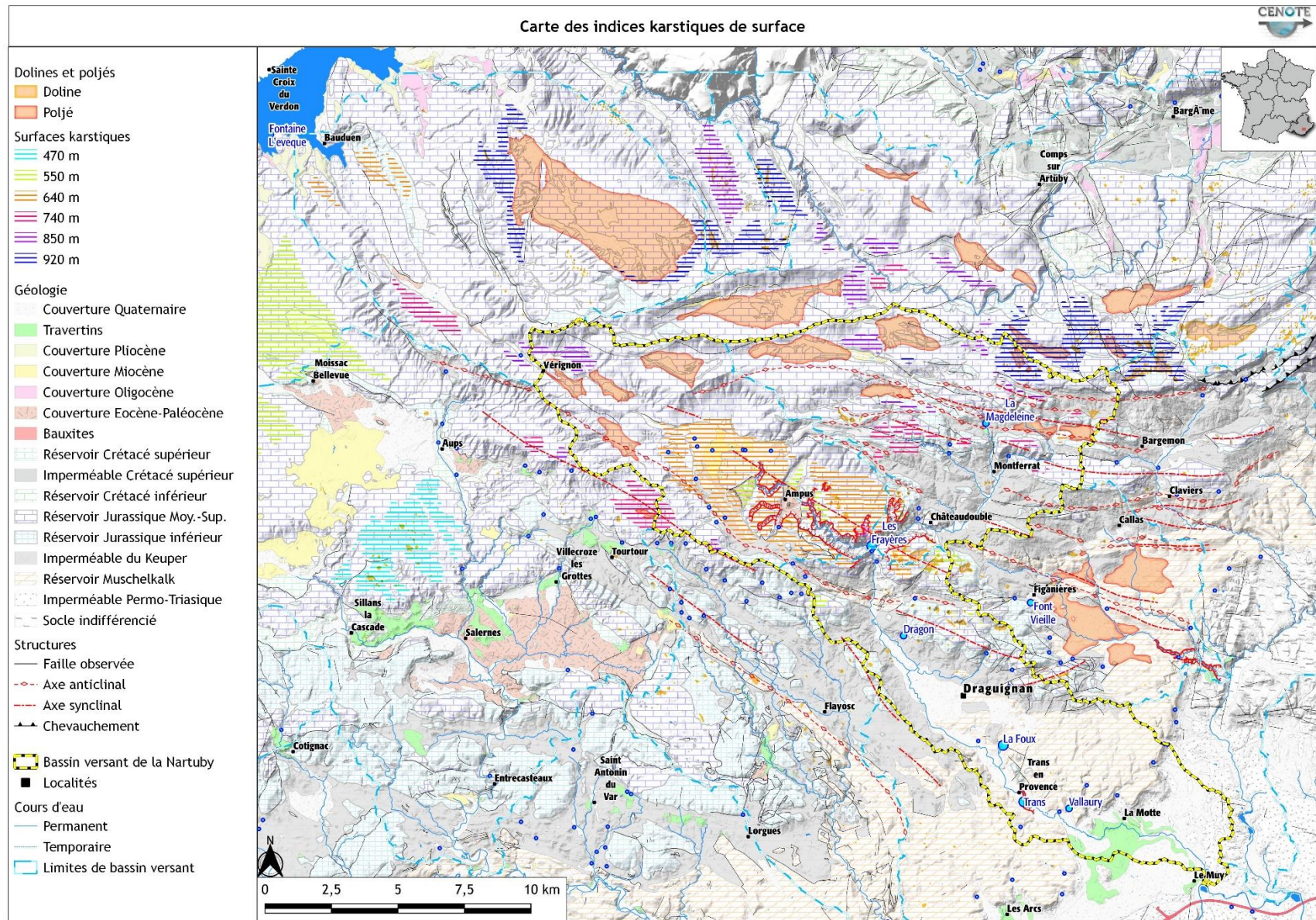


Figure 30 : Cartographie des surfaces d'aplanissements karstiques identifiées sur le secteur.



La réalisation des grands aplanissements sommitaux est à mettre en rapport avec les phases d'altération sous climats d'affinité tropicale de l'Éocène jusqu'au Miocène moyen, pendant les périodes de stabilité tectonique (Nicod, 1992). Durant cette phase les écoulements sont sensiblement SE-NW en direction du bassin de Valensole en formation et d'un paléo-Verdon rejoignant une paléo-Durance (Besson *et al.*, 2005 ; Grosjean, 2013). Les aplanissements sommitaux (vers 920 m) pourraient être hérités de cette phase.

Durant le Miocène terminal, l'impact de la crise de salinité messinienne (- 1500 m d'eau dans la Méditerranée) ne semble pas se traduire sur le BV de la Nartuby. Ce n'est que plus au sud-est dans la basse vallée de l'Argens que se retrouvent les témoins de vallées surcreusées au Messinien et envahies par la mer au Pliocène inférieur et transformées en rias. Mais cette incision ne semble pas s'être propagée loin dans les terres et son impact dans la structuration des réseaux karstiques sur le versant Dracénois paraît négligeable. Il en résulte que les réseaux de drainage ne sont pas structurés largement sous le niveau de base actuel dans cette zone. Mais cette crise se traduit au contraire au nord dans le bassin de Valensole et la vague d'érosion induite par la régression messinienne (5,9-5,3 Ma) dans le bassin de Valensole a eu comme conséquence l'abaissement des circulations karstiques (Clauzon *et al.*, 1987).

L'essentiel de l'organisation des chemins de drainage souterrain s'est effectué durant le Plio-quatenaire, phase durant laquelle le gradient évolue fortement. Cette organisation est en relation avec la tectonique alpine (phase rhodanienne) en compression NE-SW, induisant raccourcissement et exhaussement des unités, chevauchements et décrochements (Laurent *et al.*, 2000). Les niveaux de base sont alors contrôlés vers le sud par l'incision du réseau hydrographique et vers nord par le bassin de Valensole.

Au cours du Pliocène la sédimentation dans le bassin subsident de Valensole induit le blocage des circulations karstiques profondes, par remontée du niveau de base et colmatage durant le haut niveau de base Pliocène. La karstification bénéficie du développement de l'épikarst sous couverture pédologique, corréléable aux puissants sols rouges fersiallitiques intercalés dans la sédimentation du piémont de Valensole (Dubar, 1984) et aux minéralisations de fer du secteur Ampus-Monferrat.

Dans le secteur du Verdon l'abondance de galets calcaires dans les couches sommitales du piémont de Valensole, en face du débouché du Verdon, marque l'importance de l'érosion dans les calcaires jurassiques et la position du cours d'eau à la fin du Pliocène (Nicod, 2004).

La phase néotectonique du Pléistocène ancien, jouant en compression NE-SW, a surélevé le front subalpin, mais aussi les autres unités chevauchantes. Elle a entraîné un approfondissement des canyons et un abaissement du niveau des circulations hydrologiques sous les Plans. Le creusement du canyon du Verdon est contrôlé par l'encaissement du Verdon dans les basses et moyennes gorges et par le déblaiement du bassin des Salles, où le système des terrasses du Pléistocène moyen/récent marque les stades d'évolution (Nicod, 1967). Les surfaces alors portées en altitudes (920 à 640 m) sont soumises au soutirage karstique où se développe des champs de dolines, agencés suivant la fracturation héritée des phases tectoniques successives, et ouverte par un jeu général en distension et le processus de détente (Nicod, 2004). Dans les poljés et les ouvalas les vieux sols fersiallitiques (terra rossa) sont érodés et migrent à l'intérieur des réseaux karstiques. C'est durant cette phase Plio-Pléistocène que l'abaissement relatif du niveau de base engendre probablement la mise en place de la Nartuby, l'incision des gorges de Châteaudouble et la réorganisation des chemins de drainage. Les structures de drainage initialement structurées en direction du Verdon sont ici capturées par le cours de la Nartuby qui crée des fenêtres hydrogéologiques à la faveur des incisions dans les séries carbonatées. C'est ici le cas des sources apparaissant aux points bas des formations carbonatées en relation avec l'incision : la Magdeleine, Bivosque, et les Frayères et Ferrières. Ces sources constituent aujourd'hui des systèmes conquérants sur les réseaux de drainage initialement structurés en direction du verdon et des systèmes de Fontaines l'Evêque. Les gradients actuels beaucoup plus importants en direction de la Nartuby (gradient entre 5 et 9 % depuis les plans sud de Canjuers – Auveine, Cluaye, Hiesse, vers les sources de la Magdeleine et Les Frayères) qu'en direction de Fontaine l'Evêque (1 à 2 % pour les mêmes Plan en direction de Fontaine l'Evêque) sont en faveur de cette réorganisation des chemins de drainage suite à l'incision de la

Nartuby. Mais la géologie implique des remontées de Keuper imperméable dans l'axe des plis et chevauchements, ce qui suggère une compartimentation verticale de l'aquifère avec des phénomènes de seuil de débordement : en dessous d'une certaine cote le drainage se fait probablement vers Fontaine l'évêque, alors qu'en dessus les écoulements participent probablement aux sources du BV de la Nartuby et notamment des Frayères.

Le profil de la Nartuby est contraint par la nature des terrains rencontrés. Lorsque la Nartuby et/ou ses affluents se développent dans les terrains du Keuper il en résulte un déchaussement des massifs carbonatés sus-jacents. Ce déchaussement est quant à lui à l'origine des sources périphériques notamment celles du Malmont. Mais ce déchaussement rapide des massifs par érosion mécanique peut également être à l'origine de l'absence de réseaux de drainage bien structurés dans la mesure où l'évolution des versants est plus rapide que la structuration des chemins de drainage souterrains.

La dynamique de structuration karstique du réservoir Muschelkalk est en relation avec l'érosion et le recul de la couverture de Keuper. Au fur et à mesure de l'incision des réseaux hydrographiques de surface, l'érosion de la couverture de Keuper révèle des terrains karstifiables. Le ruissellement et la concentration des eaux sur les versants imperméables fournit l'énergie chimique nécessaire à la réalisation de vastes surfaces de corrosion tandis que l'érosion mécanique fournit les insolubles permettant un maintien d'une couverture peu perméable. Il en résulte la formation de poljés développés au contact Keuper-Muschelkalk (Figinières, Callas, Fayence, Montauroux). Ces poljés se sont structurés de manière endoréique ce qui nécessite l'absence des cours d'eau du Rioufreid et du vallon de la Bouisse ainsi que l'absence de la dépression SSW-NNE de La Motte-Esclan. Le drainage se faisait alors sensiblement du nord vers le sud depuis les pertes (ponors) de ces paléo-poljés vers un exutoire (La Foux ?) ou un paléo-exutoire le long du recoupement de ce réservoir par La Nartuby dans la zone de Trans-en-Provence. Les travertins de La Motte, associés des phases humides, interglaciaires, et datée de la fin du Pléistocène (Tyrrhénien  $\approx$  11ka) (Dubar, 1984 ; Toutin-Morin *et al.*, 1994) ont certainement un lien avec les circulations dans le réservoir Muschelkalk. En effet, leur position est en lien avec la présence de la source de la Foux ou un ancien exutoire du massif de Muschelkalk, dont le mélange des eaux en aval avec la Nartuby a provoqué la déstabilisation des équilibres calco-carboniques et engendré la mise en place et l'entretien de ces travertins. Ces travertins sont aujourd'hui entaillés par le cours d'eau et certains entablements se retrouvent 50 m au-dessus du cours actuel ce qui atteste des dynamiques d'incision des vallées durant le quaternaire.

#### 4.1.2. Incision des vallées et canyons

L'incision des vallées conditionne la position des points les plus bas de la topographie recoupant les réservoirs karstiques, c'est-à-dire la position du niveau de base local contrôlant l'organisation des structures de drainage endokarstiques. Les canyons karstiques sont creusés au sein même des réservoirs carbonatés ou les traversent lorsqu'ils possèdent un bassin versant amont. Cette configuration se retrouve au niveau des gorges de Châteaudouble où deux canyons karstiques confluent :

- Le canyon de la Nartuby traversant le réservoir carbonaté jurassique et séparant le massif de la Colle Pélade en rive gauche du massif du bois des Prannes en rive droite ;
- Le canyon karstique de la Nartuby d'Ampus affluent de la Nartuby en rive droite et incisant le réservoir jurassique.

Ces deux canyons s'enfoncent d'environ 300 m dans le massif jurassique. À leur confluence, la source des Frayères draine l'aquifère carbonaté se développant au nord-ouest vers Ampus et le plateau de Canjuers.

L'origine de ces canyons est à relier à l'abaissement relatif du niveau de base et l'enfoncement du réseau hydrographique provoqué par l'exhaussement tectonique Plio-Pléistocène du front sub-alpin (Laurent *et al.*, 2000). Il en résulte que l'incision de la Nartuby, entre les 600 m du plateau d'Ampus et les 280 m du fond des gorges de Châteaudouble, se soit effectuée depuis le Pléistocène ancien.

Les vallons développés dans les axes anticlinaux révèlent les affleurements de Keuper. Ces vallons, comme ceux du Verdos, La Tunis, la Font de l'Oumé peuvent être considérés comme des vallées périphériques des réservoirs carbonatés karstifiés. Ces vallons sont creusés par érosion différentielle des terrains meubles selon une dynamique d'érosion régressive qui aboutit au déchaussement des structures géologiques calcaires plus compétentes.

#### **4.2. Avis sur les réserves en eau et leur protection**

Dans un contexte où dans les pays méditerranéens, le karst est souvent la seule formation aquifère utilisable, la délimitation et la caractérisation des unités hydrogéologiques karstiques permet l'identification des territoires à prendre en compte dans une démarche de protection à long terme de la ressource en eau.

Sur le territoire du bassin versant de la Nartuby (232 km<sup>2</sup>), 10 unités hydrogéologiques karstiques ont été identifiées et caractérisées au vu des connaissances disponibles en termes de fonctionnement hydrogéologique et de structuration karstiques. La plupart des unités sont aujourd'hui partiellement ou totalement exploitées, cette notion étant dépendante du mode de gestion des aquifères (forage, captage gravitaire, gestion active). Seules les unités du Puy de la Sigüe et de la Foux sont pas ou peu exploitées. L'unité de la Foux présente des potentialités importantes en termes de ressource en eau mais est actuellement peu exploitée en raison de la composition chimique des eaux (chlorurée et sulfatées).

À l'échelle du bassin versant de la Nartuby les ressources en eau souterraines sont localisées dans les deux aquifères carbonatés karstiques du Jurassique et du Muschelkalk. Ces deux réservoirs sont séparés par un niveau considéré comme aquiclude, le Keuper marno-gypseux (Figure 4).

Les écoulements souterrains au sein du réservoir jurassique sont dirigés au niveau du Keuper sous-jacent, puis dans des directions contrôlées structurellement par des plis, et plus exactement par les gouttières synclinales, avec des zones de restitution situées aux points bas des contacts entre les carbonates et les formations imperméables. Les grandes failles sont susceptibles de jouer un rôle prépondérant dans le drainage des eaux souterraines dans la mesure où elles peuvent constituer, lorsqu'elles affectent la masse carbonatée, une fracturation plus importante qui augmente la connectivité des fractures et induit une perméabilité accrue.

À la base du réservoir jurassique, le rhétien calcaire et marneux, possède une perméabilité relative dans les strates calcaires et faible dans les passées marneuses. En raison de la fracturation d'origine tectonique, l'infiltration et les écoulements dans cette unité géologique rejoignent le contact avec le Keuper.

Certaines sources montrent des compositions essentiellement bicarbonatées calciques et magnésienne attestant d'un transit qui s'effectue principalement dans les terrains carbonatés. D'autres sources présentent des teneurs en sulfates élevées. La composition chimique et la disposition de ces sources au contact des terrains du Keuper traduit l'organisation de chemins de drainage selon des karst de contact développés entre les terrains du Keuper marno-gypseux et les terrains carbonatés sus-jacent (Keuper terminal, Rhétien ou jurassique inférieur).

Le keuper, puissante série argilo-marneuse et gypsifère, est imperméable. Certaines passées dolomitiques peuvent receler de petits aquifères généralement captifs, peu ou pas réalimentés car inclus dans la masse argileuse.

Stratigraphiquement en dessous et hydrogéologiquement en aval du Keuper, le réservoir du Muschelkalk se développe sur le contact avec le trias inférieur et le socle imperméable. Sur la rive gauche de la Nartuby l'hydrogéologie conditionnée par l'existence de deux zones d'émergence : (1) la Foux, émergence de débit moyen important (de l'ordre de 800 l/s) et de régime régulier, mais chargée en NaCl, et (2) une zone d'émergence plus diffuse entre Trans et La Motte. À ces deux zones d'émergences, on est obligé d'attribuer un impluvium très vaste et s'étendant loin vers le NE.



Dans ce réservoir, le problème est d'atteindre les circulations en amont des zones où s'opère la minéralisation. Selon Arvois *et al.* (1969), cette minéralisation s'effectuerait à proximité même de la zone d'émergence de la Foux dans le secteur des Négadis. Mais ce schéma ne permet pas d'expliquer le fonctionnement hydrogéologique de la Foux. Les paléo-poljés de Figanières et de Callas mis en place au contact des formations carbonatées du Muschelkalk suggèrent la structuration de réseaux de drainage en direction du sud, vers le cours de la Nartuby, contribuant au réservoir et ainsi l'existence de potentielles zones productives. Des études géologiques et hydrogéologiques sont nécessaires afin de mieux contraindre ce réservoir aux potentialités importantes.

L'alimentation des unités est de type soit unaire soit binaire. Les terrains du Keuper participent activement à la recharge des aquifères en aval versant via les ruissellements et pertes notamment pour les unités de La Foux, La Doux, Favas. L'unité d'Ampus-Frayères est alimentée par des pertes sur le cours de la Nartuby d'Ampus et pourrait l'être par des apports de la Nartuby à l'entrée des gorges de Châteaudouble. Ce fait serait à confirmer par des essais de traçage.

Dans une démarche de protection de la ressource, les relations entre les unités hydrogéologiques devront également être prises en considération de manière à anticiper d'éventuels flux de contaminations d'une unité à une autre. Ces relations concernent trois modalités principales :

- Par transfert de surface par ruissellement, concentration des eaux dans des pertes contribuant à la recharge d'une unité karstique en aval d'un bassin versant contributif. Ce type d'échange concerne particulièrement l'unité de la Foux ;
- Par transfert par fonctionnement à éclipse d'émergence d'une unité karstique amont contribuant à la recharge d'une unité karstique aval. Ce type d'échange concerne également en premier lieu l'unité de la Foux qui reçoit, via les pertes de la Nartuby, la contribution des sources des unités en amont, mais également l'unité des Frayères susceptible de recevoir la contribution des sources de bordure NE des unités d'Aups-Fontigon, du Puy de la Sigüe et potentiellement des pertes de la Nartuby (donc des unités de Magdeleine-Bivosque et La Doux)
- Par transfert souterrain d'une unité hydrogéologique karstique à une autre, par le biais de la structure géologique ou d'accidents tectoniques réutilisés par la karstification et les circulations souterraines comme cela est susceptible de se produire dans les unités situées au nord du BV de la Nartuby entre les unités d'Aups-Fontigon, Ampus-Frayères, Bivosque, Magdeleine et surtout la zone de partage des eaux souterraines au nord de ces unités dans laquelle le devenir des eaux peut être partagé entre le bassin de Fontaine l'Évêque et le bassin des Frayères.

Il apparaît ainsi que dans une démarche de sauvegarde des masses d'eau, les zones contributives devront être prises en considération. Par ailleurs, une analyse des modalités d'infiltration permettrait de définir des zones de priorité en termes de protection de la ressource, en définissant notamment des zones d'alimentation directe et rapide, des zones de contribution retardée ou tamponnée avec potentiellement des phénomènes de dilution ou de concentration et des zones d'alimentation par ruissellements. Notamment, l'importance des infiltrations directes des précipitations, auxquelles s'ajoutent les pertes des ruissellements de surface à leur traversée des reliefs calcaires, font des aquifères karstiques des ressources particulièrement vulnérables aux pollutions.

Les acquis concernant la connaissance hydrogéologique de unités sont très inégaux et leur caractérisation est pour l'essentiel en cours d'identification, y compris pour les secteurs les mieux étudiés comme le Malmont ou les Frayères. L'amélioration des captages passera nécessairement par une amélioration des connaissances sur les aquifères. Il est ainsi nécessaire d'évaluer les réserves potentielles, notamment des unités les plus intéressantes, dans un équilibre quantitatif de manière à ne pas impacter durablement les ressources

notamment au moyen de pompages et rabattements excessifs, sachant que l'intérêt principal des réservoirs karstiques est leur recharge rapide en cas de précipitations soutenues et leur capacité à la surexploitation saisonnière. Il convient donc d'évaluer lesquels de ces réservoirs présentent une ressource renouvelable cohérente avec leur exploitation durable.

En ce sens, deux types d'exploitation pourront être envisagés avec :

- Une exploitation gravitaire comme cela est actuellement le cas sur de nombreuses sources (Dragon, FontVieille, Frayères, Magdeleine, Béou Téou, Domaine, etc. ;
- Une exploitation par forage ou captage immergé (souterrain) et gestion active avec rabattement du niveau piézométrique. Dans ce type d'exploitation, des études complémentaires seront nécessaires afin d'évaluer les capacités des aquifères (recharge vs pompages) et l'impact de pompages sur de potentielles interconnexions entre aquifères notamment les relations entre rivière/nappe alluviale/karst dans la plaine de Draguignan.

### 4.3. Préconisations

Le caractère étendu du territoire et la disparité des unités hydrogéologiques s'est traduit par des études asynchrones et d'ampleurs inégales qui empêchent d'avoir une vision globale du fonctionnement à l'échelle du bassin versant de la Nartuby. Ainsi, si les caractères hydrogéologiques les plus importantes sont identifiés, un manque de données apparaît pour produire une approche quantitative des ressources.

Les perspectives à l'issue de cette première phase d'étude, concernent des investigations supplémentaires, notamment des acquisitions de terrain nécessaires afin d'affiner la phase d'identification et de compléter la connaissance sur certains secteurs complexes des réservoirs jurassiques et triasiques.

#### 4.3.1. Investigations complémentaires dans la zone de partage des eaux souterraines au nord du BV de la Nartuby

La zone nord du bassin versant de la Nartuby se situe sur une zone de partage des eaux entre 3 grande unités hydrogéologiques :

- Drainage de la majeure partie des plateaux de Canjuers vers les sources occidentales de Fontaine l'Evêque et des Garrubys, submergée par la retenue de Sainte Croix ;
- Drainage de la partie orientale du massif vers les sources de la Siagnole de Mons avec un débit d'étiage de 300 l/s ;
- Drainage de la partie Sud du massif vers plusieurs exutoires jalonnant le contact frontal avec le Trias (Magdeleine, Bivosque, Frayères).

En l'absence de traçage dans cette zone, il est difficile de dresser des limites de bassin d'alimentation des unités hydrogéologiques karstiques, notamment ce qui transite vers les Frayères et la Magdeleine ou ce qui alimente Fontaine l'Evêque. Les limites proposées ici s'appuient sur la bibliographie et sur un avis géologique, hydrogéologique et karstologique. Ces limites sont à confirmer par des essais de traçages et si possible par des essais de bilans et modélisations globale pluie/débit afin de valider l'extension des bassins d'alimentation. Mais un ou des traçages dans cette zone nécessiterait un important dispositif de suivi, à la fois versant Verdon et à la fois versant Nartuby. Une alternative serait dans un premier temps de valider le traçage peu documenté du Plan d'Hiesse de 1973. Ce traçage pose en effet question dans la mesure où la structure géologique fait remonter le Keuper entre le Plan d'Hiesse et les Frayères. La validation de ce traçage permettrait d'obtenir des données plus robustes sur le cheminement des eaux souterraines dans ce secteur qui peuvent s'effectuer selon deux cheminements différents :

- Injection au Plan d'Hiesse et restitution directe au Frayères ;
- Injection au Plan d'Hiesse, restitution à Bivosque ou Magdeleine, transit en surface dans le cours de la Nartuby et pertes aboutissant aux Frayères ;

Cette validation peut être envisagée de manière indirecte dans un premier temps par un traçage relativement simple entre les pertes dans l'amont des gorges de Châteaudouble et les Frayères.

Ce traçage permettrait également d'apporter des éléments sur le bassin d'alimentation des Frayères (prise en compte ou non du cours amont de la Nartuby dans l'alimentation) et de confirmer ou d'infirmier l'individualisation du compartiment jurassique en rive gauche de la Nartuby (via la faille SW-NE à l'W de Châteaudouble) et

#### 4.3.2. Investigations complémentaires sur le réservoir du Muschelkalk

Le réservoir du Muschelkalk n'a été que peu étudié au vu des enjeux qu'il représente. Quelques études se sont focalisées sur la plaine de la Nartuby à Draguignan mais peu sur la partie NE de l'unité ce qui limite à une vision restreinte et non globale de cet aquifère où des incertitudes subsistent (§ 3.11).

Il est possible que cet aquifère soit compartimenté avec deux réservoirs plus ou moins individualisées (supérieur et inférieur). Alors que le réservoir supérieur est fortement minéralisé (source de la Foux) et impropre à la consommation, les eaux transitant probablement dans le réservoir inférieur apparaissent moins minéralisées. Cette compartimentation pourrait être en lien avec la stratigraphie du Muschelkalk où l'unité E marno-évaporitique serait susceptible de créer un écran peu perméable sauf en faveur d'accidents tectoniques. Cet écran serait également susceptible de guider les écoulements souterrains du compartiment supérieur qui se feront principalement au toit de cette unité E selon une disposition de karst de contact.

Une étude devrait être menée sur ce réservoir avec notamment :

- Un ou des traçages dans les ruisseaux de Rioufreid et du Riou de Clavier où les eaux peuvent sensiblement se perdre dans les talwegs et rejoindre le réservoir triasique pour ressortir à la Foux et/ou dans les zones de résurgence entre Trans-en-Provence et La Motte. La zone d'injection des traceurs devra être identifiée en amont par observation visuelle ;
- Suivis piézométriques de la nappe et du réservoir du Muschelkalk à la fois dans le compartiment supérieur et le compartiment inférieur. Ces suivis sont destinés à mettre en évidence la présence ou l'absence des deux compartiments réservoirs suspectés et de définir leurs interactions ;
- La détermination de la géométrie du toit des carbonates du Muschelkalk et de son interaction avec les alluvions de la plaine de la Nartuby au niveau de Draguignan de manière à mieux identifier les interactions entre rivière/nappe alluviale/karst. Cette détermination pourrait être réalisée par méthode géophysique sismique avec calibration par sondage ;

#### 4.3.3. Acquisition de données sur le fonctionnement hydrogéologiques des aquifères karstiques

L'analyse de paramètres physico-chimique comme la température, la conductivité et les débits sont classiquement utilisées en hydrogéologie afin de décrire le fonctionnement des systèmes karstiques (Mangin, 1975 ; Fournillon, 2012 ; Baudement, 2018). L'acquisition de données harmonisées et comparables à l'échelle du bassin versant sur les différentes unités hydrogéologiques permettrait d'affiner la compréhension de leur fonctionnement.

Dans les unités drainées vers plusieurs exutoires de bordure, des investigation complémentaires peuvent être envisagées (campagne de suivi physico-chimique, débit et traçage) afin de mieux individualiser les aires d'alimentation et les zones de protection à mettre en œuvre. Dans cette optique une cartographie des modalités d'infiltration permettrait également d'appréhender les conditions de recharge des aquifères et de prioriser les mesures à mettre en œuvre, en définissant notamment des zones d'alimentation directe et rapide, des zones de contribution retardée ou tamponnée avec potentiellement des phénomènes de dilution ou de concentration et des zones d'alimentation par ruissellements.

La réalisation de mesure de débit en continu permettrait également de (1) caractériser la variabilité des écoulements, (2) de mieux caractériser le fonctionnement des aquifères, et (3) d'aboutir à des modélisations globales pluies/débits afin d'estimer les réserves potentiellement mobilisables de manière durable pour chaque unités (Baudement *et al.*, 2018 ; Joves *et al.*, 2018).



## BIBLIOGRAPHIE

---

- Arthaud, F., Matte, P., 1975. Les décrochements tardi-Herciniens du Sud-Ouest de l'Europe. *Geométrie et essai de reconstitution des conditions de la déformation*. *Tectonophysics*, 25, 139-171.
- Arthaud, F., Megard, F., Seguret, M., 1977. Cadre tectonique de quelques bassins sédimentaires. *Bulletin du Centre de Recherche d'Exploration et de Production Elf-Aquitaine*, 1(1), 147-188.
- Arvois, R., Cova, R., Durozoy, G., Gouvernet, C., Olivo, C., 1969. Etude hydrogéologique du Nord-Est Varois, BRGM.
- Baudement, C., 2018. Évaluation des capacités d'écoulement et de stockage d'un aquifère karstique dynamique par caractérisation géologique et modélisation pluie-débit. Sources de Dardennes, Toulon, France. PhD, Aix-Marseille université.
- Baudement, C., Arfib, B., Mazzilli, N., Jouves, J., Lamarque, T., Guglielmi, Y., 2018. Groundwater management of a highly dynamic karst by assessing baseflow and quickflow with a rainfall-discharge model (Dardennes springs, SE France). *B Soc Geol Fr*, 188(6), 40, doi:10.1051/bsgf/2017203.
- Bertrand, R., 1956. Ville de Draguignan. Essais de coloration des eaux de la Nartuby au point Riou Blanc., Labor. Essais et mesures - Chambre de Comm. de Marseille
- Besson, D., Parize, O., Rubino, J.-L., Aguilar, J.-P., Aubry, M.-P., Beaudoin, B., Berggren, W.A., Clauzon, G., Crumeyrolle, P., Dexcoté, Y., Fiet, N., Iaccarino, S., Jiménez-Moreno, G., Laporte-Galaa, C., Michaux, J., von Salis, K., Suc, J.-P., Reynaud, J.-Y., Wernli, R., 2005. Un réseau fluvial d'âge Burdigalien terminal dans le Sud-Est de la France : remplissage, extension, âge, implications. *Comptes Rendus Geoscience*, 337(12), 1045-1054, doi:10.1016/j.crte.2005.05.009.
- Bestani, L., 2014. Géométrie et cinématique de l'avant-pays provençal : Modélisation par coupes équilibrées dans une zone à tectonique polyphasée. PhD, Aix-Marseille Université, 246 pp.
- Campredon, R., 2015. Délimitation des périmètres de protection des points d'eau utilisés pour l'alimentation en eau potable. Source de la Madeleine., Département du Var. SIVOM DE CALLAS.
- CDS83, 2020. Fichier des cavités du Var.
- Champion, C., Choukroune, P., Clauzon, G., 2000. La déformation post-Miocène en Provence occidentale. *Geodynamica Acta*, 13, 67-85.
- Chorowitz, J., Mekarina, A., 1992. Mise en évidence d'une extension apto-albienne orientée NW-SE en Provence (SE de la France). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 315(2), 861-886.
- Clauzon, G., 1973. The eustatic hypothesis and the pre-Pliocene cutting of the Rhône valley. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 13(2), 1251-1256.
- Clauzon, G., 1978. The Messinian Var canyon (Provence, Southern France)—paleogeographic implications. *Marine Geology*, 27(3), 231-246.
- Clauzon, G., Aguilar, J.-P., Michaux, J., 1987. Mise en évidence d'un diachronisme de 5 Ma dans le mur de la formation conglomératique de Valensole. *CR Acad. Sci. Paris*, 305(2), 133-137.
- Clauzon, G., Suc, J.-P., Gautier, F., Berger, A., Loutre, M.-F., 1996. Alternate interpretation of the Messinian salinity crisis: Controversy resolved? *Geology*, 24(4), 363-366.
- Cova, R., 1974. Commune de Draguignan - AEP - Orientation des recherches d'eau - DDA.
- Cova, R., 1975. Commune de Draguignan - Alimentation en eau - Nouvelles données sur les sources du Dragon et des Frayères, Direction Départementale de l'Agriculture du Var.
- Cova, R., Durozoy, G., 1980. Carte hydrogéologique au 1/200 000 : Département du Var. In: BRGM (Ed.).
- Cova, R., 1990. Ville de Draguignan -AEP- Recherches en eau- compte rendu des travaux de recherche et de mise en exploitation - Cellule géologique départementale.
- Dubar, M., 1984. Les malacofaunes terrestres quaternaires de la région de Nice (Alpes-Maritimes, France); contribution biostratigraphique à l'étude du dernier interglaciaire dans le Midi de la France. *Revue de paléobiologie*, 3(2), p. 223-233.
- Dubois, C., Quinif, Y., Baele, J.M., Barriquand, L., Bini, A., Bruxelles, L., Dandurand, G., Havron, C., Kaufmann, O., Lans, B., Maire, R., Martin, J., Rodet, J., Rowberry, M.D., Tognini, P., Vergari, A., 2014. The process of ghost-rock karstification and its role in the formation of cave systems. *Earth-Science Reviews*, 131, 116-148, doi:10.1016/j.earscirev.2014.01.006.
- Ducluzaux, M.B., 2017. Étude du ruissellement et de l'écrêtement des crues à Draguignan. Etude géologique, karstologique et hydrogéologique - Traçages des eaux souterraines, EKS Hydrogéologie.
- Durozoy, G., 1972. Alimentation en eau de Draguignan. Recherche d'un complément de ressources possible aux Frayères, BRGM, 16 p.

- Etienne, M., 1987. Les sources de la Siagnole-de-Mons : Contribution à l'étude des sources et du bassin d'alimentation - Etude et carte de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. . PhD, Université du Languedoc.
- Fournillon, A., 2012. Modélisation géologique 3D et hydrodynamique appliquées aux réservoirs carbonatés karstiques : caractérisation des ressources en eau souterraine de l'Unité du Beausset (Var et Bouches-du-Rhône, SE France). PhD, Aix-Marseille.
- Gattacceca, J., Deino, A., Rizzo, R., Jones, D.S., Henry, B., Beaudoin, B., Vadeboin, F., 2007. Miocene rotation of Sardinia: New paleomagnetic and geochronological constraints and geodynamic implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 258(3-4), 359-377, doi:10.1016/j.epsl.2007.02.003.
- Glantzboeckel, C., Syssau, A., 1974. Etude géologique et hydrogéologique du Domaine des Treilles. Tourtout-Flayosc, BRGM, 60 p.
- Gouvernet, C., Bertrand, R., 1969. Sur quelques caractères des circulations karstiques mis en évidence par un essai de coloration effectué dans les gorges de la Nartuby au Nord de Draguignan (Var). *spelunca Mem.*, 6, 18-29.
- Grosjean, A.-S., 2013. Paléoréseaux hydrographiques et paléoreliefs en période de tectonique active : l'Eocène-Miocène basal (45-20 Ma) du bassin du SE de la France, témoin de la formation des Alpes occidentales. PhD, Université Claude Bernard - Lyon I.
- Guyonnet-Benaize, C., Lamarche, J., Masse, J.P., Villeneuve, M., Viseur, S., 2010. 3D structural modelling of small-deformations in poly-phase faults pattern. Application to the Mid-Cretaceous Durance uplift, Provence (SE France). *J Geodyn*, 50(2), 81-93, doi:10.1016/j.jog.2010.03.003.
- Hennuy, J., 2003. Sédimentation carbonatée et silicoclastique sous contrôle tectonique, le Bassin Sud-Provençal et sa plate-forme carbonatée du Turonien moyen au Coniacien moyen : évolution séquentielle, diagénétique, paléogéographique PhD, Université de Provence.
- Hippolyte, J.-C., Angelier, J., Bergerat, F., Nury, D., Guieu, G., 1993. Tectonic-stratigraphic record of paleostress time changes in the Oligocene basins of the Provence, southern France. *Tectonophysics*, 226(1-4), 15-35.
- Jouves, J., 2018. Origine, caractérisation et distribution prédictive des structures karstiques. De la karstologie aux modèles numériques 3D. PhD, Aix-Marseille Université, 256 pp.
- Jouves, J., Arfib, B., Camus, H., 2018. Synthèse des résultats du projet Dardennes, recommandations et scénarios de gestion de la ressource en eau de l'aquifère karstique de Dardennes-Siou-Blanc, Cenote & Aix-Marseille université.
- Jouves, J., 2020. Diagnostic karstologique du massif du Malmont - Draguignan (Var). Implications sur la solution alternative de "dolines d'infiltration sur le Malmont", CENOTE, 42 p.
- Laurent, O., Stephan, J.-F., Popoff, M., 2000. Modalités de la structuration miocène de la branche sud de l'arc de Castellane (chaînes subalpines méridionales). *Géologie de la France*, 3(33-65).
- Laville, P., 1981. La formation bauxitique provençale (France). Séquence des faciès chimiques et paléomorphologie Crétacé. *Chronique de la recherche minière.*, 51-68 p.
- Le Pichon, X., Bergerat, F., Roulet, M.-J., 1988. Plate kinematics and tectonics leading to the Alpine belt formation; a new analysis. *Geological Society of America Special Papers*, 218, 111-132.
- Lemoine, M., Mennessier, G., 1963. Notice des cartes géologiques de la France au 1/50 000. Feuille de Salerne. In: BRGM (Ed.).
- Lemperière, P., 1997. Camp de Canjuers. Géologie structurale, hydrogéologie et définition des zones sensibles. Rapport pour la Circonscription Militaire de défense de Marseille.
- Maison-Régionale-de-l'Eau, 2016. Rapport d'étude. Les sources triasique en PACA., Maison Régionale de l'Eau, 169 p.
- Mangan, C., 2003. Commune de Draguignan - captage utilisé pour l'AEP - Définition des périmètres de protection de la source des Frayères.
- Mangin, A., 1975. Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques PhD, Laboratoire souterrain du Centre national de la recherche scientifique, *Annales de Spéléologie* 49 pp.
- Masse, J.P., Villeneuve, M., Leonforte, E., Nizou, J., 2009. Block tilting of the North Provence early Cretaceous carbonate margin: stratigraphic, sedimentologic and tectonic data. *B Soc Geol Fr*, 180(2), 105-115.
- Mauffret, A., Gorini, C., 1996. Structural style and geodynamic evolution of Camargue and Western Provençal basin, southeastern France. *Tectonics*, 15(2), 356-375 %@ 1944-9194.
- Mennessier, G., 1957. Les dolines d'effondrement de Draguignan (Var). *Annales de spéléologie*, XII, 65-69.
- Mennessier, G., 1959. Etude tectonique des confins alpino-provençaux entre le Verdon et l'Argens. *Mém. Soc. Géol. de Fr.*, 10, 174.
- Morin, D., 1998. Vaucluse - Hautes-Alpes - Alpes-de-Haute-Provence. Mines et métallurgie du fer en Provence et dans les Alpes du sud. *Archéologie médiévale*, 28, 322-324.

- Nicod, J., 2004. Présentation du bloc-diagramme : Grand Canyon du Verdon. *Méditerranée*, 102(1), 17-24, doi:10.3406/medit.2004.3335.
- Rivet, F., Cary, L., Mathon, C., Thiébaud, E., Giroux, H., 2014. Analyse des phénomènes de dissolution du gypse et de leur lien avec l'aléa effondrement - Commune de Draguignan, BRGM et CEREMA.
- Rousset, C., 1973. Rôle de la karstologie dans l'élaboration des reconstitutions paléogéographiques : les cycles karstiques en Provence. *Revue de géographie physique et de géologie dynamique*, 15(3), 273-294.
- Rudkiewicz, J.L., 1988. Quantitative subsidence and thermal structure of the European continental margin of the Tethys during early and middle Jurassic Times in the Western Alps (Grenoble-Briançon transect). *B Soc Geol Fr*, 8(4), 623-632.
- Ryan, W.B.F., 1976. Quantitative evaluation of the depth of the western Mediterranean before, during and after the late Miocene salinity crisis. *Sedimentology*, 23(6), 791-813.
- Stampfli, G.M., Borel, G.D., Marchant, R., Mosar, J., 2002. Western Alps geological constraints on western Tethyan reconstructions. *Journal of the Virtual Explorer*, 8, 77.
- Tapoul, J.F., Cova, R., 2003. Hydrogéologie des plans de Canjuers. Note technique de la cellule géologique départementale. Direction départementale de l'agriculture et de la forêt du Var.
- Tempier, C., 1987. Modèle nouveau de mise en place des structures provençales. *B Soc Geol Fr*, 3(3), 533-540.
- Therond, R., 1972. Recherche sur l'étanchéité des lacs de barrage en pays karstique., Eyrolles, 444 p.
- Toutin-Morin, N., Bonijoly, D., Brocard, C., Broutin, J., Crévola, G., Dardeau, G., Dubar, M., Féraud, J., Giraud, J.-D., Godefroy, P., Laville, P., Meinesz, A., 1994. Notice explicative de la Carte géologique de la France à 1/50 000 - Feuille de Fréjus-Cannes - 1024 (2ème Ed.).





Sarl au capital de 7 500 euros.

Siège social : 1 chemin de Valdegour, 30 900 NIMES  
N° SIREN 482 648 748 ; N° SIRET 482 648 748 00010 ;  
N° TVA IC : FR 964 826 487 480 0010