



© Hervé Tainton



Rapport de phase 1

ETUDE DES ZONES DE SAUVEGARDE DES MASSES D'EAU SOUTERRAINES

PRÉ-IDENTIFICATION DES ZONES DE SAUVEGARDE
À L'ÉCHELLE DU PARC



SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	13
1.1 DEFINITION DE LA MISSION.....	13
1.1.1 Contexte administratif	13
1.1.2 Objectifs	16
1.1.3 Périmètre de l'étude.....	17
1.1.4 Elements de méthode	21
1.1.5 Phasage de l'étude.....	23
1.1.6 Contenu du rapport.....	23
1.2 SPECIFICITE DES MILIEUX KARSTIQUES	25
1.2.1 Notions fondamentales	25
1.2.2 Structure des karsts.....	26
1.2.3 Comportement hydrogéologique des karsts	27
2. LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE	31
2.1 IDENTIFICATION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES.....	31
2.1.1 Où sont localisés les unités hydrogéologiques ?.....	31
2.1.2 Comment sont-elles alimentées ?.....	67
2.1.3 Quelles relations ont-elles avec les cours d'eau ?.....	77
2.2. QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES	81
2.2.1 Des eaux de bonne qualité	81
2.2.2 Problématique du biseau sale.....	88
2.3 VULNERABILITE DES EAUX SOUTERRAINES	91
2.3.1 Etat de surface.....	91
2.3.2 Epaisseur de la zone non saturée.....	92
2.3.3 Dynamiques d'infiltration des eaux superficielles	93
2.4. USAGES DES SOLS ET MENACES POTENTIELLES POUR LA QUALITE	94
2.4.1 Usages actuels du sol.....	95
2.4.2 Voies de communication et de transport	101
2.4.3 Décharges et carrières	105
2.4.4 Activités industrielles	107
2.4.5 Activités agricoles	111
2.4.6 Les rejets de stations d'épuration.....	117

3. LES BESOINS ACTUELS EN EAU POTABLE 119**3.1 PRELEVEMENTS POUR L'INDUSTRIE..... 119****3.2 PRELEVEMENTS POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE 121**

- 3.2.1 Ressources en eaux de surface en lien avec les ressources en eaux souterraines locales 121
- 3.2.2 Ressources en eau de surface importées de bassins versants sans relation avec les eaux souterraines locales 123
- 3.2.3 Ressources locales en eau souterraines 125

4. LES BESOINS FUTURS EN EAU POTABLE..... 144**4.1 NOTRE APPROCHE..... 144**

- 4.1.1 Elements de méthode 144
- 4.1.2 Prospectives existantes 148
- 4.1.3 Informations sur les difficultés de production sur les captages existants..... 153

4.2 PROSPECTIVES POUR 2030 155

- 4.2.1 Evolution attendue de la population 155
- 4.2.2 Les besoins supplémentaires en eau potable 156

4.3 PROSPECTIVES POUR 2050 157

- 4.3.1 Evolution de population..... 157
- 4.3.2 Evolution des besoins en eau potable..... 158

5. QUELLES RESSOURCES FAUT-IL PRESERVER POUR LE FUTUR ? 159**5.1 POURQUOI FAUT-IL METTRE EN PLACE DES ZONES DE SAUVEGARDE ? 160**

- 5.1.1 Un besoin de protection renforcée des eaux souterraines de bonne qualité mais très vulnérables 160
- 5.1.2 Un besoin de protection des champs captants existants pour satisfaire les besoins à l'horizon 2030 161
- 5.1.3 Des besoins émergents qui pourraient justifier une exploitation augmentée des ressources locales à moyen terme 162

5.2 QUELLES ZONES DE SAUVEGARDE ? 163

- 5.2.1 Plateau de Siou Blanc..... 164
- 5.2.2 Pilon St Clément 166
- 5.2.3 Massif d'Agnis 168
- 5.2.4 Montagne de la Loube 170
- 5.2.5 Plateaux du versant Nord de la Sainte Baume..... 172
- 5.2.6 Montagne de la Lare..... 175
- 5.2.7 Mont Aurélien et mont Olympe 177
- 5.2.8 Plateaux du versant Sud de la Sainte Baume..... 179
- 5.2.9 Massif des gorges d'Ollioules 182

5.3 DELIMITATION DES ZONES DE SAUVEGARDE	184
5.3.1 Principes méthodologiques.....	184
5.3.2 Proposition d'un schéma global de mobilisation et de protection des eaux souterraines	185
5.4 CONTRAINTES LIEES AUX DOCUMENTS D'URBANISME ACTUELS	195
5.4.1 Récolte des données d'urbanisme.....	195
5.4.2 Structuration des données d'urbanisme.....	196
5.4.3 Documents d'urbanisme et mise en place des zones de sauvegarde.....	204
6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	211
7. ANNEXES.....	218
7.1 DESCRIPTION DES MASSES D'EAU SELON LE REFERENTIEL AGENCE DE L'EAU.....	218
7.2 ANALYSE KARSTOLOGIQUE DU MASSIF DE LA SAINTE BAUME	223
7.3 DETAILS DES DETECTIONS DES SUBSTANCES INDESIRABLES DANS LES ANALYSES DES QUALITOMETRES (BD ADS)	316
7.4 DONNEES UTILESEES POUR LES PROSPECTIVES SUR LES EVOLUTIONS DE POPULATION...320	
7.4.1 Horizon 2030	320
7.4.2 Horizon 2050	323

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Délimitation du périmètre d'étude (extrait du CCTP).....	17
Figure 2 : Périmètre du PNR et principaux cours d'eau.....	18
Figure 3 : Organisation d'un karst (d'après Agence de l'Eau RMC « Bilan et analyse de la mise en œuvre des périmètres de protection des captages AEP en milieu karstique »).....	26
Figure 4 : Système unaire et binaire (Marsaud, 1996).	28
Figure 5 : Schéma fonctionnel conceptuel des aquifères karstique (Mangin, 1975).	29
Figure 6 : Exemple de niveaux superposés de réseaux karstiques (in Dorfliger et al., 2010).	30
Figure 7 : Localisation des unités hydrogéologiques individualisées.....	32
Figure 8 : Synthèse stratigraphique de l'Unité du Beausset (d'après Fournillon, 2012).....	34
Figure 9 : Unité karstique du plateau de Siou Blanc.....	36
Figure 10 : Coupe schématique de la configuration des sources et du barrage de Dardennes (d'après CENOTE 2018, modifié d'après les relevés de J.P. Lucot, T. Lamarque, P. Maurel et spéléo-plongeurs).....	37
Figure 11 : Unité karstique du Pilon St Clément.	38
Figure 12 : Source - commune de Néoules.....	39
Figure 13 : Unité hydrogéologique du massif d'Agnis.....	40
Figure 14 : Unité hydrogéologique de la Montagne de la Loube.....	42
Figure 15 : Val de Camps.....	43
Figure 16 : Rejet au Caramy des eaux de la résurgence de l'Eouvière.	44
Figure 17 : Unité karstique des plateaux du versant Nord de la Sainte Baume.....	45
Figure 18 : Coupe géologique schématique du plateau de Mazaugues (d'après HYDROFIS, 2007).	46
Figure 19 : grandes unités géologiques du plateau de Mazaugues avec position des mines.	47
Figure 20 : Séries hétérogènes du Santonien (a) Vue d'ensemble ; (b) Exemple de fracture.....	48
Figure 21 : Conditions d'alimentation et d'exutoire de l'unité karstique du plateau de Mazaugues (Hydrofis, 2007). .	50
Figure 22 : Situation hydrogéologique de l'unité karstique de la Foux de Nans.....	51
Figure 23 : Coupe illustrative du contexte géologique à grande échelle (Julian & Nicod, 1989, in Mazet & Nicod 2012).	52
Figure 24 : Coupe géologique schématique du Plan d'Aups.	53
Figure 25 : Unité hydrogéologique de la Montagne de la Lare.	55
Figure 26 : Unité hydrogéologique des monts Olympe et Aurélien.....	58
Figure 27 : Coupe NW-SE traversant le Trias de l'Huveaune (Antea, étude hydrogéologique sur Auriol, 1998).....	59
Figure 28 : Unité hydrogéologique des plateaux du versant Sud de la Sainte Baume.....	61
Figure 29 : Plan et coupe de la galerie de Port-Miou (d'après Durozoy et Paloc, 1966).....	62
Figure 30 : Données piézométriques extrapolées sur l'unité des plateaux du versant Sud du massif de la Sainte Baume (d'après Fournillon, 2012).....	64
Figure 31 : Unité hydrogéologique du massif des Gorges d'Ollioules.....	65
Figure 32 : Unités hydrogéologiques et alimentation par pertes des cours d'eau.	67
Figure 33 : Calcul des paramètres météorologiques pour les stations de METEO France proches du périmètre d'étude (d'après Cavallera, 2007).....	68

Figure 34 : Estimation des modules d'infiltration spécifique sur la base des données historiques (d'après Cavallera, 2007).	69
Figure 35 : Augmentation des températures su la station de Marseille-Marignane (données METEO FRANCE).....	70
Figure 36 : Effet ciseau sur la température de l'augmentation de la température.....	71
Figure 37 : Variabilité de la recharge des nappes en fonction des saisons.	72
Figure 38 : Variations de pluie efficace sur le bassin Rhône Méditerranée Corse selon 6 projections climatiques pour un horizon proche	73
Figure 39 : Carte de l'évolution potentielle de la recharge à l'échelle du bassin Rhône Méditerranée Corse (d'après Caballero et al., 2016). Zoom sur le PNR.	74
Figure 40 : Estimation de la recharge par infiltration des eaux de pluie des unités karstiques.....	75
Figure 41 : Fonctionnement hydrogéologique d'un système karstique (d'après Legay, 2013)	76
Figure 42 : Débits de l'Huveaune aux trois stations de mesure entre 2015 et 2018.....	79
Figure 43 : Différentiels de débit de l'Huveaune entre Roquevaire et St Zacharie entre 2015 et 2018.....	80
Figure 44 : Différentiels de débit de l'Huveaune entre Aubagne et Roquevaire entre 2015 et 2018.	80
Figure 45 : Caractéristiques des qualimètres.	82
Figure 46 : Concentrations en calcium et magnésium mesurées sur les qualimètres.....	83
Figure 47 : Concentrations en sulfates et chlorures mesurées sur les qualimètres.....	84
Figure 48 : Schématisation d'un biseau salé dans un aquifère homogène.....	88
Figure 49 : Modalités de salinisation des karsts littoraux (Arfib, 2005).	89
Figure 50 : Concentrations en sulfates et chlorures mesurées sur les qualimètres (Communication orale – T. Garin).90	
Figure 51 : Unités hydrogéologiques et épaisseur de la zone non saturée.	92
Figure 52 : Usages au sol actuels du massif de la Sainte Baume (zone Nord-Est).	96
Figure 53 : Usages au sol actuels du massif de la Sainte Baume (zone Nord-Ouest).	97
Figure 54 : Usages au sol actuels du massif de la Sainte Baume (zone Sud-Est).	99
Figure 55 : Usages au sol actuels du massif de la Sainte Baume (zone Sud-Ouest).	100
Figure 56 : Voies de communication principales et unités hydrogéologiques.....	103
Figure 57 : Carte des voies de communication principales et unités hydrogéologiques.....	104
Figure 58 : Carrières et décharges dans le massif de la Sainte Baume.	106
Figure 59 : Sites BASOL et BASIAS dans le massif de la Sainte Baume.	109
Figure 60 : Type d'agriculture sur les unités hydrogéologiques de la Lare et des Monts Aurélien et Olympe.	112
Figure 61 : Type d'agriculture sur les unités hydrogéologiques du massif d'Agnis, de la Montagne de la Loube et du Pilon St Clément	113
Figure 62 : Type d'agriculture sur l'unité hydrogéologique des plateaux du versant Nord du massif de la Sainte Baume.	114
Figure 63 : Type d'agriculture sur l'unité hydrogéologique des plateaux du versant Sud du massif de la Sainte Baume.115	
Figure 64 : Type d'agriculture sur les unités hydrogéologiques du massif de Siou Blanc et des gorges d'Ollioules....	116
Figure 65 : Unités karstiques et rejets de stations d'épuration.	117
Figure 66 : Volumes prélevés pour l'industrie dans le massif d'Agnis (données Agence de l'Eau).....	119
Figure 67 : Volumes prélevés pour les carrières (données Agence de l'Eau).	120
Figure 68 : Volumes prélevés pour l'AEP cumulé par origine (données Agence de l'Eau).....	122

Figure 69 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité du Plateau de Siou Blanc.	125
Figure 70 : Volumes prélevés pour l'AEP dans la retenue de Dardennes (données Agence de l'Eau).	126
Figure 71 : Volumes prélevés pour l'AEP à la source de Gavaudan (données Agence de l'Eau).	126
Figure 72 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité du Pilon St Clément.	127
Figure 73 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité du massif d'Agnis.	128
Figure 74 : Volumes prélevés pour l'AEP dans le massif de l'Agnis (données Agence de l'Eau).	129
Figure 75 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité de la Montagne de la Loube.	130
Figure 76 : Volumes prélevés pour l'AEP dans la montagne de la Loube (données Agence de l'Eau).	131
Figure 77 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité des plateaux du versant Nord de la Sainte Baume.	132
Figure 78 : Volumes prélevés pour l'AEP dans les massifs karstiques du versant Nord du massif de la Sainte Baume (données Agence de l'Eau).	134
Figure 79 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité de la Montagne de la Lare.	135
Figure 80 : Volumes prélevés pour l'AEP dans le massif de la Lare.	136
Figure 81 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité des Monts Aurélien et Olympe.	137
Figure 82 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité des plateaux du versant Sud de la Sainte Baume.	138
Figure 83 : Coupe schématique explicative –Forage de Puyricard (d'après Silvestre 1991).	140
Figure 84 : Volumes prélevés pour l'AEP dans les massifs du versant Sud de la Sainte Baume.	140
Figure 85 : Coupe schématique explicative –Forage de Coulin (d'après Silvestre 1993).	141
Figure 86 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité du massif des Gorges d'Ollioules.	142
Figure 87 : Volumes prélevés pour l'AEP dans les massifs des Gorges d'Ollioules.	143
Figure 88 : Localisation des zones géographiques.	145
Figure 89 : Marges de production des communes varoises (d'après CD83, 2012).	149
Figure 90 : Synthèse des besoins au regard du potentiel de la ressource du Nord de la Sainte Baume (d'après EGIS, 2011).	150
Figure 91 : Evolution de la population sur le territoire du SAGE du BV Gapeau entre 1968 et 2030 (d'après BRLi, 2017).	151
Figure 92 : Evolution des besoins en eau potable sur le territoire du SAGE du BV Gapeau (d'après BRLi, 2017).	152
Figure 93 : Diagnostic quantitatif et qualitatif du Département du Var (EGIS, 2011).	153
Figure 94 : Evolutions de population de 2013 à 2030.	155
Figure 95 : Evolutions des besoins en AEP de 2013 à 2030.	156
Figure 96 : Evolutions de population de 2013 à 2030.	157
Figure 97 : Evolutions des besoins en AEP de 2013 à 2050.	158
Figure 98 : Localisation des champs captants et de leurs périmètres de protection.	161
Figure 99 : Logigramme utilisé pour la sélection des zones de sauvegarde.	163
Figure 100 : Stratégie globale d'exploitation des eaux souterraines et zones de sauvegarde (limites approximatives).	186

Figure 101 : Délimitation au 1 :25 000 de la ZSE du plateau de Siou Blanc.	188
Figure 102 : Délimitation au 1 :25 000 de la ZSE du massif de l'Agnis.	189
Figure 103 : Délimitation au 1 :25 000 de la ZSE du massif de la Sainte Baume.	190
Figure 104 : Délimitation au 1 :25 000 de la ZSE de la Montagne de la Lare.	191
Figure 105 : Délimitation au 1 :25 000 de la ZSNEA du plateau de Mazaugues.	192
Figure 106 : Délimitation au 1 :25 000 de la ZSNEA des Monts Olympe et Aurélien.	193
Figure 107 : Délimitation au 1 :25 000 de la ZSNEA du massif drainé par Port Miou.	194
Figure 108 : ZSE du plateau de Siou Blanc et urbanisme.	197
Figure 109 : ZSE du massif de l'Agnis et urbanisme.	198
Figure 110 : ZSE du massif de la Sainte Baume et urbanisme.	199
Figure 111 : ZSNEA du plateau de Mazaugues et urbanisme.	200
Figure 112 : ZSNEA de la Montagne de la Lare et urbanisme.	201
Figure 113 : ZSNEA des Monts Olympe et Aurélien et urbanisme.	202
Figure 114 : ZSNEA du massif drainé par Port Miou et urbanisme.	203
Figure 115 : SCOT et zones de sauvegarde.	205
Figure 116 : PLU et zones de sauvegarde.	206
Figure 117 : Localisation générale du PNR de la Sainte-Baume.	227
Figure 118 : Le bassin d'avant-pays de Provence. MNT issu de données altimétriques de la NASA (50m). Les zones hachurées grises/blanches correspondent aux massifs paléozoïques des Maures et du Tannéron. 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).	229
Figure 119 : Synthèse de l'histoire géodynamique de la Provence avec les principales directions de contraintes. Fournillon (2012).	230
Figure 120 : Schéma structural de la zone d'étude. D'après Villeneuve et al. (2018).	232
Figure 121 : Carte et coupe géologiques du sud de la Provence calcaire. Bestani et al. (2015).	233
Figure 122 :: Stratigraphie de la Provence depuis la faille de la moyenne Durance au synclinal du Beausset. Les discordances et les niveaux de décollements majeurs sont indiqués. Bestani et al. (2015).	234
Figure 123 : Synthèse des tracés artificiels réalisés sur le territoire du PNR ou à proximité.	237
Figure 124 : Surface d'aplanissement du plateau du Camp vue du village du Castelet. La surface nivelle le paysage à une altitude moyenne de 430 m. Photo : B. Arfib.	239
Figure 125 : Superficie totale et la superficie à l'intérieur du PNR des unités réservoir karstiques.	242
Figure 126 : Localisation des unités karstiques individualisées.	243
Figure 127 : Localisation de l'unité karstique de Siou-Blanc-Dardennes.	245
Figure 128 : Contexte géologique et stratigraphique de l'aquifère karstique de Dardennes. Jouvès (2018) ; coupe d'après Baudement (2018).	246
Figure 129 : Géologie 2,5D terre-mer de l'unité du Beausset. On remarque la continuité du substratum jurassique au large de Bandol jusque dans le canyon Messinien oblitéré par le Pliocène marin. Jouvès (2018) modifié d'après Fournier et al. (2016).	248
Figure 130 : Schéma conceptuel de la structuration et de l'évolution des réseaux de drainage endokarstiques depuis la mise en place de la surface S1. Ce modèle conceptuel de la karstification est issu de l'analyse des éléments indicateurs de la structuration karstique.	249
Figure 131 : Coupe schématique de la configuration des sources et du barrage de Dardennes. Modifié d'après les relevés de J.P. Lucot, T. Lamarque, P. Maurel et spéléo-plongeurs.	250

Figure 132 : Chronique de pluie, niveau d'eau et débit pour l'étude du karst de Dardennes entre octobre 2012 et mars 2018. Les précipitations journalières sont la moyenne des stations de Toulon La Mitre, Le Castellet aérodrome et La Limate. Le niveau d'eau dans le lac de Dardennes est mesuré une fois par jour par Véolia. Le niveau d'eau du Ragas est enregistré automatiquement toutes les 15 minutes. Les niveaux sont exprimés en altitude. Le débit observé est le débit total des sources de Dardennes au pas de temps journalier, incluant le débit vers le Las à l'aval du barrage, le débit capté pour l'AEP, l'évaporation sur le lac et le stockage/déstockage du lac. Jouvès et al. (2018).	253
Figure 133 : Graphique du bas : pluie journalière représentative du bassin d'alimentation des sources de Dardennes. Graphique du milieu : simulation du débit moyen journalier des sources de Dardennes avec le modèle Dard_Non_Lin. Graphique du haut : déconvolution entre l'écoulement lent [simulé par le débit du réservoir M à la source (QMS)] et l'écoulement rapide [simulé par le débit du réservoir C à la source (QCS)] par cycle hydrologique (valeur moyenne annuelle des débits journaliers simulés). Le modèle est calé sur deux périodes (P1 : 22/12/2012 au 30/08/2014, et P2 : 22/12/2012 au 30/08/2014) qui donnent des résultats satisfaisants dans les deux cas. Année hydrologique du 1er septembre N au 31 août N+1).255	255
Figure 134 : Répartition des volumes d'eau exploités et non exploités provenant de l'aquifère karstique. Les volumes sont calculés avec le modèle Pluie-Débit Dard_Non_Lin_P1. Le réservoir M correspond à l'écoulement de base alimentant les sources de Dardennes. Le réservoir C correspond à l'écoulement rapide alimentant les sources de Dardennes en crue. Jouvès et al. (2018).	257
Figure 135 : Coupe géologique équilibrée nord-sud passant par les gorges d'Ollioules. Modifié d'après Baudement (2018).	258
Figure 136 : Localisation de l'unité karstique des gorges d'Ollioules.	259
Figure 137 : Localisation de l'unité karstique du sud de la Sainte-Baume et des Calanques	266
Figure 138 : Localisation des unités réservoir karstiques (rectangle bleu) sur log stratigraphique de la Provence. Bestani et al. (2015).	267
Figure 139 : Tracé schématisé des galeries karstiques noyées des sources de Bestouan et Port- Miou dans la baie de Cassis, d'après les données topographiques des spéléo-plongeurs CRPS/FFESSM/GEMISC. Modifié d'après Arfib et Douchet (2011).	269
Figure 140 : Mesures sur la source sous-marine de Port-Miou sur le site du barrage souterrain. Villeneuve et al. (2018).	270
Figure 141: Localisation de l'unité karstique de la chaîne de la Sainte-Baume.	276
Figure 142 Vue panoramique vers l'est du système de chevauchement de la Sainte-Baume le long d'un transect nord-sud. Voir l'emplacement sur la figure 4. Les plans de stratifications sont représentés en trait noir fin. Les chevauchements pyrénéo-provençal en rouge et les failles normales supposées oligocène en bleu. Bestani et al. (2015).	277
Figure 143 Coupe géologique dans le Plan d'Aups mettant en évidence la disposition du gouffre du Petit St Cassien vis-à-vis de la résurgence de la Foux et les écoulements profonds vers le Sud dépendant du pendage naturel des couches. Cavallera (2007), modifiée d'après Monteau et Courbon (1983).	279
Figure 144 Localisation de l'unité karstique de l'anticlinal de la Lare.....	285
Figure 145 Restauration de la compression pyrénéo-provençale de la Sainte-Baume et de l'Aurélien postérieurement déformées par un ensemble de failles normales à fort pendage, incluant la migration du sel de Trias (bassin de Huveaune). Bestani et al. (2016).	286
Figure 146 Localisation de l'unité karstique des Monts Olympe-Aurélien.	291
Figure 147 : Localisation de l'unité hydrogéologique de Roquevaire constituant le prolongement ouest sous-couverture Oligocène de l'unité du Mont-Olympe-Aurélien. Karstification	292
Figure 148: Localisation de l'unité karstique du massif d'Agnis.....	296
Figure 149 : Distribution fréquentielle de la conductivité électrique de quelques sources du secteur sud-ouest du PNR. Baudement (2018) modifié d'après Fournillon (2012).	298
Figure 150 : Localisation de l'unité karstique de la montagne de la Loube.....	301

Figure 151 : Coupe structurale nord-sud du Pilon-Saint Clément et de la montagne de la Loube. Durozoy et Gournet (1971)	302
Figure 152: Localisation de l'unité karstique du Pilon Saint-Clément.....	305
Figure 153 : Communes des Vals d'Issole et du Caramy, et du littoral varois (horizon 2030).....	320
Figure 154 : Communes du PNR (horizon 2030).	321
Figure 155 : Communes du Val d'Huveaune et du littoral des Bouches du Rhône (horizon 2030).	322
Figure 156 : Communes des Vals d'Issole et du Caramy, et du littoral varois (horizon 2050).....	323
Figure 157 : Communes du PNR (horizon 2050).	324
Figure 158 : Communes du Val d'Huveaune et du littoral des Bouches du Rhône (horizon 2050).	325

1 . INTRODUCTION

1.1 DEFINITION DE LA MISSION

1.1.1 CONTEXTE ADMINISTRATIF

L'étude de détermination des ressources stratégiques de la Sainte-Baume est portée par le Parc Naturel Régional qui a dans ses objectifs de Charte de mettre en œuvre une politique de gestion durable de la ressource en eau souterraine.

Le Parc naturel régional de la Sainte-Baume a été créé le 21/12/2017 par arrêté du premier ministre. Sa gestion est assurée par le syndicat mixte d'aménagement et de gestion du Parc naturel régional en succession du syndicat mixte de préfiguration par modification de ses statuts (Arrêté préfectoral du 29/01/2018).

Deux documents stratégiques (SOURCE et SDAGE) identifient des masses d'eau souterraines d'avenir pour satisfaire les besoins futurs en eau de la Région, compris intégralement voire en quasi-totalité sur le territoire de la Sainte-Baume. 21 communes sur les 29 du territoire d'étude ont une alimentation en eau potable directement sur ces nappes. Par ailleurs de nombreux cours d'eau bénéficient du soutien d'étiage en période estivale des eaux souterraines.

Cette étude répond en partie à la mesure 6 de la Charte du PNR : « Assurer une gestion cohérente, économe et concertée de la ressource en eau ». Cette mesure définit les objectifs opérationnels suivants que nous nous engageons à adresser :

- Protéger les zones de vulnérabilité du karst et des masses d'eau souterraines, définies par le Parc et ses partenaires, dans les documents d'urbanisme.
- Définir des zones de vulnérabilité du karst n'ayant pas vocation à accueillir des aménagements à risques, afin de préserver les masses d'eau souterraines. Cela passe notamment par la réalisation d'études visant à (1) identifier les bassins d'alimentation des eaux souterraines et (2) caractériser les interactions eaux souterraines/eaux superficielles.
- Compléter les réseaux de surveillance existants par l'installation de stations nouvelles et la mise en œuvre de campagnes de mesures dans les secteurs à enjeux.

Pour répondre à ces enjeux, il apparaît aujourd'hui nécessaire de réaliser une Etude Ressource Stratégique (ERS). Elle permettra d'identifier, au sein de cette ressource stratégique, les Zones de Sauvegarde pour le futur à préserver et de définir un programme d'actions à mettre en œuvre. Il est entendu que la mise en œuvre du programme d'actions ne fait pas partie du présent marché.

Précisons que cette étude doit satisfaire un objectif réglementaire. La Directive Cadre sur l'Eau (2000) demande que les Etats membres désignent dans chaque district hydrographique les masses d'eau utilisées pour l'eau potable ou destinées, pour le futur, à un tel usage et en assure leur préservation.

Pour satisfaire cet objectif de la DCE, l'arrêté du 17 mars 2006 relatif au contenu du SDAGE demande de présenter « une carte des zones à préserver en vue de leur utilisation dans le futur pour des captages d'eau destinés à la consommation humaine ».

Cette obligation s'est traduite dans le SDAGE Rhône-Méditerranée qui, dans son orientation fondamentale 5E, a recensé 94 masses d'eau dans lesquelles sont à identifier les zones à préserver pour l'AEP actuelle et future. Ainsi, dans son orientation fondamentale n°5E, le SDAGE Rhône-Méditerranée prévoit des dispositions particulières pour protéger la qualité de la ressource destinée à la consommation humaine :

- ✓ Identifier et caractériser les ressources majeures à préserver pour l'alimentation en eau potable actuelle ou future.
- ✓ Engager des actions de restauration et de protection dans les aires d'alimentation des captages d'eau potable affectées par des pollutions diffuses.
- ✓ Mobiliser les outils réglementaires pour protéger les ressources majeures à préserver pour l'alimentation en eau potable actuelle et future.
- ✓ Achever la mise en place des périmètres de protection réglementaire des captages et adapter leur contenu.
- ✓ Mobiliser les outils foncier, agri-environnementaux et de planification dans les aires d'alimentation de captage et les ressources à préserver.
- ✓ Réorienter progressivement les actions pour privilégier la prévention.

L'objectif affiché par le SDAGE est d'identifier précisément les zones à préserver pour assurer l'alimentation en eau potable actuelle et future et protéger la ressource sur le long terme. La définition des dispositions à prendre en faveur de la préservation de ces ressources stratégiques pour l'alimentation en eau potable doit conduire à assurer le maintien de ces ressources à travers les aspects qualitatifs et quantitatifs.

Ces zones seront ensuite intégrées dans le registre des zones protégées et pourront figurer dans le prochain SDAGE en tant que « zones de sauvegarde de la ressource AEP ».

La disposition 5E-01 du SDAGE préconise, pour ces masses d'eau, d'identifier et caractériser les ressources majeures à préserver pour l'alimentation en eau potable actuelle ou future. La désignation de zones dites stratégiques pour l'AEP doit permettre, sur ces secteurs, de définir et de mettre en œuvre de manière efficace des programmes d'actions spécifiques, d'interdire ou de réglementer certaines activités pour maintenir une qualité de l'eau compatible avec la production d'eau potable sans recourir à des traitements lourds et de garantir l'équilibre entre prélèvements et recharge naturelle ou volume disponible.

Rappelons que le SDAGE bénéficie d'une portée juridique : non opposable aux tiers, il est opposable à l'administration.

Ainsi, les programmes et décisions administratives dans le domaine de l'eau devront être compatibles ou rendus compatibles avec les dispositions du SDAGE.

A titre d'exemple, les documents suivants doivent être compatibles avec le SDAGE (liste non exhaustive) :

- le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE),
- le Schéma Régional d'Aménagement et de Développement Durable du Territoire (SRADDT),
- le Schéma Départemental des Carrières (SDC),
- les documents d'urbanisme que sont les Schémas de Cohérence Territoriaux (SCOT) et les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) / Plans d'Occupation des Sols (POS).

Dans l'historique des démarches de détermination de ressources stratégiques en eau potable, trois études préalables ont été intégrées à la réflexion : celle menée sur les contreforts nord de la Sainte Baume portée par le Conseil Général du Var d'octobre 2011 (étude réalisée par EGIS), puis l'étude des ressources stratégiques dans les alluvions du Gapeau pilotée par l'Agence de l'eau en 2014 (réalisée par RIVAGES ENVIRONNEMENT), et enfin celle sur le bassin versant du Caramy et de l'Issole de mars 2018 pour le compte du Syndicat Mixte de l'Argens (étude réalisée par RIVAGES ENVIRONNEMENT).

Par ailleurs au moment de la présente étude, la SPL L'Eau des Collines avait lancé depuis 2015 une étude hydrogéologique sur son territoire de gestion visant à générer des outils d'aide à la décision pour la préservation des ressources en eau dans les bassins d'alimentation de captages existants et sur les ressources encore peu ou pas utilisées mais géographiquement bien situées pour satisfaire les futurs besoins en eau. Cette étude de pré-identification de zones de sauvegardes, confiée au bureau d'étude ANTEA Groupe, porte sur un périmètre couvrant l'ensemble des secteurs suivants : Roquefort-La-Bédoule, Cassis, Belcodène, Gémenos, Plan d'Aups, Carnoux-en-Provence, Aubagne, Auriol, Cadolive, Cuges-les-Pins, la Bouilladisse, la Destrousse, la Penne-sur-Huveaune, Peypin, Roquevaire, Saint-Savournin et Saint-Zacharie).

Selon les rapports phase 1 (de novembre 2017) et phase 2 (de mai 2019) d'ANTEA, l'étude permet d'identifier et de caractériser 10 zones exploitées ou non exploitées :

- Forages route de Beaudinard (Aubagne),
- Forages du massif du Beausset externe (Cuges-Les-Pins),
- Source et forage de la Brise (Saint Zacharie),
- Massif d'Allauch et Pierresca (Aubagne, Roquevaire et Peypin),
- Forage de la Vède et Source du Clos (Auriol),
- Massif du Beausset externe -Source de Port-Miou et du Bestouan (Roquefort La Bédoule),
- Massif de la Lare (St -Zacharie et Auriol),
- Massif de l'Aurélien (St Zacharie et Auriol),
- Massif du Regagnas (Belcodène, Saint-Savournin, Cadolive, Peypin et La Bouilladisse).

Cette étude propose de les définir en zones de sauvegarde.

Rappelons que la définition des ZSE et ZSNEA de la Sainte Baume portée par le Parc naturel régional est intégratrice des zones pré-identifiées par la SPL Eau des collines et présentes sur son périmètre. En effet le périmètre d'étude porté par le PNR s'étend sur les unités hydrogéologiques et karstiques considérées comme « ressources stratégiques » du SDAGE alors que celui porté de la SPL est délimité par les limites administratives des communes comprises dans son territoire de gestion. Des réunions de concertation entre bureau d'études ont été réalisées pour harmoniser les deux approches et il avait en effet été décidé que dans le périmètre du PNR, les zones de sauvegarde de la présente étude « reprendrait » les zones de sauvegarde proposées par ANTEA dans l'étude SPL.

Par ailleurs, la réalisation de forages d'explorations ainsi que des études de pompages d'essais dans les ZSNEA pré-identifiées par l'étude portée par la SPL L'eau des Collines, apportent pour ces zones des éléments de connaissance supplémentaires sur la productivité des bassins d'alimentations de captages existants ainsi que de nouveaux potentiels gisements.

C'est deux études sont donc complémentaires et cohérentes entre-elles.

1.1.2 OBJECTIFS

OBJECTIFS GENERAUX

L'objectif de cette étude est d'apporter la connaissance suffisante des zones de sauvegarde des masses d'eau souterraines, afin qu'elles puissent être aisément intégrées dans les documents d'aménagement du territoire, permettant ainsi de faciliter la planification territoriale pour le développement de ce territoire en préservation de ces ressources en eau.

Un objectif de moyen terme est de relancer la démarche d'une mise en place d'une gouvernance partagée sur les masses d'eau souterraines de la Sainte-Baume.

Elle devra aussi permettre par ailleurs de renforcer le réseau de suivi des deux masses d'eau stratégiques et d'identifier les secteurs potentiels de complément des zones de protection des captages en eau potable.

OBJECTIFS OPERATIONNELS

Le CCTP identifie les objectifs opérationnels suivants :

- Réaliser un document synthétique présentant les différents systèmes karstiques et leur bassin d'alimentation, leur structure, leur fonctionnement et leur ressource avec support cartographique numérique (SIG).
- Identifier, à l'échelle parcellaire, les zones de sauvegarde exploitées (ZSE). Parmi les champs captants existants, identifier ceux jouant un rôle essentiel pour l'AEP.
- Identifier, à l'échelle parcellaire, les zones de sauvegarde non exploitées actuellement (ZSNEA) où les ressources aquifères sont à ce jour faiblement sollicitées, mais présentent un fort potentiel à l'avenir.
- Élaborer un document d'aide à la décision pour la protection de la ressource en eau (carte de vulnérabilité en fonction des risques liés aux activités humaines : atteinte à la recharge, au fonctionnement, risque de pollution, etc.).
- Proposer une stratégie d'investigations/recherches complémentaires pour améliorer la prise en compte par le Parc et les collectivités des masses d'eau souterraines.
- Proposer d'une stratégie de veille et de protection

L'atteinte de ces objectifs implique une concertation large et active avec les élus et services de l'aménagement du territoire en charge de l'élaboration ou de la révision de chacun des PLUs et SCoTs des collectivités.

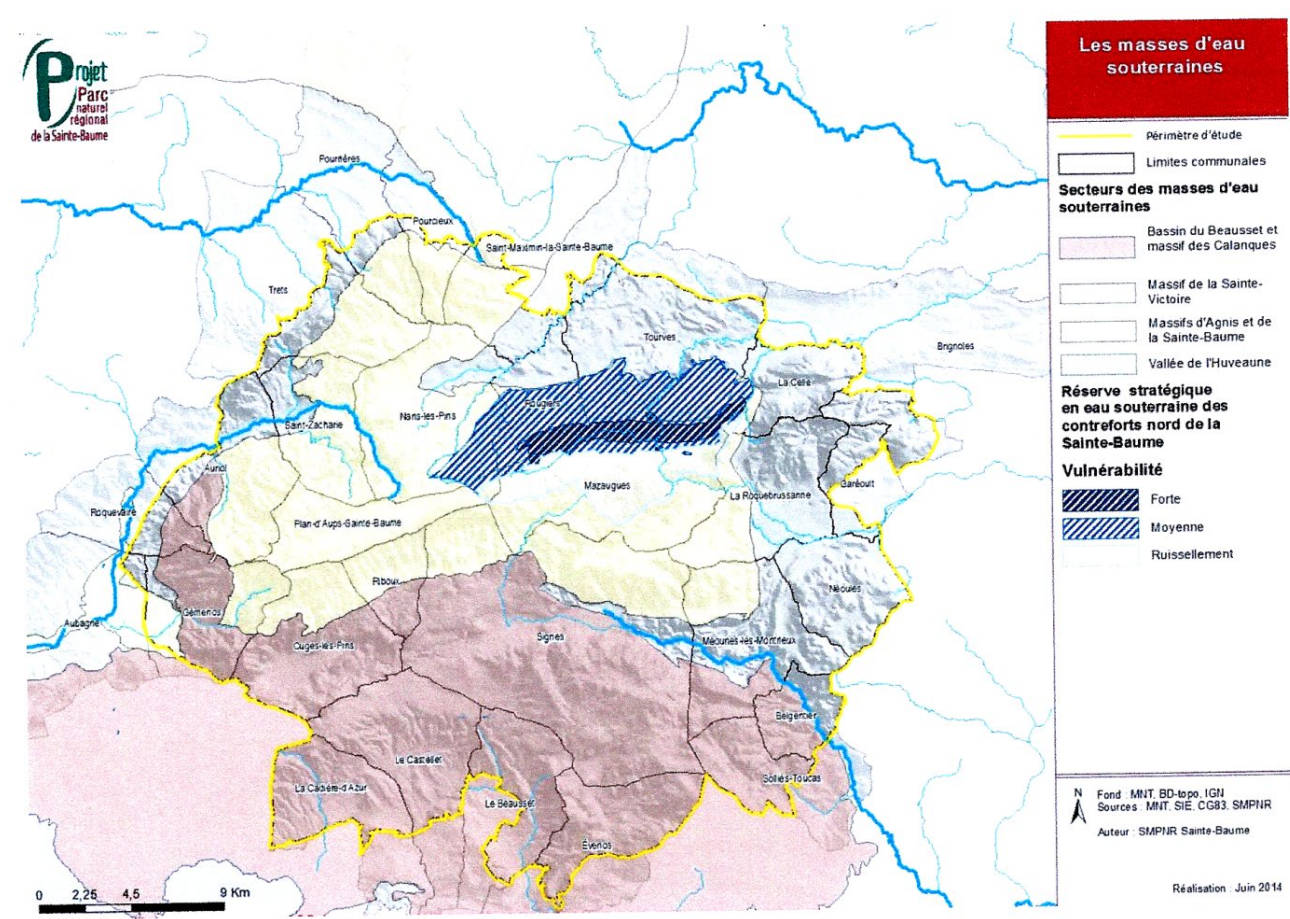
1.1.3 PERIMETRE DE L'ETUDE

La zone d'étude correspond au périmètre d'étude du Parc naturel régional de la Sainte-Baume (sensiblement différent du périmètre administratif du PNR). Plus précisément, il est demandé de déterminer les zones stratégiques de deux masses d'eau souterraines stratégiques identifiées par le SDAGE Rhône-Méditerranée 2016-2021 et le SOURSE :

- En intégralité, la masse d'eau FRDG167 - Massifs calcaires de la Sainte-Baume, du Mont Aurélien et de l'Agnis.
- Pour partie, la masse d'eau FRDG168 - Calcaires du Bassin du Beausset et du Massif des Calanques.

La description de ces masses d'eau dans le référentiel hydrogéologique de l'Agence de l'Eau a été placée en annexe du rapport.

Figure 1 : Délimitation du périmètre d'étude (extrait du CCTP).



Il est entendu que pour les deux masses d'eau les aquifères cibles de l'étude sont les séries carbonatées du Lias et du Jurassique supérieur, ainsi que les séries carbonatées crétacées à faciès urgonien.

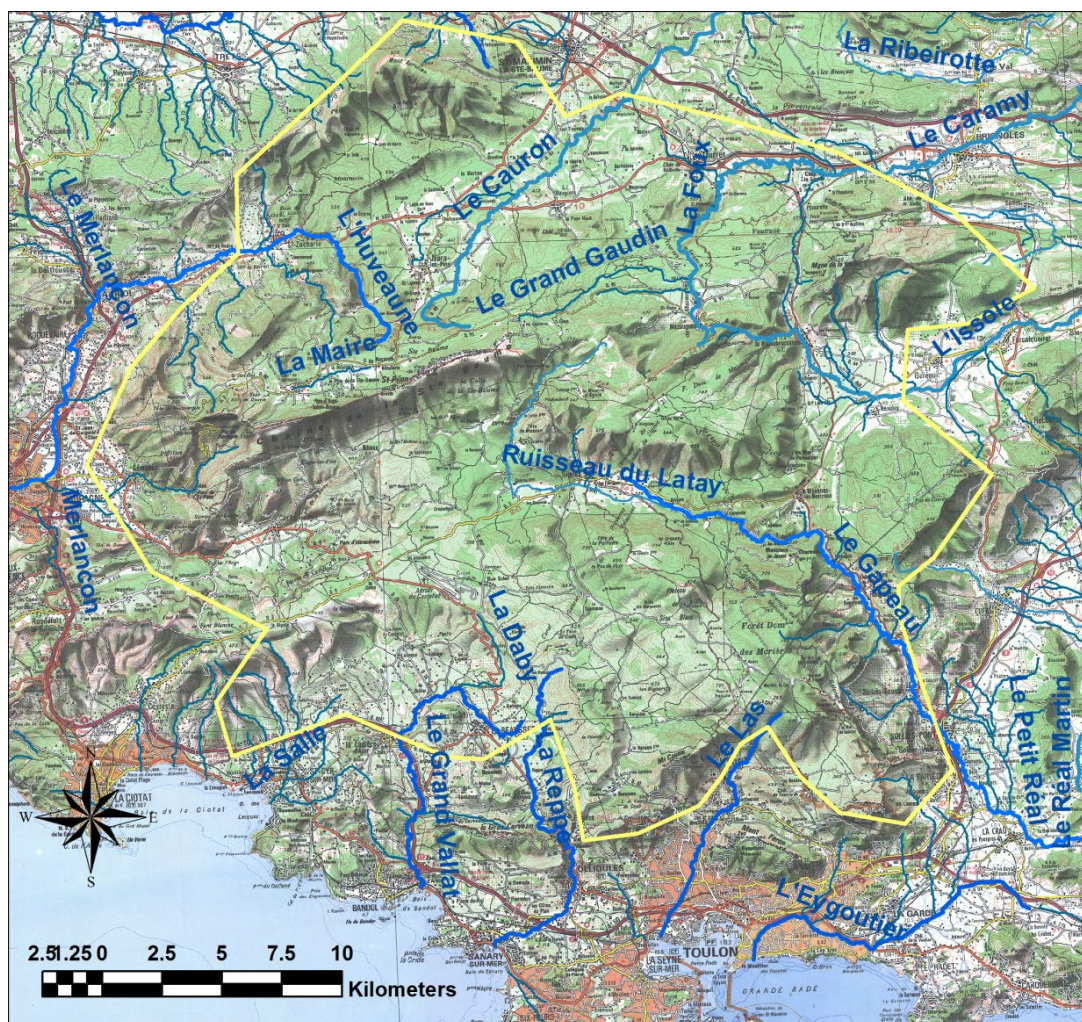
Le massif de la Sainte Baume est un territoire d'une grande importance régionale. En position intermédiaire entre le littoral au Sud et la Provence verte au Nord, il représente un poumon vert pour cette partie du Département du Var.

Majoritairement constitué de roches sédimentaires carbonatées, il est constitué de nombreux réservoirs karstiques dont les sources nourrissent et soutiennent l'étéage de multiples cours d'eau. Citons les nombreuses sources de l'Issole, du Caramy, du Cauron, de l'Huveaune mais aussi du Gapeau et du Las. Ce massif joue ainsi le rôle d'un véritable château d'eau avec une importance capitale dont l'alimentation des eaux superficielles. Or, ces hydro systèmes présentent des étiages marqués avec des assecs importants en période estivale. Certains d'entre eux ont été classés en Zone de Répartition des Eaux (Issole et Gapeau) et font l'objet de démarches techniques et institutionnelles pour une meilleure gestion quantitative de la ressource en eau.

De plus, ces ressources sont aussi utilisées pour l'alimentation en eau potable d'une majorité des communes du territoire mais aussi à des fins industrielles ou, indirectement, agricoles.

Parmi les enjeux évidents d'une bonne gestion des eaux souterraines, en plus du rôle essentiel de soutien d'étiage d'hydro systèmes superficiels en souffrance en période estivale, il faut insister sur la contribution au bon remplissage du lac de Carcès et de la retenue de Dardennes, élément essentiel pour l'approvisionnement en eau potable de l'agglomération de Toulon.

Figure 2 : Périmètre du PNR et principaux cours d'eau



Ces séries aquifères présentent certaines particularités :

- Certains massifs jurassiques n'appartiennent pas à ces deux masses d'eau, bien qu'ils soient localisés à l'intérieur du Parc ; il s'agit des massifs du Pilon St Clément et de la Loube, situés sur la partie orientale du Parc, qui font partie de la masse d'eau FRDG170 « Massifs calcaires du Centre Var ». En accord avec le Maître d'Ouvrage, il a été décidé de les intégrer à nos analyses.

- Certains aquifères débordent géographiquement du périmètre du Parc. Il s'agit des aquifères jurassico-urgonien du bassin du Beausset qui s'étendent vers le Sud-Est jusqu'aux sources de Dardennes et vers le Sud-Ouest jusqu'aux sources de Port Miou. Dans un souci de cohérence hydrogéologique, en accord avec le Maître d'Ouvrage, il a été décidé d'analyser ces aquifères dans leur globalité, ce qui implique d'étendre les analyses sur des communes situées au-delà du périmètre du Parc Naturel Régional.

In fine, l'étude intéresse 37 communes.

Certaines d'entre elles font intégralement partie du Parc Naturel Régional de la Sainte Baume (13 communes).

Citons :

- Sainte-Zacharie.
- Nans-Les-Pins.
- Rougiers.
- Plan d'Aups.
- Mazaugues.
- La Roquebrussanne.
- La Celle.
- Méounes-Les-Montrieux.
- Néoules.
- Belgentier.
- Signes.
- Riboux.
- Cuges-Les-Pins.

D'autres sont partiellement incluses dans le périmètre d'étude du Parc Naturel Régional de la Sainte Baume. (16 communes).

Citons :

- Auriol.
- Trets (non signataire de la Charte du PNR).
- Pourrières.
- Pourcieux.
- Saint-Maximin la Sainte Baume.
- Tourves.
- Brignoles.
- Garéoult (non signataire de la Charte du PNR).
- Solliès-Toucas.
- Evenos.
- Le Beausset.

- Le Castellet.
- La Cadière d'Azur.
- Gémenos.
- Roquevaire.
- Aubagne (non signataire de la Charte du PNR).

Certaines communes qui pourraient être intéressées par des zones de sauvegarde sont localisées au-delà du périmètre administratif du Parc Naturel Régional de la Sainte Baume (8 communes) ; à ce titre, elles ne sont pas signataires de la Charte du Parc.

Citons :

- Camps-La-Source.
- Roquefort-La-Bédoule (commune associée au PNR).
- Ceyreste.
- Carnoux en Provence.
- Cassis.
- Marseille.
- Solliès-Ville.
- Le Revest-Les-Eaux.

1.1.4 ELEMENTS DE METHODE

Le rapport de phase 1 vise à proposer un schéma global de mobilisation de la ressource en eau souterraine pour un horizon lointain (2030 à 2050). Ce schéma résulte de la confrontation entre d'une part les ressources disponibles et, d'autre part, les besoins actuels et futurs.

RESSOURCES DISPONIBLES

Cette étude intéresse l'approche des ressources en eau souterraine de massifs karstiques très étendus (36 communes sur deux départements).

Schématiquement, cette approche a rencontré deux types de difficultés :

- Le degré de certitude sur les informations hydrogéologiques est très variable. Certains secteurs ont fait l'objet d'études et investigations détaillées par le passé et on peut considérer que leur description est robuste ; d'autres ont été peu ou pas étudiés et les caractéristiques/comportements hydrogéologiques doivent être considérés comme des hypothèses. Dans la mesure du possible, nous avons essayé de tracer les éléments de connaissance consultés et d'adopter des éléments de langage qui permettent au lecteur de partager ces différents niveaux de certitude.
- La taille du territoire et des unités aquifères est telle qu'il est difficile de reporter toutes les informations de détail récoltées dans la littérature scientifique et technique. A ce stade de l'étude, nous avons privilégié les informations relatives aux grandes échelles de temps (l'année) et d'espace (le km²) ; pour ne pas perdre le lecteur sous une somme d'informations, nous avons préféré essayer de faire ressortir les grands « chiffres » qui caractérisent la ressource en eau souterraine. La présentation des éléments de compréhension de phénomènes locaux (comme, par exemple, le fonctionnement hydrodynamique des sources ou des forages) a été jugée non nécessaire à ce stade de l'étude. Certains de ces éléments pourront être repris et détaillés dans les phases ultérieures de l'étude.

Afin de permettre au lecteur de suivre le chemin logique qui permet de proposer in fine des zones de sauvegarde, nous avons adopté une démarche en « entonnoir » :

1. Dans un premier temps, nous avons défini les grandes unités hydrogéologiques du territoire (notion de réservoir), qui correspondent à des unités aquifères de même lithologie bien délimitées spatialement par des zones faillées ou par des contacts avec des imperméables relatifs.
2. Puis, dans ces unités hydrogéologiques, nous avons identifié les systèmes karstiques qui se caractérisent par une unité fonctionnelle (dynamique de recharge et de transferts cohérente avec une dynamique de restitution). Dans une même unité hydrogéologique, on peut ainsi observer plusieurs systèmes karstiques, actifs ou non, hérités ou non.
3. Dans un troisième temps, nous proposons des zones de sauvegarde au 1 : 25 000. Elles répondent à une justification multi-critère, qui intègre comme argument fondamental l'existence d'un besoin avéré, que le besoin soit actuel ou futur (cf. ci-dessous).

BESOINS ACTUELS ET FUTURS

Rappelons que la présente étude vise à préserver dans un temps long des ressources en eau souterraines satisfaisant déjà des besoins importants en termes d'eau potable et/ou susceptibles de desservir des besoins nouveaux du fait de leur potentialité, de leur qualité et de leur situation.

Pour ce faire, elle doit identifier et proposer des enjeux autour de la production de l'eau pour l'alimentation en eau potable pour les populations.

Les enjeux identifiés sont les suivants :

- Recensement et détermination des zones de captages ou groupes de captages structurants pour l'alimentation en eau potable de la zone d'étude et de ses abords : bilan de la desserte actuelle en eau potable et des prélèvements.
- Travail prospectif sur l'évolution de la population de ce territoire et de ses abords et estimation des besoins futurs.

Il est entendu qu'il ne s'agit pas d'une analyse captage par captage mais au contraire d'une analyse structurante à l'échelle de la zone d'étude, qui vise la délimitation de secteurs d'une certaine taille (jamais inférieure en général à 100 ha) pour réaliser ainsi un zonage des zones potentielles à préserver.

L'étude vise aussi établir pour chacune des unités hydrogéologiques un bilan en termes de ressource effectivement disponible (analyse quantitative), de qualité des eaux, de vulnérabilité. Ce bilan doit intégrer également un état des lieux sur l'évolution possible des prélèvements et sur les menaces sur la qualité des eaux souterraines. Cela a nécessité entre autre une analyse de l'occupation des sols actuelle et future possible au regard des documents de planification existants.

1.1.5 PHASAGE DE L'ETUDE

La planification de l'étude est la suivante :

- **Phase 1 : Pré-identification des secteurs de sauvegarde à l'échelle de l'étude.** Il s'agit d'identifier et de délimiter les secteurs à faire valoir comme majeurs pour l'alimentation en eau potable (ressources déjà exploitées et ressources à préserver en raison de leur potentialité, de leur qualité et de leur situation pour les usages futurs).

- **Phase 2 : Caractérisation et validation des zones de sauvegarde à l'échelle locale.** Il s'agit, sur chaque secteur identifié et suivant les données existantes, de réaliser un bilan de leur situation en termes de potentialité, qualité, vulnérabilité, risques en fonction de l'évolution des pressions d'usage et de l'occupation des sols, mais aussi de leur statut actuel par rapport aux documents de planification et d'urbanisme (schémas directeurs d'alimentation en eau potable, schéma d'orientation des carrières, S.C.O.T., PLU, ...). Puis, il sera proposé, suivant les situations rencontrées et le niveau des connaissances, de réaliser des études ou analyses complémentaires.

- **Phase 3 : Hiérarchisation des enjeux, préconisations d'actions, stratégie de veille et d'acquisition des connaissances supplémentaires.** Dans cette dernière phase, les outils réglementaires, conventionnels, financiers... pour la préservation des ressources en eau seront listés et des porteurs de projets (collectivités, usagers, services de l'Etat) qui pourront intervenir dans un deuxième temps pour la mise en œuvre d'études complémentaires et d'actions de préservation pourront être proposés

1.1.6 CONTENU DU RAPPORT

Le présent rapport est le rapport de phase 1.

Notre travail, pour cette phase, a été organisé autour de trois axes :

- Axe 1 : Définition de la ressource.
- Axe 2 : Estimation des besoins actuels futurs à moyen et long terme (2030 et 2050).
- Axe 3 : Avis argumenté sur les relations entre eaux souterraines et eaux de surface.

En parallèle, un travail de récolte et de structuration des données d'urbanisme a été organisé durant cette phase.

Comme principales conclusions de cette phase, sur la base d'une méthode et d'arguments objectifs et explicites qui seront validés en Comité technique, nous proposons alors une première cartographie au 1 : 25 000 des ZS.

Précisons que cette analyse n'aurait pas pu être réalisée sans la livraison de données par les organismes suivants :

- Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse.
- Agence Régionale de Santé.
- Conseil Départemental du Var.
- Conseil Départemental des Bouches du Rhône.
- Les communes du Territoire qui nous ont aidé à la récolte des documents d'urbanisme.

Nous tenons ici à remercier leurs représentants qui ont fait preuve de réactivité à nos demandes.

De la même façon, de nombreux organismes ont participé à des réunions techniques de partage d'informations et nous tenons également à remercier ici tous ceux qui ont su se rendre disponibles pour cette étude :

- P. Bourianne (Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse).
- C. Billet (Conseil Départemental du Var).
- C. Trezzy (Conseil Départemental des Bouches du Rhône).
- B. Arfib et T. Garin (Université d'Aix Marseille).
- N. Blanchoin et T. Pellegrini (ANTEA GROUP).

Le travail de récolte et de structuration des données d'urbanisme a été réalisé par V. Berti (ATELIER AVB) et J. Cuvelier (O2TERRE).

La synthèse des unités hydrogéologiques et l'identification des systèmes karstiques ont été réalisées par J. Jouve et H. Camus (CENOTE).

Le travail d'analyse et de synthèse de toutes les informations récoltées, ainsi que la rédaction du présent rapport, a été pris en charge par P. Fénart (HYDROFIS).

1.2 SPECIFICITE DES MILIEUX KARSTIQUES

Les aquifères carbonatés du massif de la Sainte Baume présentent une forte complexité.

Ce massif résulte d'une histoire tectonique continue depuis l'orogénèse pyrénéenne jusqu'au Quaternaire (Tassy, 2012), qui s'est traduit par des structures tectoniques complexes (plissements à de nombreuses échelles, failles majeures de type décrochant ou chevauchant). De plus, les réservoirs d'eau souterraine intéressés par l'étude correspondent principalement à des systèmes karstiques. Ce type d'aquifère, réputé pour avoir subi des processus de karstification (dissolution de la roche pouvant conduire au développement d'un réseau de cavités), est caractérisé par des schémas hydrogéologiques complexes, avec une concentration des écoulements dans les réseaux karstiques dont la géométrie est difficile à appréhender.

Nous n'aurons pas la prétention de proposer ici une synthèse exhaustive du comportement hydrogéologique des aquifères karstiques. Nous rappelons simplement ici quelques fondamentaux pour permettre à un lecteur non initié de comprendre notre approche et les représentations que nous proposons.

1.2.1 NOTIONS FONDAMENTALES

La notion de karst est une notion géomorphologique ; elle désigne un modelé caractérisé par un élargissement des fissures, des discontinuités qui affectent une roche. Par extension, on désigne aujourd'hui comme karst un type d'aquifère qui est caractérisé par un réseau de fissures élargies par « dissolution ». Cette notion de « dissolution » regroupe l'érosion chimique mais aussi l'érosion mécanique des vides. En effet, une fois les conduits formés, les eaux souterraines vont transporter des particules fines, plus ou moins abrasives, qui vont contribuer à l'élargissement des vides.

Rappelons que l'on désigne comme aquifère toute roche suffisamment perméable pour accueillir une nappe ; plus précisément, pour les hydrogéologues, on désigne comme nappe toute eau souterraine en continuité susceptible d'être mobilisée par gravité.

La première condition au développement d'un karst est la présence de **roches susceptibles de subir des processus de dissolution important** d'une fraction de leurs composants minéralogiques. Cela peut concerner les roches carbonatées mais aussi les évaporites, plus rarement certains grès.

La deuxième condition à la mise en place d'un karst est la présence **d'un réseau de discontinuités** qui va guider, concentrer, dans un premier temps, les écoulements au sein de la roche. Avant de devenir un aquifère karstique, l'aquifère est fissuré. L'eau y circule au sein d'un réseau de discontinuités dont les caractéristiques sont déterminées par l'histoire géodynamique de la roche.

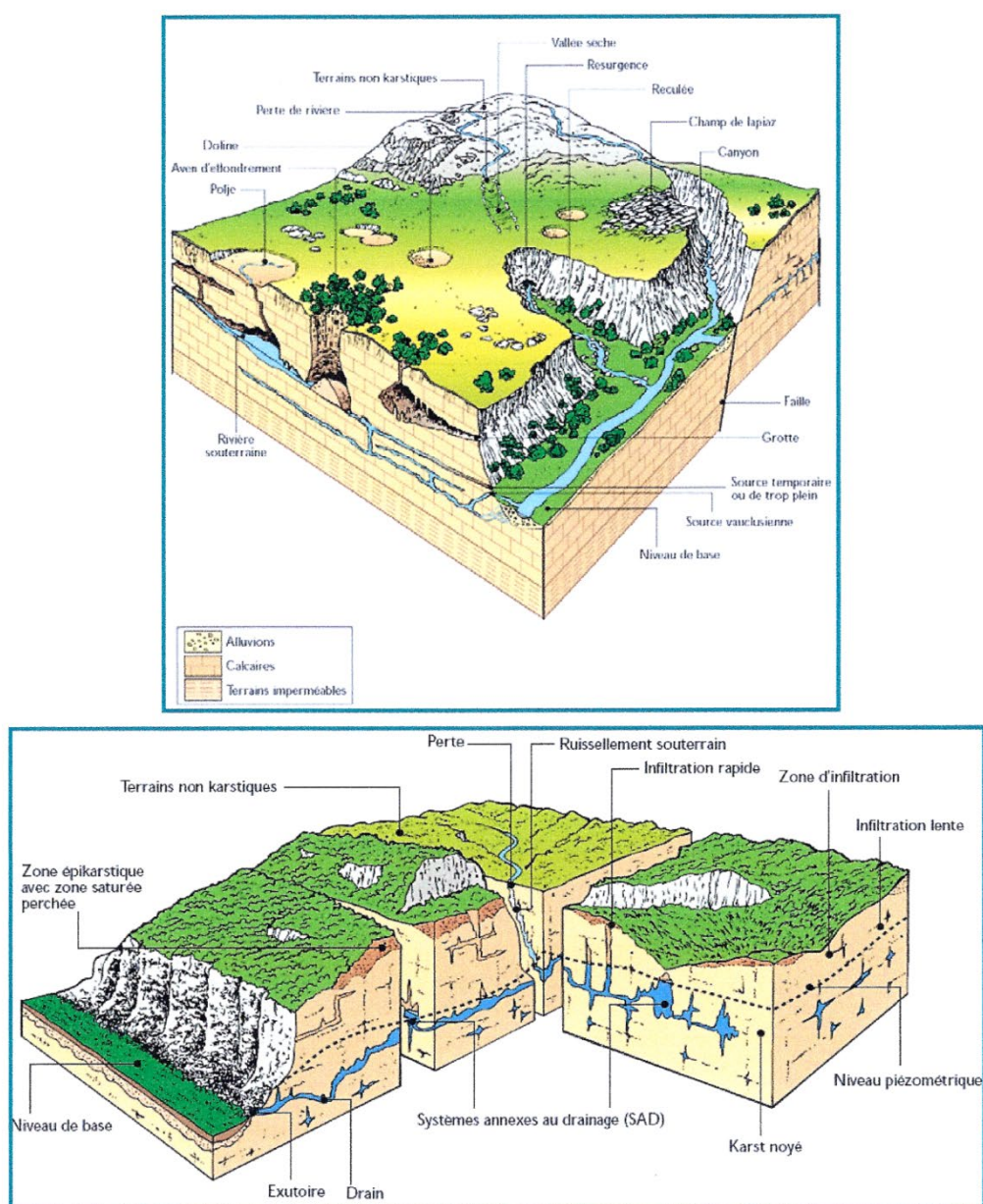
La troisième condition à la formation de conduits karstiques, est l'occurrence sur un temps long (de quelques dizaines de milliers d'années à plusieurs centaines de milliers d'années) de circulations au sein de l'aquifère initialement fissuré ; ces circulations dépendent de la perméabilité de la roche mais surtout de l'existence **d'un gradient hydraulique** que l'on peut, de façon simpliste, réduire, schématiser au rapport entre la différence d'altitude et la distance, entre les zones de recharges et les zones d'exutoires. Plus le gradient hydraulique est fort, plus les circulations sont importantes et le processus de karstification rapide. A l'extrême, l'absence de circulations implique la quasi absence de karstification.

1.2.2 STRUCTURE DES KARSTS

Il est d'usage de distinguer plusieurs éléments dans la structure d'un karst :

▪ **La zone non saturée.** C'est la tranche de l'aquifère qui est traversée par les eaux de recharge de la nappe ; les écoulements sont majoritairement verticaux. Elle est composée d'éléments karstiques de sub-surface : dolines et poljes (dépressions fermées) qui vont concentrer l'infiltration sur des zones bien délimitées de l'impluvium, épikarst qui correspond à un horizon d'épaisseur variable, décomprimé et karstifié qui va stocker temporairement les eaux infiltrées. Les écoulements au sein de cette zone non saturée peuvent être rapides le long de conduits verticaux très karstifiés, comme lents (au sein de volumes de roche moins karstifiés, écoulements par les fissures faiblement ouvertes).

Figure 3 : Organisation d'un karst (d'après Agence de l'Eau RMC « Bilan et analyse de la mise en œuvre des périmètres de protection des captages AEP en milieu karstique »).



▪ **La zone saturée ou noyée.** C'est la « tranche » de l'aquifère qui est toujours occupée par les eaux souterraines ; les écoulements y sont principalement horizontaux. La structure drainante évacue les eaux vers les exutoires. Les écoulements au sein de cette zone peuvent être rapides le long de réseaux très karstifiés, comme lents (au sein de volumes de roche moins karstifiés). Ces volumes rocheux, moins karstifiés mais généralement très importants en proportion, sont qualifiés de systèmes annexes au drainage. Selon le degré d'organisation des écoulements ces systèmes peuvent être constitués soit par des réseaux de fissures plus ou moins élargis, soit par de véritables cavités représentant des volumes importants.

Bien évidemment, la limite entre zone non saturée et zone saturée varie dans le temps en fonction des variations du niveau de nappe.

1.2.3 COMPORTEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES KARSTS

L'originalité de l'aquifère karstique réside dans la hiérarchisation des vides de l'amont vers l'aval aboutissant à un drainage progressif des eaux vers une zone d'exutoire. Ainsi, dans un système karstique mono-phasé (c'est-à-dire relatif à un seul stade de formation, dans des conditions hydrauliques et structurales stables), les écoulements s'organisent d'une façon similaire à celle d'un réseau hydrographique de surface où les petits cours d'eau confluent pour former en aval un cours d'eau unique.

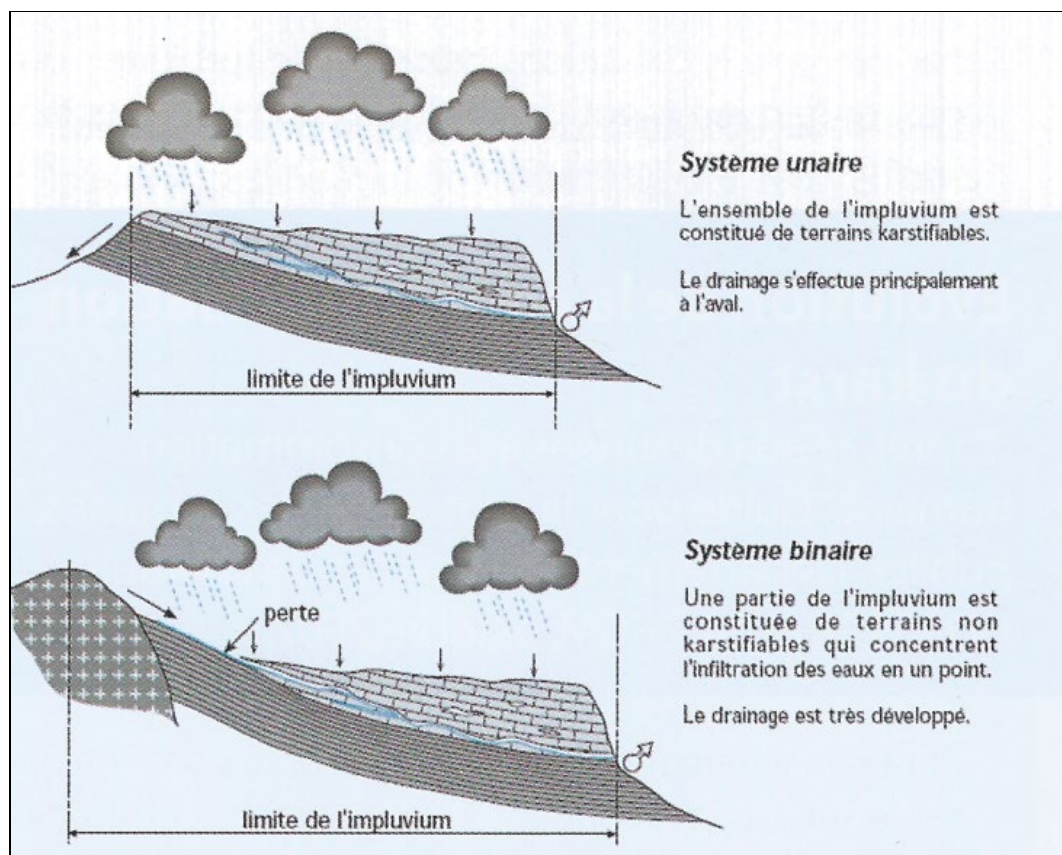
Mangin (1975) définit ainsi un système karstique comme *l'impluvium au niveau duquel les écoulements de type karstique s'organisent pour former une unité de drainage*. On peut juger cette notion d'impluvium floue car elle fait référence à une surface. Nous préférons reformuler et garder la définition suivante : **un système karstique se définit comme un volume rocheux au sein duquel les écoulements de type karstique s'organisent pour former une unité de drainage.**

Pour les karsts, les modalités de recharge naturelle peuvent être multiples :

- Recharge par infiltration des eaux de pluie sur les surfaces affleurantes du karst.
- Recharge par pertes des cours d'eau qui ont été alimentés en amont et qui vont traverser l'impluvium du karst dans des zones caractérisées par des niveaux de nappe inférieures aux niveaux du lit du cours d'eau.
- Alimentation par drainance d'aquifères en contact avec le réservoir karstique (niveaux piézométriques dans l'aquifère bordier plus élevés que dans l'aquifère karstique).

La présence ou non de recharge par pertes des cours d'eau est importante. Ce type de recharge assure la présence quasi continue d'un flux d'eau important qui va transiter au sein de l'aquifère karstique et qui va généralement conduire dans des temps courts à un système de drainage en zone noyée très développé. On parle alors de système binaire.

Figure 4 : Système unaire et binaire (Marsaud, 1996).



Les eaux souterraines vont ensuite migrer au sein de l'aquifère selon des chemins plus ou moins complexes, avant de rejoindre les exutoires du karst. Les exutoires naturels peuvent être de nature variable :

- Exutoires aériens de type source ou résurgences.
- Exutoires masqués avec des venues sous-alluviales, au sein d'éboulis et/ou d'alluvions.
- Alimentation d'autres nappes en position de drainer l'aquifère karstique (niveaux piézométriques dans l'aquifère bordier moins élevés que dans l'aquifère karstique).

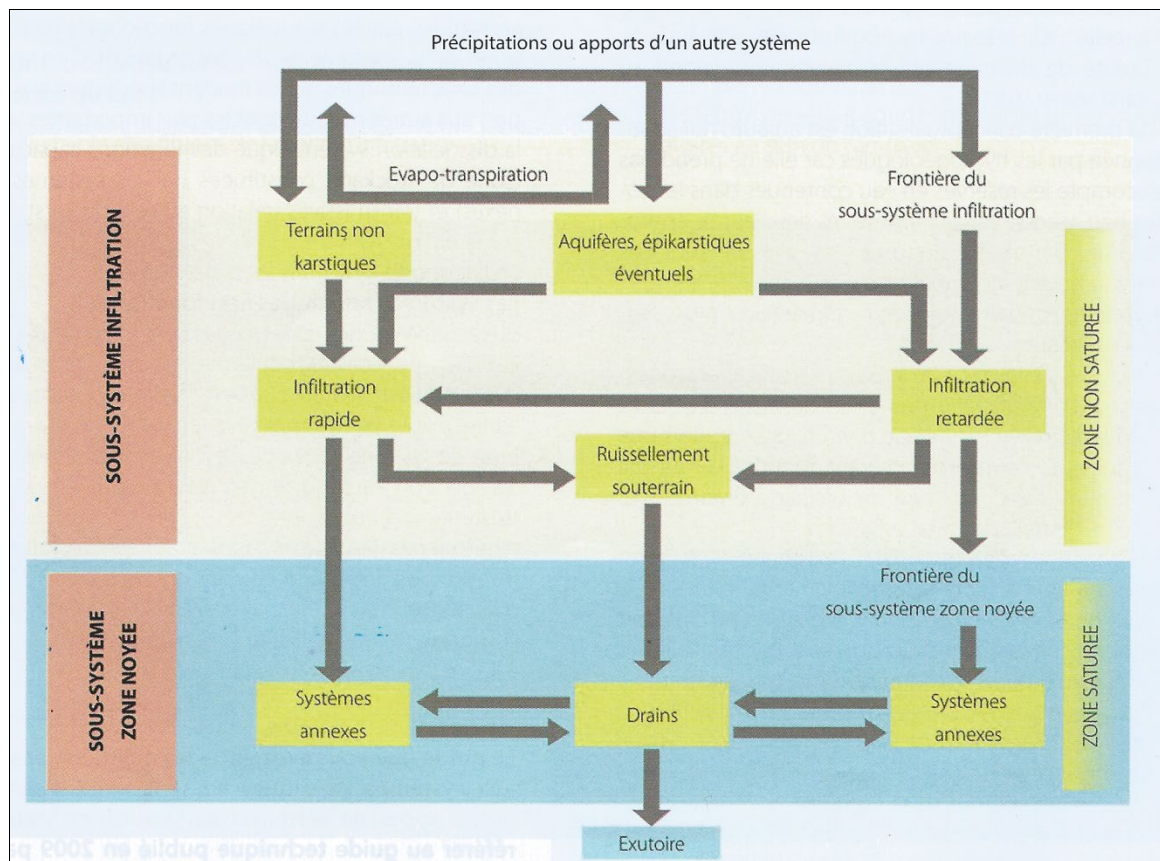
Les variations piézométriques au sein des nappes karstiques sont complexes.

En période « hautes eaux », la nappe présente des niveaux piézométriques élevés contrairement à la période de « basses eaux » qui est caractérisée par une baisse significative des niveaux piézométriques.

Ceci étant, les karsts présentent une complexité supplémentaire. De par la structure très transmissive mais géométriquement limitée du réseau de drains, on peut y observer des phénomènes de « crues » karstiques, liés aux événements pluvieux importants, avec des mises en charge des réseaux qui vont amener à des augmentations brutales et importantes des niveaux piézométriques sur des temps relativement courts (quelques jours à quelques semaines).

La synthèse de ces notions permet de proposer un schéma conceptuel fonctionnel de l'aquifère karstique (Mangin, 1975).

Figure 5 : Schéma fonctionnel conceptuel des aquifères karstiques (Mangin, 1975).



Répetons qu'il s'agit là de modèle simple car relatif à des systèmes karstiques monophasés.

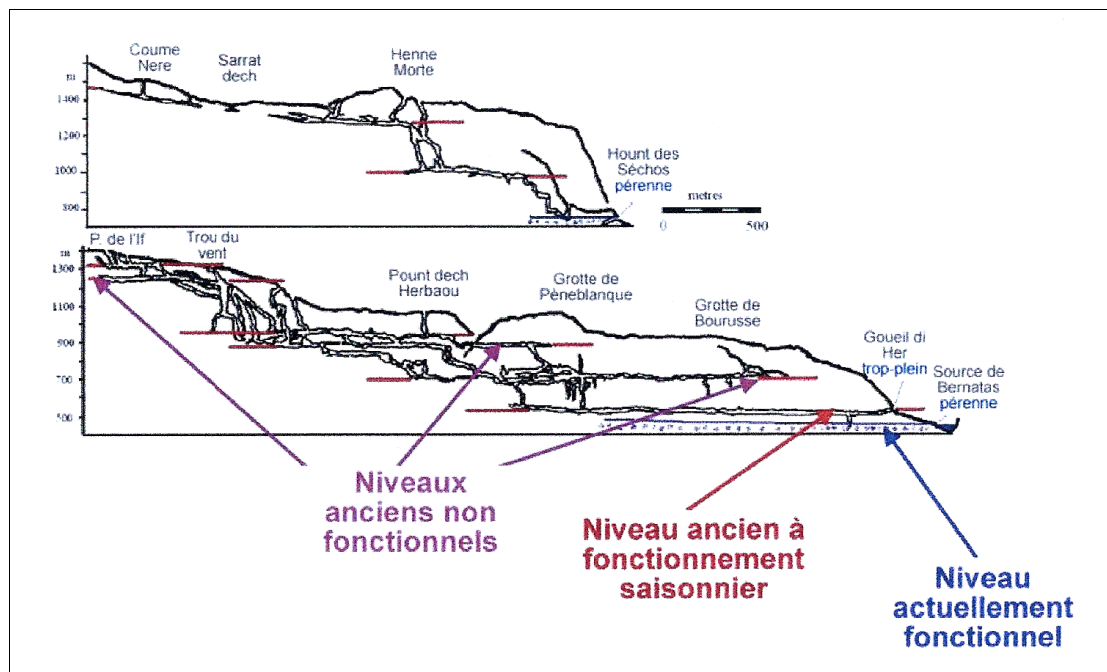
En effet, les réseaux en zone noyée se développent dans des conditions hydrauliques structurales et hydrauliques spécifiques à chaque époque géologique, depuis des zones de recharge vers des zones d'exutoires. C'est la présence d'un gradient hydraulique et la position des zones d'exutoires qui vont contrôler les dynamiques de karstification.

Il est rare qu'un karst se soit structuré sur une seule période géologique ; il est plus fréquent d'observer des karsts polyphasés, qui vont enregistrer plusieurs cycles de karstification relatifs à différentes époques géologiques. Le déplacement des zones d'exutoires, latéralement et verticalement, implique ainsi une réorganisation des écoulements sur un réseau déjà préexistant. On peut ainsi avoir formation de nouveaux réseaux au détriment de réseaux déjà existants.

De plus, entre les périodes de mise en place de systèmes karstiques, lorsque les gradients sont faibles, il peut se produire des phases de colmatage des vides karstiques. Les écoulements sont faibles et les vitesses d'écoulement réduites ; on observe alors des phénomènes de dépôts dans les réseaux peu sollicités hydrauliquement. Il s'agit généralement de l'étape ultime d'évolution d'un système karstique, après qu'il ait atteint sa phase d'équilibre. Deux mécanismes principaux de comblement existent : le concrétionnement et le comblement détritique.

En résumé, la détermination des dynamiques actuelles d'écoulement dans les karsts polyphasés est d'une complexité certaine. A la complexité de la fracturation préexistante aux phénomènes de karstification, se surimposent celle liée à la succession de plusieurs cycles de karstification qui peuvent amener à développer alternativement certaines discontinuités, et celle liée à des phénomènes de colmatage de certaines zones du karst hydrauliquement inactives.

Figure 6 : Exemple de niveaux superposés de réseaux karstiques (in Dorfliger et al., 2010).



Il est donc nécessaire de bien distinguer l'aquifère karstique (volume rocheux susceptible d'avoir été karstifié) du système karstique actif qui est relatif à une unité de drainage définie pour un exutoire bien identifié. Sur des karsts étendus et polyphasés, il est fréquent d'observer plusieurs systèmes karstiques actifs pour un même aquifère karstique. Ces systèmes peuvent se surimposer ou être spatialement séparés par des volumes rocheux non ou peu karstifiés, dont le comportement hydrogéologique se rapproche alors plus de celui de milieux fissurés.

2 . LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

2.1 IDENTIFICATION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES

Nous avons récolté de nombreuses études, très utiles pour comprendre la structure des réservoirs, leur comportement hydrogéologique et leur productivité potentielle. En complément, CENOTE a produit une synthèse des connaissances sur les unités et les systèmes karstiques dans le périmètre d'étude du PNR ; elle est intégralement reproduite en annexe du rapport.

Dans ce chapitre, nous présentons une synthèse vulgarisée des connaissances sur ces unités karstiques. Le terme d'unité karstique désigne un aquifère karstique qui abrite une nappe en continuité hydraulique. Attention, cette unité peut être drainée par plusieurs exutoires et peut ainsi présenter plusieurs systèmes karstiques, plus ou moins actifs.

2.1.1 OU SONT LOCALISEES LES UNITES HYDROGEOLOGIQUES ?

QUELS SONT LES MASSIFS ROCHEUX DU PARC NATUREL REGIONAL DE LA SAINTE BAUME ?

Dans leur note scientifique, CENOTE identifie neuf unités hydrogéologiques dans le périmètre d'étude:

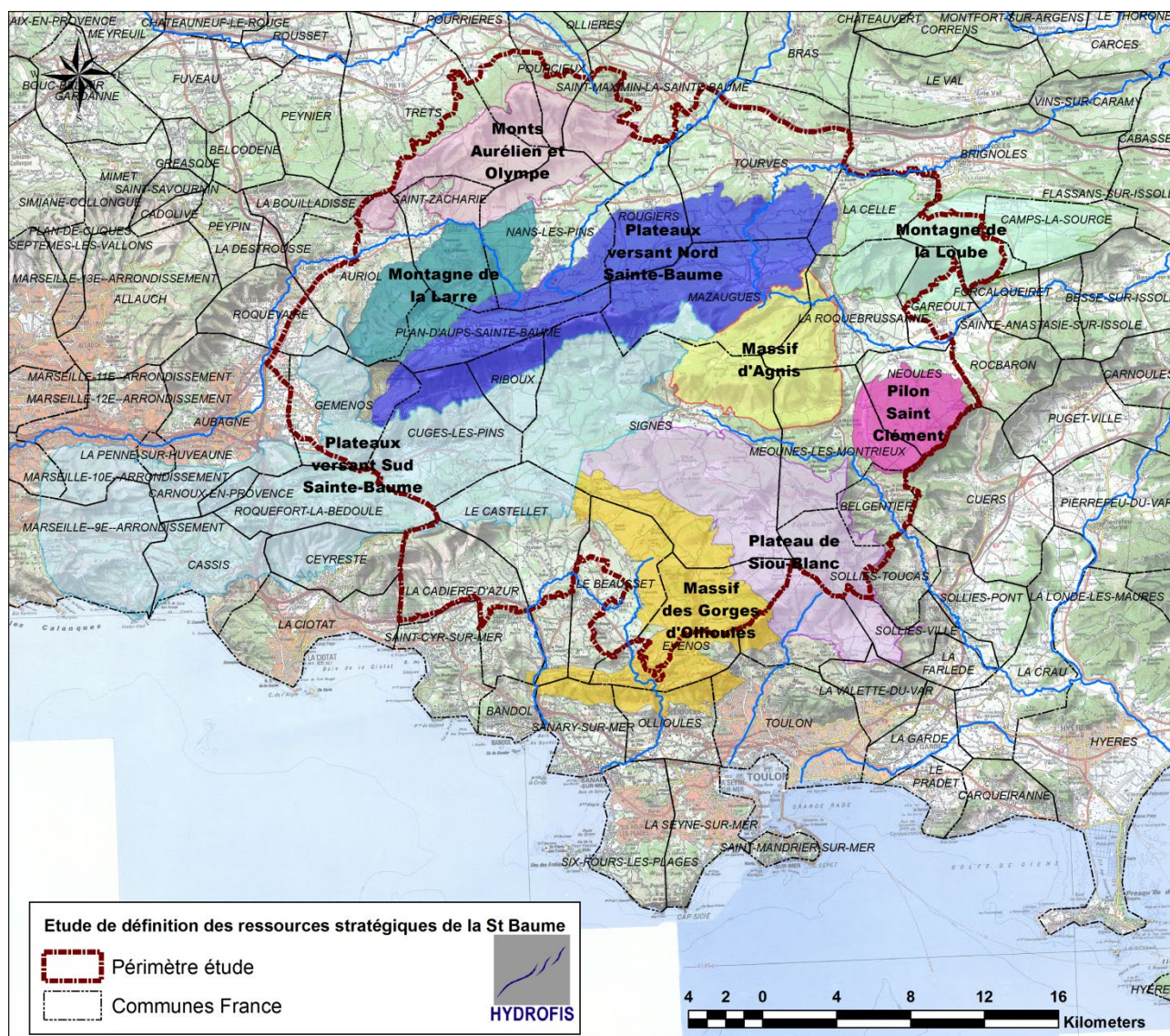
- Plateau de Siou Blanc.
- Pilon St Clément.
- Massif d'Agnis.
- Montagne de la Loube.
- Plateaux du versant Nord de la Sainte Baume.
- Montagne de la Lare.
- Mont Aurélien et Mont Olympe.
- Plateaux du versant Sud de la Sainte Baume
- Massif des Gorges d'Ollioules.

Rappelons que les limites des unités sont principalement basées sur la lithologie (caractère plus ou moins karstifiable des terrains), sur la tectonique (faille et chevauchement pouvant mettre en contact différentes unités aquifères) et sur la limite des bassins versant hydrographiques (pour la contribution indirecte par ruissellement). Les limites cartographiques basées sur la lithologie sont issues de la carte géologique vecteur harmonisée du BRGM.

Ces unités regroupent des volumes rocheux qui forment une « continuité » d'aquifères qui peuvent être d'âge et/ou de lithologie variés. De la même façon, ces unités peuvent présenter plusieurs systèmes karstiques actifs.

Nous proposons ci-dessous une synthèse vulgarisée des connaissances acquises sur ces unités en complément de la note scientifique rédigée par CENOTE. Les données de débit aux exutoires sont issues de la littérature scientifique et technique ; les valeurs des flux d'alimentation des unités sont des estimations dont les hypothèses de calcul sont exposées dans un chapitre spécifique.

Figure 7 : Localisation des unités hydrogéologiques individualisées.



QUELLES SONT LES ROCHES QUI CONSTITUENT CES MASSIFS ROCHEUX ?

Pour une description synthétique et détaillée des unités hydrogéologiques à l'échelle du Parc, nous avons placé en annexe du rapport les fiches de description des masses d'eau (référentiel de l'Agence de l'Eau). Il nous a semblé cependant utile de rappeler ici les grandes formations que l'on observe dans les massifs carbonatés de la Sainte Baume.

La partie Nord du massif de la Sainte Baume possède une structure complexe. Elle est affectée par de nombreuses failles et chevauchements d'orientation globale Nord-Est/Sud-Ouest.

On peut ainsi distinguer plusieurs unités tectoniques au sein de ces massifs :

- Une unité autochtone : il s'agit du soubassement des massifs, matérialisé par l'anticlinal de la Lare, le synclinal faillé du Plan d'Aups, le plateau de Mazaugues, ainsi que le massif de l'Aurélien. Le Mont Aurélien chevauche le bassin de l'Arc vers le Nord.

- Une unité allochtone : cette unité est constituée par le massif d'Agnis, qui correspond au chevauchement du plateau de Mazaugues par des terrains appartenant au bassin du Beausset, et débutant par des formations du Lias.

- Une unité para-autochtone : entre les deux unités précédentes s'intercale une unité intermédiaire: l'unité de la Haute-Chaîne. Il s'agit de séries renversées sur le Crétacé supérieur autochtone du Plan d'Aups.

Dans ces massifs, on peut observer les formations suivantes, de la plus récente à la plus ancienne :

- Crétacé supérieur : il affleure surtout sur la Haute-Chaîne, et est constitué par les conglomérats à intercalations de grès et calcaires du Bégudien, par les argilites et les calcaires marneux du Valdo-Fuvélien, puis par les calcaires et grès à passées marneuses ou conglomératiques du Coniacien-Santonien (affleurant largement sur la masse d'eau) et du Turonien. L'épaisseur de cette série peut atteindre 400 m.

- Crétacé inférieur : le Crétacé inférieur est représenté par le Valanginien (calcaires en gros bancs de 150 à 200 m d'épaisseur), par les calcaires marneux de l'Hauterivien, épais de 50 mètres, puis par le Barrémien à faciès Urgonien formé par 400 m de calcaires bioclastiques disposés en gros bancs. Les formations datées du Crétacé inférieur affleurent surtout sur la Haute-Chaîne. Des affleurements en bancs allongés de bauxite sont également présents à l'interface Crétacé/Jurassique.

- Jurassique : les formations jurassiques sont très développées. Elles affleurent largement sur la partie nord de la Sainte-Baume et sur le mont Aurélien, mais aussi sur les plateaux de Mazaugues et d'Agnis. Elles sont constituées par des calcaires, des calcaires dolomitiques, des dolomies, des calcaires marneux. L'épaisseur de la série peut atteindre plusieurs centaines de mètres ; les épaisseurs sont variables selon que la série est auto ou allochtone.

Ces descriptions sont très simplifiées. Dans le détail, les séries du Crétacé sont affectées par de fortes variations de faciès; de même, la lithologie du Jurassique varie entre les séries allochtones et autochtones. Il est donc vivement recommandé de se référer aux notices des cartes géologiques pour toute étude de détail dans le périmètre de la masse d'eau (Guieu et al., 1969 ; Blanc et al., 1972 ; Durand et al., 1979).

Plus au Sud, le bassin du Beausset présente une structure synclinale, allongée Est-Ouest, constituée par une série d'assises concentriques bien développées au Nord, mais relevées au sud le long d'un accident orienté Est-Ouest, entre la Vallette et la Ciotat, qui isole au Sud la chaîne montagneuse dominant Bandol, Ollioules et Toulon.

Ce synclinal chevauche par son flanc Nord le massif de la Sainte-Baume, alors que son flanc Sud est redressé ou chevauché par des formations anticlinales complexes du Trias et du Lias. Elles sont, de la plus récente à la plus ancienne :

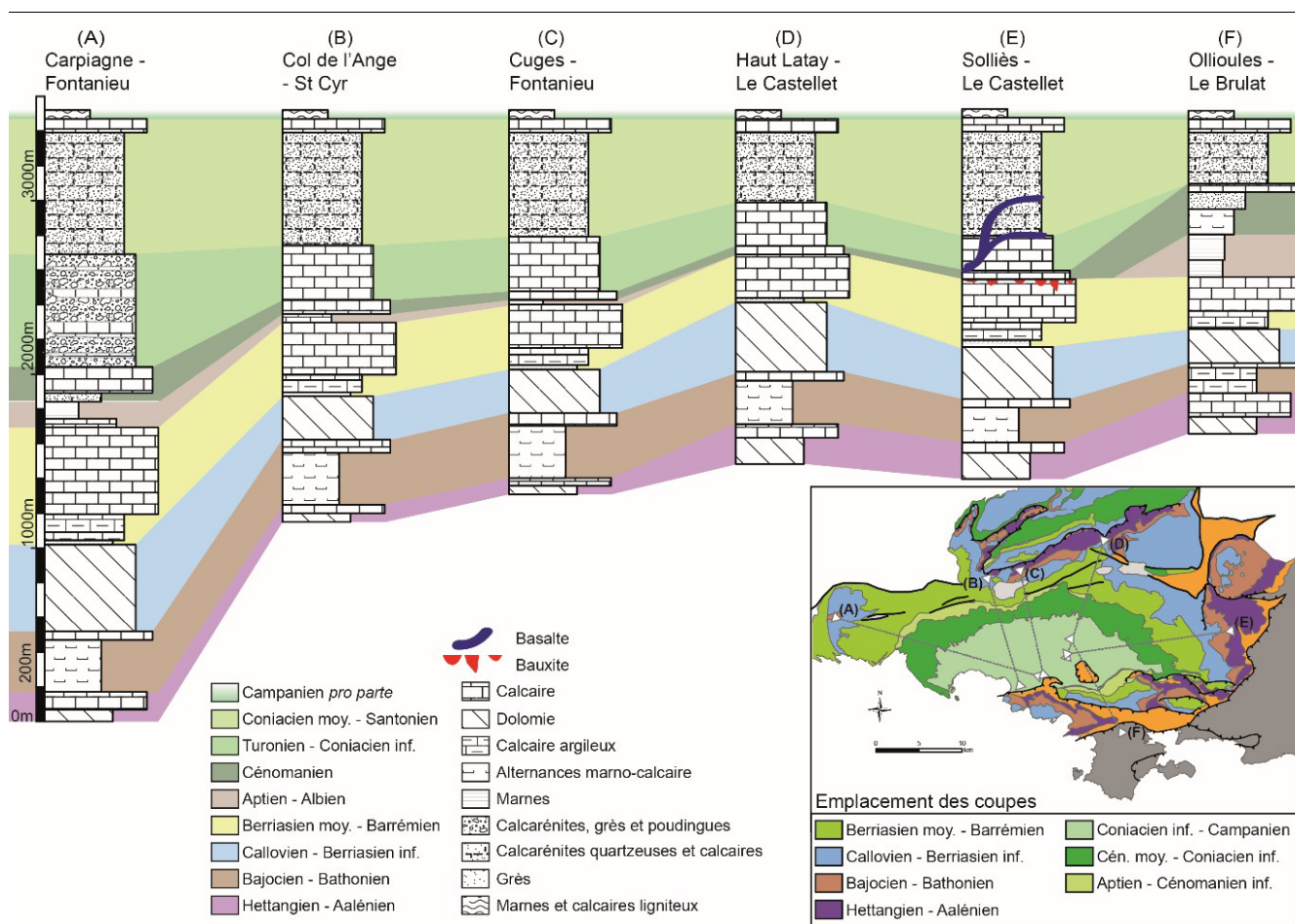
- Santonien- Coniacien : Il s'agit des formations les plus récentes du bassin du Beausset, et sont constituées par une alternance de grès, d'argiles gréseuses et de marnes sableuses. Localement des horizons calcaires peuvent être rencontrés au sein de ces formations. Cette série possède une structure lenticulaire correspondant à la mise en place de plusieurs appareils deltaïques successifs. Elle est épaisse, de l'ordre de 400 à 600 m.

- Turonien : ces formations affleurent dans le bassin du Beausset et plongent sous les formations marneuses du Coniacien-Santonien occupant le centre du bassin. Les formations turoniennes sont des grès compacts comportant des intercalations d'assises sableuses, et des calcaires. Leur épaisseur est d'environ 200 m au niveau du Cap Canaille, et de 80 m à la base du Mont Caume.

- Cénomaniens : affleurant également dans le bassin du Beausset, il s'agit de grès tendres, pouvant comporter des intercalations de marnes. Leur épaisseur peut atteindre 150 m.
- Aptien : il affleure uniquement dans la partie ouest du bassin du Beausset. Il s'agit essentiellement de marnes.
- Jurassique moyen et supérieur, Néocomien et Barrémien (faciès Urgonien) : ces formations constituent une série dolomitique et calcaire épaisse de plusieurs centaines de mètres, pouvant comporter quelques niveaux de marnes et de calcaires marneux, notamment dans le Néocomien. Elles affleurent largement dans le massif des Calanques, ainsi que sur les pourtours du bassin du Beausset.
- Jurassique inférieur (Lias) : calcaires dolomitiques et dolomies, présentant des intercalations marneuses et argileuses. Son épaisseur est de l'ordre d'une centaine de mètres.

Excepté le cœur crétacé du synclinal du Beausset, les formations présentes dans la masse d'eau sont essentiellement carbonatées et constituent des réservoirs aquifères importants. Les horizons les plus intéressants sont les calcaires et dolomies d'âge jurassique à barrémien. Cet ensemble forme le réservoir aquifère le plus développé de la région. Les formations turoniennes représentent également un réservoir notable.

Figure 8 : Synthèse stratigraphique de l'Unité du Beausset (d'après Fournillon, 2012).



De nombreuses études géologiques ont été réalisées sur l'unité géologique du Beausset, depuis la première carte géologique des Bouches-du-Rhône de Matheron (1839). Pour un lecteur curieux, une synthèse stratigraphique exhaustive de l'unité du Beausset est présentée dans la thèse de Fournillon (2012).

Les massifs de la Loube et du Pilon St Clément, dans la partie orientale du Parc Naturel Régional correspondent à des massifs d'âge jurassique. La structure de ces massifs résulte des efforts orogéniques subis par la couverture mésozoïque d'un ancien massif disparu sous la méditerranée. Cette couverture, décollée au niveau du Trias, a glissé en direction du Nord. Le résultat est la mise en place de grands compartiments tectoniques séparés les uns des autres par de grandes cassures le long desquelles le complexe inférieur (Trias) s'est fortement plissé et étiré (arcs de la Roquebrussane, Tourves...).

On y observe des séries aquifères allant du Lias au Jurassique supérieur, selon la séquence classique en Provence :

- Jurassique inférieur (Lias) : calcaires, calcaires dolomitiques, calcaires marneux. L'ensemble est perméable, son épaisseur d'environ 200 m.
- Jurassique moyen (Dogger) : formations à dominante marno-calcaire. Ensemble assez peu perméable, mais la fissuration des bancs calcaires peut localement permettre le passage de l'eau. L'épaisseur est d'environ 500 à 600 m.
- Jurassique supérieur : calcaires, calcaires dolomitiques. Formations perméables. L'épaisseur est d'environ 600 m.

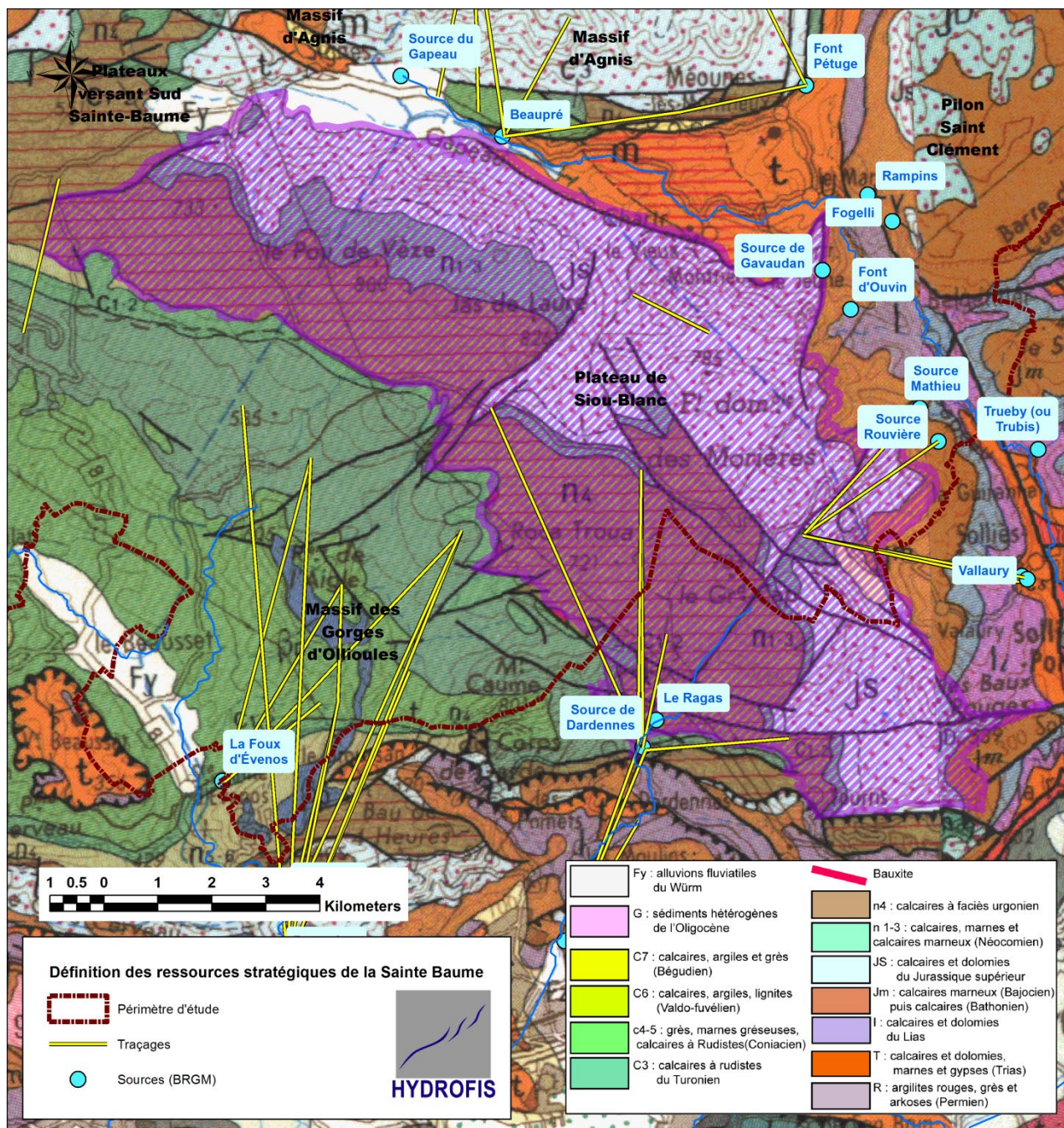
Le Crétacé supérieur (grès ou calcaires intercalés dans des marnes) est jugé assez peu perméable ; il est présent dans les synclinaux de Val-Vins et de Camps.

Les épaisseurs des formations sont données à titre indicatif. En effet, la complexité des structures géologiques, rend localement l'estimation des épaisseurs difficile et les complexités tectoniques peuvent conduire à des diminutions ou, inversement, à des augmentations significatives des épaisseurs des séries aquifères.

L'UNITÉ DU PLATEAU DE SIOU BLANC

Le plateau de Siou Blanc présente une altitude variant entre 300 et 800 m NGF. Il est limité sur ses flancs Nord et Est par la vallée du Gapeau et sur son flanc Ouest par la dépression du Beausset.

Figure 9 : Unité karstique du plateau de Siou Blanc.



L'unité du Plateau de Siou Blanc correspond à une vaste unité hydrogéologique (150 km²) qui regroupe en continuité les séries carbonatées du Barrémien à faciès urgonien (n4) avec celles du Jurassique supérieur (Js). Intercalées de façon discontinue entre ces deux formations massives (respectivement 150

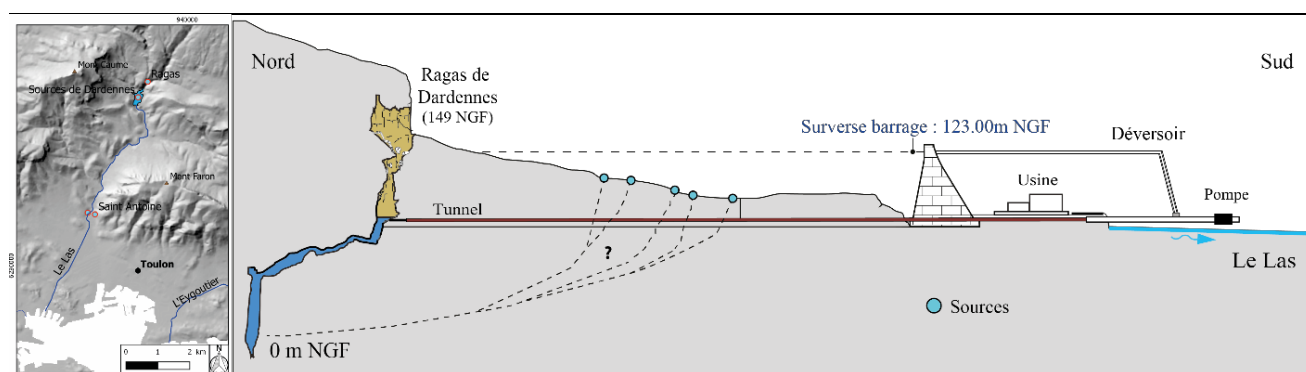
et 200 m de puissance), on peut observer les séries hétérogènes du Valanginien (n1-3), caractérisées par des épaisseurs faibles et variables (<50 m) : micrites, argiles marneuses et calcaires noduleux.

Tout le plateau correspond à un vaste impluvium, caractérisé par l'absence de cours d'eau temporaire ou permanents (système unaire) ; les figures karstiques liées à l'infiltration des eaux de pluie sont nombreuses.

L'exutoire principal de cette unité est constitué par le Ragas du Revest, qui draine une grande partie de la terminaison orientale du synclinal du Beausset. Selon CENOTE (2018), la surface d'impluvium serait de l'ordre de 70 km², avec un Q moyen associé compris entre 600 et 700 l/s pour les sources du Ragas (entre 19 et 22 Mm³/an).

Il s'agit d'une source vaclusienne, située sur une faille affectant les calcaires urgoniens et les mettant en contact avec un niveau marneux du Cénomaniens. L'eau de cette source est stockée dans le barrage de Dardennes et sert à l'alimentation en eau potable de Toulon.

Figure 10 : Coupe schématique de la configuration des sources et du barrage de Dardennes (d'après CENOTE 2018, modifié d'après les relevés de J.P. Lucot, T. Lamarque, P. Maurel et spéléo-plongeurs).



Les sources de Dardennes donnent naissance à la vallée du Las qui s'écoule vers le sud en traversant la ville de Toulon.

Le système karstique drainé par le Ragas de Dardennes montre un fonctionnement karstique typique à deux composantes : une composante rapide qui génère des crues de fortes intensités (plus de 30 m³/s) et une composante lente qui assure un débit d'étiage (en général compris entre 50 et 100 l/s) sur plusieurs mois avec de faibles précipitations (CENOTE, 2018). Malgré tout, le débit est insuffisant pour la demande en eau potable en été, d'où la construction d'une retenue artificielle pour créer une réserve d'eau en étiage.

Une des caractéristiques importantes de cette unité est l'existence de réserves statiques importantes.

Selon CENOTE (2018), le volume poreux total en zone saturée serait compris entre 300 et 8 000 Mm³. La majorité des réserves se situeraient dans le réservoir dolomitique du Jurassique supérieur qui représenterait entre 45 et 76 % du volume poreux du réservoir. Le réservoir crétacé inférieur ne représente quant à lui qu'une petite partie du volume poreux total, entre environ 6 et 10 %.

Notons l'existence d'exutoires secondaires (Q moyen < 100 l/s), qui drainent très localement cette même unité, le long de la vallée du Gapeau (La Rouvière, Font d'Ouvin, Lacanal, Gavaudan), ainsi que les sources de Montrieux, plus au Nord.

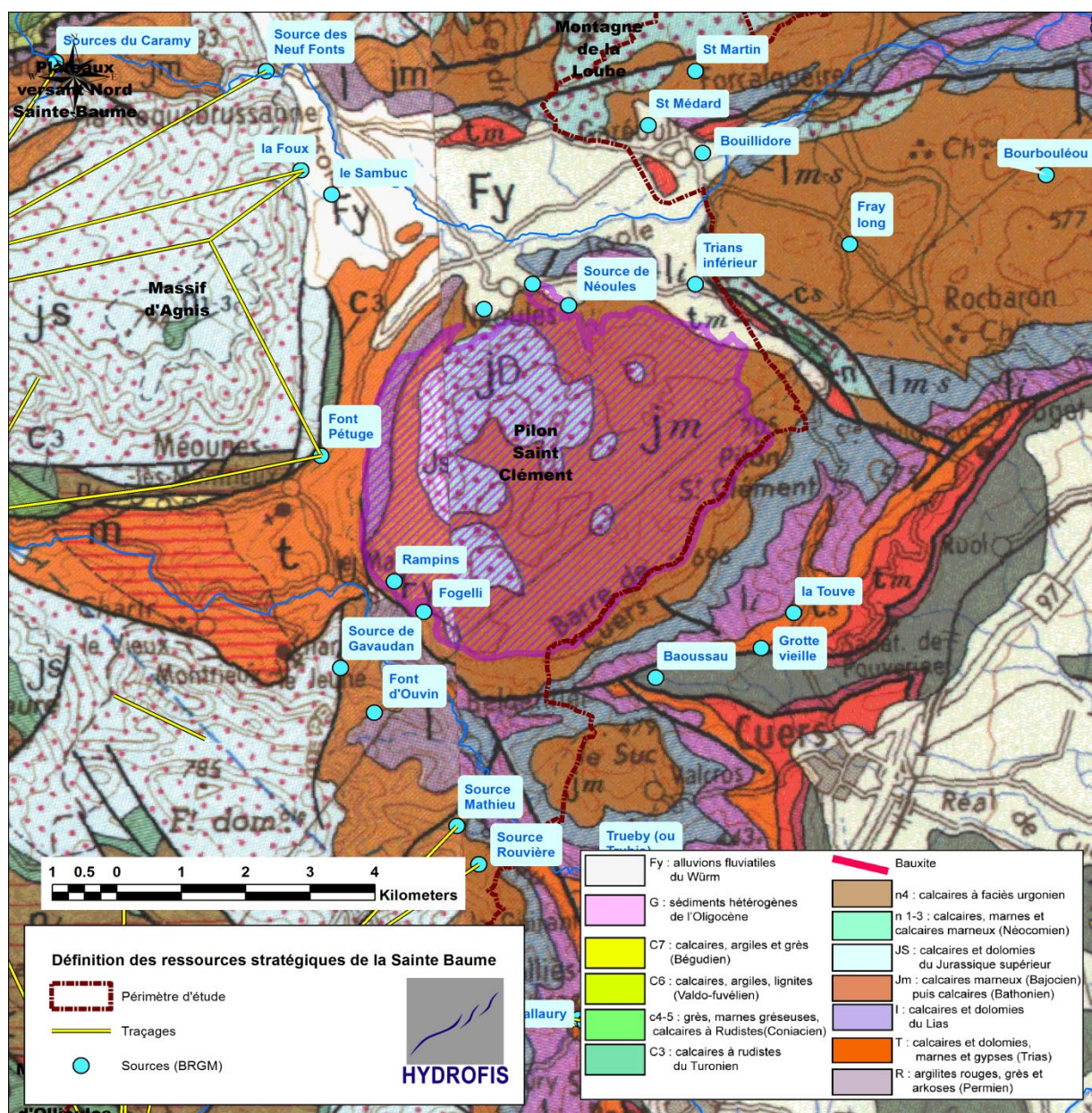
PILON ST CLEMENT

Le Pilon St Clément correspond à un massif bien isolé dans le paysage, de forme circulaire d'environ 35 km²; les séries géologiques sont monoclinales et plongent vers le Nord avec un pendage moyen de 30° (de 700 m NGF sur la pointe Sud du massif à 330 m sur sa bordure Nord).

Il est limité au Nord par la plaine alluviale de l'Issole, à l'Est par la vallée du Gapeau et à l'Ouest par le vallon de Limbaud. Sa bordure Sud correspond à des falaises qui dominent la commune de Cuers.

D'un point de vue géologique, on peut y observer la succession typique du Jurassique : Lias carbonaté, séries marneuses du Bajocien Bathonien inférieur (200 à 300 m d'épaisseur), barre calcaire du Bajocien supérieur surmontée par des reliquats de dolomies du Jurassique supérieur.

Figure 11 : Unité karstique du Pilon St Clément.



On peut identifier deux formations aquifères de type carbonaté : le Lias et le Jurassique supérieur.

- Le Lias affleure sur les bordures du massif et est alimenté par infiltration des eaux de pluie sur un impluvium réduit (quelques km² seulement), ce qui implique de faibles réserves renouvelables. Il est probablement en relation hydraulique avec les séries aquifères qui bordent le massif (alluvions et colluvions, séries carbonatées du Muschelkalk).

- Le Jurassique supérieur est caractérisé par un vaste impluvium (environ 25 km²) ce qui implique une réserve renouvelable conséquente (de l'ordre de 180 l/s avec l'hypothèse d'un module d'infiltration de l'ordre de 8 l/s/km²). C'est l'aquifère majeur de cette unité hydrogéologique.

La quasi-totalité de l'eau infiltrée dans les séries du Jurassique supérieur suit le pendage de la structure, vers le Nord.

Sans surprise, le village de Néoules est situé sur la principale zone de résurgences des eaux souterraines (point bas du massif vers 330 m NGF) qui se caractérise par la présence de nombreuses sources : Font de Bré, Font Marcellin, Font Gayaou ($Q_{\text{moy}} = 65 \text{ l/s}$, $Q_{\text{min}} = 5 \text{ l/s}$ et $Q_{\text{max}} = 280 \text{ l/s}$), source de Trians ($Q_{\text{moy}} = 20 \text{ l/s}$, $Q_{\text{min}} = 1,5 \text{ l/s}$ et $Q_{\text{max}} = 40 \text{ l/s}$) et Font Robert ($Q_{\text{moy}} = 50 \text{ l/s}$, $Q_{\text{min}} = 1 \text{ l/s}$ et $Q_{\text{max}} = 960 \text{ l/s}$) au nord ; émergence des Rampins dans la vallée du Gapeau ($Q_{\text{moy}} = 30 \text{ l/s}$). Il existe des sources de débordement temporaires dans la plaine plus à l'Est des Régays. Il est possible et probable qu'une proportion importante des eaux souterraines alimentent l'aquifère triasique après un passage à travers les séries du quaternaire en position de relais hydraulique.

Ces sources contribuent indirectement au soutien du débit d'étiage de l'Issole.

Figure 12 : Source - commune de Néoules.



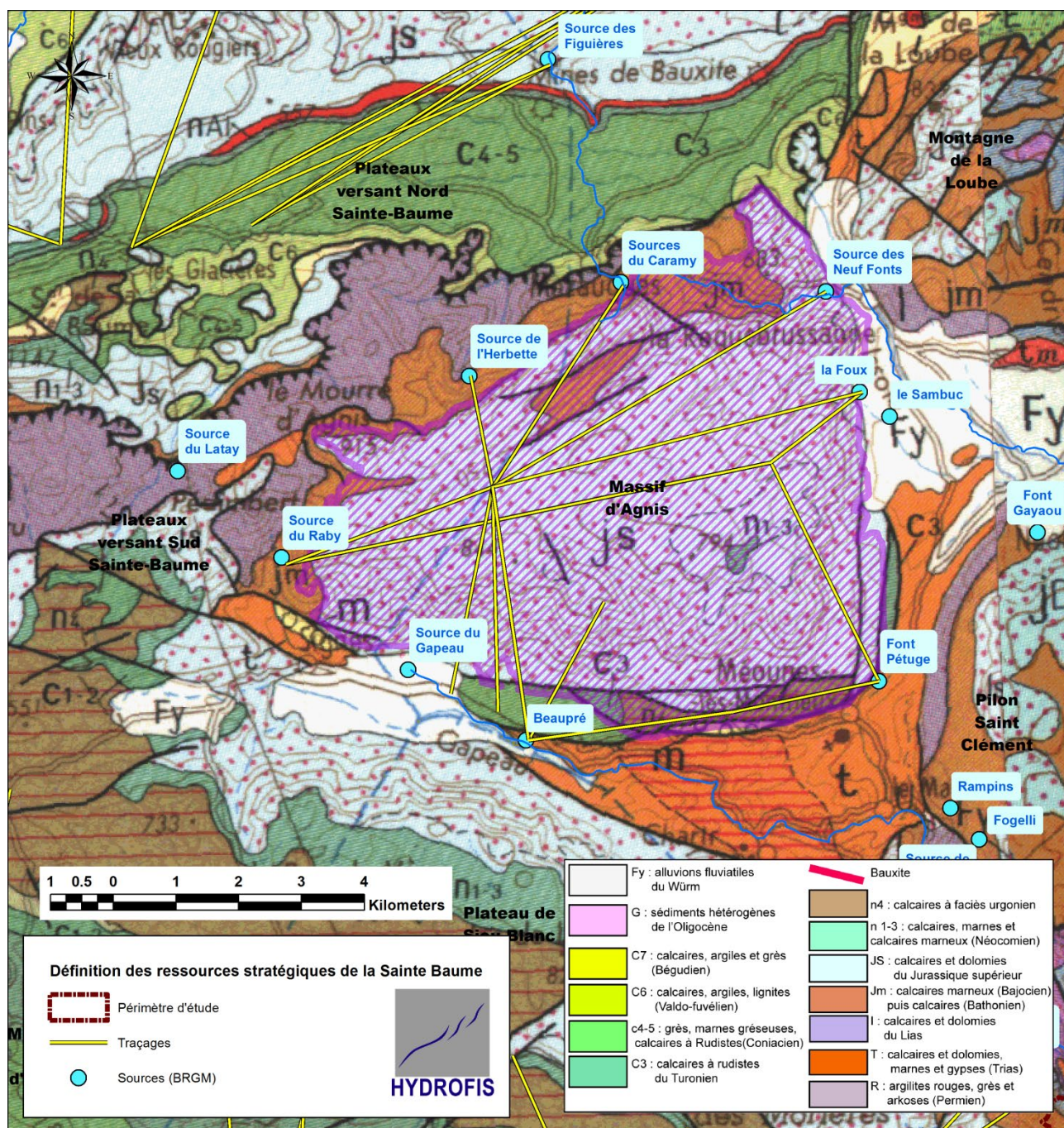
Une caractéristique importante de cet aquifère du Jurassique supérieur est son absence de réserves statiques, expliquée par sa disposition structurale en monoclinale penté vers le Nord.

MASSIF D'AGNIS

Le massif d'Agnis forme un relief qui culmine à plus de 800 m NGF, en limite de trois communes : Mazaugues, La Roquebrussanne et Signes. De forme triangulaire, il est limité au Nord par le Plateau de Mazaugues, à l'Est par la plaine alluviale de l'Issole et au Sud par la dépression de Signes.

D'un point de vue géologique, on y retrouve la succession typique du Jurassique : Lias carbonaté, séries marneuses du Bajocien Bathonien inférieur (200 à 300 m d'épaisseur), surmontées par les dolomies du Jurassique supérieur.

Figure 13 : Unité hydrogéologique du massif d'Agnis.



Entièrement délimité par des contacts anormaux, il est constitué de jurassique moyen (à dominante marno-calcaire) et de jurassique supérieur (calcaires et dolomies) qui chevauchent au Nord le plateau de Mazaugues. Il est limité à l'Est par la zone faillée de la Roquebrussanne d'orientation Nord-Sud, et au Sud par le fossé de Signes à cœur triasique, d'orientation Est-Ouest. Le souterrain Mazaugues-Signes (canal SCP) a confirmé le chevauchement vers le Nord et l'écaillage basal de la base de la série jurassique.

On peut identifier deux formations aquifères de type carbonaté : le Lias et le Jurassique supérieur.

- Le Lias affleure sur la bordure Nord du massif et est alimenté par infiltration des eaux de pluie sur un impluvium réduit (environ 8 km²) mais aussi par ruissellement sur les marnes Bajociennes situées en contre-haut des séries aquifères liasiques. De plus, des expériences de traçage ont montré des alimentations en provenance de l'aquifère du Jurassique supérieur. On peut donc estimer une réserve renouvelable de plus de 100 l/s. Ces séries aquifères sont majoritairement drainées par des exutoires visibles et masqués dans le vallon de l'Herbette, qui présente des écoulements permanents. Ces écoulements participent au soutien d'étiage du Caramy.

- Le Jurassique supérieur est caractérisé par un vaste impluvium (environ 50 km²) ce qui implique une réserve renouvelable conséquente (de l'ordre de 450 l/s avec l'hypothèse d'un module d'infiltration de l'ordre de 9 l/s/km²). C'est l'aquifère majeur de cette unité hydrogéologique. Il est drainé par un nombre important de sources périphériques permanentes :

- Sources hautes et basses du Caramy (entre 420 et 450 m NGF).
- Sources de l'Issole en eau dans les Gorges du Paradis. Résurgence au contact entre le Jurassique supérieur et les marno-calcaires du Bajocien Bathonien, à environ 400 m NGF.
- Source de la Foux et de la Sambuc (environ 355 m NGF) en bordure de la plaine alluviale de l'Issole.
- Source de Font Pétugue dans la vallée du Gapeau (commune de Méounes-les-Montrieux), à environ 290 m NGF.
- Source du Raby (environ 500 m NGF) et source du Gapeau (320 m NGF) dans la dépression de Signes.

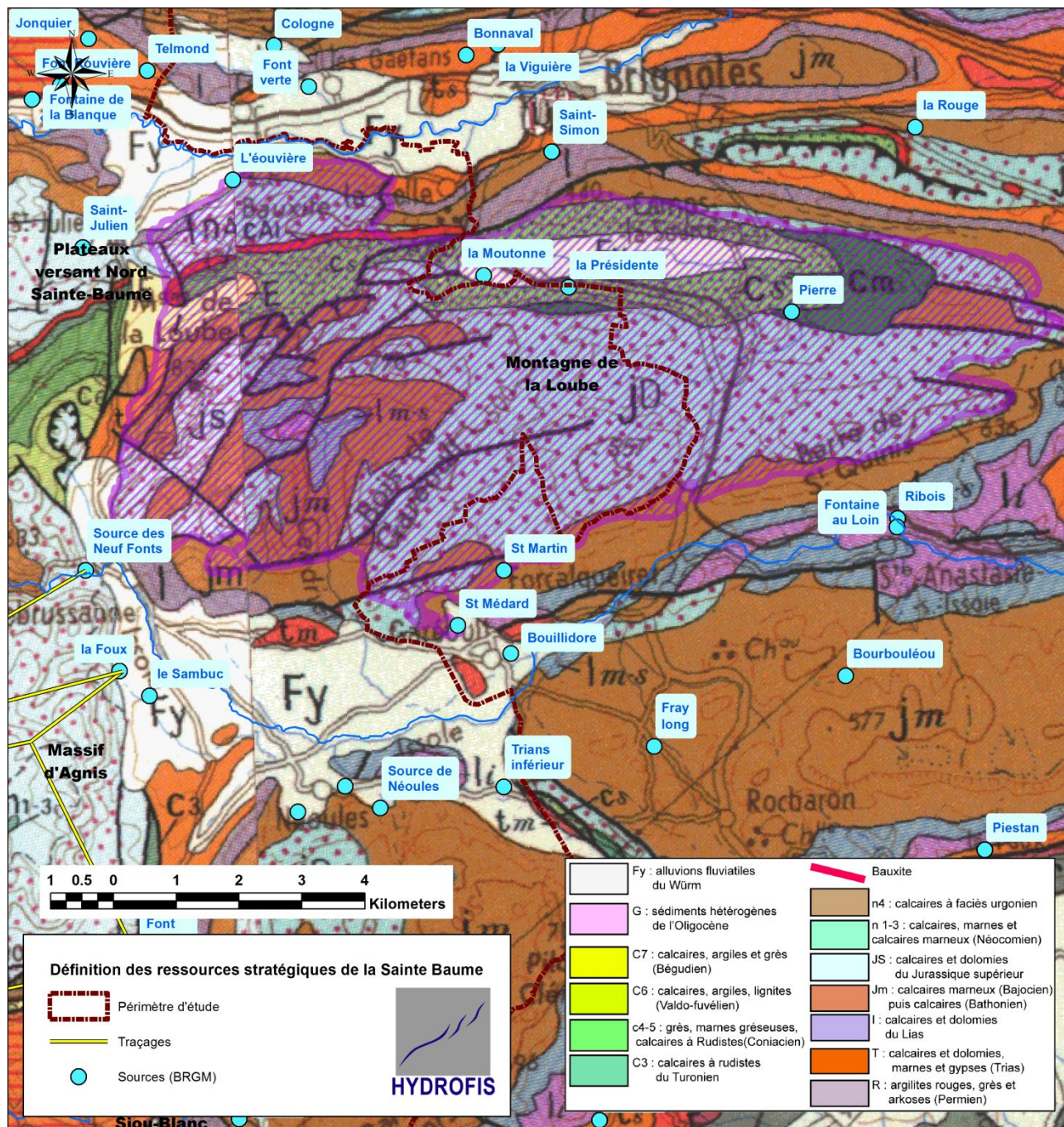
Ces sources cumulent un débit moyen d'environ 350 l/s.

Ces sources contribuent de façon significative au soutien d'étiage de trois cours d'eau : le Caramy, l'Issole et le Gapeau. La multiplicité des exutoires est un indice de compartimentation du réservoir.

MONTAGNE DE LA LOUBE

La Montagne de la Loube correspond à une succession de reliefs, étirés selon un axe Est-Ouest, compris entre la plaine alluviale de l'Issole au Sud et la plaine alluviale du Caramy au Nord. En schématisant, on peut distinguer deux séries de relief, séparés par le vallon d'Engardin et le Val de Camps, en position basse dans la topographie.

Figure 14 : Unité hydrogéologique de la Montagne de la Loube.



Cette complexité topographique traduit une certaine complexité géologique. En schématisant, on peut distinguer plusieurs unités géologiques :

- La Montagne de la Loube à proprement parler, qui correspond à un anticlinal à cœur liasique. Le jurassique supérieur carbonaté est morcelé, avec de très faibles surfaces d'impluvium. Les séries aquifères sont donc perchées et de petites dimensions. Elles donnent lieu à de nombreuses sources temporaires, généralement situées au contact des séries marneuses sous-jacentes du Bajocien-Bathonien (sources des Trois Fontaines, des Orris, source du Vallat de Tourte). Les aquifères présentent peu de réserves.

Le massif de St Quinis qui forme le prolongement oriental de la Montagne de la Loube. Les formations carbonatées du jurassique supérieur affleurent sur environ 25 km² ; elles présentent un léger pendage vers le Nord. Sur le flanc sud du massif, les marno calcaires du Bajocien Bathonien sont en écran imperméable entre les formations aquifères du jurassique supérieur et les formations liasiques aquifères de la plaine de l'Issole. Sur le flanc Nord, localement, les séries du Jurassique supérieur sont en contact avec les séries calcaires du Crétacé supérieur qui sont en position de relais hydraulique entre le karst jurassique et les sédiments quaternaires qui tapissent le fond de la dépression. Le karst jurassique est donc drainé vers le Nord : principalement de manière masquée au profit du ruisseau dit du Val de Camps qui gagne en débit de façon spectaculaire au cours de son trajet vers Brignoles, secondairement par de multiples sources : source de la Présidente ($Q_{\text{moy}} = 30 \text{ l/s}$, $Q_{\text{min}} = 10 \text{ l/s}$ et $Q_{\text{max}} = 80 \text{ l/s}$) au nord et Saint-Martin ($Q_{\text{moy}} = 30 \text{ l/s}$, $Q_{\text{min}} = 3 \text{ l/s}$ et $Q_{\text{max}} = 85 \text{ l/s}$). Au sud, le massif est principalement drainé par la source de Saint Médard (Garéoult) et la source de la Vierge (La Roquebrussanne). La source de Saint Médard (Alt. 312 m ; $Q_{\text{moy}} = 70 \text{ l/s}$) est légèrement sulfatée.

Figure 15 : Val de Camps.



■ Le massif de Banari au Nord, séparé de la Montagne de Loube par le Val d'Engardin. On observe la même disposition structurale que sur le plateau de Mazaugues avec une série jurassique surmontée par des calcaires à rudistes, chevauchée par un allochtone jurassique (montagne de la Loube). D'un point de vue de son alimentation, il s'agit d'un système karstique uniaire alimenté uniquement par infiltration des eaux de pluie ; l'impluvium est relativement limité (environ 5 km²) Le Santonien peu aquifère est en interface entre les séries jurassiques auto et allochtones. Cette unité a fait l'objet d'une exploitation des horizons de bauxite, ce qui a dû renforcer la porosité efficace et la perméabilité en grand des séries carbonatées karstifiées. Cette unité présente un seul exutoire visible permanent : la source de l'Eouvière qui alimente indirectement le Caramy. Elle est aussi probablement drainée de façon masquée par la plaine alluviale du Caramy sur sa bordure Nord. On trouve en période hivernale des canaux de drainage mis en eau par les eaux souterraines depuis le Mas de l'Eouvière jusqu'à la propriété Franco.

Figure 16 : Rejet au Caramy des eaux de la résurgence de l'Eouvière.



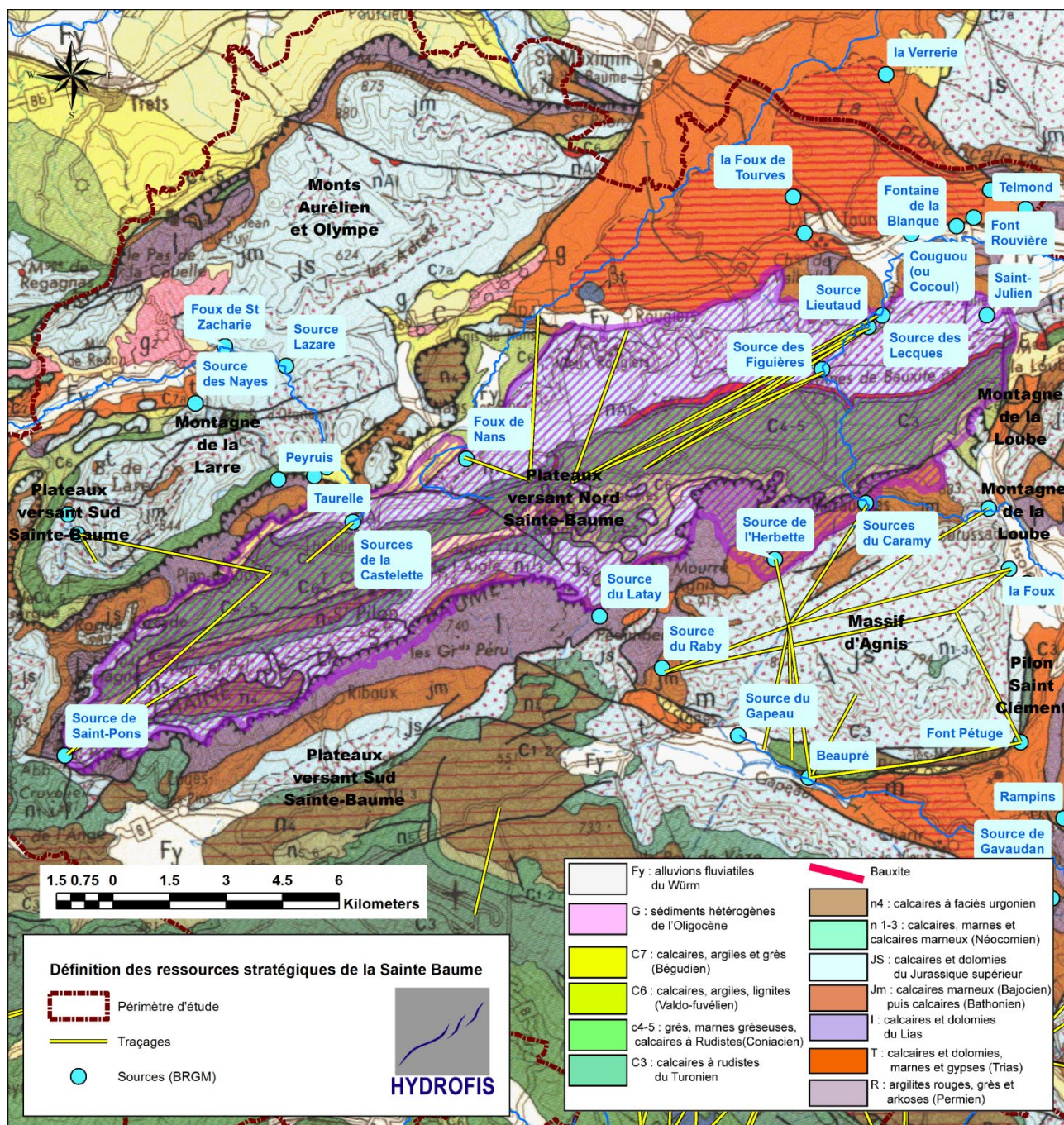
De par sa superficie et sa position structurale, c'est le massif de St Quinis qui présente l'aquifère le plus puissant (réserve renouvelable estimée à environ 200 l/s).

PLATEAUX DU VERSANT NORD DE LA SAINTE BAUME

Les plateaux du versant Nord du massif de la Sainte Baume correspondent à une vaste unité géographique qui s'étend de la dépression de la Roquebrussanne à l'Est jusqu'au vallon de St Pons à l'Ouest (soit une bande de 25 km de long sur 2 à 4 km de large).

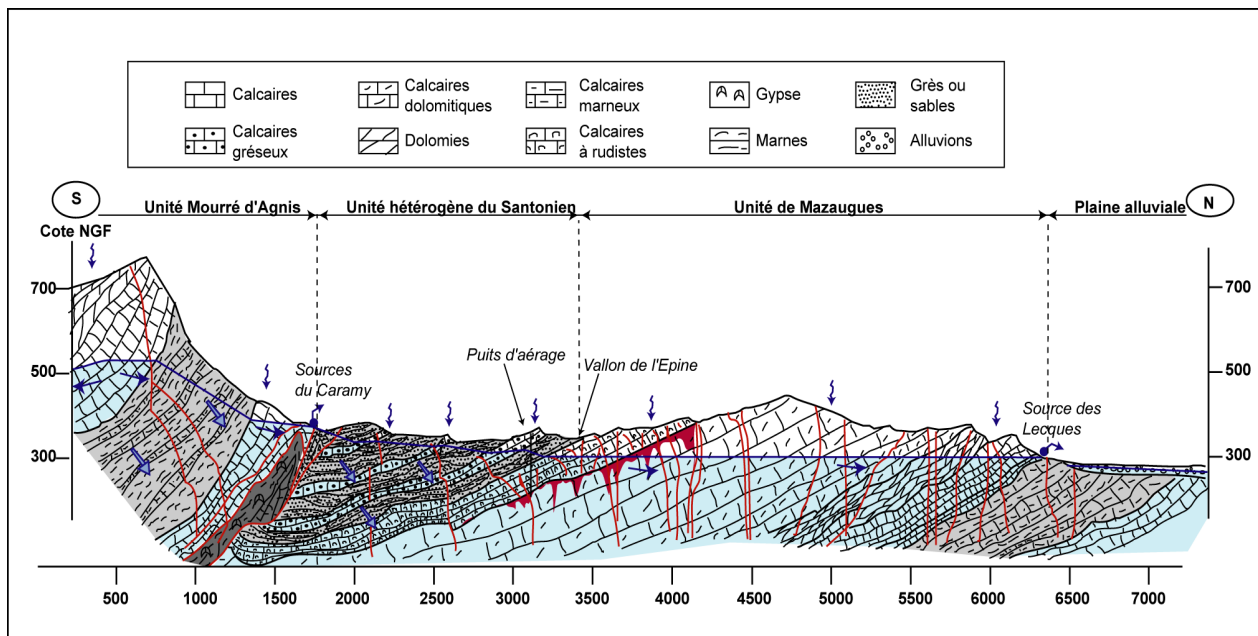
Au droit du périmètre d'étude, la topographie est élevée, entre 500 et 800 m d'altitude. Les terrains sont majoritairement occupés par des espaces naturels.

Figure 17 : Unité karstique des plateaux du versant Nord de la Sainte Baume.



A grande échelle, on observe un vaste synclinal d'axe Est-Ouest chevauché par une unité allochtone. Le synclinal est composé de séries allant du Jurassique carbonaté aux séries marno gréseuses du Crétacé supérieur. L'allochtone correspond à la totalité des séries Jurassiques de l'Hettangien au Portlandien. Cet allochtone a été charrié sur plusieurs kilomètres avec un niveau de décollement au niveau des séries du Trias. Le front de chevauchement est caractérisé par un écaillage tectonique avec des lambeaux très déformés de Trias et de Crétacé supérieur.

Figure 18 : Coupe géologique schématique du plateau de Mazaugues (d'après HYDROFIS, 2007).



La littérature scientifique et technique permet d'identifier trois parties dans ces plateaux qui correspondent à trois systèmes karstiques différents :

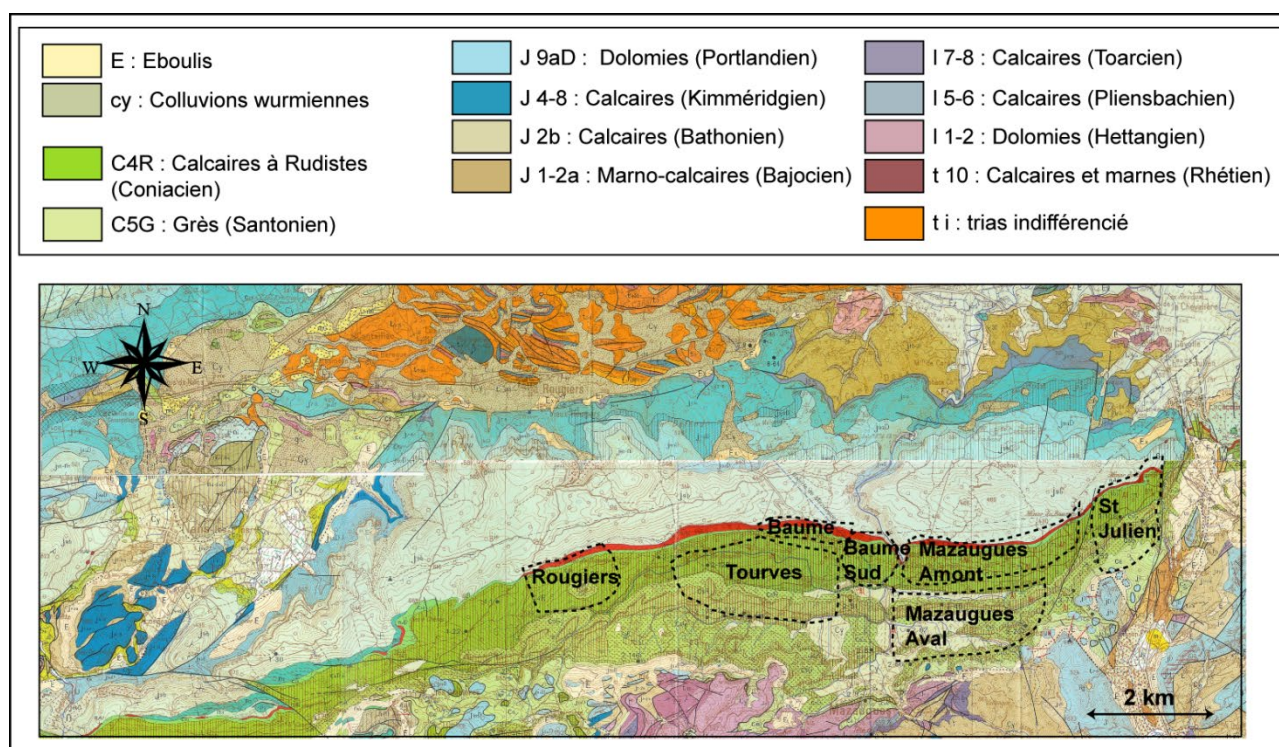
- En partie orientale, le plateau de Mazaugues, dont le système karstique est drainé par le Caramy.
- En partie centrale, le système de la Foux de Nans, système hérité peu fonctionnel qui contribue au soutien du débit du Cauron.
- En partie occidentale, le plateau du Plan d'Aups, vaste poljés qui contribue au soutien des débits de l'Huveaune.

Partie orientale : le plateau de Mazaugues

Il s'agit du flanc Nord d'un vaste synclinal, chevauché au Sud par le massif d'Agnis. On y trouve l'ensemble de la série jurassique depuis les marno-calcaires du Bajocien aux calcaires et dolomies du Jurassique supérieur ; les séries présentent un pendage pseudo-constant vers le Sud et les calcaires jurassiques en position monoclinale forment un vaste impluvium (environ 40 km²). Ils sont recouverts par des calcaires à rudistes très karstifiés et dépilés par les travaux miniers d'extraction de la bauxite. Le cœur du synclinal, disposé sur le plateau de Mazaugues, est constitué d'une alternance de barres calcaréo-gréseuses et de séries plus franchement marneuses. Le plateau karstique est drainé par des sources sur sa bordure Nord ou par des émergences dans la vallée du Caramy qui entaille le plateau. Il a été montré récemment (Fénart, 2007), que dans sa partie amont, le Caramy alimente par pertes la nappe mais qu'au droit des gorges, c'est la nappe qui vient soutenir le cours d'eau par le biais de venues sous-alluviales.

Le plateau de Mazaugues est constitué de deux ensembles sédimentaires qui présentent des comportements hydrogéologiques très différents : un ensemble marno-gréseux du Santonien et un ensemble carbonaté constitué des séries du Jurassique et des calcaires à rudistes du Crétacé supérieur.

Figure 19 : grandes unités géologiques du plateau de Mazaugues avec position des mines.

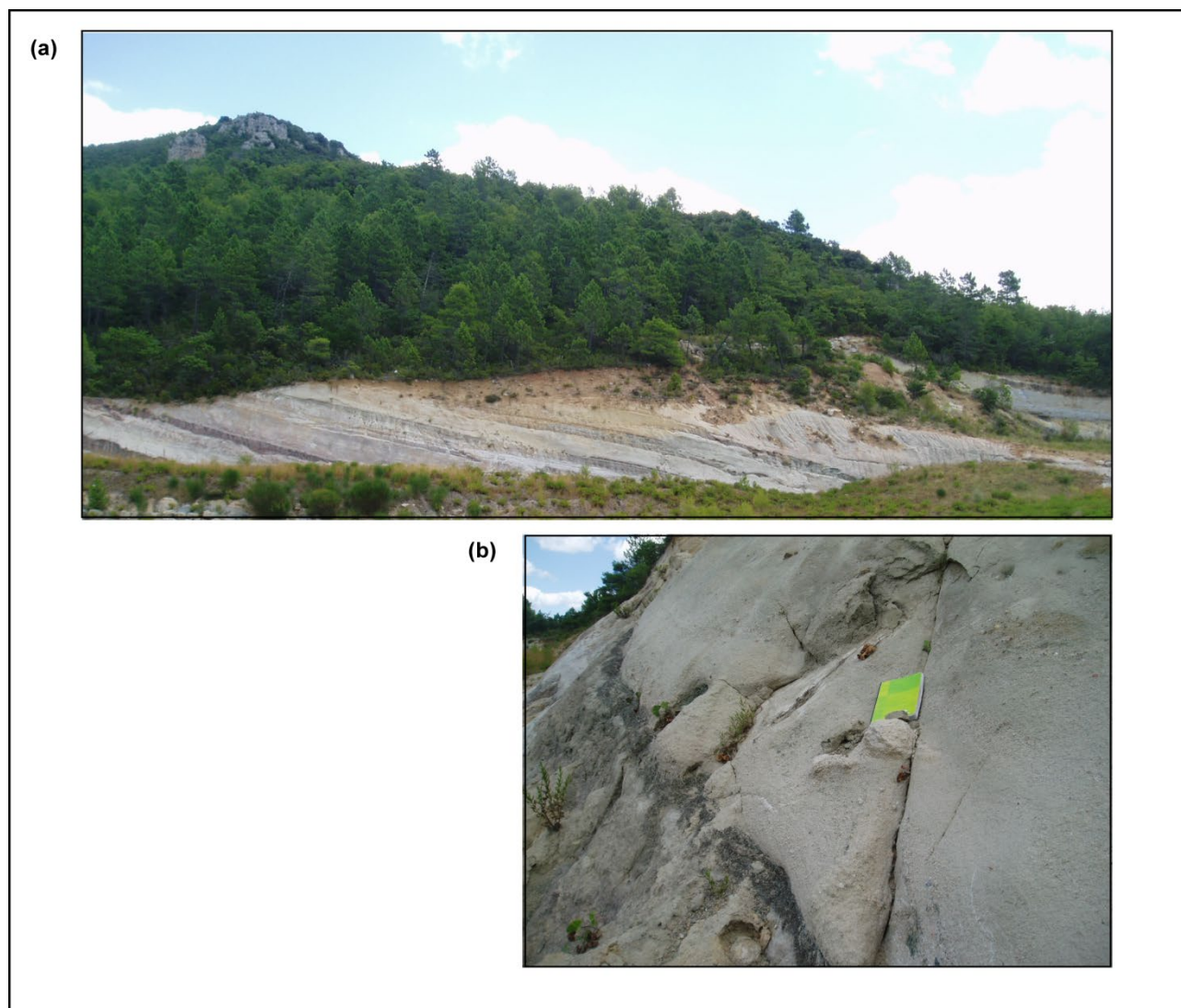


L'unité du Santonien présente une hétérogénéité sédimentaire importante. Elle s'observe à grande échelle avec une alternance de trois barres de calcaires gréseux, séparées par des horizons plus marneux. Dans le détail, les données de forage carottés réalisés pour la recherche minière montrent que pour environ 200 m d'épaisseur réelle, on recoupe environ 70 horizons différents : argiles noires, marnes bariolées, grès grossiers, argiles rouges, grès fins micassés, marnes gréseuses, calcaires marneux, marnes vertes, marnes noires ligniteuses, ... Rappelons qu'à cette hétérogénéité verticale s'ajoute une hétérogénéité horizontale liée aux rapides variations de faciès.

De cette complexité structurale et sédimentaire résulte une complexité hydrogéologique. Les études tendent à mettre en évidence des nappes principales liées aux barres de calcaires gréseux. Pour être plus précis, on observe des ensembles aquifères avec des « lentilles » plus perméables isolés au sein de séries moins perméables. Les séries aquifères sont drainées par le Caramy et son appareil alluvial.

Globalement, pour cet ensemble sédimentaire, les phénomènes de ruissellement dominant sur les phénomènes d'infiltration. Les eaux ruisselées ou infiltrées viennent in fine alimenter le Caramy et ses affluents.

Figure 20 : Séries hétérogènes du Santonien (a) Vue d'ensemble ; (b) Exemple de fracture.



L'unité aquifère des plateaux de Mazaugues correspond aux séries carbonatées du Jurassique supérieur et aux calcaires à Rudistes du Coniacien. Il est reconnu que ces deux formations sédimentaires forment une seule et même unité aquifère.

D'un point de vue de la structure du réservoir, cette unité karstique est caractérisée par une triple complexité : complexité de structure, complexité liée à la genèse des formes de karstification, héritage des travaux miniers. L'héritage minier est double. Les activités minières ont conduit à la création de vastes vides estimés à plusieurs millions de m³. De plus, toutes les observations géomorphologiques et

hydrogéologiques confirment un impact important du défilage des mines sur les séries sus-jacentes. Ce procédé a conduit à une augmentation importante de la perméabilité verticale et du banc de calcaire à rudistes du Coniacien, et des séries marno gréseuses du Santonien.

Schématiquement, il est nécessaire d'envisager une aquifère bicouche composé de deux parties aux propriétés hydrodynamiques distinctes :

- Une partie supérieure (calcaires à rudistes déstructurés par les travaux miniers) très perméables avec un indice de vide important. A grande échelle, on peut considérer cette partie de l'unité hydrogéologique comme un aquifère de type continu. Son épaisseur est de l'ordre de 60 m.

- Une partie inférieure (séries carbonatées du Jurassique supérieur et moyen) peu fracturée et dont les propriétés hydrodynamiques sont assurées par la karstification du massif : aquifère de type discontinu avec des perméabilités locales élevées et une porosité efficace faible. Son épaisseur apparente est de l'ordre de 500 à 600 m.

L'alimentation de cette unité aquifère se fait de plusieurs façons. Par ordre décroissant d'importance, citons :

- L'infiltration des eaux de pluie. Si l'on accepte un module moyen d'infiltration de 8 l/s/km², on a un volume infiltré moyen d'environ 280 l/s (environ 35 km² d'impluvium).

- Une drainance des séries moins perméables du Santonien. Elle serait localisée autour de certaines zones fissurées qui mettent en contact les horizons perméables du Santonien avec les calcaires à rudistes du Coniacien. Une application simpliste de la loi de Darcy permet d'estimer un débit d'alimentation par drainance de l'ordre de 100 l/s pour l'unité de Mazaugues (HYDROFIS, 2007).

- Des pertes des cours d'eau (Caramy en amont de la Figuière, Grand Gaudin et vallon de l'Epine), de l'ordre de 100 l/s (cf. ci-dessous).

Les exutoires de l'unité de Mazaugues sont nombreux. Par ordre décroissant d'importance, citons :

- L'unité est drainée par les sources suivantes : les Lecques et Lieutaud (Q moyen de 30 l/s et 40 l/s), La Figuière (Q moyen d'environ 60 l/s), Saint Julien (Q moyen d'environ 10 l/s). Précisons que ces débits ont tous été mesurés lors de phases d'exploitation de l'aquifère par pompage. Le drainage cumulé par les sources permanentes peut ainsi être estimé à environ 100 l/s. Mais ces mesures ont été réalisées pendant la période d'exploitation minière ; Pendant l'exploitation minière, le débit moyen drainé dans les mines était alors de l'ordre de 280 l/s. On peut ainsi estimer que le débit cumulé des sources du Caramy est aujourd'hui plus proche de 350 l/s (une partie des eaux de l'exhaure minier venait soutenir le débit des sources par infiltration dans les Gorges du Caramy ; cf. ci-dessous).

- Une probable drainance de l'aquifère par les séries du Trias et la plaine alluviale entre Tourves et St Julien. En appliquant de manière simpliste la loi de Darcy, on peut estimer un débit moyen de l'ordre de 100 l/s (K moyen de 2.10⁻⁵ m/s, A environ 0,5 M m² (100 m x 5 000 m) et i de l'ordre de 1%).

- Une alimentation probable du Caramy à l'étiage en aval de la Figuière (quelques dizaines de l/s).

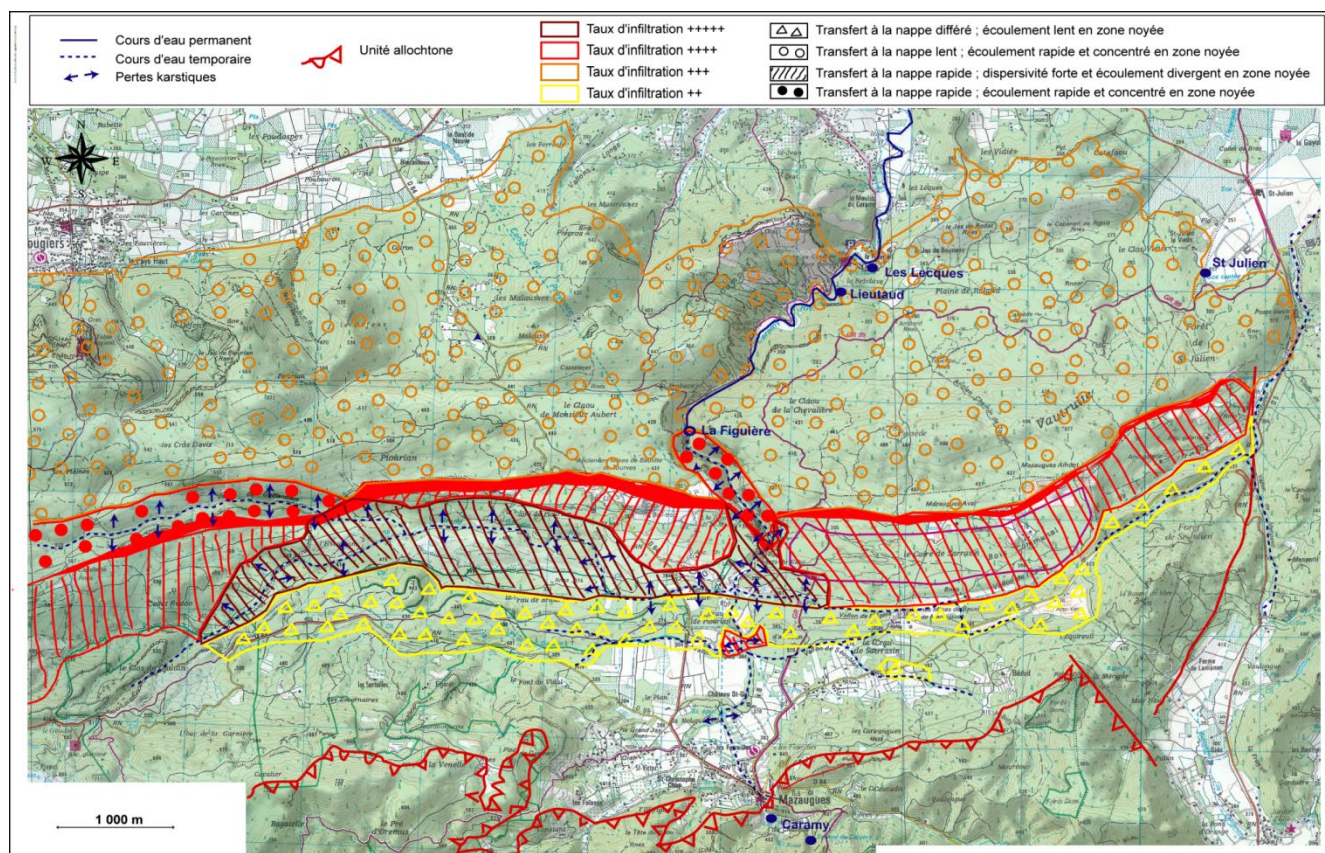
Notons que les cours d'eau alimentés pour partie par ruissellement sur les séries du Santonien, pour partie par les résurgences d'aquifères en contrehaut du plateau (aquifères liasiques du vallon de l'Herbette et séries jurassiques alimentant les sources du Caramy au-dessus du village de Mazaugues) alimentent le système karstique drainé par le Caramy.

Les pertes de cours d'eau se font à plusieurs endroits (HYDROFIS, 2007) :

- Pertes totales du Caramy dans les horizons aquifères du complexe Santonien en période estivale (environ 10 l/s).
- Pertes totales du Grand Gaudin lors de la majorité des événements pluvieux, au passage de l'ancienne mine de Tourves, dans les calcaires à rudistes du Coniacien.
- Pertes partielles du Caramy dans les calcaires à rudistes et les séries du Jurassique. Ces pertes diffuses ont été estimées entre 30 et 60 l/s entre la confluence du Caramy avec le Grand Gaudin, et la source de la Figuière.
- Pertes partielles dans le ravin de l'Epine. Le suivi environnemental mis en œuvre lors des opérations de pompage sur le puits d'aréage a permis de les estimer à environ 25 l/s. Il est intéressant de préciser que le fond du ravin de l'Epine est constitué des horizons marno gréseux du Santonien, ce qui montre leur toute relative imperméabilité supposée.

Soulignons le caractère non négligeable de ces apports par perte en termes de flux d'alimentation. Ils sont estimés à près 100 litres par seconde, hors apport exceptionnel par les pertes du Grand Gaudin.

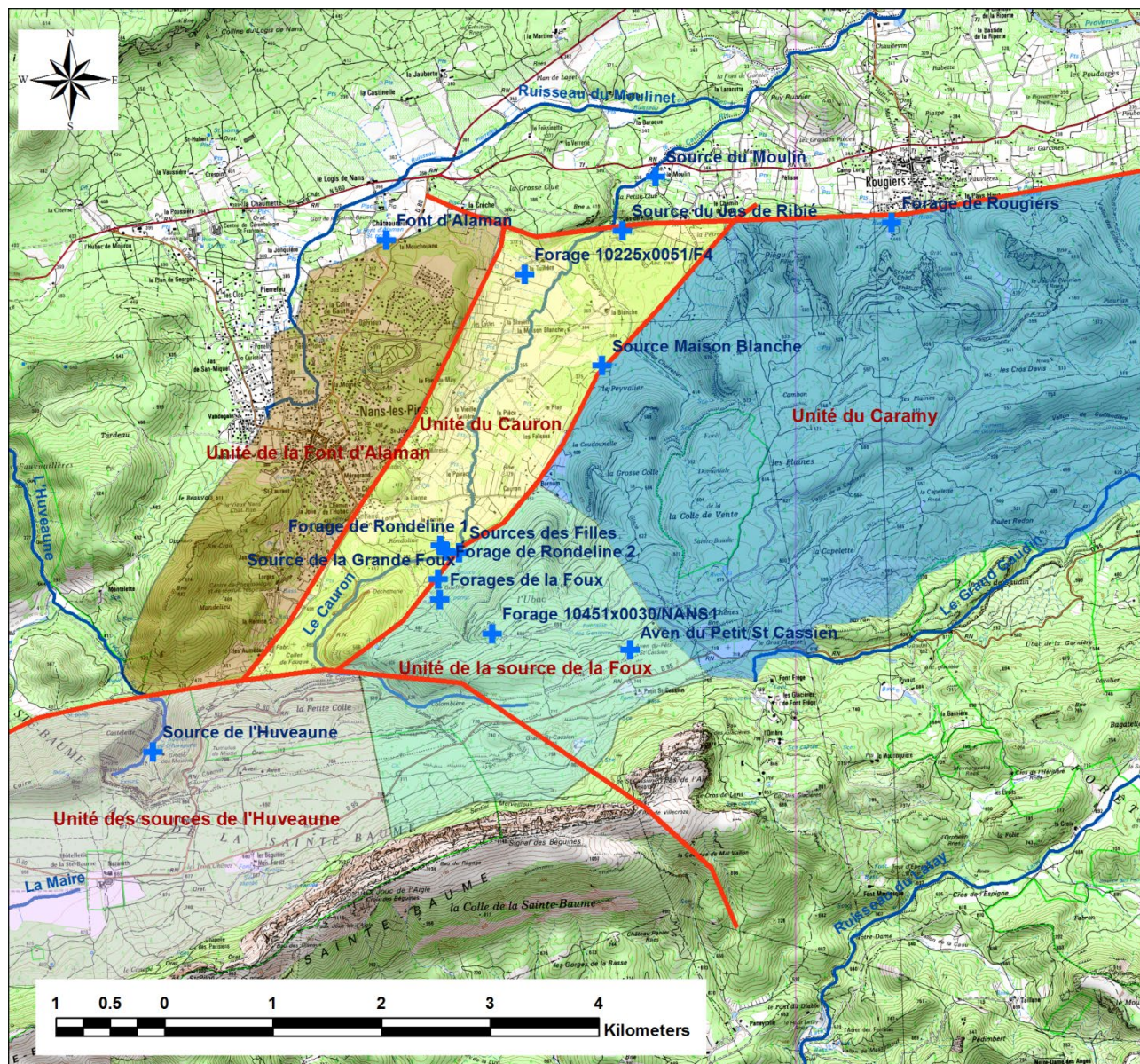
Figure 21 : Conditions d'alimentation et d'exutoire de l'unité karstique du plateau de Mazaugues (Hydrofis, 2007).



Partie centrale : le système karstique de la Foux de Nans.

En partie intermédiaire dans les plateaux, on peut observer une unité qui semble individualisée d'un point de vue hydrogéologique. On observe en effet que cette partie de l'aquifère jurassique est drainée en basses eaux vers le Cauron et en hautes eaux vers la Foux de Nans (Fénart, 2019).

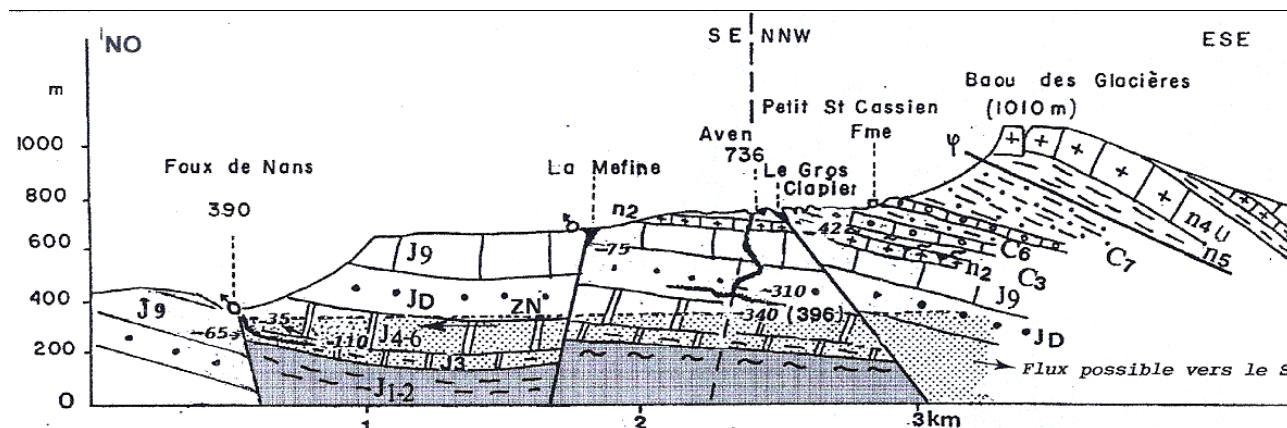
Figure 22 : Situation hydrogéologique de l'unité karstique de la Foux de Nans.



Dans ce secteur, il faut distinguer l'unité dite du Cauron de l'unité de la Foux. L'unité du Cauron est constituée par des séries du Jurassique supérieur, calcaires du Portlandien à l'affleurement dans sa partie Sud, surmontés en discordance par une pile sédimentaire du Crétacé supérieur dans sa partie Nord. Elle est séparée de l'unité de la Foux par une zone faillée pluri-kilométrique orientée N050 ; il s'agit de la faille dite de Piegu qui présente un rejet vertical d'environ 200 mètres (P. Martin, 1991). Il s'agit des massifs carbonatés drainés par le système karstique de la Foux de Nans.

La coupe géologique ci-dessous illustre partiellement ce contexte géologique :

Figure 23 : Coupe illustrative du contexte géologique à grande échelle (Julian & Nicod, 1989, in Mazet & Nicod 2012).



L'unité de la Foux est alimentée par infiltration des eaux de pluie : infiltration directe sur l'impluvium (8 km²) et indirecte après ruissellement sur les séries du Santonien (2 km²).

Avec un module d'infiltration de l'ordre de 7 l/s/km², cela correspond à un flux d'alimentation moyen d'environ 70 l/s.

Les exutoires sont complexes. En effet, le système karstique de la Foux est un système hérité, peu fonctionnel dans sa configuration actuelle (Martin, 1991). Rappelons que la Foux est une exurgence temporaire de type vauclusien ; elle ne fonctionne qu'en cas de pluies intenses et peut alors atteindre des débits de 4 à 10 m³/s. Mazet et Nicod (2012) en proposent une description détaillée.

Les réseaux karstiques sont structurés pour concentrer les écoulements vers la source de la Foux en cas d'événements pluvieux significatifs ; ceci étant, les mesures de piézométrie montrent que le niveau piézométrique descend sous la cote de cette source en période estivale, ce qui indique une alimentation de systèmes karstiques voisins. Il est possible et probable que ce système alimente partiellement le système karstique actif drainé par les sources du Caramy plus à l'Est, mais il est certain que des alimentations souterraines se font aussi au bénéfice de l'unité du Cauron. Une expérience de traçage a montré une coloration des sources des Filles après une injection de fluorescéine au fond du gouffre du Petit St Cassien (Durand et Margaria, 2015) ; cette hypothèse avait déjà été proposée par Martin (1991) qui avait identifié des caractéristiques physico-chimiques semblables entre les eaux de ces sources et celles de la Foux. Selon Cavalera (2007), le débit cumulé moyen de la Foux de Nans et des sources des Filles (Cauron) serait de l'ordre de 50 l/s.

Des expériences de traçage récentes en hautes eaux ont permis de montrer une liaison entre le Grand Gaudin aux Glacières et la source de la Figuière (SAFEGE, 2011) ; c'est cette information qui justifie la limite proposée entre l'unité de la source de la Foux et l'unité du Caramy sur la carte ci-dessus. Insistons : c'est une limite représentative de la situation de hautes eaux ; en période de basses eaux, il est possible et probable que cette limite migre vers l'Ouest jusqu'à ce que l'unité du Caramy englobe totalement l'unité de la source de la Foux avec un drainage complet de cette partie du massif au bénéfice des sources du Caramy. C'est ce qu'indiquent les données de piézométrie de basses eaux dans les forages de la Foux, avec des piézométries mesurées à 340 m NGF, bien en dessous de la cote du trop-plein de la source et qu'on ne peut expliquer que par un drainage au lointain vers un exutoire situé à une cote inférieure à 340 m NGF.

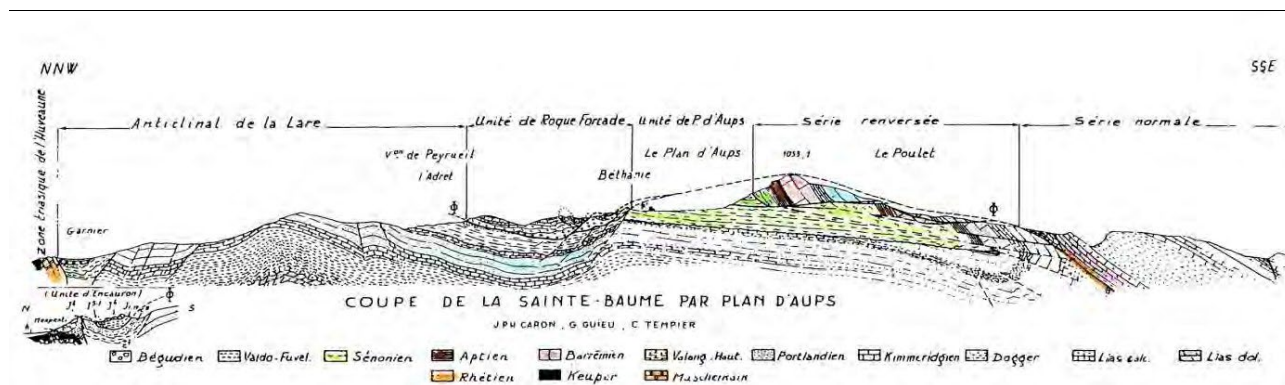
Terminaison occidentale des plateaux :

La terminaison occidentale des plateaux karstiques du versant Nord de la Sainte Baume correspond peu ou prou au poljé du Plan d'Aups. Ce poljé est installé sur les calcaires à rudistes du Crétacé supérieur qui sont au toit de l'aquifère carbonaté jurassique. De nouveau, il faut considérer que ces deux formations sédimentaires forment une seule et même unité aquifère.

Le Plan d'Aups repose pour partie au Nord par le Crétacé supérieur reposant sur un socle de terrains jurassiques (avec interposition de bauxite), et pour partie au Sud par des terrains du Crétacé Supérieur. A l'Ouest, le Crétacé supérieur montre, dans le ravin de Saint-Pons, un double repli, synclinal au Sud (redressement spectaculaire des couches à Hippurites), anticlinal au Nord (ce dernier repli en partie masqué par l'allochtone du Pin de Simon). Sur le bord méridional de l'unité du Plan d'Aups, les couches sont redressées, puis cisailées et poussées vers le Nord sous l'unité de la haute chaîne.

L'unité de la haute chaîne est une série renversée vers le Nord comprenant tous les termes du Bathonien au Santonien. Elle est poussée sur le Crétacé supérieur du Plan d'Aups : le contact anormal, subhorizontal, est bien visible sous le Pic de Bertagne. Des lambeaux avancés de cette unité renversée forment notamment le Pin de Simon, le Pic des Corbeaux, ainsi qu'un certain nombre de blocs klippes au Nord du Plan d'Aups.

Figure 24 : Coupe géologique schématique du Plan d'Aups.



L'alimentation des aquifères correspond principalement à l'infiltration des eaux de pluie.

Sur la Haute-Chaîne, elle est diffuse et la part du ruissellement est non négligeable à cause des fortes pentes. Sur le poljé, l'infiltration est concentrée sur plusieurs embuts qui drainent la quasi-totalité du plateau.

Avec un module d'infiltration supposé égal à 7 l/s/km², l'infiltration directe au droit du poljé serait de l'ordre de 100 l/s (17 km²); si on accepte que les eaux infiltrées dans la Haute Chaîne (18 km²) alimentent les mêmes réseaux karstiques, il faut alors y ajouter de nouveau environ 100 l/s.

C'est un massif karstique très complexe avec différents exutoires qui indiquent probablement la superposition de plusieurs systèmes karstiques.

Le plateau est bordé au Nord par les sources de la Castelette qui alimentent l'Huveaune. C'est un exutoire secondaire caractérisé par de faibles débits, voire de très faibles débits à l'étiage. Le fonctionnement hydrodynamique des sources de la Castelette (sources étagées de 475 à 590 m NGF) est décrit par Martin

(1991). Les débits maximum mesurés sont de l'ordre de 200 l/s ; les sources tarissent lors des étiages sévères. Il n'y a pas d'estimation de débit moyen pour ces exutoires.

La zone d'exutoire principal correspond au vallon de St Pons qui cumule plusieurs résurgences et qui correspond à une reculée karstique. Le débit moyen cumulé des exutoires naturels serait de l'ordre de 200 l/s.

La source de Saint-Pons est le principal exutoire de ce massif, sortant d'une galerie drainante longue d'une vingtaine de mètres. L'eau sort à la faveur d'une faille mettant en contact les calcaires urgoniens et les marnes de l'Aptien. Le fonctionnement hydrodynamique de son bassin versant est très complexe. Cette source semble drainer la partie occidentale de la Haute-Chaîne, au sein de laquelle les eaux souterraines s'écoulent globalement du nord-est vers le sud-ouest. Son débit moyen varie de 60 à 100 l/s ; le débit d'étiage a été mesuré à 10 l/s. Citons deux sources secondaires dans le même secteur : source de la Saussette (2 l/s) et captage de Mongolfier (environ 10 l/s).

Martin propose une analyse de tous les exutoires du vallon du Fauge (source St Pons, galerie drainante, source de débordement des Cabrelles) ; un suivi hydrométrique sur plus de 2 ans lui permet de montrer que le débit cumulé moyen est de l'ordre de 200 l/s. Les nombreuses analyses statistiques des chroniques lui permettent d'affirmer que ces exutoires drainent un karst très régulé (important facteur retard) avec des réserves très importantes. Il rappelle que des traçages ont permis de mettre en relation ces exutoires avec la Haute-Chaîne (gouffre de l'Escandaou) et le Plan d'Aups (Trou de Tantane).

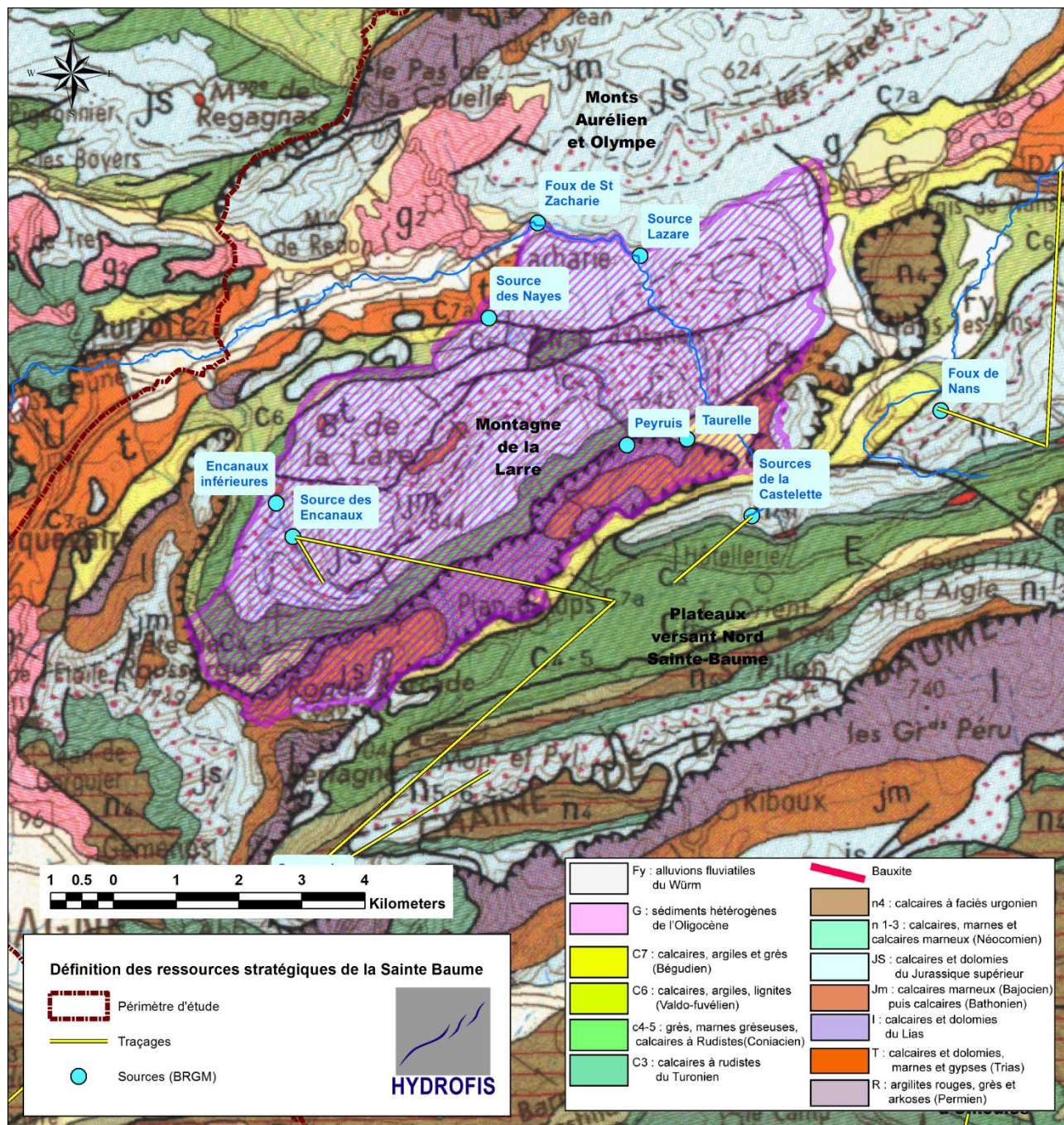
En conclusion de ses analyses, il propose de rattacher à ces exutoires un impluvium d'environ 30 km².

MONTAGNE DE LA LARE

L'unité du massif de la Lare – Aurélien se situe sur les communes de Saint-Zacharie (département du Var) et d'Auriol (département des Bouches-du-Rhône).

Elle est limitée au Sud par le ravin de Daurengue qui se prolonge par le vallon des Enfers. Sa limite Nord correspond pour partie à la plaine alluviale de l'Huveaune qui a déposé ses alluvions sur les séries hétérogènes du Trias ; plus à l'Est, les massifs carbonatés de la Lare sont en contact anormal avec les massifs carbonatés du Mont Olympe. A l'Est, le massif est limité par la plaine de Nans-Les-Pins.

Figure 25 : Unité hydrogéologique de la Montagne de la Lare.



Le massif de la Lare consiste en un anticlinal faillé à noyau de Bathonien supérieur calcaire dont les enveloppes jurassiques et crétacées s'ennoient rapidement et périclinalement à l'Ouest. A l'Est, le Jurassique se raccorde avec le flanc méridional du massif de l'Aurélien. La surface affleurante est de l'ordre de 20 km². Cette unité est constituée de calcaires dolomitiques du Portlandien (Jurassique supérieur) et de calcaires du Santonien (Crétacé supérieur), karstifiés et constituant les principales formations aquifères de l'unité. Le mur de l'entité est formé par les marnes du Keuper (Trias supérieur).

Le massif de la Lare correspond à un système aquifère karstique, siège de circulations d'eau importantes et complexes.

Il s'agit d'un massif karstique binaire.

Les modalités d'alimentation sont multiples :

- Le massif est principalement alimenté par l'infiltration des précipitations. Avec un impluvium d'environ 30 km² et un module d'infiltration supposé de 5 l/s/km², on peut estimer le flux d'alimentation à environ 150 l/s.

- Le massif est aussi alimenté par plusieurs zones de pertes : pertes permanentes de l'Huveaune alimentées par les sources de la Castelette mais aussi par la source de Taurelle, et par les pertes permanentes du vallon de Peyruis alimentées par la source de Peyruis. Les sources de Taurelle et de Peyruis correspondent à des exutoires des écaïlles liasiques dites de Roqueforcade, qui sont localisées entre la Lare et le Plan d'Aups. La première a fait l'objet d'un suivi hydrométrique dans les années 1980 (Martin, 1991) ; bien que temporaire (assèchement estivale de plus de 100 jours), elle présentait un débit moyen de l'ordre de 60 l/s. La source de Taurelle, bien que permanente n'a pas fait l'objet d'un suivi hydrométrique. Notons aussi les pertes temporaires, en cas d'événements pluvieux, dans le ravin de la Coutronne. Les données disponibles dans la littérature scientifique et technique permettent d'estimer le débit moyen de ces pertes à environ 100 l/s.

Les exutoires naturels du massif de la Lare sont concentrés en trois zones :

- Les sources des Encanaux se situent à l'Ouest de ce massif. Deux systèmes ont été distingués : les Encanaux supérieurs (290 m NGF), dont le débit moyen était de 90 l/s environ en 1985 (Martin, 1991), et les Encanaux inférieurs (260 m NGF), regroupant la source basse et les trop-pleins qui lui sont associés (débit moyen 32,5 l/s). Les Encanaux supérieurs se caractérisent par une forte variabilité de débits : de 5 l/s à l'étiage à plus de 2 000 l/s en crue. Le karst noyé rattaché à ces sources est de faible étendue. Les volumes dynamiques sont faibles (> 1 Mm³) et il n'y aurait pas de réserve profonde (Martin, 1991).

- La source des Naves (275 m NGF) se situe près de Saint-Zacharie ; elle draine la partie nord-est du massif de la Lare, les eaux s'écoulant dans ce secteur du nord-est vers le sud-ouest. Leur débit moyen était de 64 l/s en 1985. Le volume dynamique est estimé à environ 1 Mm³ et Martin (1991) positionne ces sources comme l'autre exutoire majeur du système karstique avec la source des Encanaux Inférieurs.

- Dans les gorges de la Sambuc, positionnées en rive gauche, les sources de Lazare de la Brise drainent la partie nord de la Lare. Ces sources viennent alimenter l'Huveaune. Le griffon de la source de la Brise n'est pas visible, car la source est captée par la ville de Saint-Zacharie pour l'AEP par forage (45 m³/h – 11 l/s). C'est une source modeste (Q moyen de l'ordre de 60 l/s et environ 11 l/s à l'étiage). La source de Lazare est située dans le lit même de l'Huveaune, elle émerge généralement à un débit minimum de 27 l/s, mesuré entre 1981 et 1983 (Cavallera T., 2012, d'après Mazet, 1991). Cette source serait pérenne.

Les réseaux karstiques associés aux sources des Encanaux montrent un enfoncement des réseaux karstiques qui témoigneraient d'un paléo drainage souterrain profond. La multiplicité

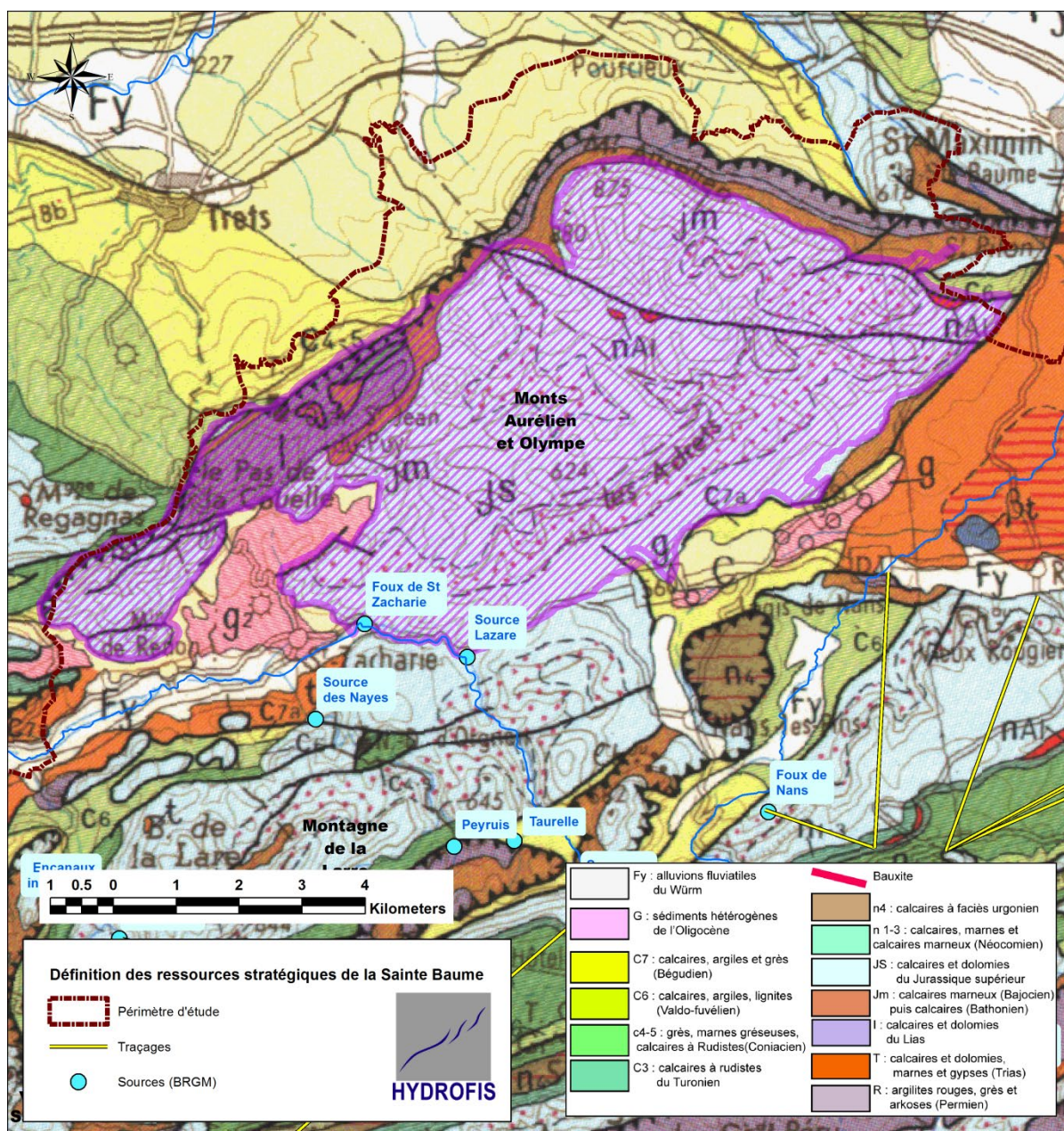
des exutoires et le pseudo équilibre entre sorties et entrées dans l'unité aquifère indiquent que ce drainage n'est actuellement plus fonctionnel.

MONT AURELIEN ET MONT OLYMPE

Les monts Aurélien et Olympe correspondent à un massif très étendu (environ 50 km²), caractérisé par un vaste impluvium composé des séries carbonatées du Jurassique supérieur.

A grande échelle, les séries sont légèrement pentées vers le Sud-Est. Sur leur bordure Nord, ces massifs montrent la superposition normale des formations du Jurassique supérieur sur les marno-calcaires du Bajocien-Bathonien. L'ensemble chevauche les séries du Crétacé supérieur du bassin de l'Arc. La limite Sud de ces massifs est anormale ; il s'agit d'une vaste zone faillée qui met en contact le Jurassique supérieur du Mont Olympe avec celui de la Lare, puis, plus au Nord, avec les séries hétérogènes du Trias.

Figure 26 : Unité hydrogéologique des monts Olympe et Aurélien.



Dans le détail, notons deux particularités d'ordre structural :

▪ Le Mont Aurélien est séparé du Mont Olympe par une faille plurikilométrique orientée N110. Cet accident pourrait éventuellement compartimenter le réservoir.

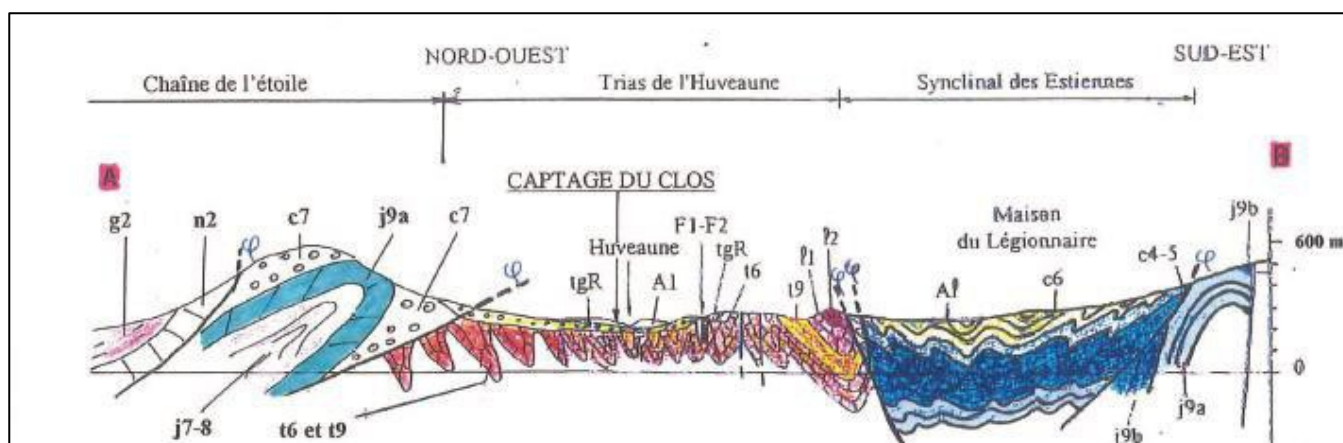
▪ Dans sa terminaison Sud-Ouest, le massif est recouvert par des dépôts oligocènes. Ces dépôts sont relativement superficiels (< 100 m) et ne provoquent pas de compartimentation du réservoir karstique.

L'impluvium karstique est caractérisé par l'absence de cours d'eau. Si on accepte un module d'infiltration de l'ordre de 5 l/s/km², la recharge serait de l'ordre de 250 l/s. Notons que l'on ne connaît aucun exutoire certain à ces eaux infiltrées.

Un des exutoires potentiels de cette unité karstique serait les sources de Port Miou et Bestouan. Pour satisfaire cette hypothèse, il faut accepter un drainage souterrain au travers des formations du Trias sous les alluvions de l'Huveaune.

Cette formation a été peu étudiée.

Figure 27 : Coupe NW-SE traversant le Trias de l'Huveaune (Antea, étude hydrogéologique sur Auriol, 1998).



L'unité du Trias de l'Huveaune s'étend sur les communes de Roquevaire, Auriol et Saint- Zacharie, sur une surface de 15 km². Elle est située entre les Collines d'Auriol et le massif de la Lare-Aurélien. Les formations géologiques de cette unité correspondent essentiellement aux calcaires du Muschelkalk (Trias moyen) et aux dolomies du Keuper à niveaux de gypse (Trias supérieur). Une étroite bande d'alluvions récentes est présente le long de l'Huveaune. Les formations calcaires du Muschelkalk sont très tectonisées, elles peuvent être le siège de circulation d'eau importante. Dans l'ensemble, le Keuper est imperméable. Les dolomies ou cargneules intercalées peuvent être le siège de circulations réduites.

Ces formations sont aquifères et sont alimentées par l'infiltration des précipitations et par des relations supposées avec les massifs calcaires alentours (massifs de la Lare et de l'Aurélien). Le drainage des formations du Muschelkalk et du Keuper se ferait probablement vers le sud-ouest. Selon ANTEA (2011), la profondeur de la ressource est située à environ 20 m/sol. La nappe des calcaires du Muschelkalk est exploitée pour l'AEP d'Auriol par le forage de la Vède (150 m³/h). La source du Clos (émergence des alluvions soutenues par le Trias) est exploitée aussi pour l'AEP d'Auriol (120 m³/h).

En termes de qualité, l'eau des calcaires du Muschelkalk peut présenter des concentrations élevées en sulfates à cause des niveaux de gypse du Keuper, comme le montre le forage de la Vède (nécessité de mélanger l'eau).

Un autre exutoire potentiel de cette unité pourrait être l'appareil alluvial de l'Huveaune (venues sous-alluviales masquées).

En effet, pour approcher le niveau piézométrique, on ne dispose que d'un seul forage renseigné dans la BSS. Il est localisé au lieu-dit La Gantesse à quelques kilomètres au Nord-Est du village de St Zacharie ; il est indiqué un niveau piézométrique de 270 m NGF. C'est une altitude inférieure à celle du contact entre alluvions et karst à l'Est du remplissage oligocène St Zacharie. Il faut donc envisager une zone de contact à l'Ouest de ce remplissage.

Or, on peut observer sur la carte géologique au 1 : 50 000 une zone de contact direct entre formations carbonatées et alluvions dans le quartier du Moulin de Redon. La plaine alluviale s'étage alors entre 230 et 240 m NGF.

Cette zone pourrait faire l'objet d'une alimentation masquée de la nappe alluviale de l'Huveaune par l'aquifère karstique.

Cette hypothèse est discutée plus avant dans le rapport.

Une dernière hypothèse est qu'elle pourrait ainsi alimenter les calcaires du Muschelkalk de l'Arc de Barjols ou les séries calcaires du Fuvélien. Il est ainsi suspecté qu'une partie du massif soit drainée vers les importantes émergences d'Aguiké et des Gourts Bénits à Bras (près du cours d'eau le Cauron) qui drainent les séries carbonatées du Muschelkalk.

Notons que de petites émergences existent au flanc Nord du Mont Aurélien, et sont issues de la bordure liasique (source de Défens, Pourcieux, source de Perdu).

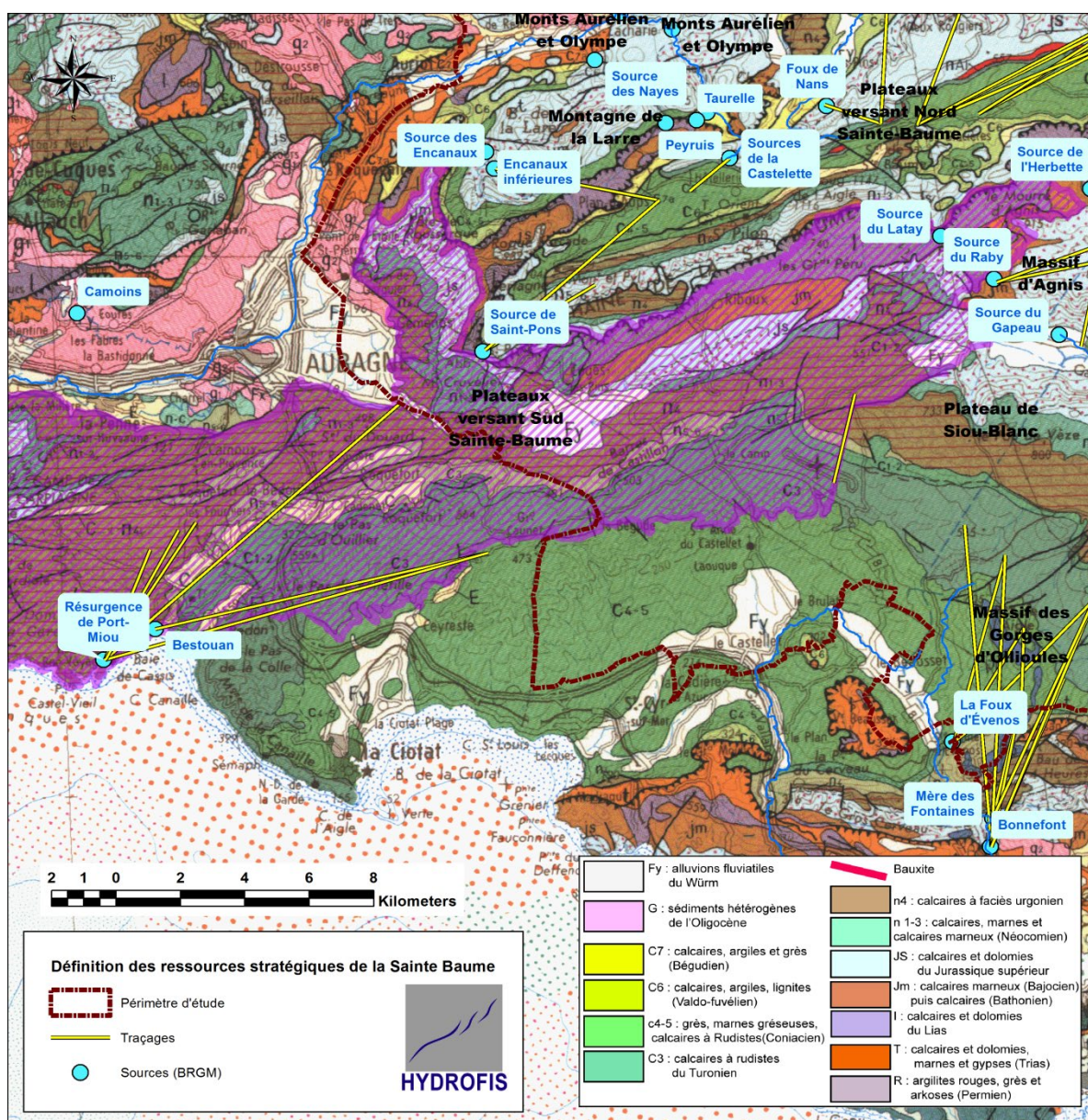
PLATEAUX DU VERSANT SUD DE LA SAINTE BAUME

Cette unité correspond à un vaste ensemble qui s'étend du massif des Calanques de Cassis à l'Ouest jusqu'aux contreforts de Siou Blanc à l'Est. Elle s'étend sur les communes de Riboux, Signes, Cuges-les-Pins, Aubagne, Gémenos, Roquefort la Bédoule, Carnoux en Provence, Cassis et la partie orientale de Marseille.

L'unité est limitée au nord par la vallée de l'Huveaune et le massif de la Sainte Baume et au Sud par l'unité interne du Beausset se prolongeant jusqu'à la Mer Méditerranée. Sur la zone d'étude, l'altitude est croissante du Sud-Ouest vers le Nord-Est (de 0 à 700 m environ).

Cette unité karstique constitue l'auréole externe du synclinal du Beausset interne (majoritairement constitué des séries du Crétacé supérieur), dont il est séparé par les marnes aptiennes, supposées imperméables.

Figure 28 : Unité hydrogéologique des plateaux du versant Sud de la Sainte Baume.



Ces calcaires karstifiés sont le siège d'écoulements souterrains a priori importants. En effet, le massif est principalement alimenté par l'infiltration des précipitations, voire par des écoulements souterrains provenant du massif de la Sainte-Baume.

La structure de l'unité du Beausset externe conditionne le drainage des eaux souterraines vers deux exutoires situés hors périmètre d'étude:

- D'une part, vers les sources sous-marines de Cassis et les sources littorales du massif des Calanques (sources de Port Miou et de Bestouan).
- D'autre part vers l'Est au niveau des sources du Ragas de Dardenne (unité hydrogéologique du plateau de Siou Blanc).

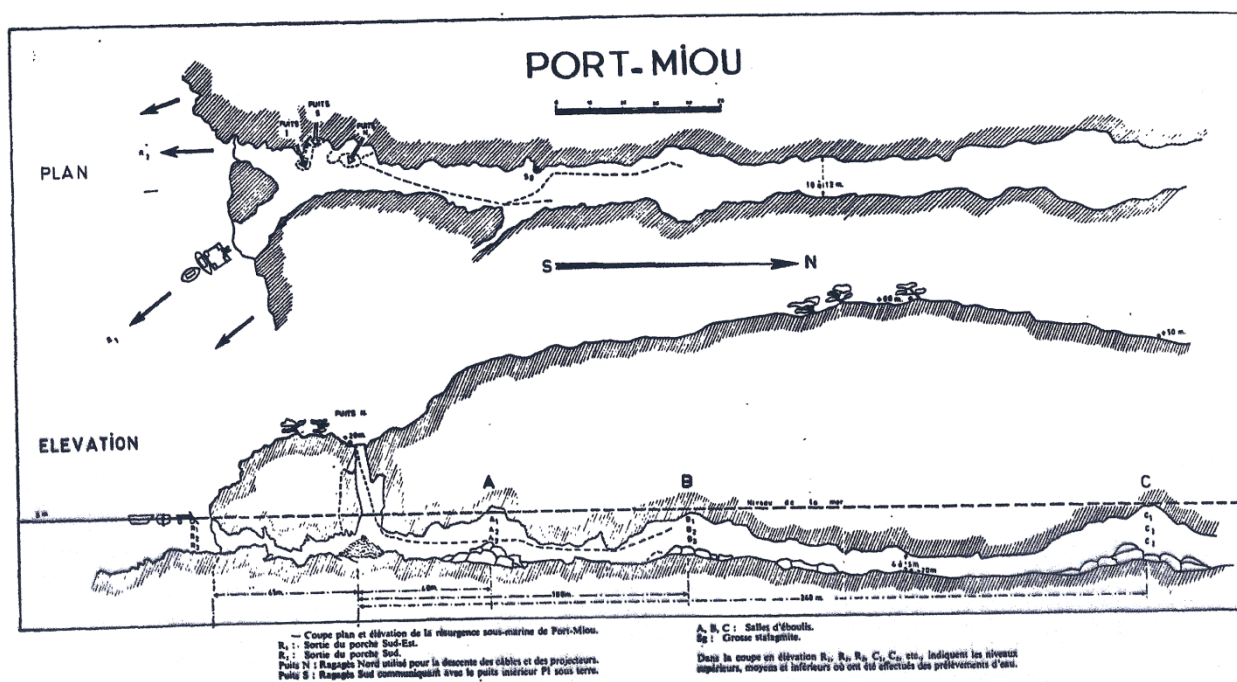
Une ligne de partage des eaux séparerait ces deux zones de drainage au Sud de Signes.

L'unité dite des plateaux du versant Sud de la Sainte Baume correspond ainsi à l'unité hydrogéologique drainée par les sources sous-marines de Port Miou et Bestouan.

Elle intègre les séries carbonatées du Jurassique, en continuité avec les calcaires urgoniens et les calcaires du Turonien. Ces séries sont observées depuis les contreforts Est de la cité phocéenne jusqu'à un méridien qui passerait approximativement vers le bec de l'Aigle (soit une surface d'impluvium de l'ordre de 250 km²).

Le bassin hypothétique de ces sources fait l'objet de nombreuses spéculations. En effet, le débit moyen estimé pour le cumul des résurgences de Port-Miou et de Bestouan ne fait pas l'objet d'un consensus scientifique.

Figure 29 : Plan et coupe de la galerie de Port-Miou (d'après Durozoy et Paloc, 1966).



La source principale est la source de Port Miou. Située dans la calanque de Port-Miou, la source marine naît d'une galerie noyée à 6 m sous le niveau de la mer. Elle fait partie d'un groupe de sources littorales et sous-marines, dont celle du Bestouan. Une importante galerie noyée, atteignant 20 m de diamètre, a pu être reconnue et levée sur plusieurs centaines de mètre. Un point ultime à -223 m NGF a été atteint à plus de 2200 m de l'entrée, mais le conduit se poursuit au-delà. L'eau de Port-Miou est saumâtre, ce qui empêche son utilisation directe pour l'alimentation en eau potable.

Les estimations historiques donnaient un débit moyen de l'ordre de 7 m³/s (Blavoux et al., 2004). Un suivi sur plusieurs cycles hydrologiques avait permis à Cavalera (2007) de proposer un débit moyen nettement plus faible, compris entre 1,5 et 3 m³/s. Des données récentes proposent de nouveau un débit moyen d'environ 7 m³/s (Arfib et Charlier, 2016).

De manière certaine, des essais de traçages ont prouvé les relations entre Gémenos/Aubagne et Port Miou. Notons qu'un traçage (Glintzboeckel et al., 1968) et des analyses hydrochimiques (Durozoy, 1972) ont montré une alimentation du karst par les alluvions de l'Huveaune dans la région de Gémenos (calcaires du Douard ; le débit de pertes vers le karst n'a pas été estimé). Un autre secteur plus au Nord est supposé contributif à l'étiage ; Glintzboeckel et al. (1968) supposent des pertes annuelles élevées avec un débit fictif compris entre 500 et 1000 l/s.

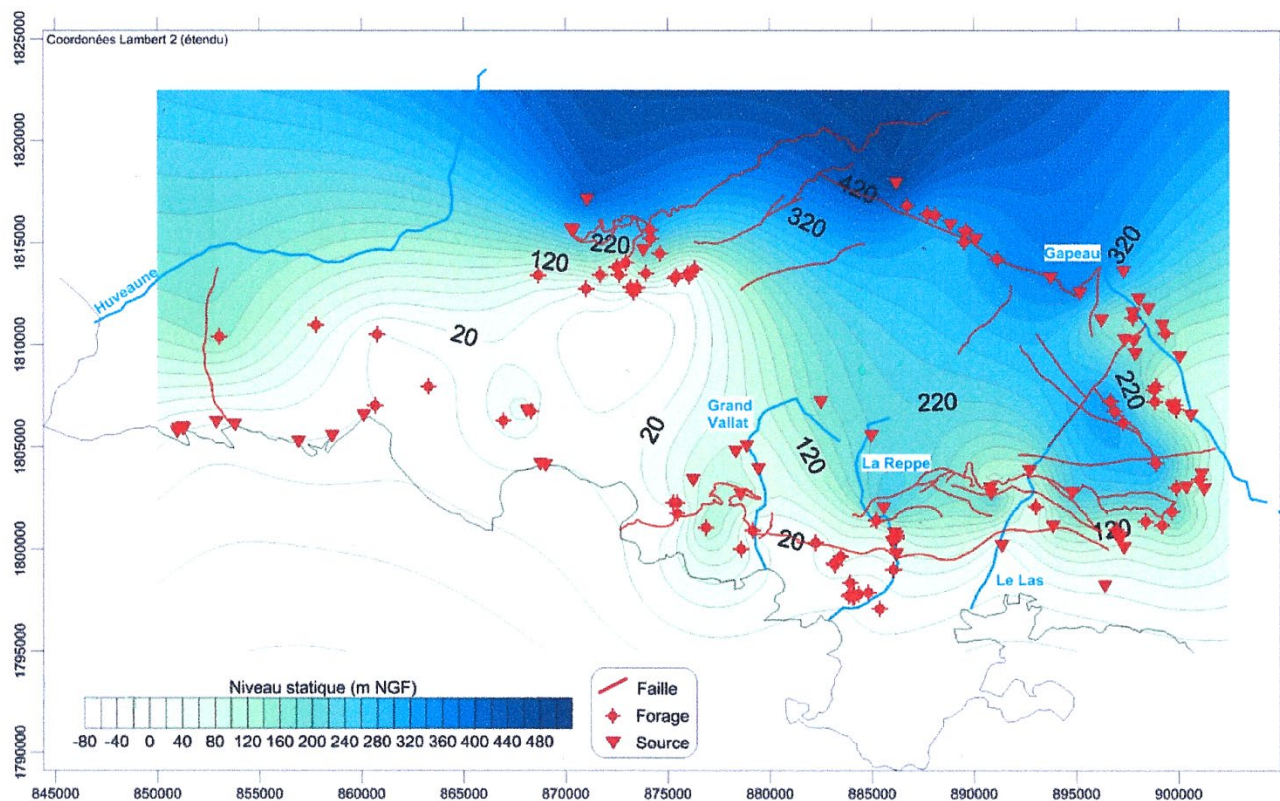
Des relations sont suspectées avec le plateau de Cuges. Les forts débits reconnus sur les forages de Puyricard et de Coulin, et la constance du gradient hydraulique confirment l'idée que les drains principaux vers Port-Miou longent la zone faillée de Cuges jusqu'à Coulin. Ils seraient suralimentés par le déversement des karsts profonds de la Sainte Baume vers le Sud.

Pour expliquer un débit moyen de plus de 5 m³/s, il faut alors rattacher au bassin d'alimentation des sources sous-marines les réservoirs karstiques jurassiques, néocomiens et urgoniens des Calanques, de la Nerthe et de l'Etoile, de la Sainte-Baume mais aussi probablement par les monts Aurélien et Olympe; certains auteurs remonteraient au nord jusqu'à la Sainte-Victoire et s'étendrait vers l'Est en direction de Brignoles (Gilli, 2002 ; Blavoux et al., 2004).

Les données de piézométrie intégrées sur un même support cartographique (Fournillon, 2012) montrent des pertes de charge très élevées entre ces unités et le système karstique actif actuel que l'on sait être principalement localisé au sein des calcaires urgoniens. Les charges dans l'urgonien sont en effet très faibles (NP<50 m NGF) comparées à celles que l'on retrouve au Nord d'une ligne « imaginaire » qui relierait la reculée de Coulin et le poljé de Cuges-Les-Pins (NP>100 m NGF).

On peut donc considérer que si des écoulements souterrains se font depuis ces unités au Nord, ce sont des écoulements qui traversent un obstacle aux écoulements, obstacle qui signe une absence de fonctionnalité de la disposition actuelle (réseaux barrés par des remplissages ? traversées des horizons triasiques peu perméables ?). Un autre argument qui soutiendrait la perte de fonctionnalité des échanges entre unités au Nord et système karstique drainé par les sources de Port-Miou et de Bestouan est la présence du vallon de Saint Pons qui correspond à une reculée karstique de grande dimension et à une zone d'exutoire majeure de la partie occidentale de la chaîne de la Sainte Baume.

Figure 30 : Données piézométriques extrapolées sur l'unité des plateaux du versant Sud du massif de la Sainte Baume (d'après Fournillon, 2012).

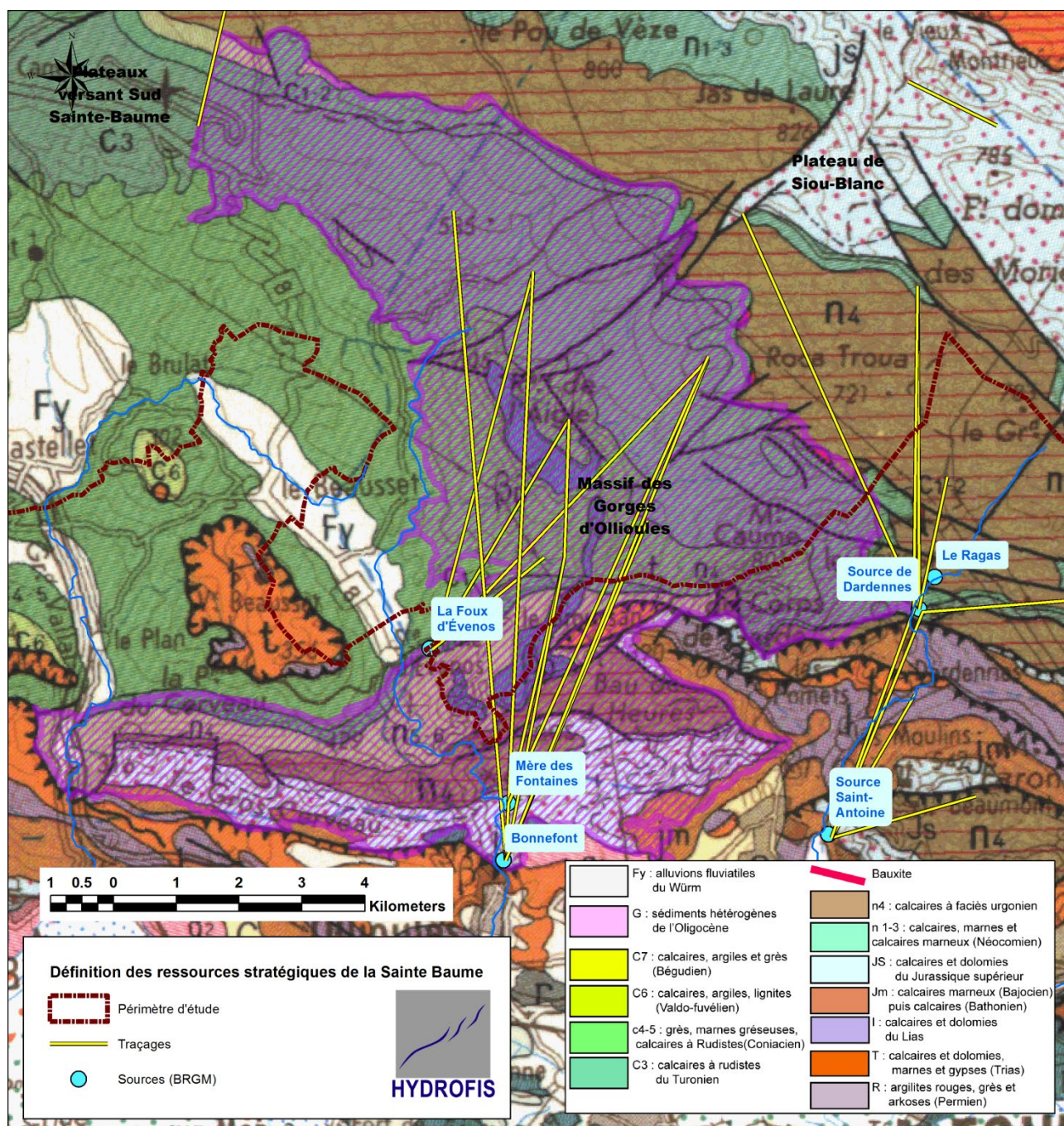


Au vu de la littérature scientifique et technique consultée, il nous semble que le rattachement de l'unité externe du bassin du Beausset (continuum jurassique-urgonien-turonien) suffirait à expliquer un débit d'environ $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ pour les sources sous-marines (avec l'hypothèse d'un module d'infiltration de l'ordre de 6 l/s/km^2). On peut y rattacher une partie des eaux infiltrées dans l'aquifère liasique entre Riboux et Signes (environ 30 km^2 , soit $+ 180 \text{ l/s}$). Il est possible et probable que des flux souterrains proviennent des unités hydrogéologiques plus au Nord (Lare, unité du Plan d'Aups, Mont Aurélien et Mont Olympe) ; ils sont difficiles à quantifier et doivent être considérés à ce jour comme hypothétiques.

MASSIF DES GORGES D'OLLIOULES

Entre Saint Anne d'Evenos et Ollioules, la Reppe entaille des gorges allant du Crétacé supérieur au Nord au Trias affleurant au Sud. Il s'agit en fait de la terminaison méridionale du synclinal du Beausset qui met en contact de façon anormale les séries du Jurassique avec celles du Trias.

Figure 31 : Unité hydrogéologique du massif des Gorges d'Ollioules.



Le système aquifère est complexe. Le réservoir correspond à un ensemble carbonaté en continuité verticale des séquences Turonien-Urgonien-Jurassique.

La disposition structurale et les nombreuses expériences de traçage réalisées dans cet aquifère montre que l'infiltration se fait au droit de deux zones :

- Un vaste impluvium Nord constitué des séries carbonatées du Turonien, situé juste au Sud et en deçà du plateau de Siou Blanc.
- Un impluvium plus réduit en surface qui s'étire d'Est en Ouest, depuis l'agglomération toulonnaise jusqu'à Bandol ; cet impluvium correspond peu ou prou au massif du Gros Cerveau et du Croupatier. Il est constitué des séries carbonatées du Jurassique et de l'Urgonien.

L'ensemble est drainé par la Reppe qui recoupe dans ses gorges toutes les séries aquifères. Selon Campredon (1997), la karstification serait plus développée dans les calcaires urgoniens.

Dans l'axe de la Reppe, on observe un alignement de sources :

- Selon Durozoy et Paloc (1969), la Foux d'Evenos (178m NGF) a un débit qui varie entre 70 l/s à l'étiage et 1 000 l/s en crue.
- Source de Labus. Fournillon (2012) propose la description la plus aboutie de son hydrométrie avec des débits variant de 100 l/s en débit dit de base à plus de 200 l/s en crue (débit d'étiage proche de 50 l/s).
- Mère des Fontaines (captée), avec un débit moyen de l'ordre de 25 l/s.
- Source Bonnefont (Q moyen de l'ordre de 20 l/s). Selon Fournillon (2012), les débits d'étiage sont très faible (< 5 l/s) mais les débits en crue peuvent dépasser 200 l/s.

Fournillon rappelle aussi que la Reppe fait l'objet de venues sous-alluviales (apports qualifiés d'occultes). Le débit moyen de la Reppe en situation influencé est d'environ 150 l/s.

Selon Cova et Durozoy (1968), dans le Basse Vallée de la Reppe, il était possible de pomper 150 l/s en pointe estivale dans les séries du Lias avant l'arrivée du Canal de Provence.

2.1.2 COMMENT SONT-ELLES ALIMENTÉES ?

Comme cela a été exposé précédemment, les unités hydrogéologiques sont composées de systèmes karstiques qui peuvent être alimentés uniquement par infiltration des eaux météoriques (karst unaire) ou par un mix entre infiltration des eaux de pluie et pertes de cours d'eau (karst binaire).

Nous proposons ici le détail des hypothèses qui ont été posées pour l'estimation des flux d'alimentation des systèmes karstiques.

ESTIMATION DE LA RECHARGE LIEE AUX PERTES DES COURS D'EAU

Le tableau ci-dessous rappelle les unités et les systèmes alimentés par pertes de cours d'eau.

Figure 32 : Unités hydrogéologiques et alimentation par pertes des cours d'eau.

Unité		Apports par pertes	
		l/s	Mm³/an
Mont Olympe		0	0
Massif de la Lare		8 km² de Lias : sources de Peyruis et de Taurelle (50 l/s ?) + sources de la Castellette (50 l/s ?)	3.2
Plateaux karstiques du versant Nord du massif de la Sainte Baume	Plateau de Mazaugues	8 km² de ruissellement sur la Santonien (vallons de la Guillaudière et Grand Gaudin). Sources du vallon de l'Herbette (environ 60 l/s) + pertes du Caramy (environ 40 l/s).	3.2
	Système de la Foux de Nans	Ruissellement coteaux Sud (2 km²) : 20 l/s	0.6
	Plan d'Aups	0	0.0
Plateaux karstiques du versant Sud du massif de la Sainte Baume		0	0.0
Massif des Gorges d'Ollioules		0	0
Plateau de Siou Blanc		0	0
Massif d'Agnis		0	0
Montagne de la Loubé		0	0
Pilon St Clément		0	0

ESTIMATION DE LA RECHARGE LIEE A L'INFILTRATION DES EAUX DE PLUIE

La recharge passée :

La caractérisation de la recharge est un problème complexe dépendant de nombreux facteurs tels que la météorologie (mesures des lames d'eau précipitée et évaporée), le type et l'épaisseur des sols, la nature de la couverture végétale, les caractéristiques géomorphologiques des terrains (pente, rugosité,...). Un rapport récent propose un bilan relativement exhaustif sur les méthodes d'estimation de la recharge par différentes méthodes scientifiques (Caballero et al., 2016) ; un lecteur curieux pourra y trouver toutes les informations utiles pour appréhender correctement cette problématique.

Dans la littérature scientifique et technique spécifique au territoire, nous disposons de plusieurs estimations passées de la pluviométrie et de la pluie efficace sur le territoire.

Rappelons que la pluie efficace est la proportion de l'eau de pluie qui n'est pas consommée par la végétation par évapotranspiration ; c'est la part de l'eau qui va soit nourrir les cours d'eau par ruissellement, soit alimenter les nappes par infiltration.

Figure 33 : Calcul des paramètres météorologiques pour les stations de METEO France proches du périmètre d'étude (d'après Cavallera, 2007).

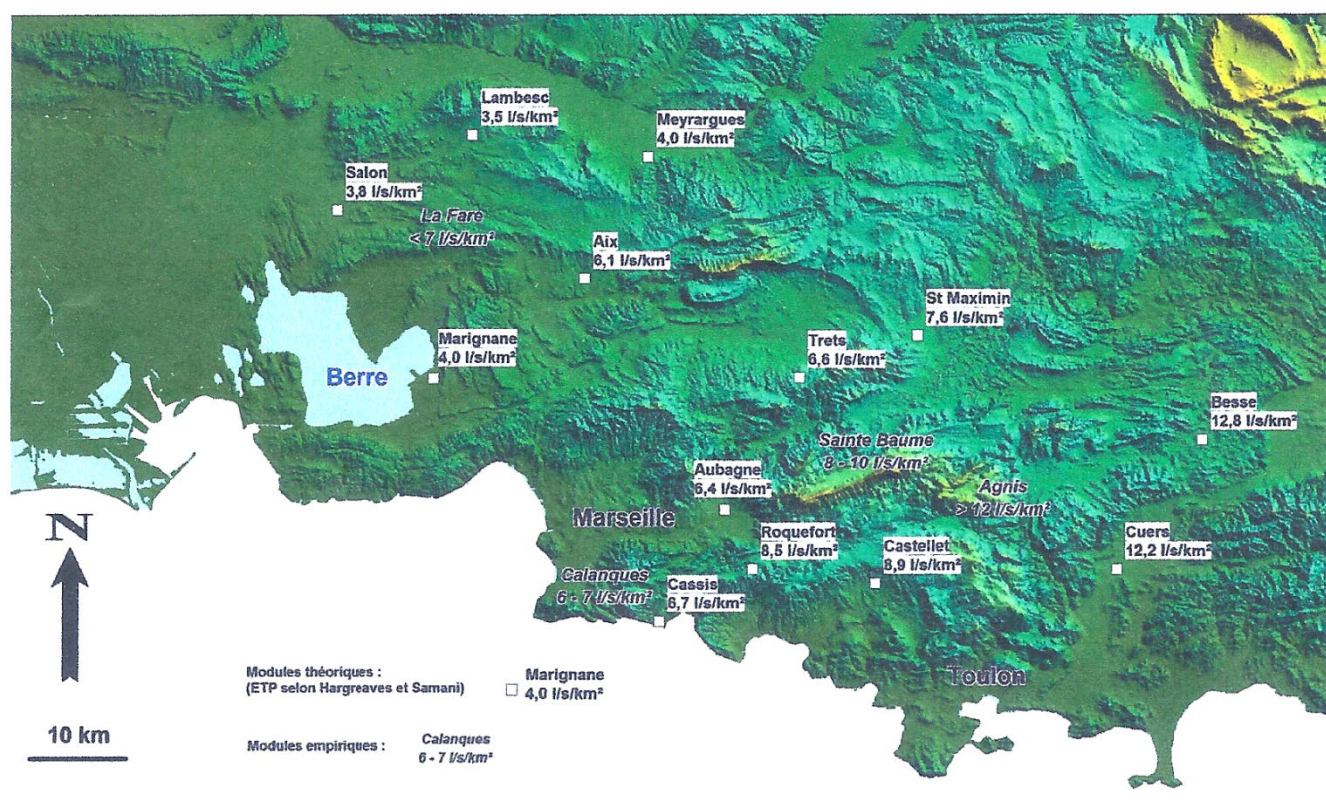
Nom de Station (période)	Pmoy (mm)	Tmoy (°C)	Méthode Hargreaves et Samani					Méthode de Turc simplifiée			
			ETP (mm)	ETR (mm)	Peff (mm)	i	Qspé (L/s/km²)	ETR (mm)	Peff (mm)	i	Qspé (L/s/km²)
Aix – Galice (1994-2003)	654	14,2	1968	466	191	0,29	6,1	521	133	0,20	4,2
Aubagne – Mellets (1999-2004)	623	15,1	2068	422	201	0,32	6,4	520	103	0,17	3,3
Besse (2000-2004)	930	14,6	2104	527	404	0,43	12,8	629	301	0,32	9,6
Cassis – Gardiole (1999-2004)	637	15,0	1715	427	211	0,32	6,7	525	112	0,18	3,5
Castellet – Aéroport (1999-2004)	713	13,6	1652	431	282	0,40	8,9	537	176	0,25	5,6
Cuers (1999-2004)	863	15,5	2007	478	386	0,45	12,2	631	232	0,27	7,4
Lambesc (2001-2004)	538	13,6	2158	427	111	0,21	3,5	456	82	0,15	2,6
Marignane – Aéroport (2001-2004)	516	15,6	1800	391	126	0,24	4,0	462	54	0,10	1,7
Meyrargues (2001-2003)	584	13,6	2062	458	126	0,22	4,0	480	104	0,18	3,3
Roquefort (1999-2004)	734	14,6	1978	467	268	0,36	8,5	563	172	0,23	5,4
Salon (2001-2004)	567	14,4	1961	447	120	0,21	3,8	481	86	0,15	2,7
St Maximin – DDE (1999-2004)	720	13,5	2128	481	240	0,33	7,6	537	183	0,25	5,8
Trets (1997-2004)	698	13,7	2044	491	209	0,3	6,6	531	166	0,24	5,3

Pour l'estimation des pluies efficaces, nous nous sommes basés sur les travaux de Cavallera (2007) qui nous semblent les plus approfondis. Il a travaillé sur l'analyse des données hydrométéorologiques disponibles dans le périmètre d'étude. Il propose plusieurs méthodes d'estimation de l'ETP qui lui sert à approcher la pluie efficace (P-ETP). Le tableau ci-dessus présente les résultats de ces approches station par station.

Dans ce tableau, on peut considérer comme optimistes les valeurs de débit spécifique exprimées car elle résulte de l'hypothèse que 100% de la pluie efficace correspond à de l'infiltration ; ce n'est pas toujours le cas, notamment sur les bordures des impluviums karstiques, et en particulier lors des épisodes de pluie intense.

Cavalera rappelle la forte imprécision liée à ce type d'approche qui repose sur une détermination relativement incertaine de l'évapotranspiration. Il module les valeurs proposées par ce type d'approche en les comparant à des estimations disponibles dans la littérature scientifique et technique. In fine, il propose la distribution spatiale suivante pour les modules d'infiltration spécifique :

Figure 34 : Estimation des modules d'infiltration spécifique sur la base des données historiques (d'après Cavalera, 2007).



Pour la suite de notre approche, nous conserverons ces valeurs en référence pour les dynamiques d'infiltration passées, bien qu'on puisse les juger comme optimistes. En effet, non seulement, elles considèrent le ruissellement comme inexistant mais elles sont relatives à des dynamiques d'infiltration enregistrées entre 1970 et 2000, pour une période peu influencée par les dynamiques de changement climatique qui tendent à s'aggraver depuis 1990. Cavalera lui-même applique une minoration de 30% de ces flux quand il étudie les bilans « récents » entre 2000 et 2005 dans sa thèse.

La recharge actuelle et future :

Le changement climatique peut potentiellement impacter les principales modalités de recharge des unités karstiques :

- Diminution potentielle des flux de recharge liés à l'infiltration des eaux de pluie
- Diminution potentielle des flux de recharge liés aux pertes des rivières.

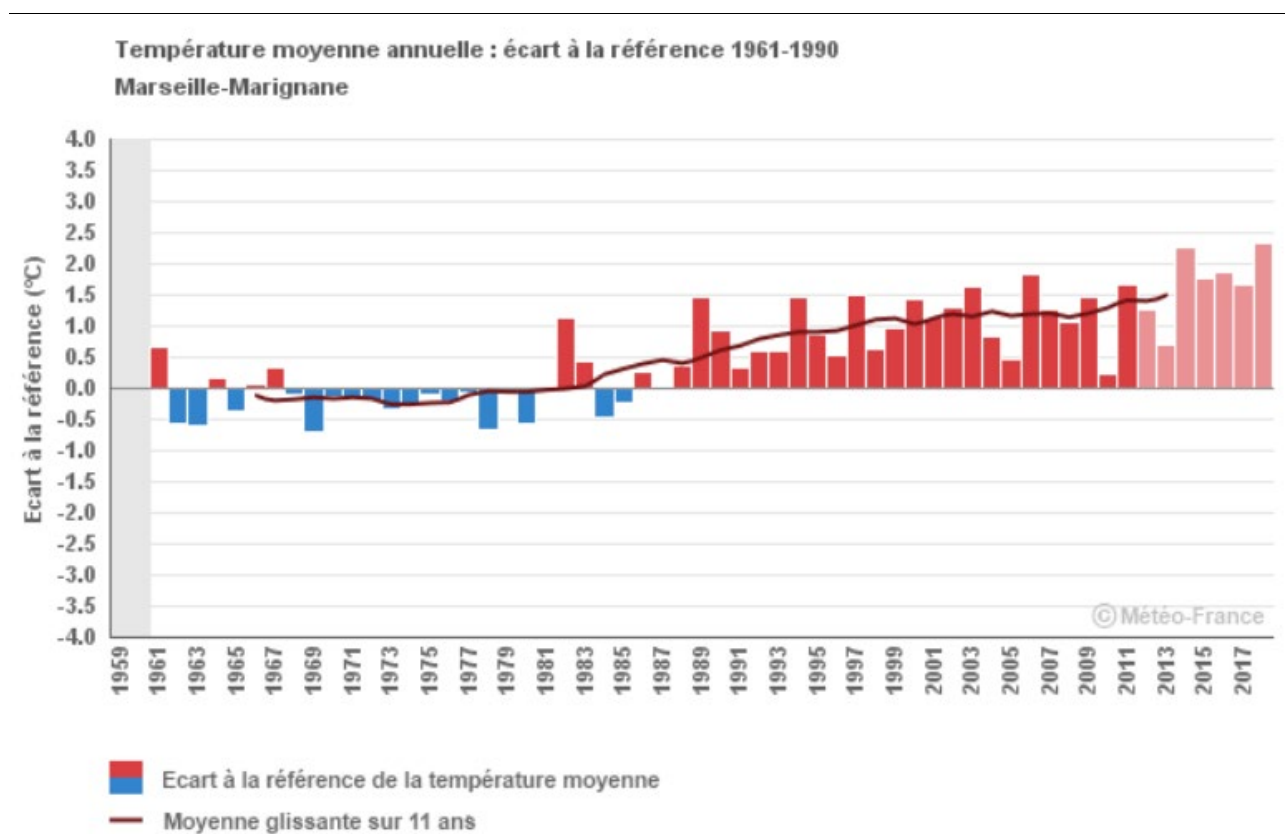
METEO FRANCE met à la disposition de tous des analyses statistiques de référence sur les évolutions passées et les projections futures (<http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>).

Au niveau national, concernant les pluies, il est difficile d'identifier une évolution récente en termes de cumul annuel et les modèles d'évolution climatique montrent une quasi stabilité de ces cumuls annuels. La température moyenne annuelle a d'ores et déjà enregistré une augmentation significative depuis la fin des années 1980 (environ + 1°C).

Au niveau local (station hydrométéorologique de Marseille-Marignane), les cumuls annuels de pluie ne montrent pas de tendance significative à la hausse ou à la baisse ; ce n'est pas le cas des températures, qui ont d'ores et déjà enregistré une augmentation de la moyenne annuelle de +1,5 °C.

Selon les scénarios d'évolution climatique, cette augmentation pourrait encore s'accroître de 1 à 4°C à un horizon 2 100.

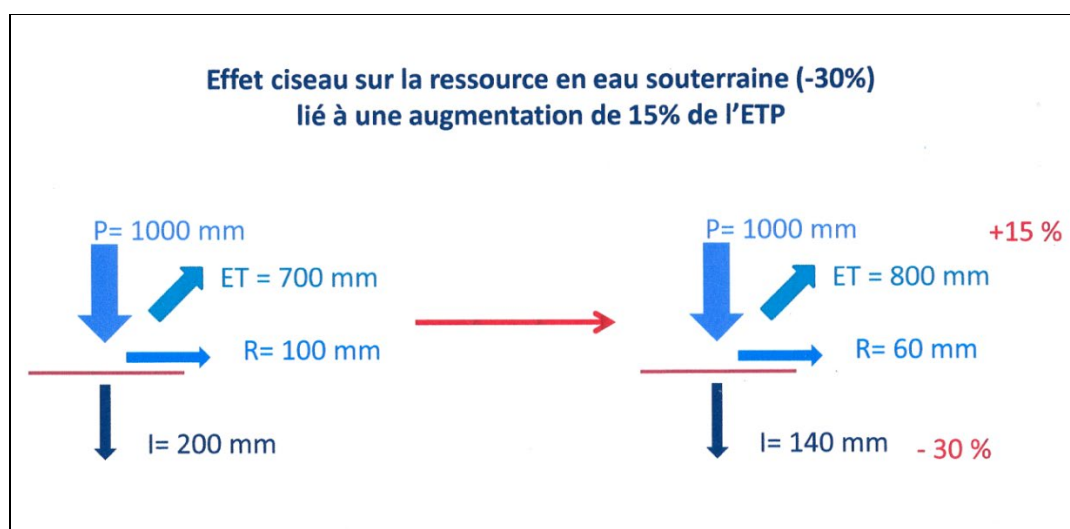
Figure 35 : Augmentation des températures su la station de Marseille-Marignane (données METEO FRANCE).



Il est important de rappeler que l'augmentation de la température s'accompagne nécessairement d'une augmentation de l'évapotranspiration des couverts végétaux. En fonction de la nature du couvert végétal, il est généralement considéré qu'une augmentation de 1°C implique une augmentation de l'ET comprise entre 10 et 15%.

Or, une telle augmentation induit une diminution dramatique des pluies efficaces ($P_{\text{eff}} = P - EP$), pluies efficaces qui contribuent soit à la recharge des nappes, soit au soutien du débit des cours d'eau. En effet, l'évapotranspiration est le terme le plus important du bilan : en France, en moyenne, sur la base des chroniques hydrométéorologiques du 20ème siècle, pour une pluie de 100 mm, l'évaporation représenterait environ 70 % en moyenne annuelle ; ce qui signifie que la pluie efficace serait alors de l'ordre de 30 mm. Une augmentation de 10 à 15% de l'évapotranspiration implique une part relative désormais de 80% pour l'évapotranspiration et la pluie efficace serait ainsi réduite à 20 mm, soit une baisse de 30%.

Figure 36 : Effet ciseau sur la température de l'augmentation de la température.

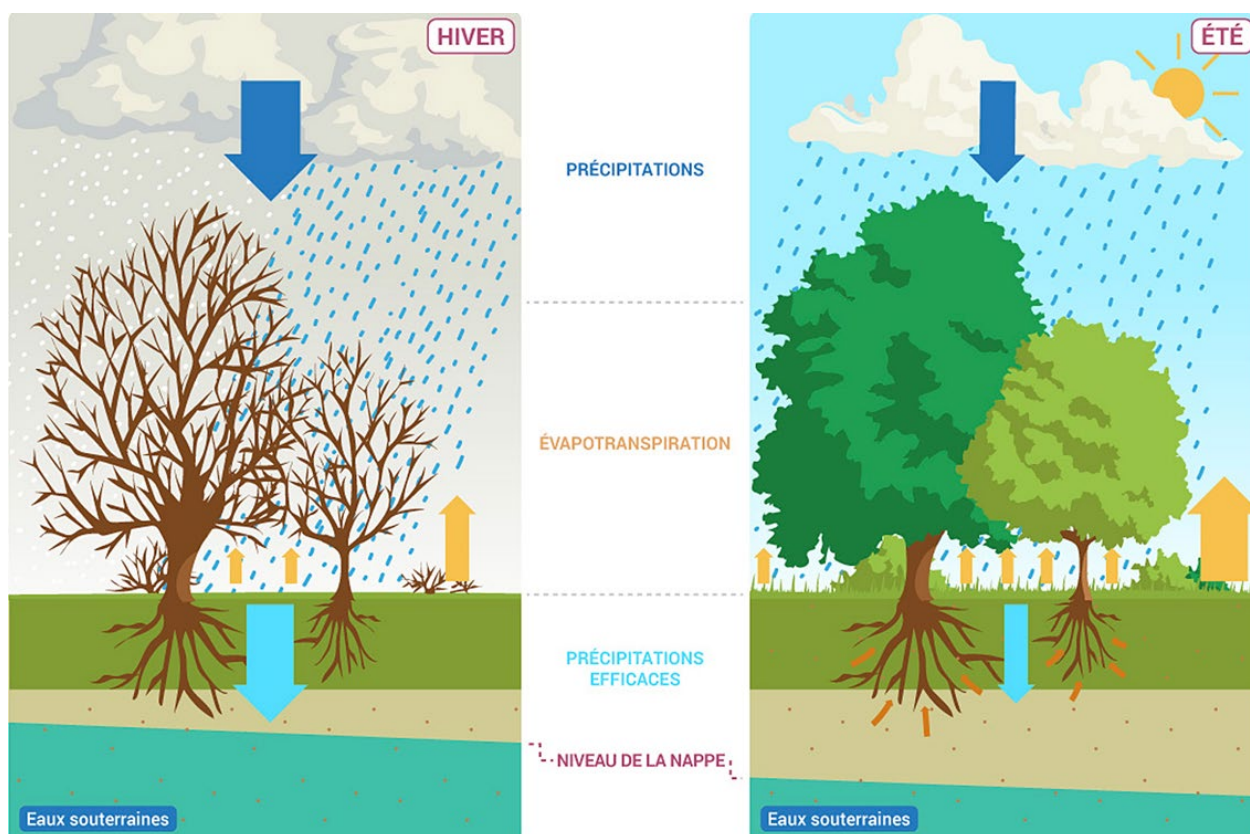


Notons de plus qu'il est nécessaire d'envisager plusieurs mécanismes supplémentaires susceptibles de venir aggraver la diminution de la recharge des nappes :

- Une augmentation des vitesses de vent, qui se traduirait par une augmentation de l'évaporation.
- Une augmentation de l'intensité des pluies, ce qui aurait pour conséquence, pour un même cumul de pluie annuel, de favoriser le ruissellement au détriment de l'infiltration.
- Un déplacement des périodes pluvieuses d'automne et du printemps, qui historiquement correspondaient à des périodes favorables à l'infiltration (faible température, donc faible EP), vers des saisons moins favorables au phénomène d'infiltration (pluies concentrées sur le début de la période estivale).

Les figures ci-dessous illustrent cette dernière problématique.

Figure 37 : Variabilité de la recharge des nappes en fonction des saisons.



Source : BRLi à partir de www.eaufrance.fr

Une étude récente du BRGM financée par l'Agence de l'Eau approche ces problématiques (Caballero et al., 2016), avec une estimation des évolutions potentielles de la recharge à moyen terme (2045-2065), en exploitant les résultats de simulations climatiques.

La construction de scénarios climatiques à des fins d'analyse à l'échelle régionale, comme par exemple l'étude d'impact du changement climatique sur la ressource en eau d'un bassin versant ou d'un aquifère, nécessite de faire appel à des résultats de modèles de simulation du climat. En France, des scénarios climatiques ont été produits par le CERFACS en 2008 (SCRATCH08) puis en 2010 (SCRATCH2010) sur une grille de 8x8 km (grille SAFRAN) couvrant l'ensemble du territoire national.

Caballero et al. ont choisi d'étudier des scénarios climatiques issus de 5 modèles :

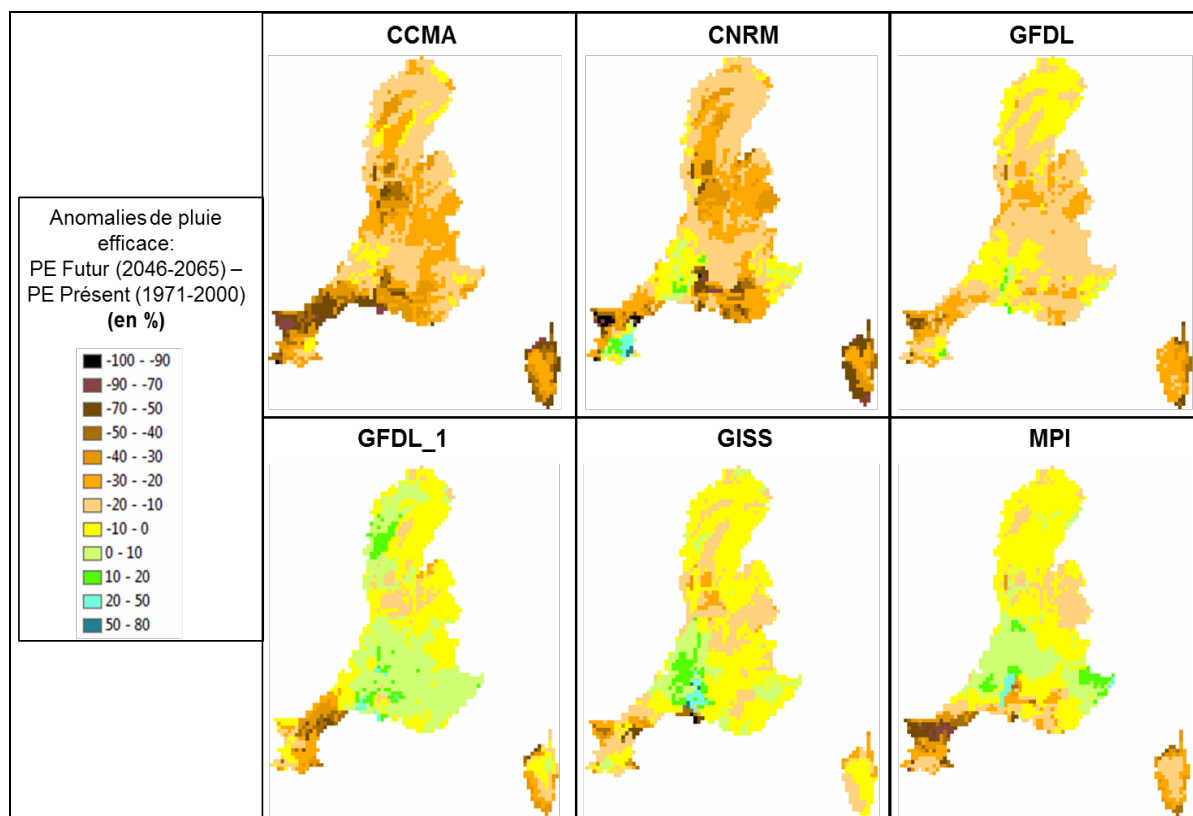
- CCCMA CGCM3.1 T63 (CCCMA - Canada),
- CNRM-CM3 (CNRM – Météo France),
- GFDL-CM2.0 (NOAA GFDL – Etats Unis) – 2 simulations différentes,
- GISS-AOM (NASA GISS – Etats Unis),
- MPI-ECHAM5 (MPI – Allemagne).

Tous ces modèles ont été forcés avec le scénario d'émission de gaz à effet de serre A1B. Ce scénario constitue une hypothèse médiane parmi la fourchette des scénarios d'émission proposée par le GIEC

(Groupe Intergouvernemental d'Experts sur le Climat – www.ipcc.ch) dans le cadre de son rapport spécial SRES sur cette question.

Ils disposent ainsi de six scénarios climatiques pour lesquels est définie une chronique journalière longue du couple (Pluie ; Evaporation) pour chaque maille de 8 x 8 km. Avec ces chroniques, et en faisant l'hypothèse d'une continuité des usages au sol, Cabarellero et al. transforment ces chroniques hydrométéorologiques en chroniques de pluie efficace (cf. figure ci-dessous).

Figure 38 : Variations de pluie efficace sur le bassin Rhône Méditerranée Corse selon 6 projections climatiques pour un horizon proche



La première observation est la grande incertitude des résultats.

On observe ainsi une grande variabilité en termes d'évolution de la pluie efficace selon les modèles. On peut distinguer des modèles « optimistes » (GFDL_1, MPI) et des modèles « pessimistes » (CCMA, CNRM).

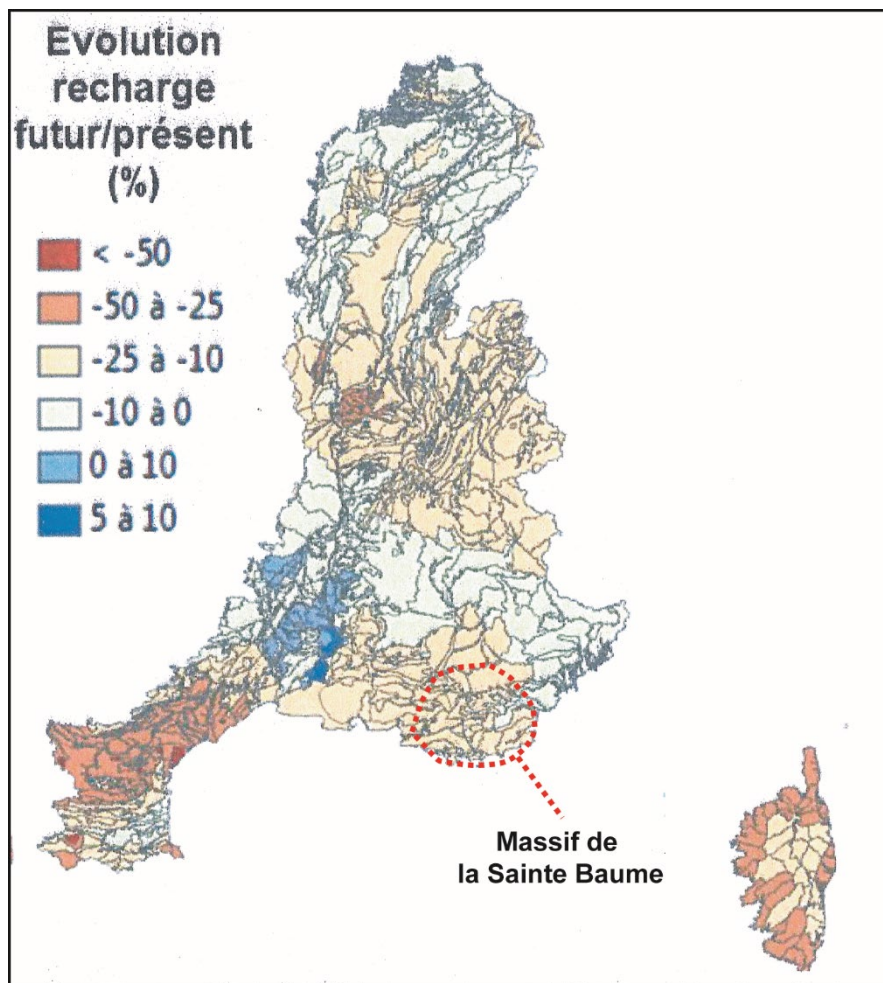
De plus, dans le bassin Rhône-Méditerranée, de nombreux secteurs présentent des divergences fortes en termes de résultats. C'est par exemple le cas de certains départements qui, selon les modèles, présente un gain ou une perte en termes de pluie efficace. Cette observation indique que, sur ces secteurs, les modèles ne peuvent pas être conclusifs.

Sur le périmètre du PNR, les modèles semblent convergents avec une baisse de recharge attendue comprise entre 10 et 40% ; seul un modèle indique un gain de recharge sur le territoire.

Dans un second temps, Caballero et al. proposent une moyenne en termes de pluie efficace à partir des six résultats des simulations. Puis, ils calculent une carte de recharge future en appliquant la moyenne des

deux ratios d'infiltration déterminés préalablement : SURFEX et IDPR ajusté. Ils obtiennent ainsi une carte de la recharge moyenne annuelle future sur le bassin Rhône Méditerranée Corse.

Figure 39 : Carte de l'évolution potentielle de la recharge à l'échelle du bassin Rhône Méditerranée Corse (d'après Caballero et al., 2016). Zoom sur le PNR.



On observe, sur cette estimation, un territoire potentiellement affecté par une baisse de recharge comprise entre -10 et -25%. Ils donnent des modules d'infiltration variant entre 4,5 et 9 l/s/km².

Comme le font remarquer les auteurs, ces résultats doivent être considérés avec beaucoup de prudence. Ils ont été construits en cumulant des incertitudes importantes. De plus, le choix fait de moyenniser les simulations climatiques lissent des impacts contradictoires.

Ces mises en garde dans l'interprétation des résultats issus de modélisations complexes ne doivent pas cacher la menace forte que fait peser le changement climatique en cours sur la ressource en eau. Les dynamiques baissières sont d'ores et déjà enregistrées dans le Sud de la France de 2010 à 2020. Il est indispensable dans une logique de précaution de considérer cette fourchette de -10 à -25% de baisse de recharge à l'horizon 2045-2065 comme une hypothèse sérieuse pour toute politique de planification territoriale.

Afin d'intégrer ces tendances récentes (2010-2020) et à venir (2020-2050), nous faisons ainsi volontairement une hypothèse pessimiste sur la recharge par infiltration des eaux de pluie. Nous faisons l'hypothèse pour les 30 ans à venir d'une diminution de 30% des volumes de recharge des unités karstiques.

Connaissant la surface des impluviums des unités karstiques, il est possible d'estimer le volume de recharge annuelle en Mm^3/an . Le tableau ci-dessous présente les résultats.

Figure 40 : Estimation de la recharge par infiltration des eaux de pluie des unités karstiques.

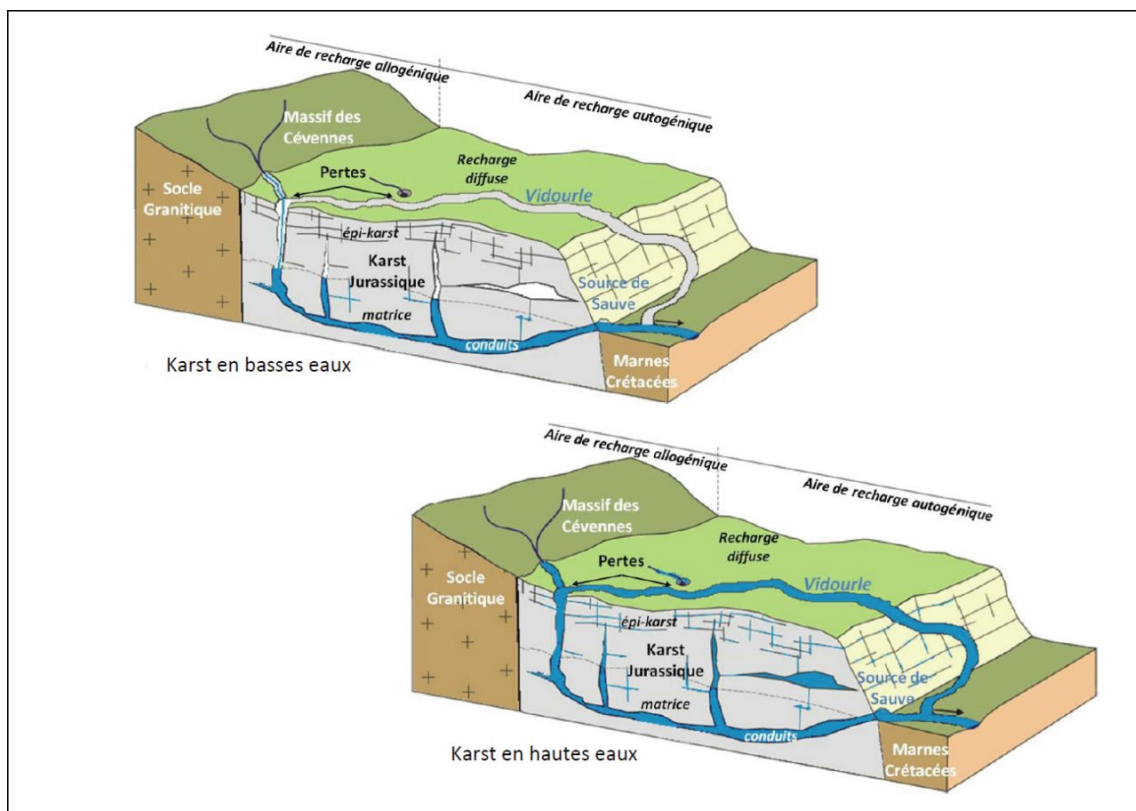
Unité		Surface (km ²)	Coefficient infiltration	Module infiltration l/s/km ²	Infiltration EP	
					Mm ³ /an	l/s
Monts Olympe et Mont Aurélien		51	90%	5	8	255
Massif de la Lare		32	90%	5	5	160
Plateaux karstiques du versant Nord du massif de la Sainte Baume	Plateau de Mazaugues	37	90%	8	9	296
	Système de la Foux de Nans	8	90%	7	2	56
	Plan d'Aups	17	90%	7	4	119
Plateaux karstiques du versant Sud du massif de la Sainte Baume		260	90%	6	49	1560
Massif des Gorges d'Ollioules		60	80%	5	9	300
Plateau de Siou Blanc		100	90%	6	19	600
Massif d'Agnis		48	90%	10	15	480
Montagne de la Loube		25	90%	9	7	225
Pilon St Clément		24	90%	8	6	192

Cette approche permet ainsi d'identifier et de hiérarchiser à l'échelle du territoire les unités karstiques aquifères qui bénéficient et qui bénéficieront d'une forte recharge par infiltration des eaux météoriques.

De nouveau, ces résultats doivent néanmoins être considérés avec prudence, et ce pour plusieurs raisons :

- La méthode de détermination est grossière. Elle est basée sur un modèle d'estimation de la lame d'eau qui intègre deux paramètres mal contraints : l'ETP et le coefficient d'infiltration. Il est généralement admis que ce type d'approche donne au mieux un ordre de grandeur avec une imprécision relative de +/- 30 %.
- De plus, il est à noter que la recharge annuelle n'est pas la ressource mobilisable. C'est particulièrement vrai pour les systèmes karstiques. Ce sont des réservoirs potentiellement très diffusifs : forte perméabilité et faible porosité impliquent de fortes vitesses de circulation (+ 100/h) et des mises en charge spectaculaires, comme l'illustre la figure ci-dessous. Les pluies abondantes que l'on observe généralement d'octobre à mai se traduisent ainsi par des mises en charge du réservoir et une forte augmentation du débit aux exutoires mais dont l'effet mémoire peut être relativement court (de quelques semaines à 1 ou 2 mois). Une étude récente pilotée par l'EPTB Gardons sur les systèmes karstiques drainés par le Gardon montre qu'entre 70 et 80% du volume d'eau infiltré durant la période pluvieuse a quitté ces réservoirs karstiques lorsque débute l'étiage. La capacité du karst à restituer un volume d'eau en période estivale, son inertie dépend de plusieurs facteurs : degré de karstification, taille du réservoir, dolomitisation, degré de fracturation.

Figure 41 : Fonctionnement hydrogéologique d'un système karstique (d'après Legay, 2013)



- Pour finir, ces ordres de grandeur des moyennes interannuelles de volume de recharge doivent être considérés aussi avec prudence car ils cachent de fortes variations interannuelles. Le signal pluie peut être très variable d'une année sur l'autre et, en régime méditerranéen, la plupart des systèmes aquifères montrent une variabilité des volumes annuels de recharge sur au moins un ordre de grandeur (de 1 à 10) (Fénart, 2019).

2.1.3 QUELLES RELATIONS ONT-ELLES AVEC LES COURS D'EAU ?

QUELLES SONT LES DONNEES DISPONIBLES ?

Il a été argumenté qu'en particulier sur ce territoire, les réservoirs karstiques jouent un rôle de première importance dans le soutien d'étiage des nombreux cours d'eau qui trouvent leurs sources dans le massif de la Sainte Baume.

Il nous a semblé nécessaire de caractériser a minima ce soutien d'étiage.

Pour cela, nous proposons de combiner plusieurs approches :

- Une reprise détaillée de toutes les données disponibles dans la littérature scientifique et technique (assec constatés, données de débit sur les sources et/ou les cours d'eau, ...) qui renseignent sur les relations nappe-rivière. Les études dites de détermination des volumes prélevables donnent généralement de précieux renseignements sur ces relations.

- Une analyse sommaire des données de débit disponibles sur les cours d'eau (sommaire car il s'agit de mesures influencées par les usages anthropiques).

Concernant les données de débit, nous nous sommes intéressés à deux types de base de données : la BD HYDROREEL (Serveur de données hydrométriques en temps réel pour la gestion du risque inondation) et la BANQUE HYDRO (serveur de données hydrométriques pour la gestion patrimoniale de la ressource en eau).

Les stations identifiées sont les suivantes :

Banque HYDRO (code-Cours d'eau- années de mesure disponible) :

▪ Y5105010	Le Caramy à Vins-sur-Caramy [Les Marcounious]	1972 - 2019
▪ Y5105040	Le Caramy [source] à Mazaugues	1994 - 2019
▪ Y5106610	L'Issole à Cabasse [Pont des Fées]	1974 – 2019
▪ Y5005215	Le Cauron à Bras [Amont du pont des allées]	2016 – 2019
▪ Y4414015	L'Huveaune à Saint-Zacharie [Le Moulin blanc]	2006 - 2019
▪ Y4414030	L'Huveaune à Roquevaire [2]	1994 – 2019
▪ Y4604020	Le Gapeau à Solliès-Pont	1969 – 2019
▪ Y4515420	La Reppe à Ollioules	1994 - 2019

HYDROREEL :

▪ Caramy à Mazaugues	(doublon Banque HYDRO)
▪ La Caramy à Vins.	(doublon Banque HYDRO)
▪ Le Gapeau à Signes (SMBVG)	(données de hauteur /pas de débit)
▪ Le Gapeau à Solliès-Pont – Autoroute.	(doublon Banque HYDRO)
▪ L'Huveaune à Saint-Marcel	(doublon Banque HYDRO)
▪ L'Huveaune à Saint-Zacharie - Le Moulin Blanc	(doublon Banque HYDRO)

L'objectif est, pour chacun des cours d'eau, d'essayer de définir un ordre de grandeur des contributions des aquifères karstiques aux débits de soutien d'étiage moyen et en quinquennale sèche.

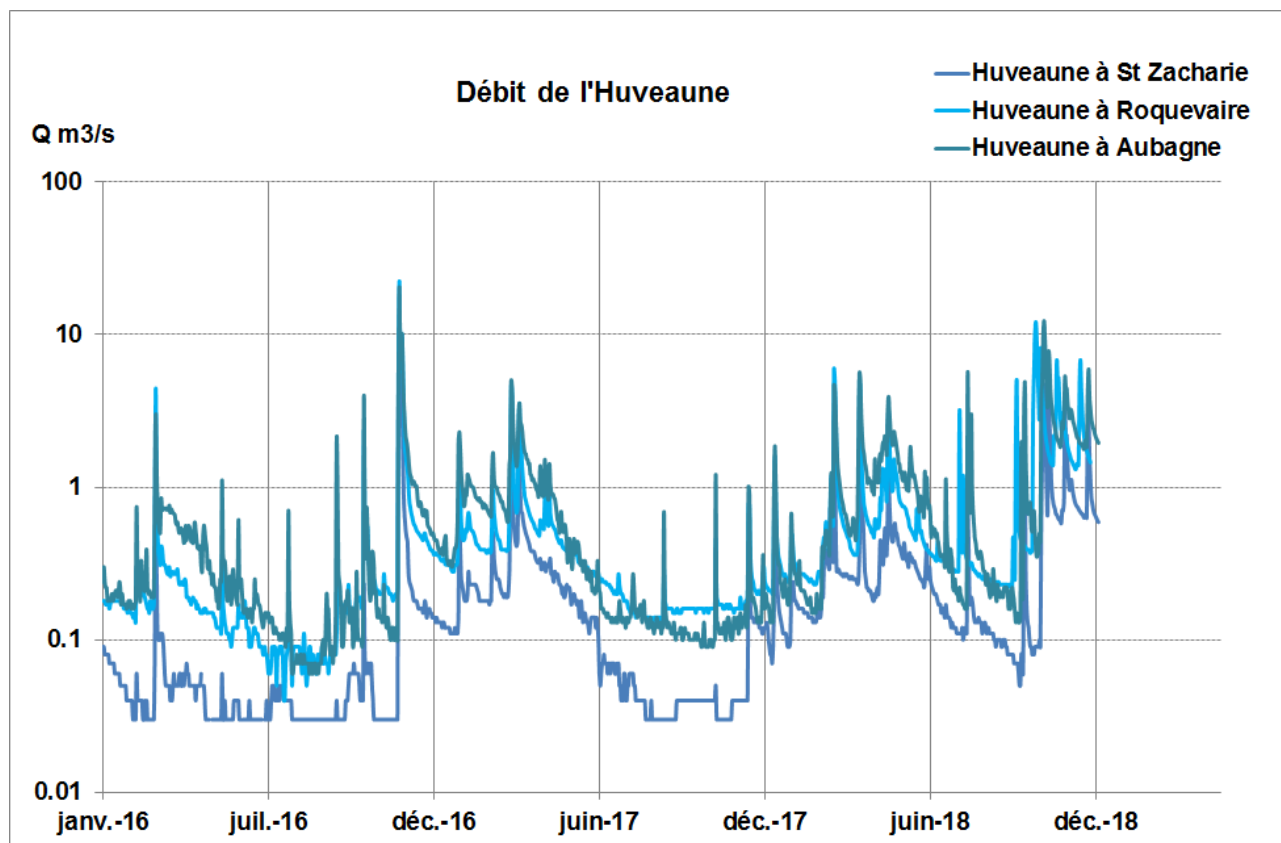
QUELLES SONT LES CONTRIBUTIONS DES MASSIFS KARSTIQUES AU DEBIT DES COURS D'EAU ?

Le tableau ci-dessous propose une synthèse des données récoltées :

Cours d'eau	Q mensuel moyen de juin à septembre	Qmna5	Autres
Huveaune	<i>Q biennale :</i> 80 l/s (St Zacharie) 150 l/s (Roquevaire) 210 l/s (Aubagne)	40 l/s (St Zacharie) 100 l/s (Roquevaire) 150 l/s (Aubagne)	<i>Martin (1991)</i> Q min Encanaux < 20 l/s Q min Naves : < 10 l/s ? Q Min Lazare = 0 l/s
Cauron	Pas de données mesurées des apports du karst au droit de Nans-Les-Pins		Q étiage < 10 l/s (observations 2018)
Caramy	Q (sources hautes et basses de Mazaugues) de l'ordre de 20 l/s en début d'été ; tarissement fréquent à partir du mois d'août	Q (sources hautes et basses) 2 l/s	<i>Martin (1991)</i> Q min Figuière de l'ordre de 50 l/s Q min Lieutaud et Lecques : 30 l/s ? Q Min St Julien : 10 l/s ?
Val de Camps	Pas de mesure des apports du karst au droit de Camps la Source (apports du massif de la Loube)		Q étiage > 50 l/s (observations 2019)
Issole	Pas de mesure des apports masqués du karst au droit de La Roquebrussanne (apports du massif d'Agnis), des apports indirects au droit de Néoules (apports du Pilon St Clément)		
Gapeau	Pas de mesure des apports masqués du karst au droit de Signes (apports du massif d'Agnis).		
Reppe	Tarissement systématique de la Reppe à Ollioules entre juin et septembre. Observation qui ne renseigne pas sur les dynamiques de restitution du karst car la station de mesure est placée trop à l'aval (pertes possibles dans le Trias et le Lias à l'aval des gorges)		

Pour l'Huveaune, nous disposons de trois stations de mesure qui autorisent d'estimer d'éventuels apports.

Figure 42 : Débits de l'Huveaune aux trois stations de mesure entre 2015 et 2018.



La section entre St Zacharie et Roquevaire renseigne sur les relations avec les massifs carbonatés environnants. On peut constater que, hors crue, l'Huveaune présente un gain entre ces deux stations qui varient entre 200 l/s en fin de crue et 100 l/s en fin d'étiage estival. Or, les sources qui bordent la Lare au Nord ont une contribution très faible au débit d'étiage de l'Huveaune (< 30 l/s) ; cette observation interpelle et pourrait indiquer des venues sous-alluviales en provenance de l'unité des Monts Olympe et Aurélien, qui est caractérisée par une absence d'exutoire connu.

Entre Roquevaire et Aubagne, l'Huveaune court sur ses alluvions, qui ne sont plus en contact avec des massifs carbonatés mais avec les sédiments hétérogènes de l'Oligocène. En dehors des épisodes de crue, on peut distinguer deux dynamiques :

- Dans les semaines qui suivent les crues de l'Huveaune, le différentiel est positif de (0 à + 300 l/s) entre Roquevaire et Aubagne, ce qui indique probablement un lent ressuyage des horizons perméables de l'Oligocène.
- Au bout de plusieurs mois sans crue ou sans pluie, on observe la mise en place d'un différentiel négatif de débit entre Roquevaire et Aubagne (stabilisation des pertes autour de -100 l/s). Cela montre que la rivière perd du débit au profit de sa nappe alluviale, ce qui peut être expliqué soit par des prélèvements en nappe, soit par une vidange de la nappe alluviale au profit d'un autre aquifère

Figure 43 : Différentiels de débit de l'Huveaune entre Roquevaire et St Zacharie entre 2015 et 2018.

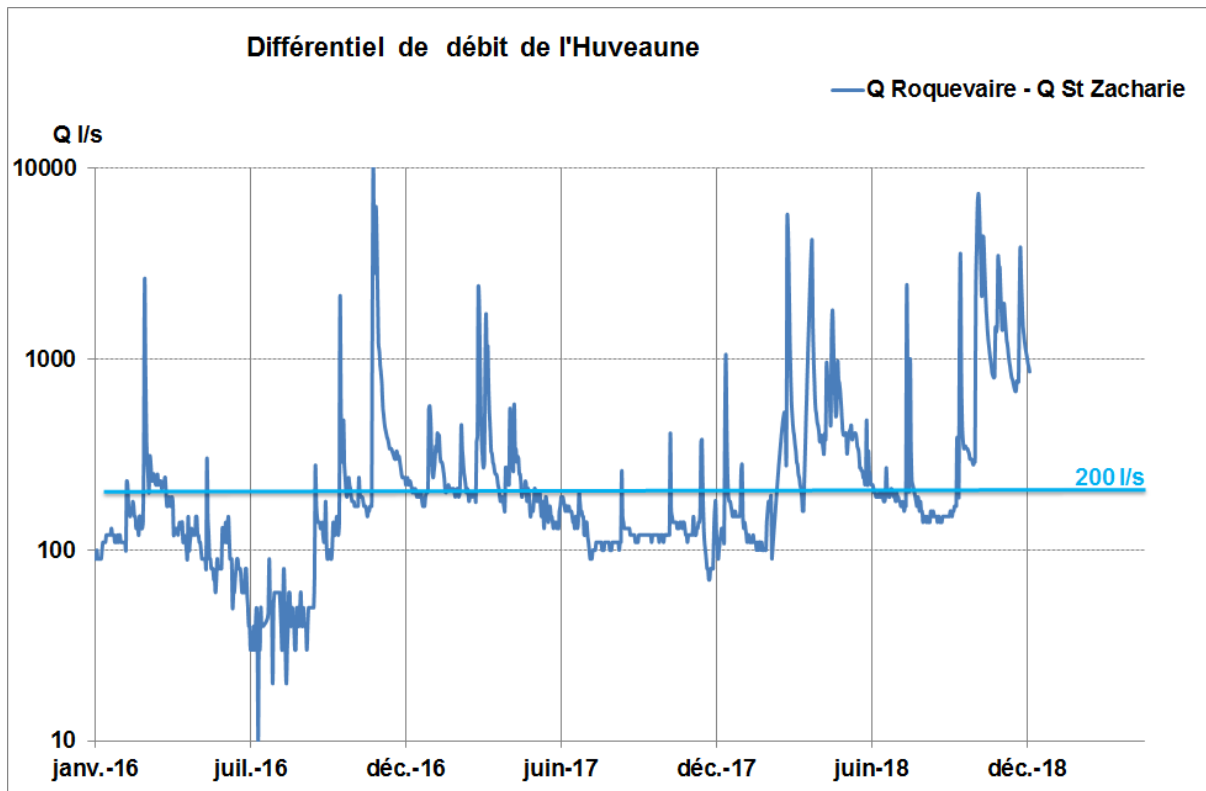
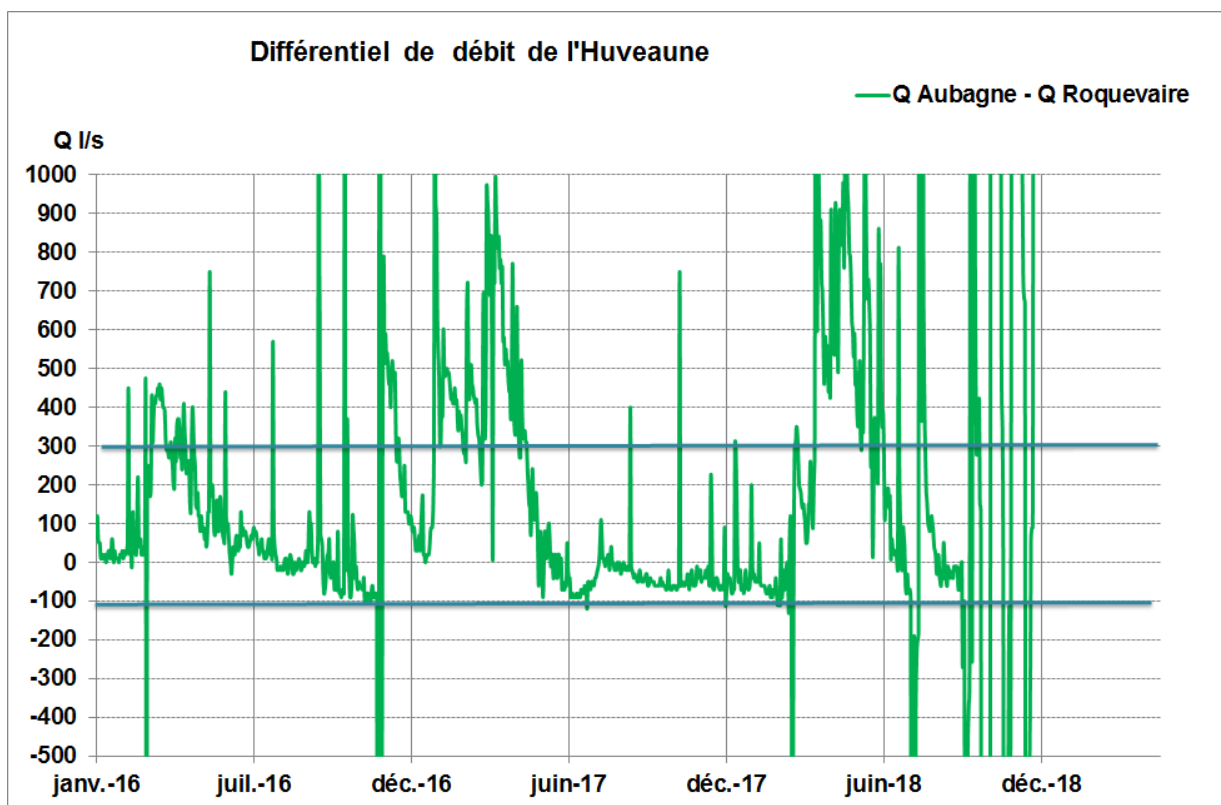


Figure 44 : Différentiels de débit de l'Huveaune entre Aubagne et Roquevaire entre 2015 et 2018.



2.2 . QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

2.2.1 DES EAUX DE BONNE QUALITE

ORIGINE DES DONNEES

Afin d'approcher la qualité des eaux souterraines, nous avons récolté les données relatives à la qualité des eaux souterraines dans la banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines (ADES) rassemblant des informations quantitative et qualitative relatives aux eaux souterraines.

De nombreux partenaires sont associés à ADES pour la mise en commun des résultats et de ce fait, c'est une banque de données exhaustive au service de tous. Voici les organismes qui alimentent ADES :

- Agences de l'Eau.
- Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL).
- Agences Régionales de Santé (ARS) : données de la base SISE-EAUX, du ministère chargé de la Santé, base alimentée par le contrôle sanitaire, concernant les eaux souterraines captées pour la production d'eau potable (uniquement les données sur les eaux brutes).
- Collectivités territoriales (conseils généraux, régionaux, syndicats de gestion d'aquifères, communautés de communes, parcs naturels).
- Autres organismes chargés de missions publiques.
- Industriels dans le cadre du suivi des Installations Classées et Sites Pollués.

Le nombre de points de surveillance a évolué en fonction du temps.

Depuis 1998, on trouve ainsi bancarisés dans ADES 387 prélèvements correspondant à environ 99 000 analyses.

Sur chaque point référencé comme qualitomètres dans ADES, le nombre de prélèvements et d'analyses est fonction de la situation géographique du point d'eau (proche des champs captants) et de certains événements historiques (pollution industrielle).

Les caractéristiques des qualitomètres avec des données disponibles sur ADES sont représentées dans le tableau ci-dessous. On peut observer que les qualitomètres correspondent tous à des points de captage pour l'alimentation en eau potable.

C'est une information importante ; elle indique en première approche l'absence de pollutions ponctuelles de type accidentelle des eaux souterraines

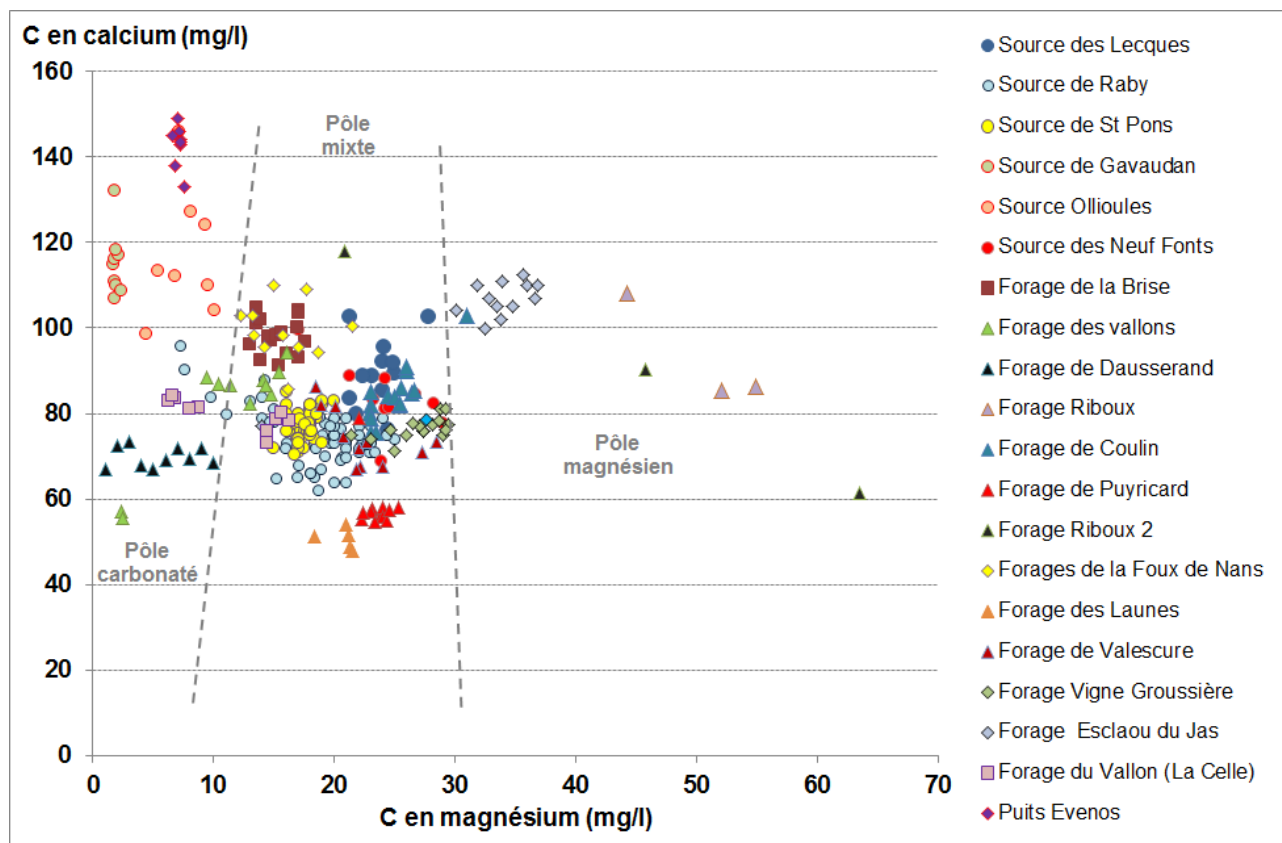
Figure 45 : Caractéristiques des qualimètres.

Code National BSS	Commune	Adresse	Altitude	Profondeur	Nature du point d'eau	Nb prélèvements	Période
10227X0163/111111	Celle	LE VALLON	280	91.5	Forage	11	1998-2018
10457X0118/P	Belgentier	FONT DOU VIN	180	0	Puits	13	1997-2018
10457X0168/HY	Belgentier	SOURCE DU GAVAUDAN	300	0	Source	43	2000-2012
10454X0092/FEX1	Camps-La-Source	CLAOU DU JAS	290	48.05	Forage	11	2001-2018
10444X0026/DA	Cuges-Les-Pins	VALLON DE DAUSSERAND	310	157	Forage	10	1999-2017
10448X0152/FB	Cuges-Les-Pins	LE PUYRICARD BORDURE R.N 8	180	133	Forage	12	1994-2017
10448X0153/F1	Cuges-Les-Pins	VALLON DE SAINTE MADELEINE	230	130	Forage	6	2001-2016
10456X0045/PUITS	Évenos	ROCHER DE L'AIGLE	565	1	Puits	8	1997-2017
10443X0156/HY	Gémenos	SOURCE DE ST PONS	320	0	Source	56	2000-2019
10443X0291/HY	Gémenos	ST PONS	290	0	Forage	14	1994-2017
10447X0213/F-1	Gémenos	COULIN - FORAGE PIGNOL	135	185	Forage	17	1999-2019
10453X0316/F	Méounes-Lès-Montrieux	FORAGE LA VIGNE GROUSSIÈRE	357	0	Forage	21	1996-2018
10451X0065/F	Nans-Les-Pins	LA FOUX	440	0	Forage	11	1997-2017
10642X0446/SOU	Ollioules		80	0	Source	12	1997-2018
10642X0212/HY	Revest-Les-Eaux	BARRAGE DU REVEST	120	0	Affleurement d'eau	10	1996-2018
10444X0028/F	Riboux		535	0	Forage	4	1999-2016
10451X0041/F	Riboux	PUITS AU N. DU GRAND HUBAC	555	1.4	Puits	7	1999-2017
10453X0232/FEX1	Roquebrussanne	Forage de Valescure	358	84	Forage	13	1997-2017
10453X0292/HY	Roquebrussanne	LES NEUF FONTS	420	0	Source	10	1998-2017
10226X0080/F	Rougiers	FORAGE DES VALLONS	410	120	Forage	11	1996-2018
10218X0183/HY	Saint-Zacharie	LA BRISE	265	0	Source	20	1996-2018
10452X0153/HY	Signes	SOURCE DU RABY SCE CHATEAU VIEUX	510	0	Source	66	1997-2019
10452X0230/E3	Signes	STATION POMPAGE DES LAUNES	323	60	Forage	7	2006-2016
10226X0048/HY	Tourves	SOURCE DES LECQUES	275	0	Source	14	1996-2017

FACIES HYDROGEOCHIMIQUES

De manière générale, les eaux des massifs karstiques de la Sainte Baume sont de bonne qualité. Il s'agit d'eaux bicarbonatées calciques avec des teneurs faibles en nitrates (< 10 mg/l).

Figure 46 : Concentrations en calcium et magnésium mesurées sur les qualitomètres.



La répartition des eaux prélevées dans un diagramme Ca/Mg permet de mettre en évidence des pôles en termes de réservoir :

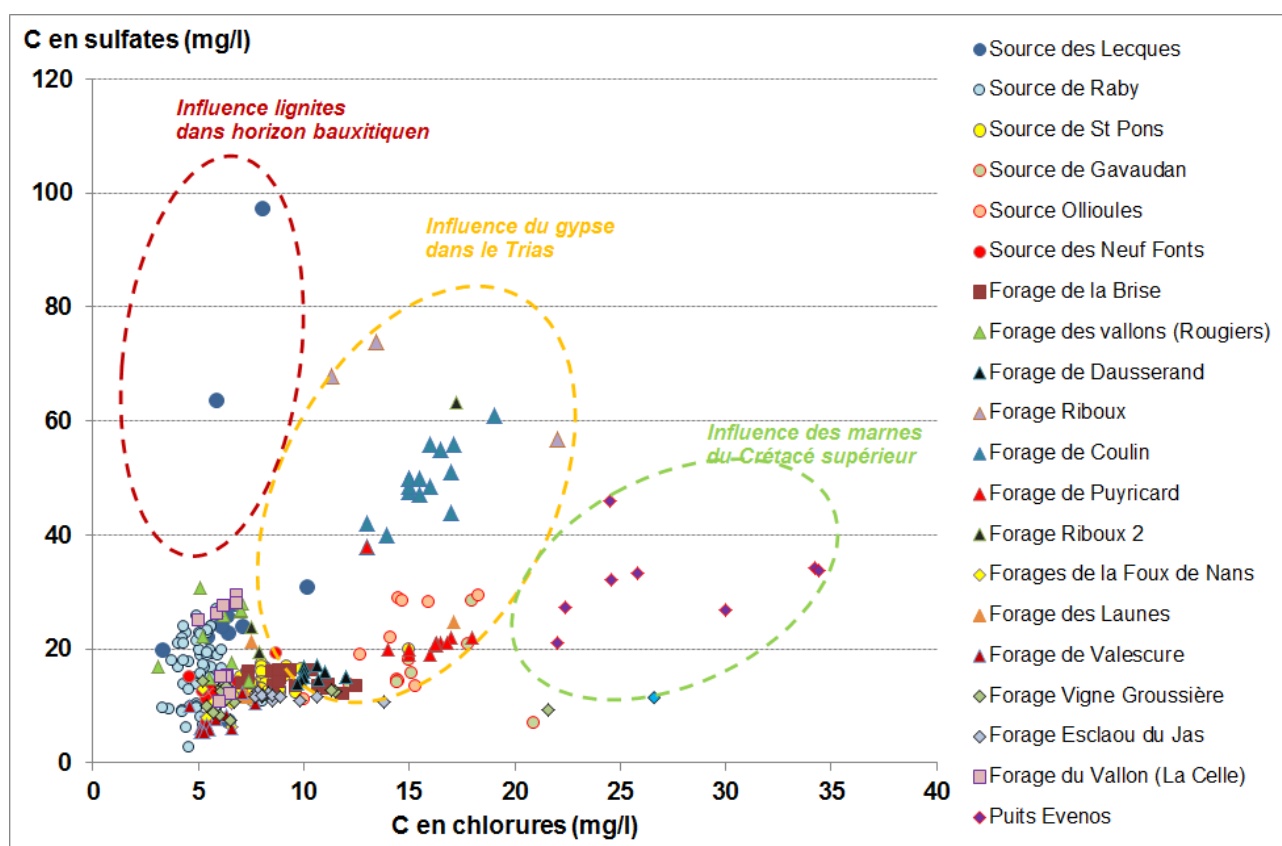
- Un pôle carbonaté qui correspond à des réservoirs sans dolomies (cas des eaux des sources d'Ollioules, du puits d'Evenos, du forage du vallon de la Celle, de la source de Gavaudan et du forage Dausserand).
- Un pôle mixte qui peut signifier des eaux ayant séjourné au contact de calcaires et de dolomies.
- Un pôle magnésien qui indique un réservoir majoritairement dolomitique (cas des forages de Riboux implantés dans les dolomies de l'hettangien mais aussi du forage Esclaou du Jas, localisé dans des dolomies du Jurassique supérieur)

Les concentrations en chlorures et en sulfates renseignent aussi sur les éventuels chemins de l'eau. La majorité des eaux prélevées présentent des concentrations faibles en sulfates (< 30 mg/l) et en chlorures (<15 mg/l), de façon usuelle pour des eaux ayant séjournées dans des aquifères carbonatés.

On observe quelques qualitomètres avec des concentrations « anormales » :

- Source des Lecques avec des eaux potentiellement à forte teneur en sulfates mais avec de faibles concentrations en chlorures. C'est un faciès hydrochimique caractéristique des eaux ayant séjourné au contact de l'horizon ligniteux qui est au contact direct avec la bauxite dans le réservoir des plateaux de Mazaugues.
- Des qualitomètres avec des teneurs caractéristiques d'une eau ayant lessivé les horizons gypseux du Trias. C'est le cas des forages de Valescure et de Riboux implantés dans le Lias, à proximité des horizons triasiques ; c'est aussi le cas de la source d'Ollioules qui est localisée à proximité de séries triasiques. De façon plus surprenante, c'est aussi le cas des eaux du forage de Coulin alors que ce forage est implanté au cœur de l'aquifère urgonien. Cela renforce une hypothèse d'alimentation par le Nord de cet aquifère, avec des eaux qui traverseraient les séries du Trias sous la vallée de l'Huveaune.
- Le puits d'Evenos avec des concentrations fortes en chlorures mais faibles en sulfates, caractéristiques typiques du lessivage d'horizons marneux.

Figure 47 : Concentrations en sulfates et chlorures mesurées sur les qualitomètres.



POLLUTIONS CHRONIQUES

Usuellement, les principales pollutions chroniques des eaux souterraines en territoire rural ou montagneux peuvent être de trois ordres :

- Contaminations bactériologiques. Elles peuvent avoir des sources différentes : fuites de réseau de collecte des eaux usées en zones urbaines, systèmes d'assainissement non collectif mal dimensionnés ou mal entretenus, épandages de lisiers,...
- Pollution aux nitrates. La principale origine des nitrates mesurés dans les eaux souterraines est la fertilisation excessive des terres agricoles par des engrais organiques.
- Pollution aux pesticides. C'est encore un type de pollution généralement expliqué par les pratiques agricoles ; à noter la possibilité de contamination par désherbant chimique, liée à un usage important pour l'entretien de certaines voies de communication.

Sans surprise, comme la majorité des aquifères de type karstique, les eaux des unités karstiques de la Sainte Baume présentent des épisodes fréquents de turbidité importante en cas d'orages (NTU>1), en particulier pour les sources captées, et des contaminations bactériologiques régulières.

Cela est dû à la nature du réservoir : les drains karstiques ont un faible pouvoir filtrant sur les matières en suspension qui sont mobilisées en cas d'orage et, en fonctionnant comme des tuyaux, ils ne permettent pas une épuration biologique des bactéries.

Rappelons l'absence remarquable de pollution aux nitrates.

Concernant les pollutions de type chimique (produits phytosanitaires, solvants chlorés, HAP,...), les substances indésirables recherchées sont rarement détectées et on trouve des dépassements des limites de qualité réglementaires sur quelques qualitomètres :

- Forage de la Brise – Dépassement unique de la teneur autorisée à 0,1 µg/l.
- Forages de la Celle et sources des Lecques et de St Pons : dépassement unique des teneurs autorisées en fer et en aluminium (> à 200 µg/l). Cela traduit des épisodes rares de lessivage des horizons bauxitiques (période d'étiage longue qui entraîne la mobilisation aux exutoires d'eaux profondes avec des temps de séjour important).

Notons que les fréquences de détection des substances indésirables augmentent de façon significative dans les aires urbanisées. C'est particulièrement le cas du forage de Coulin.

De façon plus surprenante, deux points méritent attention :

- La source de Gavaudan dans la vallée du Gapeau, marquée par des pollutions régulières difficiles à expliquer (absence de sources de pollution potentielle dans le bassin d'alimentation supposée de la source).
- Les eaux de la source de Saint Pons qui sont marquées par des indicateurs de pollution urbaine, ce qui serait un indice supplémentaire pour étendre son bassin d'alimentation au poljé du Plan d'Aups. Le fait d'observer des pollutions épisodiques en fer et en aluminium renforce cette hypothèse car cela indique des passages au travers des horizons de bauxite.

Le tableau ci-dessous résume les substances détectées point par point. Le détail des analyses a été placé en annexe de ce rapport.

PLATEAU DE SIOU BLANC	<i>Source de Gavaudan (Belgentier)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Détection de produits phytosanitaires (2004, 2010, 2016) Détection de solvants de type trihalogénométhane (2000, 2012) Détection d'hydrocarbure (2002).
	<i>Retenue de Dardennes (Le Revest-des-Eaux)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Détection de produits phytosanitaires (2013)
PILON ST CLEMENT	<i>Absence de qualimètre.</i>	
MASSIF D'AGNIS	<i>Source de Raby (Signes)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Détection de bisphénol A (2018)
	<i>Forage des Launes (Signes)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Absence de détection de substances indésirables.
	<i>Forage de Valescure (La Roquebrussanne)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Détection de solvants de type trihalogénométhane (1999, 2011)
	<i>Source des Neufs Fonts (La Roquebrussanne)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Absence de détection de substances indésirables.
	<i>Forage Vigne Groussière (Méounes-Les-Montrieux)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Absence de détection de substances indésirables.
MONTAGNE DE LA LOUBE	<i>Forage des Vallons (La Celle)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Teneurs fortes en fer et en aluminium (1999) supérieures à 200 µg/l.
	<i>Forage de Claou du Jas (Camps-La-Source)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Détection de produits phytosanitaires (2016)
PLATEAUX DU VERSANT NORD DE LA SAINTE BAUME	<i>Source des Lecques (Tourves)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Détection de solvants de type trihalogénométhane (1996)
	<i>Forage du Vallon (Rongiers)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Détection de HAP (2001) Détection de solvants de type trihalogénométhane (2011) Teneur en fer (2003) supérieure à 200 µg/l

	<i>Forages de la Foux de Nans</i>	<ul style="list-style-type: none"> Absence de détection de substances indésirables.
	<i>Source de St Pons (Gémenos)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Bisphénol A (2018) Teneur en fer (2000) supérieure à 200 µg/l Teneur en aluminium (1996) supérieure à 200 µg/l Solvant (2013) Plastifiant (2018, 2019)
MONTAGNE DE LA LARE	<i>Forage de la Brise (St Zacharie)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Détection de produits phytosanitaires (2013, 2016 et 2018) avec une substance au-delà de 0,1 µg/l Détection de solvants chlorés de type trihalométhanes (1999)
MONT AURELIEN ET MONT OLYMPE	<i>Pas de qualitomètres.</i>	
PLATEAUX DU VERSANT SUD DE LA SAINTE BAUME	<i>Forage du vallon de Dausserand (Cuges-Les-Pins)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Absence de détection de substances indésirables.
	<i>Forage de Puyricard (Cuges-Les-Pins)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Détection de produit phytosanitaire (2009)
	<i>Forage du vallon madeleine – Jardins de la Ville (Cuges-Les-Pins) :</i>	<ul style="list-style-type: none"> Absence de détection de substances indésirables.
	<i>Forage du Coulin (Gémenos)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Détection de solvants chlorés de type trihalométhanes (2009) Détection de chrome (2017) Détection de résine chimique (2018) Détection de composé pour l'industrie du parfum (2018) Détection de plastifiant (2018 et 2019) Détection de perfluorohexanesulfonic acid (2019)
MASSIF DES GORGES D'OLLIOULES	<i>Puits à Evenos</i>	<ul style="list-style-type: none"> Absence de détection de substances indésirables
	<i>Source Ollioules</i>	<ul style="list-style-type: none"> Détection de produit phytosanitaire (2013, 2017)

2.2.2 PROBLEMATIQUE DU BISEAU SALE

QU'EST-CE QU'UN BISEAU SALE ?

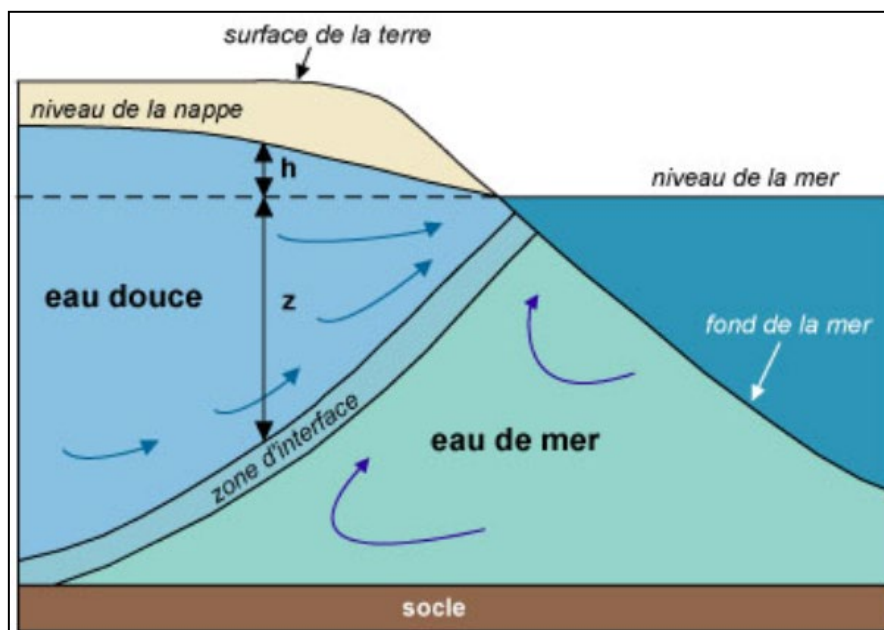
Un biseau salé est une partie d'un aquifère côtier envahie par de l'eau salée (marine), comprise entre la base de l'aquifère et une interface eau douce / eau salée, le biseau salé étant sous l'eau douce. La présence d'un biseau salé est un phénomène naturel mais son extension horizontale à l'intérieur des terres est généralement faible.

Par contre, c'est généralement la surexploitation de l'aquifère qui va conduire à la pénétration du biseau salé sur de grandes distances. Plusieurs facteurs peuvent aggraver la pénétration d'un biseau salé dans un aquifère côtier :

- Un pompage excessif : les littoraux font partie des régions les plus peuplées du monde où les activités touristiques, agricoles et industrielles sont telles que la demande en eau douce est très importante, souvent beaucoup plus importante que ce que peut offrir les réservoirs présents ; les nappes d'eau douce sont alors fortement surexploitées.
- La diminution de la recharge : la pénétration du biseau dans la nappe peut aussi être liée à une diminution de la recharge due au climat ; une consommation d'eau stable mais avec une recharge en eau inférieure aura le même effet que des pompages excessifs.
- Salinisation accidentelle : il peut également y avoir des salinisations accidentelles de la ressource par la surface lors d'événements catastrophiques comme un tsunami par exemple : l'eau de mer colonise une partie des terres et peut s'infiltrer jusque dans les nappes par la surface.

La figure ci-dessous illustre les équilibres hydro-géochimiques entre eau de mer et eau douce dans un aquifère côtier.

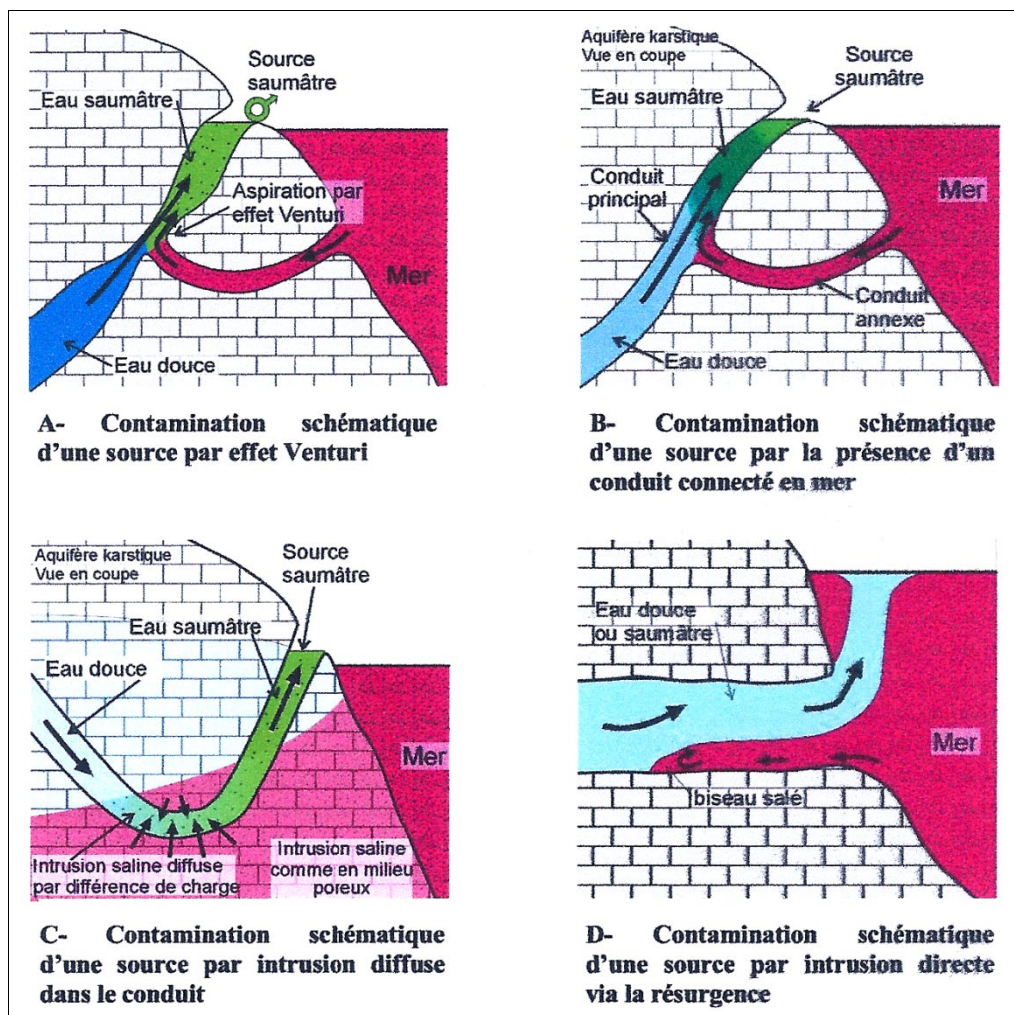
Figure 48 : Schématisation d'un biseau salé dans un aquifère homogène.



Le cas de ces équilibres dans les aquifères karstiques est encore plus complexe.

Le karst est un milieu hétérogène caractérisé par la présence de drains qui peuvent assurer une pénétration importante du biseau salé au sein du réservoir en cas de déséquilibre hydrodynamique (milieu très diffusif). Les modalités de diffusion des eaux salées dans le karst peuvent prendre de nombreuses formes et nécessitent des études dédiées mobilisant des moyens importants (Arfib, 2001).

Figure 49 : Modalités de salinisation des karsts littoraux (Arfib, 2005).



BISEAU SALE ET AQUIFERES DE LA SAINTE BAUME

Dans le périmètre de l'étude, la seule unité hydrogéologique en contact direct avec l'eau de mer est l'unité hydrogéologique dite des plateaux du versant Sud du massif de la Sainte Baume. L'aquifère principal est un karst actif drainé par les sources sous-marines de Port Miou et du Bestouan (secteur des Calanques de Cassis).

Les eaux de ces sources sont saumâtres et ce sur toute la partie visitable et visitée des réseaux karstiques (près de 2 km à l'intérieur des terres). Cela indique sans surprise la présence d'un biseau salé dans l'aquifère urgonien.

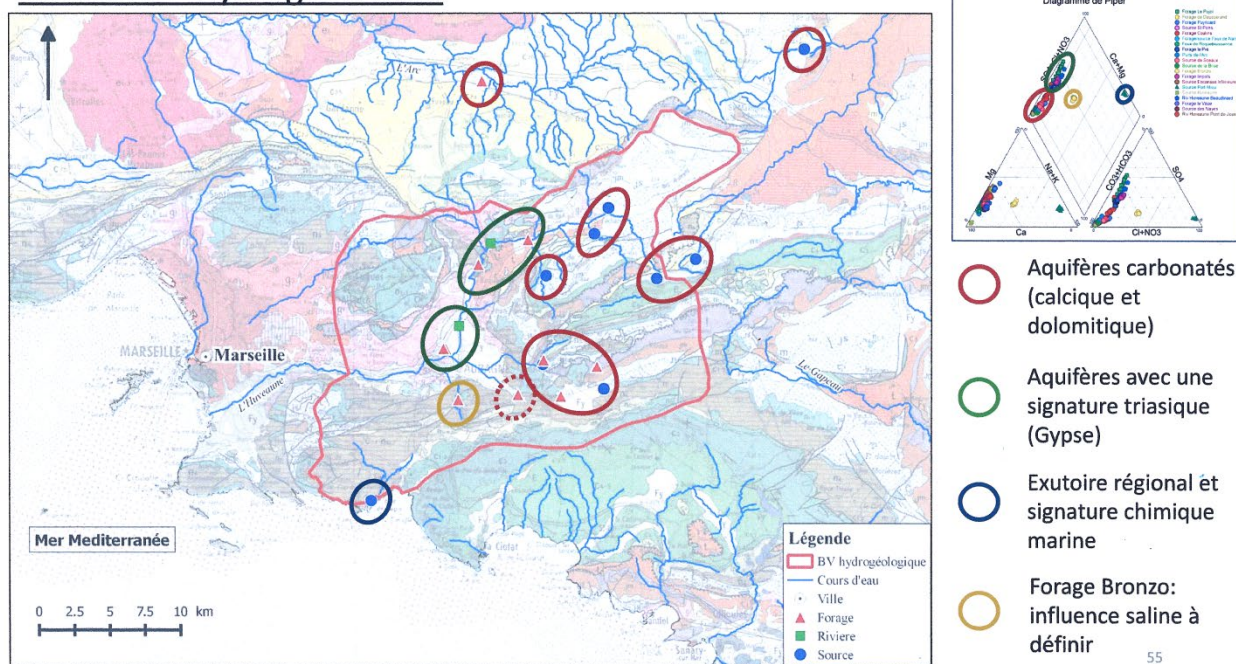
Il est difficile de statuer sur la pénétration de ce biseau salé à l'intérieur des terres sur la base des connaissances actuelles. Nous ne disposons d'aucune étude détaillée et adaptée qui aborde correctement cette problématique.

Les seules informations utiles à ce sujet sont celles acquises par T. Garin dans le cadre de son travail de thèse. Il a réalisé un suivi et une exploitation des données hydro-géochimiques sur plusieurs stations qui intéressent les eaux de surface et les eaux souterraines. Le forage BONZO est le seul point de suivi qui présente des teneurs anormales en chlorure et en sodium ; ceci étant, des analyses isotopiques montreraient que cette signature serait expliquée par le lessivage d'évaporites et non par une contamination par les eaux de mer.

Il s'agit d'informations orales à confirmer.

Figure 50 : Concentrations en sulfates et chlorures mesurées sur les qualimètres (Communication orale – T. Garin).

Résultats – Hydrogéochimie



Sans informations supplémentaires, nous pouvons juste proposer que le biseau salé serait situé entre les sources de Port-Miou et le site du forage Bronzo (environ 9 km d'écart). Cette situation est relative aux conditions hydrodynamiques et de prélèvements actuels ; toute modification de ces conditions est susceptible de déplacer la localisation du biseau salé.

2.3 VULNERABILITE DES EAUX SOUTERRAINES

Classiquement, on détermine la vulnérabilité des eaux souterraines aux pollutions par le croisement de trois approches :

- *La caractérisation d'une éventuelle couche de surface susceptible de stopper et/ou de retarder l'infiltration d'un polluant vers la nappe.*
- *La détermination de l'épaisseur de la zone non saturée. Cette zone non saturée correspond à la partie de l'aquifère dans laquelle les vides sont occupés par de l'air ou des gaz. Dans cette zone, le transfert des fluides se fait verticalement, du sol vers la nappe. Des particules peuvent être fixées ou transformées ; on peut y observer une filtration des eaux d'infiltration, notamment vis-à-vis d'éventuelles contaminations bactériennes. Dans les milieux karstiques, ces phénomènes sont généralement faibles.*
- *L'identification des zones d'alimentation de la nappe par infiltration des eaux des cours d'eau superficiels. La caractérisation de la qualité de ces eaux superficielles est alors indispensable ; toute pollution des eaux superficielles impliquera à court terme une pollution des eaux souterraines.*

2.3.1 ETAT DE SURFACE

A ce stade de l'étude, nous ne disposons pas de données précises sur les sols susceptibles de retarder, filtrer ou bloquer une pollution de subsurface (absence de cartes pédologiques).

Au vu de ce constat et du périmètre très étendu de l'étude, nous ne pouvons que rappeler des généralités spécifiques aux aquifères karstiques.

En dehors des dolines et des poljés qui fonctionnent sur un schéma ruissellement-infiltration concentré, il est d'usage de distinguer deux grandes typologies caractéristiques de recouvrement pédologique :

- Zones de sols peu développés (recouvrements très localisés avec des épaisseurs inférieures à 10 cm). Ces zones correspondent à des lapiazs caractérisés par l'absence de végétation ou à des zones de fortes pentes.
- Zones de sols faiblement développés (épaisseur comprise entre 10 et 50 cm). Elles sont principalement localisées sur les affleurements boisés jurassiques des plateaux (faible pente). Le couvert végétal y est dense et on peut observer un faible développement de sols liés aux processus d'érosion des séries carbonatées et de dépôts d'humus.

Globalement, on retiendra que les sols sont peu développés sur les impluviums karstiques et qu'ils ne jouent pas un rôle important de protection vis-à-vis d'éventuelles pollutions.

De plus, la plupart des impluviums karstiques sont caractérisés par la présence de très nombreuses formes de dissolution (dolines, ponors, avens,...) qui recueillent localement les eaux de ruissellement, même dans les zones boisées ; ces formes étant directement connectées au réseau de drainage rapide des systèmes karstiques, elle assure une migration rapide d'éventuels polluants vers la nappe.

2.3.2 EPAISSEUR DE LA ZONE NON SATURÉE

La zone non saturée, qui joue le rôle de relais hydraulique entre eaux de surface et nappe en profondeur, peut retarder, voire tamponner, une éventuelle pollution.

Nous avons classé les unités hydrogéologiques par grandes classes d'épaisseur de leur zone non saturée.

Figure 51 : Unités hydrogéologiques et épaisseur de la zone non saturée.

Unité		Epaisseur ZNS
Monts Olympe et Mont Aurélien		< 100 m dans certains vallons ; entre 100 et 400 m sur les reliefs
Massif de la Lare		< 100 m dans les vallons ; entre 100 et 300 m sur les reliefs
Plateaux karstiques du versant Nord du massif de la Sainte Baume	Plateau de Mazaugues	Entre 100-200 m
	Système de la Foux de Nans	> 200 m
	Plan d'Aups	> 200 m
Plateaux karstiques du versant Sud du massif de la Sainte Baume		< 100 m dans certains vallons et sous les poljés ; entre 100 et 500 m sur les reliefs
Massif des Gorges d'Ollioules		Entre 100 et 200 m ?
Plateau de Siou Blanc		> 200 m
Massif d'Agnis		Excepté le plateau d'Agnis sur la bordure Sud, épaisseur > 200 m
Montagne de la Loube		Entre 100-200 m
Pilon St Clément		Variable. Epaisseur faible (<100 m) pour l'impluvium le plus étendu (massif de St Quinis)

Il s'agit d'estimations basées sur les rares mesures piézométriques disponibles qui sont comparées à l'altitude des impluviums. Il faut donc considérer ces estimations avec prudence.

2.3.3 DYNAMIQUES D'INFILTRATION DES EAUX SUPERFICIELLES

On peut distinguer plusieurs unités karstiques qui bénéficient de dynamiques significatives en, termes d'infiltration des eaux de pluie suite à un ruissellement diffus ou concentré :

- Plateau de Mazaugues : 8 km² de ruissellement potentiel sur la Santonien, qui vont concentrer les eaux et conduisent à des pertes localisées dans les vallons de la Guillaudière, de l'Epine et du Grand Gaudin mais aussi du Caramy. Ces pertes sont aussi alimentées hors période de pluie par les sources du vallon de l'Herbette et les sources du Caramy, qui drainent les unités aquifères du massif de l'Agnis.
- Massif de la Lare. 8 km² de ruissellement potentiel sur les séries du Lias dans l'unité de la Roqueforcade. Ces pertes sont aussi alimentées hors période de pluie par les sources de Peyruis et de Taurelle et les sources de la Castelette, qui drainent respectivement les séries liasiques de la Roqueforcade et les séries aquifères du Plan d'Aups.
- Unité du Plan d'Aups. Zone d'infiltration préférentielle des eaux de pluie par les embuts que l'on observe au Plan d'Aups.
- Plateaux du versant Sud du massif de la Sainte Baume. Cette unité est caractérisée par de multiples zones de pénétration concentrée des eaux de surface :
 - Ruissellement sur le Jurassique et l'Urgonien du versant Sud de la Haute Chaîne puis infiltration des eaux dans la bande de Lias qui s'étire de Gémenos à Riboux. Notons que cet aquifère se signale par de nombreuses dépressions endoréiques de taille très variable qui indique une infiltration préférentielle et concentrée sur cet impluvium (bande liasique en « creux » dans le relief).
 - Zones d'infiltration préférentielle des eaux de pluie par les embuts des nombreux poljés que l'on observe au toit de cette unité (Chibron, Cuges-Les-Pins, Roquefort-La-Bédoule,...)

2.4 . USAGES DES SOLS ET MENACES POTENTIELLES POUR LA QUALITE

Pour appréhender les risques de pollution sur une nappe d'eau souterraine, il est d'usage d'identifier les pollutions potentielles. Il peut s'agir de risques de pollution liés aux zones urbaines, aux voies de transport, aux activités industrielles et agricoles. De même, il est fréquent de distinguer les pollutions potentielles dites chroniques, qui correspondent à une diffusion de substances indésirables de façon diffuse et relativement continue dans le temps, des pollutions accidentelles qui se produisent en un point précis et à un moment donné.

Une analyse croisée des différents outils de protection de la qualité des eaux souterraines permet d'identifier plusieurs thématiques qui intéressent des risques de pollution potentielle.

Nous les présentons ici par ordre décroissant d'importance en termes de menaces pour une qualité durable des eaux souterraines :

1. Les activités industrielles qui intéressent des substances nuisibles pour la santé humaine et persistantes dans l'environnement. De manière évidente, cela concerne les Installations Nucléaires de Base (INB) ainsi que les installations de stockage des déchets ultimes (ISDND). Les ICPE doivent être considérées au cas par cas ; certaines d'entre elles peuvent présenter un danger certain pour les eaux souterraines en cas d'accident, d'autres non. On peut aussi classer sous cette catégorie les décharges anciennes ou nouvelles. Les décharges récentes (post 1997) sont soumises à une réglementation stricte conçue pour interdire toute migration de pollution vers les eaux souterraines (arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux décharges existantes et aux nouvelles installations de stockage de déchets ménagers et assimilés) mais il existe un risque de propagation de lixiviats lors d'épisodes d'inondations intenses. Les anciennes décharges n'intégraient pas souvent des dispositifs pour limiter la propagation de substances indésirables vers les eaux souterraines.

2. L'agriculture peut être une source de pollution pour les eaux souterraines de par l'emploi des produits phytosanitaires et des fumures/engrais. Notons aussi des risques associés aux élevages de bétail (ovins, bovins, équins, caprins,...) avec la possibilité de pollutions azotées et de contaminations bactériennes.

3. Les eaux pluviales qui lorsqu'elles ruissellent sur les axes de circulation peuvent amener un certain nombre de substances (HAP, plomb, pesticides, métaux lourds,...) à s'infiltrer dans la nappe. Il existe aussi un risque de pollution accidentelle par déversement si les voies de communication intéressent du transport de matière dangereuse. Ce risque de pollution chronique ou accidentelle est indirectement lié à l'extension des zones urbaines. Plus la ville se développe, plus les réseaux de circulation s'étendent et les fréquences de passage s'accroissent. Les zones urbaines cumulent ainsi et un risque de pollutions chroniques liées à l'éventuelle présence de réseaux d'eaux usées fuyards (bactéries, matières organiques dissoutes, nitrates et phosphates mais aussi métaux lourds) et un risque de pollution accidentelle lié à d'éventuels accidents routiers.

4. Les installations d'assainissement collectif (STation d'EPuration des eaux Usées). Le premier problème est celui des fuites sur les réseaux de collecte qui peuvent conduire à des pollutions localisées de la nappe, lorsque les réseaux sont perchés par rapport à la nappe ; de plus, les STEP ne sont généralement pas conçues pour réduire les taux des substances chimiques et médicamenteuses utilisées dans la sphère domestique. En effet, la plupart des substances chimiques traversent les systèmes de traitement avec un faible abattement ; il en est de même pour toutes les pollutions chimiques liées à des raccordements interdits ou autorisés (garages, laboratoires photo, dentiste,...) ou celles véhiculées par les eaux pluviales (plomb, zinc, HAP,...) lorsque les réseaux ne sont pas séparatifs. Il existe donc un

risque de pollution chronique indirecte, si les eaux de rejet après traitement venaient à rejoindre les eaux souterraines par infiltration.

5. Les installations d'assainissement non collectif. Ces installations sont confrontées à deux problématiques : d'abord leur efficacité à abattre la charge en matière organique, en nitrates et en phosphates pour toutes les installations antérieures à la mise en place des SPANC (2005) ; des retours d'expérience sur certains territoires en France montrent des dysfonctionnements, des anomalies de conception et/ou d'exécution, sur près de 50% de ces installations. Le deuxième problème est l'absence de traitement pour toutes les substances chimiques indésirables, dont les médicaments et les produits chimiques utilisés dans la sphère domestique.

6. Les dispositifs de stockage de produits potentiellement dangereux pour les eaux souterraines (stockage de produits chimiques, fuel, engrais, fumier...) sont susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines en cas de dysfonctionnement et/ou de fuites.

7. L'usage des produits phytosanitaires par les particuliers, les entreprises et les collectivités.

8. L'exploitation des matériaux du sol et du sous-sol présente plusieurs risques pour la nappe : la suppression d'une couche de matériaux accroît la vulnérabilité de la nappe ; il existe un risque de pollution accidentelle durant la période d'exploitation ; après l'exploitation, il faut une gestion stricte des casiers décaissés créés pour éviter le dépôt sauvage de déchets.

Dans ce chapitre, nous proposons une pré-identification des principaux risques de pollution pour les aquifères karstiques du massif de la Sainte Baume. La caractérisation détaillée de ces menaces sera réalisée en phase 2 de l'étude, zone de sauvegarde par zone de sauvegarde.

2.4.1 USAGES ACTUELS DU SOL

Pour caractériser l'état de surface de la plaine alluviale, nous avons récupéré les données du CORINNE LAND COVER 2014 qui donnent un premier écorché de l'occupation des sols.

La base de données Corine Land Cover, en accès libre, recense les principales occupations du sol. Ces données ont fourni une base de travail pour cartographier les usages du sol sur la zone d'étude.

Neuf catégories d'occupation du sol ont été retenues:

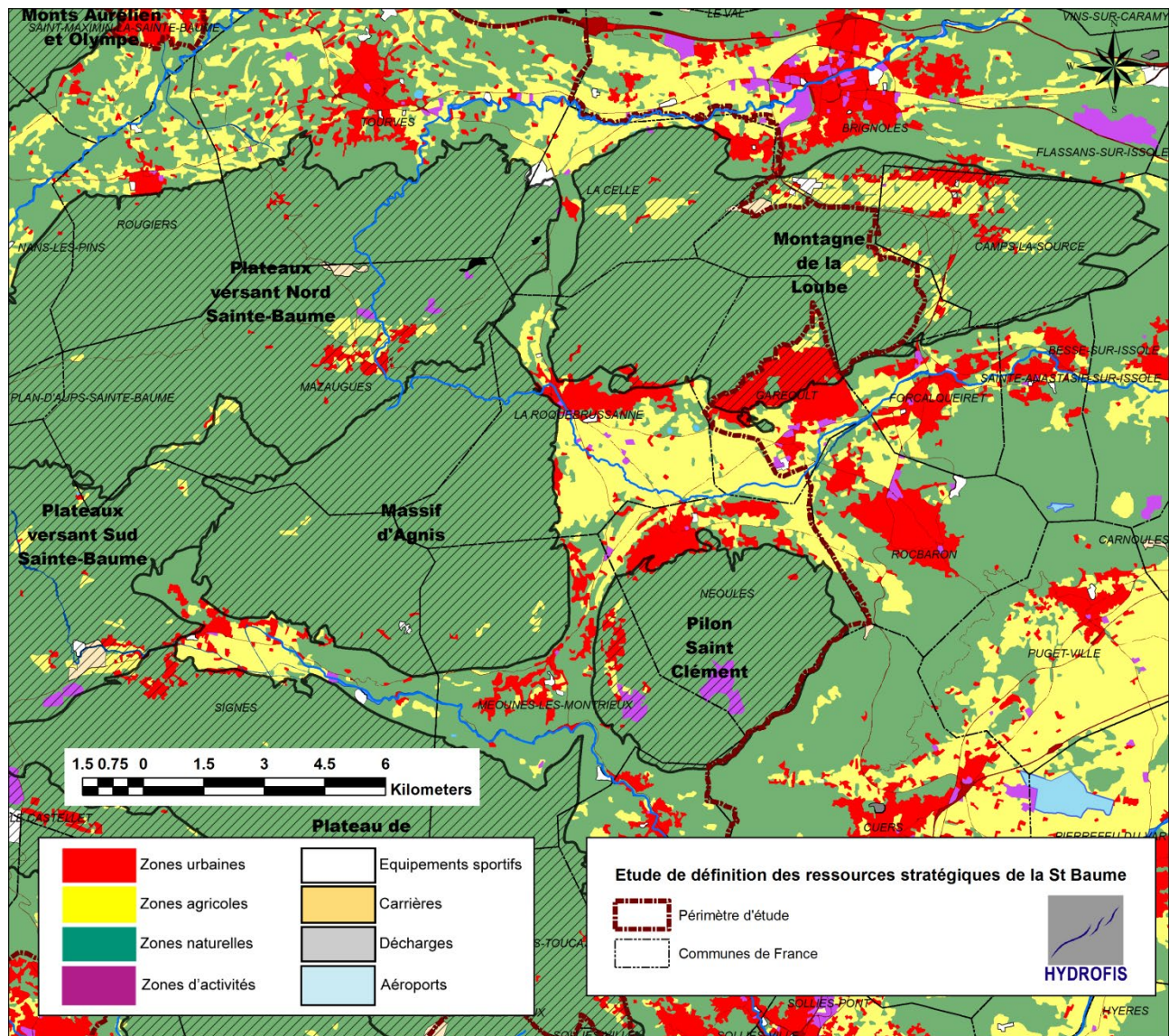
- Les zones naturelles.
- Les zones agricoles.
- Les zones urbaines.
- Les zones industrielles et commerciales.
- Les carrières.
- Les décharges.
- Les zones de loisir et/ou de sport.
- Les aéroports.

MONTAGNE DE LA LOUBE

Sur l'aquifère principal (séries du jurassique du massif de St Quinis), les pollutions potentielles sont nombreuses sur l'impluvium :

- Habitat concentré sur la commune de Garéoult.
- Habitat dispersé sur la commune de Camps-La-Source.
- Présence de parcelles dédiées à la vigne.

Figure 52 : Usages au sol actuels du massif de la Sainte Baume (zone Nord-Est).



MASSIF DU PILON ST CLEMENT

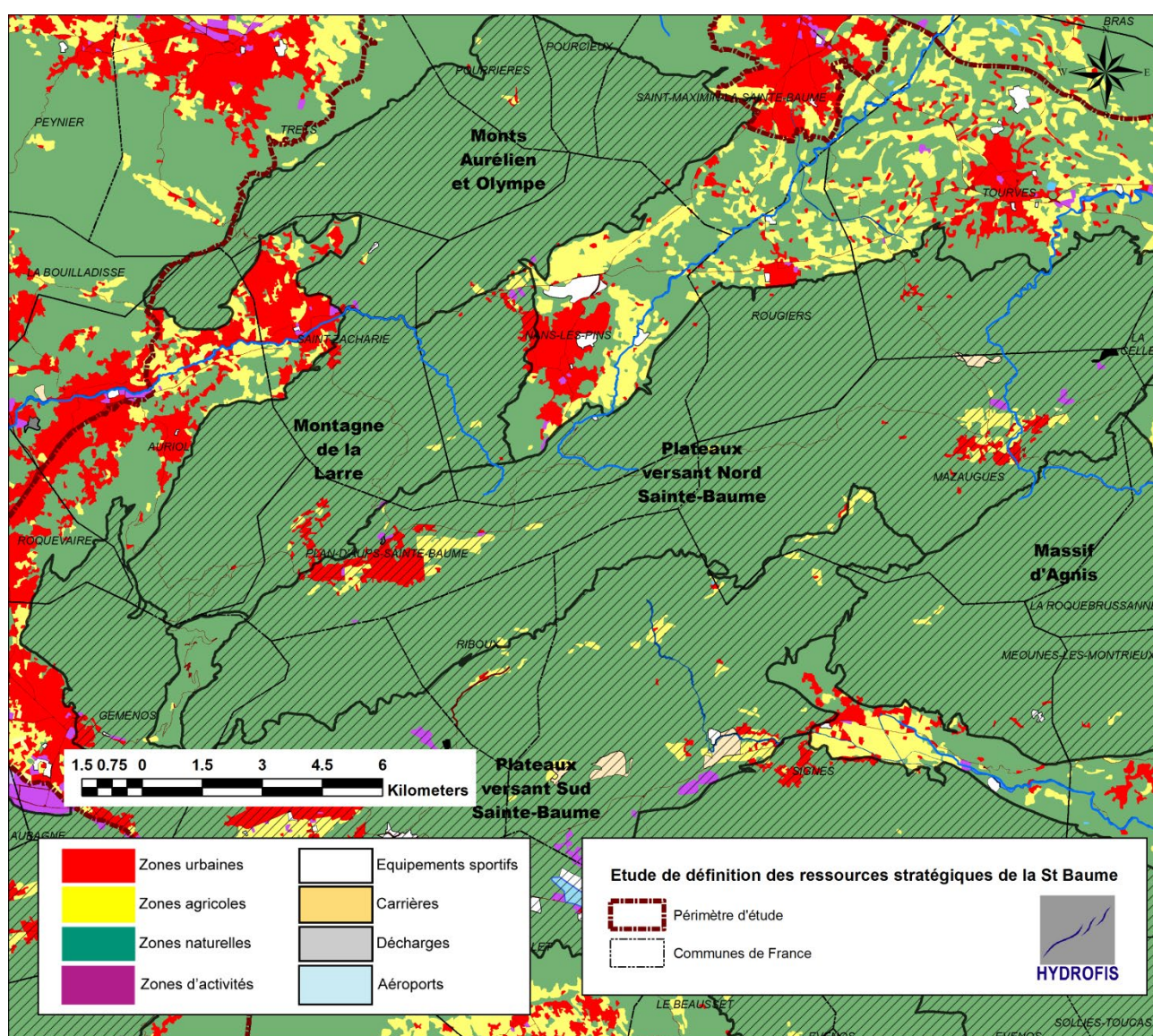
On distingue deux sources potentielles de pollution :

- Les zones urbanisées de Méounes-Montrieux qui débordent sur le flanc Ouest de l'unité. Ces zones sont installées au toit de l'aquifère liasique.
- Les « zones d'activité » en partie centrale qui correspondent actuellement à des installations du réseau de distribution de l'électricité.

MASSIF D'AGNIS

Ce massif se caractérise par la prédominance des zones naturelles.

Figure 53 : Usages au sol actuels du massif de la Sainte Baume (zone Nord-Ouest).



MONTS OLYMPE ET AURELIEN

Ces massifs sont remarquables par la prédominance des zones naturelles (présence de quelques mas isolés, avec des parcelles cultivées).

MONTAGNE DE LA LARE

Les sources de pollutions potentielles sont nombreuses pour cette unité :

- Présence d'habitats concentrés sur les séries liasiques de la Roqueforcade qui alimentent indirectement le système karstique (bordure Sud).
- Présence d'habitats concentrés sur la bordure Est (commune de Nans-Les-Pins).
- Présence d'habitats concentrés sur la bordure Nord (commune de St Zacharie).
- Présence d'habitats concentrés sur la bordure Sud (commune du Plan d'Aups).

PLATEAUX DU VERSANT NORD DU MASSIF DE LA SAINTE BAUME

Sur ces plateaux, on peut identifier deux secteurs qui concentrent des menaces potentielles pour la qualité des eaux souterraines :

- Le secteur de Mazaugues avec des zones urbanisées et des activités « industrielles ». Ce secteur nécessitera des approfondissements ; une grande majorité des sources de pollution potentielle sont localisées sur les séries peu perméables du Santonien.
- Le secteur du Plan d'Aups, relativement urbanisé, qui est localisé au toit d'unité aquifère.

Signalons aussi le quartier des Malausses sur la commune de Tourves avec de l'habitat dispersé.

PLATEAU DE SIOU BLANC

Le Plateau de Siou Blanc présente deux secteurs avec des sources de pollution potentielle :

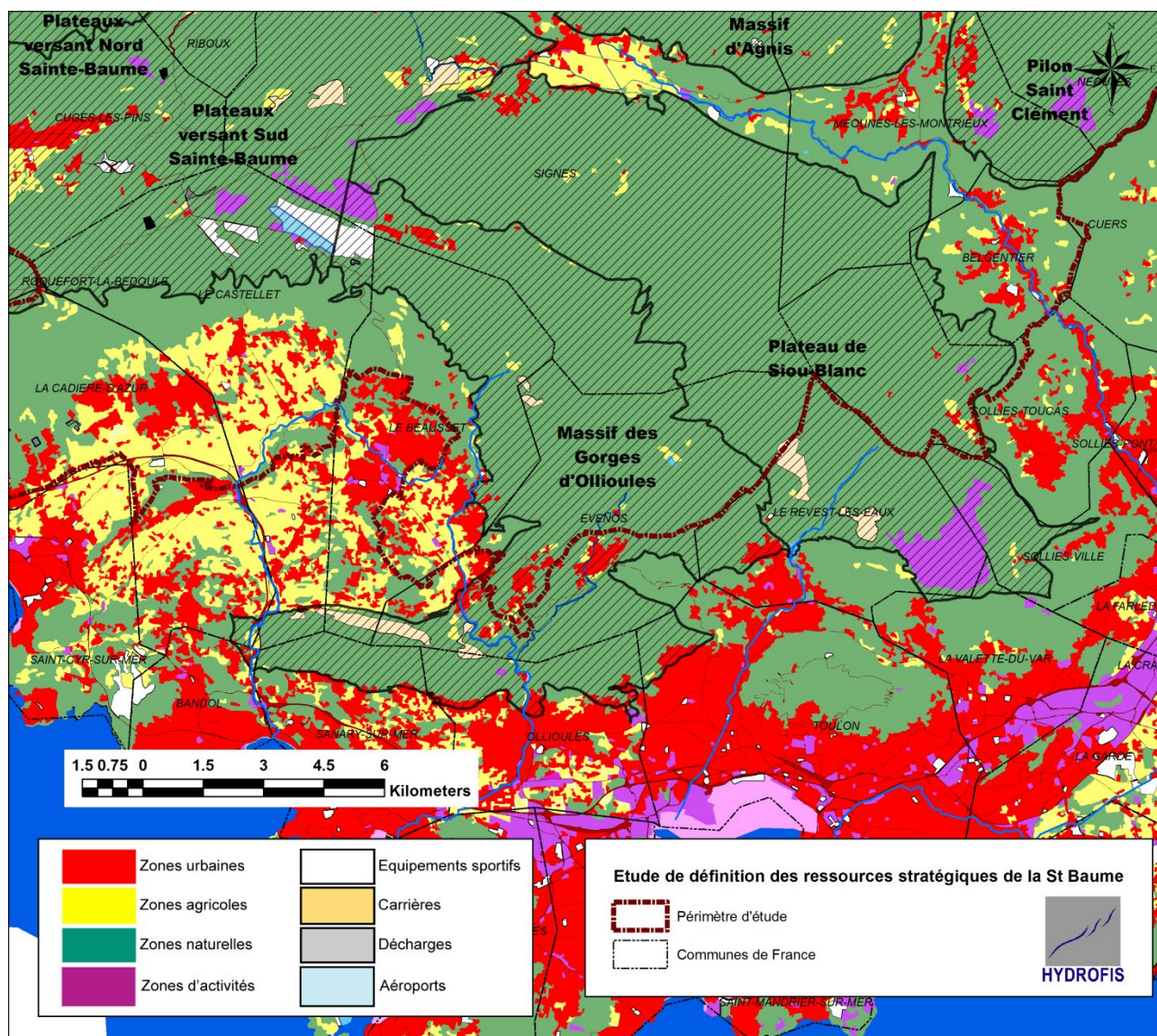
- La bordure Nord avec l'urbanisation de Signes qui s'étend sur le massif carbonaté.
- La bordure Sud avec la présence de deux carrières, ainsi qu'une zone d'activités sur le plateau de Tourris (activités réelles à vérifier). Ses aménagements sont très proches de l'exutoire principal de l'unité hydrogéologique (Ragas de Dardennes).

MASSIF DES GORGES D'OLLIOULES

Les sources de pollution potentielles sont nombreuses pour l'unité hydrogéologique du massif des Gorges d'Ollioules :

- ZI de Signes avec le circuit du Castellet sur la bordure Nord.
- Anciennes carrières en partie centrale.
- Sur sa bordure Sud, carrières très étendues du flanc Nord du Gros Cerveau, urbanisation diffuse et concentrée sur Evenos.
- Sur la bordure Nord, habitats dispersés aux abords du Circuit du Castellet.

Figure 54 : Usages au sol actuels du massif de la Sainte Baume (zone Sud-Est).



PLATEAUX DES VERSANTS SUD DU MASSIF DE LA SAINTE BAUME

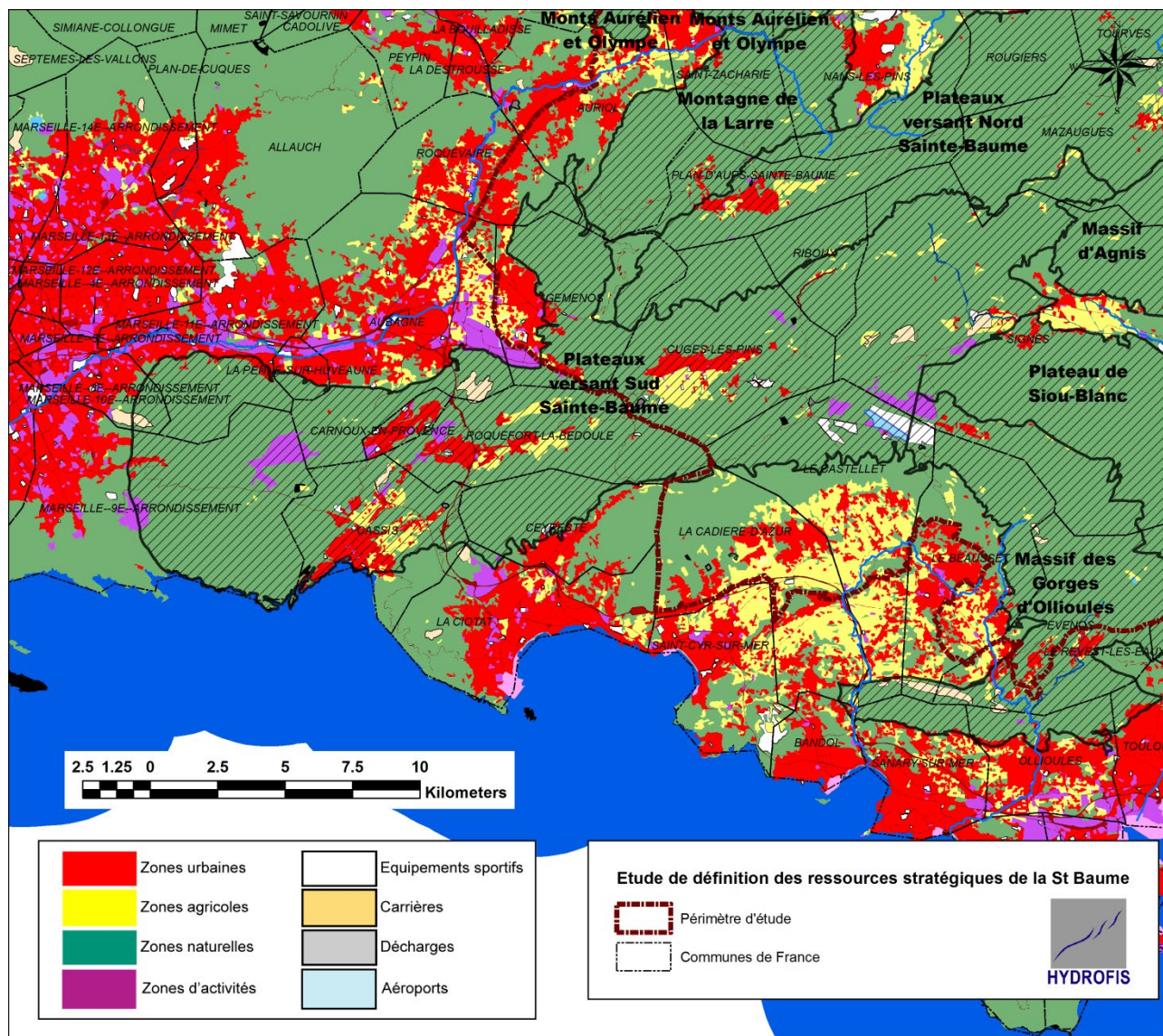
On observe de nombreuses sources de pollution potentielle sur l'impluvium très étendu de cette unité hydrogéologique ; en allant d'Est en Ouest :

- Activités agricoles d'extensions relativement restreintes sur les dolines et les poljés entre Riboux et Signes.
- ZI et zones d'activité en partie Est (à cheval sur les communes de Signes et du Castellet), avec le circuit du Castellet et ses nombreuses annexes.
- Urbanisation très avancée du poljé de Cuges-Les-Pins. Ce qui n'est pas urbanisé est dédié à des activités agricoles. Notons la présence d'une zone d'habitats diffus le long de la RN8, dans les environs immédiats d'OK CORAL.
- Habitats diffus autour du circuit du Castellet.

- ZI de Coulin à Gémenos.
- Zone d'extension urbaine à Gémenos.
- Urbanisation avancée des poljés de Roquefort-La-Bédoule. De nouveau, les surfaces non urbanisées sont destinées à l'agriculture.

L'urbanisation devient majoritaire en termes de surface à l'Ouest de l'autoroute A50 (communes de Roquefort-La-Bédoule, Carnoux et Cassis).

Figure 55 : Usages au sol actuels du massif de la Sainte Baume (zone Sud-Ouest).



2.4.2 VOIES DE COMMUNICATION ET DE TRANSPORT

Les voies de communication et de transport concentrent deux types de risques :

- Un risque accidentel avec déversement potentiel de substances nuisibles susceptibles de migrer vers la nappe.
- Un risque de pollution chronique lié à la pollution de la voirie associée au trafic (HAP, MES, ...).

Depuis plusieurs années, les efforts pour une bonne maîtrise du ruissellement des eaux pluviales en milieux urbains se sont accompagnés d'une réflexion sur les pollutions associées au lessivage des voies de communication.

Dans le cadre d'une étude récente (Fénart, 2015), nous avons collecté et analysé la littérature la plus récente qui intéresse cette problématique :

❖ ANR PRECODO, 2009 - L'infiltration en questions. Recommandations pour la faisabilité la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain. Programme ECOPLUIES Techniques alternatives de traitement des eaux pluviales et de leurs sous-produits : vers la maîtrise du fonctionnement des ouvrages d'infiltration urbains. 63 p.

❖ B. Chocat, M. Abirached, D. Delage, J.A. Faby, 2008 - Etat de l'art sur la gestion urbaine des eaux pluviales et leur valorisation. Tendances d'évolution et technologies en développement. Rapport OIE et ONEMA, 36 p.

❖ DDTM13, 2015 – Rubrique 2.1.5.0 de la Loi sur l'Eau. Principes de gestion des eaux pluviales dans les projets d'aménagement dans les Bouches du Rhône. 20 p.

❖ DDTM34, 2014 – Guide méthodologique pour la gestion des eaux pluviales dans les aménagements. Dossier Loi sur l'Eau. Tome 1 : aspects réglementaires et administratifs. 69 p.

❖ DDTM34, 2014 – Guide méthodologique pour la gestion des eaux pluviales dans les aménagements. Dossier Loi sur l'Eau. Tome 2 : méthodes d'investigation et de dimensionnement. 112 p.

❖ Guide des eaux pluviales de Lille Métropole, 2012 - Rédaction : Lille Métropole Communauté urbaine, CETE Nord - Picardie, en partenariat avec l'Agence de l'eau Artois – Picardie. 77 p.

❖ GRAIE, 2014 – Notes techniques : les techniques alternatives pour la gestion des eaux pluviales. 43 p.

❖ GRAIE, 2014 - Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme. Rapport pour le compte du MEDDE. 83 p.

❖ Ouvrage collectif du CERTU, 2003 - La ville et son assainissement. 503 p.

❖ Ouvrage collectif, 2015 - Pour la gestion des eaux pluviales, Stratégie et solutions techniques. Plaquette de vulgarisation. Région Rhône Alpes, 32 p.

La littérature scientifique et technique citée ci-dessus indique notamment que les eaux de ruissellement des parkings et voiries peu circulées ne sont pas particulièrement polluées. En réalité la quantité de polluants réellement mobilisables est très généralement assez faible. Par exemple les concentrations en hydrocarbures totaux dépassent rarement 10 mg/l dans les eaux de ruissellement de voirie. Elles sont presque toujours inférieures à 1mg/l sur les parkings ou les voiries peu circulées. En pratique la concentration en métaux toxiques (Plomb, Cadmium, Cuivre, Zinc) des eaux qui sont recueillies sur un

parking ou une voirie peu circulée est très proche de celle de l'eau de pluie. Elle est le plus souvent inférieure, voire très inférieure, à celle des eaux provenant des toitures. La pollution organique (azote, pesticides, désherbants, ...) des eaux de parking est également inférieure à celle qui s'infiltre à travers les pelouses. Ces concentrations sont presque toujours inférieures aux valeurs de norme de qualité « eau de baignade ».

Dans les zones de sauvegarde, il sera nécessaire de définir des seuils ; nous proposons de retenir les seuils prescrits par la DDTM34 (2014). L'aléa « pollution accidentelle » peut être hiérarchisé ainsi :

✓ aléa nul à faible : rejet d'eaux de toiture, lotissement résidentiel de superficie limitée à quelques ha et/ou à faible COS, ...

✓ aléa faible à modéré : routes secondaires à trafic relativement réduit (< 5000 véhicules / jour), zones d'habitat relativement dense avec des équipements publics, petites zones d'activités commerciales ou de bureau de quelques ha, ...

✓ aléa modéré à fort : routes à circulation importante (5000 à 20 000 véhicules / jour), zones d'activités commerciales ou de bureau > 10 ha, zones artisanales, centres commerciaux, ...

✓ aléa très fort : route à Transport de Matière Dangereuse, route de transit interurbain à circulation très importante, (> à 20 000 véhicules / jour), zones d'activité de type industrielle ou assimilées, installations classées vis-à-vis du stockage de polluants dangereux pour l'eau et le sol, ...

Rappelons que le risque est défini comme le croisement entre la vulnérabilité du milieu aquatique et l'aléa de pollution (accidentelle) lié à l'opération. Or, pour les aquifères karstiques, la vulnérabilité est considérée comme forte.

A ce stade de l'étude, nous proposons donc de considérer comme des sources de pollution potentielle les autoroutes, les nationales et les départementales qui sont des voies de communication susceptibles d'accueillir un trafic supérieur à 5 000 véhicules/jour. La qualification précise du trafic et des risques associés sera redéfinie en phase 2 de l'étude.

Pour déterminer ces sources de pollution potentielle, nous avons exploité la BD IGN qui recense les routes principales et secondaires, ainsi que les chemins de fer. Le tableau ci-dessous liste les principales voies de communication par unité hydrogéologique.

A ce stade de l'étude, on peut qualifier l'enjeu de gestion du risque de pollution potentielle comme fort pour quatre unités hydrogéologiques :

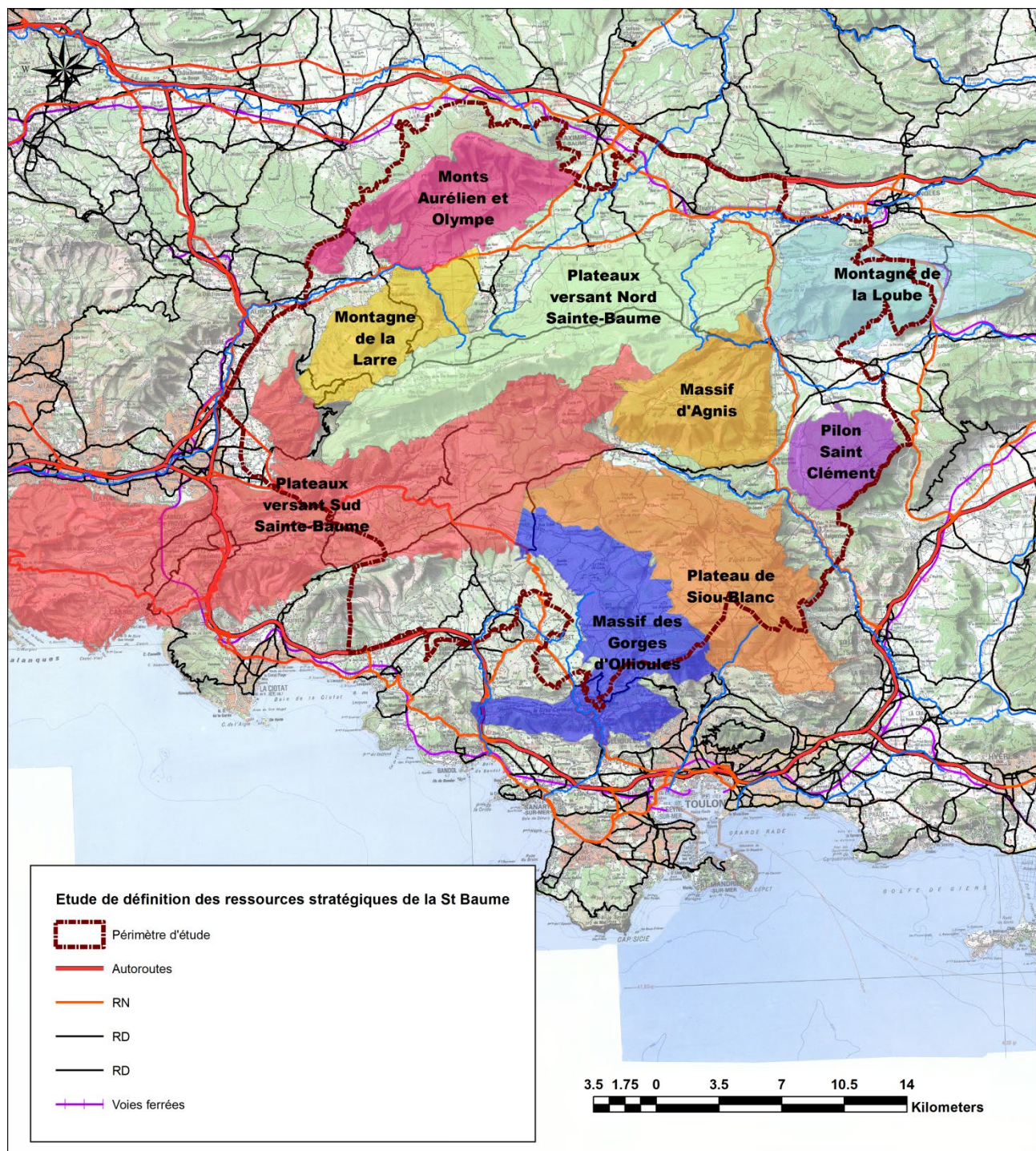
- Montagne de la Loube.
- Massif des Gorges d'Ollioules.
- Plateaux karstiques du versant Sud du massif de la Sainte Baume.
- Massif de la Lare.

Figure 56 : Voies de communication principales et unités hydrogéologiques.

Unité		Voies de communication
Monts Olympe et Mont Aurélien		D85 (1 km)
Massif de la Lare		Route de St Zacharie à Plan d'Aups (6 km), D80 (4,5 km), D45 (3 km), D280 (2 km), N560 (5 km)
Plateaux karstiques du versant Nord du massif de la Sainte Baume	Plateau de Mazaugues	D95 (20 km) et D65 (6 km)
	Système de la Foux de Nans	D80 (2 km) D95 (2 km)
	Plan d'Aups	D80 (9 km), D95 (3 km), route de St Zacharie à Plan d'Aups (1 km)
Plateaux karstiques du versant Sud du massif de la Sainte Baume		D2 (2 km), D1 (16 km), D2/3 (16 km), N8 (17 km), A50 (7 km), D559 (15 km)
Massif des Gorges d'Ollioules		Autoroutes et voies ferrés en bordure Ouest - N8 en ceur du massif dans les gorges (4 km) - D468 (6 km)
Plateau de Siou Blanc		Quelques routes appartenant au réseau tertiaire
Massif d'Agnis		D95 (4 km)
Montagne de la Loube		D12, D554 (trafic élevé) + chemin de fer sur environ 5 km
Pilon St Clément		Absence de voies de communication

Jaune: aléa faible ; orange : aléa modéré ; rouge : aléa fort à très fort.

Figure 57 : Carte des voies de communication principales et unités hydrogéologiques.



2.4.3 DECHARGES ET CARRIERES

Les anciennes décharges et les carrières en activité représentent des sources de pollution potentielle pour les eaux souterraines :

- Risque de pollution accidentelle et d'aggravation de la turbidité des eaux dans les systèmes karstiques pour les carrières en activité.
- Risque de mauvais confinement avec production de lixiviats pour les anciennes décharges (avant 1992).

Précisons que les enjeux ne sont pas les mêmes :

- Les carrières relèvent du régime des ICPE et, à ce titre, elles font l'objet d'une surveillance renforcée avec pour objectif le strict respect de l'arrêté du 22 septembre 1994 qui détaille les modalités d'exploitation des carrières et les dispositifs de protection obligatoire (prévention des pollutions accidentelles, contrôle des eaux de rejet,..). De plus, dans le cadre de leur politique environnementale, les carriers adhèrent souvent à des Labels qui engagent à un renforcement des dispositifs de protection : vérification et entretien des matériels (véhicules, flexibles, joints, systèmes de rétention,...), vidange et purge du bac décanteur déshuileur au moins une fois tous les 6 mois, présence d'un kit anti-pollution dans chaque engin,...

- Les anciennes décharges posent généralement des problèmes environnementaux beaucoup plus importants. Avant 1992, les lacunes réglementaires étaient nombreuses ce qui a conduit à de nombreuses mauvaises pratiques : pas de vérification des ordures stockées (mélange déchets ménagers avec déchets industriels et hospitaliers), pas de mise en place de barrières étanches dans les casiers, pas de gestion des eaux pluviales ou de ruissellement,...

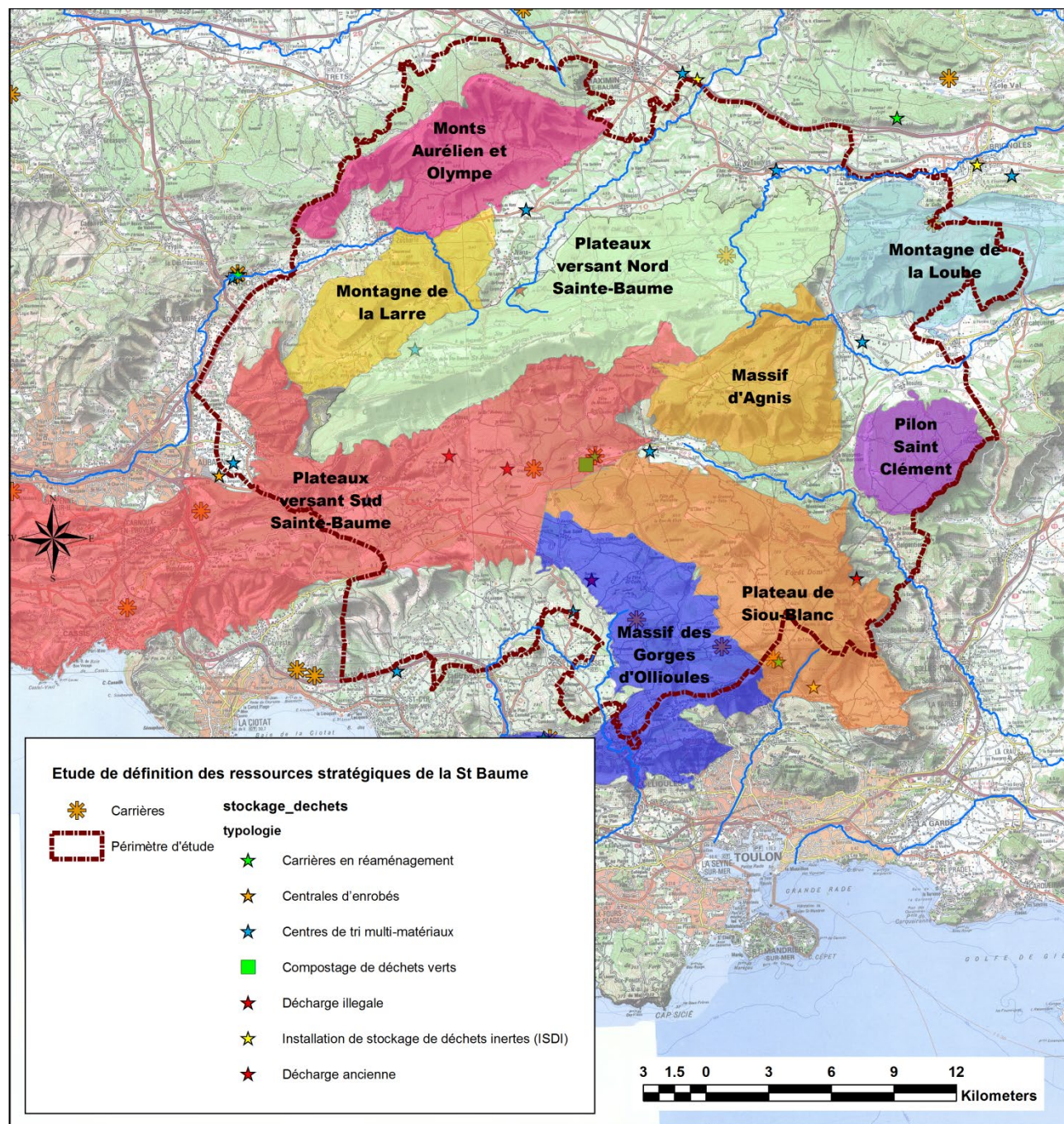
Les données présentées ici nous ont été fournies par le PNR. Elles permettent une localisation des carrières en activité sans préjuger d'un éventuel impact sur les nappes. Les données relatives à la localisation d'anciennes décharges ont été produites à dire d'experts ou de sachants. Elles ne sont pas exhaustives et demandent à être validées. De plus, elles ne renseignent pas sur une éventuelle potentialité de pollution des eaux souterraines. A ce stade de l'étude, il faut donc les considérer comme des points d'alerte (pas de quantification des risques possibles).

On notera que plusieurs unités hydrogéologiques sont a priori non affectées par d'anciennes décharges :

- Montagne de la Lare.
- Monts Aurélien et Mont Olympe.
- Montagne de la Loube.
- Pilon St Clément.
- Massif d'Agnis.

On peut y ajouter les plateaux karstiques du versant Nord de la Sainte Baume, dont les sites suspects sont localisés hors des impluviums des systèmes karstiques principaux.

Figure 58 : Carrières et décharges dans le massif de la Sainte Baume.



2.4.4 ACTIVITES INDUSTRIELLES

Afin d'appréhender la localisation des sites industriels susceptibles de générer une pollution des eaux souterraines, nous avons étudié les données suivantes :

- Sites BASOL qui attestent de pollutions avérées d'une nappe ou d'un sol. Ces sites sont référencés dans une base de données entretenue par la DREAL.
- Sites BASIAS qui indique les installations industrielles susceptibles de par leurs activités de polluer les sols ou les nappes (pollution potentielle). Ces sites sont référencés dans une base de données gérée par le BRGM sous mandat de la DREAL.

POLLUTIONS AVEREES

Dans les communes comprises dans le périmètre de l'étude, on trouve trois sites BASOL :

- **Site dit SIVED NG – Commune de La Celle, lieu-dit La Tuilière.** *Ces terrains ont accueilli par le passé le carreau de mine associé à la Mine de bauxite de Engardin. A ce jour, un quai de transfert d'ordures ménagères et de tri sélectif est exploité par le SIVED. Les diagnostics de sols ont révélé la présence de PCB (à des teneurs de l'ordre de 390mg/ kg MS) et d'hydrocarbures (800mg/ kg) au droit du sondage SC3 (voir plan cartographique joint). Cette zone est actuellement reconverte par une voie en enrobé permettant l'accès au quai de transfert. L'aménagement actuel ne présente pas de risque pour les occupants du site.*

Actuellement, le site est considéré comme banalisé par l'administration : pas de contrainte particulière après diagnostic, ne nécessite pas de surveillance. Il est localisé sur le flanc Nord de l'unité karstique de la Montagne de la Loube.

- **Site dit du garage Augier – Commune du Beausset.** *C'est une station-service soumise à Déclaration dont le dernier récépissé a été délivré en date du 01/08/2011. Elle comprend 5 cuves pour une capacité totale de 110m³, 4 îlots de distribution, 4 volucompteurs, une zone de dépotage, deux séparateurs d'hydrocarbures et trois aires de lavage. La station-service a fait l'objet de travaux de dépollution des eaux souterraines en 1992 suite à la mise en évidence d'une contamination aux hydrocarbures au droit d'un puits appartenant à une concession automobile en Aval. Ils avaient permis de résorber la pollution et les travaux ont été réceptionnés en 1993. En 1992 il a été recensé 7 puits privés dont 3 en position hydraulique aval.. Suite à la perte de supercarburant sans plomb 95 au niveau d'une cuve enterrée de 15m³ des investigations ont été effectuées. Un diagnostic de sol a été effectué le 28/06/2007. Il montre des teneurs modérées en HCT (1550 mg/ kgMS) et élevées en BTEX dans les sols. Des teneurs significatives en hydrocarbures gazeux ont également été retrouvées dans les gaz du sol (>7000ppmV). Concernant les eaux souterraines, une pollution aux HCT et BTEX est démontrée ainsi que la présence d'une phase flottante. Il a été décidé de mettre en place un pompage-écrémage des eaux souterraines au droit de deux puits (AT1 et AT2) afin de confiner la pollution au droit du site. Les travaux ont commencé le 23/05/2007 et la mise en route de la technique de traitement a été réalisée le 07/06/2007. Le traitement a été arrêté le 7/05/2008, une fois l'atteinte de l'asymptote du volume cumulé des hydrocarbures récupérés (60L) et la non réapparition de phase libre après 3 mois. Aucune anomalie gazeuse n'a été détectée le 07/05/2008. Le rapport de fin de travaux est daté du 10/09/2008. La campagne de mesure du 29/05/2008 a révélé des teneurs importantes en hydrocarbures et BTEX dissous, le sens d'écoulement de la nappe est orienté vers l'Est. Un suivi trimestriel de la qualité des eaux souterraines a été mis en place au droit des 2 puits (AT1 et AT2) et des 5 piézomètres (PZ1 à PZ5) présents sur le site. Depuis le mois d'août 2009, un traitement de finition par biostimulation (diffusion passive d'oxygène) est réalisé au droit ouvrages équipés (PZ4, PZ5 et AT2). Les ouvrages présentant ponctuellement des faibles épaisseurs de phase libre d'hydrocarbures ont été équipés de dispositifs passifs de récupération d'hydrocarbures. La campagne de mesure du 17 mars 2014 confirme la diminution générale des teneurs en hydrocarbures, excepté pour l'ouvrage AT2 et une baisse générale des teneurs en BTEX avec toutefois un impact significatif en benzène au niveau de la zone centrale de la station-service. La campagne de prélèvements et d'analyses d'eaux souterraines du 10 septembre 2015 montre une remobilisation du benzène au droit de*

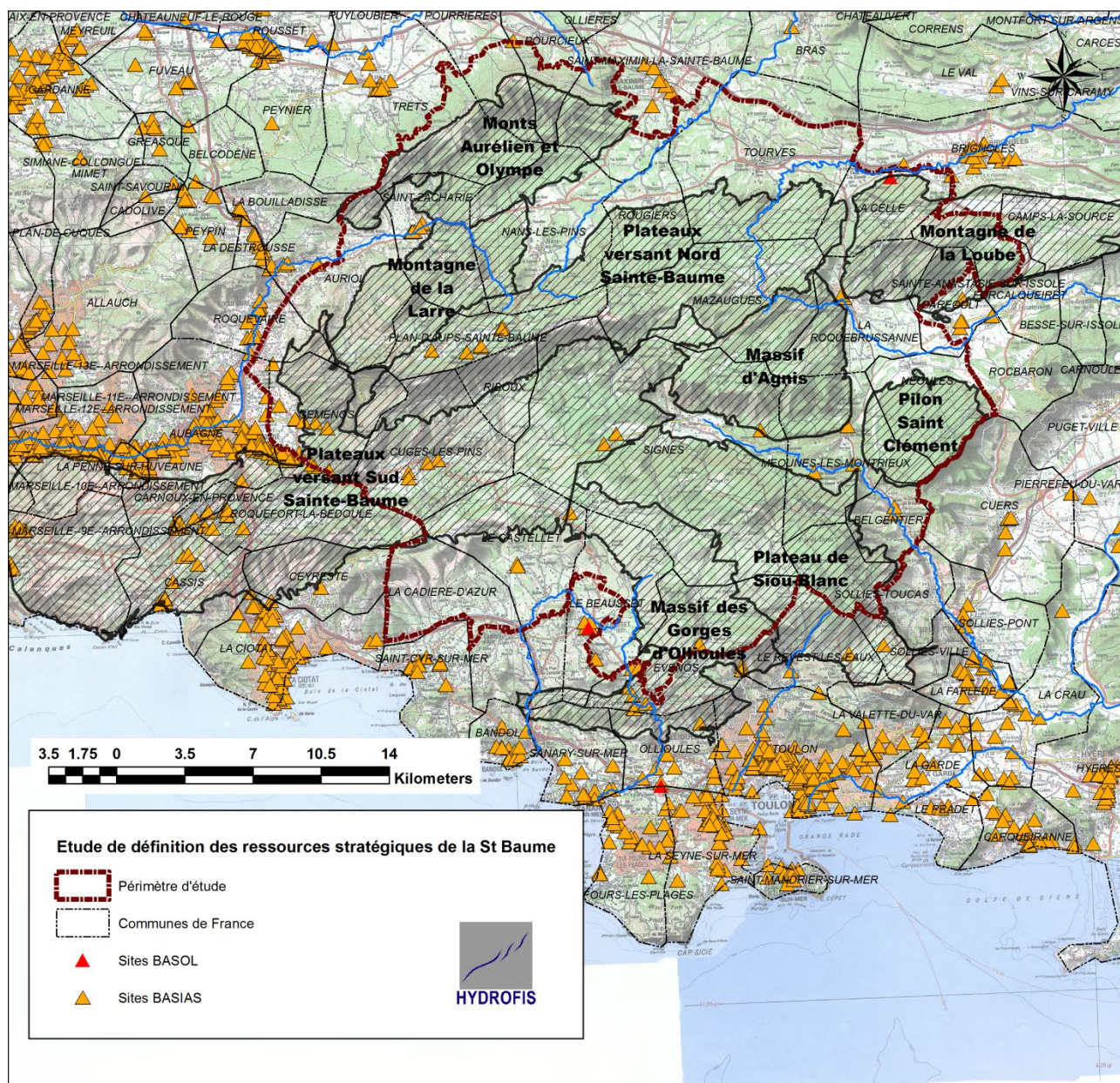
l'ouvrage AT2 ainsi que des hydrocarbures C5-C40 au droit de l'ouvrage PZ4. Par ailleurs des prélèvements d'air ambiant et d'eau potable ont permis de mettre à jour le schéma conceptuel qui conclut, sur la base de la campagne de septembre 2015, à l'absence de risque sur et hors site. Le benzène n'impacte plus l'ouvrage AT2 lors de la campagne de mars 2016 cependant il se remobilise au droit de l'ouvrage PZ5. Les dispositifs DPO ont été rechargés en juin 2016, puis retirés en septembre 2016. De ce fait, il est recommandé d'effectuer un bilan quadriennal après 3 campagnes de suivi sans traitement de la nappe avec les DPO. La campagne de septembre 2016 met en évidence une atténuation générale des teneurs en hydrocarbures C5-C40 et BTEX au droit des ouvrages PZ4, PZ5 et AT2.

La surveillance de la qualité des eaux souterraines se poursuit. Ce site n'est pas situé sur une unité karstique objet de l'étude.

■ **Site de Fonderie JULLIEN – Commune d'Ollioules..** *Le site est circonscrit à l'Ouest par le chemin de la Capellane, au Sud par un hôtel et une ancienne décharge de la Seyne-sur-mer, une station-service au Nord et une entreprise de récupération de métaux ferreux connue des ICPE à l'Est. Le site a été exploité de 1947 à 2008 pour une activité industrielle de négoce de métaux et de fonderie de déchets d'aluminium. L'affinage d'aluminium permet la production de lingots d'aluminium destinés aux aciéries (capacité : 2 t/j - aluminium produit : environ 2800 tonnes/an). Les risques et nuisances présentés par ce type d'exploitation sont caractéristiques d'une activité de fonderie de métaux non ferreux (aluminium) à savoir : une pollution atmosphérique par les gaz issus du four de fusion de l'aluminium, une pollution des eaux ou des sols par l'aluminium et les hydrocarbures liquides utilisés ou stockés comme combustibles pour le four de fusion. L'APC en date du 10 janvier 2000 demandait la réalisation d'une Evaluation Simplifiée des Risques (ESR) et d'un Diagnostic Initial (DI), ils ont été reçus en Décembre 2000. Les investigations ont consisté en la réalisation de sondages et d'analyses d'eaux souterraines. Les résultats ont montré une pollution des sols en métaux lourds (Cr, Ba, Cd, Cu, Pb) et une pollution en hydrocarbures total (HCT) et en Chrome de la nappe d'eau souterraine. Le site est alors en classe 2 avec recommandation de suivre la qualité des eaux souterraines à partir des piézomètres existants. Cette pollution provient principalement de l'entreposage des scories sur le site. Une nouvelle aire étanche de stockage sous abri des scories issues de la fusion a été créée. Le 11/05/2010, il a été donné à Mr JULLIEN, un récépissé de déclaration de cessation d'activités, les activités ayant cessées le 18/11/2008. Le mémoire de cessation d'activité a été rédigé le 26/01/2010. Ainsi, les installations industrielles ont été démantelées (four, cheminée, filtres, machines, bâtiment de process), neutralisation, dégazage et enlèvement de la cuve de fioul et le site reste cloturé. Seul le bâtiment administratif a été conservé. Le 24 septembre 2009, 9 sondages ont été réalisés. Ils montrent des anomalies importantes en Cadmium, Plomb, Zinc, Chrome, Cuivre, Aluminium et HCT dans les sols. Pour les eaux souterraines, des teneurs élevées en Aluminium et Chrome sont relevées. Le 30 octobre 2009, 10,7 tonnes de terres impactées ont été excavées. Le suivi piézo prescrit par AP du 18 octobre 2002 en application de l'article 65 de "l'arrêté intégré" du 02 février 1998 concernant l'activité de fonderies de métaux (fréquence trimestrielle, 2 puits, sur HCT, Pb, Cu, Cr, Al) a été poursuivi jusqu'en 2013. Les conclusions de la dernière campagne d'analyses réalisée en date du 18/07/2013 indique les eaux souterraines au droit du piézomètre aval PZ2 sont supposées conformes aux critères de potabilité dans la limite des éléments recherchés. Lors de cette campagne seule la présence de chrome, a été constatée au droit du piézomètre amont PZ1. Toutefois, cette anomalie ne semble pas être imputable au site dans la mesure où la concentration mesurée au droit du piézomètre PZ2 est dix fois plus faible et en dessous du seuil de référence. De plus la concentration mesurée est située en dessous du seuil de référence de qualité dans l'eau destinée à la consommation humaine. Le site a été recouvert par une dalle de type béton en 2011. Le site est aujourd'hui occupé par une entreprise de vente de matériels de papeterie au sein d'un nouveau bâtiment d'environ 600 m², par une entreprise de location de matériel de réception au sein de l'ancien bâtiment administratif et par des parkings.*

Actuellement, le site est considéré par l'administration comme site "banalisable" (pour un usage donné) : pas de contrainte particulière après diagnostic, ne nécessite pas de surveillance. Ce site n'est pas situé sur une unité karstique objet de l'étude.

Figure 59 : Sites BASOL et BASIAS dans le massif de la Sainte Baume.



POLLUTIONS INDUSTRIELLES POTENTIELLES

La base de données BASIAS fait apparaître que plusieurs unités karstiques sont exemptes de toute installation industrielle susceptible de potentiellement provoquer une pollution des eaux ou des sols. Citons :

- Plateau de Siou Blanc.
- Pilon St Clément.
- Montagne de la Loube.
- Massif d'Agnis (vérifier position précise du dépôt de gaz de l'Auberge du Lac).
- Massif de la Lare.
- Mont Aurélien et Mont Olympe.

Pour le massif des Gorges d'Ollioules, les sources de pollution potentielles sont peu nombreuses. Citons :

- En périphérie Nord, dépôts d'hydrocarbures du Castellet.
- En périphérie Sud, dépôt de gaz enterré du restaurant du Centre Culturel de Château Vallon.

Pour les plateaux du versant Nord du massif de la Sainte Baume, on observe plusieurs sites localisés sur la bordure occidentale de l'unité (commune de Plan d'Aups) :

- Plusieurs dépôts de gaz.
- Un atelier de création de verrerie.

Pour les plateaux du versant Sud du massif de la Sainte Baume, on peut distinguer plusieurs concentrations de site BASIAS:

- ZI Signes, avec notamment les carrières SOMECA'T et LAFARGE, des dépôts de gaz et une décharge d'ordures ménagères.
- Le Poljé de Cuges-Les-Pins. Présence d'un garage, d'un carrossier, d'un site de collecte des ordures ménagères.
- Le vallon de St Pons avec un site de fabrication, transformation et/ou dépôt de matières plastiques de base (PVC, polystyrène,...), une usine de sciage et rabotage de bois.
- Le vallon de Coulin avec un site de démantèlement d'épaves, récupération de matières métalliques recyclables (ferrailleur, casse auto...), des garages, une chaudronnerie/tonnellerie/coutellerie.
- Dans les zones urbanisées de Roquefort-la-Bédoule et Carnoux, à l'Ouest de l'autoroute, présence d'une vingtaine de sites BASIAS.

2.4.5 ACTIVITES AGRICOLES

A ce stade de l'étude, les activités agricoles ont été approchées par l'analyse de l'écorché de l'état d'occupation des sols, donné par Corinne Land Cover 2018. Ces activités ont été regroupées sous 6 catégories :

- Terres arables.
- Zones à forte densité de serres.
- Vignobles.
- Arboriculture.
- Oliveraies.
- Prairies.
- Cultures annuelles.
- Systèmes culturels mixte.
- Territoires mixte.

Rappelons que les pollutions potentielles concernent les nitrates et les phytosanitaires. Elles sont associées potentiellement aux cultures sous serres, aux vignobles et à l'arboriculture.

Les cartes ci-dessous proposent un écorché des activités agricoles au sein des unités hydrogéologiques.

On peut faire les observations suivantes :

- Globalement les activités agricoles sont peu développées sur le territoire. Un nombre important d'unités sont caractérisées par l'absence d'activités agricoles étendues sur de grande surface et susceptibles d'être source de pollution potentielle :

- Montagne de la Lare.
- Monts Olympe et Aurélien.
- Massif d'Agnis.
- Pilon St Clément.
- Plateaux du versant Nord du massif de la Sainte Baume.
- Plateau de Siou Blanc.
- Massif des Gorges d'Ollioules.

- On observe une activité viticole significative sur l'impluvium karstique de la montagne de la Loube (environ 50 ha).

- L'unité des plateaux du versant Sud du massif de la Sainte Baume présente plusieurs sources de pollution potentielle : quelques ha de vergers entre Riboux et Cuges-Les-Pins, fort développement agricole sur les poljés de Cuges-les-Les-Pins et Roquefort la Bédoule (environ 600 ha dont environ 90% est dévolue à la culture de la vigne).

A ce stade de l'étude, il n'est pas possible de qualifier les risques potentiels liés aux rares activités agricoles du territoire. Les pratiques agricoles sont très variables d'une installation à l'autre. Nous pouvons toutefois rappeler ici que les suivis de qualité sur les eaux souterraines montrent des teneurs en nitrates très faibles mais des détections répétées par le passé de produits phytosanitaires sur un certain nombre de captages (source Gavaudan, retenue de Dardennes, forage Claou de Jas, forage de la Brise, forage de Puyricard, Source d'Ollioules) ; notons que la détection par le passé de phytosanitaires peut ne pas être liée à des activités agricoles.

Figure 60 : Type d'agriculture sur les unités hydrogéologiques de la Lare et des Monts Aurélien et Olympe.

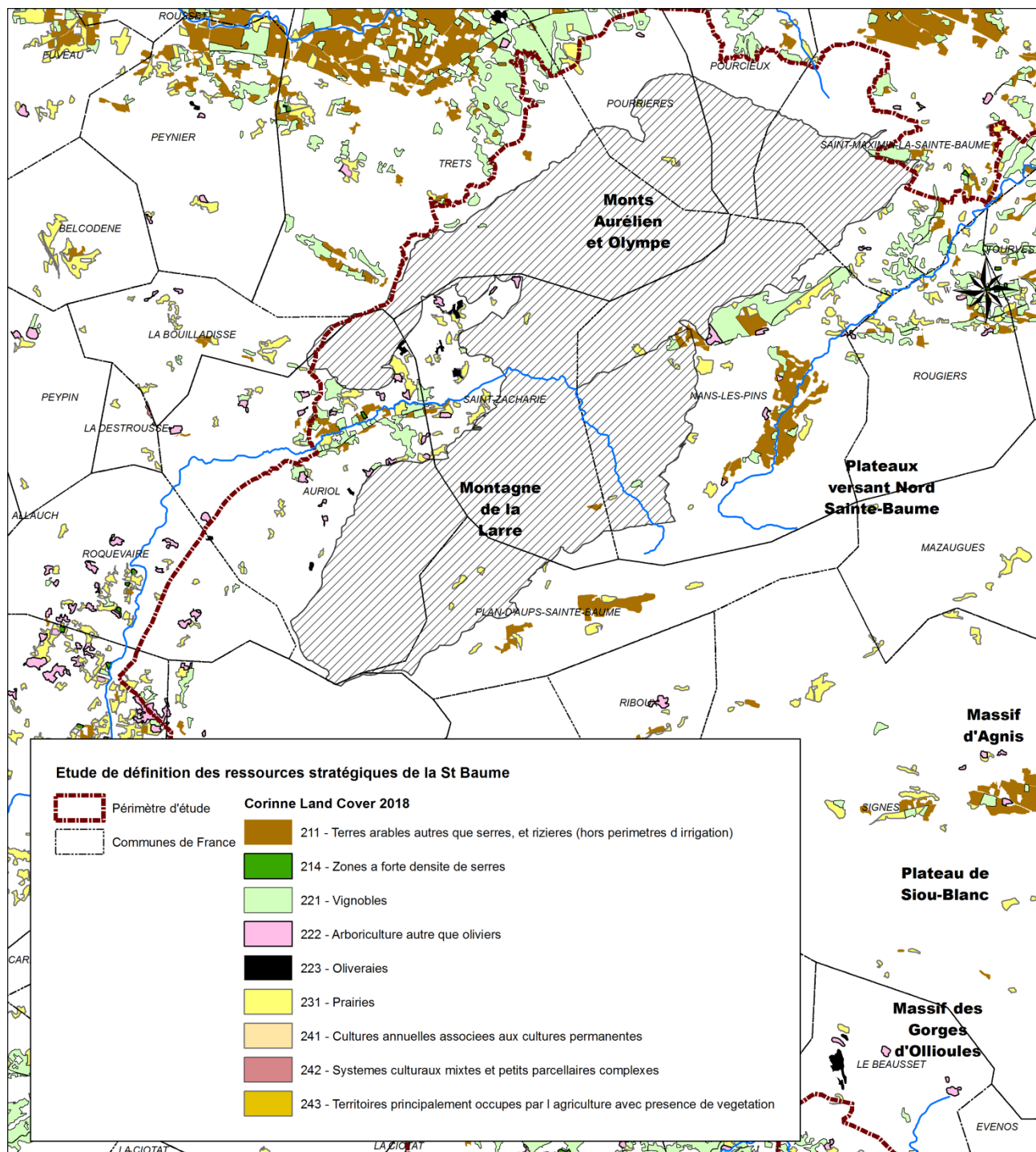


Figure 61 : Type d'agriculture sur les unités hydrogéologiques du massif d'Agnis, de la Montagne de la Loube et du Pilon St Clément.

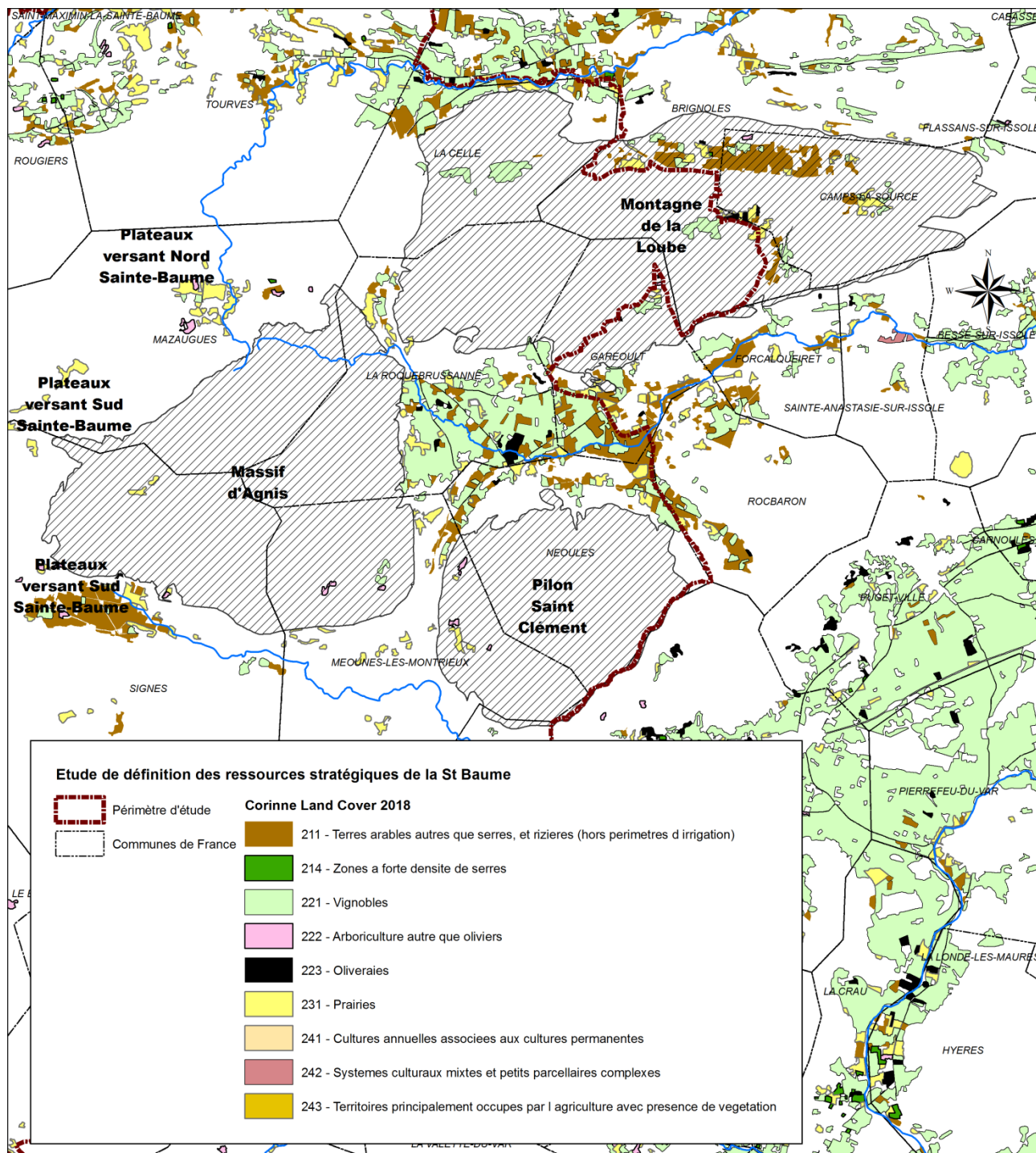


Figure 62 : Type d'agriculture sur l'unité hydrogéologique des plateaux du versant Nord du massif de la Sainte Baume.

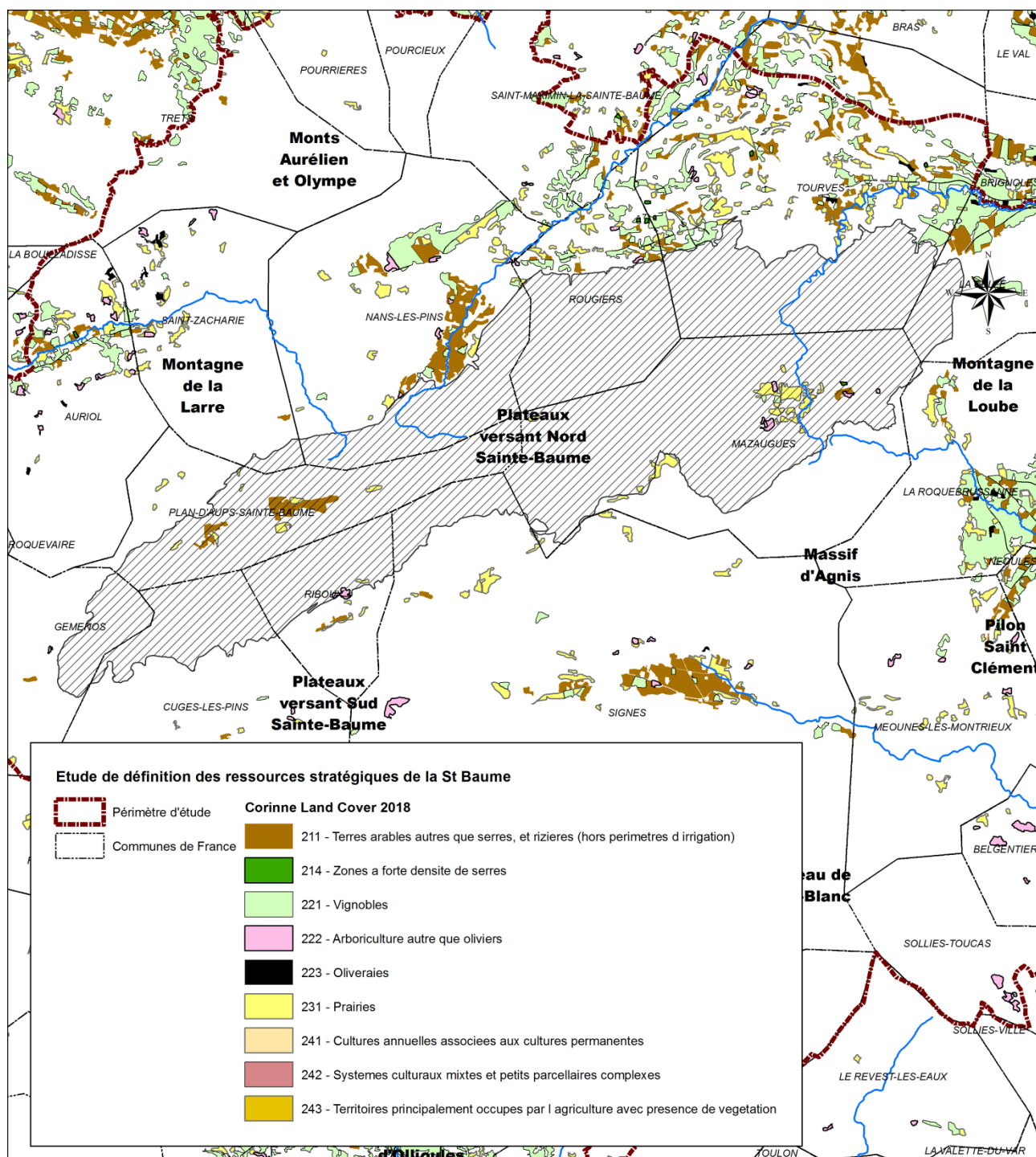


Figure 63 : Type d'agriculture sur l'unité hydrogéologique des plateaux du versant Sud du massif de la Sainte Baume.

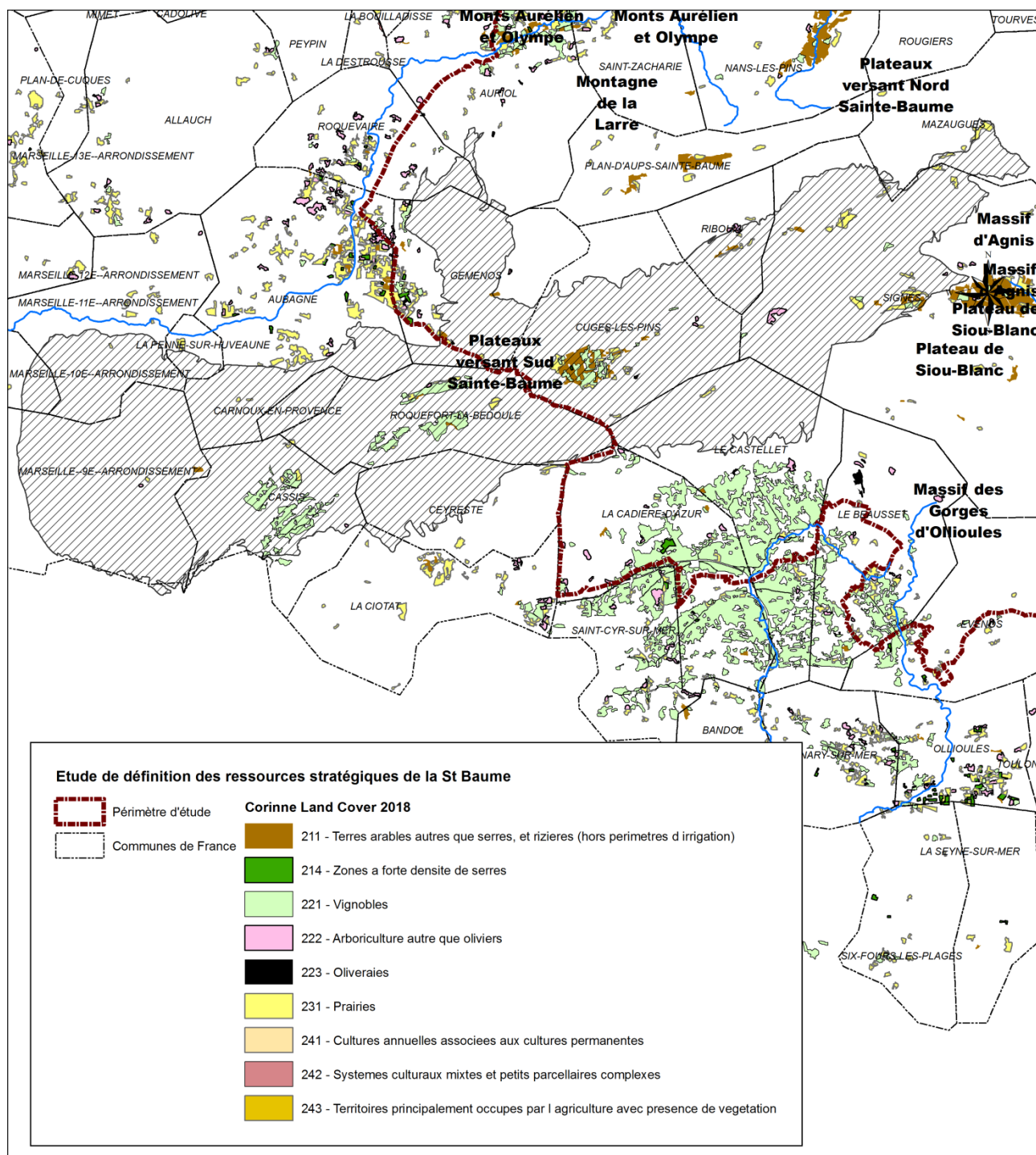
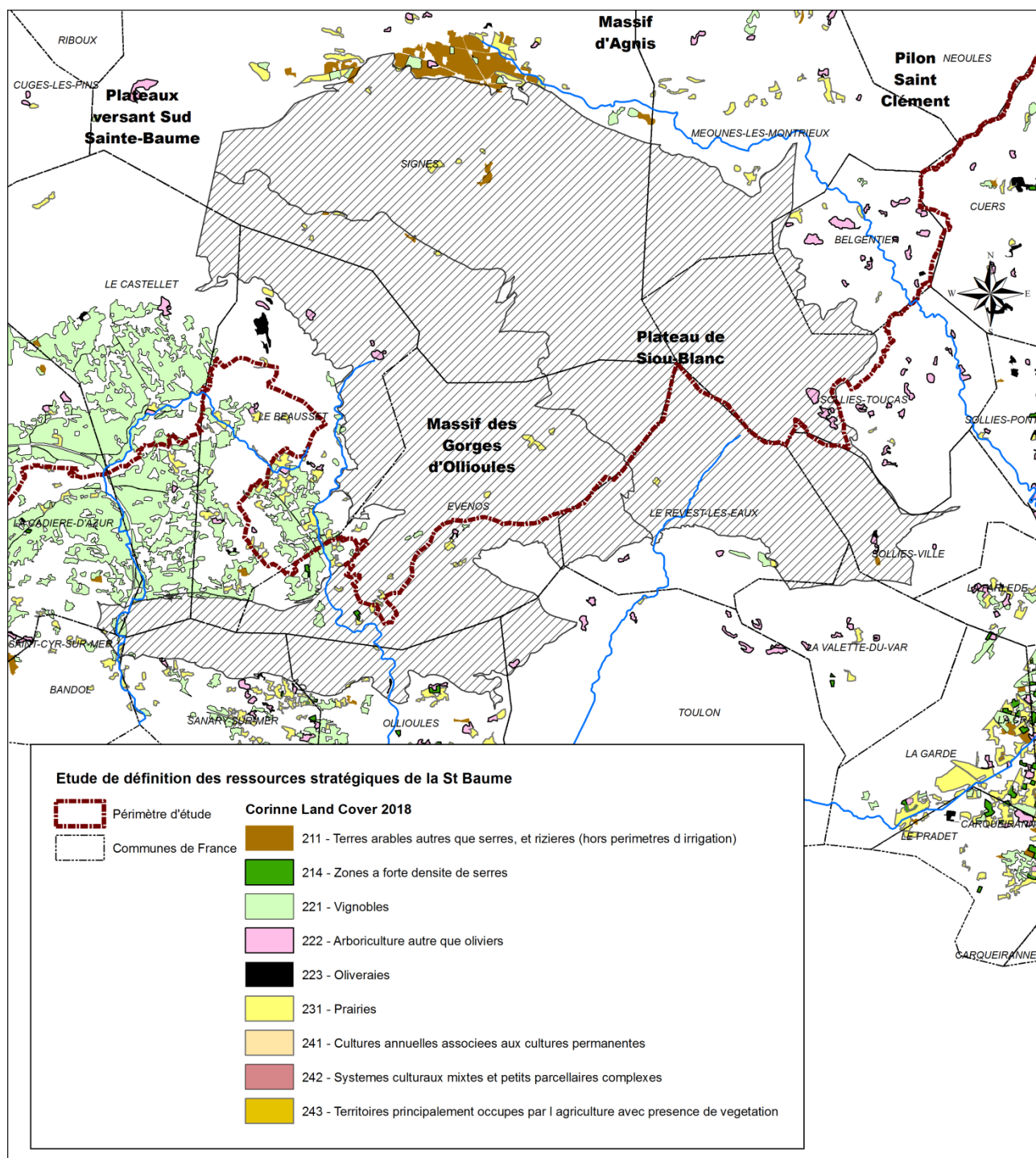


Figure 64 : Type d'agriculture sur les unités hydrogéologiques du massif de Siou Blanc et des gorges d'Ollioules.



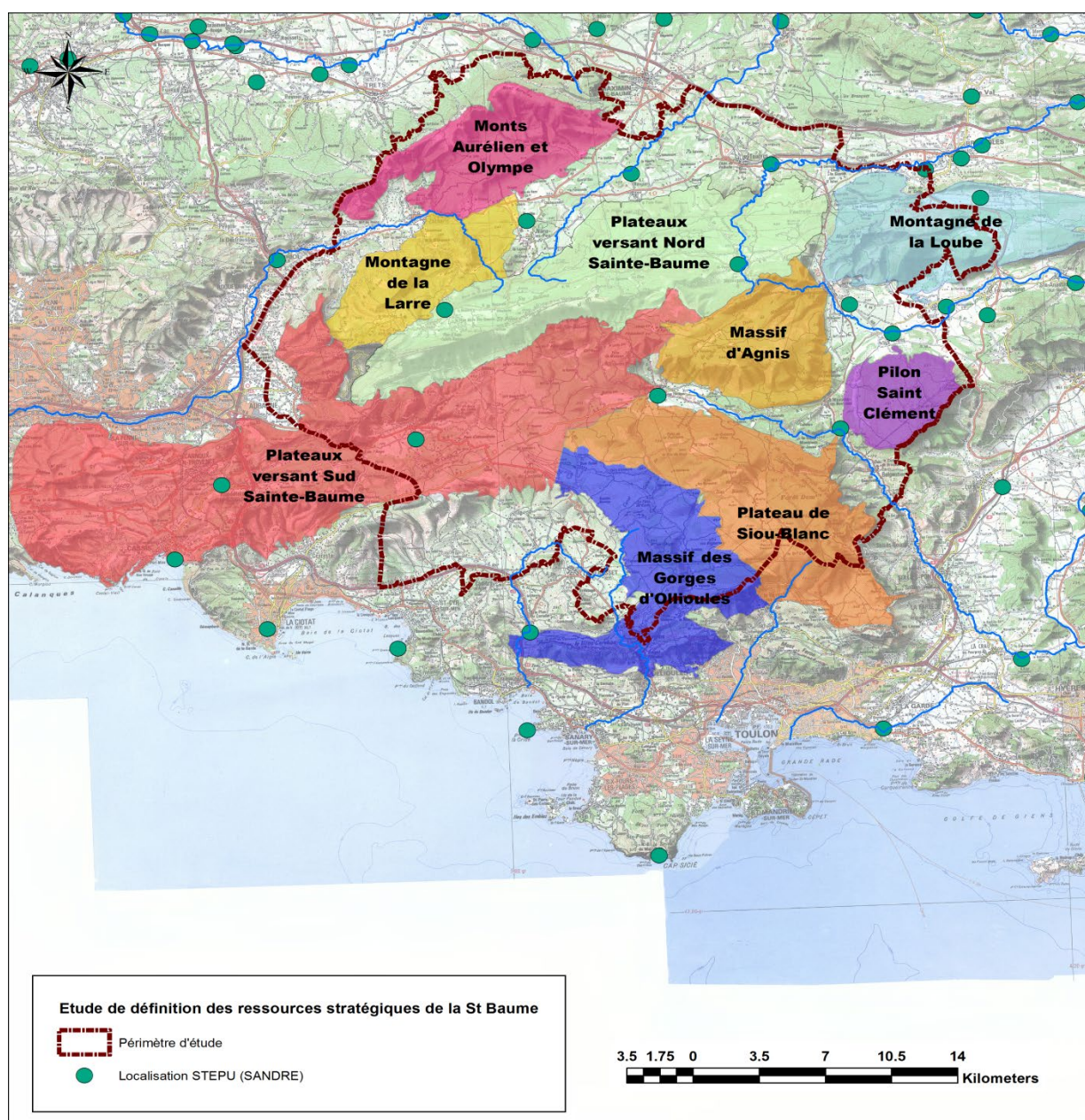
2.4.6 LES REJETS DE STATIONS D'EPURATION

Plusieurs unités hydrogéologiques présentent comme sources de pollution potentielle des rejets de station d'épuration :

- Plateaux des versants Nord de la Sainte Baume : STEPUP de Mazaugues.
- Montagne de la Lare : STEPUP de Plan d'Aups.
- Plateaux des versants Sud de la Sainte Baume : STEPUP de Cuges-Les-Pins et de Roquefort la Bédoule.

Les rejets de ces STEPUP peuvent participer après infiltration à la recharge des unités karstiques, pour partie (Mazaugues, dilution dans les eaux du Caramy) ou en totalité (Plan d'Aups et Cuges-Les-Pins).

Figure 65 : Unités karstiques et rejets de stations d'épuration.



Notons que le rejet de la station d'épuration de Camps-La-Source se fait dans le Val de Camps qui n'a pas d'interaction avec les aquifères karstiques de cette unité hydrogéologique.

Les caractéristiques des stations d'épuration sont les suivantes (données SANDRE) :

STEPU	Mise en service	Capacité nominale	Population 2013	Avis sur la conformité en équipement	Avis sur la conformité en performance
Mazaugues	2010	1 300	860	Bonne	Bonne
Plan d'Aups	2006	1 500	1 955	Bonne	Mauvaise
Cuges-Les-Pins	2006	3 000	5 000	Bonne	Bonne
Roquefort la Bédoule	1993	6 000	5 600	Bonne	Bonne

3 . LES BESOINS ACTUELS EN EAU POTABLE

Pour caractériser la pression en prélèvements, nous avons récupéré les données de prélèvements agglomérées par l'Agence de l'Eau correspondant aux cumuls annuels de 2007 à 2017. Ces données nous semblent suffisantes pour satisfaire les objectifs de la présente étude : détermination des ordres de grandeur des prélèvements pseudo constants avec peu de variabilité inter mensuelle par unités karstiques avec premier avis sur d'éventuelles tendances de long terme.

3.1 PRELEVEMENTS POUR L'INDUSTRIE

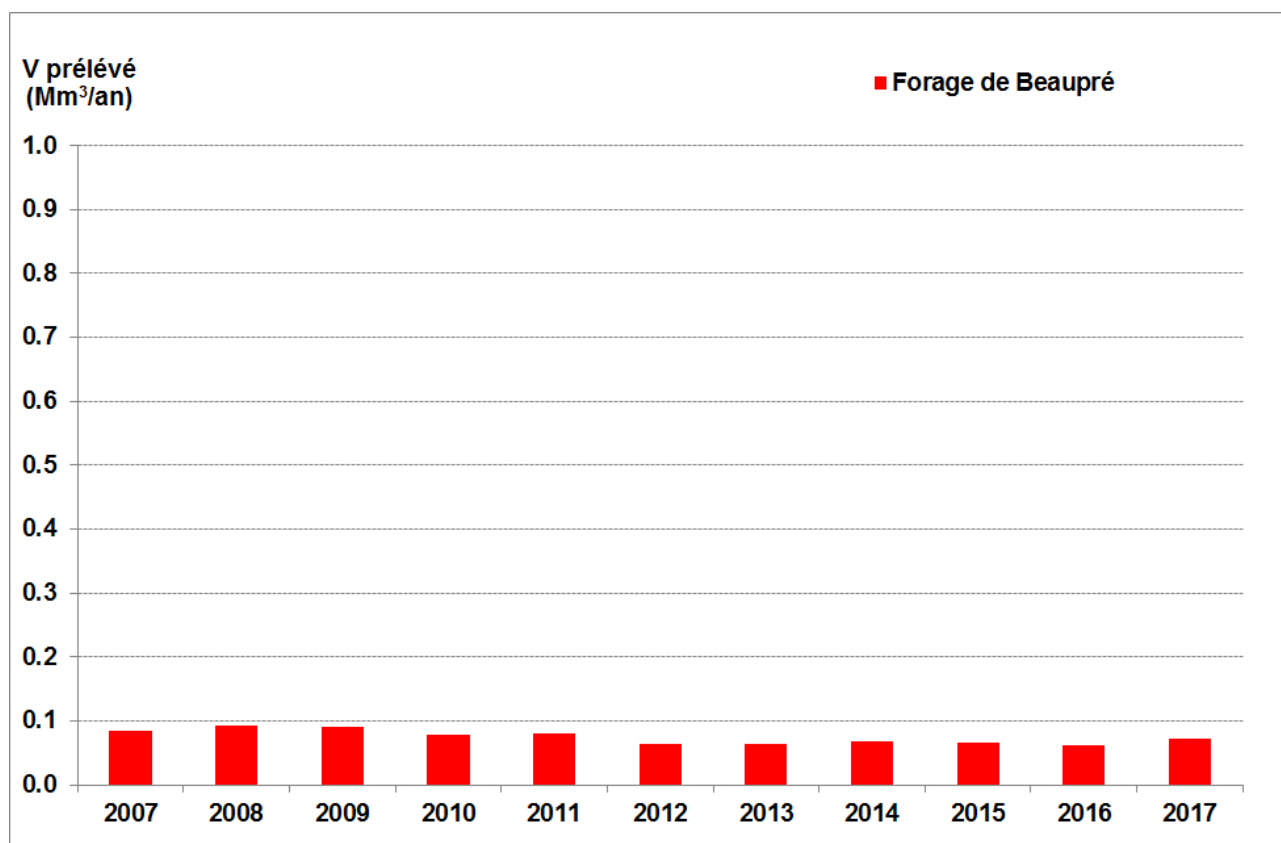
Les prélèvements agricoles et industriels en nappe sont relativement rares. Ils intéressent deux unités karstiques : le massif d'Agnis et les plateaux karstiques de la bordure Sud du massif de la Sainte Baume.

EAUX EMBOUTEILLEES

Sur la bordure Sud du massif d'Agnis, il existe une usine d'embouteillage des eaux souterraines. Les eaux sont mises en bouteilles et distribuées par la Société d'exploitation des sources de Signes (groupe Ogeu).

Historiquement, il s'agissait de la mise en bouteille de l'eau de source jaillissant naturellement, mais depuis 2015, des forages ont été réalisés pour capter la nappe à 150 m sous le terrain naturel (Sources : Dossier de demande d'autorisation établi en 2008 & Annexe 1 du dossier d'enregistrement établi en octobre 2015, GEO-ENVIRONNEMENT). La production actuelle varie entre 60 et 70 000 m³/an.

Figure 66 : Volumes prélevés pour l'industrie dans le massif d'Agnis (données Agence de l'Eau).



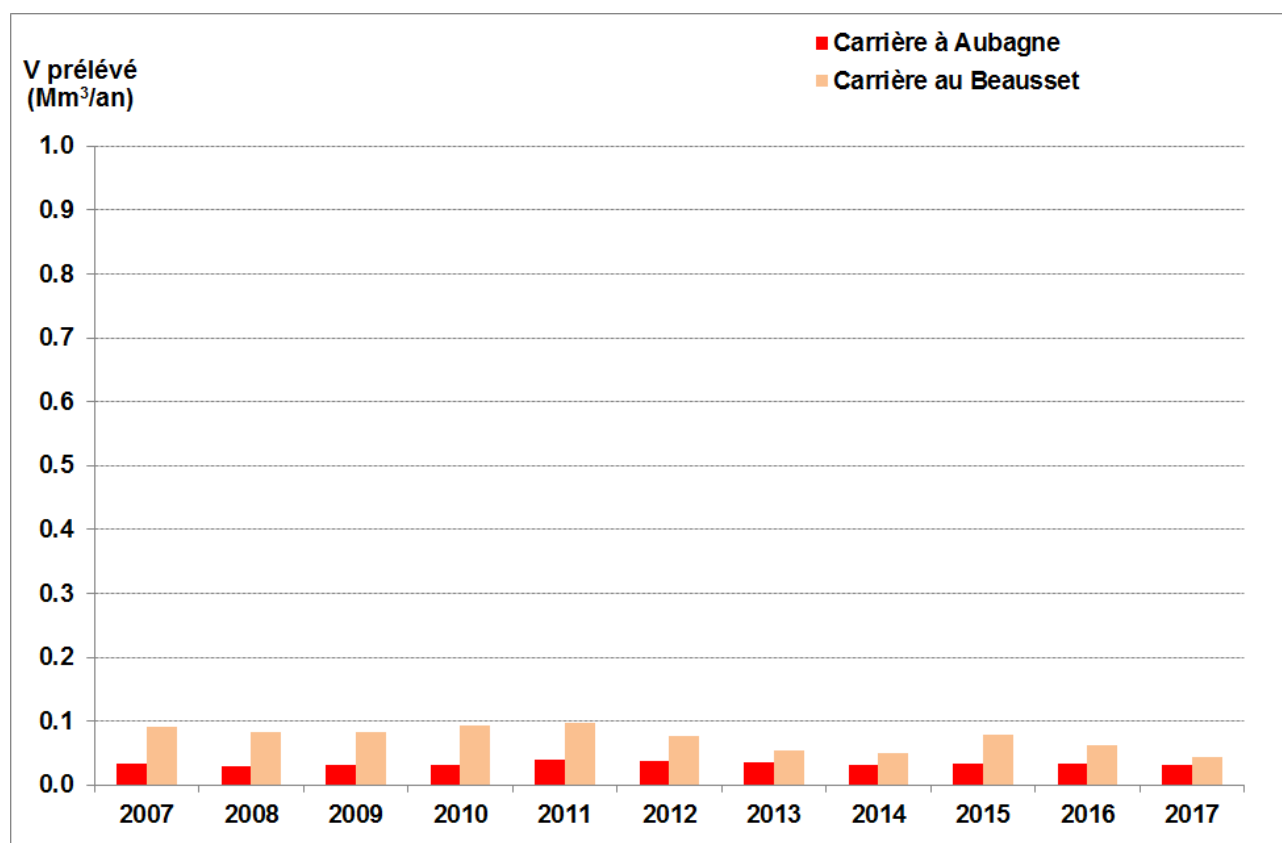
CARRIERES

Actuellement, deux sites de carrières sont référencés par l'Agence de l'eau pour des prélèvements en eau souterraine :

- Carrières à Aubagne (unité des plateaux du versant Sud du massif de la Sainte Baume).
- Carrières au Beausset (unité des gorges d'Ollioules).

Les prélèvements cumulés fluctuent autour de 100 000 m³/an.

Figure 67 : Volumes prélevés pour les carrières (données Agence de l'Eau).



3.2 PRELEVEMENTS POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

Les origines de l'alimentation en eau potable sur le secteur d'étude combinent ressources souterraines (nappe alluviale, nappe karstique) et ressources superficielles (prise d'eau en rivière).

Avant de détailler les prélèvements en eaux souterraines dans les massifs karstiques, il nous a paru important de proposer un aperçu plus général de l'origine des eaux destinées à l'alimentation en eau potable.

3.2.1 RESSOURCES EN EAUX DE SURFACE EN LIEN AVEC LES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES LOCALES

PRISE D'EAU SUR LE BARRAGE DE CARCÈS

L'aire urbaine toulonnaise est alimentée en partie par la prise d'eau sur lac de Carcès (barrage de Sainte Suzanne). L'alimentation de cette retenue est double, avec un stockage des eaux de pluie récoltées dans le bassin versant du barrage mais aussi avec une contribution importante des eaux souterraines locales qui contribuent significativement au débit du Caramy et de ses affluents, en particulier en période d'étiage.

Le barrage poids en terre compactée est classé en catégorie A, et a été créé entre 1933 et 1934. Les dimensions de l'ouvrage sont les suivantes :

- Hauteur : 14 m,
- Largeur : 5.5 m en crête,
- Longueur : 160 m, côte de la crête de la digue 170 m NGF.

La capacité de l'ouvrage à la cote normale (169m NGF) est de 8 millions de m³.

L'adduction d'eau, depuis le barrage jusqu'à l'usine de traitement de La Valette (62 km) est la propriété de la ville de Toulon. Cette importante ressource bénéficie également aux collectivités suivantes :

- A la Marine Nationale (+ Saint Mandrier),
- Au SIAE de la région Est de Toulon,
- Au SIAE de La Valette, la Garde le Pradet,
- A la commune de la Seyne sur Mer
- A la commune du Revest les Eaux.

Historiquement, en moyenne, chaque année les prélèvements effectués sur la retenue de Carcès étaient de l'ordre de 15 à 20 millions de m³.

Selon, EGIS (2011), les eaux provenant de la prise d'eau sur la retenue de Carcès présentent des taux de pesticides supérieurs au seuil fixé par la réglementation. Les eaux mélangées de la retenue de Carcès et de la SCP à l'usine de La Valette présentent également des problèmes de pesticides.

LA PRISE D'EAU SUR LE BARRAGE DE DARDENNES

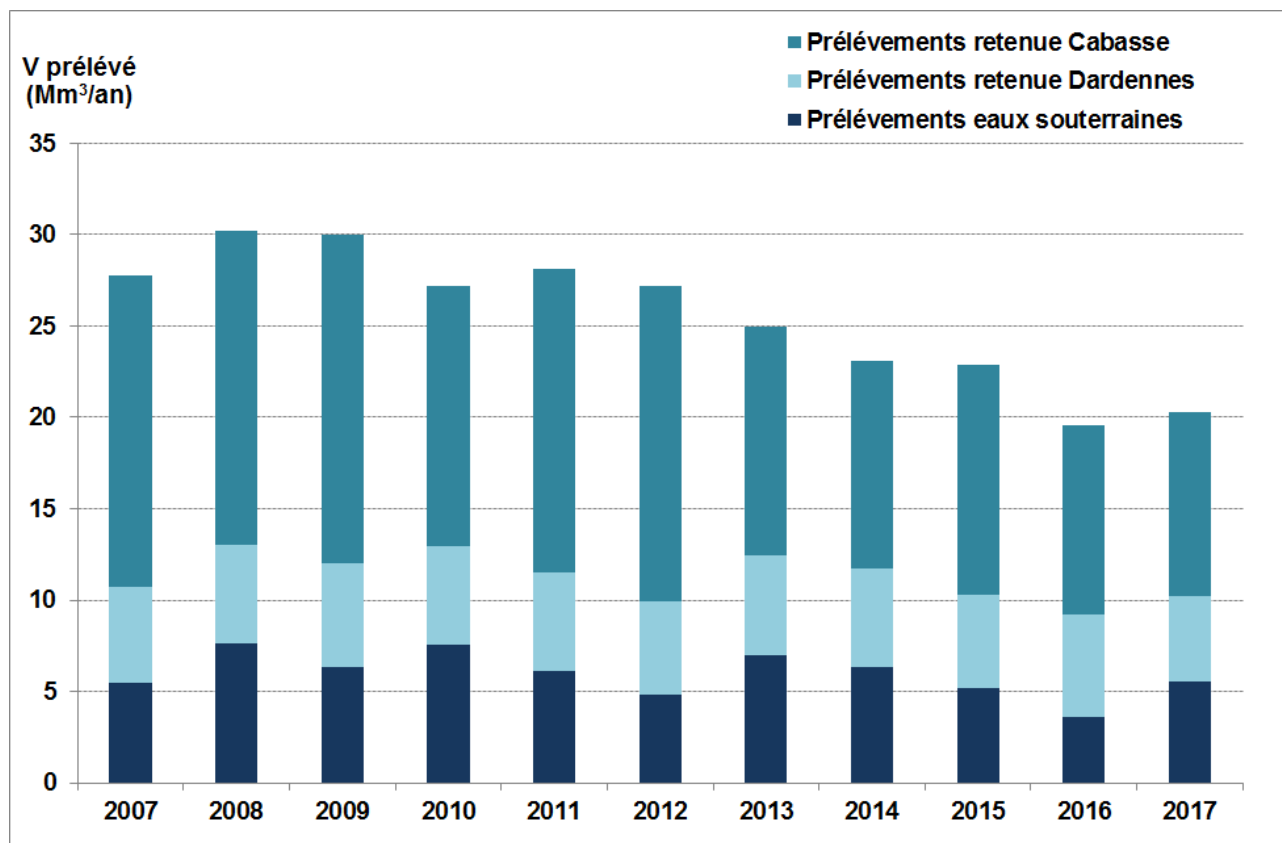
Une part de l'alimentation en eau de l'aire toulonnaise est assurée par les prélèvements effectués sur la retenue de Dardennes localisée sur la commune de Revest les Eaux. Cette retenue est la propriété de la ville de Toulon et sa capacité est de 1,1 millions de m³.

Les eaux stockées proviennent de résurgences karstiques, même si, d'un point de vue administratif, elle est classée comme eau superficielle.

VOLUMES PRELEVES

Le graphique ci-dessous présente les prélèvements enregistrés considérés comme des ressources superficielles alimentées en partie ou en totalité par des eaux souterraines. A titre de comparaison, il y est aussi figuré les prélèvements cumulés en eaux souterraines des massifs karstiques de la Sainte Baume.

Figure 68 : Volumes prélevés pour l'AEP cumulé par origine (données Agence de l'Eau).



On peut faire les observations suivantes :

- Les prélèvements en eau souterraine locale varient sensiblement d'une année à l'autre (de 4 à 8 Mm³/an).
- Les prélèvements associés au barrage de Dardennes sont relativement stables (entre 7 et 8 Mm³/an).
- Les prélèvements liés au barrage de Carcès sont en chute depuis 2012. Ils sont ainsi passés d'environ 17 Mm³/an à environ 10 Mm³/an ces dernières années.

3.2.2 RESSOURCES EN EAU DE SURFACE IMPORTES DE BASSINS VERSANTS SANS RELATION AVEC LES EAUX SOUTERRAINES LOCALES

PRISE D'EAU SUR LE VERDON : RESEAU SCP

Cette ressource superficielle est localisée dans la partie nord du département varois. L'eau brute est transférée par les ouvrages de la Société Canal de Provence (SCP) et alimente de nombreuses collectivités entre le nord du département et les communes du littoral méditerranéen.

L'objectif du Canal de Provence est de desservir en eau agricole, industrielle et potable la majeure partie du Var et des Bouches du Rhône. La prise d'eau est située sur le Verdon à Vinon-sur-Verdon. Il présente une capacité technique globale de 40 m³/s ; la branche du Var supporte 18 m³/s (potentiel technique de 570 Mm³/an) et celle de Marseille Est 12 m³/s (potentiel technique de 380 Mm³/an).

En 2010, le volume annuel distribué était de 660 millions de m³.

Par un décret du 15 mai 1963, la SCP a obtenu concession de l'Etat pour une durée de 75 ans renouvelable pour concevoir et gérer le Canal ainsi que les ouvrages hydrauliques s'avérant nécessaires à l'aménagement de la région provençale. Le 30 décembre 2008, en application de la loi de Décentralisation, l'Etat a transféré les biens concédés à la SCP à la Région (Dossier pédagogique SCP).

La liste des communes bénéficiaires des eaux du Verdon ainsi que les volumes vendus par la SCP sont indiqués dans le tableau ci-après (EGIS, 2011).

On retiendra que les communes à l'intérieur et en bordure du PNR dépendaient pour partie d'une alimentation par la SCP de l'ordre de 20 Mm³/an en 2011.

Selon EGIS (2011), l'augmentation des transferts en provenance des eaux du Verdon par le biais du Canal de Provence semble possible, même si le réseau du canal de Provence dans le secteur Toulon Est, est en limite de capacité.

Achat SCP	Cumul annuel m ³	Pointe (16-05 au 14-09)
MAIRIE DE MAZAUGUES	62 164	29 931
MAIRIE DE SAINT MAXIMIN	119 643	41 182
COMMUNAUTE DE COMMUNES SUD SAINTE BAUME	483 984	251 132
MAIRIE D EVENOS	98 319	48 181
MAIRIE D OLLIOULES	924 106	339 147
MAIRIE DE BANDOL	1 438 215	753 923
MAIRIE DE BELGENTIER	4 240	41
MAIRIE DE CUERS	13 834	12 725
MAIRIE DE LA CADIERE D'AZUR	554 115	270 897
MAIRIE DE LA SEYNE SUR MER	4 334 405	1 878 823
MAIRIE DE POURCIEUX	54 595	33 557
MAIRIE DE POURRIERES	408 483	213 060
MAIRIE DE SAINTCYR SUR MER	88 123	70 486
MAIRIE DE SAINTZACHARIE	10 613	10 395
MAIRIE DE SANARY SUR MER	356 588	247 533
MAIRIE DE SIX FOURS REGIE DE L EAU	3 025 809	1 381 963
MAIRIE DE TOULON	1 330 278	39 314
MAIRIE DU BEAUSSET	822 949	410 003
MAIRIE DU CASTELLET	382 991	216 932
SIAE DE LA SAINTE BAUME	18 911	17 562
SIAE DES COMMUNES DE LA REGION EST DE TOULON	3 804 260	1 838 650
SIAE LA VALETTE LA GARDE LE PRADET	1 545 246	304 595
SIVOM DU CANTON SOLLIES PONT	859 277	338 660
TOTAL	20 741 148	8 748 692

PRISE D'EAU SUR LE VERDON : RESEAU EAUX DE MARSEILLE

Les eaux de la Durance sont acheminées par le Canal de Marseille depuis la prise d'eau de Saint Estève-Janson. Le canal est propriété de la ville de Marseille qui a délégué l'adduction et la distribution de ces eaux à la Société des Eaux de Marseille (SEM). Le canal fonctionne en mode gravitaire.

Actuellement, ce canal peut transporter jusqu'à 15 m³/s (capacité technique de 473 Mm³/an). En 2014, le volume distribué sur les communes de la Métropole Marseille Provence était de l'ordre de 175 Mm³.

A proximité du PNR, la Société des Eaux de Marseille (SEM) dessert en eau plusieurs communes :

- La commune de Saint Cyr sur Mer. En 2009, environ 1,3 Millions de m³ ont été produits.
- Les communes d'Aubagne et de la Penne sur Huveaune. En 2015, le volume distribué pour ces communes était de l'ordre de 4 Mm³/an.

Notons que dans un périmètre élargi, ce canal dessert aussi les communes du littoral des Bouches-du-Rhône : Carnoux, Roquefort-La-Bédoule, Cassis, La Ciotat et Ceyreste.

3.2.3 RESSOURCES LOCALES EN EAU SOUTERRAINES

PLATEAU DE SIOU BLANC

La ressource en eau souterraine du plateau de Siou Blanc est sollicitée par deux captages AEP :

- Prise d'eau de la retenue de Dardennes (entre 4 et 6 Mm³/an).
- Source de Gavaudan captée sur la commune de Méounes-Les-Montrieux au bénéfice de la commune de Belgentier. Les prélèvements sont modestes (< 50 000 m³/an).

Figure 69 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité du Plateau de Siou Blanc.

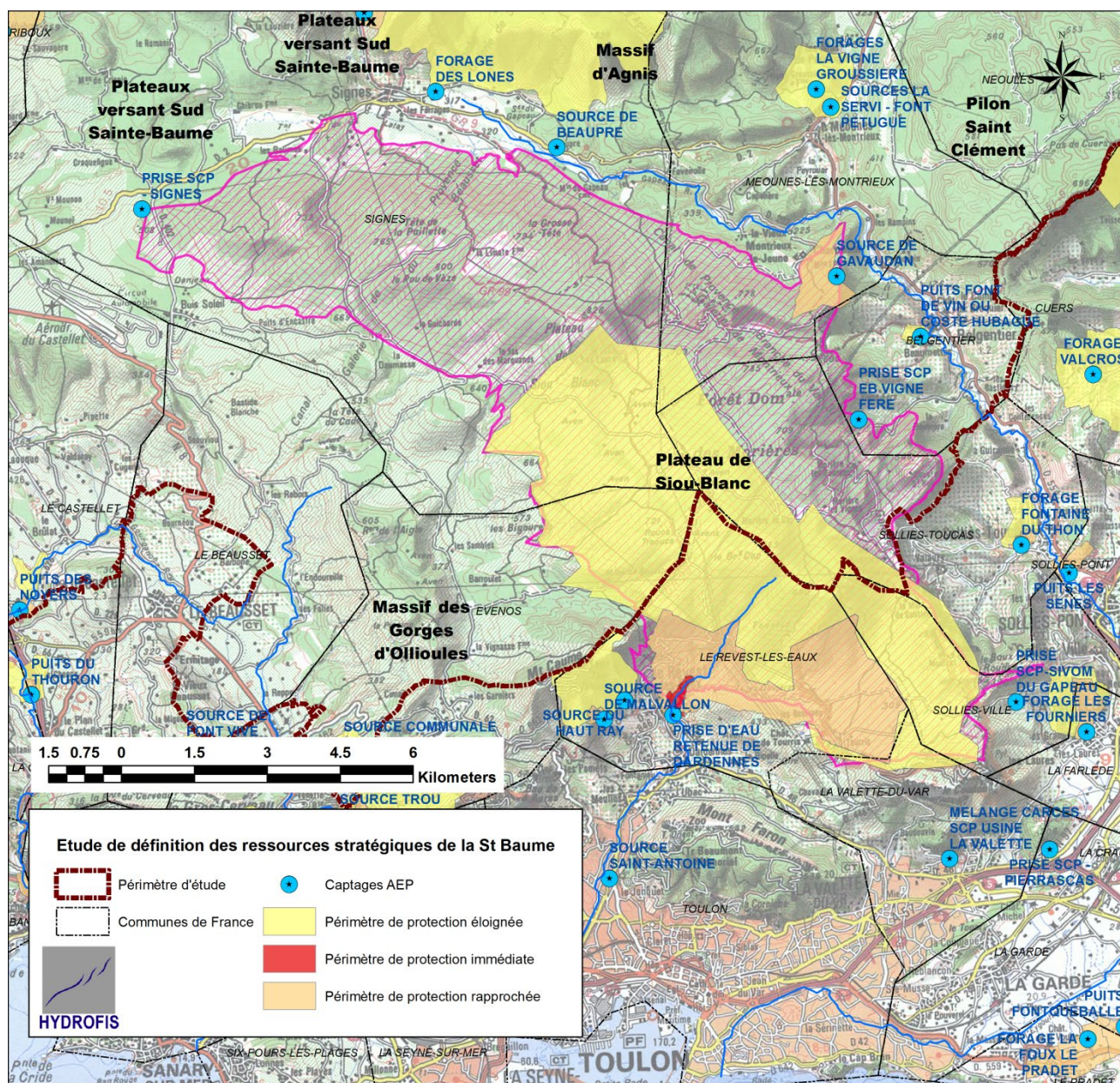
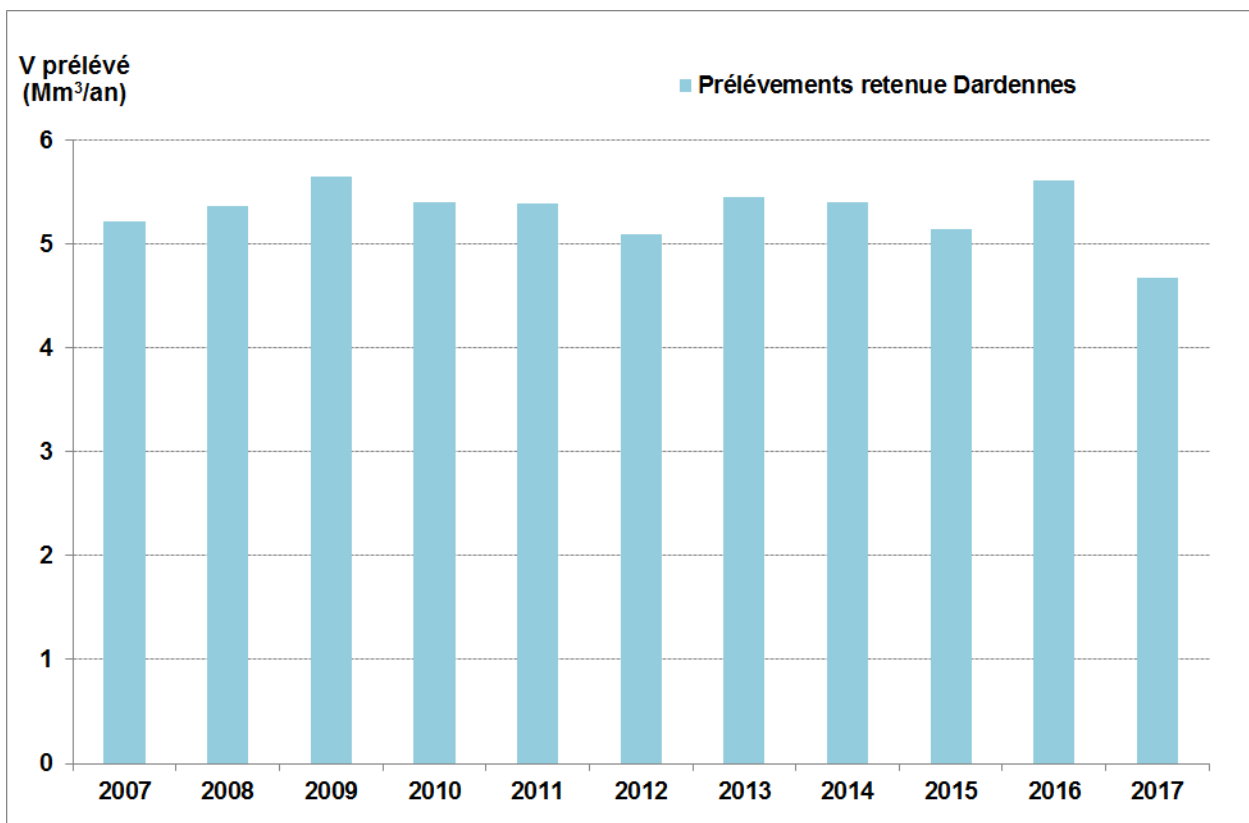
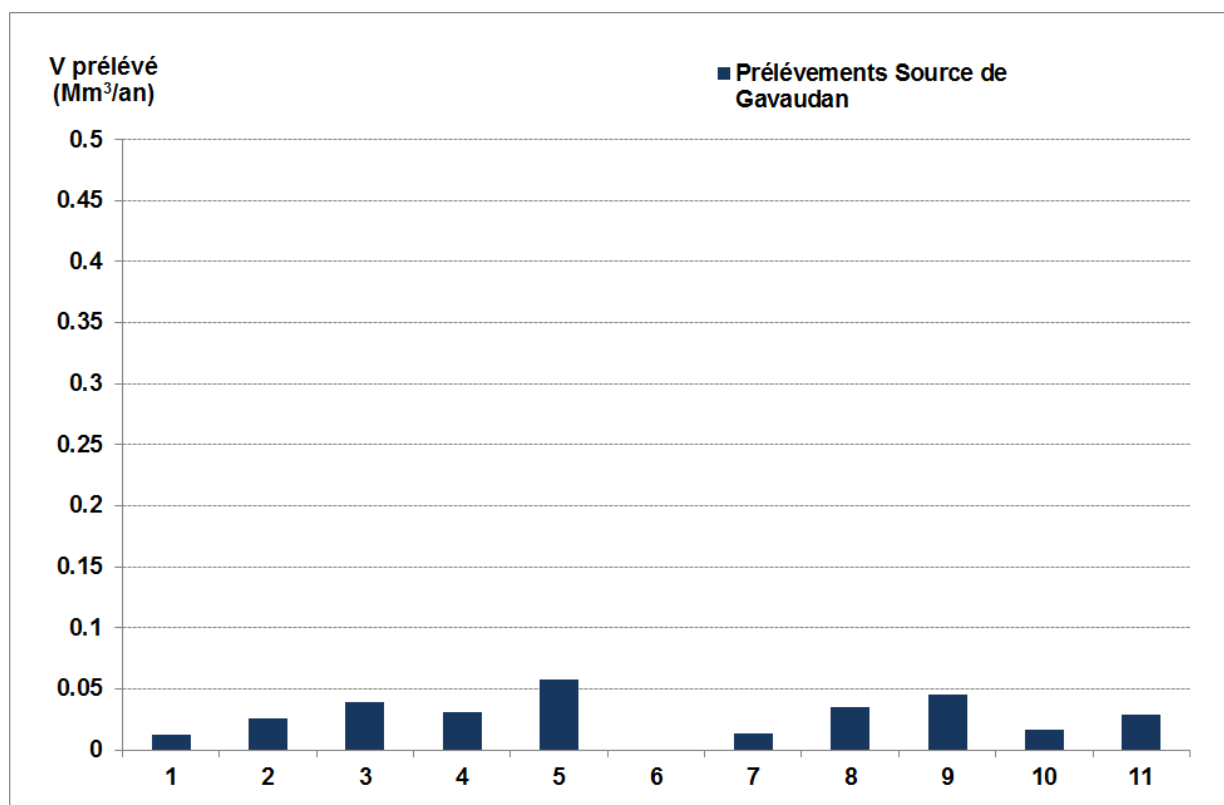


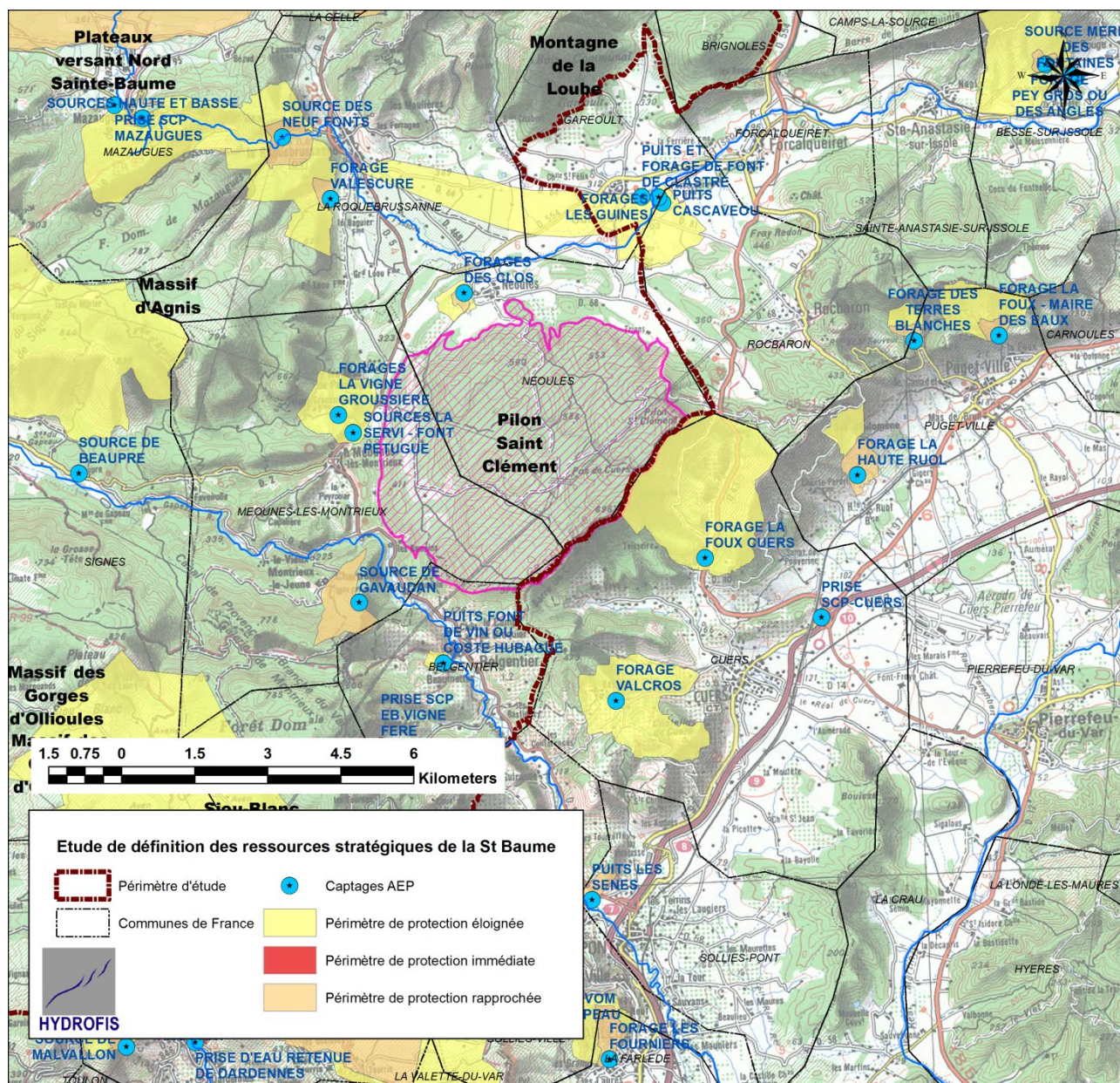
Figure 70 : Volumes prélevés pour l'AEP dans la retenue de Dardennes (données Agence de l'Eau).*Figure 71 : Volumes prélevés pour l'AEP à la source de Gavaudan (données Agence de l'Eau).*

PILON ST CLEMENT

Stricto sensu, il n'y a pas de prélèvement pour l'alimentation en eau potable dans l'unité hydrogéologique du jurassique supérieur du Pilon St Clément.

Notons que l'alimentation du forage des Clos utilisé pour la distribution d'eau potable de la commune de Néoules provient de l'aquifère du Lias (Jurassique inférieur) qui est séparé de l'aquifère du Jurassique supérieur (barres calcaires et dolomies du Lias), par environ 60 mètres de marno-calcaires du Bajocien – Bathonien.

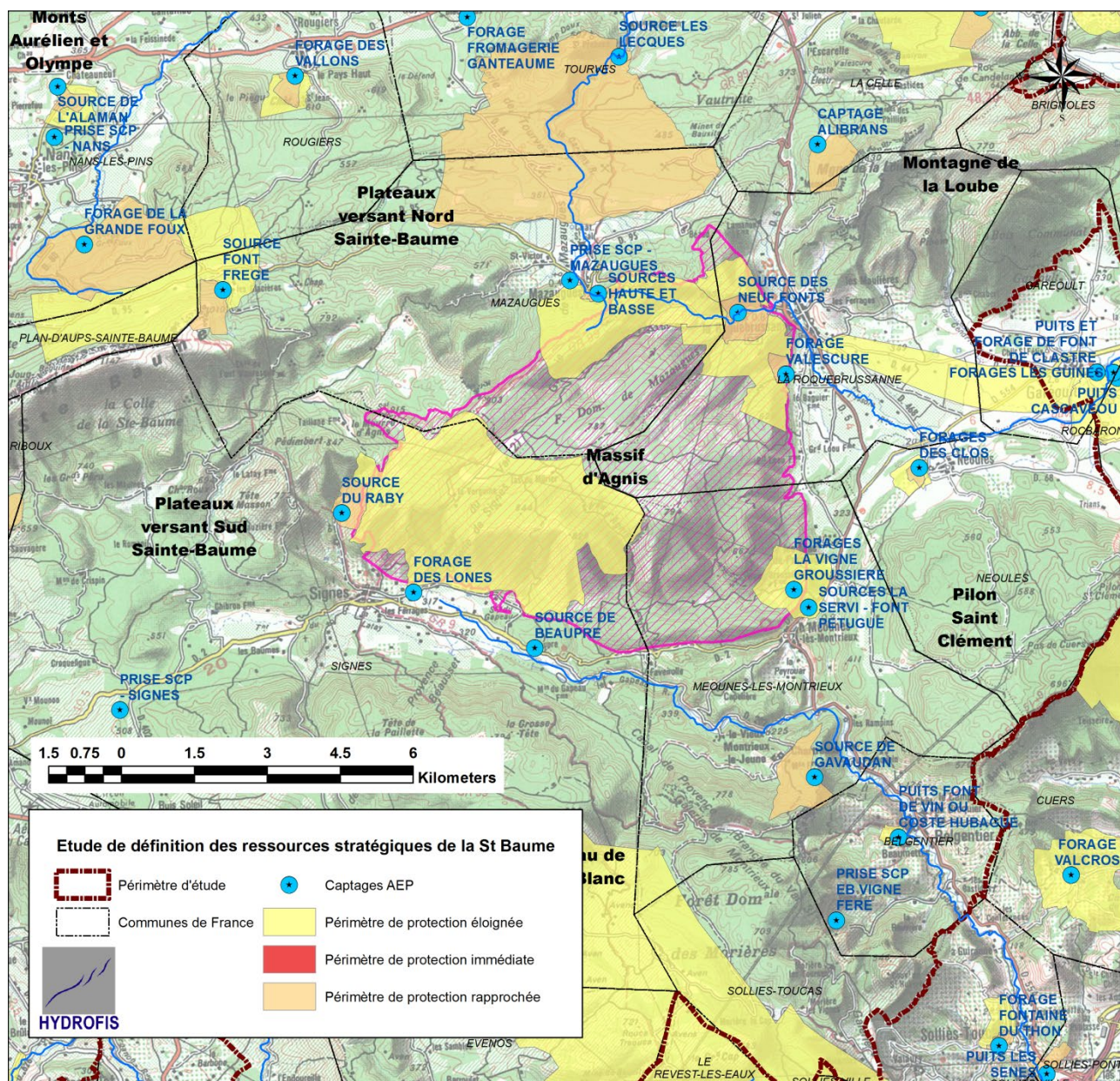
Figure 72 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité du Pilon St Clément.



MASSIF D'AGNIS

L'unité hydrogéologique du massif d'Agnis contribue à l'alimentation de nombreux captages destinés à l'alimentation en eau potable.

Figure 73 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité du massif d'Agnis.



Citons :

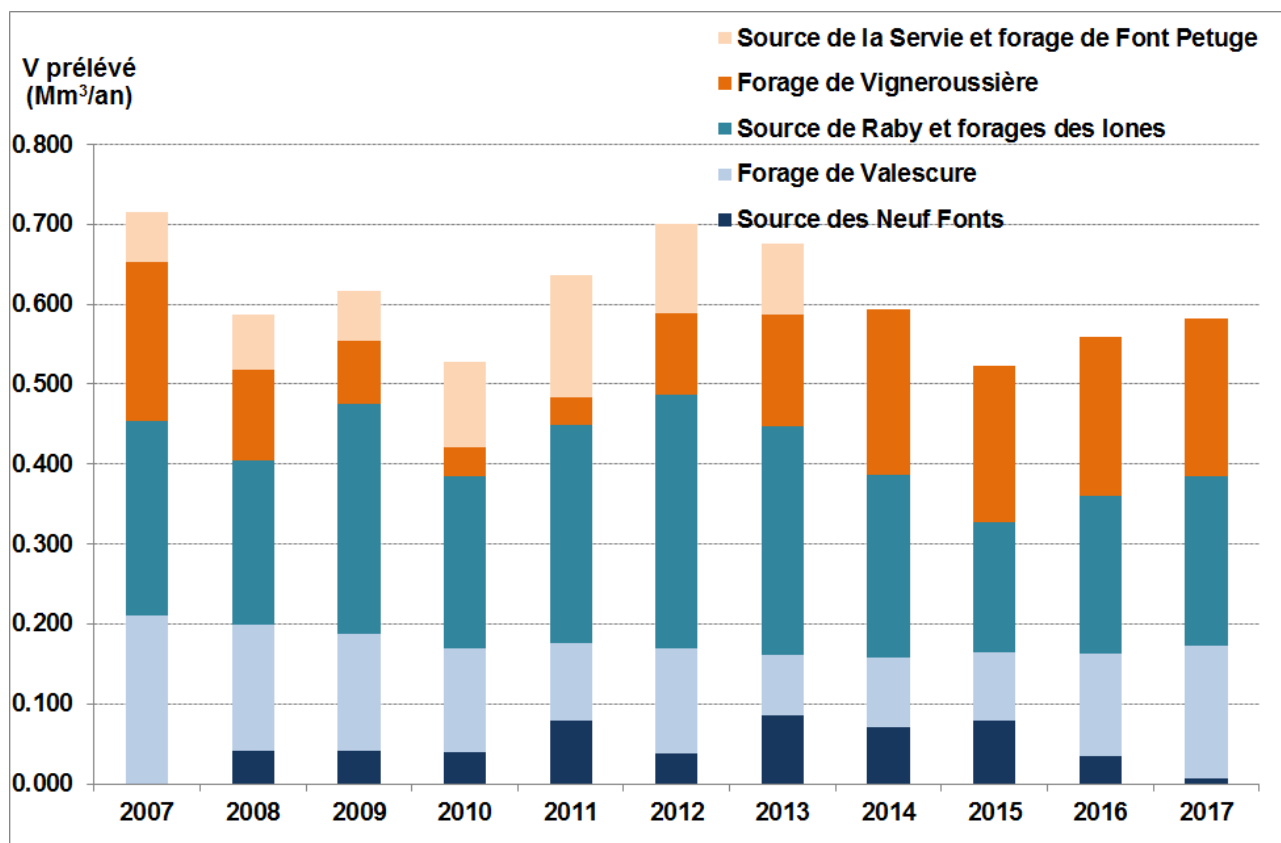
- Source des Neufs Fonts et Forage de Valescure pour l'AEP de La Roquebrussanne. L'arrêté préfectoral du 17 février 1986 fait la déclaration d'utilité public de ces ressources et définit des périmètres de protection ; il ne donne aucune indication sur les volumes autorisés au prélèvement. Selon Colomb (1976), la source est équipée de deux galeries drainantes et le forage fait 45 m de profondeur. La source

présente des débits variant entre 5 l/s à l'étiage et 15 l/s en haute eaux ; le débit recommandé d'exploitation du forage est de 5 l/s (au-delà de 10 l/s, il y a assèchement des sources).

- Forages de la Vigne Groussière pour l'AEP de Méounes-Les-Montrieux. L'arrêté préfectoral du 31 mars 1993 autorise la commune à prélever 1 680 m³ par jour.
- Ancien captage abandonné de la source Servi et du forage Pétugue pour l'AEP de Méounes-Les-Montrieux.
- Source du Raby (500 m NGF) pour la commune de Signes. Rousset (1980) indique que bien que située dans les marno-calcaires du Jurassique moyen, l'origine des eaux est à chercher dans le karst du Jurassique supérieur (présence de quelques bancs calcaires favorables).
- Forage des Lônes. L'arrêté du 2 août 1991 déclare ce captage d'utilité publique et en définit les périmètres de protection. L'arrêté du 15 février 1985 indique que le prélèvement par pompage opéré par la Commune ne pourra pas dépasser 20 l/s soit 800 m³/jour.
- Sources haute et basse pour la Commune de Mazaugues. L'arrêté préfectoral du 10 octobre 1989 autorise la commune à dériver la totalité des débits captés (soit 14 et 21 m³/h).

Individuellement, les prélèvements sont mineurs de 30 000 à 300 000 m³ par an. En cumulé, la contribution de ce massif à l'alimentation en eau potable des communes est significative avec des volumes cumulés qui varient entre 500 000 et 700 000 m³/an.

Figure 74 : Volumes prélevés pour l'AEP dans le massif de l'Agnis (données Agence de l'Eau).

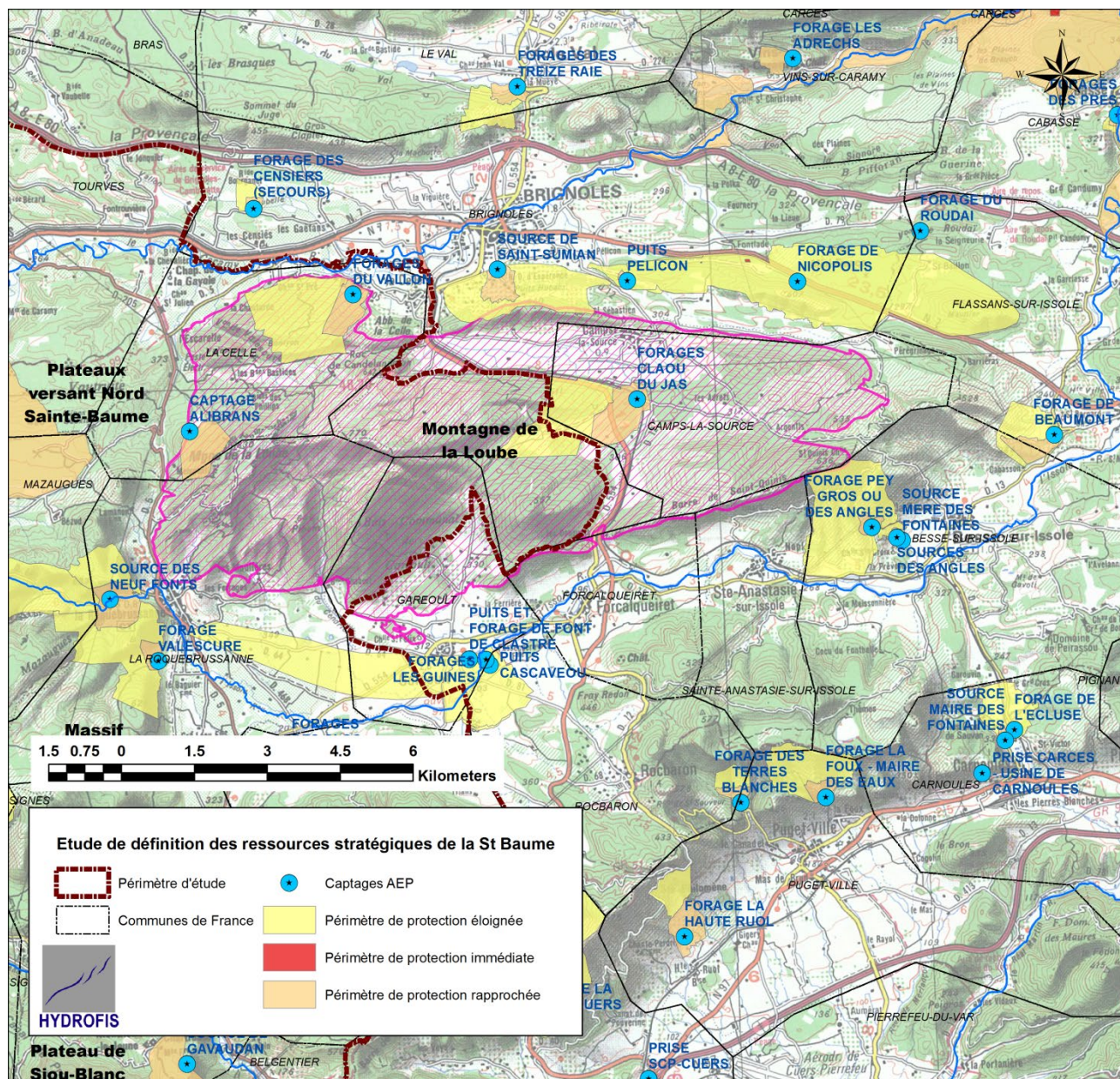


Tous les ouvrages de captage AEP sont protégés par des périmètres de protection.

MONTAGNE DE LA LOUBE

L'unité hydrogéologique de la Montagne de la Loube est sollicitée par trois captages AEP.

Figure 75 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité de la Montagne de la Loube.



Citons :

- Forages du Claou du Jas pour la commune de Camps-La-Source (deux forages de 49 m et 90 m de profondeur).
- Forages du Vallon pour la commune de la Celle (arrêté de déclaration d'utilité publique du 19 mai 2010). Il s'agit de deux forages de 100 et 110 m de profondeur. Les débits d'exploitation des forages sont de l'ordre de 20 et 40 m³/h ; l'autorisation d'exploiter est de 800 m³/j au maximum. Actuellement, seul

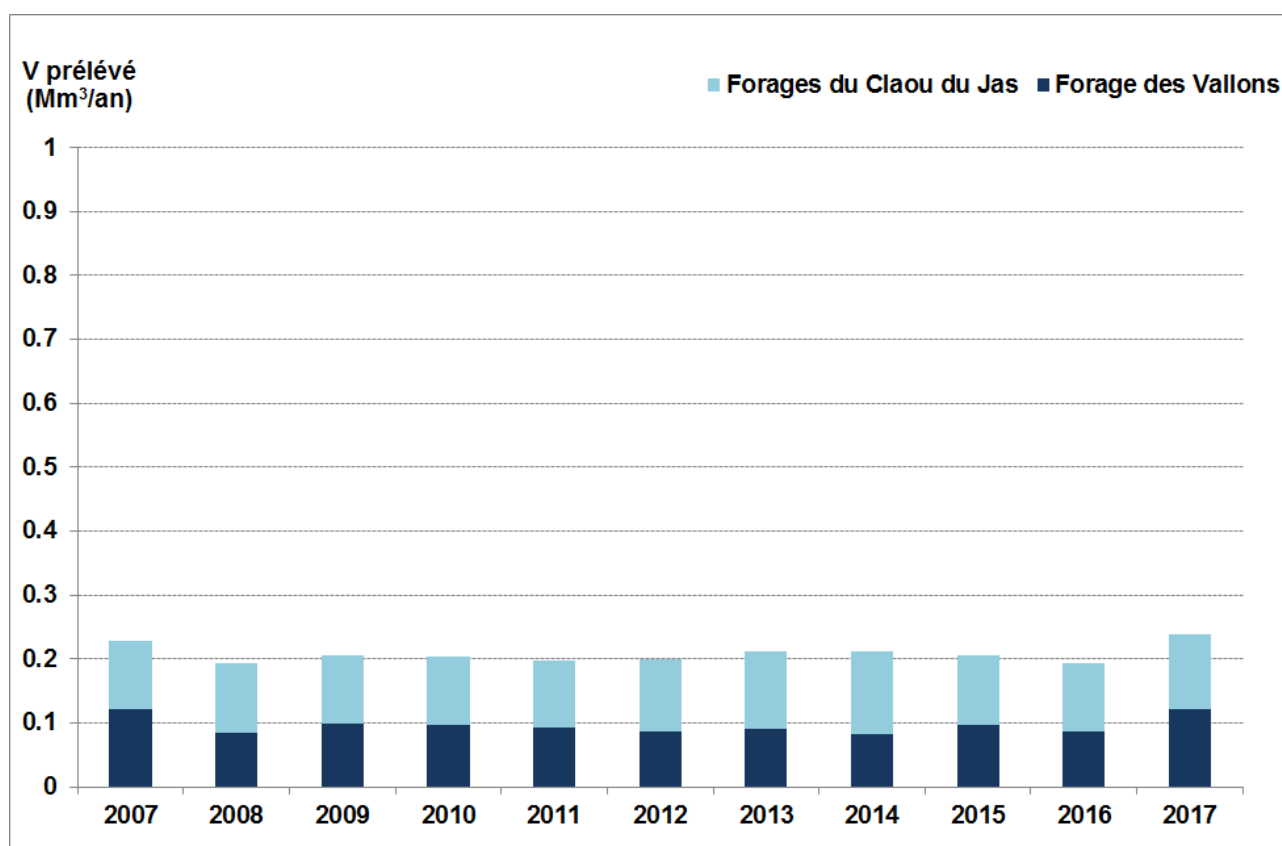
un de ces forages est en service ; l'autre est envisagé pour un éventuel secours. Ces forages sont implantés dans les calcaires du Bajocien (Gounon, 2005).

■ Le captage Alibrans est un captage de la commune de la Celle ; il s'agit d'une source dont le régime de prélèvement est défini par l'arrêté d'utilité publique du 4 mai 2017 (12 000 m³/an au maximum). Ce captage est soumis à déclaration au titre du Code l'Environnement. Selon Solages (2005), le débit d'étiage serait de l'ordre de 100 m³/jour ; cette source est utilisée pour l'alimentation en eau potable des habitations du quartier de la Récabillère, qui fait partie de la commune de La Celle. Nous ne disposons pas de données de prélèvements pour ce captage (volumes prélevés sous le seuil d déclaration pour l'Agence de l'Eau).

Tous les ouvrages de captage AEP sont protégés par des périmètres de protection.

Les prélèvements sur ces captages sont mineurs : de l'ordre de 100 000 m³/an pour les forages du Claou de Jas et pour les forages des Vallons.

Figure 76 : Volumes prélevés pour l'AEP dans la montagne de la Loube (données Agence de l'Eau).

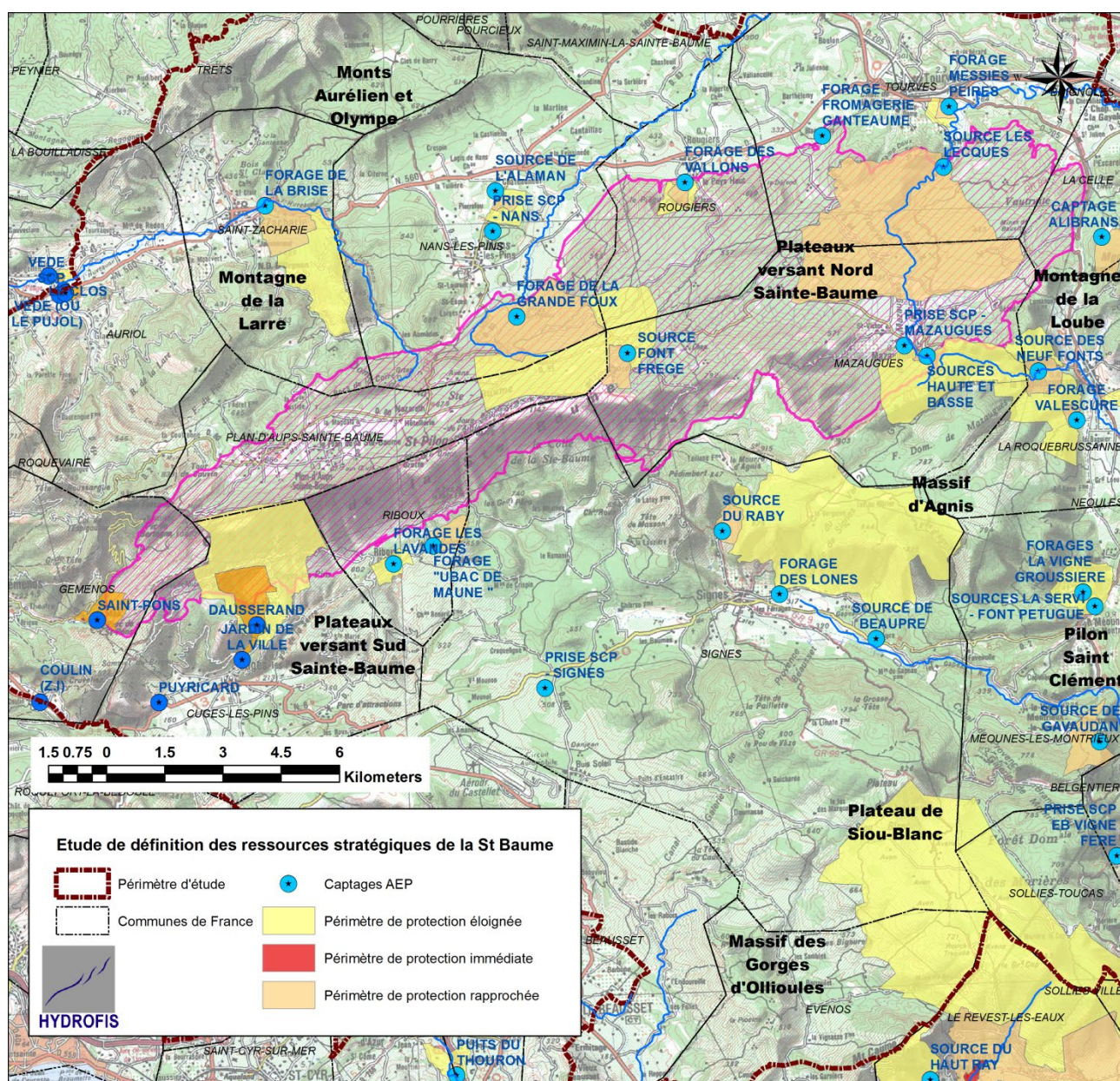


PLATEAUX DU VERSANT NORD DE LA SAINTE BAUME

L'unité hydrogéologique des plateaux du versant Nord du massif de la Sainte Baume est sollicitée par plusieurs captages AEP :

- Source des Lecques pour la commune de Tourves. Selon Colomb (1993), le débit moyen de cette source serait d'environ 30 l/s. Le périmètre de protection rapprochée de ce captage part du Caramy et s'étend vers l'Ouest jusqu'à l'ancien chemin de Toulon ; il couvre une partie seulement de la surface d'affleurement des séries carbonatées du Jurassique Supérieur. L'étude HYDROFIS (Fénart, 2008) avait conduit à recommander d'étendre ce périmètre à la totalité des affleurements du Jurassique Supérieur ainsi qu'à ceux des calcaires à rudistes du Crétacé Supérieur. Un projet d'extension en ce sens est actuellement à l'étude ; un avis motivé par un hydrogéologue agréé a été rédigé (Solages, 2013).

Figure 77 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité des plateaux du versant Nord de la Sainte Baume



- Forage des Vallons pour la commune de Rougiers. L'arrêté préfectoral du 14 octobre 1991 déclare cette ressource d'utilité publique ; il définit les périmètres de protection mais ne précise pas les volumes autorisés au prélèvement. Selon Gouvernet (1978), le forage présente une profondeur de 120 m.

- Forages de la Foux pour la commune de Nans-les-Pins et forage de secours dit de Rondoline 2, exploités par le SIAE de la Sainte Baume qui regroupe les communes de Nans-les-Pins et de Plan-d'Aups pour leur alimentation en eau potable. Les deux forages de la Foux, situés à l'aplomb de la source et profonds de 140 mètres, sont équipés respectivement de pompes de 87 et 97 m³/h et dont le débit autorisé en prélèvement est de 79 m³/h maximum au total sur le site, sans que le volume journalier ne puisse excéder 1 896 m³/j. Ces deux forages prélèvent les eaux du réseau karstique qui alimente la source de trop plein de la Foux de Nans. Les eaux captées proviennent des contreforts nord du massif de la Ste Baume, depuis la terminaison orientale du plan d'Aups jusqu'à Tourves. Ces derniers sont constitués de calcaires et dolomies jurassiques qui forment un aquifère karstique de grande étendue mais dont les exutoires permanents se situent dans la vallée du Caramy plus à l'Est. Cette ressource présente deux difficultés de gestion : (1) Elle présente des tarissements en période estivale. Le réseau karstique principal est recoupé vers 355 m NGF ; or différents épisodes de sécheresse ont mis en évidence la dépendance des forages vis-à-vis des eaux transitant dans le chenal karstique avec de très faibles venues d'eau entre 355 et 340 m NGF, lorsque le niveau piézométrique sous-passe 355 m NGF. Dans de telles situations, il est difficile de solliciter ces forages à leur maximum de productivité ; (2) Les orages accompagnés de fortes précipitations provoquent une augmentation de la turbidité qui peut conduire à des arrêts de production de plusieurs jours. Dans une logique de sécurisation de sa ressource en eau, le SIAE a réalisé en 2015 un nouveau forage dit « Rondoline 2 » ; il est en cours de régularisation administrative (Fénart, 2019) ; le périmètre de protection rapprochée proposé pour ce nouveau point de captage correspond peu ou prou au périmètre de protection rapprochée des forages de la Foux de Nans. Il est sensiblement plus étendu vers le Sud et vers l'Ouest.

- Captages du vallon de St Pons pour la commune de Gémenos. Ces captages regroupent une source permanente, une galerie drainante dans les tufs, un puits et quatre forages de profondeur variables (Conrad, 1998). Les données historiques donnent un débit variable pour la source compris entre 10 et 400 l/s, avec une moyenne de l'ordre de 100 l/s ; le débit moyen de la galerie drainante serait d'environ 30 l/s. Attention, les forages sont implantés dans les calcaires de l'Aptien ; c'est un autre aquifère que celui qui alimente les sources et la galerie drainante.

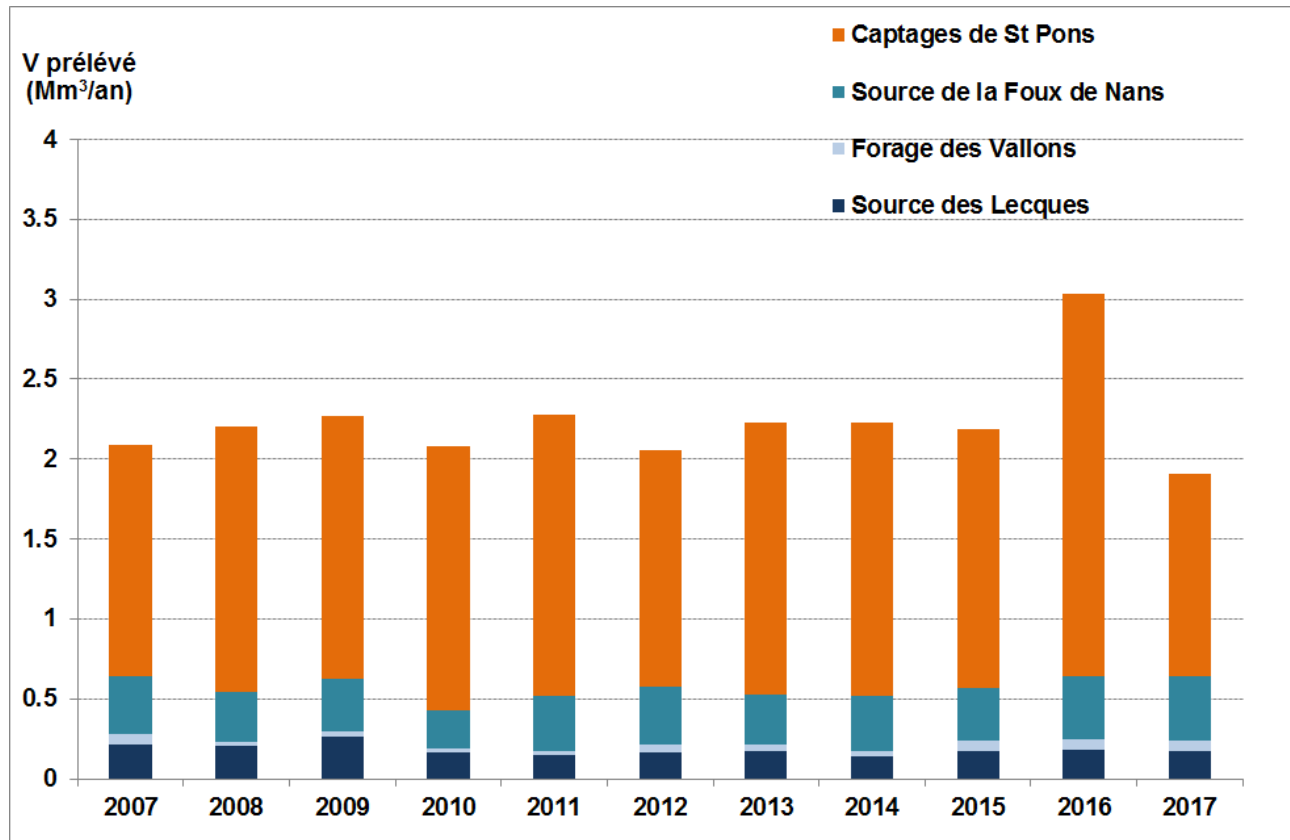
En première approche, on peut observer que les périmètres de protection du forage des vallons et des captages de St Pons présentent des superficies relativement réduites par rapport aux aires d'alimentation contributives potentielles (quelques km² pour le forage des vallons, entre 20 et 30 km² pour les captages de St Pons).

Notons que la source de Font-Frège dépend d'aquifères « perchés » par rapport à la ressource principale contenue dans l'unité karstique. L'émergence à 770 m NGF se fait au travers des grès du Crétacé Supérieur (Valdo-Fuvélien) (Conrad, 1989).

De la même façon, bien que le forage de Dausserand utilisé pour l'alimentation en eau potable de la commune de Cuges-Les-Pins présente des périmètres de protection qui recouvre pour partie l'unité des plateaux du versant Nord du massif de la Sainte Baume, la ressource prélevée dépend d'une autre unité karstique.

Les volumes prélevés dans cette unité sont importants, en particulier pour la terminaison orientale du plateau qui alimente les captages de St Pons (entre 1,5 et 2,5 Mm³/an prélevés).

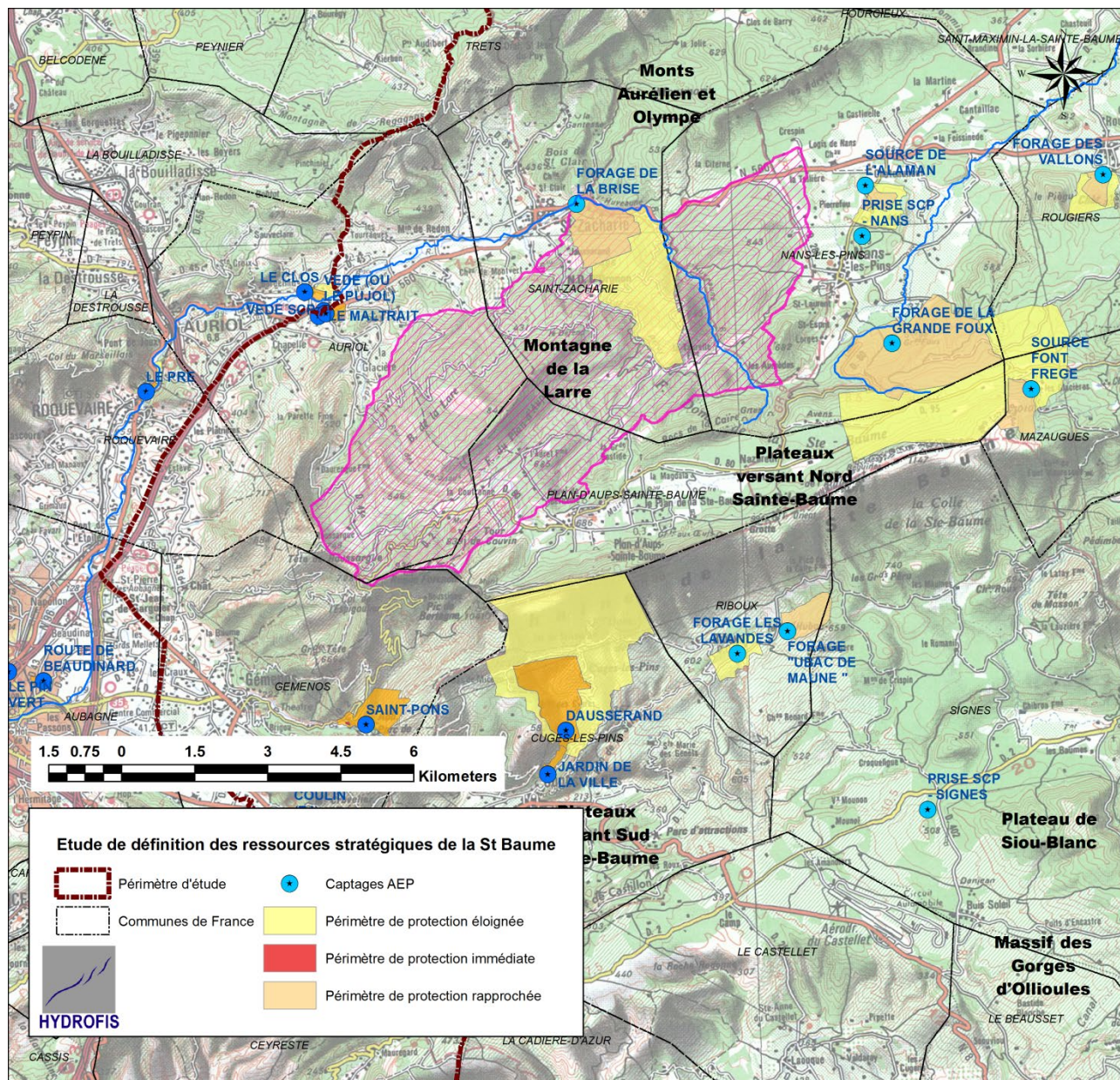
Figure 78 : Volumes prélevés pour l'AEP dans les massifs karstiques du versant Nord du massif de la Sainte Baume (données Agence de l'Eau).



MONTAGNE DE LA LARE

L'unité hydrogéologique de la Montagne de la Lare est sollicitée par un seul captage AEP ; il s'agit du forage de la Brise dont les eaux prélevées contribuent à l'alimentation en potable de la commune de Sainte-Zacharie.

Figure 79 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité de la Montagne de la Lare.



La commune de Saint-Zacharie est alimentée en eau potable par le champ captant de la Brise. Il est constitué d'un forage réalisé en 1990 à 42 m de profondeur et exploitant les calcaires jurassiques. LA source est réputée permanente et assurerait un débit de 35 à 40 m³/h (Colomb, 1991), soit environ 10 l/s. Le forage peut fournir un débit de l'ordre de 100 m³/h.

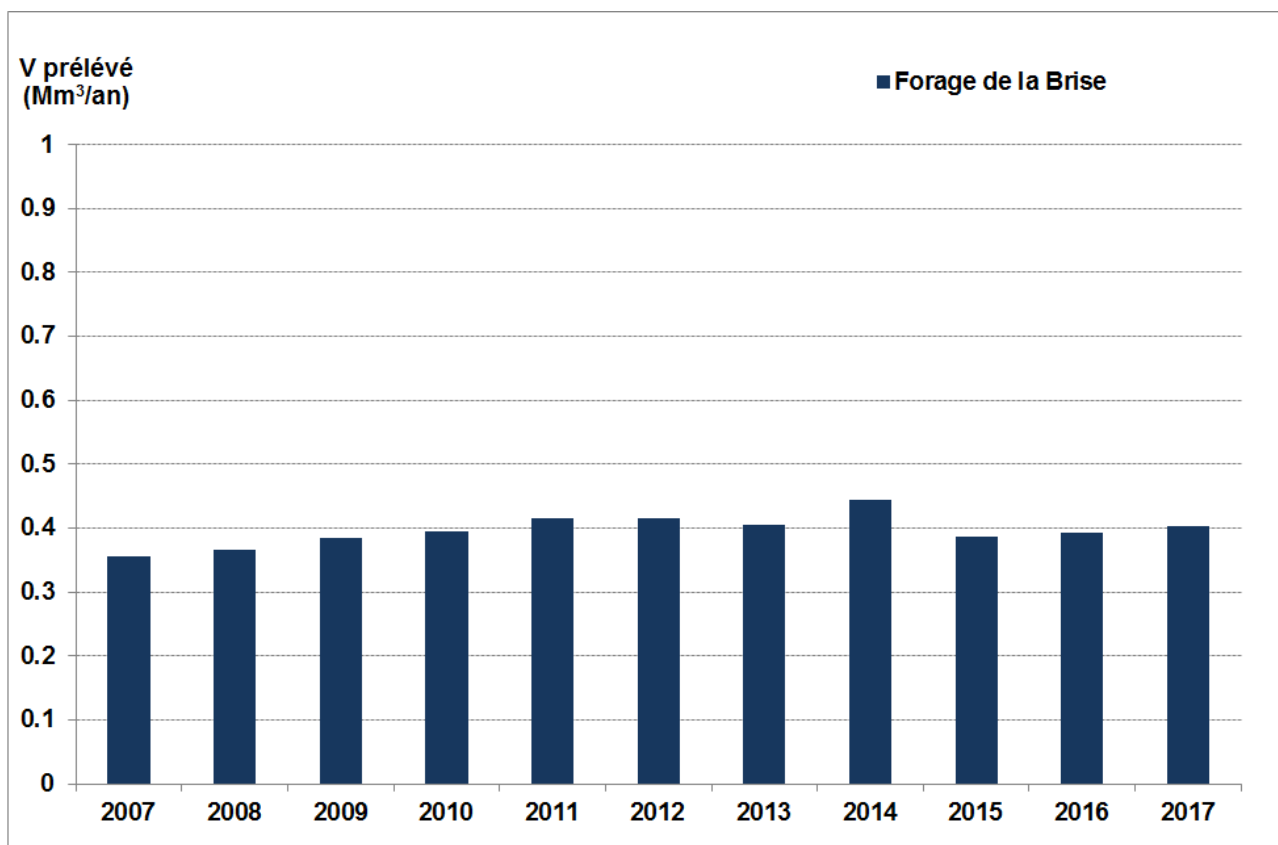
Ce captage est protégé par des périmètres de protection.

Le forage de la Brise fournit actuellement 100 % des besoins en eau de la commune. Selon l'arrêté préfectoral du 9 octobre 1996, la commune est autorisée à dériver 100 m³/h sans que le volume journalier ne puisse excéder 2 400 m³ par jour du gîte aquifère (soit un maximum annuel de 876 000 m³/an).

Les volumes prélevés actuels sont majeurs : de l'ordre de 400 000 m³/an.

L'utilisation des eaux souterraines représente donc 100 % des besoins de la commune. La commune dispose d'une ressource de secours par un branchement sur la société du Canal de Provence (rapport du délégataire, 2015), qui permet la sécurisation de l'alimentation en eau potable de la commune.

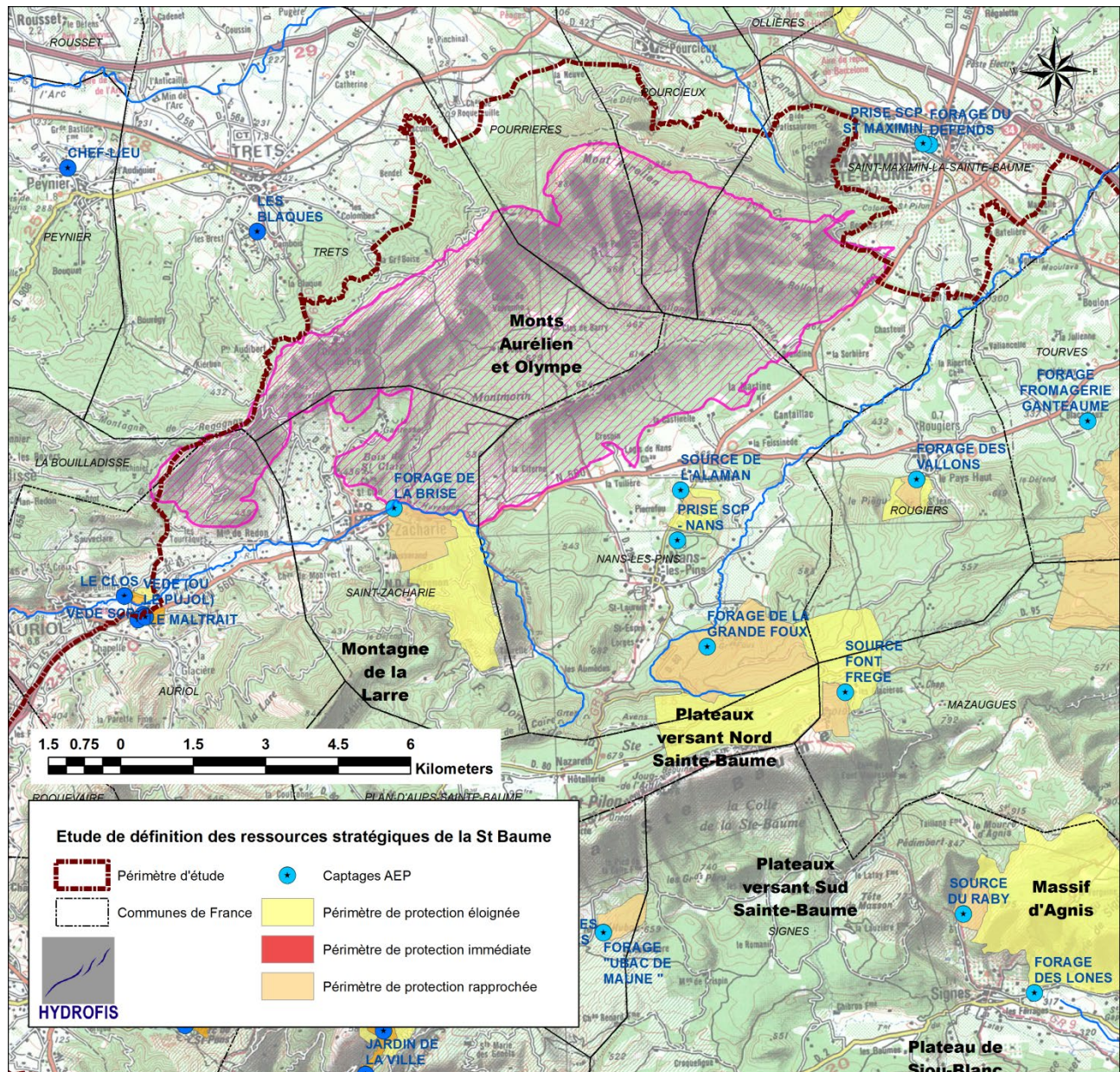
Figure 80 : Volumes prélevés pour l'AEP dans le massif de la Lare.



MONT AURELIEN ET MONT OLYMPE

A ce jour, l'unité hydrogéologique des Monts Olympe et Aurélien ne fait l'objet d'aucun prélèvement AEP.

Figure 81 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité des Monts Aurélien et Olympe.



Citons :

■ Forage des Lavandes et forage dit de l'Ubac de Maune pour la commune de Riboux. Le forage de l'Hubac de Maune a été créé en 1995 avec une profondeur de 75 m ; le forage des Lavandes, plus ancien, présente une profondeur de 80 m (NS moyen vers 530 m NGF). L'arrêté préfectoral du 12 juillet 2017 précise les modalités d'utilisation de ces forages pour la Commune. Les débits autorisés pour chaque forage sont de 20 m³/j (soit 14 600 m³/an). Le forage de l'Ubac de Maune doit être utilisé de préférence en conservant le forage des Lavandes comme secours, tant qu'aucun travail n'aura été réalisé pour réduire les risques de dysfonctionnement éventuel du système d'assainissement du village. Une étude détaillée des besoins de la commune et des difficultés d'exploitation a été réalisée par le bureau d'études H2EA (Tennevin, 2018) ; on y trouve les informations suivantes :

○ Les besoins en eau potable sont modestes : entre 7 et 10 m³/j.

○ Le forage des Lavandes peut se révéler improductif en cas de sécheresse prolongée. Une note de J.F. Tapoul en 1995 indique que le forage est implanté dans les calcaires marneux et les marno-calcaires du gris bleutés du Bajocien-Bathonien et que des venues d'eau auraient été rencontrées à 45 m de profondeur. Le niveau statique de la nappe varie entre 510 m NGF (en hautes-eaux, forage artésien) et 473 m NGF (en étiage sévère). Ce forage a connu des contaminations bactériennes notables lors de son exploitation

○ Le forage de l'Hubac de Maune est lui aussi implanté dans les calcaires marneux et les marno-calcaires du Bajocien- Bathonien. Il est peu productif : les différents essais effectués (1997, 1998, 2002) ont montré que le débit d'exploitation ne devait pas dépasser les 0,4 m³/h en période d'étiage sévère pour éviter de dénoyer la pompe ; le niveau statique varie entre 506 et 496 m NGF. le forage de l'Ubac de Maune a connu lui aussi des contaminations bactériennes notables lors de son exploitation.

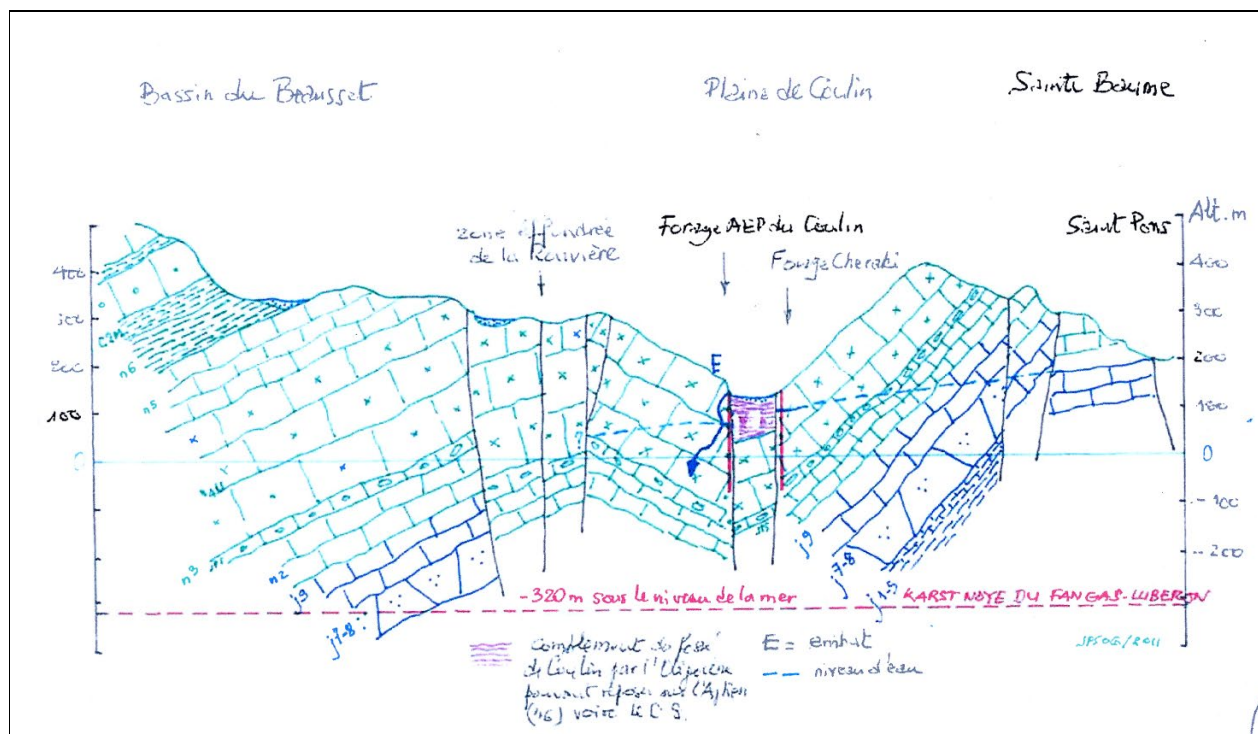
Suite à ces constats, la commune de Riboux vient de lancer une consultation pour sélectionner une entreprise de forages pour réaliser des forages de reconnaissance. La cible reste les calcaires marneux du Bajocien (aquifère karstique principal jugé trop profond).

■ Le forage de Dausserand est exploité pour l'AEP de la commune de Cuges les Pins (300 m NGF, 109 m de profondeur). Les eaux sont issues de l'aquifère liasique qui serait drainé (Tennevin, 2018) naturellement vers les sources du Jardin de la Ville à Cuges les Pins (230 m NGF) et les sources de Gémenos (220 m NGF). Sur ce forage, le niveau statique de la nappe évolue globalement entre les cotes 245 et 290 m NGF. En crue, le forage devient artésien (niveau statique > 300 m NGF).

■ Sources des Jardins de la Ville. C'est une galerie filtrante d'une capacité d'environ 25 m³/h (ANTEA, 2018). Rappelons que les eaux captées sont issues des séries du Lias qui affleurent plus au Nord. Elles fournissent un complément aux autres champs captants.

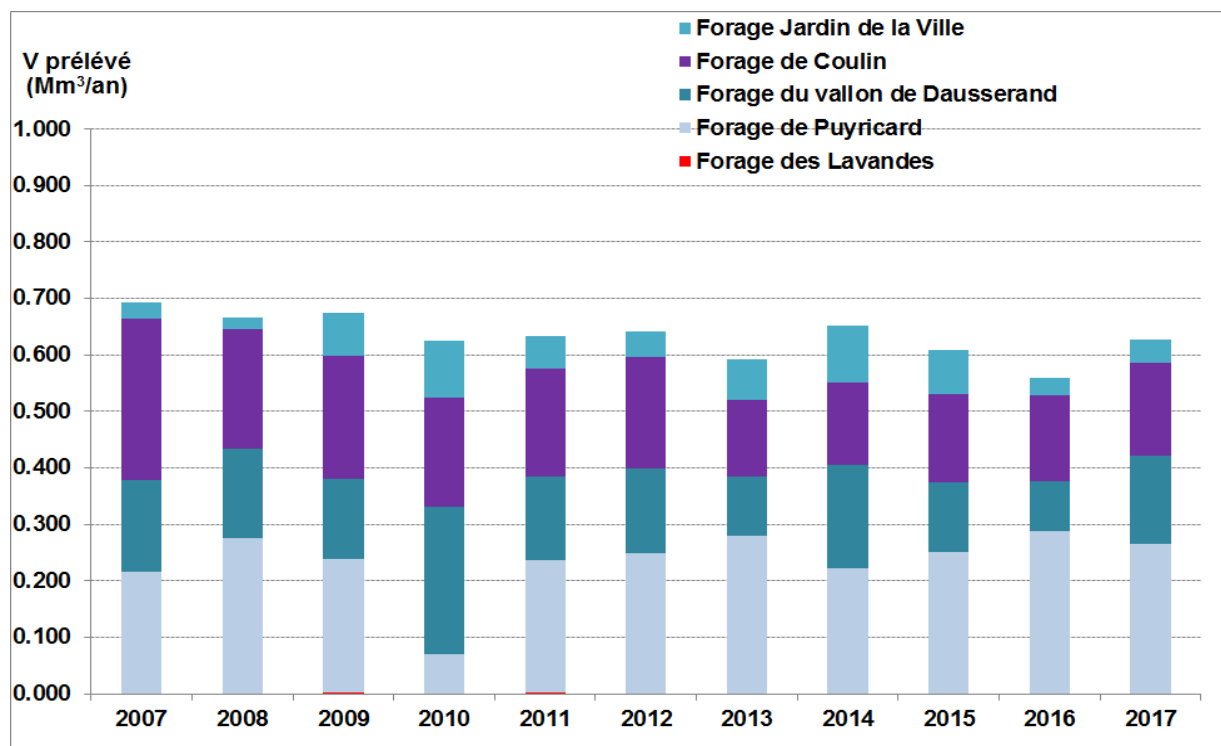
■ Le forage F2 de Puyricard (1991, 200 m de profondeur) implanté en bordure de la RN8, utilisé pour la commune de Cuges-Les-Pins. Il est actuellement exploité à 120 m³/h (pompe à 173 m de profondeur). Le forage capte un aquifère karstique (calcaires fracturés de l'Urgonien). Il présente une profondeur de 203 m (Silvestre, 2012) ; le niveau statique mesuré après essais était de 113 m NGF (TN à 180 m NGF). Dans son analyse, Silvestre mentionne une expérience de coloration des eaux de pompage qui rejoignaient les embuts sur la bordure Sud de la Plaine lors des essais de pompage ; il n'avait pas alors été observé de coloration des eaux pompées. Sans plus de détails techniques et au vu de la puissance de l'aquifère, il nous semble que cette expérience ne peut pas être considérée comme conclusive.

Figure 83 : Coupe schématique explicative – Forage de Puyricard (d'après Silvestre 1991).



En résumé, la commune de Cuges-les-Pins dispose de trois ressources distinctes : la source des Jardins de la Ville et le forage de Dausserand qui intéressent la nappe de l'aquifère liasique, le forage de Puyricard qui prélève des eaux dans la nappe de l'aquifère urgonien.

Figure 84 : Volumes prélevés pour l'AEP dans les massifs du versant Sud de la Sainte Baume.



D'après, ANTEA (2017), la ressource serait largement suffisante en période de pointe ($3\,900\text{ m}^3/\text{j}$) pour répondre aux besoins, aussi bien en situation actuelle ($2\,600\text{ m}^3/\text{j}$) qu'en situation future à l'horizon 2030 ($2\,740\text{ m}^3/\text{j}$). Signalons la création d'une zone agricole protégée dans la plaine de Cuges-les-Pins. Un projet d'irrigation de la plaine agricole est en cours d'étude, par l'intermédiaire d'une extension des réseaux de la SCP.

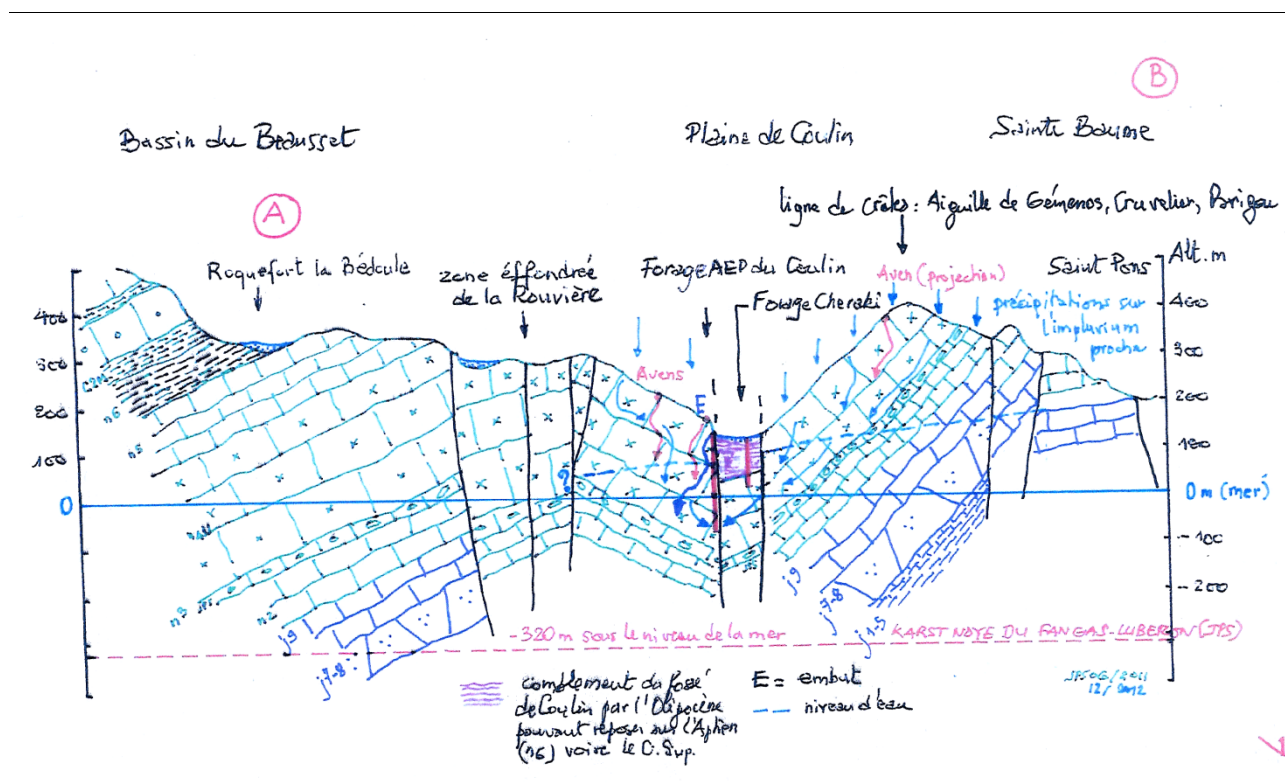
Notons que seul le forage de Dausserand présente une protection réglementaire.

La commune de Gémenos, en plus de ses captages dans le vallon de St Pons, dispose d'un champ captant implanté dans les calcaires urgoniens (forages de Coulin)

Dans ce champ captant, on dénombre huit forages, dont un en exploitation et un autre en attente d'exploitation (Silvestre, 2013) ; la plupart des forages ont été abandonné pour cause de productivité insuffisante (Rousset, 1993). Le forage en exploitation a été mis en place en 1987 et présente une profondeur théorique de 185 m. Les niveaux piézométriques varient entre 65 et 90 m NGF (TN à 135 m NGF). La productivité est excellente (environ $150\text{ m}^3/\text{h}$ par m de rabattement). Les essais de pompage ont permis de déterminer un débit d'exploitation potentiel de $367\text{ m}^3/\text{h}$.

Ce point de captage ne dispose pas actuellement d'une protection réglementaire. Un avis avait été émis par un hydrogéologue agréé en 1993.

Figure 85 : Coupe schématique explicative – Forage de Coulin (d'après Silvestre 1993).



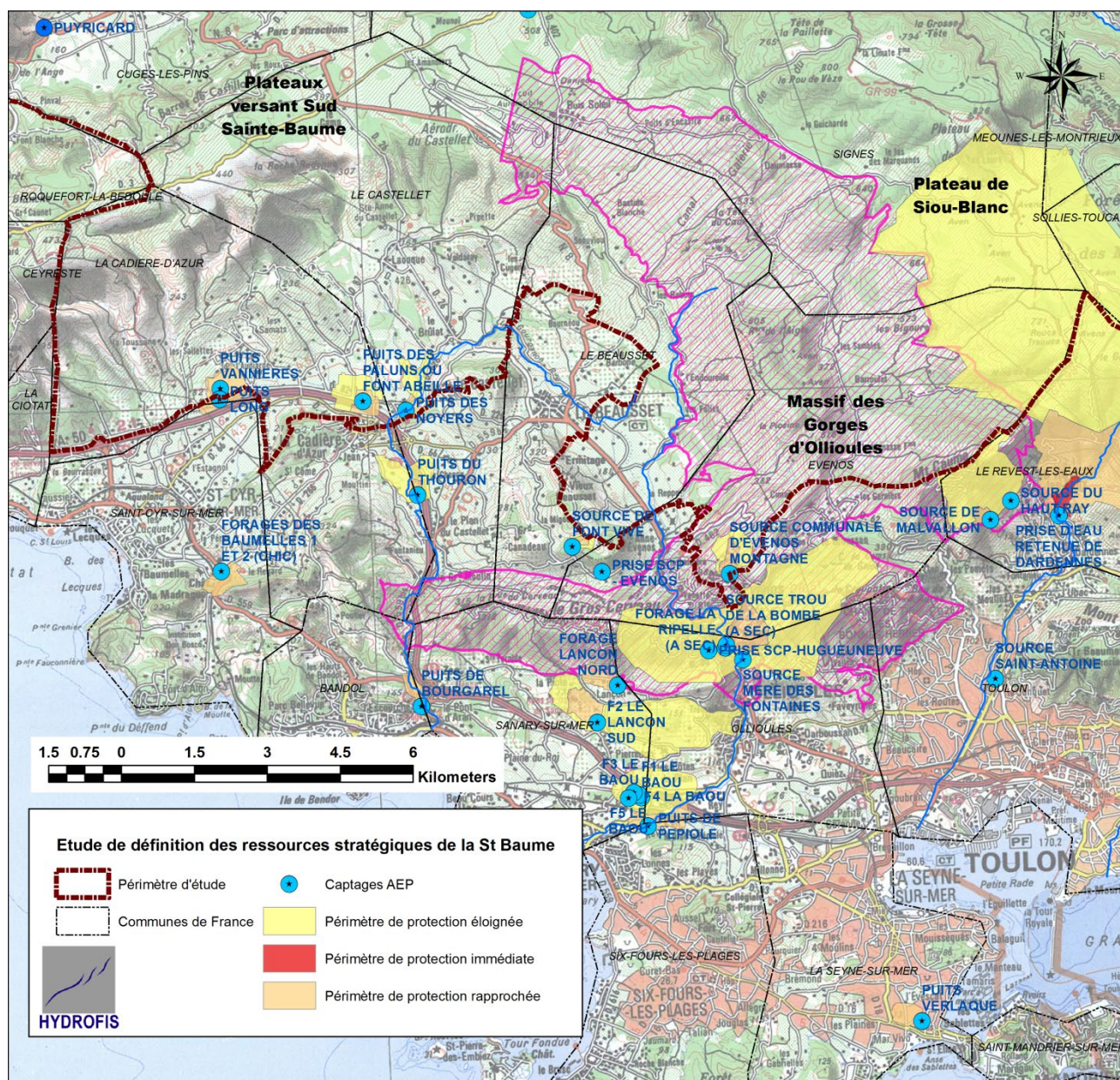
MASSIF DES GORGES D'OLLIOULES

L'unité hydrogéologique du massif des Gorges d'Ollioules est actuellement sollicitée par plusieurs captages pour l'alimentation en eau potable :

- Source communale d'Evenos.
- Nombreux captages pour la commune d'Ollioules.

Tous les points de captage disposent d'une protection réglementaire.

Figure 86 : Localisation des captages AEP et périmètres de protection (données ARS) – Unité du massif des Gorges d'Ollioules.

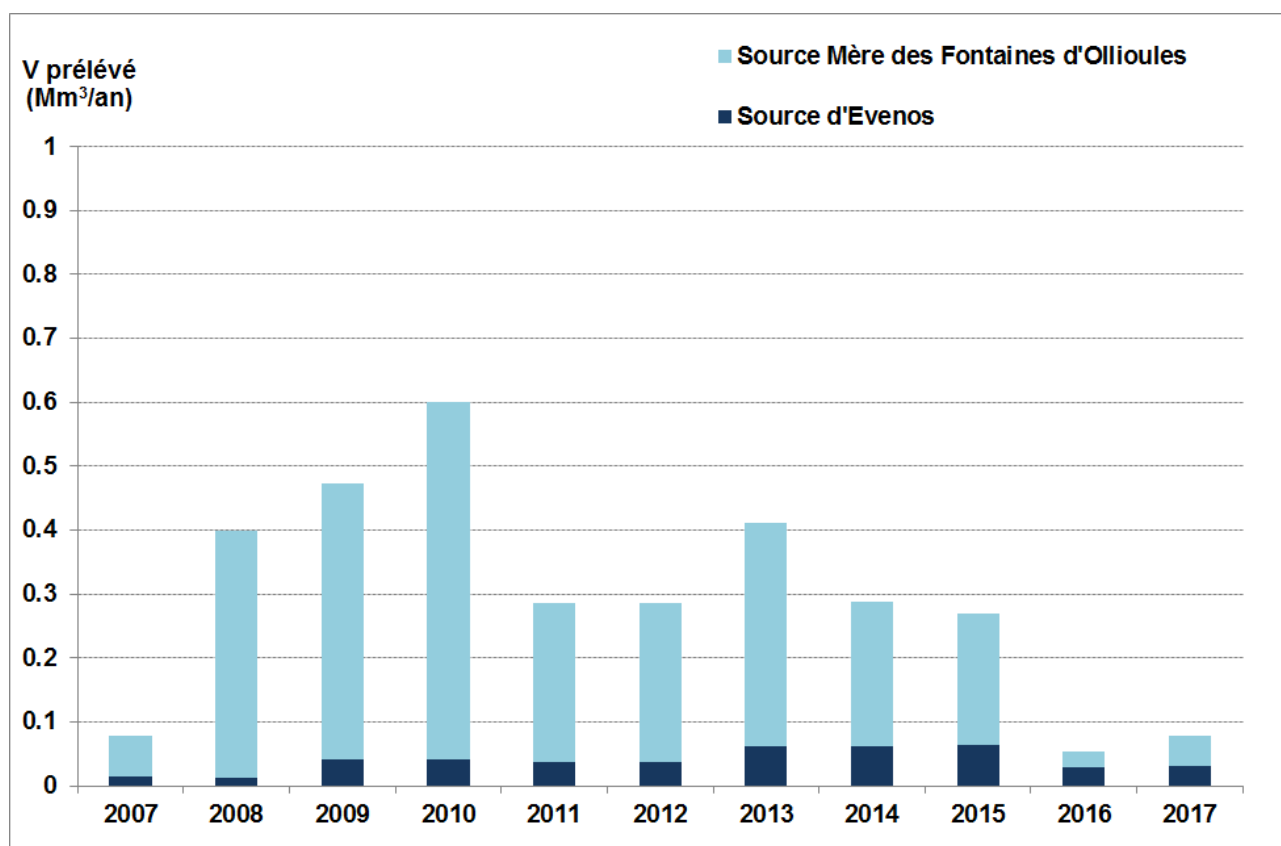


Campredon (1997) donne une description précise des captages de la commune d'Ollioules :

- Source captée Mère des Fontaines (60 m NGF). Il s'agit d'une source captée par une galerie souterraine creusée dans les dolomies du Jurassique supérieur. Le débit varie entre 25 et 100 m³/h (soit entre 7 et 27 l/s).
- Puits du Trou de Bombe (73 m NGF). Il s'agit d'un puits naturel de type karstique ouvert en rive gauche de la Reppe. Ce puits est prolongé par une galerie qui recueille et collecte les écoulements souterrains. Le débit moyen serait d'environ 30 m³/h (soit environ 8 l/s).
- Le forage de la Ripelle (z=150 m NGF) présente une profondeur de 187 m. Il intéresse les calcaires urgoniens. Les venues d'eau sont localisées entre 160 et 197 m de profondeur ; le débit moyen d'exploitation était en 1997 de 18 m³/h.
- Le trou des Italiens correspond à des ouvrages militaires creusés dans la paroi rocheuse en pied de falaise en rive droite de la Reppe. Ces galeries fonctionnent en sources de débordement en cas d'orages.

Ces ressources ne constituent qu'une partie de l'alimentation en eau de la commune qui peut diversifier ses apports par des emprunts auprès de la SCP ou des communes voisines (Sanary, Six Fours et la Seyne). Les volumes prélevés sont très variables et relativement faibles ces dernières années (< 300 000 m³/an).

Figure 87 : Volumes prélevés pour l'AEP dans les massifs des Gorges d'Ollioules.



4 . LES BESOINS FUTURS EN EAU POTABLE

4.1 NOTRE APPROCHE

4.1.1 ELEMENTS DE METHODE

GENERALITES

L'analyse des besoins futurs est basée sur une approche en deux phases :

- Analyse des besoins à moyen terme (2030). Cette analyse repose sur des données déjà existantes qui sont disponibles dans différents documents de planification territoriale.
- Analyse des besoins sur le long terme (2050). C'est une prospective plus hasardeuse car les documents de planification territoriale ne proposent quasiment jamais d'estimations à cet horizon temporel. Il s'agit alors de proposer des hypothèses sur la croissance démographique potentielle et sur les volumes d'eau à distribuer à la population.

Le choix d'un horizon de long terme (2050) peut se justifier par la temporalité de la mise en place d'une politique publique comme celle de l'instauration de zones de sauvegarde. Avec une étude de définition en 2020, il faudra probablement attendre 2025-2030 pour observer la traduction effective des zones de sauvegarde dans les documents d'urbanisme et la mise en place de politique volontaire pour une protection efficace et durable de la ressource en eau.

Ainsi, on peut logiquement postuler que la définition des zones de sauvegarde vise à satisfaire un schéma de mobilisation de la ressource en eau qui doit répondre aux besoins sur une fenêtre temporelle 2030-2050.

De plus, avant de faciliter la compréhension de ces éléments de prospective, nous avons regroupé les communes dont les besoins actuels ou futurs sont ou pourraient être satisfaits par des eaux des karsts de la Sainte Baume dans des zones géographiques « cohérentes » (65 communes) :

- Commune du Val d'Issole et du Caramy (communes dans le bassin versant en amont du barrage de Carcès).
- Commune du Parc Naturel Régional de la Sainte Baume.
- Communes du littoral varois (environs proches des massifs de la Sainte Baume).
- Communes du Val d'Huveaune (depuis St Zacharie jusqu'à Marseille).
- Communes du littoral des Bouches du Rhône.

La carte ci-dessous localise ces zones géographiques et liste les communes intéressées.

Notons que nous avons exclu du champ de l'analyse certaines communes pourtant « proches » du PNR car elles disposent de ressources souterraines locales autres que celles des aquifères karstiques :

- Hyères et communes voisines (ressource principale provenant des alluvions du Gapeau).

- Commune de la dépression permienne : Puget-Ville, Carnoules, Pignans,... (ressources provenant des aquifères du Muschelkalk et du Jurassique en bordure Nord de la plaine).
- Communes au Nord du PNR (aquifères karstiques majeurs du Jurassique supérieur, dont celui de la St Victoire).

Figure 88 : Localisation des zones géographiques.



DONNEES POUR 2030

Concernant l'horizon temporel 2030, nous avons récolté les estimations de population disponibles dans différents documents de référence. Il y a une hétérogénéité des données selon les départements.

Pour le département du Var, ce type de données a déjà fait l'objet d'une analyse rigoureuse dans différents documents de cadrage :

- Schéma des ressources et de l'alimentation en eau du Var (CG83, 2006 et 2012).
- Données de l'Observatoire départemental des ressources pour l'alimentation en eau potable (2016). Ces données proposent une estimation de la population en 2030 pour toutes les communes du Var. Cette estimation est présentée sous la forme d'une estimation haute et basse. Nous avons choisi de conserver dans cette étude les estimations hautes. C'est un choix méthodologique important : si pour les zones géographiques de communes du PNR, et celles du val du Caramy et de l'Issole, les écarts en termes de prospective à 2030 sont relativement faibles (de l'ordre de 10 000 habitants en plus), ce n'est pas le cas pour les communes de la bordure littorale du Var. L'estimation haute à 2030 est à environ 500 000 habitants ; l'estimation basse est à 450 000 habitants.

Pour le département des Bouches du Rhône, les données de population ont dû être consolidées principalement à partir des données de l'INSEE. Pour estimer l'augmentation des populations en 2030, commune par commune, nous avons choisi de prolonger la tendance « récente » observée entre 2010 et 2015 (tendance exprimée en taux d'accroissement par an). Pour compléter cette approche, nous sommes allés chercher des éléments de prospective dans les PLU :

- Le PLUi du territoire Marseille Provence indique qu'entre 1999 et 2012 la croissance démographique moyenne annuelle était de 0,5%. Elle aurait tendance à s'essouffler depuis 2007 et est relativement inégale selon les communes. Dans notre périmètre d'étude, Ceyreste est une commune attractive alors que Carnoux et Cassis perdent de l'attractivité et des habitants sur la même période. Un des enjeux identifié est la lutte contre l'étalement urbain et la préservation des ressources. Ce PLUi mentionne aussi un potentiel minimum constructible d'environ 45 000 logements ; l'objectif de production de logements est compris entre 60 et 75 000 logements.

- Le PLU d'Aubagne a connu une croissance en population relativement limitée entre 1999 et 2011 (+0,6% par an) ; cette tendance est cohérente avec un faible rythme de production de logements (132 logements par an en moyenne). D'ici 2030, l'objectif est de produire 3300 à 3500 logements ; le potentiel maximal de logements est estimé entre 3300 et 5 200 unités.

- Le PLU d'Auriol (2012) rappelle que cette commune connaît une croissance démographique exceptionnelle depuis les années 70 (de 1970 à 2008, la population est ainsi passée de 3 278 habitants à près de 12 000 habitants). Le PLU indique la volonté des élus de ralentir cette croissance avec un objectif de +0,7% par an. L'objectif est donc d'accueillir « seulement » 2 000 habitants supplémentaires en 2030.

- Le PLU de Cuges-Les-Pins note un ralentissement de l'augmentation de sa population depuis le début des années 2000 (de 4% par an à + 2,6% par an). Aujourd'hui, on observe une augmentation de population de l'ordre de +120 habitants/an. La volonté des élus est de contrôler cette évolution au regard de sa capacité à produire des nouveaux logements ; le Plu affiche une ambition de limiter l'augmentation à + 1000 habitants pour 2030.

- Le PLU de Gémenos indique que la commune connaît une croissance de population continue depuis les années 1970 mais qui a tendance à se stabiliser. Entre 1997 et 2007, le taux de croissance annuel était d'environ 1%. Nous n'avons pas trouvé dans le PLU de prospective sur les évolutions de

population ; nous avons considéré une hypothèse de croissance d'environ 0,7% par an d'ici 2030 (soit une augmentation de population de l'ordre de 900 personnes).

- Le PLU d'Evenos vise à limiter la croissance démographique à environ 30 habitants supplémentaires par an.

Pour les communes de Carnoux, de Saint Cyr-sur-Mer et de Cassis, nous avons fait l'hypothèse d'une croissance nulle qui serait dans la continuité des observations entre 2010 et 2015.

METHODE POUR 2050

Concernant l'horizon temporel 2050, l'approche est nécessairement plus incertaine. Nous avons privilégié une approche avec une estimation haute et une estimation basse.

Il nous semble en effet difficile de prédire à cette échelle temporelle les évolutions du territoire qui dépendent de nombreux facteurs locaux, nationaux, voire internationaux : disponibilité au sol pour la construction de nouveaux logements, prix du foncier, orientations nationales en matière d'habitats, flux migratoires,...

Pour les communes varoises, le taux de variation annuelle a été fixé à 0,1% pour l'estimation basse et à la moyenne du taux de variation par zones géographiques pour l'estimation haute.

Pour les communes des Bouches du Rhône qui présentent des taux actuels relativement faibles (<1% par an), le taux de variation annuelle a été fixé à 0,05% pour l'estimation basse et à 1% pour l'estimation haute.

A titre d'information, concernant le territoire de la Métropole Marseille Provence, le dire d'Etat indique que les projections démographiques de l'INSEE (outil OMPHALE) à l'horizon 2050 prévoient une croissance démographique de l'ordre de 0,2 %

La détermination des besoins supplémentaires en eau potable est basée sur l'hypothèse d'un besoin moyen par jour et par habitant de l'ordre de 300 litres.

En effet, les estimations les plus récentes de volumes distribués permettent d'estimer une moyenne d'environ 210 l/s/ha (Conseil Général du Var, 2012) et des pertes moyennes sur les réseaux de l'ordre de 70% sur le Territoire.

4.1.2 PROSPECTIVES EXISTANTES

DEPARTEMENT DES BOUCHES-DU-RHONE

Pour le Département des Bouches-du-Rhône, on dispose du schéma départemental d'alimentation en eau potable (TERRA13, 2014). On y trouve des informations utiles sur les communes adhérentes ou en bordure du PNR :

- Dépendance partielle de la commune d'Aubagne aux eaux souterraines (environ 50%).
- Dépendance totale aux eaux souterraines pour les communes de Roquevaire, Gémenos et Cuges-Les-Pins.

Rappelons que les autres communes voisines sont alimentées par le Canal de Marseille (prise d'eau sur la Durance à St Estève-de Janson) ; les prélèvements en Durance pour ce Canal auraient diminué de 140 Mm³/an entre 1995 et 2005 à environ 100 Mm³/an entre 2005 et 2015.

Les communes intéressées par l'étude sont jugées comme partiellement sécurisées.

Ce schéma ne donne pas d'estimations des besoins actuels et futurs pour ces communes.

DEPARTEMENT DU VAR

Pour le Département du Var, on dispose de plusieurs sources documentaires complémentaires :

- Schéma départemental de mobilisation des ressources et de l'alimentation en eau (CG 2006 et 2012)
- Données de projection démographiques pour l'alimentation en eau potable (Département du Var, 2016).
- Etude prospective sur les besoins en eau potable des contreforts Nord de la Sainte-Baume (EGIS, 2011).
- Scénario tendanciel validé du SAGE du bassin versant du Gapeau. (BRLi, 2017).

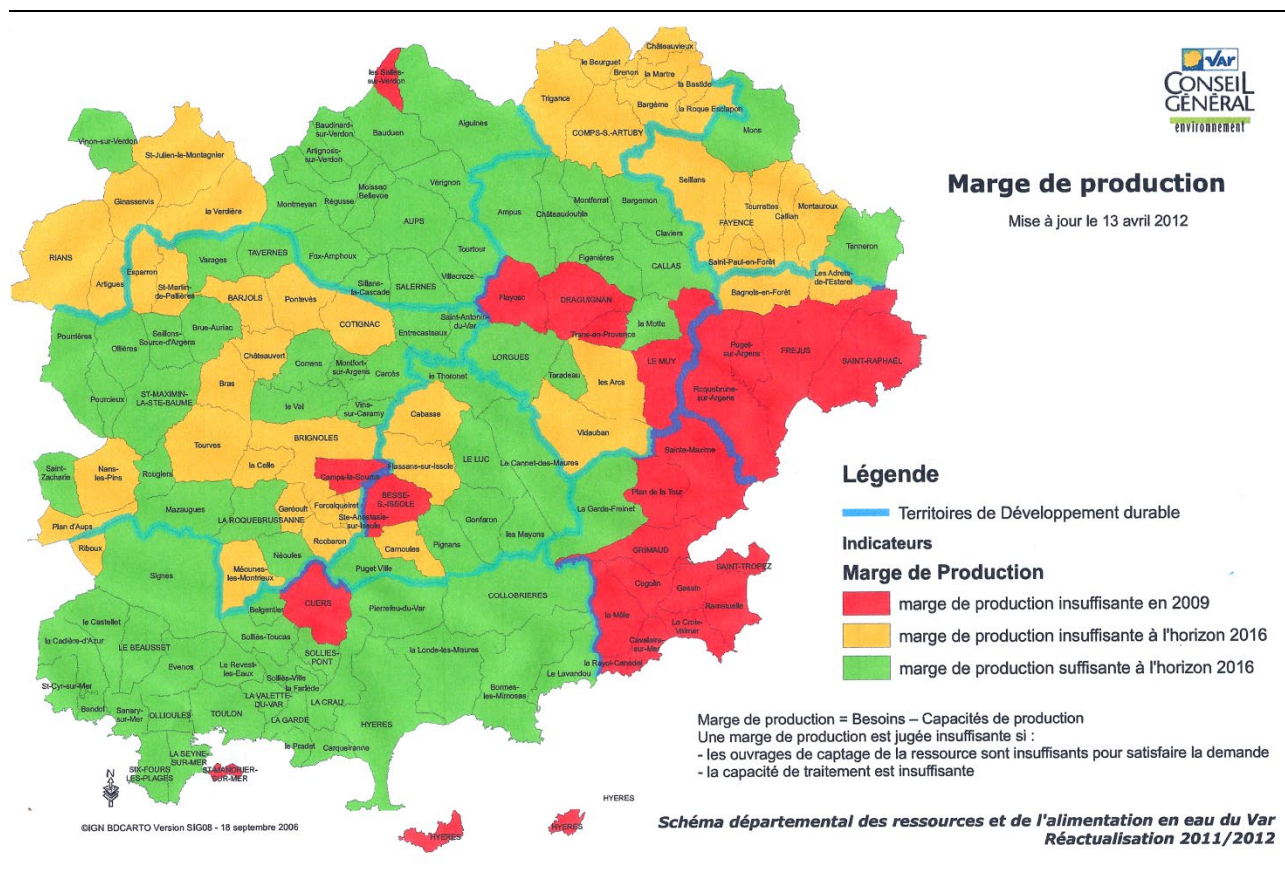
Les données démographiques sont discutées plus avant dans le rapport.

Le schéma départemental donne des informations utiles à la compréhension des enjeux de mobilisation de la ressource en eau.

On y trouve des informations commune par commune sur le degré de sécurisation, sur la capacité de mobilisation et de traitement des eaux, sur le rendement des réseaux,... Concernant les communes au sein du PNR qui mobilisent des ressources en eau issues d'aquifères karstiques, deux problématiques majeures apparaissent : des problèmes de turbidité en cas d'orages et pour une majorité de communes, une absence de diversification de la ressource en eau.

Une prospective relativement robuste sur les marges de production commune par commune est aussi proposée. Elle est basée sur la confrontation entre capacités de production et de traitement de la ressource et les besoins attendus en 2016 (en pointe et en moyenne). On peut observer qu'un nombre significatif de communes dans le PNR ou dans sa proximité immédiate présente actuellement des marges de production insuffisantes pour satisfaire les besoins. Il s'agit en majorité de marges insuffisantes en cas d'étiages estivaux sévères et prolongés.

Figure 89 : Marges de production des communes varoises (d'après CD83, 2012).



L'étude EGIS (2011) avait pour objectif de définir les besoins en eau potable du département du Var à l'horizon 2030.

Cette étude majeure fournit les informations suivantes :

- Depuis 1975, le Var est le département qui connaît la plus forte croissance démographique en région PACA. D'après de rapport VAR 2030 la population varoise a augmenté de 360 000 habitants entre 1975 et 2006. L'hypothèse centrale retenue dans le cadre de l'estimation de la population varoise à l'horizon 2030 prévoit une augmentation de 250 000 habitants supplémentaires à l'échelle du département. La population départementale serait ainsi portée à près de 1,235 millions d'habitants permanents en 2030. Selon EGIS (2011), cette hypothèse semble correspondre à une fourchette haute, sans qu'aucune politique volontariste de maîtrise de ce développement ne soit mise en place.

- L'hypothèse retenue sur le territoire Provence Verte est un accroissement de population de 40 000 habitants à horizon 2030. En première analyse, il apparaît que le Pole Saint Maximin, Brignoles, Garéoult sera renforcé. Ce Pôle représentera 73% de la population supplémentaire, donc près de 73 % des besoins futurs du territoire Provence Verte. C'est une observation importante car ce pôle urbain est situé à proximité de la ressource du Nord Sainte Baume.

- L'hypothèse retenue pour cette étude sur le territoire Provence Méditerranée est un accroissement de population de 50 000 habitants à horizon 2030.

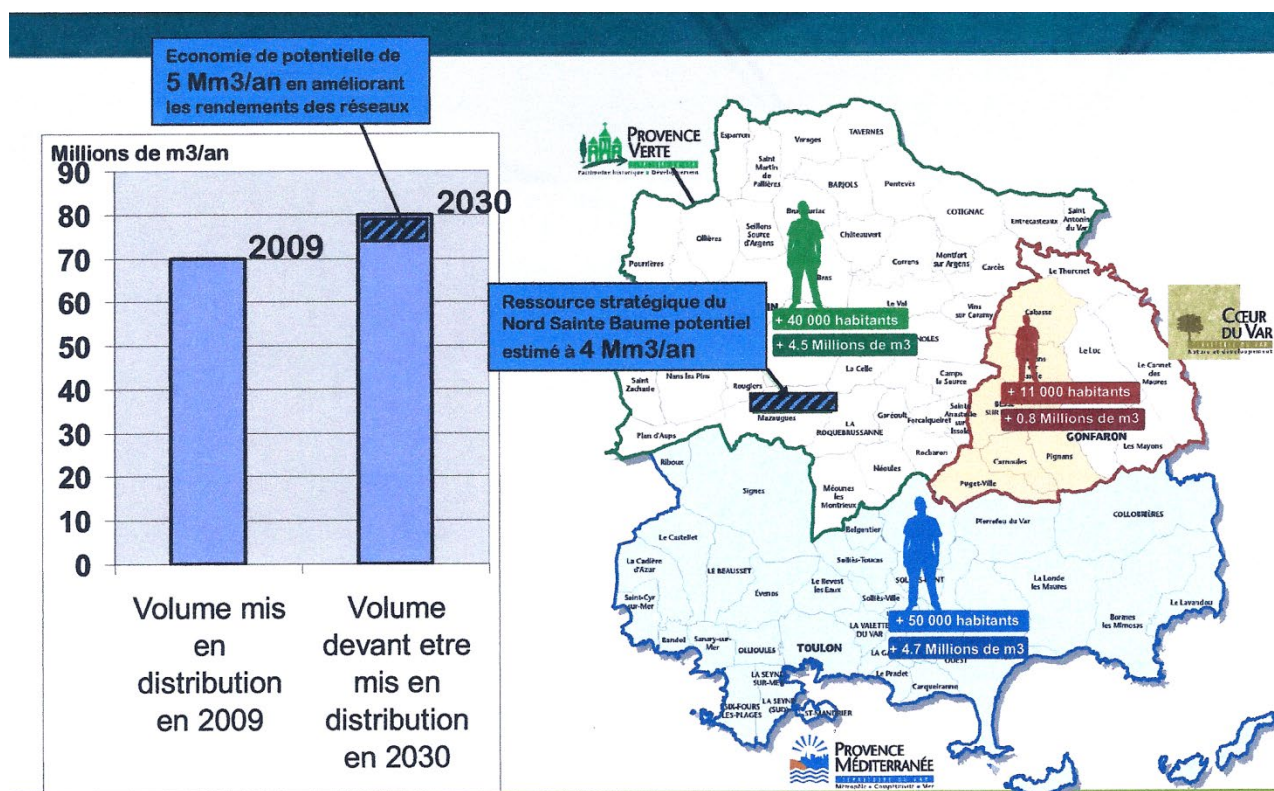
Côté Varois, on a donc une perspective d'augmentation des populations à l'intérieur ou à proximité du PNR de l'ordre de 100 000 eH. Selon EGIS (2011), cela implique une augmentation de besoins en eau potable de l'ordre de 10 Mm³/an. L'amélioration potentielle des rendements des réseaux permettrait un gain d'environ 5 Mm³/an en production.

Le Département du Var travaille depuis plusieurs années sur un schéma de mobilisation des eaux du karst du plateau de Mazaugues pour répondre à cette augmentation du besoin en eau potable.

EGIS (2011) identifie plusieurs scénarios :

- Scénario 1 : Soutien d'étiage du Caramy en vue de l'alimentation de la retenue de Carcès (3 M euros).
- Scénario 2 : Transfert vers le territoire Provence Méditerranée au travers de la galerie SCP (5 M euros).
- Scénario 3 : Transfert vers les pôles urbains de Provence Verte (10 M euros).
- Scénario 4 : Transfert vers le Val d'Issole (30 M euros).

Figure 90 : Synthèse des besoins au regard du potentiel de la ressource du Nord de la Sainte Baume (d'après EGIS, 2011).

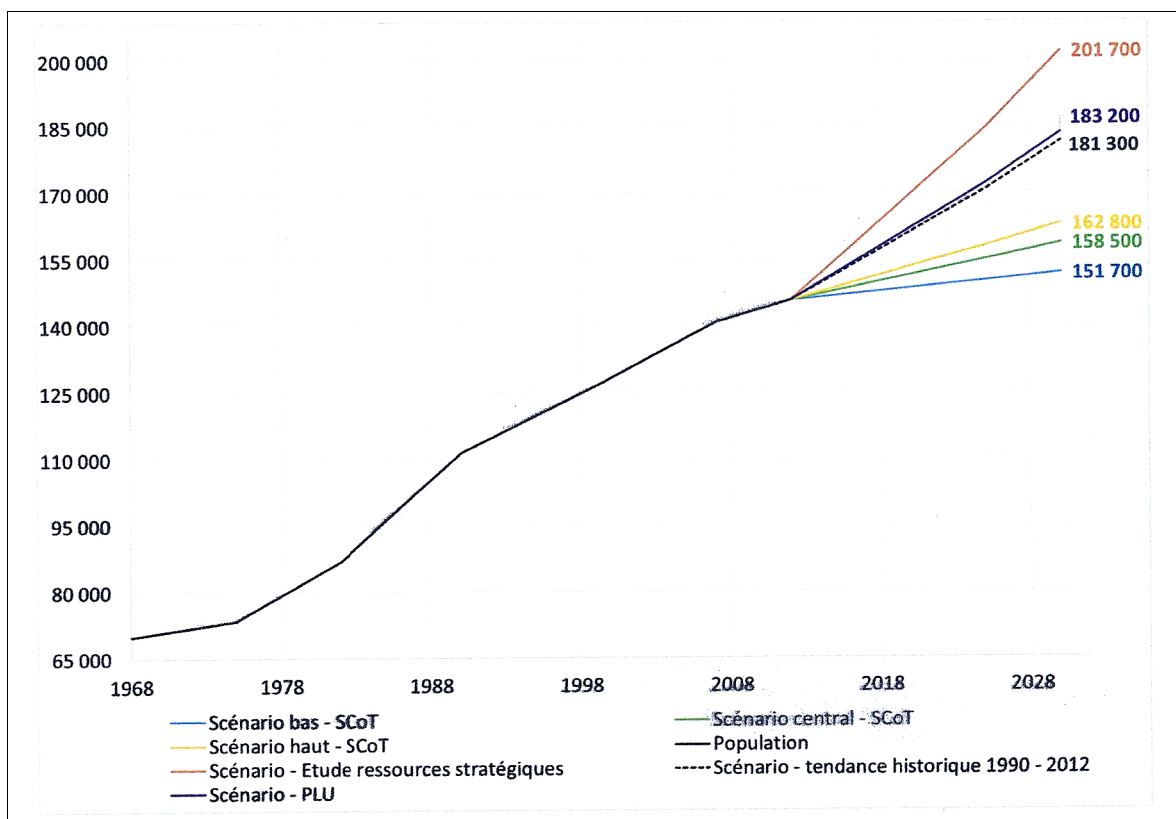


Quel que soit le scénario retenu à moyen terme, il apparaît que la mobilisation et donc la protection durable de la ressource en eau souterraine des contreforts Nord de la Sainte Baume deviendra indispensable pour pallier à l'augmentation attendue des besoins en eau potable.

Concernant le cas particulier du bassin versant du Gapeau, on dispose d'une prospective détaillée sur les besoins en eau potable dans le scénario tendanciel validé du SAGE du bassin versant du Gapeau.

BRLi (2017) avait alors proposé plusieurs trajectoires d'évolution de la population ; c'est celle basée sur l'exploitation des données disponibles dans les PLU qui a été prise comme référence. Elle indique le passage de 153 000 personnes à 183 000 personnes entre 2016 et 2030 (+ 30 000 habitants).

Figure 91 : Evolution de la population sur le territoire du SAGE du BV Gapeau entre 1968 et 2030 (d'après BRLi, 2017).



Dans le détail, il est proposé une évaluation de l'augmentation en population des communes dans ou en bordure du PNR :

- Signes : + 400 eH (+0.8 %).
- Méounes-Les-Montrieux : + 500 eH (+1.6%).
- Belgentier : + 200 eH (+0.7%).
- Solliès-Toucas : + 1300 eH (+1,5%).
- Solliès-Pont : + 2 700 eH (+1,4%).
- Cuers : + 4 700 eH (+2,3%).

Soit un total d'environ + 10 000 habitants supplémentaires sur ces communes.

Il est même proposé une évolution des besoins en eau potable d'ici 2030.

Pour les communes en bordure ou dans le PNR, le besoin actuel est d'environ 2,5 Mm³/an. Dans le l'hypothèse de rendements constants, le besoin en 2030 est estimé à environ 3,2 Mm³/an ; dans l'hypothèse d'une amélioration des rendements, ce besoin serait d'environ 2,8 Mm³/an.

Figure 92 : Evolution des besoins en eau potable sur le territoire du SAGE du BV Gapeau (d'après BRLi, 2017).

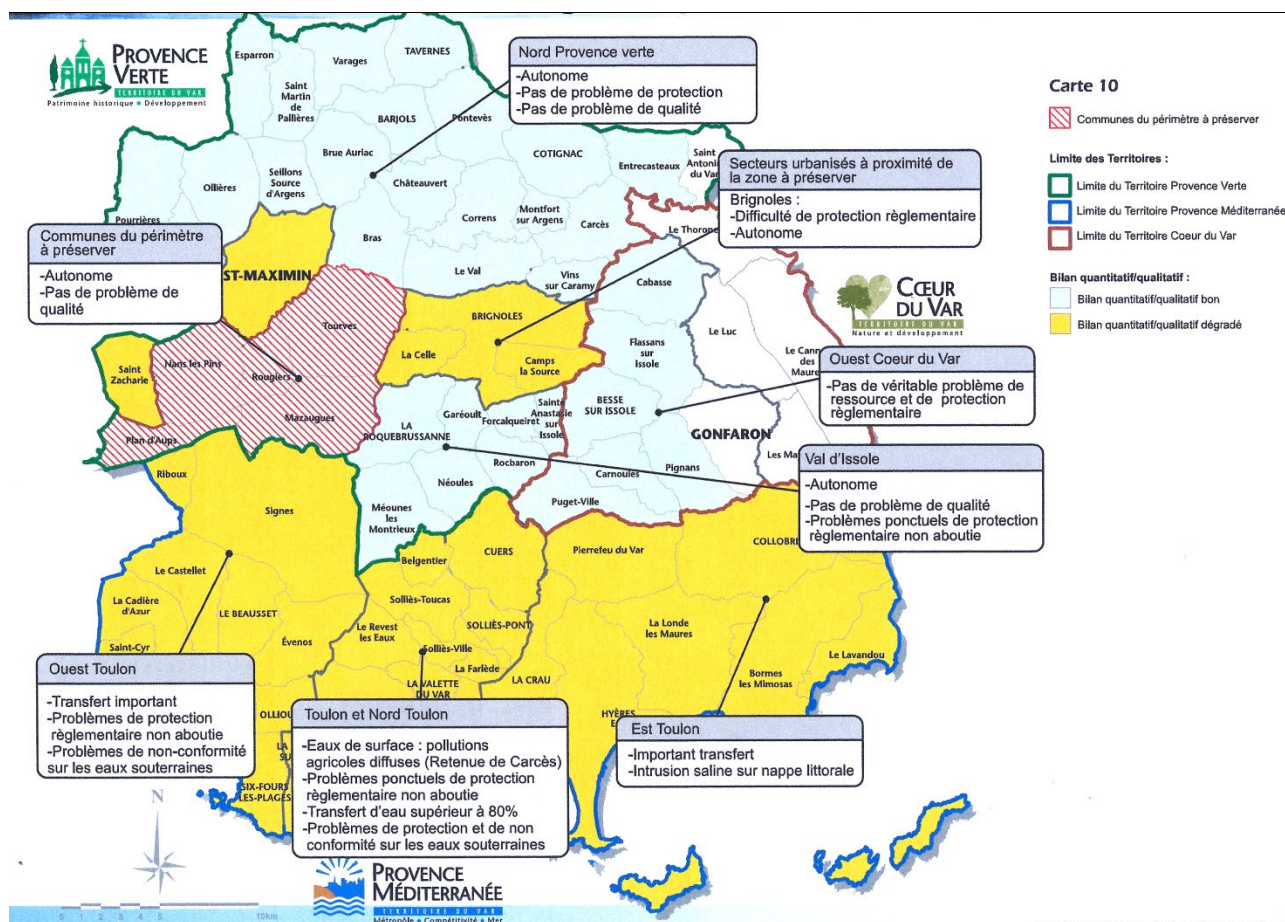
Commune	AEP en 2014				AEP en 2030: Conso/hab constante + rendements constants	AEP en 2030: Conso/hab constante + rendements améliorés		
	Rendement des réseaux (%)	Prélèvements (m3)	Achat d'eau (m3)	Besoins en eau total (m3)	Besoin en 2030 Conso/hab constante + rendements constants	Rendements améliorés	Economies d'eau liées à l'amélioration des rendements (m3/an)	Besoin en 2030 Conso/hab constante + rendements améliorés
Belgentier	74%	170 000	0	170 000	189 900	85%	20 900	169 000
Carnoules	63%	231 000	0	231 000	327 200	85%	72 000	255 200
Collobrières	84%	63 200	85 000	148 200	203 600	85%	2 000	201 600
La Crau	83%		993 000	993 000	1 343 600	85%	26 900	1 316 700
Cuers	77%	642 000	50	642 050	920 000	85%	73 600	846 400
La Farlède	76%	186 000	468 000	654 000	803 700	85%	72 300	731 400
Hyères	80%	5 191 000	325 000	5 516 000	6 366 200	85%	318 300	6 047 900
La Londe-les-Maures	87%		1 104 000	1 104 000	1 158 200	85%	-23 200	1 181 400
Méounes-lès-Montrieux	61%	175 000	15 000	190 000	246 300	85%	59 100	187 200
Pierrefeu-du-Var	72%		455 000	455 000	549 200	85%	71 400	477 800
Pignans	85%	328 000	0	328 000	450 300	85%	0	450 300
Puget-Ville	78%	244 000	0	244 000	316 500	85%	22 200	294 300
Signes	66%	249 000	91 000	340 000	387 700	85%	73 700	314 000
Solliès-Pont	78%	615 000	111 000	726 000	910 700	85%	63 700	847 000
Solliès-Toucas	72%	374 000	47 000	421 000	532 400	85%	69 200	463 200
Solliès-Ville	70%	0	240 000	240 000	251 800	85%	37 800	214 000
TOTAL		8 468 000	3 934 000	12 402 000	14 957 000		960 000	13 997 000

4.1.3 INFORMATIONS SUR LES DIFFICULTES DE PRODUCTION SUR LES CAPTAGES EXISTANTS

Eaux Souterraines

Pour le département du Var, le volume total des eaux prélevées à des fins AEP, toutes origines confondues sur le secteur d'étude est de plus de 70 millions de m³. EGIS (2011) insistait sur le fait que la façade littorale est dépendante des importants transferts des eaux superficielles (Carcès et Verdon) vers le territoire Provence Méditerranée. Plus de 60% de la fourniture en eau de ces collectivités est assurée par des eaux d'origine superficielle.

Figure 93 : Diagnostic quantitatif et qualitatif du Département du Var (EGIS, 2011).



Notons le cas particulier de la commune de Brignoles : la difficulté de protection des captages dans les zones urbanisées dégrade le bilan qualitatif et le classe comme moyen. Cette commune est engagée dans une recherche d'eau, a priori locale, pour interfacer ses prélèvements actuels.

Excepté quelques pollutions historiques très localisées, le problème récurrent de qualité des eaux des karsts concerne la turbidité.

Bien que ce paramètre soit lié à la nature intrinsèque de l'aquifère et non à des perturbations anthropiques, l'attention mérite d'être portée sur ce paramètre qui peut poser ponctuellement des problèmes d'exploitation.

La turbidité d'une eau est une mesure qui caractérise le poids de matière particulaire par unité de volume d'eau. Ce caractère turbide a pour origine, une teneur importante en matières fines en suspension (l'érosion, lessivage...), courante dans les milieux calcaires fissurés. Les principaux risques sanitaires liés à la turbidité sont microbiologiques de par la présence de parasites (virus et bactéries) qui peuvent se fixer sur les matières colloïdales. La limite de qualité vis-à-vis de ce paramètre est applicable au point de mise en distribution, et pour les eaux d'origine souterraine provenant de milieux fissurés présentant une turbidité périodiquement importante et supérieure à 2NFU. Cette limite est fixée à 1NFU.

Selon le Schéma Départemental du Var, les captages qui présentent des problèmes récurrents de turbidité sont les suivants :

- | | |
|-------------------|-------------------------|
| • Camps la Source | Forage du Claou du Jas. |
| • Tourves | Source des Lecques. |
| • Cuers | Forage de la Foux. |
| • Toulon | Ragas de Dardennes. |
| • Ollioules | Captages communaux |
| • Riboux | Forages des Lavandes. |
| • Nans les Pins | Forages de la Foux. |
| • La Celle | Forages du Vallon. |
| • Belgentier | Source de Gavaudan |

En général, ces problèmes de turbidité ne conduisent pas à l'abandon des captages mais à la recherche d'une autre ressource pour interfacer la production en cas d'orage. Le choix de la sécurisation repose souvent sur un raccordement aux réseaux du canal de Provence.

EAUX SUPERFICIELLES

Selon, EGIS (2011), les eaux provenant de la prise d'eau sur la retenue de Carcès présentent des taux de pesticides supérieurs au seuil fixé par la réglementation. Les eaux mélangées de la retenue de Carcès et de la SCP à l'usine de La Valette présentent également des problèmes de pesticides.

Les eaux des bassins versants de l'Issole et du Caramy, qui alimentent la retenue de Carcès ont été classées en 2005 en zone d'action prioritaire au titre de la DCE.

La problématique majeure sur le territoire d'étude concerne les dépassements réguliers des normes de potabilité vis-à-vis des produits phytosanitaires (en particulier terbuthylazine et AMPA) associés au développement eutrophique. En 2010, la Chambre de l'Agriculture du Var a mis en place un programme d'action pour accompagner l'agriculture dans une dimension durable et a ainsi pu mettre en place des Mesures Agro Environnementales (MAE) dans le cadre d'une ZSCE (Zone Soumise à Contrainte Environnementale) demandée par l'Agence de l'eau.

C'est une information importante. Ces problèmes de qualité, couplés à une diminution des volumes stockés consécutive à la baisse des précipitations observée ces dernières années, conduisent les gestionnaires à considérer cette ressource comme peu sûre et à réfléchir à une substitution totale ou partielle de cette ressource en eau. Les enjeux sont importants (environ 10 Mm³/an).

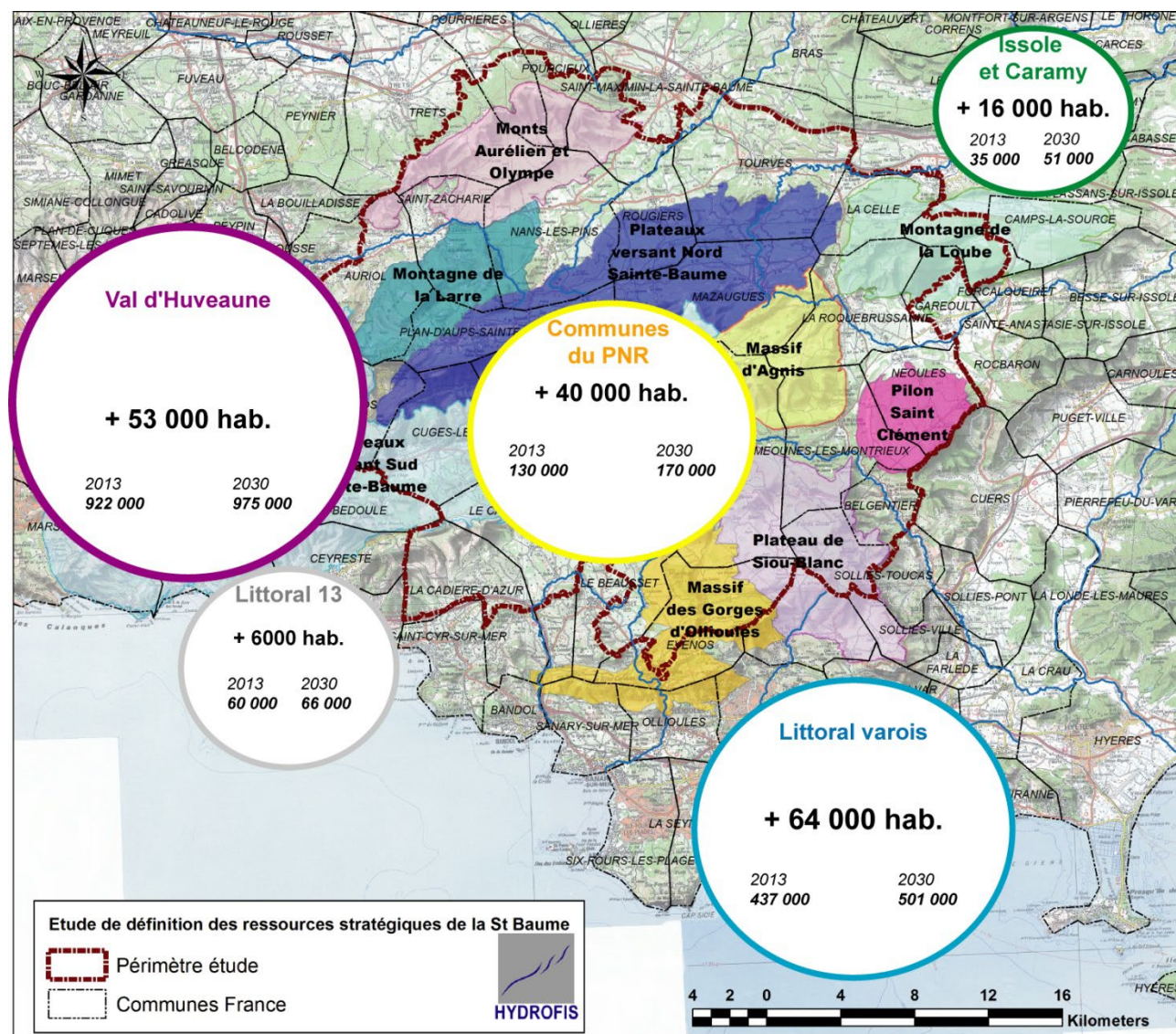
4.2 PROSPECTIVES POUR 2030

4.2.1 EVOLUTION ATTENDUE DE LA POPULATION

Les données de prospective commune par commune sont présentées en annexe du rapport.

La figure ci-dessous présente les chiffres de population en 2013 et ceux attendus en 2030.

Figure 94 : Evolutions de population de 2013 à 2030.



L'augmentation globale des populations en 2030 sur les communes dont les besoins actuels ou futurs sont ou pourraient être satisfaits par des eaux des karsts de la Sainte Baume, en partie ou en totalité, est d'environ 180 000 personnes.

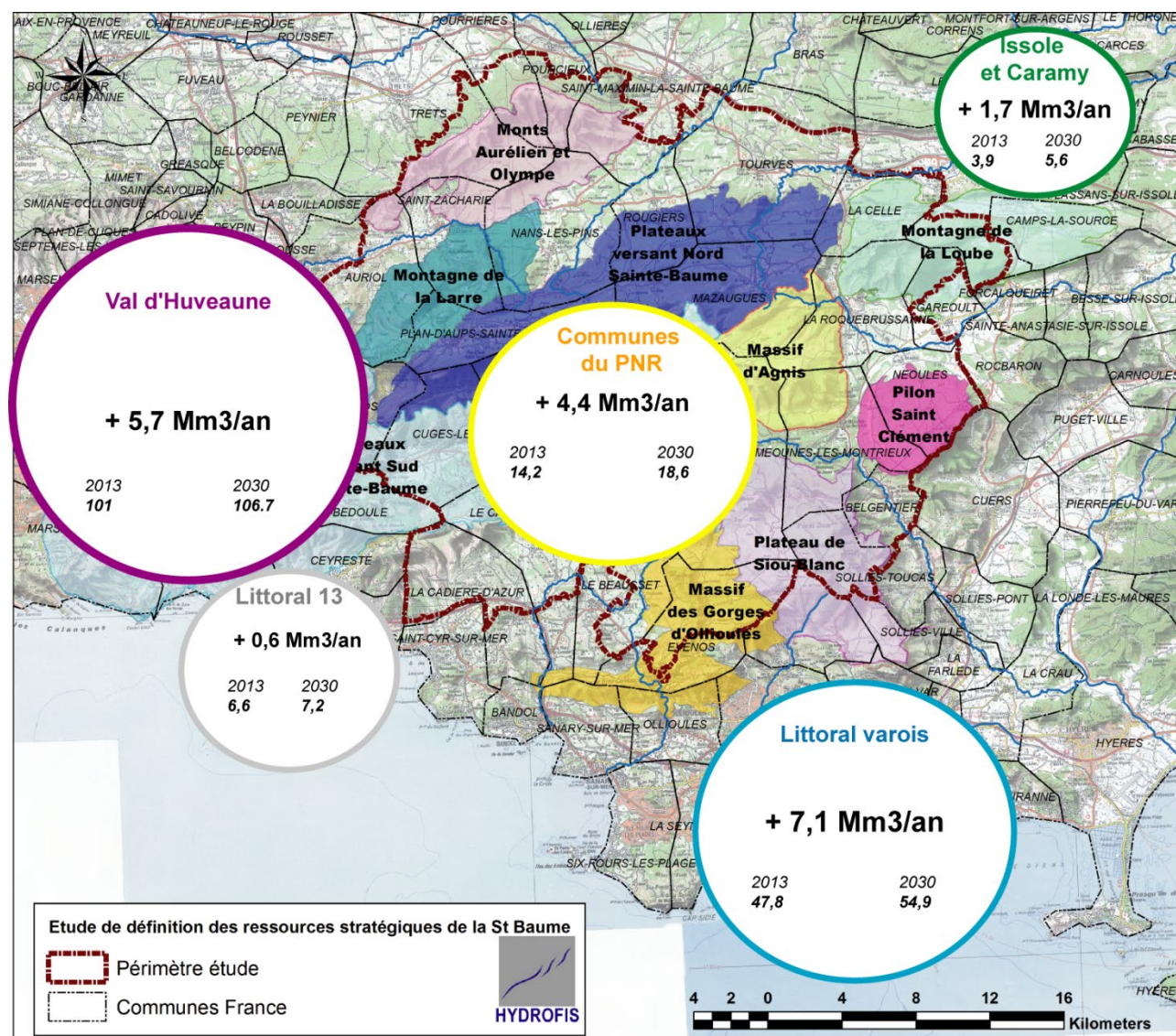
Elle est inégale avec des augmentations fortes attendues principalement autour de Toulon et de Marseille, malgré des taux d'évolution relativement faibles (< 1%).

4.2.2 LES BESOINS SUPPLEMENTAIRES EN EAU POTABLE

Rappelons que pour estimer les besoins en eau potable, nous avons pris comme hypothèse un besoin moyen de production par jour et par habitant de l'ordre de 300 litres.

La figure ci-dessous présente les estimations de besoin en eau potable en 2013 et ceux attendus en 2030. Rappelons que 1 Mm³/an correspond à environ 30 l/s en débit fictif continu.

Figure 95 : Evolutions des besoins en AEP de 2013 à 2030.



Cette prospective fait apparaître trois secteurs avec des besoins supplémentaires significatifs (entre 4 et 8 Mm³/an) : les communes du PNR, les communes du Val d'Huveaune et les communes du littoral varois.

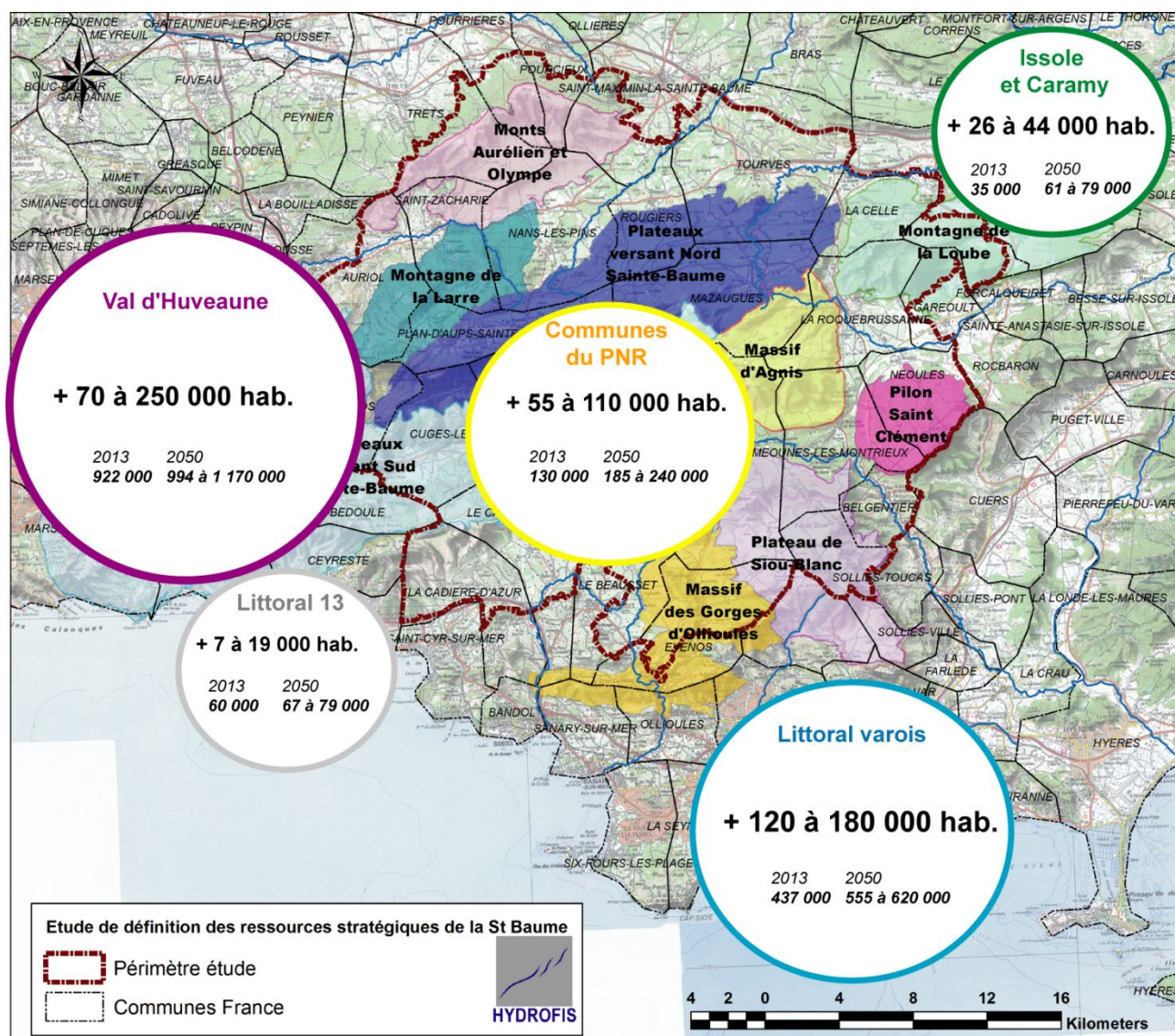
En cumulé, le besoin supplémentaire en eau potable est estimé à environ 20 Mm³/an.

4.3 PROSPECTIVES POUR 2050

4.3.1 EVOLUTION DE POPULATION

La figure ci-dessous présente les chiffres de population en 2013 et ceux attendus en 2050. Rappelons que les données de prospective commune par commune sont présentées en annexe du rapport.

Figure 96 : Evolutions de population de 2013 à 2030.

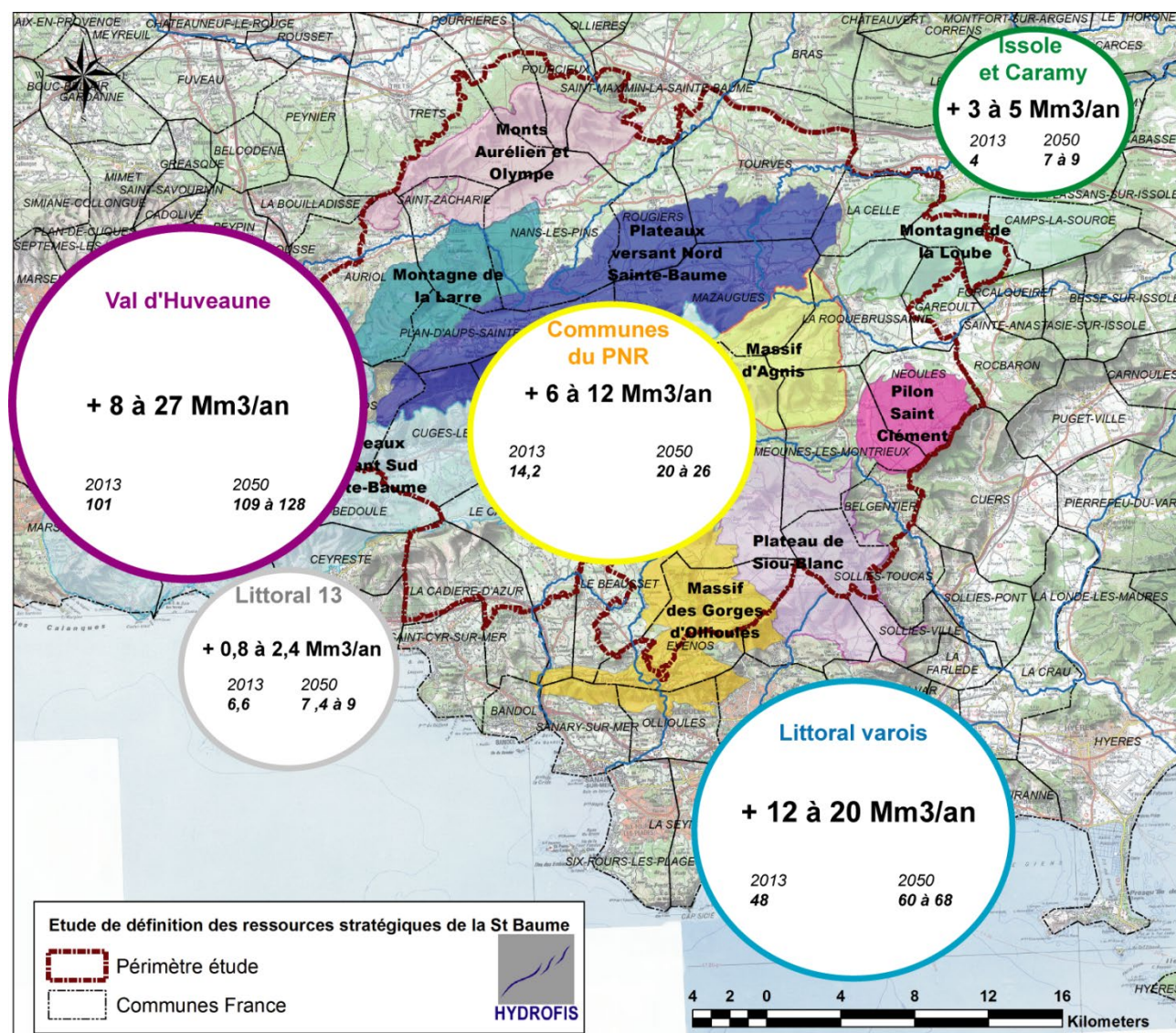


L'augmentation globale des populations en 2050 sur les communes dont les besoins actuels ou futurs sont ou pourraient être satisfaits par des eaux des karsts de la Sainte Baume, en partie ou en totalité, pourrait être comprise entre 280 et 600 000 personnes (premier palier en 2 030 de + 180 000 habitants).

4.3.2 EVOLUTION DES BESOINS EN EAU POTABLE

La figure ci-dessous présente les estimations de besoin en eau potable en 2013 et ceux attendus en 2030. De nouveau, rappelons que 1 Mm³/an correspond à environ 30 l/s en débit fictif continu.

Figure 97 : Evolutions des besoins en AEP de 2013 à 2050.



Selon les scénarios d'urbanisation, l'augmentation du besoin en eau potable pourrait être comprise entre 31 et 65 Mm³/an (soit un débit fictif supplémentaire compris entre 1 et 2 m³/s).

5 . QUELLES RESSOURCES FAUT-IL PRESERVER POUR LE FUTUR ?

Une zone stratégique pour la production actuelle et future, appelée aquifère stratégique, doit répondre à un ensemble de critères :

- La qualité chimique de l'eau souterraine doit être conforme ou encore proche des critères de qualité des eaux distribuées tels que fixés dans la directive 98/83/CE ;
- La ressource doit être importante en quantité ;
- Le (ou les) aquifère(s) doivent être bien situé(s) par rapport aux zones de forte consommation (actuelles ou futures) pour des coûts d'exploitation acceptables.

Selon l'approche définie dans le SDAGE, les zones de sauvegarde peuvent être classées en deux catégories:

- Zone de sauvegarde actuelle ou ressource structurante (ZSE) : ressource déjà fortement sollicitée dont l'altération poserait des problèmes immédiats pour les importantes populations qui en dépendent.
- Zone de sauvegarde future (ZSNEA) : ressource faiblement ou non sollicitée à ce jour mais à forte potentialité.

5.1 POURQUOI FAUT-IL METTRE EN PLACE DES ZONES DE SAUVEGARDE ?

La définition de zones de sauvegarde vise à une protection renforcée et durable des eaux souterraines. A ce titre, elle induira des réglementations, voire des interdictions des usages susceptibles de venir impacter la qualité des eaux de façon diffuse et continue, mais aussi ponctuelle et accidentelle. Ajoutons qu'elle aura aussi pour conséquence une « pression administrative » supplémentaire pour « travailler » sur les sources de pollutions potentielles pour essayer de réduire les risques au maximum.

On peut donc considérer que la mise en place de telles zones doit être strictement justifiée d'un point de vue socio-économique et doit répondre à une logique de satisfaction des besoins explicites en eau potable.

Dans notre approche, nous justifions la définition des zones de sauvegarde à l'aide de plusieurs arguments :

- Un besoin de protection renforcée des eaux souterraines de bonne qualité mais très vulnérables.
- Un besoin de protection des champs captants existants susceptibles de satisfaire les besoins à l'horizon 2030.
- Des besoins émergents en bordure du massif qui pourraient justifier l'exploitation de nouvelles ressources à moyen terme (2050).

Insistons : la localisation des zones de sauvegarde que nous proposons ici s'inscrit donc dans un schéma justificatif qui vise à satisfaire les besoins identifiés pour 2050, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif.

5.1.1 UN BESOIN DE PROTECTION RENFORCEE DES EAUX SOUTERRAINES DE BONNE QUALITE MAIS TRES VULNERABLES

Actuellement, la ressource en eau des karsts est de bonne qualité.

Hormis quelques problèmes récurrents de contamination bactérienne et de turbidité, les eaux souterraines présentent de bonnes caractéristiques au regard des normes actuelles de potabilité.

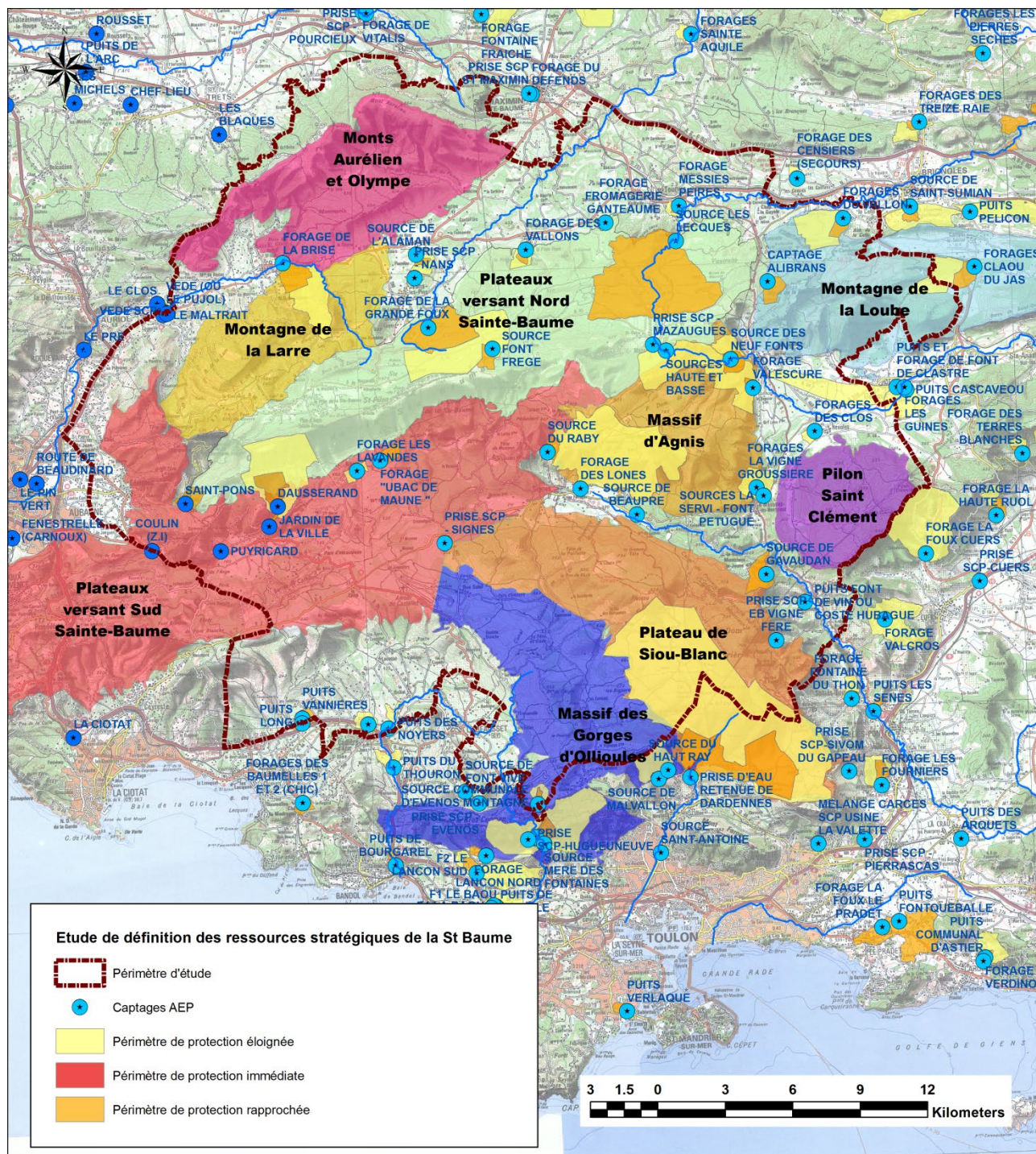
Cependant, la ressource en eau des karsts est très vulnérable, vis-à-vis des pollutions chroniques comme accidentelles. En particulier, en cas de pollution accidentelle, les vitesses de propagation dans le karst sont très importantes, ce qui va induire des surfaces à protéger très étendues. Cette vulnérabilité structurelle oblige à concevoir un schéma global à l'échelle du Territoire, qui vise à obtenir une sécurité structurelle des prélèvements en eau potable.

Notons qu'actuellement, globalement, les eaux souterraines sont peu menacées (faible nombre de sources de pollution potentielle). C'est une opportunité majeure pour le Territoire ; il s'agit dans ce cas de figure de mettre en place des politiques de conservation de la qualité des eaux, et non de reconquête. Cette ressource en eau, abondante et de qualité, est un atout pour le Territoire qu'il faut protéger par des politiques publiques volontaires.

5.1.2 UN BESOIN DE PROTECTION DES CHAMPS CAPTANTS EXISTANTS POUR SATISFAIRE LES BESOINS A L'HORIZON 2030

Cette étude a permis de proposer un bilan précis des prélèvements AEP. La carte ci-dessous précise la localisation des champs captants et l'état de leur protection réglementaire.

Figure 98 : Localisation des champs captants et de leurs périmètres de protection.



On peut constater qu'une majorité des communes du Territoire du Parc utilisent les eaux souterraines comme ressource principale pour l'alimentation en eau potable : Gémenos, Cuges-les-Pins, Riboux, Signes, Méounes-Les-Montrieux, La Roquebrussanne, Camps-La-Source, La Celle, Rougiers, Tourves, Nans-Les-Pins, Plan d'Aups et Sainte-Zacharie.

A ce jour, sur la base des informations recueillies sur les réserves des systèmes karstiques et sur les augmentations attendues de population, il apparaît que les ressources locales sont suffisantes pour assurer l'alimentation potable de ces communes à l'horizon 2030 (+ 4,4 Mm³/an supplémentaires).

Ajoutons que la sollicitation de ces ressources locales peut être envisagée comme essentielle. Certaines communes sont topographiquement isolées, souvent en altitude. Le secours par l'adduction d'eaux superficielles en provenance des réseaux du Canal de Marseille et de la SCP doit être considéré comme la dernière des solutions ; selon les situations, les coûts de telles adductions en investissement comme en exploitation seront prohibitifs.

Cependant, si on intègre au schéma les communes voisines du Parc, on peut observer que la production cumulée actuelle des champs captants est insuffisante pour assurer la production en eau potable ; des compléments sont nécessaires grâce aux transferts d'eaux superficielles en provenance des bassins versant de la Durance et du Verdon.

5.1.3 DES BESOINS EMERGEANTS QUI POURRAIENT JUSTIFIER UNE EXPLOITATION AUGMENTEE DES RESSOURCES LOCALES A MOYEN TERME

Les besoins en eau potable vont croître à l'horizon 2030 (+ 20 Mm³/an pour le Territoire et sa périphérie) et à l'horizon 2050 (+30 à +60 Mm³/an).

Il existe une ressource en eau souterraine qui pourrait contribuer à satisfaire pour partie les besoins nouveaux : + 7 Mm³/an pour l'aquifère du plateau de Mazaugues et + 3 Mm³/an pour le système drainé par le Ragas de Dardennes (avec une gestion active de ces aquifères), potentiel minimum de 6 à 12 Mm³/an pour le système karstique drainé par les sources de Port-Miou et de Bestouan.

Notons que ces volumes sont théoriquement suffisants pour envisager les augmentations de besoin à l'horizon 2030. Une articulation avec les capacités techniques d'approvisionnement en eau du Canal de Marseille et du réseau de la SCP sera nécessaire (exploitation souhaitable des réseaux qui présente l'avantage d'être en place et d'être en capacité de secours en cas d'année sèche ou de pollution localisée des eaux souterraines).

On pourrait envisager satisfaire les nouveaux besoins par la seule sur-sollicitation des réseaux d'eaux superficielles. Cette politique pourrait être jugée comme hasardeuse : les tendances récentes et les prospectives sur le changement climatique laissent craindre une diminution forte des pluies efficaces en Provence mais aussi sur les Basses Alpes ; le risque d'étiage sévère sur les bassins versant de la Durance et du Verdon est réel. Il faut envisager des crispations, des tensions, voire des conflits, autour de la gestion de la ressource en eau à l'horizon 2050.

Répetons qu'une politique publique de protection forte et durable d'une ressource en eau actuellement de bonne qualité doit être considérée comme une opportunité pour le Territoire. Cette ressource doit être envisagée comme un pilier essentiel du développement durable du Territoire autour de deux grands enjeux (alimentation en eau potable et agriculture).

5.2 QUELLES ZONES DE SAUVEGARDE ?

Nous proposons ici une synthèse des informations recueillies pour chaque unité hydrogéologique :

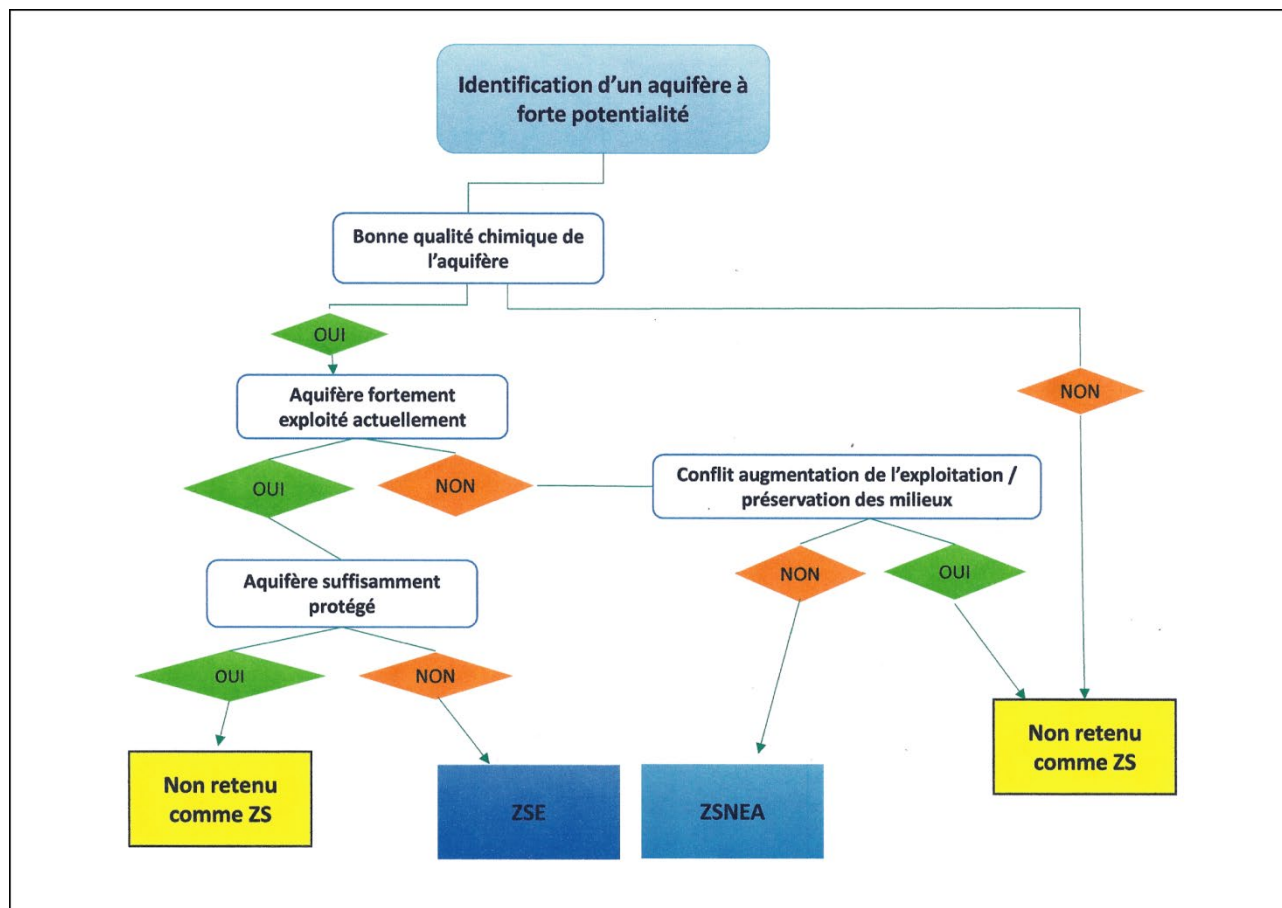
- Qualification et quantification de la ressource en eau.
- Prélèvements actuels et futurs.
- Eléments sur la vulnérabilité.
- Sources de pollution potentielle.

Nous proposons aussi un avis sommaire sur l'intérêt d'une protection renforcée de l'unité hydrogéologique au regard des besoins actuels et futurs et du degré de protection actuelle de la ressource en eau.

Rappelons le principe directeur de la stratégie que nous proposons : il est impératif de sécuriser la ressource en eau potable d'un point de vue qualitatif mais en tenant compte des besoins estimés à un horizon 2050.

Le logigramme ci-dessous présente la logique qui a prévalu pour la justification d'une proposition de zone de sauvegarde :

Figure 99 : Logigramme utilisé pour la sélection des zones de sauvegarde.



5.2.1 Plateau de Siou Blanc

SYNTHESE

Unité du Plateau de Siou Blanc			
Ressource (Mm ³ /an)		Besoins (Mm ³ /an)	
Infiltration eaux de pluie	Entre 19 et 22 Mm3/an	Actuels	Entre 4 et 6 Mm3/an
Pertes cours d'eau	0	2030	Littoral varois : + 7 Mm3/an
Autres	0	2050	Littoral varois : + 12 à 20 Mm3/an
Captages structurants pour le territoire		Autres captages	
CC de Dardennes (aire toulonnaise)		CC de Gavaudan (Belgentier)	
Soutien d'étiage des cours d'eau			
Ce qui n'est pas relevé contribue au débit du Las.			
Qualité		Eléments de vulnérabilité	
Nitrates	< 10 mg/l	Sols	A priori peu développés - A confirmer en phase 2
Pesticides	Eau de bonne qualité. Des détections épisodiques de substances indésirables, surtout sur la source de Gavaudan.	ZNS	> 200 m
Polluants industriels		Infiltration ESUP	Sans
Autres			
Sources de pollution			
Urbanisation	Urbanisation faible sur la terminaison Nord-Ouest	Voies de communication	Quelques routes appartenant au réseau tertiaire
Activités agricoles	Anecdotiques	Carrières	Deux carrières à proximité du Ragas de Dardennes
Activités industrielles	Sans	Décharges	Deux sites à proximité du Ragas de Dardennes
		Rejet STEPUP	Sans

AVIS SOMMAIRE SUR L'INTERET D'UNE PROTECTION RENFORCEE

L'unité hydrogéologique au Plateau de Siou Blanc présente de nombreux avantages : eaux souterraines de bonne qualité, recharge importante, peu de source de pollution potentielle (à confirmer en phase 2 de l'étude).

Elle est d'ores et déjà exploitée pour l'alimentation en eau potable de l'agglomération toulonnaise avec des volumes (environ 5 Mm³/an) qui oblige à classer cette ressource comme stratégique pour le Territoire. A ce titre, nous proposons de renforcer la protection réglementaire de cette unité par la mise en place d'une ZSE.

Ceci étant, le projet KARSTEAU (CENOTE, 2018 et 2019) a permis de montrer qu'une augmentation des prélèvements est possible :

- Ainsi, une augmentation du débit d'exploitation à environ 300 l/s (environ 9 millions de m³ par an) serait envisageable sans mettre en péril les réserves. Des études complémentaires de type essai de pompage permettrait également de déterminer s'il est possible de prélever un débit supérieur. Cette augmentation de la production passerait nécessairement par pompage de la ressource en-dessous du niveau de résurgence actuel des sources. Ce type d'exploitation permettrait de passer à une gestion active de la ressource, avec alimentation du Las en aval de Dardennes et création d'une capacité accrue de stockage des pluies pour limiter les crues liées aux événements extrêmes de type méditerranéen en fin de période d'étiage. Cette ressource en eau est localisée dans les calcaires et dolomies fracturés et karstifiés.

- En appliquant un scénario de pompage permanent à 0,3 m³/s pour l'AEP dans le Ragas de Dardennes (c'est-à-dire dans le karst connecté), le niveau d'eau simulé descend dans le scénario le plus extrême à près de 0 mètre d'altitude, soit 90 mètres sous le niveau des sources. Le modèle montre ainsi que les écoulements rapides typiques du fonctionnement du karst de Dardennes permettent de recharger l'aquifère après une période d'étiage ou une succession d'années peu pluvieuses, engendrant une remontée jusqu'au seuil de débordement du lac. Ce type de prélèvement et d'exploitation, permettrait donc de capter une partie du débit de crue, tout en minimisant l'intensité de celles-ci.

- Toutefois, le choix d'une solution d'exploitation en gestion active doit également tenir compte des contraintes sur la qualité de l'eau exploitée. Dans le cas du barrage de Dardennes, la surexploitation du karst profond par un débit supérieur à celui des sources engendrera une inversion des écoulements entre le lac artificiel de Dardennes et le karst. L'eau du lac peut potentiellement véhiculer des matières en suspension (et engendrer un problème de turbidité), et/ou des pollutions organiques (par exemple le problème de géosmine actuellement présent dans le lac). Ces écoulements ne seront que temporaires, car lorsque le niveau d'eau diminue sous la cote approximative de 100 mètres, le lac se trouve déconnecté du karst du Ragas.

A terme, il serait donc possible de soutenir pour partie l'augmentation attendue des besoins en eau potable sur le littoral varois.

Notons que cette unité hydrogéologique est en continuité hydraulique avec les unités hydrogéologiques des plateaux du versant Sud de la Sainte Baume et des gorges d'Ollioules. Une surexploitation par pompage de n'importe laquelle de ces trois unités est donc susceptible de venir impacter le fonctionnement hydrogéologique des deux autres unités.

5.2.2 Pilon St Clément

SYNTHESE

Unité du massif du Pilon St Clément			
Ressource (Mm ³ /an)		Besoins (Mm ³ /an)	
Infiltration eaux de pluie	Environ 6 Mm3/an	Actuels	0
Pertes cours d'eau	0	2030	Zone PNR : + 4 à 5 Mm3/an - Zone Issole et Caramy : +1,7 Mm3/an
Autres	0	2050	Zone PNR : + 6 à 12 Mm3/an - Zone Issole et Caramy : + 3 à 5 Mm3/an
Captages structurants pour le territoire		Autres captages	
Sans		Sans	
Soutien d'étiage des cours d'eau			
La quasi-totalité des eaux infiltrées dans le Jurassique supérieur participe in fine au soutien d'étiage de l'Issole			
Qualité		Eléments de vulnérabilité	
Nitrates	< 10 mg/l	Sols	A priori peu développés - A confirmer en phase 2
Pesticides	Absence de qualitomètre	ZNS	Variable. Epaisseur faible (<100 m) pour l'impluvium le plus étendu (massif de St Quinis)
Polluants industriels		Infiltration ESUP	Sans
Autres			
Sources de pollution			
Urbanisation	Flanc Ouest - Quartiers urbanisés de Méounes-Montrieux	Voies de communication	Absence de voies de communication
Activités agricoles	Anecdotiques	Carrières	Sans
Activités industrielles	Sans	Décharges	Sans
		Rejet STEPUP	Sans

AVIS SOMMAIRE SUR L'INTERET D'UNE PROTECTION RENFORCEE

Ce massif est caractérisé par l'existence d'un système karstique de dimension limitée avec notamment une absence de réserve liée à sa disposition structurale. Les réserves statiques sont quasi-inexistantes et la ressource renouvelable modeste.

Actuellement, les eaux souterraines vont alimenter indirectement soit les eaux superficielles (principalement l'Issole, secondairement le Gapeau), soit le complexe alluvions-Trias qui est exploité pour l'AEP par forages.

Au vu de leur faible potentiel quantitatif et du rôle important pour le soutien des cours d'eau du Territoire, nous ne proposons pas de mobiliser ces eaux pour l'alimentation en eau potable, ce qui induit l'absence de renforcement de la protection des eaux souterraines de cette unité hydrogéologique.

5.2.3 Massif d'Agnis

SYNTHESE

Unité du massif d'Agnis			
Ressource (Mm ³ /an)		Besoins (Mm ³ /an)	
Infiltration eaux de pluie	Environ 16	Actuels	5 CC avec un volume prélevé entre 0,5 et 0,7 Mm3/an
Pertes cours d'eau	0	2030	Zone PNR : + 4 à 5 Mm3/an
Autres	0	2050	Zone PNR : + 6 à 12 Mm3/an
Captages structurants pour le territoire		Autres captages	
source des Neufs Fonds et forage de Valescure (La Roquebrussanne), forages de la Vigne Groussière (Méounes-Les-Montrieux), source du Raby et forage des Lônes (Signes)		Usine de Beupré (60 000 m3/an) +Sources haute et basse de Mazaugues	
Soutien d'étéage des cours d'eau			
Environ 15 Mm3/an en soutien des débits de l'Issole, du Caramy et du Gapeau			
Urbanisation		Eléments de vulnérabilité	
Nitrates	< 10 mg/l	Sols	A priori peu développés - A confirmer en phase 2
Pesticides	Eau de bonne qualité. Des détectations épisodiques de substances indésirables sur le forage de Valescure (La Roquebrussane)	ZNS	Excepté le plateau d'Agnis sur la bordure Sud, épaisseur > 200 m
Polluants industriels		Infiltration ESUP	Sans
Autres			
Sources de pollution			
Urbanisation	Quasi-inexistante	Voies de communication	D95 (4 km)
Activités agricoles	Anecdotiques	Carrières	Sans
Activités industrielles	Sans	Décharges	Sans
		Rejet STEP	Sans

AVIS SOMMAIRE SUR L'INTERET D'UNE PROTECTION RENFORCEE

Le massif d'Agnis correspond à un réservoir karstique de première importance avec une réserve statique importante (expertise CENOTE). La réserve renouvelable est et restera forte à l'horizon 2050 avec une recharge liée à l'infiltration des eaux de pluie estimée à environ 16 Mm³/an. Les eaux sont de bonne qualité et actuellement peu menacées par les activités anthropiques.

Ce massif a les capacités de satisfaire les augmentations des besoins en eau potable des communes locales à l'horizon 2050 (Mazaugues, Signes, Méounes les Montrieux, La Roquebrussanne et ses communes voisines).

La protection réglementaire actuelle par les périmètres de protection est forte mais pas complète (environ 40% de l'impluvium karstique).

Ajoutons que le massif d'Agnis joue le rôle de château d'eau pour trois cours d'eau de grande valeur écologique : le Gapeau, l'Issole et le Caramy.

Au vu de tous ces arguments, il nous semble justifié de proposer un renforcement de la protection des eaux souterraines de cette unité hydrogéologique pour garantir les usages locaux (mise en place d'une ZSE).

5.2.4 Montagne de la Loube

SYNTHESE

Unité de la Montagne de la Loube			
Ressource (Mm ³ /an)		Besoins (Mm ³ /an)	
Infiltration eaux de pluie	Massif de St Quinis : 7	Actuels	Environ 0,2 Mm3/an en cumulé
Pertes cours d'eau	0	2030	Zone PNR : + 4 à 5 Mm3/an - Zone Issole et Caramy : +1,7 Mm3/an
Autres	0	2050	Zone PNR : + 6 à 12 Mm3/an - Zone Issole et Caramy : + 3 à 5 Mm3/an
Captages structurants pour le territoire		Autres captages	
Aucun		AEP : CC du Claous du Jas, forages des Vallons, source des Alibrans	
Soutien d'étiage des cours d'eau			
Environ 7 Mm3/an pour le Val de Camps, qui conflue au Nord avec le Caramy.			
Qualité		Eléments de vulnérabilité	
Nitrates	< 10 mg/l	Sols	A priori peu développés - A confirmer en phase 2
Pesticides	Eau de bonne qualité avec un risque de teneurs fortes en aluminium et en fer lors des étiages sévères.	ZNS	Entre 100 et 200 m
Polluants industriels		Infiltration ESUP	Sans
Autres			
Sources de pollution			
Urbanisation	Flanc Sud- zone urbaine dense de Garéoult	Voies de communication	D12, D554 (trafic élevé) + chemin de fer sur environ 5 km
Activités agricoles	50 ha de vignes	Carrières	Sans
Activités industrielles	Sans	Décharges	Sans
		Rejet STEPUP	Sans

AVIS SOMMAIRE SUR L'INTERET D'UNE PROTECTION RENFORCEE

Ce massif est caractérisé par l'existence de nombreux systèmes karstiques (absence d'un aquifère de grande dimension ; massif compartimenté). Les réserves statiques sont faibles et la ressource renouvelable modeste.

Les eaux prélevées au droit des champs captants sont de bonne qualité, malgré quelques sources de pollution potentielle sur leurs impluviums. Ces champs captants sont protégés par de vastes périmètres de protection a priori bien dimensionnés.

D'un point de vue quantitatif, ces systèmes karstiques n'auront pas les capacités à fournir des volumes d'eau supplémentaires par forage aux ordres de grandeur des besoins zonaux à l'horizon 2050.

Au vu de tous ces arguments, il nous semble justifié de proposer que ces ressources en eau souterraine continuent à être utilisées de façon privilégiée par les communes de Camps-la Source et de la Celle. Au vu de leur potentiel, elles devraient être suffisantes pour assurer les besoins de ces seules communes à un horizon 2050. Un tel arbitrage garantit aussi un maintien du soutien aux débits d'étiage du Val de Camps et donc in fine du Caramy.

Il ne nous semble pas nécessaire de proposer un renforcement de la protection des eaux souterraines de cette unité hydrogéologique (protection réglementaire existante suffisante).

5.2.5 Plateaux du versant Nord de la Sainte Baume

SYNTHESE

Unité des Plateaux du versant Nord de la Sainte Baume			
Ressource (Mm³/an)		Besoins (Mm³/an)	
Infiltration eaux de pluie	Environ 15 Mm³/an au global	Actuels	Entre 2 et 3 Mm³/an en cumulé
Pertes cours d'eau	Pour le plateau de Mazaugues, pertes estimées à 3 Mm³/an	2030	Zone PNR : + 4 à 5 Mm³/an - Zone Issole et Caramy : +1,7 Mm³/an
Autres	Pour le plateau de Mazaugues, drainance du Santonien (3 Mm³/an)	2050	Zone PNR : + 6 à 12 Mm³/an - Zone Issole et Caramy : + 3 à 5 Mm³/an
Captages structurants pour le territoire		Autres captages	
Sources des Leques, CC de la Foux de Nans, capatges de St Pons		Forage des Vallons (Rougiers)	
Soutien d'étiage des cours d'eau			
Environ 11 Mm³/an pour le Caramy, 1,5 Mm³/an pour le Cauron, débit inconnu pour les sources de l'Huveaune, environ 6 Mm³/an pour la Vède dans le vallon de St Pons			
Qualité		Eléments de vulnérabilité	
Nitrates	< 10 mg/l	Sols	A priori peu développés - A confirmer en phase 2
Pesticides	Eau de bonne qualité avec un risque de teneurs fortes en aluminium et en fer lors des étiages sévères. Situation	ZNS	Entre 100-200 m pour le plateau de Mazaugues ; > 200 m pour les autres systèmes karstiques
Polluants industriels	contrastée selon les captages : excellente pour la Foux de Nans, détections épisodiques de substances indésirables pour les plateaux de Mazaugues, détections fréquentes pour les captages de St Pons.	Infiltration ESUP	Pertes nombreuses sur le plateau de Mzaugues : vallon de la Guillaudière, vallon de l'Epinde, Grand Gaudin et Caramy. Concentration des eaux de pluie dans les embuts sur le poljé du Plan d'Aups
Autres			
Sources de pollution			
Urbanisation	Problématique faible pour Mazaugues installée sur les séries peu perméables du Santonien. Problématique forte pour le Plan d'Aups.	Voies de communication	D95 (25 km) D80 (11 km) D65 (6 km) route de St Zacharie à Plan d'Aups (1 km)
Activités agricoles	Anecdotiques	Carrières	Projet contesté sur Mazaugues
Activités industrielles	Quelques ICPE au Plan d'Aups	Décharges	
		Rejet STEPUP	STEPUP de Mazaugues et du Plan d'Aups

AVIS SOMMAIRE SUR L'INTERET D'UNE PROTECTION RENFORCEE

Cette unité hydrogéologique peut être subdivisée en trois systèmes karstiques principaux :

- Système karstique drainé par le Caramy (terminaison orientale du plateau).
- Système karstique drainé par le Cauron (partie centrale du plateau).
- Système karstique complexe drainé par l'Huveaune et ses affluents (terminaison occidentale du plateau).

Pour les parties orientales et centrales du plateau, les prélèvements principaux concernent les communes de Tourves (source des Lecques avec un prélèvement moyen de l'ordre de $0,2 \text{ Mm}^3/\text{an}$) et de Nans-Les-Pins (source de la Foux et forages associés pour un prélèvement moyen de l'ordre de $0,4 \text{ Mm}^3/\text{an}$). Sous réserve que la démarche de révision des périmètres de protection de la source des Lecques aille à son terme, ces deux champs captants disposent à notre connaissance d'une protection réglementaire correctement dimensionnée ; il ne nous semble pas indispensable de proposer un renforcement de la protection réglementaire de ces captages.

Par contre, les nombreuses études portées depuis plus de 10 ans par le Conseil Départemental du Var ont permis de montrer que le réseau karstique drainé par le Caramy pourrait faire l'objet de prélèvements très importants au bénéfice soit des communes locales soit de communes plus éloignées (Vals du Caramy et de l'Issole) ; les volumes en jeu seraient de l'ordre de $7 \text{ Mm}^3/\text{an}$. Cela supposerait une gestion active de l'aquifère mais les études ont montré la faisabilité de ce type de modalités d'exploitation. L'exploitation reposerait sur la remise en service des puits d'aérage des mines de Mazaugues. Les études techniques ont montré que les eaux potentiellement épuisées par ces puits proviennent de la totalité du plateau (fonction drain des mines qui connectent l'ensemble des réseaux karstiques et de la partie défilée de l'aquifère).

Avec un tel scénario, la protection réglementaire existante serait alors insuffisante ; cela explique notre proposition de classer le système karstique du plateau de Mazaugues comme une ressource dont la protection réglementaire doit être renforcée pour un usage futur (ZSNEA).

Notons que le système karstique du plateau de Mazaugues est alimenté indirectement par les exutoires du Massif d'Agnis (pertes du Caramy et de ses affluents). Une perte de qualité des eaux des réseaux karstiques du massif d'Agnis est susceptible d'entraîner une dégradation de la qualité des eaux de l'unité hydrogéologique du plateau de Mazaugues.

Actuellement, on peut considérer comme lacunaire la connaissance du fonctionnement karstique de la terminaison occidentale de cette unité hydrogéologique.

Les exutoires potentiels sont nombreux et les flux à l'intérieur du réservoir mal déterminés :

- Sources de la Castelette qui donne naissance à l'Huveaune.
- Sources du vallon de Saint Pons.
- Suspicion de flux souterrains profonds vers l'unité karstique drainé par les sources de Port-Miou et Bestouan.

Quoi qu'il en soit, les volumes d'eau qui transitent par le vallon de St Pons (environ 6 Mm³/an) obligent à poser comme hypothèse que le Plan d'Aups contribue pour partie mais de façon significative à l'origine de ces eaux. Notons que le Plan d'Aups est le secteur qui concentre le plus de pollution potentielle (rejet STEP, ICPE, forte urbanisation sans gestion des eaux pluviales,...) et que les captages de Saint Pons présentent régulièrement des détections de substances indésirables.

Les captages du vallon de Saint Pons étant stratégiques pour l'adduction en eau potable de la commune de Gémenos, au vu des arguments ci-dessus et de la dimension réduite des périmètres de protection actuels, nous recommandons de renforcer la protection réglementaire de ces captages par la mise en place d'une ZSE.

Sa délimitation est complexe car elle intéresse plusieurs unités aquifères ; cette problématique est traitée plus avant dans le rapport.

Notons que la mise en place d'une telle ZSE bénéficiera indirectement aussi à l'unité de la Lare dont la qualité des eaux souterraines dépend pour partie de celles qui s'infiltrant sous le Plan d'Aups.

5.2.6 Montagne de la Lare

SYNTHESE

Unité du massif de la Lare			
Ressource (Mm ³ /an)		Besoins (Mm ³ /an)	
Infiltration eaux de pluie	Environ 5 Mm3/an	Actuels	Environ 0,4 Mm3/an
Pertes cours d'eau	Environ 3 Mm3/an	2030	Zone PNR : + 4 à 5 Mm3/an - Val d'Huveaune : +5,7 Mm3/an
Autres	0	2050	Zone PNR : + 6 à 12 Mm3/an - Val d'Huveaune : +8 à 27 Mm3/an
Captages structurants pour le territoire		Autres captages	
Forage de la Brise		Sans	
Soutien d'étiage des cours d'eau			
Environ 8 Mm3/an de soutien aux débits de l'Huveaune			
Qualité		Eléments de vulnérabilité	
Nitrates	< 10 mg/l	Sols	A priori peu développés - A confirmer en phase 2
Pesticides	Eau de qualité menacée. Des détections régulières de produits phytosanitaires avec un dépassement du seuil de 0.1 µg/l.	ZNS	< 100 m dans certains vallons ; entre 100 et 300 m sur les reliefs
Polluants industriels		Infiltration ESUP	Pertes dans les vallons de l'Huveaune et du Peyruis
Autres			
Sources de pollution			
Urbanisation	Développement de zones urbanisées sur les flancs Sud, Nord et Est	Voies de communication	Route de St Zacharie à Plan d'Aups (6 km), D80 (4,5 km), D45 (3 km), D280 (2 km), N560 (5 km)
Activités agricoles	Anecdotiques	Carrières	Sans
Activités industrielles	Sans	Décharges	Un ancien site situé sur le Lias qui alimente indirectement le système karstique
		Rejet STEPUP	Sans

AVIS SOMMAIRE SUR L'INTERET D'UNE PROTECTION RENFORCEE

D'un point de vue quantitatif, cette unité présente un bilan quasi équilibré. Une majorité des eaux infiltrées contribue au soutien du débit de l'Huveaune, avec une contribution à l'étiage relativement faible. Des flux plus profonds vers d'autres unités hydrogéologiques sont suspectés.

La ressource renouvelable disponible est insuffisante pour satisfaire les augmentations des besoins zonaux en eau potable aux horizons 2030 et 2050.

Actuellement, la qualité des eaux souterraines est bonne mais les menaces sur la qualité de la ressource sont nombreuses ; ajoutons que cette unité est alimentée indirectement par les eaux en provenance des contreforts du plateau du Plan d'Aups. Une perte de qualité des eaux des réseaux karstiques du système karstiques du Plan d'Aups est susceptible d'entraîner une dégradation de la qualité des eaux de l'unité hydrogéologique de la Lare.

Cette unité est sollicitée par forage avec un prélèvement important pour l'alimentation en eau potable de la commune de St Zacharie. D'un point de vue quantitatif, l'unité dispose de ressources suffisantes pour satisfaire les besoins en eau potable de cette commune à l'horizon 2050.

En première approximation, les périmètres de protection couvrent une partie trop restreinte de l'impluvium karstique et ne tiennent pas compte des dynamiques de pertes des cours d'eau.

Au vu de ces arguments, dans une logique de préservation de la qualité des eaux prélevées pour l'alimentation en eau potable de la commune de St Zacharie (captage structurant pour la commune au vu des volumes prélevés), il nous semble justifié de proposer un renforcement de la protection des eaux souterraines de cette unité hydrogéologique pour garantir les usages locaux (mise en place d'une ZSE).

5.2.7 Mont Aurélien et mont Olympe

SYNTHESE

Unité des Monts Aurélien et Olympe			
Ressource (Mm ³ /an)		Besoins (Mm ³ /an)	
Infiltration eaux de pluie	Environ 8 Mm3/an	Actuels	0
Pertes cours d'eau	0	2030	Zone PNR : + 4 à 5 Mm3/an + Val d'Huveaune : +5,7 Mm3/an
Autres	0	2050	Zone PNR : + 6 à 12 Mm3/an - Val d'Huveaune : +8 à 27 Mm3/an
Captages structurants pour le territoire		Autres captages	
Sans		Sans	
Soutien d'étiage des cours d'eau			
Suspicien d'une alimentation masquée de l'Huveaune - Hypothèse à étudier			
Qualité		Eléments de vulnérabilité	
Nitrates	< 10 mg/l	Sols	A priori peu développés - A confirmer en phase 2
Pesticides	Absence de qualitomètres	ZNS	< 100 m dans certains vallons ; entre 100 et 400 m sur les reliefs
Polluants industriels		Infiltration ESUP	Sans
Autres			
Sources de pollution			
Urbanisation	Quasi-inexistante	Voies de communication	D85 (1 km)
Activités agricoles	Anecdotiques	Carrières	Sans
Activités industrielles	Sans	Décharges	Sans
		Rejet STEPUP	Sans

AVIS SOMMAIRE SUR L'INTERET D'UNE PROTECTION RENFORCEE

Cette unité hydrogéologique se caractérise par les éléments suivants :

- Réserve renouvelable importante, estimée à environ 8 Mm³/an.
- Absence actuelle de prélèvements.
- Impluvium caractérisé par l'absence de sources de pollution potentielle, ce qui laisse supposer une bonne qualité eaux souterraines.
- Système karstique inconnu avec notamment une lacune de connaissance importante sur la destination des eaux souterraines (alluvions de l'Huveaune ? Sources de Port-Miou ? Trias de la plaine de St Maximin ?).

Au vu de l'augmentation attendue des besoins en eau potable dans le Val d'Huveaune, nous proposons de classer cette unité hydrogéologique comme une ressource importante pour le futur (ZSNEA). Ces eaux souterraines pourraient aussi dans un futur proche servir de ressources de secours pour la Commune de Nans-les-Pins ou de Sainte Zacharie. On peut aussi projeter des connexions avec des communes plus lointaines (Rougiers ou Auriol, par exemple).

Les volumes prélevables dans cette unité proposés dans ce rapport doivent être considérés comme des spéculations (entre 2 et 6 Mm³/an). Ils représentent 25 à 75% de la recharge moyenne estimée en 2050. L'arbitrage entre valeur haute et basse dépendra de la destination réelle des eaux souterraines. Une alimentation de l'appareil alluvial de l'Huveaune impliquerait une limitation du potentiel de prélèvement ; un drainage souterrain profond au bénéfice des sources de Port-Miou et de Bestouan serait plus favorable. Seul un complément d'études techniques et scientifiques permettra d'arbitrer entre ces deux hypothèses ; ce point sera développé dans la phase 2 de l'étude.

5.2.8 Plateaux du versant Sud de la Sainte Baume

SYNTHESE

Unité des Plateaux du versant Sud de la Sainte Baume			
Ressource (Mm ³ /an)		Besoins (Mm ³ /an)	
Infiltration eaux de pluie	Environ 50 Mm3/an	Actuels	Entre 0,6 et 0,7 Mm3/an
Pertes cours d'eau	0	2030	Zone PNR : + 4 à 5 Mm3/an - Val d'Huveaune : +5,7 Mm3/an
Autres	Alimentation supposée des unités plus au Nord - Pas de quantification possible	2050	Zone PNR : + 6 à 12 Mm3/an - Val d'Huveaune : +8 à 27 Mm3/an
Captages structurants pour le territoire		Autres captages	
Forages de Puyricard et de Dausserand (Cuges-Les-Pins), forage du Coulin (Gémenos)		Forage des Lavandes et Adret de l'Hubac (Riboux), captage des Jardins de la Ville (Cuges-Les-pins)	
Soutien d'étiage des cours d'eau			
Les exutoires naturels de cette unité sont en mer.			
Qualité		Eléments de vulnérabilité	
Nitrates	< 10 mg/l	Sols	A priori peu développés - A confirmer en phase 2
Pesticides	Eau de bonne qualité. Situation contrastée selon les captages : excellente pour les champs captants de Cuges-Les-Pins, détections fréquentes de substances indésirables sur le forage de Coulin.	ZNS	< 100 m dans certains vallons et sous les poljés ; entre 100 et 500 m sur les reliefs
Polluants industriels		Infiltration ESUP	Pertes des cours d'eau temporaires venant de la Haute-Chaine dans le Lias ; embuts drainants les eaux de ruissellement dans les poljés
Autres			
Sources de pollution			
Urbanisation	Forte sur Cuges-les-Pins et Roquefort-la-Bédoule	Voies de communication	D2 (2 km), D1 (16 km), D2/3 (16 km), N8 (17 km), A50 (7 km), D559 (15 km)
Activités agricoles	Quelques ha de vergers entre Riboux et Cuges-Les-Pins, fort développement agricole sur les poljés de Cuges-les-Pins et Roquefort la Bédoule (environ 600 ha dont environ 90% pour de la vigne).	Carrières	Deux carrières sur la commune de Signes
Activités industrielles	ZI du Castellet, ZI du Coulin (nombreuses ICPE) mais aussi des ICPE dans les zones urbaines de Cuges-Les-Pins et Roquefort-la-Bédoule.	Décharges	Cinq sites sur l'impluvium entre Cuges-Les-Pins et Signes
		Rejet STEPUP	STEPUP de Cuges-Les-Pins et de Roquefort la Bédoule.

AVIS SOMMAIRE SUR L'INTERET D'UNE PROTECTION RENFORCEE

On peut schématiquement simplifier la complexité hydrogéologique de cette vaste unité en considérant un système karstique principal, très développé, le système karstique actif drainé par les sources de Port-Miou et de Bestouan et un ou des systèmes karstiques mal connectés au système karstique de Port-Miou.

- Le système karstique actif drainé par les sources de Port-Miou et de Bestouan est localisé dans le réservoir urgonien.
- Les systèmes connectés peuvent intéresser les aquifères du Lias, du Jurassique supérieur et du Turonien.

Au global, les surfaces contributives au débit mesuré aux sources sous-marines sont colossales (plus de 200 km²) et ces débits sont exceptionnels (au minimum 2 m³/s en moyenne).

Au regard de la puissance de ce flux d'eau, les prélèvements actuels sont faibles ; ils intéressent trois communes (Gémenos, Cuges-Les-Pins et Riboux). Les exutoires étant en mer, le potentiel quantitatif de captage n'est pas limité par des considérations environnementales. Dans une approche spéculative, on peut proposer un potentiel de prélèvement de 10 à 20% de la recharge minimale estimée ; le potentiel de prélèvements serait alors compris entre 6 et 12 Mm³/an.

Au vu du potentiel hydraulique de cette unité et de l'augmentation forte des besoins au sein du PNR et dans le Val d'Huveaune, nous recommandons de renforcer la protection réglementaire de cette unité hydrogéologique (mise en place d'une ZSNEA). Il y a un enjeu majeur pour le Territoire à conserver la qualité de ces eaux souterraines sur le long terme.

Au-delà de la problématique de la difficulté de captage de ces eaux souterraines, de tels prélèvements pourraient se trouver à deux limites importantes :

- Cette unité hydrogéologique est en continuité hydraulique avec les unités hydrogéologiques du Plateau de Siou Blanc et des gorges d'Ollioules. Une surexploitation par pompage de n'importe laquelle de ces trois unités est donc susceptible de venir impacter le fonctionnement hydrogéologique des deux autres unités.
- En cas de surexploitation de l'aquifère par pompage, il existe un risque de migration du biseau salé au sein du réservoir. Les éléments de connaissance ne sont pas suffisants pour approcher ce risque. Le risque d'appel d'eau salée lorsque les débits de prélèvement seront maximaux en période estivale. Il faudra prévoir la mise en place, préalablement à toute exploitation, d'un réseau de piézomètre avec des systèmes de suivi de la conductivité pour anticiper ce risque. Ce point sera développé dans la phase 2 de l'étude.

Les principes de délimitation de cette ZSNEA sont présentés plus avant dans le rapport.

Notons que l'exploitation des eaux souterraines pourrait se réaliser selon trois scénarios :

- Augmentation de la production sur le champ captant de Coulin, réputé présenter une productivité très élevée (production potentielle de 100 l/s pour une exploitation actuelle autour de 5 l/s).
- Implantation de nouveaux forages sur la commune de Cuges-Les-Pins.
- Implantation de nouveaux forages sur la commune de Roquefort-La-Bédoule.

La deuxième option présente l'avantage de réduire les risques de pollution potentielle mais la recherche d'eau sur la commune de Roquefort-La-Bédoule présente l'avantage théorique de maximiser les flux souterrains (secteur de jonction entre un flux Nord et un Flux venant de l'Est).

5.2.9 Massif des gorges d'Ollioules

SYNTHESE

Unité du massif des gorges d'Ollioules			
Ressource (Mm ³ /an)		Besoins (Mm ³ /an)	
Infiltration eaux de pluie	Environ 9 Mm3/an	Actuels	< 300 000 m3/an
Pertes cours d'eau		2030	Littoral varois : + 7 Mm3/an
Autres		2050	Littoral varois : + 12 à 20 Mm3/an
Captages structurants pour le territoire		Autres captages	
Sans		Captages des communes d'Ollioules et d'Evenos	
Soutien d'étiage des cours d'eau			
Estimation assez incertaine d'environ 5 Mm3/an de la Reppe			
Qualité		Eléments de vulnérabilité	
Nitrates	< 10 mg/l	Sols	A priori peu développés - A confirmer en phase 2
Pesticides	Eau de bonne qualité Des détections épisodiques de produits phytosanitaires (source Ollioules)	ZNS	Entre 100 et 200 m ?
Polluants industriels		Infiltration ESUP	Sans
Autres			
Sources de pollution			
Urbanisation	Forte sur Evenos	Voies de communication	Autoroutes et voies ferrés en bordure Ouest - N8 en coeur du massif dans les gorges (4 km) - D468 (6 km)
Activités agricoles	Anecdotiques	Carrières	Trois carrières en activiés
Activités industrielles	ZI du Castellet sur le flanc Nord, plusieurs ICPE sur la bordure Sud	Décharges	Deux sites sur l'impluvium
		Rejet STEPUP	Sans

AVIS SOMMAIRE SUR L'INTERET D'UNE PROTECTION RENFORCEE

Cette unité hydrogéologique est constituée de plusieurs systèmes karstiques. La recharge est modeste mais les réserves statiques sont supposées importantes.

Actuellement, le niveau de prélèvement est faible et ne justifie pas un classement de cette unité comme une zone de sauvegarde déjà exploitée. De plus, nous ne recommandons pas le classement de cette unité hydrogéologique comme ressource potentielle pour le futur, et ce pour plusieurs raisons :

- Le potentiel de prélèvement supplémentaire est faible (de 2 à 4 Mm³/an pour une part de 20 à 40% de la recharge).
- Tout prélèvement important et continu dans le système karstique se traduira sur un impact quasi-équivalent sur les débits de la Reppe.
- Cette unité hydrogéologique est en continuité hydraulique avec les unités hydrogéologiques des plateaux du versant Sud de la Sainte Baume et du Plateau de Siou Blanc. Une surexploitation par pompage de n'importe laquelle de ces trois unités est donc susceptible de venir impacter le fonctionnement hydrogéologique des deux autres unités.
- Bien que les eaux soient de bonne qualité, les sources de pollution potentielle sont nombreuses et concentrées dans la zone d'exutoire du principal système karstique. Une protection forte et durable de cette ressource en eau souterraine aurait des impacts très forts sur l'aménagement de ce secteur très urbanisé.

Ceci étant, il semble que l'étendue des impluviums, déterminée et confirmée par de nombreuses expériences de traçages, ne soit pas bien traduite dans les périmètres de protection des captages existants. Nous commandons donc vivement une révision de ces périmètres de protection.

5.3 DELIMITATION DES ZONES DE SAUVEGARDE

5.3.1 PRINCIPES METHODOLOGIQUES

CE QUE NOUS NE FAISONS PAS EN PHASE 1

Commençons par rappeler que le périmètre à la parcelle de chaque ZS sera déterminé en phase 2 de l'étude. Ce que nous proposons ici sont des secteurs susceptibles d'accueillir les zones de sauvegarde ; leurs limites en sont par nature imprécises. Il est possible que les périmètres définitifs des ZS soient plus réduits que les limites des secteurs mais l'inverse est aussi envisageable.

Notons que les périmètres proposés à ce stade de l'étude sont très étendus. Précisons que la portée des recommandations et des préconisations en termes de règlement et/ou de bonne pratiques dans les zones de sauvegarde ne sera pas la même en tout point des zones de sauvegarde.

On peut en effet distinguer trois types de sous-zonage :

- Zones à proximité des champs captants avec infiltration directe et migration rapide et non atténuée d'éventuelles pollutions.
- Zones caractérisées par une prédominance des phénomènes de ruissellement sur les phénomènes d'infiltration. L'alimentation des systèmes karstiques est alors indirecte (ruissellement puis infiltration).
- Zones relatives à des aquifères dits « annexes », en position lointaine par rapport aux champs captants. Les chemins de l'eau sont alors plus longs ; des effets de dilution et d'atténuation sont alors possibles.

La délimitation de ces sous-zonages sera réalisée en phase 2 de l'étude.

COMMENT ONT ETE DEFINIS LES LIMITES DES ZONES DE SAUVEGARDE

Les limites des zones de sauvegarde ont été définies en respectant les principes suivants :

- En cas d'exploitation d'un exutoire naturel, protection intégrale de la totalité de la surface contributive aux écoulements au droit de cet exutoire (protection de l'intégralité du système karstique).
- En cas d'exploitation d'un exutoire de type forage, si les informations sont suffisantes pour déterminer le bassin d'alimentation du captage, la zone de sauvegarde correspond alors au bassin d'alimentation. Si les informations sont insuffisantes ou incertaines, la zone de sauvegarde correspond alors à la totalité de l'unité hydrogéologique.

On peut constater que le « passage » des unités hydrogéologiques aux zones de sauvegarde reposent principalement sur la connaissance des systèmes karstiques. Les éléments d'information qui permettent de statuer sur les connaissances de ces systèmes karstiques ont été reportés dans la note technique rédigée par CENOTE et placée en annexe de ce rapport.

5.3.2 PROPOSITION D'UN SCHEMA GLOBAL DE MOBILISATION ET DE PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES

Le schéma ci-après permet de synthétiser dans un schéma global une logique d'exploitation des eaux souterraines. Les zones de sauvegarde y sont justifiées soit par la satisfaction actuelle et à venir des besoins des communes actuellement alimentées par ces eaux souterraines, soit par une éventuelle satisfaction des besoins à l'horizon 2050 par de nouveaux prélèvements sur de nouveaux champs captants.

ZONES DE SAUVEGARDE EXPLOITEES (ZSE)

L'argumentaire développé ci-avant permet de proposer quatre secteurs susceptibles d'accueillir des zones de sauvegarde exploitées (ZSE).

Il s'agit ainsi de protéger des captages jugés d'ores et déjà essentiels pour l'alimentation eau potable des populations dépendants des eaux souterraines. On peut ainsi définir les captages dits structurants au regard de la dépendance de la nappe des communes qui les exploitent (>80%) et à la population desservie (> 5 000 personnes).

Citons :

1. ZSE du Plateau de Siou Blanc : système karstique drainé par le Ragas de Dardennes (Toulon et communes avoisinantes). La limite de cette zone de sauvegarde correspond à la limite de l'unité hydrogéologique (bassin d'alimentation caractérisé dans le projet KARSTEAU).

2. ZSE du massif d'Agnis avec les captages suivants : source des Neufs Fonts et forage de Valescure pour l'AEP de La Roquebrussanne, forages de la Vigne Groussière (Méounes-Les-Montrieux), source du Raby et forage des Lônes pour la commune de Signes, sources haute et basse pour la Commune de Mazaugues. Stricto sensu, ces captages ne sont pas structurants quand ils sont pris individuellement ; ceci étant, la contribution du massif est telle en cumulé qu'il doit être considéré comme une « zone » de captages importants pour les populations locales. La limite de cette zone de sauvegarde correspond à la limite de l'unité hydrogéologique (unité hydrogéologique expliquée par l'unité sédimentaire ; on a ainsi réservoir unique avec plusieurs exutoires).

3. ZSE du massif de la Sainte Baume : elle regroupe les systèmes karstiques drainés par les captages et les sources du vallon de St Pons (urgonien en coeur de chaîne mais aussi séries carbonatées du Lias et le système karstique alimenté par le poljés de Plan d'Aups) mais aussi les séries liasiques et urgoniennes sur le versant Sud, qui alimentent la source des Jardins de la Ville et le forage de Dausserand, le forage de Puyricard, ainsi que le forage de Coulin. Les connaissances scientifiques actuelles ne sont pas suffisantes pour déterminer précisément les bassins d'alimentation de tous ces captages ; c'est donc une approche prudentielle, inclusive de toutes les aires de recharge potentielles, qui est proposée.

4. ZSE du massif de la Lare : cette zone de sauvegarde est justifiée par l'exploitation actuelle et future du forage de la Brise, indispensable à la satisfaction des besoins actuels et futurs en eau potable de la commune de St Zacharie. Les connaissances actuelles ne permettent pas de discrétiser spatialement d'éventuels systèmes karstiques différenciés ; nous proposons donc que la limite de cette zone de sauvegarde corresponde à la limite de l'unité hydrogéologique, augmentée au Sud des lambeaux de Lias de l'unité de Roqueforcade qui contribue indirectement à la recharge de l'unité hydrogéologique de la Montagne de la Lare.

ZONES DE SAUVEGARDE NON EXPLOITEES ACTUELLEMENT (ZSNEA)

L'argumentaire développé dans la présentation des unités hydrogéologiques nous conduit à proposer de proposer la mise en place de trois ZSNEA :

1. ZSNEA du plateau de Mazaugues. Le potentiel d'exploitation serait de l'ordre de 7 Mm³/an (valeur robuste car issue de nombreuses études techniques). La limite de la zone de sauvegarde proposée inclut la totalité du plateau de Mazaugues et du système karstique drainé par le Cauron. Les scénarios de mobilisation de cette ressource en eau s'appuient sur la remise en service des anciens puits d'aérage de la mine de Mazaugues.

2. ZSNEA des monts Olympe et Aurélien. Le potentiel d'exploitation serait compris entre 2 et 6 Mm³/an (valeur théorique à confirmer par des études appropriées). La limite de cette zone de sauvegarde correspond à la limite de l'unité hydrogéologique.

3. ZSNEA du massif drainé par Port-Miou. Le potentiel d'exploitation serait compris entre 6 et 12 Mm³/an (valeur minimale au vu de la puissance de l'aquifère mais conditionnée à l'absence de migration du biseau salé). Les limites proposées de la zone de sauvegarde incluent le réservoir principal urgonien mais limité au Nord par la « zone d'obstacle aux écoulements » identifié grâce aux mesures piézométriques, qui passe approximativement sous les poljés de Cuges et de Coulin, et qui sépare au Nord un domaine caractérisé par des écoulements Nord-Sud d'un domaine au Sud caractérisé par des écoulements Est-Ouest. A ce réservoir urgonien ont été rattachés le réservoir du Jurassique supérieur en continuité avec les calcaires urgoniens, une partie du réservoir turonien (contribution mise en évidence par une expérience de traçage) et une partie du réservoir liasique situé entre Riboux et Signes (aquifère caractérisé dans cette zone par l'absence d'exutoire identifié malgré des dynamiques fortes de recharge par infiltration des eaux de pluie et par pertes en provenance des aquifères du jurassique supérieurs posés en contrehaut des séries carbonates liasiques).

Figure 101 : Délimitation au 1 :25 000 de la ZSE du plateau de Siou Blanc.

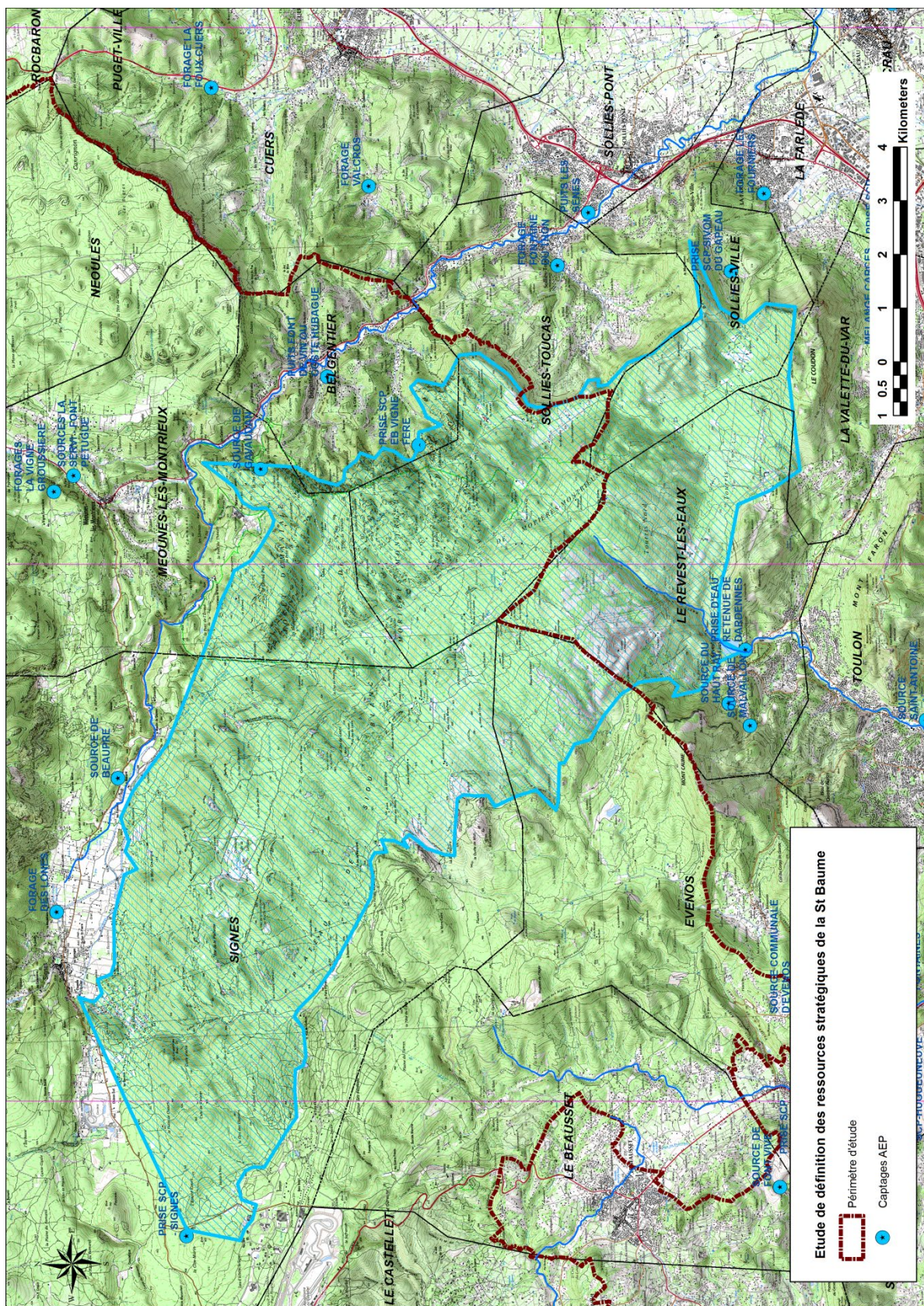


Figure 102 : Délimitation au 1 :25 000 de la ZSE du massif de l'Agnis.

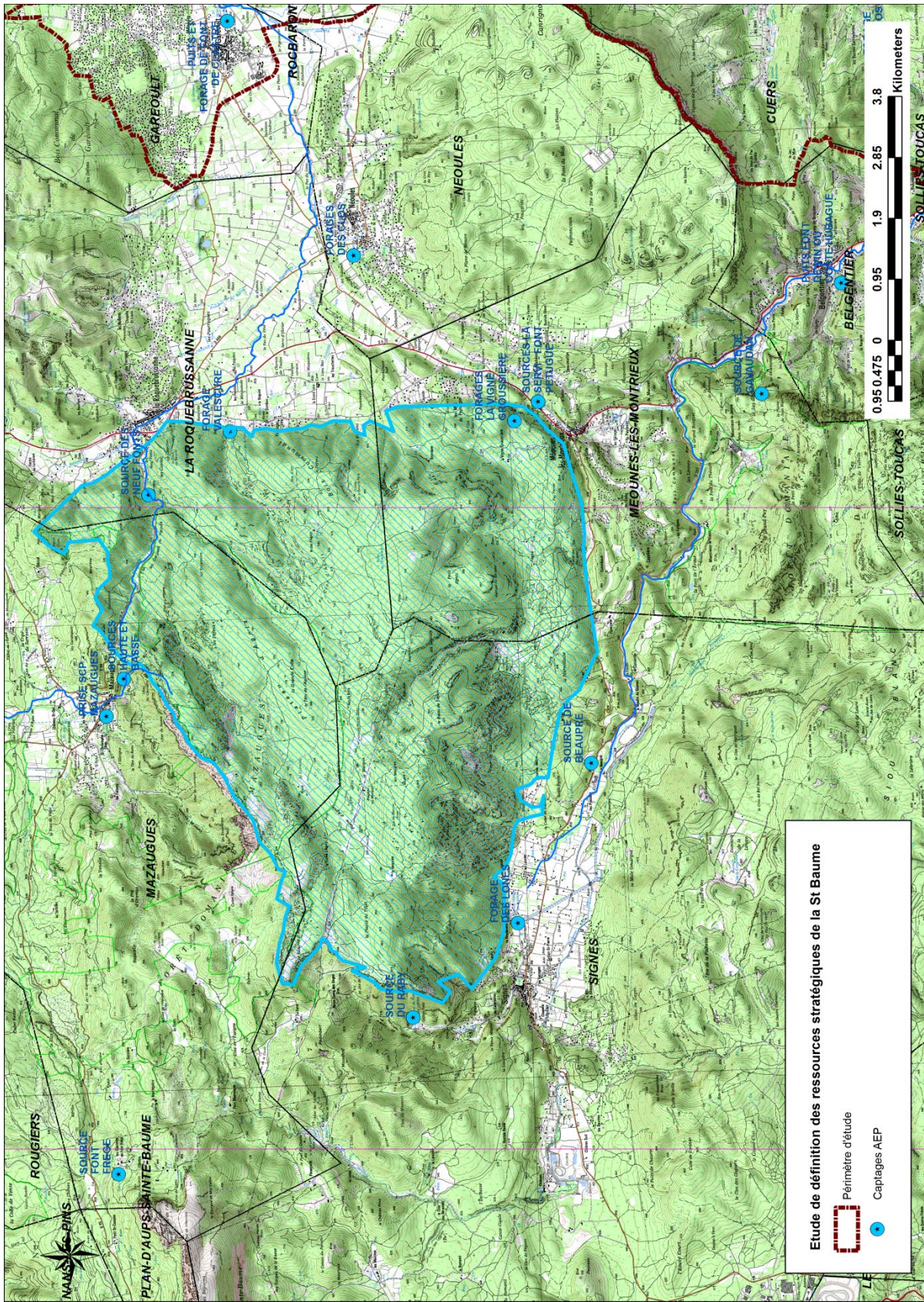


Figure 103 : Délimitation au 1 :25 000 de la ZSE du massif de la Sainte Baume.

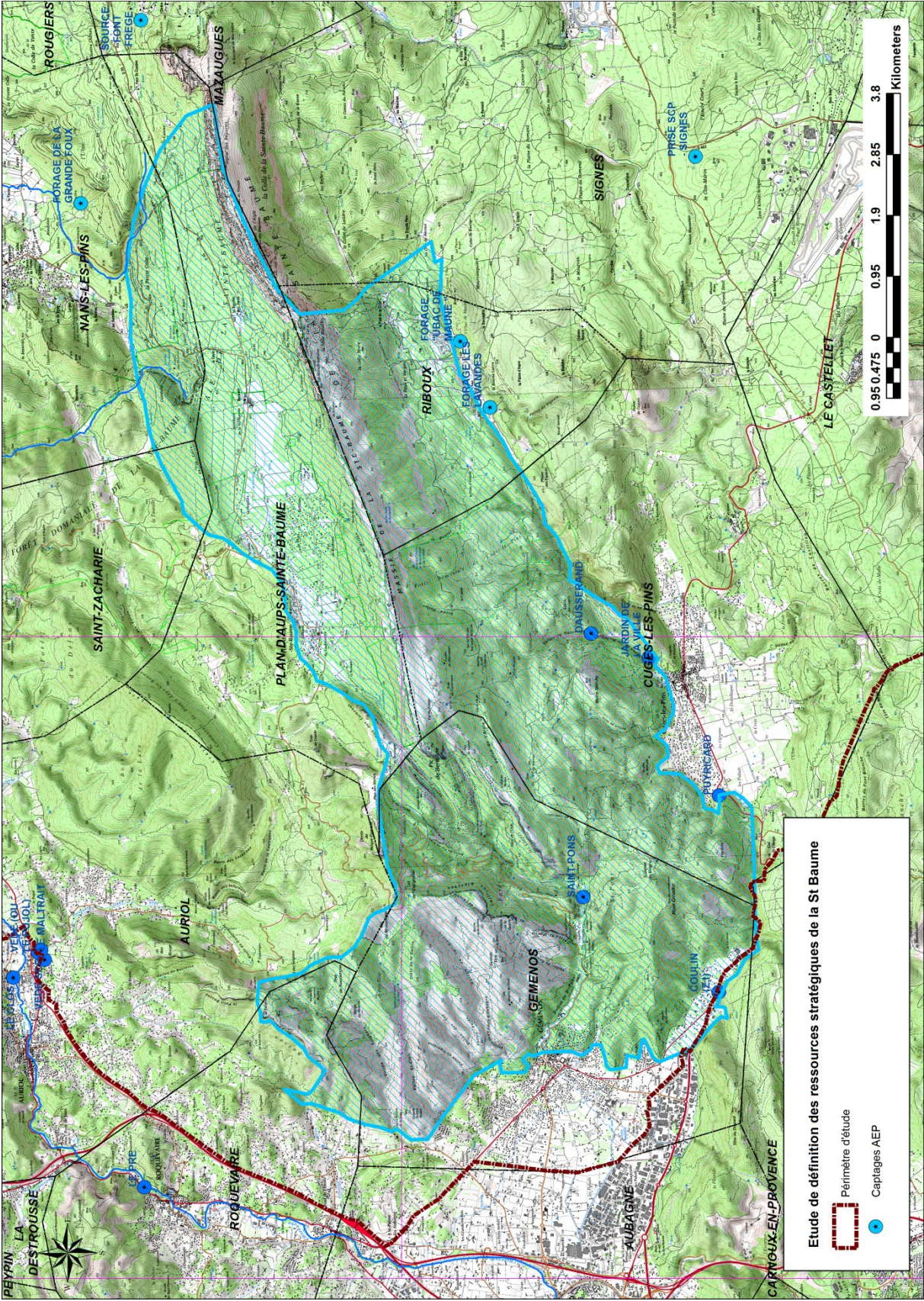


Figure 105 : Délimitation au 1 :25 000 de la ZSNEA du plateau de Mazaugues.

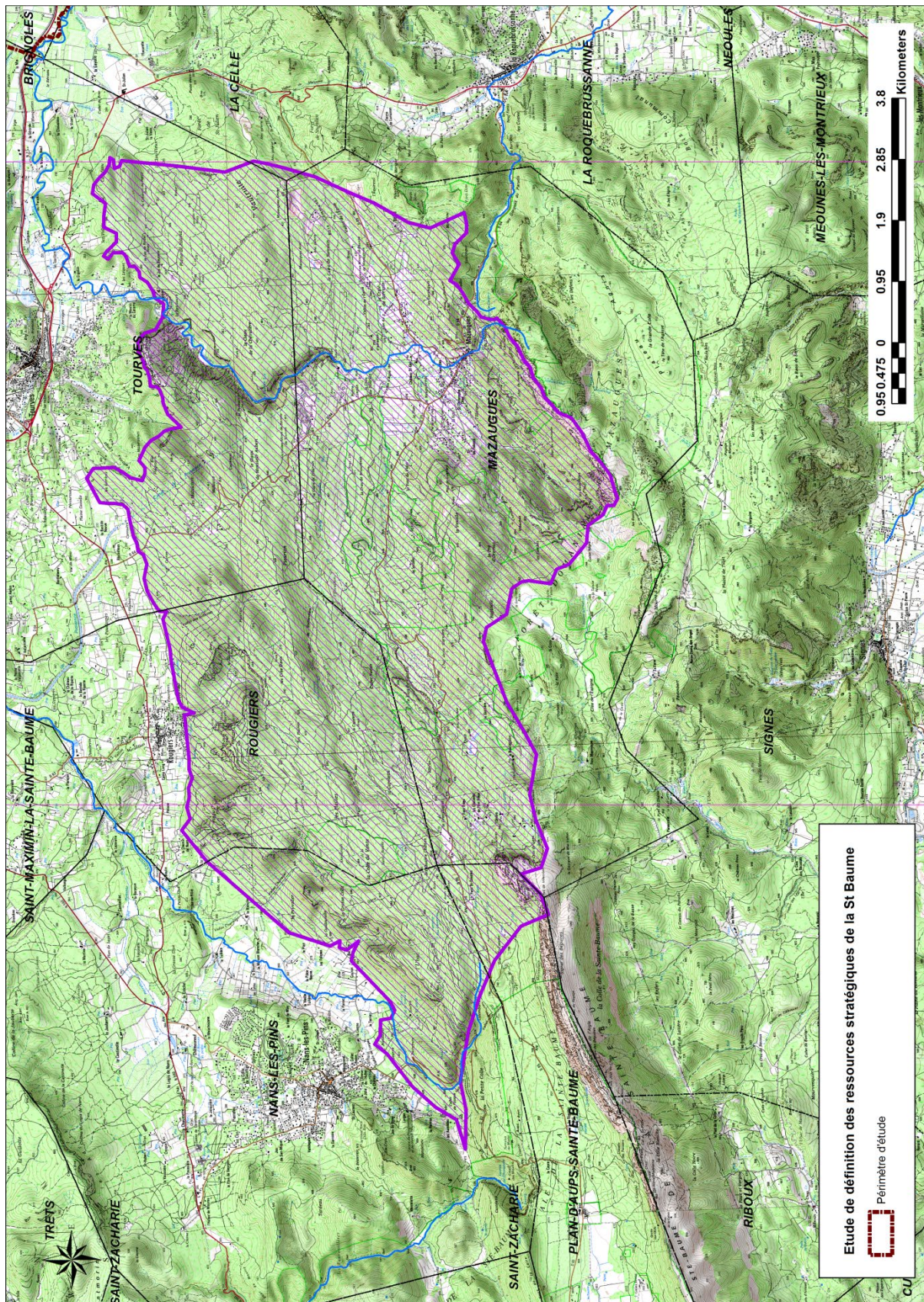


Figure 106 : Délimitation au 1 :25 000 de la ZSNEA des Monts Olympe et Aurélien.

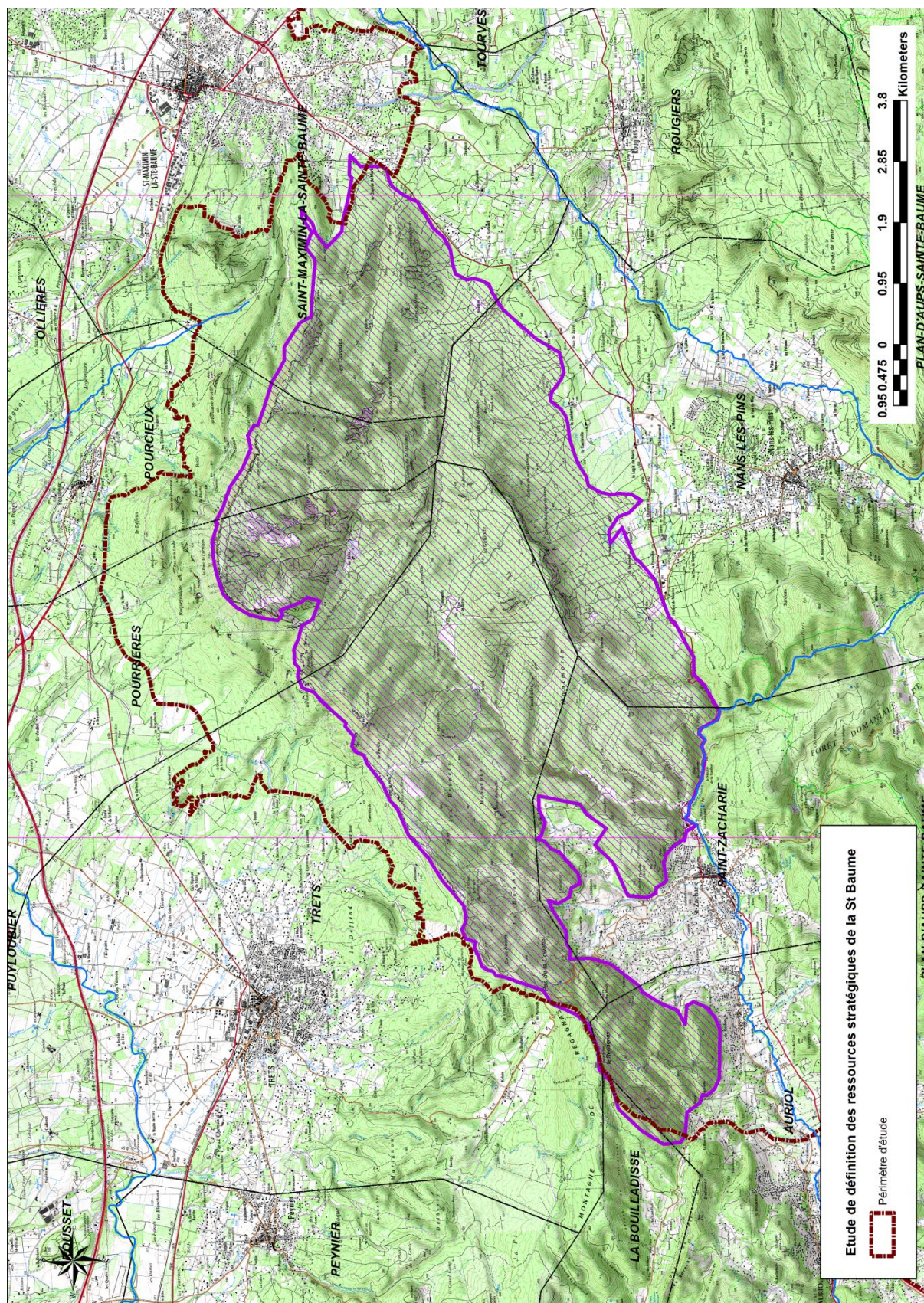
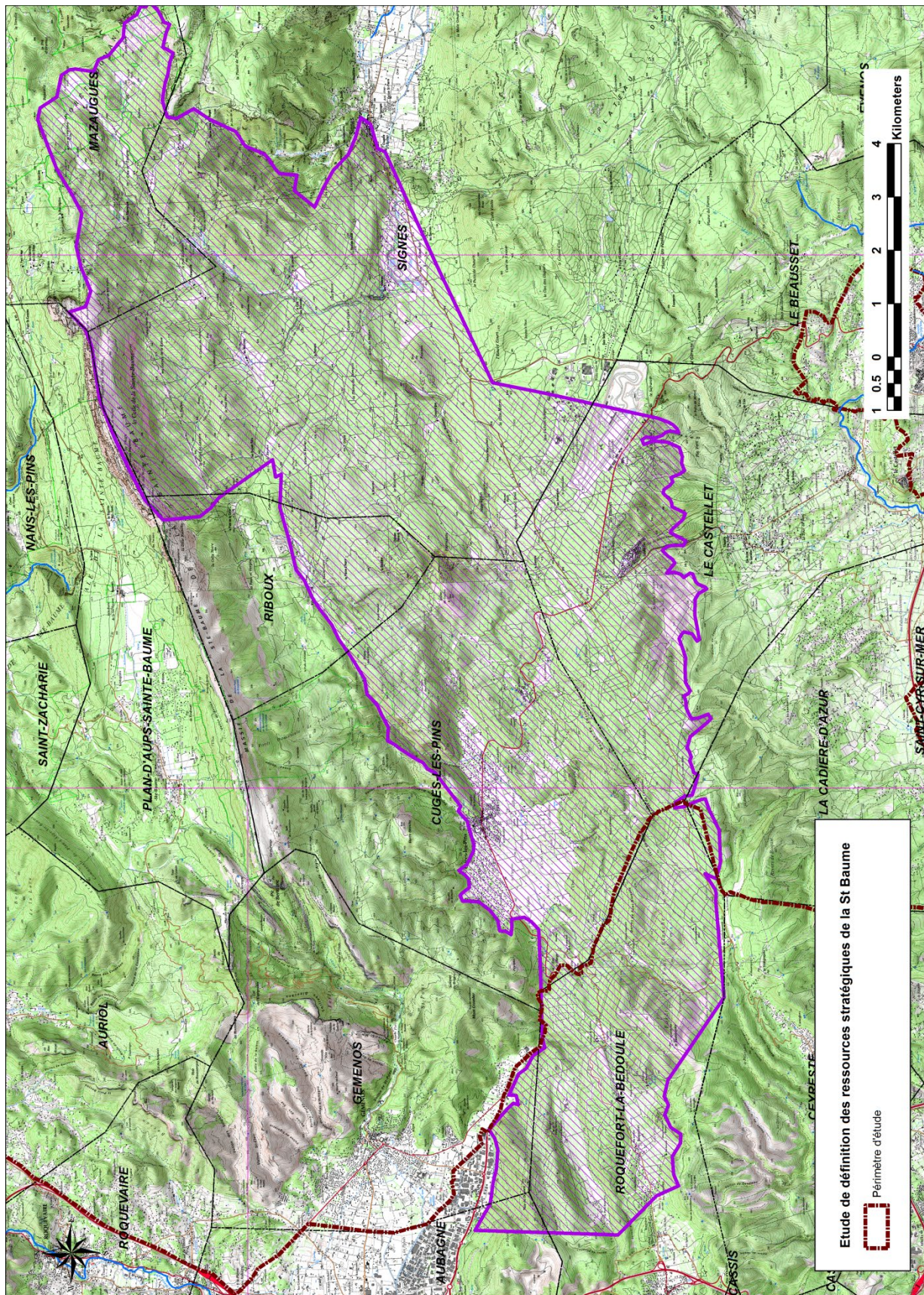


Figure 107 : Délimitation au 1 :25 000 de la ZSNEA du massif drainé par Port Miou.



5.4 CONTRAINTES LIEES AUX DOCUMENTS D'URBANISME ACTUELS

5.4.1 RECOLTE DES DONNEES D'URBANISME

Administrativement, le territoire du Parc Naturel Régional de la Sainte-Baume concerne 26 communes. Pour la grande majorité des communes (25), la planification et l'aménagement sont régis par un Plan Local d'Urbanisme. Une seule commune (Riboux) ne disposant pas de document de planification est soumise au Règlement National d'Urbanisme.

De nombreuses communes (18) ont, à ce jour (année 2019), engagé des procédures de révision ou de modification de leur PLU. Par ailleurs, les communes rattachées à la Métropole Aix-Marseille-Provence seront concernées par un PLU intercommunal. Ses règles devront entrer en vigueur à partir de 2020 après une approbation en Conseil de la Métropole de décembre 2019. L'état des données récoltées pourrait donc évoluer très prochainement.

Dans le cadre de la présente étude, une recherche et une compilation des données ont été réalisées pour disposer des PLU pour chaque commune. L'objectif était de récolter l'ensemble des documents, à savoir les rapports des différentes phases (Diagnostic, PADD, OAP, Règlement) et les données cartographiques. A partir d'un système d'information géographique, les zones de sauvegarde ont été superposées au zonage PLU en vigueur.

Les outils nationaux (Géoportail de l'Urbanisme) permettent de consulter et de télécharger les données relatives au PLU des communes à l'échelle du territoire national. Suivant les avancées des procédures, toutes données relatives aux communes ne sont pas disponibles. A terme, l'ensemble des données seront compilées en respectant les normes imposées par le Conseil National de l'Information Géographique.

Des données ont également été mises à disposition par le PNR de la Sainte-Baume. Des contacts ont été également entrepris auprès des communes pour lesquelles les informations n'étaient pas disponibles ou pour vérifier la mise à jour des informations.

Au final, cette phase de récolte s'est avérée assez fastidieuse mais l'ensemble des rapports ont pu être obtenus. Pour les données cartographiques, trois communes (Brignoles, La Cadière-d'Azur et Belgentier) ne disposent pas de données PLU au format SIG.

Par ailleurs, les SCOT (schéma de cohérence territoriale) ont été consultés. Au total, cinq SCOT couvrent le territoire d'étude. Les documents cartographiques ne sont pas intégrables dans un logiciel SIG.

5.4.2 STRUCTURATION DES DONNEES D'URBANISME

Les données SIG ont été structurées et intégrées dans une base de données. La table de données rassemble 2 345 entités. Les données attributaires sont détaillées par 10 champs.

Le champ correspondant au type de zonage rassemble 85 types de zonage différents. D'un point de vue topologique, la compilation de ces données a mis en exergue des incohérences : superposition, artefact (zone non couverte), recouvrement aux limites communales...

En parallèle de ce travail cartographique, tous les rapports relatifs au règlement des PLU ont été analysés.

Pour simplifier et harmoniser les informations, un travail conjoint entre l'urbaniste (Viviane Berti) et le cartographe (Jérémy Cuvelier) a été réalisé. Durant cette phase, la lecture des règlements a mis en évidence des incohérences entre les zonages et les règlements. Il a donc s'agit d'affecter pour chaque zonage, un code simplifié :

- Urbain,
- A urbaniser,
- Agricole,
- Naturelle.

Les cartographies présentées ci-dessous distinguent par zone de sauvegarde les résultats du zonage PLU.

Les chiffres clés :

	Nombre d'entités	Surface totale en hectares
Zone de sauvegarde	7	51 242
Analyse des données PLU à l'intérieur des zone de sauvegarde		
Zone N	-	46 766
Zone A	189	1 911
Zone AU	36	138
Zone U	169	1 088
Commune sans zonage PLU	3	1 354

Figure 108 : ZSE du plateau de Siou Blanc et urbanisme.

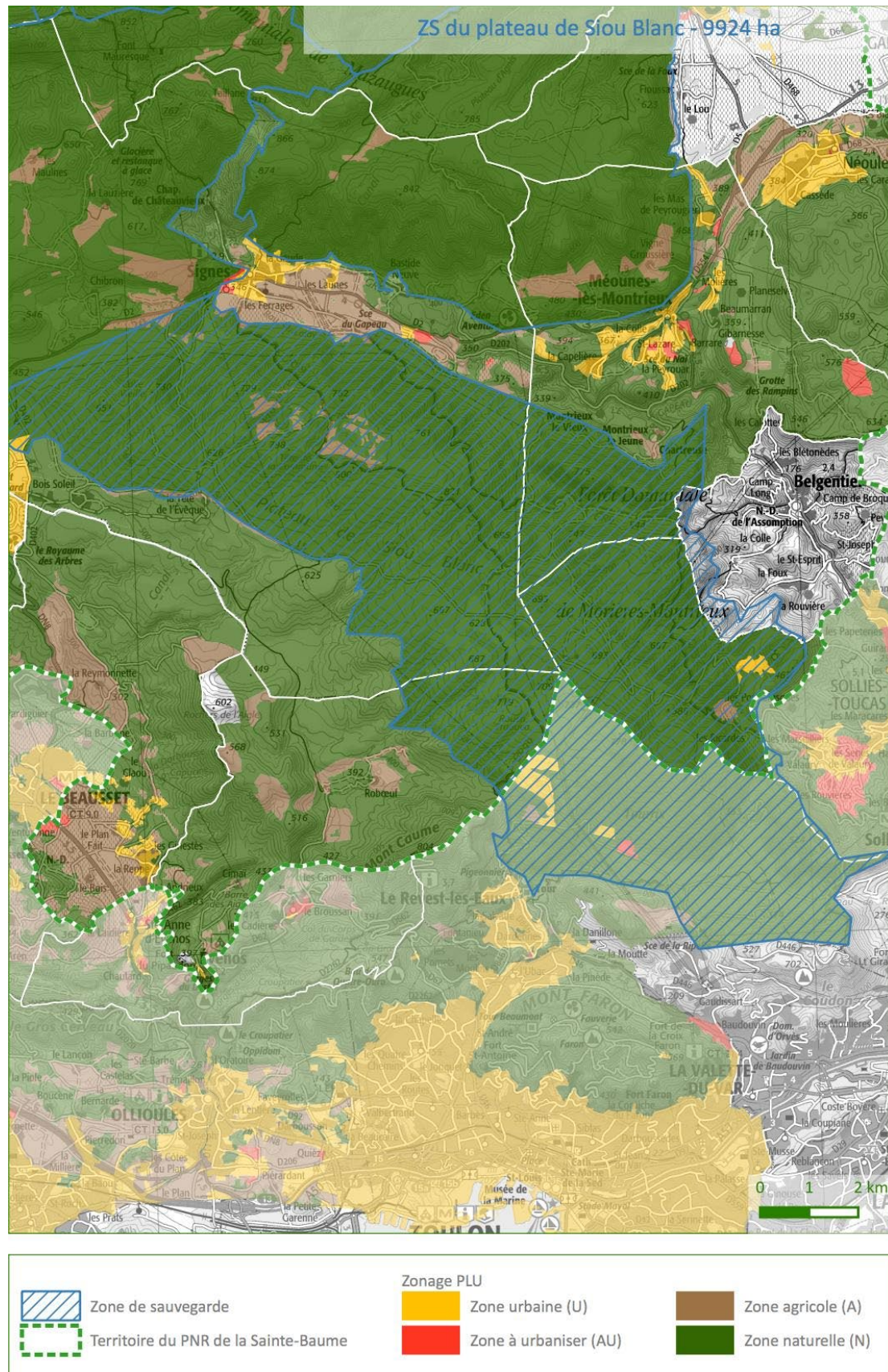


Figure 109 : ZSE du massif de l'Agnis et urbanisme.

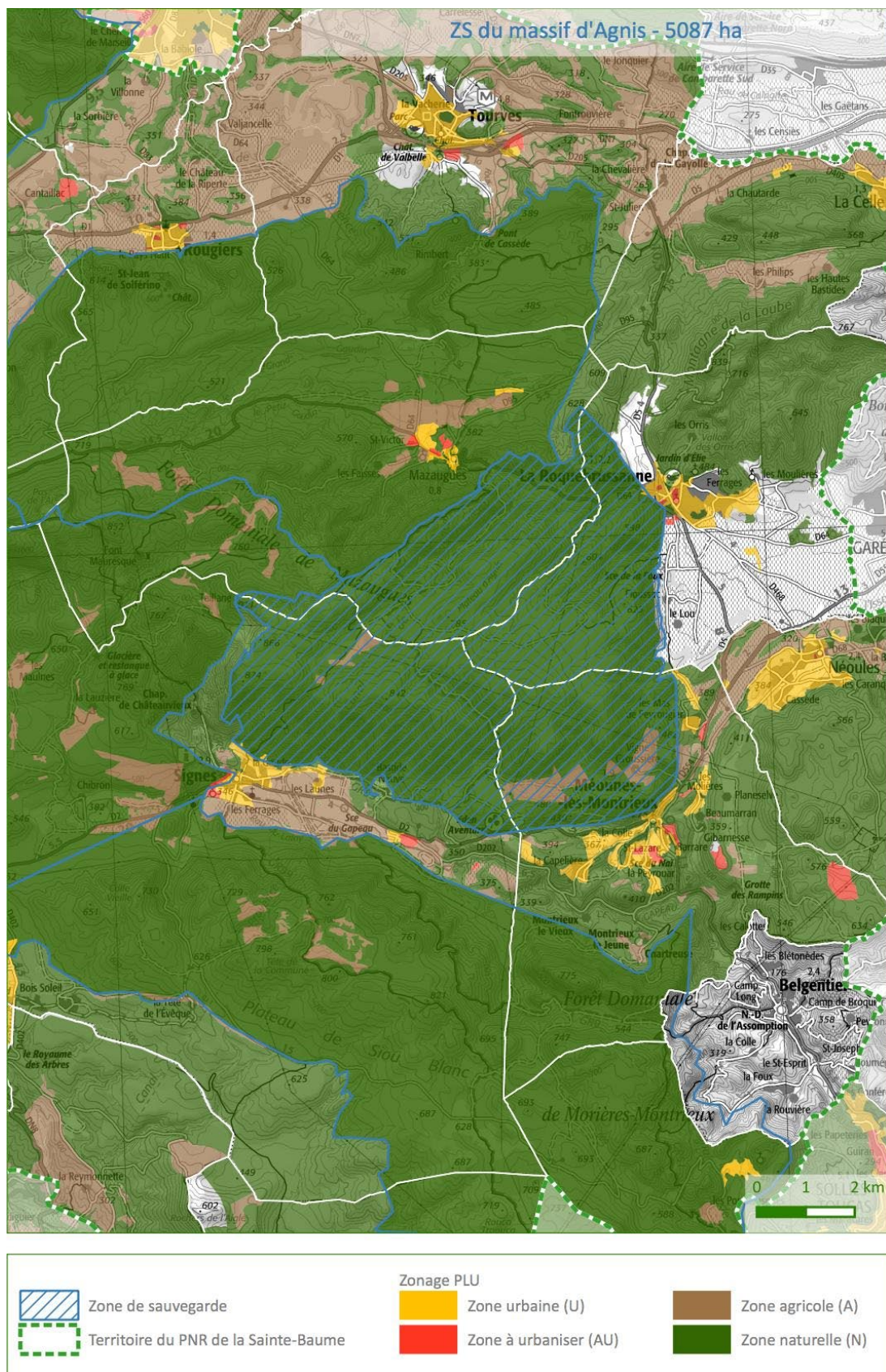


Figure 111 : ZSNEA du plateau de Mazaugues et urbanisme.

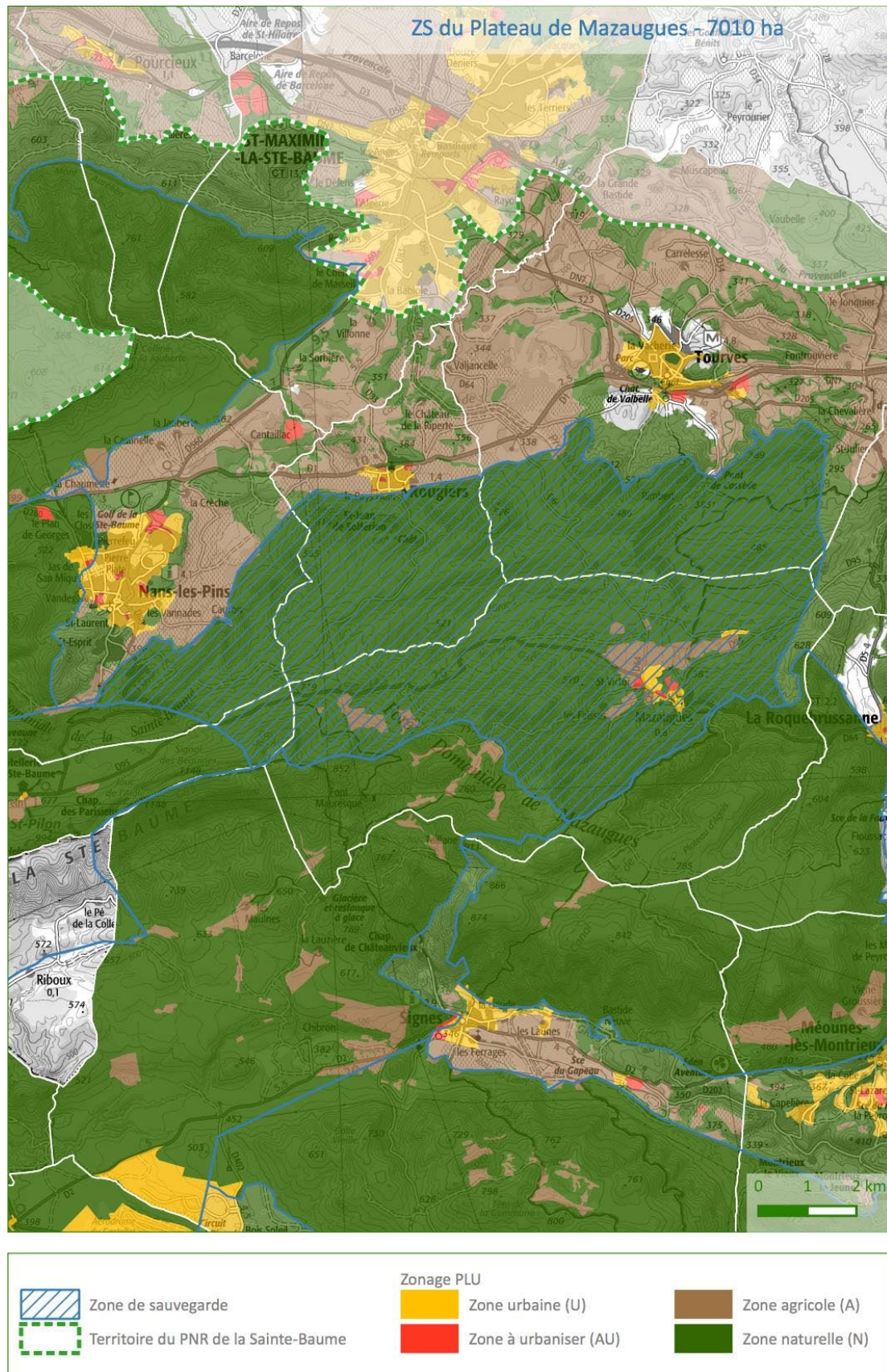


Figure 112 : ZSNEA de la Montagne de la Lare et urbanisme.

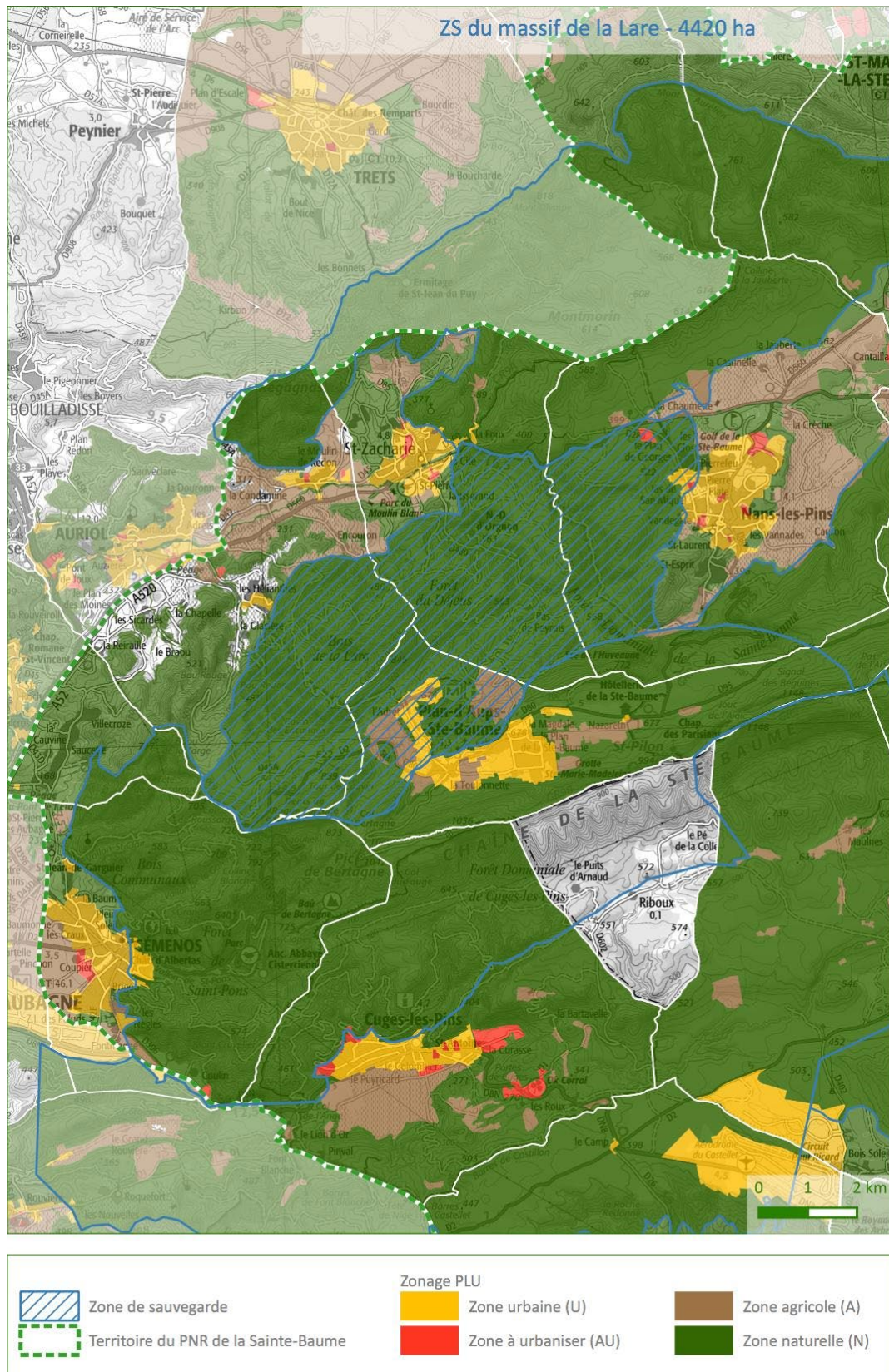


Figure 113 : ZSNEA des Monts Olympe et Aurélien et urbanisme.

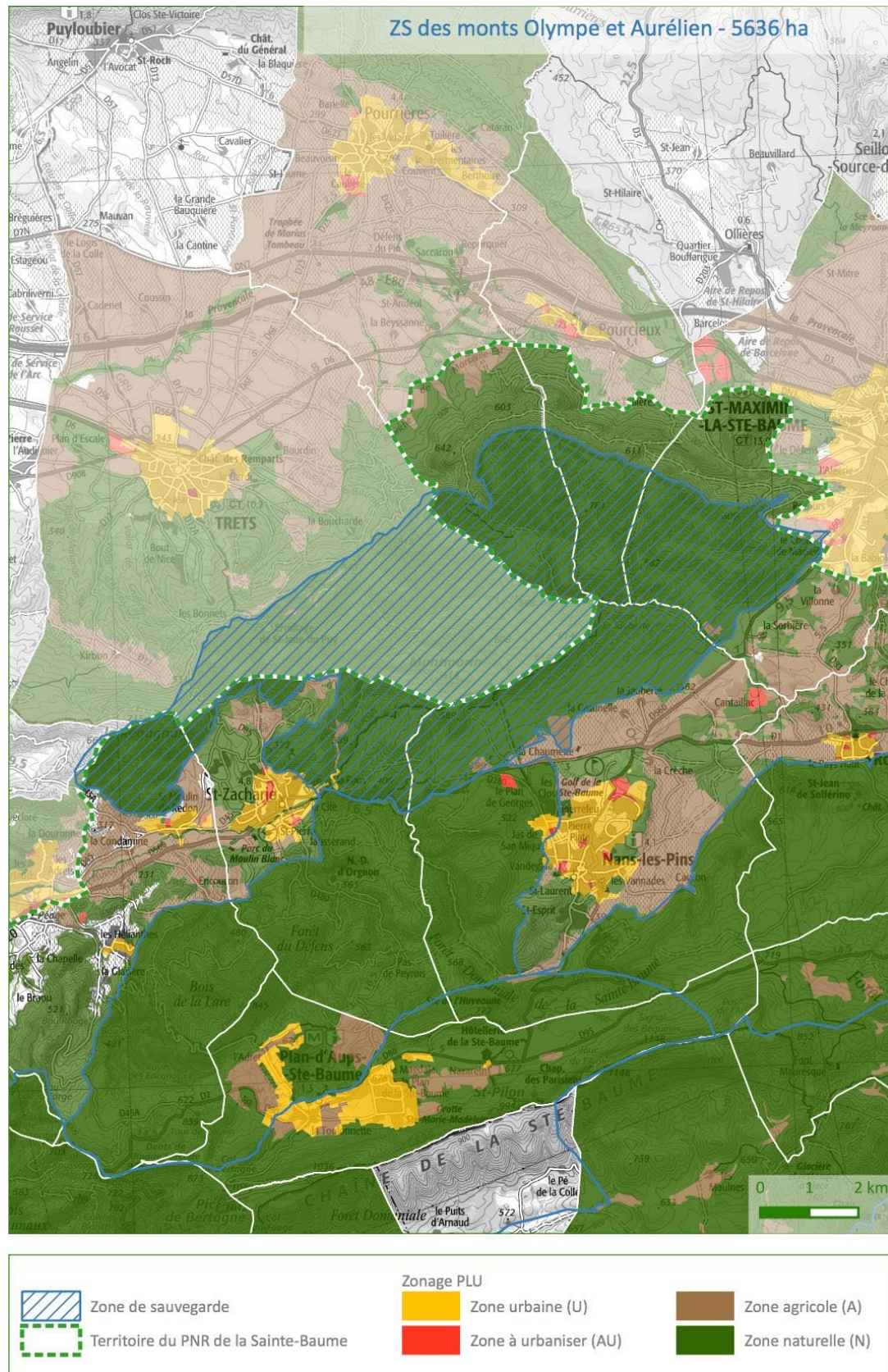
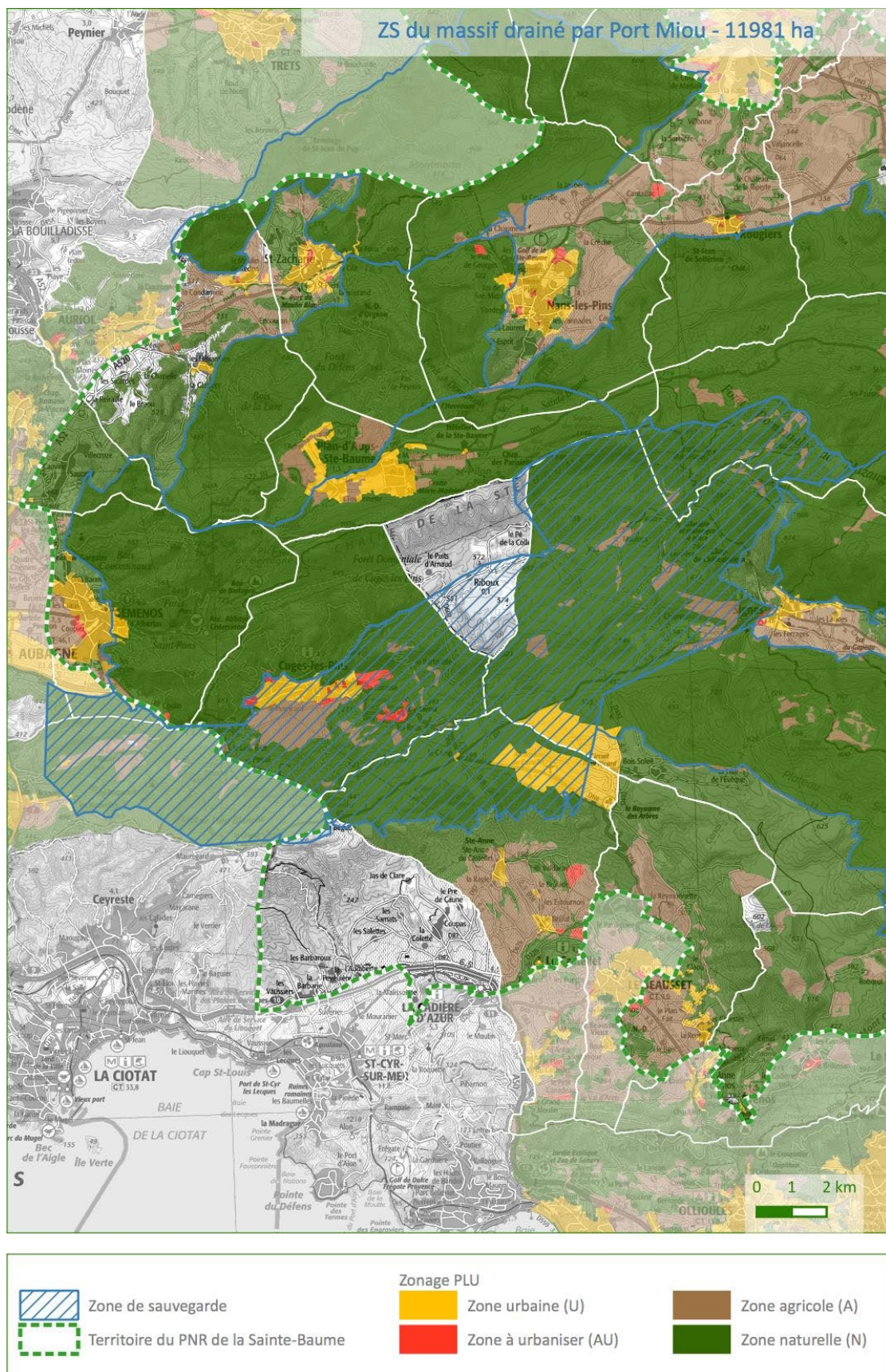


Figure 114 : ZSNEA du massif drainé par Port Miou et urbanisme.



5.4.3 DOCUMENTS D'URBANISME ET MISE EN PLACE DES ZONES DE SAUVEGARDE

A ce stade de l'étude, des premières analyses spatiales ont été effectuées pour mettre en évidence et appréhender les problématiques potentielles liées à l'aménagement de zones urbaines au sein des zones de sauvegarde.

L'objet de cette première analyse sommaire était d'identifier pour chaque zone de sauvegarde les éléments suivants :

- Date approbation.
- Données disponibles.
- Enjeux repérés sur le PLU par rapport au zone de sauvegarde.
- Niveau de vigilance au regard des documents en vigueur.
- Projet d'évolution du PLU.
- Données disponibles du document en projet.
- Proposition du BE pour traiter les données en phase 2.
- Marges d'ajustements pour les zones de sauvegarde.
- Modalités d'intégration des propositions de protection des zones de sauvegarde.

Ainsi, pour chaque commune, des commentaires ont été apportés pour évaluer un niveau de vigilance au regard des documents en vigueur pour la définition des zones de sauvegarde. Enfin, les analyses ont permis d'estimer des marges d'ajustement et de proposer des modalités d'intégration pour l'établissement des zones de sauvegarde.

Toutes ces informations sont présentées dans les tableaux ci-dessous.

Rappelons que des analyses plus détaillées seront proposées en phase 2 pour les zones de sauvegarde validées en fin de phase 1.

Figure 115 : SCOT et zones de sauvegarde.

SCOT	EPCI concerné(s)	Commune(s) du périmètre de classement concerné(s)	Date d'approbation	Données disponibles du SCOT en vigueur	Projet d'évolution du SCOT	Données disponibles du SCOT en cours de révision	Proposition du BE pour traiter les données en phase 2	Marges d'ajustements pour les zones de sauvegarde
SCOT Provence Verte	Communauté d'agglomération de la Provence Verte	Brignoles, La Celle, Gariéult, Mazaugues, Méounes-lès-Montrieux, Nans-les-Pins, Néoules, Plan d'Aups Sainte-Baume, Pourcieux, Pournières, Saint-Maximin-le-Sainte-Baume, La Roquebrussanne, Rougiers, Tourvies	21/01/2014	SCOT en vigueur complet	SCOT en cours de révision	SCOT arrêté au 15/07/2019 Fin consultation PPA 15/10/2019	Choisir le SCOT arrêté.	Pas de marge de manœuvre d'ajustement du SCOT pour la prise en compte des zones de sauvegarde
SCOT Provence Méditerranée	Communauté d'agglomération Sud-Sainte-Baume Communauté de communes de la Vallée du Gapeau	Belgentier, Evénos, La Cadière d'Azur, Le Beausset, Le Castellet, Riboux, Signes, Solliès-Toucas	16/10/2009	SCOT en vigueur complet	SCOT en cours de révision	SCOT arrêté 26/10/2018 Enquête publique terminée juin 2019	Choisir le SCOT à approuver Récupérer le dossier d'approbation à venir	Pas de marge de manœuvre d'ajustement du SCOT pour la prise en compte des zones de sauvegarde
SCOT du Pays d'Aubagne et de l'Étoile, et de Grasse		Aubagne, Auriol, Cuges-les-Pins, Roquevaire, Saint-Zacharie	18/12/2013	SCOT en vigueur complet	SCOT en cours de révision qui devient SCOT Métropole Aix marseilledela Métropole	Aucune Débat PADD prévu juin 2019 approbation fin 2022	Choisir le SCOT en cours de révision Récupérer les travaux d'avancement de SCOT métropole	Des marges de manœuvre d'ajustement du SCOT en projet sont possibles pour la prise en compte des zones de sauvegarde si les données en cours d'élaboration sont transmises
SCOT du Pays d'Aix	Métropole Aix-Marseille Provence	Trets	17/12/2015	SCOT en vigueur complet	SCOT en cours de révision qui devient SCOT Métropole Aix marseilledela Métropole	Aucune Débat PADD prévu juin 2019 approbation fin 2022	Choisir le SCOT en cours de révision Récupérer les travaux d'avancement de SCOT métropole	Des marges de manœuvre d'ajustement du SCOT en projet sont possibles pour la prise en compte des zones de sauvegarde si les données en cours d'élaboration sont transmises
SCOT de Marseille Provence Métropole		Gémenos	26/06/2012	SCOT en vigueur complet	SCOT en cours de révision qui devient SCOT Métropole Aix marseilledela Métropole	Aucune Débat PADD prévu juin 2019 approbation fin 2022	Choisir le SCOT en cours de révision Récupérer les travaux d'avancement de SCOT métropole	Des marges de manœuvre d'ajustement du SCOT en projet sont possibles pour la prise en compte des zones de sauvegarde si les données en cours d'élaboration sont transmises

Figure 116 : PLU et zones de sauvegarde.

PLU	Date approbation	Données disponibles	Enjeux repérés sur le PLU par rapport au zone de sauvegarde	Niveau de vigilance au regard des documents en vigueur	Projet d'évolution du PLU	Données disponibles du document en projet	Proposition du BE pour traiter les données en phase 2	Marges d'ajustements pour les zones de sauvegarde	Modalités d'intégration des propositions de protection des zones de sauvegarde
Cuges les Pins	Approbation le 12/11/2015 et modification du 18/12/2017	complètes au CNIG	ZSE massif de la Sainte Baume : toute la commune est concernée. Des EBC protègent une partie de la zone de sauvegarde située en zone naturelle (environ 30%). Une vaste partie, plus de 90% de la zone de sauvegarde est protégée par des zones N et A. Toutefois, il existe des poches de zones naturelles artificialisées, comme des zones NT dédiées aux loisirs et Nde réservée à un parc solaire et enfin une zone dédiée à un parc d'attraction. Des zones AU situées dans les zones de sauvegarde sont inconstructibles en raison du captage : pas de constructions nouvelles, mais des extensions de l'existant sont possibles. Des zones AU (habitat) sont prévues dans la zone de sauvegarde, 90 ha (2,3% de la zone de sauvegarde située dans le territoire communal). 4,3 % de la zone de sauvegarde est située en zone U.	Vigilance recommandée : zone de sauvegarde partiellement protégée	PLUi Pays d'Aubagne et de l'Etoile	PADD du PLUi	PADD du PLUi + PLU de Cuges les Pins	Oui, si les données d'avancement du PLU sont transmises	Si enjeux, envisager la prise en compte des zones de sauvegarde dans la procédure de révision en cours
Gémenos	Approuvé le 28/06/2013 et modifié le 21/12/2015	Complètes au CNIG	ZSE Massif de la Sainte Baume : 98% en zone N et 1,6 % en zones urbaines et à urbaniser. Des EBC sont présents sur une vaste partie de la zone de sauvegarde (près de 80%).	Vigilance recommandée : zone de sauvegarde partiellement protégée	PLUi Marseille Provence Métropole Enquête publique mars 2019	Planches graphiques en PDF du dossier d'arrêt Pas d'autres données disponibles	Choisir le PLUi arrêté ou approuvé (prévu en décembre 2019)	Pas de marge de manœuvre d'ajustement du PLU pour la prise en compte des zones de sauvegarde	Si enjeux, nouvelle procédure à envisager pour prise en compte des zones de sauvegarde
Méounes Les Montrieux	Approuvé en 2006	Données incomplètes. Les PDF donnent un arrêt en 2019. Le SIG le PLU est de 2006	ZSE Massif de l'Agnis et ZSE Siou Blanc : classement en zone naturelle (93%) et agricole (7%).	Vigilance limitée : zone de sauvegarde déjà protégée	PLU en cours de révision : L'enquête publique prévue en juillet 2019 a été annulée. Le dossier de PLU a été arrêté	PLU arrêté au format PDF	Choisir le PLU arrêté	Pas de marge de manœuvre d'ajustement du PLU pour la prise en compte des zones de sauvegarde	Si enjeux, nouvelle procédure à envisager pour prise en compte des zones de sauvegarde
Signes	Approuvé le 12/07/2013 modifié le 30/04/15 et le 31/10/18	Données complètes	ZSE Massif de l'Agnis et ZSE Siou Blanc : présence de zones N et A (98%), avec des protections spécifiques liées à la zone naturelle 2000. Mais 2% environ de zones U et AU sont situées dans la zone de sauvegarde, elles représentent 2% de la zone de sauvegarde.	Vigilance recommandée : zone de sauvegarde partiellement protégée	information non connue		Choisir le PLU en vigueur	Pas de marge de manœuvre d'ajustement du PLU pour la prise en compte des zones de sauvegarde	Si enjeux, nouvelle procédure à envisager pour prise en compte des zones de sauvegarde
Mazaugues	Approuvé le 18/02/2015 et modifié le 10/04/2017 et A en 2018	Données PDF de la révision allégée 2018 mais sig de 2015	ZSE Massif de l'Agnis : Quasiment toute la commune est concernée, présence de zones U AU N et A. 98% est toutefois classé en zones A et N, 1% de zones U et AU	Vigilance forte : zone de sauvegarde potentiellement en danger au regard des projets urbains, nécessite d'analyse dans le détail	Révision générale en cours	Données disponibles	Choisir le PLU en vigueur de 2018	Pas de marge de manœuvre d'ajustement du PLU pour la prise en compte des zones de sauvegarde	Si enjeux, nouvelle procédure à envisager pour prise en compte des zones de sauvegarde

PLU	Date approbation	Données disponibles	Enjeux repérés sur le PLU par rapport au zone de sauvegarde	Niveau de vigilance au regard des documents en vigueur	Projet d'évolution du PLU	Données disponibles du document en projet	Proposition du BE pour traiter les données en phase 2	Marges d'ajustements pour les zones de sauvegarde	Modalités d'intégration des propositions de protection des zones de sauvegarde
La Roquebrussane	Approuvé le 27/02/2017	Données SIG du 17 mai 2018 mais PDF de la modification de février 2017	ZSE Massif de l'Agnis : Des zones A et N sont concernées, la majorité du territoire la zone de sauvegarde est couverte par une vaste zone naturelle (98%). Des EBC couvrent de manière importante la partie sud-ouest de la zone de sauvegarde. Il existe des zones naturelles artificialisées pouvant évoluer, extension de l'habitat existant et/ou des équipements existants.	Vigilance limitée : zone de sauvegarde déjà protégée	Modification en cours	Dossier d'arrêt transmis	Choisir le PLU de 2017	Pas de marge de manœuvre d'ajustement du PLU pour la prise en compte des zones de sauvegarde	Si enjeux, nouvelle procédure à envisager pour prise en compte des zones de sauvegarde
Le Revest Les eaux	Approuvé le 3/06/2013	Données incomplètes sur certains domaines	ZSE Siou Blanc : une part importante du territoire est concernée par des zones N, A, AU et U. Les zones A et N représentent 95 % de la zone de sauvegarde. Les terrains artificialisés correspondent à des zones de carrières et terrains militaires classés en sous-secteurs N.	Vigilance forte: zone de sauvegarde potentiellement en danger au regard des terrains artificialisés, nécessité d'analyse dans le détail	Non	Pas concerné	Choisir le PLU en vigueur	Pas de marge de manœuvre d'ajustement du PLU pour la prise en compte des zones de sauvegarde	Si enjeux, nouvelle procédure à envisager pour prise en compte des zones de sauvegarde
Sollès ville	Pas de document collecté	Pas de données	ZSE Siou Blanc : pas possible de renseigner sans données	en attente des données	Pas de données	ne sais pas	En attente	En attente	
Sollès Toucas	Approuvé le 27/12/2018	Données complètes	ZSE Siou Blanc : quasiment toute la commune est concernée par la zone de sauvegarde. 98% de la zone de sauvegarde est classée en zone naturelle et agricole. Le solde est classé en zone urbaine. Une grande majorité des zones naturelles sont couvertes par des EBC. La zone urbaine correspond en fait à une zone (nm) réservée à un institut médical, cet espace est donc artificialisé. Il reste 20 ha de zones urbaines situés en zone de sauvegarde.	Vigilance limitée : zone de sauvegarde déjà protégée	Non	Pas concerné	Choisir le PLU en vigueur de 2018	Pas de marge de manœuvre d'ajustement du PLU pour la prise en compte des zones de sauvegarde	Si enjeux, nouvelle procédure à envisager pour prise en compte des zones de sauvegarde
Evenos	Approuvé le 12/04/2012, 3ème modification le 3/04/2017	Données disponibles en PDF	ZSE Siou Blanc : la zone de sauvegarde est concernée par une zone naturelle située à l'est de la commune sur une partie limitée du territoire communal.	Vigilance limitée : zone de sauvegarde déjà protégée	Non	Pas concerné	Choisir le PLU en vigueur de 2017	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme
Tourves	Approuvé le 1/09/2009 et modifié plusieurs fois	PDF de la modif de 2015 et SIG PLU 2012	ZSNEA : plateau de mazaugues : partie sud de la commune concernée par une zone naturelle à hauteur de 99% environ et 1% de zone agricole. la zone est aussi protégée par Natura 2000 en partie.	Vigilance limitée : zone de sauvegarde déjà protégée	révision en cours, PADD débattu en 2017	Le PADD : il indique une protection des zones naturelles couvertes par la zone de sauvegarde. Le PLU en cours de révision semble protéger dans son PADD la zone de sauvegarde	Choisir le PLU en cours de révision	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme; et du PADD du PLU en cours de révision	Si enjeux, envisager la prise en compte des zones de sauvegarde dans la procédure de révision en cours

PLU	Date approbation	Données disponibles	Enjeux repérés sur le PLU par rapport au zone de sauvegarde	Niveau de vigilance au regard des documents en vigueur	Projet d'évolution du PLU	Données disponibles du document en projet	Proposition du BE pour traiter les données en phase 2	Marges d'ajustements pour les zones de sauvegarde	Modalités d'intégration des propositions de protection des zones de sauvegarde
Rougiers	Approuvé le 20/03/2017	Données disponibles complètes + CNIG	ZSNEA : plateau de Mazaugues : partie sud de la commune concernée par une vaste zone naturelle qui est couverte à 85% environ par des EBC. Un reliquat de zone U est compris dans la zone de sauvegarde. Elle est déjà bâtie et représente moins de 1% de la zone de sauvegarde.	Vigilance limitée : zone de sauvegarde déjà protégée	Non	Pas concerné	Choisir le PLU en vigueur	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme
Riboux	Commune soumise au RNU (règlement national d'urbanisme)		ZSNEA : Port Miou	pas de protection, commune au RNU				Pas de marge de manœuvre pour la prise en compte des zones de sauvegarde car pas de document d'urbanisme de type PLU. Se référer au sCoT	Si enjeux, viser des orientations dans le SCoT.
Roquefort la Bedoule	Approuvé le 22/03/2013 et modification n°3 le 19/10/2017	Données disponibles CNIG	ZSNEA : Port Miou ; les trois quart de la commune sont concernés par la zone de sauvegarde. Des zones U, AU, N et A sont situées dans la zone de sauvegarde. Même si 98 % de la zone de sauvegarde est classée en zones A et N, des espaces à urbaniser et urbanisés affectent la zone de sauvegarde à hauteur de 21 ha Risques de conflits entre document d'urbanisme et protection de la zone de sauvegarde.	vigilance forte : zone de sauvegarde potentiellement en danger au regard des projets urbains , nécessité d'analyse dans le détail	PLU Marseille Provence Métropole Enquête publique mars 2019	Planches graphiques en PDF du dossier d'arrêt Pas d'autres données disponibles	Choisir le PLU arrêté ou approuvé (prévu en décembre 2019)	Pas de marge de manœuvre d'ajustement du PLU pour la prise en compte des zones de sauvegarde	Si enjeux, nouvelle procédure à envisager pour prise en compte des zones de sauvegarde
Aubagne	Approuvé le 22/11/2016 et modifié le 13/12/2017	CNIGDonnées disponibles	ZSNEA : Port Miou : La zone de sauvegarde est classée en zone naturelle, type N avec des EBC par endroits et en zone Ncr, zone de carrière dénommée vallon de l'Escargot. La présence de la carrière peut avoir des incidences sur la protection de la zone de sauvegarde. 100 % de la zone de sauvegarde est classée en A et N.	vigilance forte : zone de sauvegarde potentiellement en danger au regard de la carrière , nécessité d'analyse dans le détail	PLU Pays d'Aubagne et de l'Etoile	PADD du PLU	PADD du PLU + PLU d'Aubagne	Oui, si les données d'avancement du PLU sont transmises	Si enjeux, envisager la prise en compte des zones de sauvegarde dans la procédure de révision en cours
Plan d'Aups	Approuvé le 16/07/2004 et modifié en 2015	Données PDF complètes de 2015 mais SIG de 2013	ZSNEA de La Lare : L'intégralité de la commune est concernée par une zone de sauvegarde, de ce fait on note la présence de zones A, N, U et N artificialisées. Il s'agit pour cette dernière de zones dédiées à un parc solaire et à des activités de tourisme (Np et Nt). Certaines zones naturelles sont couvertes par des EBC. Globalement, 89% de la zone de sauvegarde est classée en A et N, 11% en zones	vigilance forte : zone de sauvegarde potentiellement en danger au regard des projets urbains , nécessité d'analyse dans le détail	Révision en cours	PADD débattu et carte trame verte et bleue	Choisir le PLU en cours de révision car le PLU en vigueur est trop ancien et ne reflète pas la réalité actuelle	Pas de marge de manœuvre d'ajustement du PLU pour la prise en compte des zones de sauvegarde si le projet est proche de son "arrêt"	Si enjeux, nouvelle procédure à envisager pour prise en compte des zones de sauvegarde

PLU	Date approbation	Données disponibles	Enjeux repérés sur le PLU par rapport au zone de sauvegarde	Niveau de vigilance au regard des documents en vigueur	Projet d'évolution du PLU	Données disponibles du document en projet	Proposition du BE pour traiter les données en phase 2	Marges d'ajustements pour les zones de sauvegarde	Modalités d'intégration des propositions de protection des zones de sauvegarde
Nans les Pins	Approuvé le 13/05/2011 et modifié le 24/01/14	Données PDF complètes mais pas de CNIG	ZNSEA : Une grande majorité de la zone de sauvegarde est concernée par des zones A et N (99%). A l'ouest de la zone urbanisée dense, des zones U et AU sont présentes dans la ZNSEA. Le centre urbain dense n'est pas concerné par la zone de sauvegarde. Environ 1% de la zone de sauvegarde est concernée par une zone U ou AU, soit près de 30 hectares.	vigilance recommandée : zone de sauvegarde partiellement protégée	Révision en cours PADD débattu et arrêté prévu en 2019	PADD et des planches graphiques mais non datées. Est-le projet arrêté ?	Choisir le PLU en cours de révision car le PLU en vigueur est trop ancien et ne reflète pas la réalité actuelle	Pas de marge de manœuvre d'ajustement du PLU pour la prise en compte des zones de sauvegarde si le projet est proche de son "arrêt"	Si enjeux, envisager la prise en compte des zones de sauvegarde dans la procédure de révision en cours
Saint Zacharie	Approuvé le 12/11/12 et modifié le 30/11/17	Il faut traiter sur le règlement graphique de 2017. Données CNIG complètes	ZNSEA : la zone de sauvegarde est concernée à 88% par une vaste zone naturelle et 1% de zone agricole. Il existe à la marge une zone U traversée par la zone de sauvegarde. Une masse importante d'EBC est présente sur la zone naturelle. Une zone Nc à vocation de tourisme et loisirs située dans la zone de sauvegarde est artificialisée et peut évoluer.	vigilance recommandée : zone de sauvegarde partiellement protégée	PLUi Pays d'Aubagne et de l'Etoile	PADD du PLUi	PADD du PLUi + PLU de Saint Zacharie 2017	Oui, si les données d'avancement du PLU sont transmises	Si enjeux, envisager la prise en compte des zones de sauvegarde dans la procédure de révision en cours
Auriol	Approuvé le 20/02/12 et modifié le 10/07/17	Données 2017 complètes + CNIG	ZNSEA Mont Olympe: la zone de sauvegarde est couverte par une zone naturelle (quasi 100%), de type Np protégée par le périmètre de captage. La zone est totalement inconstructible. La zone urbaine n'est pas traversée par la zone de sauvegarde.	vigilance limitée : zone de sauvegarde déjà protégée	PLUi Pays d'Aubagne et de l'Etoile	PADD du PLUi	PADD du PLUi + PLU de Auriol	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme
Saint maximin	Approuvé le 19/01/2016 et modifié le 4/02/2019	Données complètes	ZNSEA Mont Olympe: la zone de sauvegarde est entièrement concernée par une zone naturelle (97,5%) avec parfois des EBC et une zone agricole avec des évolutions de l'existant possible à la marge. Les zones AU sont marginales.	vigilance limitée : zone de sauvegarde déjà protégée	non	Pas concerné	Choisir le PLU en vigueur	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme
Pourcieux	Approuvé le 19/11/2007 et modifié le 21/12/2017	Données complètes + CNIG	ZNSEA Mont Olympe: la zone de sauvegarde située au sud de la commune est entièrement concernée par une zone naturelle.	vigilance limitée : zone de sauvegarde déjà protégée	non	Pas concerné	Choisir le PLU en vigueur	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme
Pourrières	Approuvé le 13/03/2009 et modifié le 21/02/2017	Données complètes en PDF mais pas de SIG	ZNSEA Mont Olympe: la zone de sauvegarde est concernée par une vaste zone naturelle couverte à 90% par des EBC.	vigilance limitée : zone de sauvegarde déjà protégée	Oui Modification n°8 en cours	Non	Choisir le pLU en vigueur et récupérer l'objet de la modification n°8 pour savoir s'il y a un impact sur la zone de sauvegarde.	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme

PLU	Date approbation	Données disponibles	Enjeux repérés sur le PLU par rapport au zone de sauvegarde	Niveau de vigilance au regard des documents en vigueur	Projet d'évolution du PLU	Données disponibles du document en projet	Proposition du BE pour traiter les données en phase 2	Marges d'ajustements pour les zones de sauvegarde	Modalités d'intégration des propositions de protection des zones de sauvegarde
Trets	Approuvé le 12/12/2017	Données complètes + CNIG	ZNSEA Mont Olympe: la zone de sauvegarde est concernée par une zone naturelle à hauteur de 99% environ et une zone agricole pour 1%. Une partie de la zone concernée est en zone inondable rouge inconstructible. Il existe quelques espaces A ou N qui peuvent évoluer à la marge par des extensions possibles de l'existant.	vigilance limitée : zone de sauvegarde déjà protégée	Non	Pas concerné	Choisir le PLU en vigueur	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme
La Celle	Approuvé le 22/12/2009	Données complètes du PLU en vigueur	La zone de sauvegarde des Plateaux de Mazauges est très restreinte sur la commune, elle représente 8 hectares en zone naturelle.	vigilance limitée : zone de sauvegarde déjà protégée	Oui	PLU en cours de révision	Choisir le PLU en vigueur, car la zone devrait rester en nature au regard de sa localisation	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme
Roquevaire	Approuvé le 23/01/2017	Données complètes du PLU en vigueur	La ZNSEA de Port-Miou représente 188 ha de zone naturelle. Au sein de cette dernière, il existe des zones Na, espace naturel d'intérêt agricole et quelques EBC.	vigilance limitée : zone de sauvegarde déjà protégée	Non	PLU en vigueur	PLU en vigueur	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme
Le Castellet	Approuvé le 2 juin 2009 et modifié à plusieurs reprises. La dernière modification est la neuvième, elle date du 2/02/2015	Données incomplètes du PLU en vigueur	84 % de zone N couvre la zone de sauvegarde de Port-Miou. Certains espaces naturels sont composés d'habitat diffus pouvant évoluer à la marge. 15 % de la zone de sauvegarde est classée en zone urbaine. Cette dernière coïncide avec l'aéroport du castellet, le circuit automobile Puycricard et une vaste zone d'activités économiques. Toutes évolutions de ces espaces peuvent conduire à fragiliser la zone de sauvegarde.	vigilance forte: zone de sauvegarde potentiellement en danger au regard des terrains artificialisés. nécessité d'analyse dans le détail	Ne sais pas	ne sais pas	PLU en vigueur	Peu de marge de manœuvre d'ajustement du PLU pour la prise en compte des zones de sauvegarde	Si enjeux, nouvelle procédure à envisager pour prise en compte des zones de sauvegarde
Belgentier	Approuvé le 11/12/2017	Données non transmises	Pas possible de renseigner sans données	Pas possible de renseigner sans données	Pas possible de renseigner sans données	Pas possible de renseigner sans données	Pas possible de renseigner sans données	Pas possible de renseigner sans données	Pas possible de renseigner sans données
La Cadière d'Azur	Approuvé le 11/06/2018	Données partielles	Seulement 31 ha sont situés dans la ZNSEA du massif drainé par Port Miou, au sud de la RD3. Il s'agit d'une zone naturelle, Nbio, réserve de biodiversité et Abio, agricole en biodiversité.	vigilance limitée : zone de sauvegarde déjà protégée	Non	Non concerné	PLU en vigueur	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme	La ressource en eau est déjà protégée dans le document d'urbanisme

6 . REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ACRI, 2015 – Délimitation des périmètres de protection du captage Coulin. Commune de Gémenos. Rapport technique pour le compte de Marseille Provence Métropole. 69 p.

ANTEA & SPL L'Eau des Collines, 2017 – Identification et préservation des ressources majeures en eau souterraine pour l'alimentation en eau potable – Communauté d'Agglomération du Pays d'Aubagne et de l'Etoile : Rapport de phase 1 et propositions d'investigations complémentaires -Novembre 2017- Rapport n°91360/A, livrable pour l'Agence de l'eau Rhône méditerranée Corse dans le cadre du projet conventionné n°2017 1407, 111 p.

ANTEA Group & SPL L'eau des Collines, 2019 - Identification et préservation des ressources majeures en eau souterraine pour l'alimentation en eau potable – Communauté d'Agglomération du Pays d'Aubagne et de l'Etoile : Diagnostic et Evolution de la productivité du forage Puyricard n°2 à Cuges-Les-Pins (13)- Février 2019-Rapport n°97193/A , livrable pour l'Agence de l'eau Rhône méditerranée Corse dans le cadre du projet conventionné n°2017 1407, 38 p.

ANTEA & SPL L'Eau des Collines, 2019 - Identification et préservation des ressources majeures en eau souterraine pour l'alimentation en eau potable – Communauté d'Agglomération du Pays d'Aubagne et de l'Etoile : Rapport de phase 2 -Caractérisation des zones de sauvegardes -Mai 2019- Rapport n°98820/A, livrable pour l'Agence de l'eau Rhône méditerranée Corse dans le cadre du projet conventionné n°2017 1407, 73 p – 9 fiches ZSE/ZSNEA en annexes.

Aquaviva R., 1970 - Etude des ressources hydrologiques et hydrogéologiques du Sud-est de la France. Fascicule 15 : Bassin de l'Argens; Rapport BRGM n°70 SGN194.

Arfib, 2001 – Etude des circulations d'eaux souterraines en aquifères karstiques côtiers : observations et modélisations de la source saumâtre Almyros d'Héraklion, Crète. Thèse de l'Université Paris 6, 343 p.

Arfib B., 2005 – Ressources en eau en aquifère côtier : exemple d'un karst de Crète. Géologues, 146 p. 24-30.

Arfib B., Lamarque T., 2011 – traçage artificiel KarstEAU : injection de fluorescéine à la perte de Revengudo (Signes) réalisé le 13 février 2011. Compte-rendu de l'injection. Université de Provence. 16 p.

Arfib B., Charlier J.B., 2016 – Insights into saline intrusion and freshwater resources in coastal karstic aquifers using a lumped Rainfall-Discharge-Salinity model. Port-Miou spring, SE France. Journal of Hydrology, n°540, p. 148-161.

Auboin J. Mennessier G., 1963 - Essai sur la structure de la Provence; In Memoriam Prof. Fallot. T. 2. SGF. P. 45-98.

Auboin J., Chorowicz J., 1967 - Le chevauchement Sud-Provençal de l'Etoile à la Sainte Baume; Bull. Soc. Geol. De Fr., IX, p. 600-608.

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.

Bercovici, C., 1983 - Contribution à la géologie de la région nord-toulonnaise. Structure de la zone Broussan-Dardennes. Cartographie détaillée et interprétation. Thèse de Doctorat de l'Université de Provence., 80 p.

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. *Cr Geosci*, 337(12), 1045-1054, doi:10.1016/j.crte.2005.05.009.

Bouillin O., Durozoy G., 1972 - Evaluation des ressources hydrauliques des bassins du Caramy et de l'Issole – Campagnes de jaugeages et essai de bilan ; Rapport BRGM n°72 SGN 101 PRC.

Blavoux B., Gilli E., Rousset C., 2004 - Alimentation et origine de la salinité de la source sous-marine de Port-Miou (Marseille-Cassis). Principale émergence d'un réseau karstique hérité du Messinien; *C.R. Geosciences* 336, p. 523-533.

Blanc J.J., Caron J.P., Gouvernet C., Guieu G., Masse J.P., Philip J., Rouire J., Rousset C., Tempier C., Damiani L., Durozoy G., 1974 - Notice explicative de la carte géologique au 1 : 50 000 de Cuers. Document BRGM, 28 p.

Blanc J.J.; 1993 - le paléo karst littoral de Provence : Estaque, calanques, zone de Bandol. *Karstologia* n°22. p. 21-34.

Blanc J.J., 1995 - Etapes et facteurs de la spéléogénèse dans le Sud-Est de la France. *Karstologia* n°26. p. 13-26.

Blanc J.J.; 2001 - Histoire géologique et enregistrement karstique. Exemple du massif du Siou Blanc et de ses abords (Var). *Karstologia*, n°37, p. 11-22.

Blavoux B., Gilli E., Rousset C., 2004 - Alimentation et origine de la salinité de la source sous-marine de Port-Miou (Marseille-Cassis). Principale émergence d'un réseau karstique hérité du Messinien; *C.R. Geosciences* 336, p. 523-533.

BRLi, 2017 – Scénario tendanciel SAGE du bassin versant du Gapeau. Validé par la CLE du 6 octobre 2017. 49 p.

Caballero Y., Lanini S., Seguin J.J., Charlier J.B., Ollivier C., 2016 – Caractérisation de la recharge des aquifères et évolution future en changement climatique. Application au bassin Rhône Méditerranée Corse. Etude technique BRGM, RP-64779-FR, 162 p.

Campredon R., 1997 - Commune de Ollioules. Délimitation des périmètres de protection pour l'alimentation en eau potable. Source Mère des Fontaines, Puits du Trou de Bombe, Trou des Italiens, Forage de Ripelle. Avis d'hydrogéologue agréé. 10 p.

Camus H., Jouvès J., 2018 – Diagnostic karstologique du réservoir de Dardennes-Siou-Blanc. Rapport technique CENOTE dans le cadre du projet de recherche Dardennes, 109 p.

Camus H., Jouvès J., 2019 – Synthèse des résultats, recommandations et scénario de gestion de la ressource en eau de l'aquifère karstique de Dardennes-Siou-Blanc. Rapport technique CENOTE dans le cadre du projet de recherche Dardennes, 109 p.

Cavalera T., 2007 - Etude du fonctionnement et du bassin d'alimentation de la source sous-marine de Port-Miou (Cassis, Bouches-du-Rhône). Approche multicritères; Thèse à l'université de Provence Aix-Marseille 1.

Choquet M., 1970 - Etude hydrogéologique de la plaine de Signes. Etude réalisée par la Société du Canal de Provence et d'Aménagement de la région provençale.

Colomb E., 1976 – Commune de La Roquebrussane. Source et forage des Neuf Fonts. Délimitation des périmètres de protection pour l'alimentation en eau potable. Avis d'hydrogéologue agréé.. 13 p.

Colomb E., 1984 – Commune de Mazaugues. Sources Haute et Basse. Délimitation des périmètres de protection pour l'alimentation en eau potable. Avis d'hydrogéologue agréé.. 4 p.

Colomb E., 1990 – Forages de la Foux et de Rondoline. Commune de Nans-Les-Pins. Délimitation des aires de protection autour des points d'eau utilisés pour l'alimentation en eau potable. Enquête hydrogéologique réglementaire. 7p.

Colomb E., 1992 – Commune de St Zacharie. Source et forage de la Brise. Délimitation des périmètres de protection pour l'alimentation en eau potable. Avis d'hydrogéologue agréé.. 7 p.

Colomb E., 1993 - Commune de Tourves. Source des Lecques. Délimitation des périmètres de protection pour l'alimentation en eau potable. Avis d'hydrogéologue agréé.. 5 p.

Conrad G., 1989- Commune de Mazaugues/Alimentation en eau potable de la commune de Rougiers. Source de Font Frege. Délimitation des périmètres de protection pour l'alimentation en eau potable. Avis d'hydrogéologue agréé.. 7 p. + cartes et plans.

Conrad G., 1998 – Les périmètres de protection des captages de la vallée de St Pons. AEP de la ville de Gémenos. Avis de l'hydrogéologue agréé, 25 p.

Conseil Général du Var, 2006 – Schéma départemental des ressources et de l'alimentation en eau du Var. Phase 1. Etat des lieux des ressources et de l'alimentation en eau. 162 p. + annexes.

Conseil Général du Var, 2012 – Schéma départemental des ressources et de l'alimentation en eau du var. Réactualisation 2011/2012. 103 p. + annexes.

Coulier C., 1985 - Hydrogéologie karstique de la Sainte-Baume occidentale. Thèse. Université de Provence Aix-Marseille.

Coulier C., 1986 - Le karst de la Sainte Baume. Structures et évolution : l'approche hydrogéologique. Karstologia n°8, p. 7-12.

Cova R., Durozoy G., 1983 - Notice explicative de la carte hydrogéologique du département du Var à 1/200 000. Document BRGM, 38 p.

Cova R., 1989 – Quartier Rondoline. Essai de pompage du 7/12/1988. Recherche d'eau. Pour le compte du SI de la Sainte Baume, 3 p. + cartes et annexes.

Cova R., Tapoul J.F., 1990 - Régime hydrogéologique de l'Issole. Conséquences de la sécheresse 1989-1990; Rapport Cellule géologique départementale. 8 p. + annexes

Damiani L., Durozoy G., Philip J., Rouire J., Tempier C., Blanc J.J., Froget C., 1978 - Notice de

la carte géologique au 1 : 50 000 de La Ciotat ; document BRGM, 25 p.

Département du Var, 2016 – Observatoire départemental des ressources pour l'alimentation en eau potable. Méthodes de projection démographique, 7 p.

Département des Bouches du Rhône, 2014 – Révision du Schéma Départemental d'Alimentation en eau potable des Bouches du Rhône. Phase 2 : Diagnostic de l'Alimentation en eau potable. Rapport technique, 95 p.

Dörfliger N., Crochet P., Guérin R., Jozja N., Marsaud B., Mondain P.H., Muet P., Plagnes V. 2010 – Guide méthodologique. Les outils de l'hydrogéologie karstique. Document BRGM RP-58237-FR, 246 p.

Durand J.P., Guieu G., Menessier G., Rouire J., Damiani I., Féraud J., Durozoy G. ; 1979 - Notice explicative de la carte géologique au 1 : 50 000 de Brignoles. Document BRGM, 30 p.

Durand R., Margaria Y., 2015 – La liaison Saint-Cassien Foux de nans est maintenant une réalité. Spelunca 139, p. 47-50.

Durozoy G., Paloc H., 1966 – Projet de captage expérimental de la résurgence sous-marine de Port-Miou (Commune de Cassis). Rapport BRGM DS66A124, 19 p.

Durozoy G., Paloc H., 1969 – Bassin du Beausset. Enseignements apportés par les expériences de coloration. Rapport BRGM 69SGL121PRC, 29 p.

Durozoy G., Gouvernet C., Jonquet P. 1974 - Notice explicative de la carte hydrogéologique au 1 :50 000 de Toulon. Document BRGM, 31 p.

Durozoy G., Glintzboeckel C., Jonquet P. 1970 - Etude des ressources hydrologiques et hydrogéologiques du Sud-Est de la France – Fascicule 13 – Bassins côtiers entre Marseille et Toulon; Rapport BRGM n°70SGN192PRC.

Durozoy G., 1972 - Evaluation des ressources hydrauliques. Carte hydrogéologique des Bouches du Rhône - échelle 1 : 200 000. Notice explicative. Rapport BRGM, 72 SGN 394 PRC, 46 p. + carte.

EGIS, 2011 - Ressource en eau des contreforts nord de la Sainte-Baume : Identification et caractérisation de la ressource majeure à préserver pour l'alimentation en eau potable. LOT 2 : Situation géographique de la ressource en eau des contreforts nord de la Sainte-Baume vis-à-vis des zones de forte consommation en eau potable et évaluation des possibilités de transferts. Phase 1 : diagnostic. Rapport technique pour le compte du Département du Var, 55 p.

EGIS, 2011 - Ressource en eau des contreforts nord de la Sainte-Baume : Identification et caractérisation de la ressource majeure à préserver pour l'alimentation en eau potable. LOT 2 : Situation géographique de la ressource en eau des contreforts nord de la Sainte-Baume vis-à-vis des zones de forte consommation en eau potable et évaluation des possibilités de transferts. Rapport Phases 2 et 3 : Estimation des besoins pour l'alimentation en eau potable à l'horizon 2030. Faisabilité d'un transfert d'eau. Rapport technique pour le compte du Département du Var, 25 p.

EKOS, 2016 - DECHARGE COMMUNALE AU LIEU-DIT « LA COLOMBIERE » Diagnostic « environnemental » préalable à la définition des travaux de réhabilitation. Rapport technique pour le compte de la Commune de Nans les Pins. 65 p. + annexes.

Fénart P., 2007 - Etude de la protection de la ressource en eau des anciennes mines de la commune de Mazaugues à titre patrimonial. Rapport de synthèse. Etude technique HYDROFIS pour le compte du Département du Var, 136 p.

Fénart P., 2015 – Etude de définition des ressources stratégiques de l'aquifère des cailloutis de Crau. Rapport de phase 3 : propositions de dispositions de protection et d'actions à engager pour la préservation des ressources en eau souterraine. Etude technique HYDROFIS pour le compte du SYMCRAU. 152 p.

Fénart P., 2018 – Etudes des karsts urgoniens et hettangien. Karst urgonien – rapport d'étape n°4 : Etudes complémentaires. Etude technique HYDROFIS pour le compte de l'EPTB Gardons, 114 p.

Fénart P., 2019 - Commune de Nans-les-Pins. Définition de périmètres de protection autour des points d'eau utiles pour l'alimentation en eau potable. Forage de Rondoline 2. Enquête hydrogéologique réglementaire. 41 p.

Fénart P., 2019 – Département du Gard. Eau et climat 3.0 : préparons l'avenir. Etude de gestion des ressources en eau face au changement climatique Phase 1 : diagnostic– Etude technique HYDROFIS en collaboration avec BRLi, 320 p.

Floquet M., Fournier F., Léonide P., Guillet A.C., 2013- Etude du forage de la Bastide Blanche. Plateau du Castellet, Var. Rapport final d'analyses. Rapport du CEREGE, 78 p.

Fournillon, A., 2012 - Modélisation 3D et hydrodynamique appliquée aux réservoirs carbonatés karstiques : caractérisation des ressources en eau souterraine de l'unité du Beausset (Var et Bouches du Rhône, France). Thèse Aix-Marseille Universités. 426 p.

Gilli E., Mangan C., 2000 – Etude des conditions d'émergence et du bassin d'alimentation de la source Beaupré (Signes-Var). Etude technique pour le compte des Sources de Signes. 69 P.

Gilli E., 2002 - Etude préliminaire sur le drainage des karsts littoraux. A : Bouches du Rhône et Var : entre l'Etang de Berre et Toulon. B Corse : régions de Bonifacio et St Florent. Rapport d'étude, 83 p. + annexes.

Glantzboeckel C., Durozoy G., Theillier P., 1968 - Etude des ressources hydrologiques et hydrogéologiques du Sud-Est. fascicule 5 : bassins de l'Arc et de l'Huveaune. Rapport BRGM68SGL166PRC, 100 p. + actes.

Gounon A., 2005 – Forages du Vallon. Commune de la Celle. Délimitation des périmètres de protection. 9 p.

Gouvernet C., 1970 - Projet de captage de la Grande Foux à Nans-Les-Pins. Enquête hydrologique. Pour le compte du Syndicat Intercommunal d'alimentation en eau potable de la Sainte-Baume. 15 p.

Gouvernet C., 1978 - Commune de Rougiers. Forage du Vallon. Délimitation des périmètres de protection pour l'alimentation en eau potable. Enquête hydrogéologique préliminaire. 4 p.

Guieu G., Blanc J.J., Bonifay E., Caron J.P., Gouvernet C., Nury D., Philips J., Taxy-Fabre S., Tempier C.; 1969 - Notice de la carte géologique de Aubagne Marseille. Document BRGM, 26 p.

H2EA, 2018 – Etude hydrogéologique pour l'implantation d'un forage d'eau. Riboux (83). Rapport technique pour le compte de la Communauté d'Agglo Sud Sainte Baume. 97 p.

INGENERIA, 2016 – Recherche d'eau. Rapport de fin de travaux. Rapport technique pour le compte du SIAE de la Sainte Baume, 30 p.

INGENERIA, 2017 – Recherche d'eau. Rapport de fin pompage. Rapport technique pour le compte du SIAE de la Sainte Baume, 13 p.

INGENERIA, 2018 – Schéma d'exploitation du forage Rondoline 2 Besoins actuels et à l'horizon 2030. Note technique pour le compte du SIAE de la Sainte Baume, 6 p.

Jouves, J., 2018 - Origine, caractérisation et distribution prédictive des structures karstiques. De la karstologie aux modèles numériques 3D. PhD, Aix-Marseille Université, 256 pp.

Legay P.L., 2013 – Utilisation des isotopes du strontium pour caractériser les dynamiques de recharge et de transfert d'un aquifère karstique. Mémoire de MASTER 2 UPMC, Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie ; Parcours Hydrogéologie. 48 p

Martin P., 1991 - Hydromorphologie des géosystèmes karstiques des versants nord et ouest de la Sainte-Baume. Etude hydrologique, hydrochimique et de vulnérabilité à la pollution; Thèse. Université d'Aix-Marseille, 412 p.

Mangin A., 1975 – Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Thèse de l'Université de Dijon,

Marsaud B., 1997 – Structure et fonctionnement de la zone noyée des karsts à partir de résultats expérimentaux. Thèse, Université Paris XI, Orsay.

Martin P., 1991 – Hydromorphologie des géo systèmes karstiques des versants Nord et Ouest de la Sainte Baume ; étude hydrologique, hydrochimique et de vulnérabilité à la pollution. Thèse de l'Université de Provence, 328 p.

Mazet et Nicod, 2012- les bassins supérieurs du Cauron et du Caramy, au nord-est du massif de la sainte-baume (var, Provence) : des hydrosystèmes karstiques complexes. Études de Géographie Physique, n° XXXIX, 2012.

Monteau R., 1971 - Le karst des formations turoniennes du bassin du Beausset; Thèse à l'université de Marseille-Luminy.

Rampnoux N., 2000 - Synthèse des aquifères patrimoniaux karstiques - Bassin RMC - Région PACA. Rapport ANTEA, BRGM & BURGEAP.

Rousset C., 1980 - Commune de Signes. Source du Raby et forage des Launes. Délimitation des périmètres de protection pour l'alimentation en eau potable. Enquête hydrogéologique préliminaire. 6 p.

Rousset C., 1993 – Rapport hydrogéologique sur les forages de reconnaissance effectués en janvier et février 1989 sur le site de Coulin. 11 p.

Rousset C., 2006 - Aquifères et eaux souterraines en France. Tome 2 : Provence ; BRGM Editions, Ouvrage Collectif sous la Direction de J.C. Roux, p. 694-717.

SAFEGE, 2011 – Ressource en eau des contreforts Nord de la Sainte Baume. Identification et caractérisation de la ressource majeure à préserver pour l'alimentation en eau potable. Compte rendu de fin de traçage. Etude pour le compte du Conseil Général du Var, 97 p.

SAFEGE, 2014 – Etude de détermination des volumes maximum prélevables. Etude du volet agricole. Bassin versant du Gapeau. Etude technique pour le compte de la Chambre d'Agriculture du Var, 134 p.

Silvestre J.P., 2011 - Avis hydrogéologique relatif à la définition des périmètres de protection réglementaire du captage AEP de Puyricard à Cuges-Les-Pins. 48 p.

Silvestre J.P., 2013 – Avis hydrogéologique relatif à la définition des périmètres de protection réglementaire du captage AEP de Coulin à Gemenos. 34 p.

Solages S., 2005 – Source des Alibrans. Quartier de Récabélière. Commune de La Celle.. Etude hydrogéologique de délimitation des périmètres de protection et détermination des prescriptions associés. 31 p.

Solages S., 2013 – Source des Lecques. Avis d'hydrogéologue agréé relatif à la révision du périmètre de protection rapprochée du captage communal. Commune de Torves. 35 p.

Tassy A., 2012 – Karst côtiers et canyons sous-marins de la marge provençale au Cénozoïque : contrôle géodynamique, eustatique, hydrologique et structural. Thèse Aix-Marseille Université, 416 p.

Tempier, C., 1987 - Modèle nouveau de mise en place des structures provençales. Bulletin de la Société Géologique de France, 3(3), 533-540.

Tennevin, 2018 - Etude hydrogéologique pour l'implantation d'un forage d'eau (Riboux, 83). Rapport technique de la société H2EA, pour le compte de la Communauté d'Agglo Sud Sainte Baume. 97 p.

TERRA13, 2014 – Révision du schéma départemental d'alimentation en eau potable des Bouches du Rhône. Rapport technique pour le compte du Conseil Général des Bouches-du-Rhône. 95 p.

7 . ANNEXES

7.1 DESCRIPTION DES MASSES D'EAU SELON LE REFERENTIEL AGENCE DE L'EAU

LA MASSE D'EAU DES MASSIFS CALCAIRES DE LA SAINTE-BAUME, DE L'AGNIS ET DE L'AURELIEN

La masse d'eau des massifs calcaires de la Sainte-Baume, de l'Agnis et de l'Aurélien se situe à cheval entre les départements des Bouches-du-Rhône et du Var. Elle est limitée au Nord-Ouest par le bassin de l'Arc, au Nord-Est par la dépression de l'Argens, à l'Ouest par le bassin de Marseille, à l'Est par la dépression de la Roquebrussanne et au Sud par le bassin du Beausset.

On peut ainsi distinguer plusieurs unités au sein de ces massifs :

- *Une unité autochtone : il s'agit du soubassement des massifs, matérialisé par l'anticlinal de la Lare, le synclinal faillé du Plan d'Aups, les plateaux de Mazaugues, ainsi que le massif de l'Aurélien. Le Mont Aurélien chevauche le bassin de l'Arc vers le Nord.*

- *Une unité allochtone : cette unité est constituée par le massif d'Agnis, qui correspond au chevauchement du plateau de Mazaugues par des terrains appartenant au bassin du Beausset, et débutant par des formations du Lias.*

- *Une unité para-autochtone : entre les deux unités précédentes s'intercale une unité intermédiaire: l'unité de la Haute-Chaîne. Il s'agit de séries renversées sur le Crétacé supérieur autochtone du Plan d'Aups.*

Le mur de la masse d'eau est formé par les marnes du Keuper.

Les épais bancs calcaires et dolomitiques du Jurassique et du Barrémien constituent les principales formations aquifères de la masse d'eau. Elles possèdent une morphologie karstique développée (Le Lias est moins épais et plus marneux mais peut néanmoins constituer un aquifère non négligeable). Ces karsts possèdent toutefois des niveaux peu perméables introduisant des discontinuités qui vont se traduire par un morcellement et un compartimentage des unités karstiques.

La recharge des unités aquifères se fait majoritairement par infiltration de l'eau de pluie. Celles-ci sont principalement drainées par des sources bien connues ; mais des écoulements masqués au profit d'autres unités aquifères sont possibles.

On peut schématiquement distinguer plusieurs unités karstiques :

- *Les Monts Aurélien et Olympe. Ils correspondent à des séries principalement du Jurassique supérieur, charriés vers le Nord qui viennent chevaucher le synclinal de l'Arc. Cette unité karstique présente quelques exutoires notables au Sud dans la Haute vallée de l'Huveaune (Q moyen cumulé de l'ordre de 200 l/s) mais le déficit aux exutoires est évident, pour cette unité qui présente un impluvium d'environ 80 km². Elle pourrait ainsi alimenter les calcaires du Muschelkalk de l'Arc de Barjols ou les séries calcaires du Fuvélien ; une autre hypothèse pourrait être une contribution au système karstique profond du bassin du Beausset et des Calanques, datant de la crise messinienne, et qui a pour principal exutoire les sources de Port Miou et de Bestouan.*

- *Le massif de la Lare consiste en un anticlinal faillé à noyau de Bathonien supérieur calcaire dont les enveloppes jurassiques et crétacées s'ennoient rapidement et périclinalement à l'Ouest. A l'Est, le Jurassique se raccorde avec le flanc méridional du massif de l'Aurélien. La surface affleurante est de l'ordre de 20 km². Ce massif est drainé par les sources des Encanaux et des Naves (environ 200 l/s en cumulé).*

- *Contreforts Nord-Est de la Sainte Baume (plateau de Mazaugues). Il s'agit du flanc Nord d'un vaste synclinal, chevauché au Sud par le massif d'Agnis. On y trouve l'ensemble de la série jurassique depuis les marno-calcaires du Bajocien aux calcaires et dolomies du Jurassique supérieur ; les séries présentent un pendage pseudo-constant vers le Sud et les calcaires*

jurassiques en position monoclinale forment un vaste impluvium (environ 40 km²). Ils sont recouverts par des calcaires à rudistes très karstifiés et défilés par les travaux miniers d'extraction de la bauxite. Le cœur du synclinal, disposé sur le plateau de Mazaugues, est constitué d'une alternance de barres calcaréo-gréseuses et de séries plus franchement marneuses. Le plateau karstique est drainé par des sources sur sa bordure Nord ou par des émergences dans la vallée du Caramy qui entaille le plateau. Il a été montré récemment (Fénart, 2008), que dans sa partie amont, le Caramy alimente par pertes la nappe mais qu'au droit des gorges, c'est la nappe qui vient soutenir le cours d'eau par le biais de venues sous-alluviales.

■ Le plan d'Aups (et sa haute Chaîne qui le surplombe au Sud) est formé par le Crétacé supérieur reposant sur un socle de terrains jurassiques au Nord, crétacés au Sud. Le Crétacé supérieur est affecté de nombreux avens tandis que les reliefs calcaires au Nord sont intensément lapiazés. Au Sud, l'unité du Plan d'Aups disparaît sous le synclinal du Beausset qui vient la chevaucher. Le karst du Plan d'Aups est très actif. Il présente un unique exutoire connu : les sources du vallon de St Pons (commune de Gemenos), avec un débit moyen cumulé de l'ordre de 100 l/s. Citons une probable participation de la partie orientale du plan à la source temporaire de la Foux de Nans. Comme les massifs Olympe et Aurélien, le déficit aux exutoires est évident, pour cette unité qui présente un impluvium d'environ 60 km² ; les contreforts de la Sainte Baume entre Gémenos et Cuges sont vraisemblablement inclus dans l'impluvium des sources de Port Miou (Gilli, 2002 ; Blavoux et al., 2004).

■ Le massif d'Agnis. Entièrement délimité par des contacts anormaux, il est constitué de jurassique moyen (à dominante marno-calcaire) et de jurassique supérieur (calcaires et dolomies) qui chevauchent au Nord le plateau de Mazaugues. Il est limité à l'Est par la zone faillée de la Roquebrussanne d'orientation Nord-Sud, et au Sud par le fossé de Signes à cœur triasique, d'orientation Est-Ouest. Le souterrain Mazaugues-Signes (canal SCP) a confirmé le chevauchement vers le Nord et l'écaillage basal de la base de la série jurassique. D'une surface d'impluvium de l'ordre de 45 km², ce massif est drainé par un nombre important de sources sur ses limites Nord, Est, Ouest et Sud, pour un débit cumulé d'environ 350 l/s.

Les principales émergences des massifs sont les suivants :

- Mont Aurélien et mont Olympe. Les sources principales sont localisées dans la haute vallée de l'Huveaune : petite Foux et Fouen Sicard (120 l/s). De petites émergences existent au flanc Nord du Mont Aurélien, et sont issues de la bordure liasique (source de Défens, Pourcieux, source de Perdu). D'autres exutoires se trouvent dans les gorges de la Sambuc, en amont de Saint-Zacharie (source Saint-Lazare avec environ 60 l/s). Il est suspecté qu'une grande partie du massif soit drainée vers les importantes émergences d'Aguiké et des Gourts Bénits à Bras (près du cours d'eau le Cauron) qui drainent les séries carbonatées du Muschelkalk.

- Massif de la Lare : Les sources des Encanaux se situent à l'Ouest de ce massif, et collecte les eaux circulant d'Est en Ouest. Deux systèmes ont été distingués : les Encanaux supérieurs, dont le débit moyen était de 90 l/s environ en 1985, et les Encanaux inférieurs, regroupant la source basse et les trop-pleins qui lui sont associés (débit moyen 32,5 l/s). La source des Naves se situe près de Saint-Zacharie, elle draine la partie nord-est du massif de la Lare, les eaux s'écoulant dans ce secteur du nord-est vers le sud-ouest. Son débit moyen était de 64 l/s en 1985.

- Contreforts Nord-Est de la Sainte-Baume (plateau de Mazaugues), de Nans les Pins à Tourves : Ils sont drainés par les sources suivantes : la Castelette et émergences en tête du vallon de l'Huveaune (le débit n'excède pas 10 l/s et tarit à l'étiage), la Foux de Nans, résurgence temporaire pouvant débiter jusqu'à 7 m³/s mais se tarissant rapidement, la source du Lauron ($Q < 10$ l/s), les Lecques (Q moyen de 30 l/s) et Lieutaud (Q moyen de 30 l/s) et surtout les sources de la Figuière (Q moyen > 50 l/s) dans les gorges du Caramy, et la source de Saint-Julien à l'extrémité orientale.

- Plan d'Aups : La source de Saint-Pons est le principal exutoire de ce massif, sortant d'une galerie drainante longue d'une vingtaine de mètres. L'eau sort à la faveur d'une faille mettant en contact les calcaires urgoniens et les marnes de l'Aptien. Le fonctionnement hydrodynamique de son bassin versant est très complexe. Cette source semble drainer la partie occidentale de la Haute-Chaîne, au sein de laquelle les eaux souterraines s'écoulent globalement du nord-est vers le sud-ouest. Son débit

moyen varie de 60 à 100 l/s ; le débit d'étiage a été mesuré à 10 l/s. Citons deux sources secondaires dans le même secteur : source de la Saussette (2 l/s) et captage de Mongolfier (environ 10 l/s).

- Massif d'Agnis : Il est drainé au Nord par les sources du Caramy ($Q_{\text{moy}} = 70 \text{ l/s}$), à l'Ouest par la source du Raby ($Q_{\text{moy}} = 20 \text{ l/s}$), au Sud par les sources du Gapeau (90 l/s) et de Beaupré (56 l/s), à l'Est par la Foux et la sambuc à la Roquebrussanne et par la Servie à Méounes (110 l/s).

Les eaux souterraines sont très vulnérables aux éventuelles pollutions de surface, en raison de la rapidité des infiltrations et des écoulements, et de l'absence de terrains de couverture et d'épaisseur de sols suffisante pour avoir un rôle de filtre. Dans le système karstique, la zone non saturée présente une forte karstification dès la surface engendrant une infiltration rapide vers la zone noyée. Insistons : la bonne karstification du massif le rend vulnérable à toute pollution. En particulier, les très nombreuses formes de dissolution (dolines, ponors, avens,...) qui recueillent les eaux de ruissellement sont directement connectés au réseau de drainage rapide du système karstique.

Globalement, les connaissances sur les caractéristiques intrinsèques sur cette masse d'eau sont bonnes, en particulier pour massifs d'Agnis, de la Lare et le plateau de Mazaugues. Le fonctionnement hydrogéologique est bien défini, les principaux exutoires identifiés. Cependant, dans le détail, les unités aquifères sont souvent mal délimitées et les approches de type bilan trop rares. Les relations entre les aquifères du Jurassique supérieur et du Lias, mais aussi avec les encaissants, sont souvent supposées.

En effet, si les caractères hydrogéologiques les plus importantes (grande unité karstiques, exutoires visibles, modalités d'alimentation, ..) sont connus, il manque beaucoup de données pour produire une réelle approche quantitative des ressources. Il serait en particulier utile de réaliser des jaugeages précis et continus des principales émergences et des cours d'eau. Les données disponibles sont lacunaires et datées.

Comme pour le massif du Beausset plus au Sud, la connaissance des autres systèmes karstiques (Plan d'Aups, Mont Aurélien et Mont Olympe) doit être considérée comme incomplète (Gilli, 2002). La géométrie de nombreuses séries restent à préciser, et le bilan global reste à faire. A ce sujet, rappelons que l'impluvium contributif pour les résurgences sous-marines de Port Mion reste hypothétique.

Au de l'état des connaissances, les actions suivantes peuvent être recommandées pour augmenter la connaissance des systèmes karstiques :

- Compléter les inventaires des formes karstiques.
- Réaliser des multi traçages à l'échelle de la zone d'étude (aquifères côtiers mais aussi Sainte Baume et bassin de l'Arc).
- Analyse générale de la paléogéographie messinienne afin de définir avec certitude la profondeur de la karstification en mer et pouvoir déterminer les niveaux de base régionaux.
- Plus en détail, il serait utile de réaliser une étude dédiée au comportement hydrogéologique des Monts Aurélien et Olympe (avec analyse structurale, traçages, analyses hydro-géochimiques,...) qui fait aujourd'hui l'objet de nombreuses spéculations et qui est potentiellement en interrelation avec au moins trois masses d'eau voisines.

MASSE D'EAU DES CALCAIRES DU BASSIN DU BEAUSSET ET DU MASSIF DES CALANQUES

« Au sein de la masse d'eau, les formations aquifères (notamment jurassiques à barrémiennes) ont une morphologie karstique très développée. Elles possèdent donc une perméabilité en grand élevée ; l'aquifère est principalement alimenté par l'infiltration des eaux de pluie. Les écoulements sont drainés vers la mer, et sont donc globalement orientés Nord-Sud. Ils alimentent de nombreux exutoires drainant les aquifères.

En allant d'Est en Ouest, on peut ainsi distinguer différentes unités hydrogéologiques selon les sources qu'elles alimentent :

- *Unité des Calanques* : elle englobe la partie la plus occidentale de la masse d'eau, depuis les calcaires de Lumigny à l'Est de Marseille jusqu'à un méridien qui passerait approximativement vers le bec de l'Aigle (soit une surface d'impluvium de l'ordre de 250 km²). Elle forme la bordure Ouest et Sud Ouest du synclinal du Beausset. De puissants escarpements de calcaires urgoniens à l'Ouest, et de conglomérats et calcaires argileux à l'Est dominant la mer de quelques centaines de mètres. L'exutoire de cette unité est représenté par de nombreuses résurgences sous marines : Port-Miou et Bestouan (les plus importantes), mais aussi Sugiton, Morgiou et Sormiou. Le bassin hypothétique de ces sources est constitué par les réservoirs karstiques jurassique, néocomien et urgonien des Calanques, de la Nerthe et de l'Etoile, de la Sainte-Baume, remonterait au nord jusqu'à la Sainte-Victoire et s'étendrait vers l'Est en direction de Brignoles (Gilli, 2002 ; Blavoux et al., 2004). Des essais de traçages ont prouvé les relations entre Gémenos Aubagne et Port Miou. Des relations sont suspectées avec le plateau de Cuges. Les forts débits reconnus sur les forages de Puyricard et de Coullins, et la constance du gradient hydraulique confirment l'idée que les drains principaux vers Port-Miou longent la zone faillée de Cuges jusqu'à Coulin. Ils seraient suralimentés par le déversement des karsts profonds de la Sainte Baume vers le Sud, mais aussi probablement par les monts Aurélien et Olympe. Notons qu'un traçage (Glinzboeckel et al., 1968) et des analyses hydrochimiques (Durozoy, 1972) ont montré une alimentation du karst par les alluvions de l'Huveaune dans la région de Gémenos (calcaires du Douard ; le débit de pertes vers le karst n'a pas été estimé). Un autre secteur plus au Nord est supposé contributif à l'étiage ; Glinzboeckel et al. (1968) supposent des pertes annuelles élevées avec un débit fictif compris entre 500 et 1000 l/s.

- *Unité d'Ollioules et d'Evenos* : La limite de cette unité avec l'unité centrale correspond à un méridien passant par le Beausset (impluvium mal défini). Les résurgences semblent drainer l'anticlinal du Gros Cerveau-Croupatier. La Reppe souterraine est une rivière souterraine de 793 m de longueur, comportant des sources chaudes (24°C) (marquant peut-être l'existence de circulations profondes) et froide. Quant à la Foux d'Evenos, il s'agit d'une source temporaire sortant d'une longue galerie descendante de 462 m.

- *Unité du Ragas du Revest-les-Eaux* : L'unique exutoire est constitué par le Ragas du Revest, qui draine une grande partie de la partie orientale du synclinal du Beausset (soit une surface d'impluvium de l'ordre de 150 km², avec un Q moyen de l'ordre de 500 l/s pour les sources du Ragas). Il s'agit d'une source vauclusienne, située sur une faille affectant les calcaires urgoniens et les mettant en contact avec un niveau marneux du Cénomanién. L'eau de cette source est stockée dans le barrage de Dardennes et sert à l'alimentation en eau potable de Toulon. Notons des exutoires secondaires qui drainent très localement cette même unité, le long de la vallée du Gapeau (La Rouvière, Font d'Ouvin, Lacanal, Gavaudan), ainsi que les sources de Montrieux, plus au Nord.

- *Unités du Mont Faron et du Coudon (environ 20 km²)* : elles sont déconnectées des séries calcaires du synclinal du Beausset par des boutures de jurassique qui suivent les chevauchements à vergence Nord qui limitent ces unités. Ces unités sont drainées par les sources de Saint-Antoine et de la Baume des Dardennes. Leur impluvium n'est pas très précis, mais le débit important des exutoires (source de la Baume : 12,5 l/s, source de Saint-Antoine : 165 l/s) montre que l'impluvium s'étend vers les massifs calcaires situés plus au Nord ; un traçage a confirmé la suralimentation par le Jurassique du Beausset (Gilli, 2002).

Dans le cœur du synclinal du Beausset, les formations du Coniacien-Santonien sont dans l'ensemble peu perméables. Elles constituent une couverture épaisse pouvant protéger les aquifères karstiques sous-jacents. Cette couverture contient donc de faibles ressources en eau, principalement localisées au sein des passées gréseuses ou calcaires. Ces formations sont drainées par de nombreuses sources de faible débit. De plus, les grès et calcaires alimentent de nombreux puits, notamment autour de la plaine de Saint-Cyr et des hautes vallées du Grand Vallat et de la Reppe.

Notons que le Cénomanién Turonien du synclinal du Beausset est probablement drainé en mer. Dans la baie de La Ciotat, des émergences sous-marines ont été localisées par géophysique ; elles correspondent sans doute à des circulations profondes en provenance des calcaires de cette unité (Font Sainte, Lionquet, Ile verte, Bec de l'Aigle,...).

Les principales sources correspondent à des exutoires des unités des formations aquifères jurassiques à barrémiennes :

- *Unité des Calanques* : Cette unité est drainée par les résurgences marines à l'Ouest de Cassis. La principale est la source de Port Miou. Située dans la calanque de Port-Miou, la source marine naît d'une galerie noyée à 6 m sous le niveau de la

mer. Elle fait partie d'un groupe de sources littorales et sous-marines, dont celle du Bestouan. Une importante galerie noyée, atteignant 20 m de diamètre, a pu être reconnue et levée sur plusieurs centaines de mètre. Un point ultime à -223 m NGF a été atteint à plus de 2200 m de l'entrée, mais le conduit se poursuit au-delà. L'eau de Port-Miou est saumâtre, ce qui empêche son utilisation directe pour l'alimentation en eau potable. Le débit mesuré à cette source a été estimé entre 3 et 160 m³/s, avec un débit moyen entre 7 et 8 m³/s. Reste le problème du bassin d'alimentation de ces sources, qui n'est pas résolu à ce jour.

- Unité d'Ollioules et d'Evenos : Les résurgences sont celles de la Reppe souterraine (débit moyen : 2 l/s), du Labus (débit moyen : 45 l/s), de la Mère les Fontaines (débit moyen : 25 l/s) et de Bonnefont (débit moyen : 20 l/s) à Ollioules. La Foux d'Evenos est une source temporaire ; son débit moyen était d'environ 50 l/s en 1967.

- Unité du Ragas du Revest-les-Eaux : l'exutoire principal est constitué par le Ragas du Revest. Son débit moyen est de 480 l/s.

- Unités du Mont Faron et du Coudon : ces unités sont drainées pour partie par les sources de Saint-Antoine et de la Baume des Dardennes (source de la Baume : 12,5 l/s, source de Saint-Antoine : 165 l/s). En-dehors de ces sources, il pourrait exister d'autres sources-marines profondes qui n'auraient pas été encore identifiées.

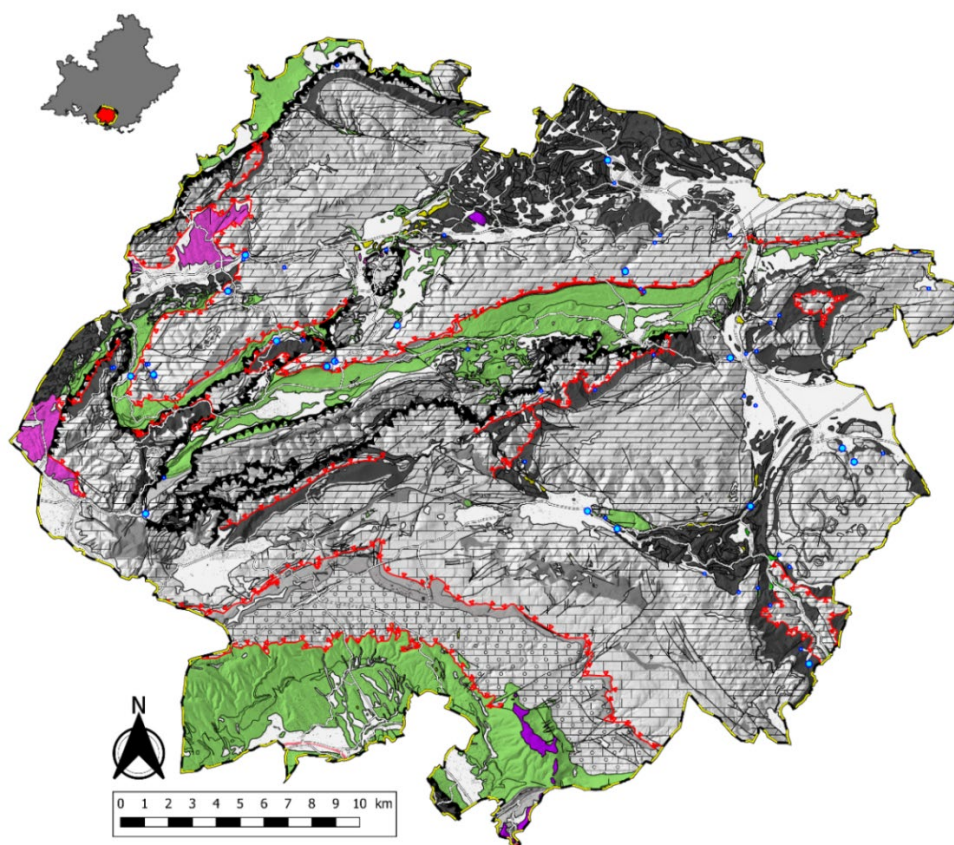
Les séries gréseuses du Santonien Coniacien donnent naissance à une série d'émergences de faible débit (sources de Bagnols, de la Glacière, Font de Mars...). Pour mémoire, citons, au sud de la Cadière-d'Azur la source du Touron, dont le débit moyen est d'environ 12 l/s. Cette émergence est située au niveau de la rivière du Grand Vallat. «

7.2 ANALYSE KARSTOLOGIQUE DU MASSIF DE LA SAINTE BAUME



Etude des zones de sauvegarde des masses d'eau souterraines du parc naturel régional de la Sainte-Baume - lot 1 : identification, délimitation des zones de sauvegarde et stratégie prospective

Identification et description des unités réservoirs karstiques du Parc naturel régional de la sainte-Baume



Rapport CENOTE n° R-2019-02 / Version provisoire

Rédaction : J. Jouvès - Vérification : G. Maistre

Date de distribution : 08/11/2019

1. PRESENTATION ET OBJET DU RAPPORT

1.1. Contexte et objectif général de l'étude

Dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), les états membres de l'Union Européenne sont chargés d'identifier et de caractériser les masses d'eau utilisées pour l'eau potable ou destinées, pour le futur à un tel usage. Cette démarche a été reprise et précisée dans le SDAGE Rhône-Méditerranée 2016-2021 dont l'orientation 5E prévoit de « Préserver les masses d'eau souterraine stratégiques pour l'alimentation en eau potable (AEP) actuelle ou future en assurant leur protection à l'échelle des zones de sauvegarde ».

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. Ces masses d'eau stratégique à préserver correspondent à des masses d'eau :

- De qualité chimique conforme ou proche des critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine ;
- Importantes en quantité,
- Bien localisées par rapport aux zones de consommation (actuel et futur),
- Accessibles et exploitables à des coûts acceptables.

Dans cette démarche, la qualification de masse d'eau en tant que ressources stratégiques suppose :

- D'assurer la disponibilité sur le long terme de ressources suffisantes en qualité et en quantité pour satisfaire les besoins actuels et futurs d'adduction d'eau potable (AEP) des populations ;
- De préserver ces ressources indispensables pour les populations de l'évolution des pressions qui pourrait compromettre leur utilisation (urbanisation, activités...).

Cette préservation des ressources les plus intéressantes pour les besoins AEP repose sur l'appréhension des bouleversements constatés ou attendus en termes d'occupation des sols et de pressions sur les aires de recharge des aquifères (évolution démographique, expansion de l'urbanisation et des activités connexes périphériques, impact sur le long terme des pratiques agricoles ou industrielles). De manière à préserver cette ressource, la définition de zone de sauvegarde vise à donc :

- Identifier les zones utilisées actuellement pour l'alimentation en eau potable pour lesquelles des objectifs plus stricts seront fixés afin de réduire les traitements nécessaires à la production d'eau potable ;
- Proposer les zones à préserver en vue de leur utilisation future pour des captages destinés à la consommation humaine.
- Maintenir une qualité de l'eau compatible avec la production d'eau potable sans recourir à des traitements lourds ;
- Garantir l'équilibre entre prélèvements et recharge naturelle ou volume disponible.

Dans cette démarche, la présente étude a pour but d'étudier les zones de sauvegarde potentielles des masses d'eau souterraines du Parc naturel régional de la Sainte-Baume avec dans une première phase, l'identification et la délimitation de ces zones de sauvegarde.

1.2. Le cadre de l'étude sur le Parc Naturel Régional de la Sainte-Baume

Le massif de la Sainte-Baume constitue un véritable « château d'eau » et plusieurs masses d'eau souterraines d'avenir ont été identifiées (Figure 1), intégralement voire en quasi-totalité sur le territoire du PNR de la Sainte-Baume, pour satisfaire les besoins en eau futurs de la Région (SOURCE et SDAGE). Actuellement, ces aquifères contribuent à l'alimentation en eau potable (AEP) de 21 communes sur les 29 du territoire du PNR (pour partie ou en totalité) et à l'alimentation de nombreux cours d'eau dont certains contribuent à l'AEP, à l'irrigation ou à l'industrie.

Le présent projet vise ainsi à l'étude des zones de sauvegarde des masses d'eau souterraines du PNR de la Sainte-Baume. Il a notamment pour but de :

- Définir des zones de vulnérabilité du karst n'ayant pas vocation à accueillir des aménagements à risques en :

- O Identifiant les bassins d'alimentation des eaux souterraines ;

- O Caractérisant les interactions eaux souterraines/eaux superficielles.

- Protéger les zones de vulnérabilité du karst et des masses d'eau souterraines

L'objectif de l'étude est d'apporter la connaissance suffisante des zones de sauvegarde des masses d'eau souterraines afin qu'elles puissent être intégrées dans les documents d'aménagement du territoire permettant ainsi de faciliter la planification territoriale pour le développement de ce territoire en préservation de ces ressources en eau actuelles et d'avenir.

1.3. La zone d'étude : le PNR de la Sainte Baume et ses extensions hydrogéologiques

Le périmètre d'étude correspond au périmètre du PNR de la Sainte-Baume (29 communes) (Figure 1). Ce périmètre va au-delà du territoire classé qui ne concerne que 26 communes. Dans le présent rapport, le périmètre d'étude a été élargi de manière à prendre en compte la continuité géologique et hydrogéologique des unités réservoirs hydrogéologiques. Ce territoire d'étude concerne plus particulièrement deux masses d'eau souterraines stratégiques identifiées par le SDAGE Rhône-Méditerranée 2016-2021 et le SOURCE (Figure 1) :

- En intégralité, la masse d'eau FRDG167 - Massifs calcaires de la Sainte-Baume, du Mont Aurélien et de l'Agnis ;
- Pro parte, la masse d'eau FRDG168 - Calcaires du Bassin du Beausset et du Massif des Calanques.

1.4. Objet du rapport : identification et caractérisation des unités réservoirs hydrogéologiques

Dans le cadre de l'étude sur les zones de sauvegarde du PNR de la Sainte Baume, le présent rapport a pour but d'identifier et de caractériser les unités réservoirs hydrogéologiques en :

- Dressant un état de l'art de la géologie et de l'hydrogéologie à l'échelle du PNR et plus largement à l'échelle des aquifères régionaux.
- Définissant le contexte karstologique en dressant un état des lieux des connaissances sur les phases de karstification et la répartition des systèmes actifs actuels de drainage karstique dans les zones concernées.

Ce rapport a ainsi pour objectif de :

- Délimiter de manière précise les aquifères karstiques et leur bassin d'alimentation ;
- De déterminer leurs caractéristiques géologiques et hydrogéologiques ;
- Identifier les processus de karstification ;
- Proposer un modèle conceptuel des différents stades de karstification en relation avec les processus de karstification et l'évolution des niveaux de base, avec :
 - L'identification de la position des niveaux de base et des épaisseurs karstifiées.
 - L'identification des variations des zones de recharge et de restitution ;
 - La détermination de l'organisation de la karstification au cours du temps.
- Caractériser les modalités d'infiltration et de circulation dans les différents compartiments hydrogéologiques du réservoir karstique avec :
 - L'évaluation des modalités d'infiltration ;
 - La détermination des zones d'écoulement et de stockage.
- Apporter des éléments de connaissances sur le fonctionnement général des aquifères karstiques et sur leur sensibilité (vulnérabilité, accessibilité, évolution de la réserve).

Le but de ce rapport est ainsi l'identification et description des unités réservoirs karstiques du PNR de la sainte-Baume. 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.

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

1.5. Structure du rapport

Ce rapport est structuré en :

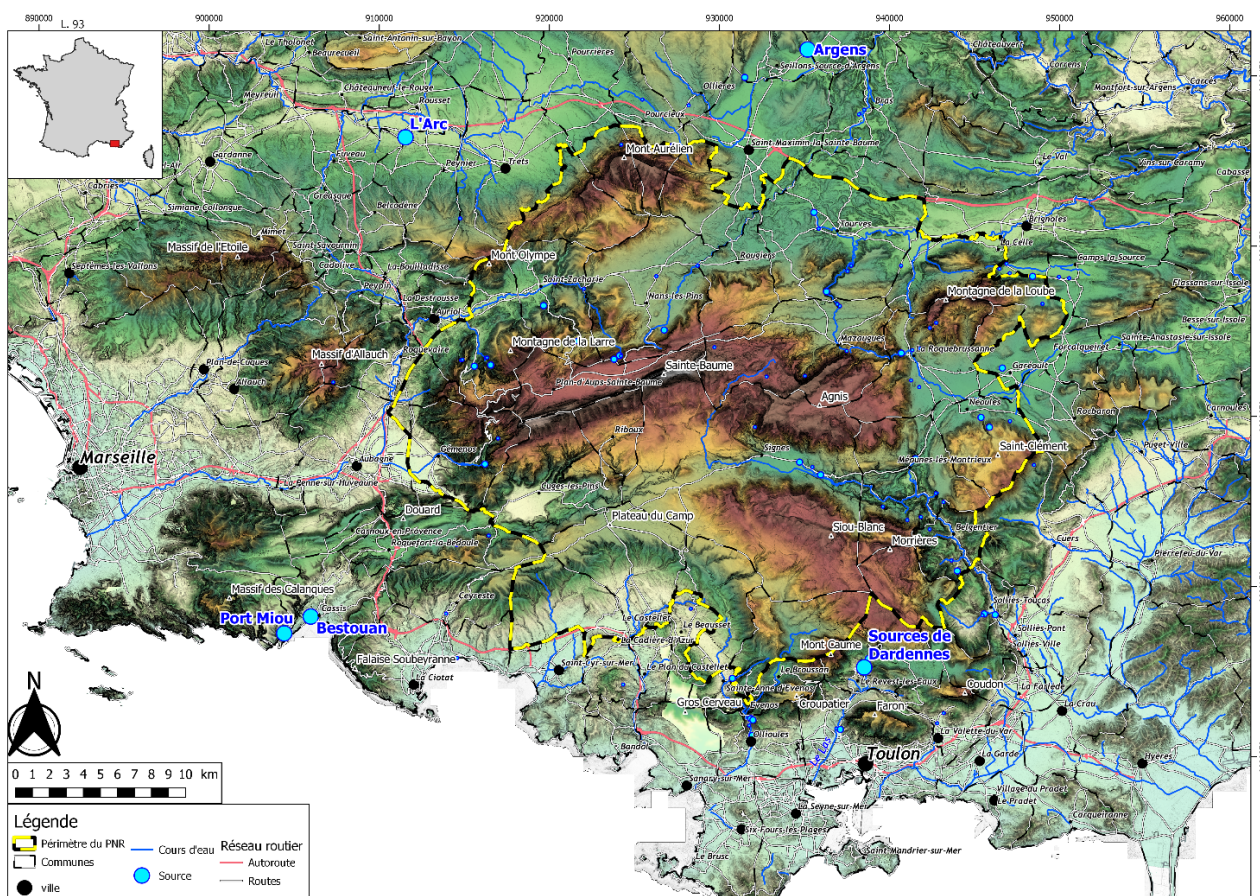
- Une section (2) présentant les éléments majeurs du contexte géographique, géologique et hydrogéologique d'étude ;
- Une section (3) correspondant au cœur du présent rapport et détaillant les unités réservoir karstiques ;
- Une section (4) de synthèse et conclusion.

2. CONTEXTE GENERAL D'ETUDE

2.1. Contexte géographique et hydrographique

Le parc naturel régional (PNR) de la Sainte-Baume se situe en basse Provence calcaire, à cheval sur les départements des Bouches-du-Rhône et du Var. Le périmètre d'étude à une superficie d'environ 843 km² et englobe 29 communes. Il est limité à l'ouest par la dépression d'Aubagne et se prolonge au nord jusqu'à Saint-Maximin (agglomération exclue) en prenant le Mont Olympe et le Mont Aurélien, surplombant le bassin de l'Arc. À l'est, il se poursuit aux abords de Brignoles et Garéoult en incluant le massif de la Loube et plus au sud le massif du Pilon-Saint-Clément et de la vallée du Gapeau (entre Signes et Belgentier). La limite sud s'étend d'est en ouest, du sud du massif de Siou-Blanc (commune du Revest et sources de Dardennes exclues) aux abords de Saint-Cyr-Sur-Mer.

Figure 117 : Localisation générale du PNR de la Sainte-Baume.



Le territoire est fortement contrasté avec des altitudes allant du niveau de la mer à 1 148 m d'altitude impliquant des pluviométries sensiblement différentes sur son étendue.

En surface, le territoire est principalement entaillé par des vallons aux écoulements temporaires, quelques fois permanents, qui se terminent en mer ou dans des dépressions karstiques. Les cours d'eau pérennes trouvant leur source sur le périmètre du PNR sont :

- L'Huveaune, prenant sa source sur le flanc nord de la Sainte-Baume, et se jetant en mer à Marseille ;

- Le Las, naissant aux sources de Dardennes et se jetant dans la baie de Toulon
- Le Gapeau, prenant sa source dans la dépression de Signes et rejoignant la mer à Hyères ;
- Le Caramy prenant sa source dans le versant nord du massif d'Agnis et se jetant dans le Fleuve Argens à Carcès ,
- Le Cauron prenant sa source au sud de Nans-Les-Pins et se jetant dans l'Argens à l'est de Seillon-Source-d'Argens.
- L'Issole prenant sa source au nord-est du massif d'Agnis (non loin des sources du Caramy) et rejoignant le Caramy au nord de Cabasse.

Ces cours d'eau sont essentiellement soutenus par des aquifères karstiques.

Le territoire est également entaillé par de nombreux vallons aux écoulements de surface temporaires. Deux types d'écoulements sont distingués :

- Les écoulements provenant principalement du ruissellement de surface durant la pluie.

Lors des pluies méditerranéennes de forte intensité, les fortes pentes fortes du relief accidenté, favorisent le ruissellement de surface. Une partie de cette eau est susceptible de s'infiltrer en profondeur au moyen des discontinuités stratigraphiques, tectoniques et karstiques. Une autre partie s'écoule de manière temporaire dans les vallons marqués de la topographie, par ruissellement direct sur les roches compactes ou par ressuyage du sol (ou écoulement hypodermique). Les zones marneuses, moins perméables, participent également activement au ruissellement.

- Les écoulements alimentés par des sources temporaires, qui perdurent après la pluie.

Ces cours d'eau temporaire ont une alimentation mixte provenant du ruissellement de surface et du fonctionnement temporaire d'une source les eaux souterraines. Le cours d'eau s'écoule

Il ne s'agit pas de décrire dans le présent rapport tous les vallons de l'étendue du territoire, mais lorsque ces vallons présenteront une caractéristique particulière, ils seront décrits dans les sections appropriées.

2.2. Contexte géologique et évolution géodynamique de la Provence

La Provence constitue le bassin d'avant-pays du front nord de la déformation pyrénéenne et du front sud-sud-ouest de la déformation alpine (Arthaud et Matte, 1975 ; Tempier, 1987 ; Champion et al., 2000 ; Lacombe et Jolivet, 2005 ; Bestani et al., 2015). La Provence est divisée en deux domaines géologiques majeurs (oriental et occidental) par la faille de la moyenne Durance (FMD) relayée par la faille d'Aix-en-Provence (FA) (Figure 3) toutes deux héritées du Paléozoïque. La Provence occidentale est essentiellement constituée de formations sédimentaires d'âge Mésozoïque-Cénozoïque, d'environ 10 km d'épaisseur. La Provence orientale comprenant le massif Paléozoïque des Maures, se caractérise par une pile sédimentaire de moindre épaisseur, d'environ 3 km.

La région de la Sainte-Baume se trouve en basse Provence carbonatée à proximité de la Provence cristalline à l'est. Les structures géologiques résultent d'une histoire complexe débutée au Paléozoïque. De nombreuses études géologiques sur la structure de l'Unité du Beausset ont été réalisées au cours du XXème siècle (Bertrand, 1887 ; Gouvernet, 1963 ; Bercovici, 1983 ; Philip, 1987 ; Tempier, 1987) et plus récemment par Leleu (2005), Fournillon (2012), Tassy (2012) et Bestani (2014).

2.2.1. Aperçu de l'histoire géodynamique de la Provence

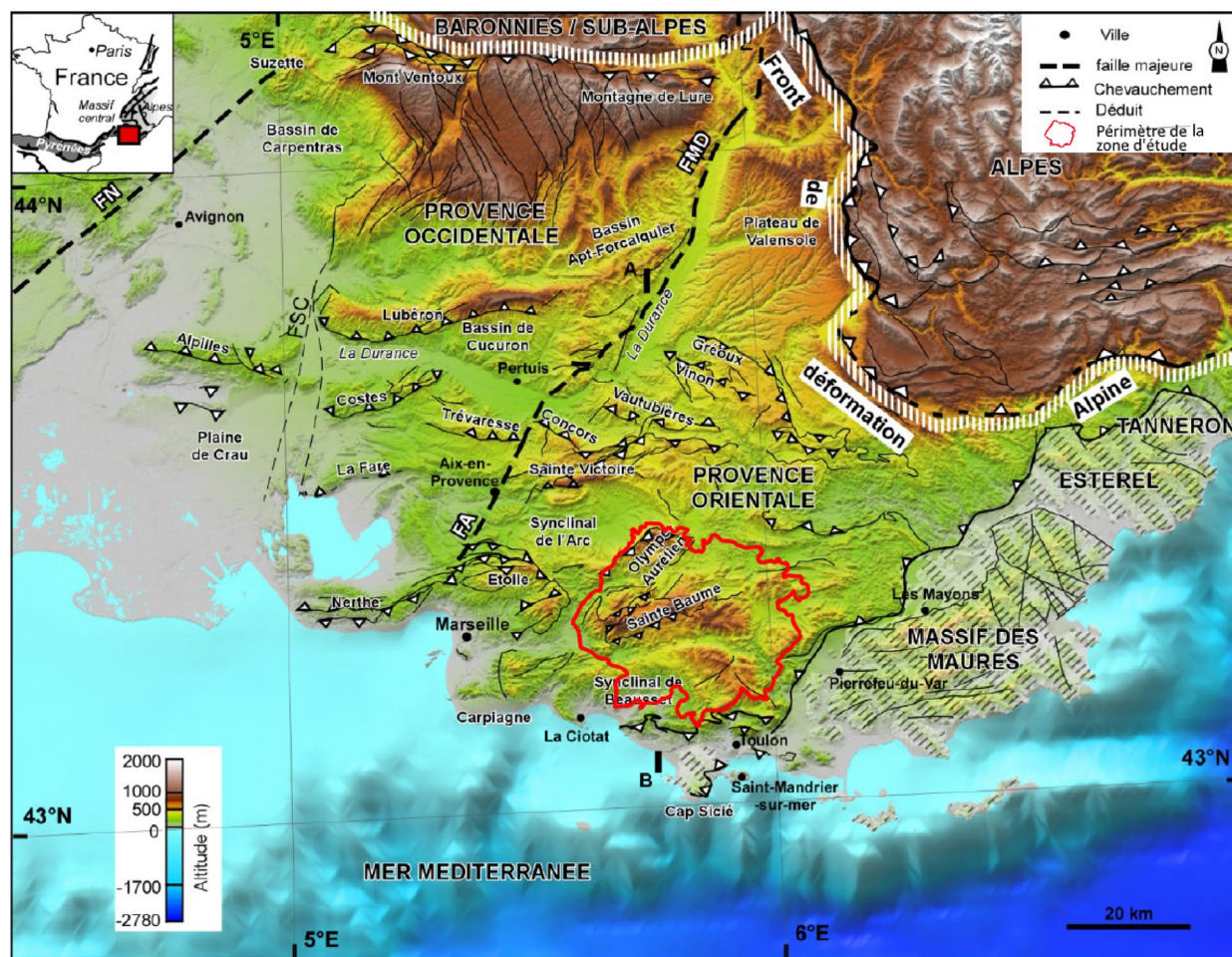
L'histoire géodynamique de la Provence a été contrôlée par la succession d'épisodes d'extension, de compression, d'enfouissement, d'érosion et d'aplanissement qui ont affecté cette zone depuis le Paléozoïque. Les phases majeures sont reprises ici.

La fin de l'ère Paléozoïque est caractérisée par le démantèlement de la chaîne varisque (ou hercynienne) mise en place durant le Dévonien par 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 (Guyonnet-Benaize et al., 2010).

Durant le Permien jusqu'au Jurassique, un régime extensif se met en place avec 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 Trias-Jurassique (Stampfli et al., 2002).

Le Crétacé inférieur débute par la phase de rifting nord-atlantique. Celle-ci est responsable d'une extension orientée nord-sud jusqu'au Valanginien, puis est-ouest au Barrémien (Masse et al., 2009).

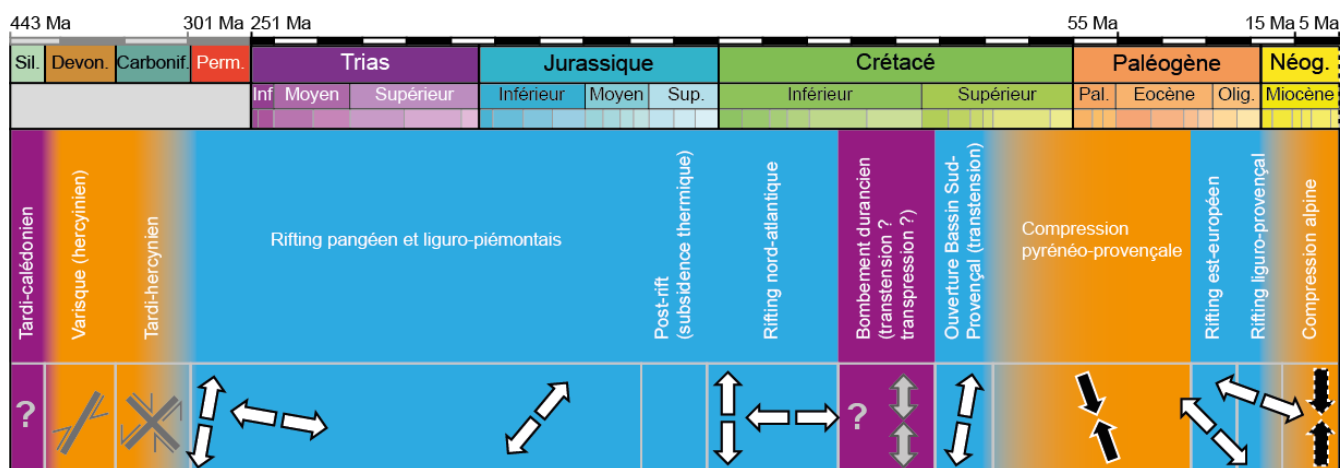
Figure 118 : Le bassin d'avant-pays de Provence. MNT issu de données altimétriques de la NASA (50m). Les zones hachurées grises/ blanches correspondent aux massifs paléozoïques des Maures et du Tannéron. FN : Faille de Nîmes. FSC: Faille de Salon-Cavaillon. FA: Faille d'Aix-en-Provence. FMD: Faille de la Moyenne Durance. Modifié d'après Bestani (2014).



Après le Barrémien, des mouvements tectoniques vont marquer le début du "Bombement Durancien", 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 du Crétacé inférieur dans l'Unité du Beausset (Philip, 1987), formant une surface intensément karstifiée et bauxitisée (Laville, 1981). Cela va entraîner une érosion d'une partie ou de la totalité des dépôts de l'Aptien et de l'Albien dans la région toulonnaise (Rousset, 1969). Le bassin du Beausset sensu stricto (Floquet et al., 2005) se met en place à partir de l'Albien dans un régime de transtension accommodé par des failles N110 (Hennuy, 2003).

À partir du Santonien s'amorce la compression Pyrénéo-Provençale. L'ouverture de l'Atlantique nord entraîne l'arrêt de l'ouverture de la Téthys, l'inversion tectonique et le rapprochement entre l'Afrique et l'Europe. La convergence de ces deux continents entraîne la collision de la plaque Ibérique avec l'Europe et la formation des Pyrénées et des chaînes catalanes jusqu'au Miocène (Mattauer, 1968 ; Roure et Choukroune, 1998 ; Fitzgerald et al., 1999). En Provence, la compression pyrénéo-provençale débute 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 observées aujourd'hui allant du Mont Ventoux aux chevauchements nord-toulonnais (Tempier, 1987). Un raccourcissement total d'environ 40 km (□ 25 %) est identifié par Bestani et al. (2015) entre le Cap Sicié (au sud) et Pertuis (au nord), incluant le synclinal de l'unité du Beausset, le synclinal de l'Arc ainsi que la Sainte-Baume et la Sainte Victoire, dont la majeure partie (≈ 37 km) est accommodée par les déformations du socle.

Figure 119 : Synthèse de l'histoire géodynamique de la Provence avec les principales directions de contraintes. Fournillon (2012).



À l'Oligocène le rifting ouest européen provoque 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 est responsable de nombreux petits bassins en Provence, dont les bassins marseillais et aubagnais.

La convergence de l'Afrique et l'Europe responsable de la phase alpine se poursuit durant le Miocène jusqu'au Pliocène (Champion et al., 2000). Contrairement à la Provence occidentale, la Provence orientale, au sud de la faille de la moyenne Durance, n'a été que peu affectée par la phase Alpine (Combes, 1984 ;

Champion et al., 2000 ; Bestani et al., 2015). Dans le bassin oligocène de Marseille, Fournier et al. (2016) ont mis en évidence une phase de compression N-S dont l'âge est compris entre le Burdigalien inférieur et moyen (18-20 Ma).

À la fin du Miocène, 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.

2.2.2. Contexte tectonique et stratigraphique du PNR de la Sainte Baume

Le PNR de la Sainte Baume se situe à cheval sur deux unités géologiques principales :

- Au sud, l'unité du Beausset se développe selon un vaste synclinal dissymétrique à bordure sud-est redressée, et à charnière d'axe globalement E-O (Figure 6). Elle est limitée à l'ouest par les bassins oligocènes de Marseille-Aubagne, à l'est par la dépression permienne de Solliès-Ville, et est bordée au sud par les chevauchements nord-toulonnais et au nord par le grand accident chevauchant de la Sainte-Baume. En mer, les chevauchements nord-toulonnais se propagent vers l'ouest et sont entaillés par les canyons de Bandol et de Cassidagne (Tassy et al., 2014). Ces canyons incisent les terrains du Jurassique supérieur.
- Au Nord, l'unité du plan d'Aups et de la Larre-Aurélien. L'unité synclinale du Plan d'Aups est recouverte par le chevauchement de la Sainte-Baume et la série renversée du même nom. L'unité de la Larre Aurélien chevauche au Nord le bassin de l'Arc.

Légende

- Périmètre du PNR Hydrographie
- Réseau routier
- Autoroute
- Routes
- Sources
- Tras
- Autochtones et allochtones
- Allochtones de Beausset
- Série ravissées de la Sainte Baume
- Oligocène
- Quaternaire
- Autochtone de l'Arc
- Autochtone d'Albauch
- Autochtone et para-autochtone

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 km

À l'affleurement, les unités sont composées de terrains allant du Trias inférieur au Crétacé supérieur. Les lithologies sont sujettes à de nombreux changements latéraux de faciès et d'épaisseur (Figure 7). Les lithologies comprennent évaporites, calcaires, dolomies, marnes et grès. Les niveaux de décollement majeurs se situent dans les séries du Trias, au niveau des évaporites du Keuper (Roure et al., 1992) et du Muschelkalk inférieur. La stratigraphie de l'ensemble des unités est détaillée par (Bestani et al., 2015 ; Bestani, 2015). Une synthèse stratigraphique exhaustive de l'unité du Beausset est présente dans la thèse de Fournillon (2012).

Figure 121 : Carte et coupe géologiques du sud de la Provence calcaire. Bestani et al. (2015).

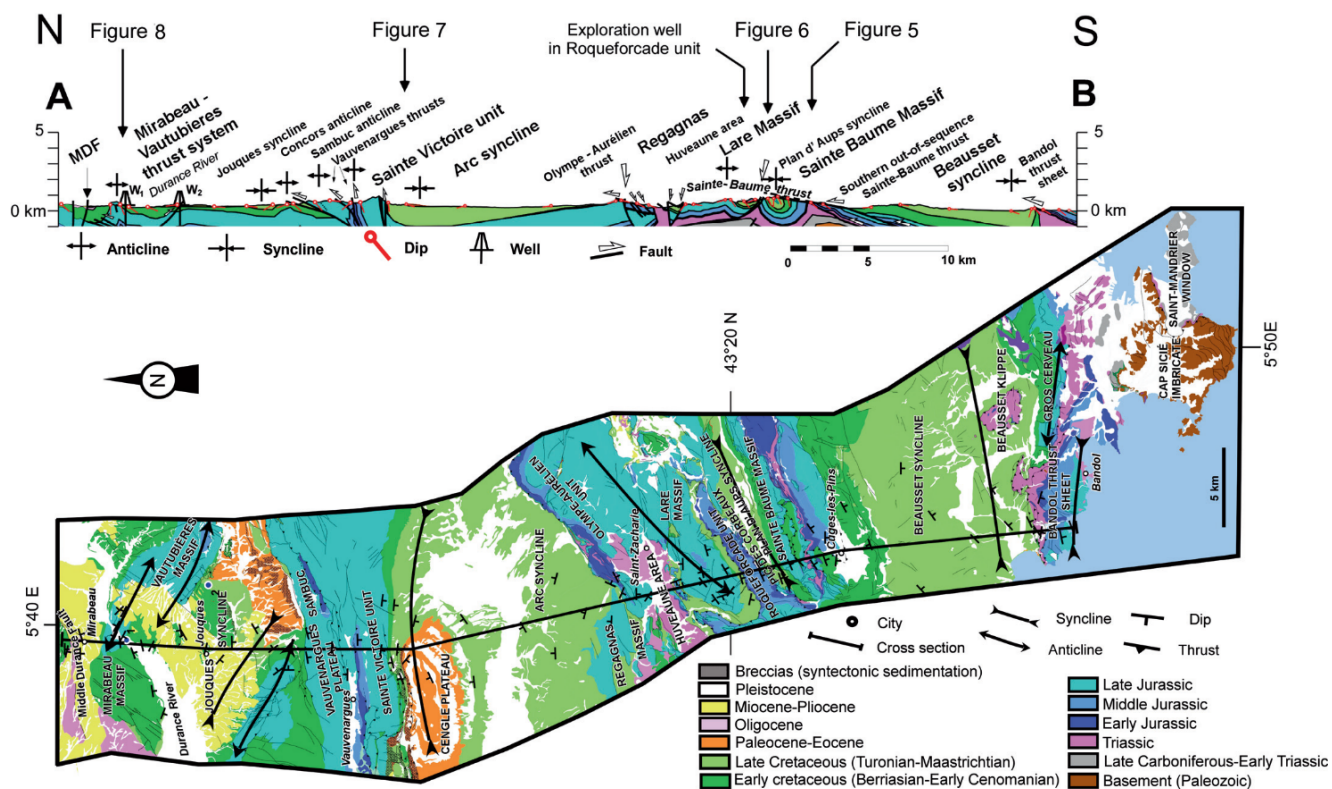
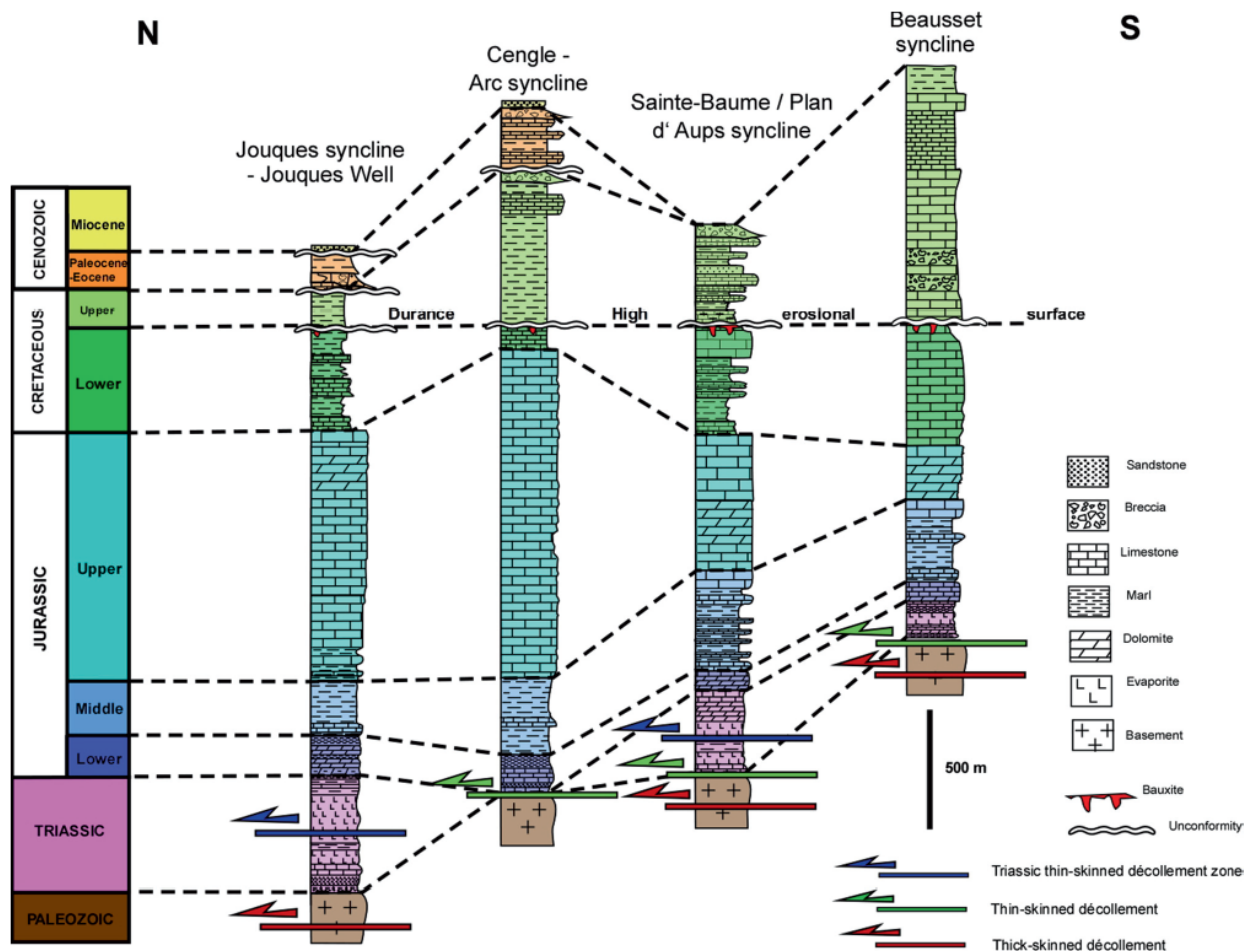


Figure 122 :: Stratigraphie de la Provence depuis la faille de la moyenne Durance au synclinal du Beausset. Les discordances et les niveaux de décollements majeurs sont indiqués. Bestani et al. (2015).



2.3.Contexte hydrogéologique : Les aquifères, aquitards, aquicludes, les sources

L'étude porte sur les masses d'eau FRDG167 et 168 identifiées dans le SDAGE 2010-2015. D'un point de vue géologique, les écoulements dans ces masses d'eau sont contraints par la nature lithologique des formations rencontrées à l'affleurement et en profondeur, ainsi que par le canevas structural qui les découpe. Cinq grands types de roches sont rencontrés :

- 1) Les roches évaporitiques du Trias,
- 2) les roches carbonatées fissurées et karstifiées, principalement du Trias, Jurassique et Crétacé,
- 3) les roches carbonatées marneuses intercalées entre les roches du type précédent,
- 4) les roches mixtes carbonatées-silicoclastiques du Crétacé supérieur,
- 5) les roches conglomératiques et alluvions d'âge oligocène à quaternaire.

L'ensemble de ces terrains présente des propriétés de porosité et de perméabilité susceptibles de permettre un stockage de l'eau souterraine ou de la laisser circuler.

Au Nord de l'Huveaune, et dans la Sainte-Baume, l'événement médiocrétacé lié au Bombement Durancien a provoqué l'érosion des terrains du Crétacé inférieur, et localement le dépôt de bauxite dans d'anciennes dépressions karstiques (massif d'Allauch, Mazaugues, le Revest). La série sédimentaire est alors incomplète.

2.3.1. Les aquifères

Deux grands types de formations aquifères sont présentent sur le secteur d'étude :

- 1) d'une part les alluvions et colluvions ;
- 2) d'autre part les roches carbonatées.

Les alluvions et colluvions quaternaires sont concentrées dans les plaines d'Aubagne et de Cuges-les-Pins au sein de vastes dépressions. Le long de l'Huveaune, le Quaternaire est peu épais et repose sur les poudingues oligocènes.

Les aquifères principaux de la zone d'étude sont majoritairement concentrés dans les roches carbonatées : calcaires, dolomies, marnes, et calcarénites quartzeuses. Quatre aquifères principaux peuvent être distingués :

- L'Hettangien-Aalénien calcaire (sous le Bajocien) ;
- Les dolomies du Jurassique supérieur ;
- Les calcaires du Barrémien à faciès urgonien ;
- Et les calcaires du Turonien.

Ces roches forment un milieu hétérogène vis-à-vis de l'écoulement de l'eau souterraine. Elles sont affectées par une intense fracturation, reprise par la karstification verticale et horizontale qui traverse sans discernement tous les âges et tous les types de roches. Cette karstification se développe profondément sous le niveau de la mer actuel. Elle a été observée en spéléo-plongée dans la rivière de Port-Miou jusqu'à 223 m de profondeur. Elle est liée à la baisse drastique du niveau de la mer Méditerranée lors de la crise de salinité Messinienne, et à l'adaptation du karst lors des variations du niveau de base (Audra et al., 2004).

Bien que tous les terrains carbonatés soient aquifères, les propriétés pétrophysiques des terrains sont contrastées. Les terrains dolomitiques présentent une porosité de pore et une perméabilité matricielle non négligeables. Les dolomies (principalement jurassiques) jouent le rôle de réservoir régional. Les calcaires compacts à faciès urgonien (barrémien principalement) présentent une propriété réservoir liée à leur fracturation et leur karstification. Leur rôle réservoir est moindre, mais ils jouent un rôle majeur pour le transfert des fluides (descendants ou ascendants) vers leur résurgence au niveau de base marin. Le Crétacé supérieur carbonaté-gréseux montre, comme la dolomie, une double porosité/perméabilité liée à la matrice et aux fractures.

2.3.2. Les aquitards

Les roches carbonatées marneuses et les poudingues oligocènes forment localement des aquitards. Les propriétés des poudingues sont peu connues. Les marnes, par leur variation d'épaisseur et leur fracturation, ne représentent pas un écran imperméable, bien qu'elles créent un frein à l'écoulement lorsqu'elles sont présentes. Elles peuvent être traversées par des circulations karstiques (exemple du karst de l'embut des Enfers-Riboux dans le Bajocien-Bathonien, ou le résultat du traçage artificiel de 2011 à travers l'Aptien entre la perte de Mauregard (Crétacé supérieur) et Port-Miou (Barrémien)). Les formations les moins perméables sont :

- Les formations du Trias ;
- Les alternances marno-calcaires du Jurassique moyen (Bajocien) ;
- les alternances marno-calcaires du Berriasien ;
- Et les calcaires argileux et les marnes de l'Aptien au Cénomanién inférieur.

2.3.3. Les aquicludes

Les formations strictement imperméables sont rares sur le territoire étudié, limitées à quelques niveaux argileux dans les dépôts oligocènes ou quaternaires. La bauxite, bien qu'elle soit peu ou pas perméable, n'est déposée qu'en poches dans les paléo-dépressions karstiques, et forme donc un écran discontinu

2.3.4. Les sources

En zone carbonatée karstique, les sources constituent les exutoires des nappes d'eau souterraines. Sur le territoire d'étude, les sources pérennes au débit conséquent (> 100 l/s) sont rares. Une particularité du secteur d'étude réside dans le drainage souterrain qui donne naissance à deux grandes sources vauclusiennes :

- Les sources sous-marines de la baie de Cassis, Port-Miou (plongée à -233 m) et Bestouan, qui constituent les exutoires majeurs de la Basse-Provence calcaire, avec un débit d'étiage de plusieurs m³/s). Ces résurgences drainent une partie de l'unité du Beausset et du massif des Calanques ainsi qu'une partie du massif de la Sainte Baume (Cavalera, 2007 ; Arfib et al., 2011 ; Fournillon, 2012).

- Les sources de Dardennes, dont le Ragas a été plongé à -150 m de profondeur, drainent la partie orientale de l'unité du Beausset avec un débit moyen annuel variable (sur la période d'étude du projet Dardennes entre 2013 et 2017), entre un minimum à 0,16 m³/s sur le cycle 2015-2016 et un maximum à 1,24 m³/s sur le cycle 2014-2015.

Plusieurs sources de moindre envergure s'ouvrent sur le pourtour des massifs et certaines font l'objet de prélèvement AEP, soit par prélèvement au débouché de la source, soit par forage. Ces sources drainent soit localement les massifs carbonatés, soit une partie "superficielle" des aquifères régionaux. Ces différentes sources et leur comportement sont discutés plus en détails dans les sections suivantes.

D'une manière générale, les sources sont situées en bordure des unités aquifères, aux points topographiquement les plus bas et au contact du mur imperméable formé par les aquitards ou aquicludes.

2.3.5. Les traçages artificiels

Le territoire du PNR étant principalement caractérisé par des roches carbonatées et potentiellement karstifiées, le traçage artificiel est une méthode particulièrement bien adaptée pour l'étude des circulations d'eau souterraine. Il renseigne sur les limites de bassins d'alimentation des sources et les vitesses d'écoulement. Le Tableau 1 inventorie les traçages connus reporté en Figure 9. Ces traçages sont discutés plus en détails dans les sections suivantes correspondant aux unités réservoir karstiques.

Figure 123 : Synthèse des traçages artificiels réalisés sur le territoire du PNR ou à proximité.

Unité réservoir karstique	Point d'injection	Date d'injection	Traceur	Masse Injectée.	Point de restitution	Bibliographie
Massif d'Agnis	Escampo Pissadou	?	?	?	Font Pétugue, Beaupré	Gilli (2002)
	La Marsellaise	?	?	?	Beaupré	
	Perte de la plaine d'Agnis	?	?	?	Herbette, Caramy, Neufs Fonts, Foux, Raby, Gapeau, Bourdon- Pracabat, Beaupré	
	Perte du Jas d'Agnis	?	?	?	Font Pétugue, Foux, Raby	
Sud Sainte-Baume-Calanches	Embut Coulin (Gemenos)	06/12/1965	Fluorescéine	50 kg	Port-Miou	Durozey et Paloc (1969)
	Embut de Caranquet (sud-ouest Cuges les Pins)	1970		1,5 kg	Non détecté	Monteau (1971)
	Embut sud-ouest Cuges les pins		Acide amino G	50 kg		Arfib et Lamarque (2011)
	Gouffre de la Gorguette	21/10/2015	Fluorescéine	3 kg		Arfib (2015a)
	Gouffre du Mussuget 3	08/02/2015 9h55	Fluorescéine	2 kg	Port-Miou	Arfib (2015b)
	Perte de la Revengudo	13/02/2011		45,2 kg	Forage Castelet Aéro.	Arfib et Lamarque (2011)
	Perte de Mauregard	08/02/2011	Rhodamine B	35 kg	Port-Miou, Bestouan	Arfib et Lamarque (2012a)
Faron-Saint-Antoine	Tunnel du Mussuget (Cassis)	01/12/1966	Fluorescéine	50 kg	Port-Miou	Durozey et Paloc (1969)
	Perte du Las	12/06/2015 et 28/09/2015	Fluorescéine	0,48 kg	Saint-Antoine	Lamarque (2015a)
	Ragage du Mt Faron	04/03/2015		7,5 kg		Lamarque (2015b)
Montagne de la Larre	Gouffre des Encanaux (rivière souterraine)	02/07/1983	Fluorescéine	238 g	Sources des Encanaux	Coulier (1985)
		31/01/2015		388 g	Source supérieure, haute et trou des Encanaux	Fermier <i>et al.</i> (2015)
	Gouffre des Encanaux (voûte mouillante)	16/03/2015	Acide Amino G	8225 g		
Orves-Gorges d'Ollioules	Ajoncs	01/02/1998	Acide Amino G	20 kg	Foux de Ste Anne d'Evennos, Maire les Fontaines, Bonnefont	Lamarque et Maurel (2004)
	Aven du Cerisier	26/02/1966	Fluorescéine	5 kg	Bonnefont	Durozey et Paloc (1969)
	Aven Robert Gauthier	17/03/1997	Fluorescéine	25 kg	Bonnefont, Maire les Fontaines ; Foux de St Anne	Lamarque et Maurel (2004)
	Maramoye	20/02/1997	Rhodamine B	25 kg	Foux de Ste Anne d'Evennos, Maire les fontaines, Bonnefont	
	Perte et Fracas	13/01/2010	Acide Amino G	10 kg	Foux de Ste Anne d'Evennos	Arfib <i>et al.</i> (2011)
	Tête de Cade	02/11/1968	Fluorescéine	40 kg	Bonnefont	Durozey et Paloc (1969)
Sainte-Baume	Gouffre des Escandaou	14/01/1984	Fluorescéine	0,810 kg	Source Saint-Pons, Galerie de St Pons	Coulier (1985)
	Grand Gaudin Amont	30/03/2011	Rhodamine B	18 kg	Figuières, Lieutaud, Lecques	SAFEGE (2011a)
	Grande Tourne	?	Fluorescéine	?	Non détecté	Mazet (1967)
	Petit Saint Cassien	19/04/2014		1,4 kg	Foux de Nans	Durand et Margaria (2015)
		1985		0,38 kg	Non détecté	Coulier (1985)
		1983		20 kg		Monteau et Courbon (1983)
	Petite Tourne (Tantagne)	08/04/1986		3,5 kg	Encanaux supérieure, Saint-Pons	Martin (1991)
	Ruisseau Font Frège	30/03/2011		18 kg	Figuières, Forage des Vallons (Rougiers), Lieutaud, Lecques	SAFEGE (2011a)
Siou-Blanc-Ragas de Dardennes	Abîme des Morts	26/11/1995	Fluorescéine	45 kg	Sources de Dardennes	Lamarque et Maurel (2004)
	Aven de la Solitude	12/02/1995		40 kg	Sources de Dardennes, Saint-Antoine	
	Aven des Polonais	25/11/1995	Rhodamine B	45 kg	La Rouvière, Saint Mathieu, Font de Thon, Werotte	
	Aven du Caniveau	21/02/1997	Lithium	19 kg	Saint-Antoine	
	Aven du Quiberon	25/01/1998	Fluorescéine	15 kg	Trou du Garde	
	Carrière de Fierraquets	17/04/2002		15 kg	Sources de Dardennes	

2.4. Héritages géomorphologiques

La morphologie de la Basse-Provence calcaire se caractérise par des reliefs de forte énergie orientés E-O, fortement disséqués par l'érosion et pourtant associés à de multiples surfaces d'aplanissement. De vastes morphologies planes affectent ainsi aussi bien les zones sommitales que les piedmonts des massifs de la Nerthe, de la Fare, de la Sainte Victoire ou de la Sainte-Baume avec l'étendue du plateau du Camp à ses pieds (Fig. 1). Leur âge de formation est incontestablement tertiaire puisqu'elles tronquent et nivellent les structures pyrénéo-provençales formées à l'Éocène moyen sans distinction de nature et de faciès des terrains. Ces surfaces peuvent résulter soit d'un aplanissement continental, soit d'un façonnement marin (surface d'abrasion marine).

Localement ces surfaces sont scellées par divers niveaux du Miocène inférieur à supérieur, mais lorsque celles-ci ne comportent aucun indice marin, leur origine reste plus spéculative. Ainsi, ces surfaces apparaissent dès l'Oligocène et dans un milieu continental pour Nicod (1967) et Nury (1988), et à partir du Miocène et dans un milieu marin (abrasion marine) pour d'autres (Rousset, 1973 ; Tassy, 2012). Pour plusieurs auteurs, trois types de surfaces d'aplanissement peuvent être distinguées :

- Les surfaces anté-miocène correspondant aux plus hautes surfaces d'aplanissement provençales "S" (entre 600 et 1500 m), sont attribuées depuis Nicod (1967) à l'Oligocène. Ces surfaces apparaissent très déformées et sont portées en altitudes par plusieurs phases tectoniques. Elles sont inclinées et fortement incisées par les réseaux hydrographiques miocènes et plio-quadernaires (Blanc, 1992).

- La surface miocène appelée surface fondamentale "S" ou surface principale (Cornet, 1966 ; Nicod, 1967) se retrouve en Provence calcaire mais également en Provence cristalline plus à l'est. Les premiers stades d'établissement de cette surface seraient reliés à une phase d'aplanissement du relief. La surface fondamentale S, s'emboîte à une côte inférieure dans l'aplanissement précédent (280 à 550 m). Cette surface est fossilisée par la transgression miocène à la Nerthe, aux Bonfillons-Bimont (Tortonien), à la Couronne (Burdigalien), St-Chamas, La Fare (Langhien-Serravalien), Jouques (Rousset, 1968). Pour Blanc (2010) cette surface fondamentale S passe sous le niveau marin actuel au sud d'un système de failles littorales (Cap Couronne, Sausset-Carry, La Ciotat, Bandol, Îles d'Hyères). Sur le Massif méridional et le massif des Maures, cette surface "aérienne" aurait été le siège d'écoulements de type fluvial provenant de l'ouest et du sud (Blanc, 2010). La genèse de cette surface est attribuée à la fin de l'Aquitainien (22 à 20 Ma).

- Les surfaces plio-quadernaires, les plus discrètes dans le paysage. Elles semblent prolonger l'aire sommitale du "delta-cône" de Valensole (Pliocène terminal - début du Quaternaire) et correspondent à la surface d'abandon du Pliocène (Blanc, 2010). La surface de la Nerthe est recouverte par des remplissages à galets verts (variolites, serpentines, gabbro) d'origine durancienne, pouvant être attribuées au tracé d'un ancien cours pliocène de la Durance, jalonné par l'épandage de galets d'origine alpine (Blanc, 2010). Les contraintes tectoniques compressives déformant cette surface sont à rattacher à la continuité des mouvements alpins le long de failles normales ou inverses N20 à N60 et de décrochements orientés NE-SO, généralement senestres, liés à l'activité sismique régionale de la Moyenne Durance, la faille de Nîmes, l'accident de Cavaillon-Salon-Fos, les failles de Piégu et de Saint-Cassien (Sainte-Baume), voire des failles sous-marines de Cassidaigne (Blanc, 2010).

Dans l'unité du Beausset, le plateau du Camp marque une large surface d'aplanissement rabotant les terrains du Crétacé basculés vers le sud (Fig. 1). Cette surface marque un trait caractéristique du paysage du fait de son horizontalité et de sa conservation. Elle s'étale entre 380 m d'altitude à l'ouest et 450 m à l'est. Cette surface porte les traces d'une évolution karstique intense, où les nombreuses dolines et les cavités sous-jacentes sont colmatées par des argiles. L'origine de cette surface est encore débattue. Elle résulterait soit d'une plateforme d'abrasion marine (wave-cut platform) (Philip et al., 1975 ; Blanc, 1992,

2001 ; Tassy, 2012), soit d'une surface de d'aplanissement en domaine continental (Cornet, 1966 ; Rousset, 1968). Entre la surface du Camp et la bordure sud de la Sainte Baume, une surface apparaît avec une pente d'environ 10°S. Elle est séparée de la surface du Camp par les poljés de Cuges et de Chibron. Cette surface peut alors soit correspondre à un lambeau de la surface du Camp qui aurait été basculé postérieurement vers le sud par un rejeu de l'accident chevauchant de la Sainte Baume alors que la surface du Camp, au cœur du synclinal n'aurait pas été basculée, soit à une surface de raccordement, c'est-à-dire à un pédiment se raccordant à la surface du Camp (Blanc, 1992 ; Tassy, 2012).

Figure 124 : Surface d'aplanissement du plateau du Camp vue du village du Castelet. La surface nivelle le paysage à une altitude moyenne de 430 m. Photo : B. Arfib.



A l'est de la surface du Camp, le massif de Siou-Blanc-Morrières domine cette surface à une altitude maximale de 793m. Plusieurs niveaux de replats peuvent être distingués dans le paysage, comme celui du plateau de Siou-Blanc. De nombreuses dolines et dépressions fermées poinçonnent ce plateau, formant un relief typiquement karstique. Les paysages ruiniformes du massif de Morrières composé des dolomies du Jurassique supérieur présentent des morphologies de karst à buttes avec des pinacles résiduels (Aiguilles de Valbelle). En périphérie du massif, plusieurs poljés s'inscrivent dans le paysage, tels que les poljés de Tourris, Planier, et Orves (Blanc, 2001). Le canyon du Destel entaille le massif du Croupatier pour drainer le poljé d'Orves et rejoindre la Reppe dans les gorges d'Ollioules. La vallée du Gapeau marque l'extrémité est du massif, le séparant du massif de Saint-Clément.

2.5. Connaissances sur les phases de karstification en Provence

La karstification en Basse-Provence a subi l'influence de nombreux changements occasionnés par les grandes phases géodynamiques et climatiques. Seules les connaissances sur les phases majeures sont présentées ici, les phases d'émersions de faibles ampleurs contemporaines de la sédimentation n'ayant qu'un rôle limité sur la karstogénèse.

A la fin du Crétacé inférieur (Aptien-Albien), l'épisode du "Bombement durancien" entraîne le développement d'une surface d'érosion, la "surface des bauxites" (Combes, 1984 ; Blanc, 1997), sous climat tropical à travers toute la Provence (Rousset, 1968 ; Laville, 1981). Dans l'unité du Beausset, cette surface d'érosion est présente partout excepté dans la partie sud (au nord du massif du Gros Cerveau). La présence des bauxites n'est avérée que dans la partie est (Évenos et Le Revest-les-Eaux), où leur épaisseur peut atteindre une dizaine de mètres d'après les forages Péchiney (base de données du sous-sol

– BSS du BRGM). À l'exception des travaux miniers d'extraction de la bauxite la géométrie de cette formation est peu connue.

Durant le Campanien, la karstification s'opère dans les niveaux triasiques comblés postérieurement par des dépôts lacustro-palustres de calcaires à oncoïdes (Fournillon, 2012), attestant que le nord de l'unité du Beausset dans le secteur de Signe était en partie exondée dès le Campanien.

Durant le Crétacé terminal, puis au Paléocène-Eocène, la tectonique compressive N-S pyrénéo-provençale induit la formation des reliefs et l'érosion d'une grande partie de la Provence. Cette tectonique entraîne une intense déformation du karst précédemment créé (Blanc, 1997) et correspond à une phase majeure d'altération des terres émergées à l'échelle de toute l'Europe occidentale (Wynns et Guillocheau, 1999). Cette phase d'altération est responsable de la production massive d'altérites latéritiques à l'échelle régionale.

Le rifting oligocène, dans un climat tropical à régime contrasté, est à l'origine d'une phase d'érosion et de dissolution majeure, engendrant la dénudation des couvertures meubles et le façonnement d'un nouveau paysage karstique. Cette surface d'érosion se met en place en recoupant la surface des bauxites et les chevauchements pyrénéo-provençaux. Une nouvelle pente régionale se met en place avec un paléo-réseaux hydrographique orienté du sud vers le nord (Cornet, 1966 ; Nicod, 1967 ; Blanc, 1997).

Durant le Miocène moyen (Langhien-Serravalien), des cavités sont remplies par des sédiments marins tels que celles du massif du Douard (Philip et al., 1975).

Le Miocène supérieur est soumis à la phase de compression alpine. Cela se traduit dans le karst par des ruptures de spéléothèmes et des déformations de galeries (Blanc, 1992). Le climat durablement chaud et humide permet la karstification de la "surface fondamentale" (surface du Camp, sommet de la Nerthe), avec la formation de poljés, dolines et en sub-surface de grands réseaux horizontaux actuellement suspendus (Nicod, 1967 ; Blanc, 1997).

Au Messinien, la fermeture du détroit de Gibraltar provoque la chute drastique du niveau marin (- 1500 m) (Clauzon et al., 1996 ; Rouchy et Caruso, 2006). Dans l'endokarst, cette chute considérable du niveau marin suivie par le réennoïement et la remontée du niveau de base pliocène, se traduit par la structuration profonde des réseaux et le développement d'un karst inachevé. En surface, cela se traduit par le surcreusement des réseaux aériens (formation de gorges et de canyons) (Audra et al., 2004 ; Mocochain et al., 2006). Dans l'unité du Beausset, les manifestations du cycle messino-pliocène semblent correspondre aux grands réseaux noyés comme Port-Miou et le Ragas de Dardennes, des réseaux ennoyés, préalablement structurés en profondeur et drainant aujourd'hui l'essentiel des écoulements souterrains.

Les phases de karstification en Provence associées aux phases tectono-eustatiques montrent que le karst de l'unité du Beausset peut potentiellement être très ancien. La datation des phases de karstification apparaît difficile. Seuls quelques indices disparates ont permis un calage temporel de l'évolution et la structuration des réseaux karstiques. Il est alors difficile d'estimer parmi toutes les phases possibles lesquelles sont prépondérantes. Néanmoins, le Messinien semble jouer un rôle majeur car il représente une variation eustatique considérable qui a permis la structuration des karsts en profondeur.

2.6. Modalités de recharge et délimitation des unités réservoirs karstiques

Les aquifères carbonatés karstiques se différencient des autres aquifères par leur recharge. La recharge 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. 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 et s'infiltrant ensuite dans le karst. Le facteur clé de la recharge dans le contrôle de la spéléogenèse est lié au ruissellement et au mode d'infiltration, diffuse ou concentrée, indépendamment de l'origine autochtone ou allochtone de l'eau.

Dans l'épikarst, l'alimentation peut être unaire, binaire, diffuse ou concentrée. La détermination des modalités d'infiltration s'aborde donc par la reconnaissance des formes et formation en surface, de leur évolution, et de leurs connexions avec la zone vadose de l'endokarst.

Dans les sections suivantes, les limites des unités considérées prennent en compte l'alimentation par ruissellement et/ou par connexion souterraine.

3. CARACTERISATION DES UNITES RESERVOIRS KARSTIQUES

Cette section a pour but de caractériser, de manière détaillée, chaque unité réservoir karstique présente sur le secteur d'étude. Il s'agit de la première étape de sectorisation des futures zones de sauvegarde.

Le terme d'unité réservoir karstique désigne un même ensemble structural dont les écoulements souterrains aboutissent à une émergence définie ou à plusieurs émergences comparables.

Dans cette section, les unités de Siou-Blanc-Dardennes, Orves-Gorges d'Ollioules et de Calanques/sud Sainte-Baume, seront traitées en premières en raison de la connaissance plus approfondie des secteurs dans le cadre des projets KarstEau (2008-2012) puis Dardennes (2013-2018), permettant un calage temporel et génétique des événements sur les autres unités. Seront ensuite détaillées les unités en continuité géologique et hydrogéologique de la Sainte-Baume, de la Montagne de la Lare et du Mont-Aurélien, puis les unités individualisées géologiquement et hydrogéologiquement du massif d'Agnis, de la Montagne de la Loube et du Pilon-Saint-Clément.

3.1. Localisation générale des unités karstiques réservoir

Les limites des unités sont 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). Les limites cartographiques basées sur la lithologie sont issues de la carte géologique vecteur harmonisée du BRGM.

La superficie totale et la superficie à l'intérieur du PNR des unités réservoir karstiques est donnée dans le Tableau 2. Ce tableau illustre que la majorité de la superficie du PNR, environ 70 %, correspond soit à des formations karstifiables et karstifiées soit à des zones de recharge des aquifères karstiques par des zone constituant des bassins d'alimentation par ruissellement (Figure 9). La majorité du territoire participe ainsi à la recharge des réserves en eau souterraine.

Figure 125 : Superficie totale et la superficie à l'intérieur du PNR des unités réservoir karstiques

Nom de l'unité réservoir karstique	Superficie (km ²)	Superficie de l'unité dans le PNR (km ²)
Unité mixte de la série renversée de la Sainte-Baume	24.9	24.9
Agnis	51.0	51.0
Pilon Saint Clément	25.6	25.6
Siou-Blanc-Ragas de Dardennes	98.5	77.0
Orves-Gorges d'Ollioules	78.8	49.0
Montagne de la Loube	68.3	40.0
Montagne de la Lare	43.3	43.3
Mt Aurélien	55.9	55.9
Extension probable de l'unité du Mt Aurélien (Roquevaire)	22.1	0.0
Calanques / Sud Sainte-Baume	255.6	123.0
Sainte-Baume	100.3	100.3
Somme de la superficie des unités	824.3	590
Superficie du PNR km ²		843.7 km ²
Pourcentage de la superficie des unités à l'intérieur du PNR		69.9 %

Légende

- Périmètre du PNIR
- Réseau routier
- Autoroute
- Routes
- Tracages
- Permanent
- Détecté
- Faible détection
- Non détecté
- Points d'injection
- Basin versant Dardennes
- Basin versant de Port Miu

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 km

3.2. Unité de Siou-Blanc-Dardennes

Cette unité a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche notamment dans le cadre du projet KarstEau (Fournillon, 2012 ; Tassy, 2012) et plus récemment dans le cadre du projet Dardennes (Baudement et al., 2018 ; Baudement, 2018 ; Camus et Jouvès, 2018 ; Garin et Arfib, 2018 ; Jouvès, 2018 ; Jouvès et al., 2018).

Cette section n'a ainsi pas pour but de reprendre tous les résultats de ces différentes études mais de donner une vision globale des caractéristiques de l'unité.

3.2.1. Présentation et délimitation de l'unité

L'aquifère karstique de Dardennes constitue la partie est de l'unité géologique du Beausset qui s'étend à cheval sur les départements du Var et des Bouches-du-Rhône. L'unité est limitée au sud par les chevauchements nord-toulonnais, à l'est par la vallée du Gapeau, qui entaille les terrains du Jurassique inférieur et du Trias, et au nord par la dépression de Signes et la chaîne de la Sainte-Baume. La limite ouest correspond au contact stratigraphique entre les calcaires urgonien (crétacé inférieur) et le toit de l'aquifère formé par la surface des bauxites et le cénomanien marneux. La limite nord-est correspond à la zone supposée de partage entre l'unité de Dardennes et celle de Sud-Sainte-Baume-Calanque drainée majoritairement vers les sources de la Baie de Cassis (Port-Miou et Bestouan).

La superficie totale des terrains pris en compte pour l'impluvium est de 98.5 km² dont 77 km² sont compris dans le PNR.

3.2.2. Géologie et formation(s) aquifère(s)

La série sédimentaire du massif forme globalement un monoclin al au pendage d'environ 15°SW s'enfonçant dans le cœur du bassin du Beausset et redressé au niveau des sources de Dardennes pour former la terminaison orientale de la structure synclinale du Beausset.

L'aquifère karstique de Siou-Blanc est essentiellement composé par deux réservoirs (Figure 11) que sont

- Les dolomies du Jurassique supérieur et ;
- Les calcaires du Barrémien à faciès urgonien.

Ces deux unités réservoirs sont interconnectées par le biais de deux familles de failles principales N40-60 et N130-150 et par les structures karstiques. Le mur de l'aquifère karstique est constitué par les alternances marno-calcaires du Jurassique moyen (Bajocien-Bathonien). Au sud, le chevauchement de Dardennes joue le rôle d'écran aux écoulements. À l'ouest, ces réservoirs passent en situation captive sous l'unité de Orves-Ollioules qui s'enracine elle aussi sous le cœur de crétacé supérieur du bassin du Beausset.

Figure 127 : Localisation de l'unité karstique de Siou-Blanc-Dardennes.

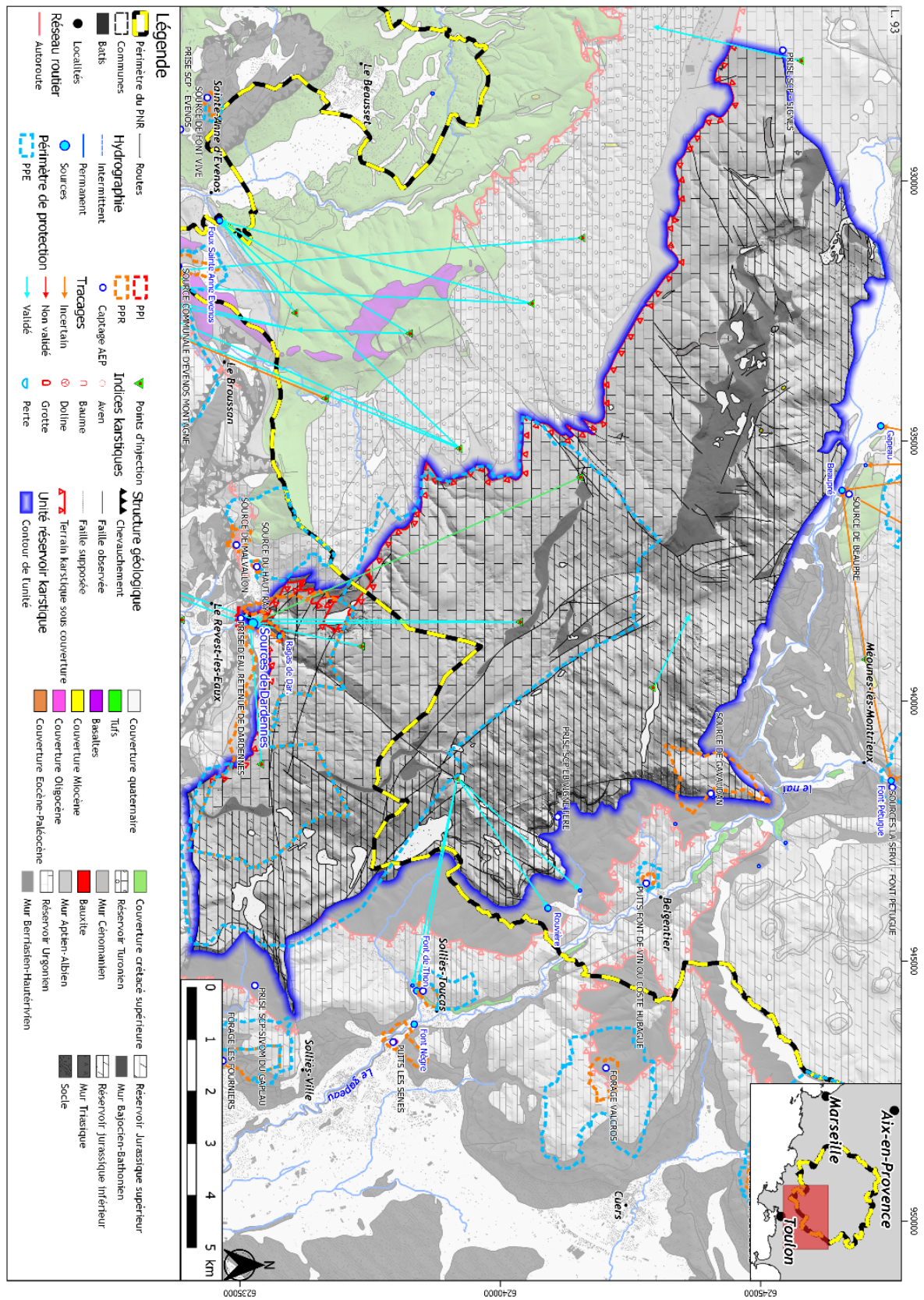
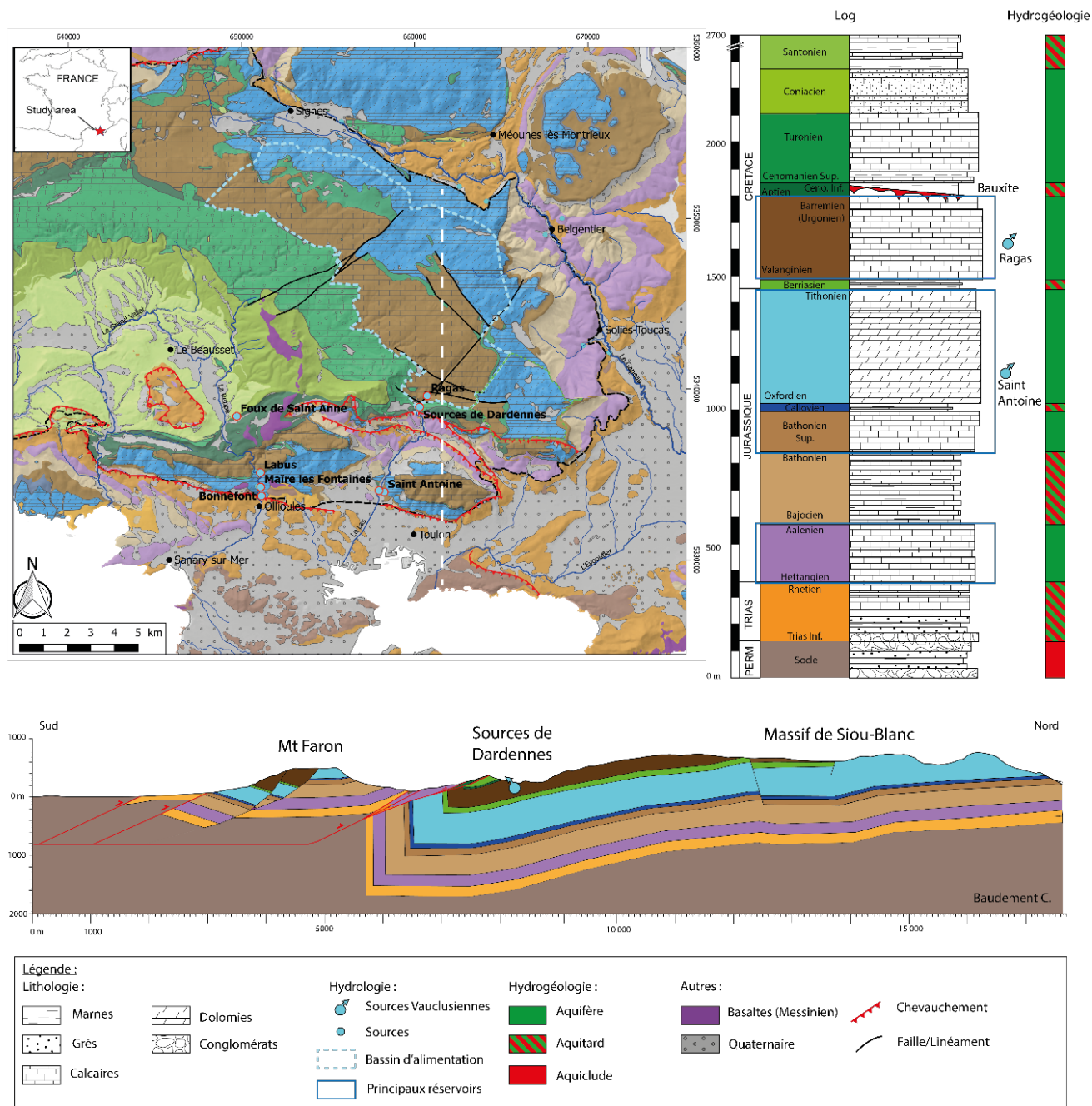


Figure 128 : Contexte géologique et stratigraphique de l'aquifère karstique de Dardennes. Jouvès (2018) ; coupe d'après Baudement (2018).



3.2.3. Karstification

La caractérisation de la structuration karstique du réservoir de Dardennes a été abordée par une approche de diagnostic karstologique (Camus et Jouvès, 2018 ; Jouvès, 2018). Cette approche a permis d'identifier et de déterminer les grandes phases de karstification ayant affecté le massif et d'estimer qualitativement leur impact sur le fonctionnement hydrogéologique. La corrélation génétique et géométrique des différentes formes et formations en relation avec le milieu karstique avait permis d'individualiser quatre phases distinctes de structuration et d'évolution des réservoirs karstiques du réservoir de Dardennes (Camus et Jouvès, 2018) :

- La première phase concerne toutes les phases de karstification antérieures à la mise en place des structures pyrénéo-provençales, c'est-à-dire la phase d'altération liée au bombement durancien (crétacé moyen), la phase d'émersion au Crétacé terminal et durant le Paléocène. Ces phases anciennes sont à l'origine de discontinuités majeures au sein du réservoir telles que la surface des bauxites ou du maillage des couloirs d'altération (Figure 13A).

- La deuxième phase enregistre la proximité de niveaux de base peu déprimés engendrant des processus de crypto-altération qui affectent directement le substratum carbonaté à l'affleurement sous forme d'aplanissement qui recourent les structures pyrénéo-provençales (Figure 13B et C). L'abaissement peu important du niveau de base lors de l'emboîtement de ces aplanissements karstiques permet le maintien des processus crypto-karstiques là où les couvertures d'altération sont préservées c'est-à-dire là où les couvertures sédimentaires n'ont pas été décapées. Des réseaux de mise en charge se mettent en place (Abîme de Maramoye).

- La troisième phase correspond à la réponse karstique à l'oscillation messino-pliocène avec une réorganisation des circulations vers une zone d'émergence en position très basse probablement dans le canyon messinien de Bandol, éventuellement dans celui de Cassidagne (Figure 13D et Figure 12). Ce chemin de drainage est probablement structuré par érosion régressive des zones d'altération fantômisées interconnectées dans les dolomies du réservoir du Jurassique supérieur et dans les couloirs de brèches karstiques. La remontée du niveau de base provoque l'ennoyage de ces discontinuités en grand maintenues ouvertes sous le niveau des nouvelles zones d'émergence. L'incapacité du karst à drainer les infiltrations dans le réseau profond et l'engorgement des poljés sont à l'origine d'une importante réorganisation des systèmes karstiques ; les structures de drainage souterrain héritées des phases antérieures peuvent être réutilisées, mais subissent une adaptation aux conditions nouvelles de circulations (Figure 13E) ; comme le raccordement des structures profondes par des sources vauclusiennes du Ragas, de Saint-Antoine ou de Port-Miou (en position de karst barré).

- La quatrième phase dynamique enregistre la prépondérance de l'érosion linéaire (creusement des canyons, érosion régressive des vallées et des reculées), le démantèlement des réseaux de mise en charge et la structuration des réseaux gravifiques dans la zone des puits d'invasion (Figure 13F). Les morphologies de plateau sont progressivement figées par l'immunité karstique, tandis que les canyons et vallées périphériques dissèquent l'entablement des massifs.

Figure 129 : Géologie 2,5D terre-mer de l'unité du Beausset. On remarque la continuité du substratum jurassique au large de Bandol jusque dans le canyon Messinien oblitéré par le Pliocène marin. Jouvès (2018) modifié d'après Fournier et al. (2016).

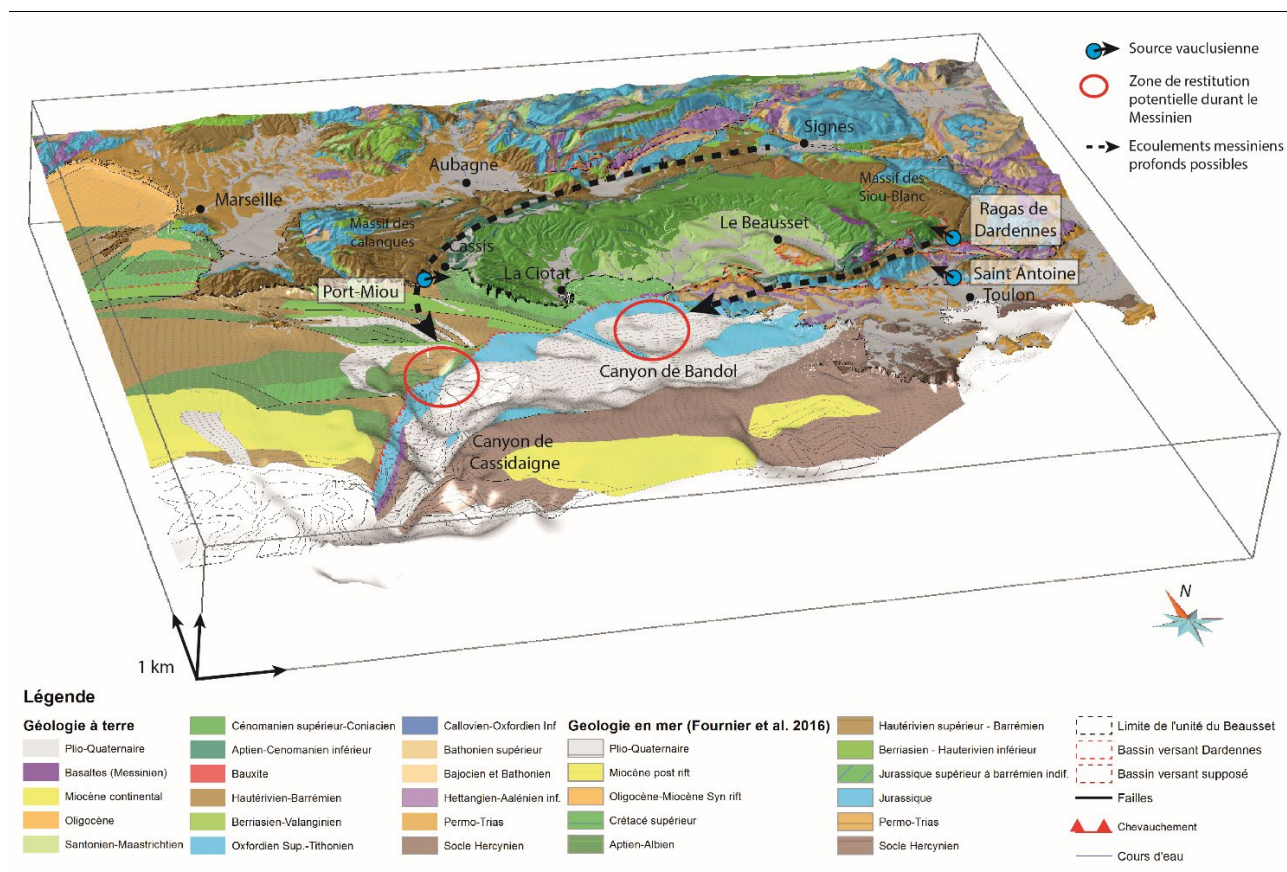
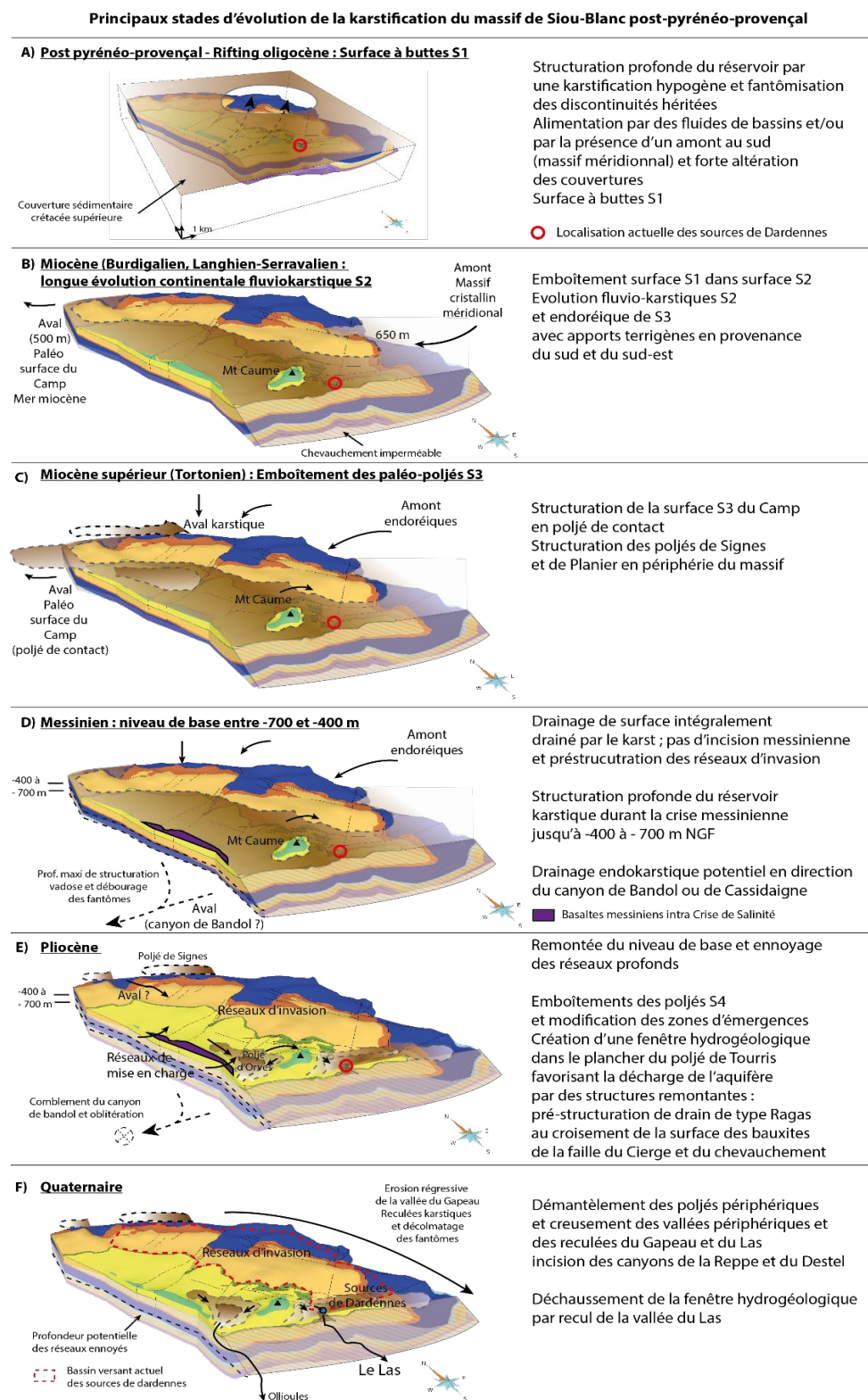


Figure 130 : Schéma conceptuel de la structuration et de l'évolution des réseaux de drainage endokarstiques depuis la mise en place de la surface S1. Ce modèle conceptuel de la karstification est issu de l'analyse des éléments indicateurs de la structuration karstique.



3.2.4. Hydrogéologie

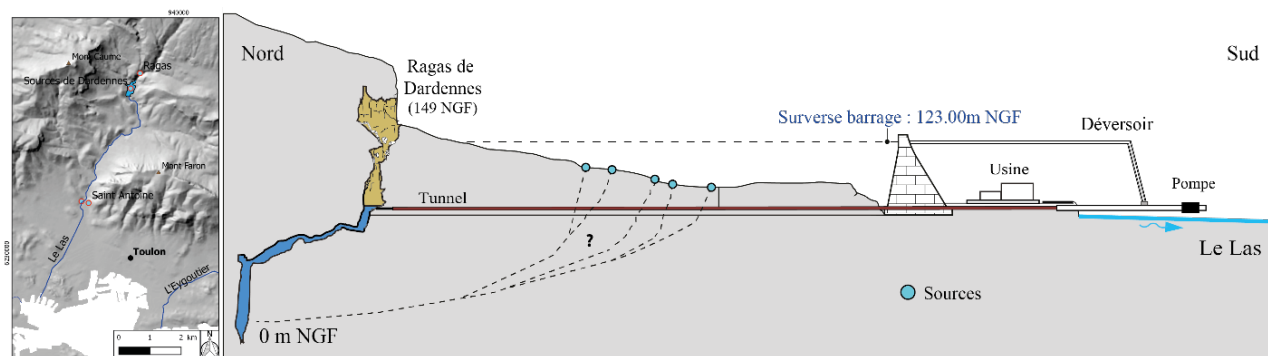
3.2.4.1. Exutoires

Les sources de Dardennes, dont le Ragas constitue l'exutoire de trop-plein (plongé à -150 m de profondeur), drainent la partie orientale de l'unité du Beausset. Ces sources de Dardennes sourdent au fond d'un barrage artificiel mis en service en 1912 afin d'obtenir une réserve pour l'alimentation en eau potable de la ville de Toulon (Figure 14). Ce complexe de sources draine un bassin versant (BV) estimé, à partir de la géologie et des modélisations Pluie-Débit, à environ 70 km². Ce BV s'étend sur le massif de Siou-Blanc-Morières directement au Nord des sources de Dardennes. Il est principalement composé des terrains dolomitiques du jurassique supérieur et des terrains calcaires à faciès urgonien de l'Hautérivien-Barrémien. La vallée du Gapeau forme la terminaison orientale de l'unité. Les sources de Dardennes donnent naissance à la vallée du Las qui s'écoule vers le sud en traversant la ville de Toulon.

Dans la vallée du Gapeau, seules quelques petites sources sont présentes et drainent une petite partie des contreforts du massif de Siou-Blanc Morières. Il s'agit notamment, du nord au sud, des sources de Montrieux-le vieux, Montrieux-le Jeune, Fond d'Ouvin, Mathieu, Rouvière, Font du Thon et Werotte. Toutes ces sources alimentent en rive droite le Gapeau. Les débits mesurés à l'étiage varient de quelques litres à quelques dizaines de litres par seconde (Fournillon, 2012). Ces sources apparaissent caractéristiques de drainages peu profonds. Leur température varie de quelques degrés autour des valeurs atmosphériques moyennes annuelles et leur conductivité électrique varie autour de 500 µS/cm.

Les sources du Gapeau quant à elles trouvent leur bassin d'alimentation dans le massif d'Agnis au nord de la dépression de Signes et sont détaillées dans l'unité du massif d'Agnis.

Figure 131 : Coupe schématique de la configuration des sources et du barrage de Dardennes. Modifié d'après les relevés de J.P. Lucot, T. Lamarque, P. Maurel et spéléo-plongeurs.



3.2.4.2. Traçages

Sept traçages ont été réalisés par Spéléo-H₂O sur le système karstique de Siou Blanc afin d'en préciser les limites hydrogéologiques (Lamarque et Maurel, 2004) :

- Le traçage à l'aven de la Boue, réalisé à la fluorescéine le 19/03/1994, dans les calcaires Barrémien n'a pas été détecté sur les points suivis. Plusieurs explications sont possibles : la Fluorescéine n'a pas été prévue en quantité suffisante ; la quantité d'eau déversé n'a pas suffi pour créer une circulation jusque dans les réseaux karstiques actifs et le traceur serait resté piégé dans l'épikarst ; cet aven n'a pas d'écoulement vers les sources surveillées ; et enfin, il faut remettre en cause la qualité de la surveillance et l'efficacité des capteurs utilisés.

- Le traçage de l'aven de la Solitude le 12/02/1995, réalisé à la fluorescéine. Le traceur a été détecté au barrage de Dardennes, via la Foux de Dardennes, pendant 27 jours à partir du 25/02/1995 et le 02/03/1995 à la source Saint-Antoine pendant 12 jours. Les résultats des traçages et tests hydrauliques réalisés en 2015 sur la source Saint Antoine (Lamarque et al., 2016) montrent qu'une part importante de l'eau du Las alimente la source Saint Antoine, ce qui pourrait expliquer le résultat positif du traçage du 12/02/1995 à Saint Antoine par transfert à partir du Las.
- Le traçage à l'abîme des Morts le 26/11/1995 à la fluorescéine. Le traceur a été détecté 14 jours après l'injection au barrage de Dardennes. Les traces sont très faibles (0,3 µg/L le 05/12/1995). Cette unique trace correspond à un pic de crue et une montée des eaux dans le conduit du Ragas.
- Le traçage de l'Aven du Polonais n°2 réalisé en 1995 et avait pour but de déterminer les bordures Est et Nord du système hydrologique de Siou Blanc (Lamarque et Maurel, 2004). Le traceur utilisé est de la Rhodamine B avec une quantité de 4,5 kg. Les résultats ne sont pas vraiment satisfaisants : le taux de restitution du traceur est de 7,2% au total, réparti entre la source Mathieu (0,38% de restitution), pendant seulement 4 jours, la résurgence de la Rouvière (5,81% de restitution) pendant 37 jours ainsi que les sources Font de Thon et Werotte (1,1% de restitution) pendant 24 jours. L'aven où a eu lieu l'injection est situé sur une mégadoline surimposée sur la faille du Cierge rejoignant les sources de Dardennes. Le traceur a sans doute été dispersé dans la zone non-saturée pour rejoindre par la suite deux systèmes karstiques différents alimentant d'une part la source Saint-Mathieu et la grotte de la Rouvière et d'une autre part les sources Font de Thon et Werotte.
- Le traçage à l'Aven de la Boue, dans le poljé de Tourris, réalisé au Lithium le 21/02/1997. Il a été détecté au bout de 11 jours à la source Saint Antoine, et présent sur une durée de 24 jours dans l'eau souterraine sortant. Le taux de restitution était de 25%. Les résultats des traçages et tests hydrauliques réalisés en 2015 sur la source Saint Antoine (Lamarque et al., 2016) montrent qu'une part importante de l'eau du Las alimente la source Saint Antoine, ce qui pourrait expliquer le résultat positif du traçage du 12/02/1995.
- Le traçage à l'aven du Quibéron dans le paléo-poljé des Morières dans le massif de Valbelle, réalisé le 25/01/1998 avec 15 kg de fluorescéine. Ce traçage a été détecté à au Trou du Garde.
- Le traçage à l'aven-perte de la Ravengude sur le plateau du Camp, réalisé le 13/02/2011 par l'injection de 45 kg de fluorescéine (soit 150 l de solution à 30%). Il avait pour objectif d'investiguer le devenir de l'eau d'infiltration dans les calcaires urgoniens sur la ligne de partage des eaux présumée entre le système de Dardennes à l'Est et le système de Port-Miou à l'Ouest. Le traceur n'a pas été détecté sur ces deux exutoires potentiels, malgré un suivi de plusieurs mois (analyses au laboratoire d'échantillons d'eau prélevés et fluorimètres in-situ). Seules des traces de fluorescéine ont été détectées sur l'eau du forage du circuit Paul Ricard sur trois échantillons le 27/06/11, 29/06/11 et 23/09/11. Ces résultats ne permettent pas de conclure sur le devenir de l'eau d'infiltration dans ce secteur, mais ils montrent tout de même que l'écoulement peut être lent et diffus malgré une surface karstifiée à l'affleurement. L'exploitation des calcaires dans la carrière de Croquefigue située immédiatement au nord a montré également une très forte quantité d'argile au sein des fractures et karsts sur plusieurs dizaines de mètres de profondeurs, confirmant l'infiltration localement retardée qui perturbe nécessairement la réalisation de traçages artificiels.

3.2.4.3. Aire d'alimentation et conditions de recharge

Les limites aquifères peuvent être estimées en fonction de plusieurs indices indirects montrant au sud le rôle d'écran à l'écoulement du chevauchement de Dardennes. Les principaux écoulements du massif sont concentrés en amont, au nord de ce chevauchement. Il n'existe pas de connexion souterraine directe avérée entre les sources de Dardennes et les sources de Saint-Antoine et Baume de Dardennes, plus au sud et 100 m plus bas en altitude, indiquant ainsi une forte perte de charge.

L'alimentation est de type unaire, assurée uniquement par les précipitations tombant sur le massif. Dans le cadre du projet Dardennes, plusieurs modalités d'infiltration ont été identifiées sur le massif (Camus et Jouvès, 2018 ; Jouvès, 2018) :

- Infiltration et circulation à double composante : ces secteurs constituent un impluvium caractérisé par des affleurements de dolomies fortement altérées en sables dolomitiques où les eaux s'infiltrent en fond de lapiaz et en fond de doline à travers ces formations sableuses selon une double composante : relativement lentement dans les couloirs d'altération en place ou remobilisée sur place et rapidement dans les conduits décolmatés. Une nappe de sub-surface peut être entretenue.

- Infiltration rapide et concentrée et circulation dans des réseaux structurés : ces secteurs correspondent à la surface du plateau urgonien de Siou-Blanc comprenant des zones de pertes concentrées et des réseaux sous-jacents fortement structurés : l'infiltration est concentrée en surface sur des imperméables et en sub-surface dans des lapiés couverts fonctionnels d'un point de vue hydraulique. La zone d'infiltration verticale est d'ordre hectométrique à plurihectométrique.

- Infiltration diffuse et faible concentration : ce sont les secteurs où l'essentiel des eaux de surface s'infiltrent directement sans avoir la possibilité de se concentrer. Cet ensemble concerne principalement la surface structurale de l'Urgonien de la retombée sud-ouest du plateau de Siou-Blanc où les lapiaz ont été arasés ou démembrés par la gélifraction. La zone d'infiltration verticale est d'ordre hectométrique à plurihectométrique.

3.2.4.4. Faciès chimique et caractéristiques hydrodynamiques

L'eau des sources de Dardennes a un faciès chimique de type bicarbonaté calcique, caractéristique d'un aquifère carbonaté. Le faciès chimique reste constant tout au long de l'année et sur toutes les années étudiées (2012-2017). La conductivité électrique oscille entre 381 et 580 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec 86% de ses valeurs entre 460 et 520 $\mu\text{S}/\text{cm}$, montrant ainsi que la conductivité électrique n'est pas influencée par du sel (marin ou issu des terrains triasiques) (Baudement, 2018). Lors des périodes de hautes-eaux (en dehors des crues), la conductivité électrique augmente, montrant que les eaux fortement minéralisées stockées préalablement dans la matrice de la roche encaissante sont sollicitées par l'augmentation de la charge hydraulique, et participent ainsi à l'écoulement total. La température de l'eau varie entre 13,2 à 14,7°C. Ces températures restent faibles, c'est-à-dire non significativement influencées par d'éventuels fluides hydrothermaux. Elles augmentent lors des périodes d'étiage et chute fortement en périodes de crues hivernales.

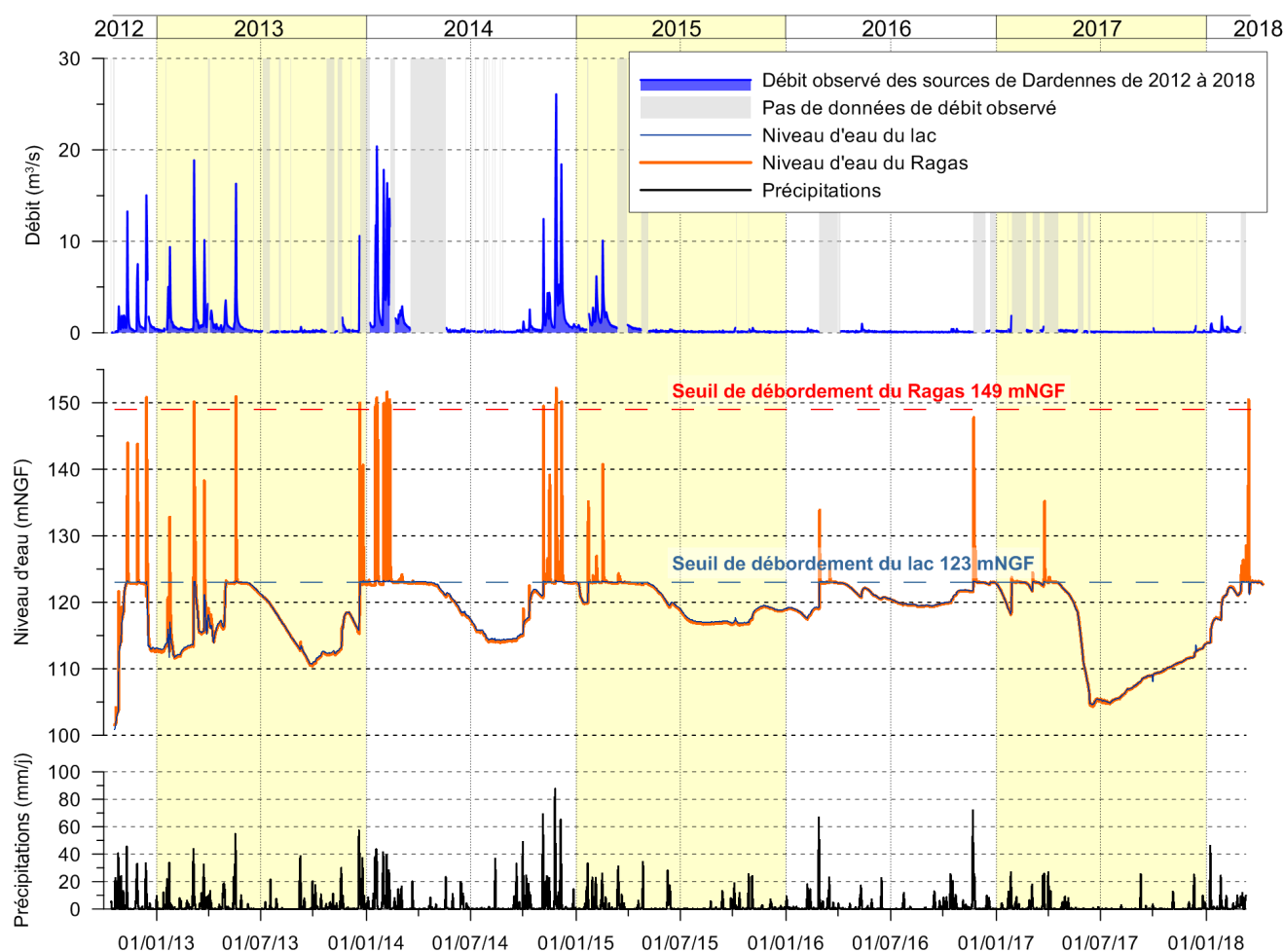
Les sources de Dardennes sont caractérisées par un débit d'étiage pérenne même durant les années les plus sèches, de l'ordre de 70 à 100 l/s, et une réponse typique d'un karst avec de forts événements de crue dépassant 15 m³/s sur quelques jours (Baudement, 2018).

L'analyse de la relation entre la hauteur d'eau maximale dans le Ragas (représentatif du débit maximal des sources) et le cumul de précipitations des événements générant les crues a montré que les événements pluvieux provoquent des crues d'autant plus fortes en fonction de différents paramètres (Baudement, 2018):

- (a) les événements pluvieux inférieurs à environ 38 mm ne font jamais déborder le Ragas ;
- (b) plus le niveau du lac est haut avant la crue, plus la crue est forte ;
- (c) à l'étiage, le stockage des premières pluies dans l'aquifère est plus important qu'en période de hautes-eaux.

Ainsi, la hauteur de pluie nécessaire pour générer une crue aux sources de Dardennes dépend de l'état hydrologique de l'hydrosystème (étiage prononcé, basses-eaux ou hautes-eaux). Durant les périodes de basses-eaux, une part des écoulements rapides observés en crue est stockée dans l'aquifère rechargeant ainsi les réserves.

Figure 132 : Chronique de pluie, niveau d'eau et débit pour l'étude du karst de Dardennes entre octobre 2012 et mars 2018. Les précipitations journalières sont la moyenne des stations de Toulon La Mitre, Le Castellet aérodrome et La Limate. Le niveau d'eau dans le lac de Dardennes est mesuré une fois par jour par Véoia. Le niveau d'eau du Ragas est enregistré automatiquement toutes les 15 minutes. Les niveaux sont exprimés en altitude. Le débit observé est le débit total des sources de Dardennes au pas de temps journalier, incluant le débit vers le Las à l'aval du barrage, le débit capté pour l'AEP, l'évaporation sur le lac et le stockage/déstockage du lac. Jouvès et al. (2018).



La répartition des valeurs en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des sources de Dardennes ont également montré un mélange d'eau provenant de différentes altitudes, avec une alimentation via des zones de recharge relativement élevées (le plateau de Siou Blanc va jusqu'à 800 mètres d'altitude) et des zones de recharge inférieures à 200 m. La comparaison entre les valeurs mesurées aux sources de Dardennes et celles de la pluie a mis en évidence un phénomène d'homogénéisation du signal isotopique des masses d'eau nouvellement rechargées avec celles précédemment stockées.

3.2.4.5. Modélisation Pluie-Débit

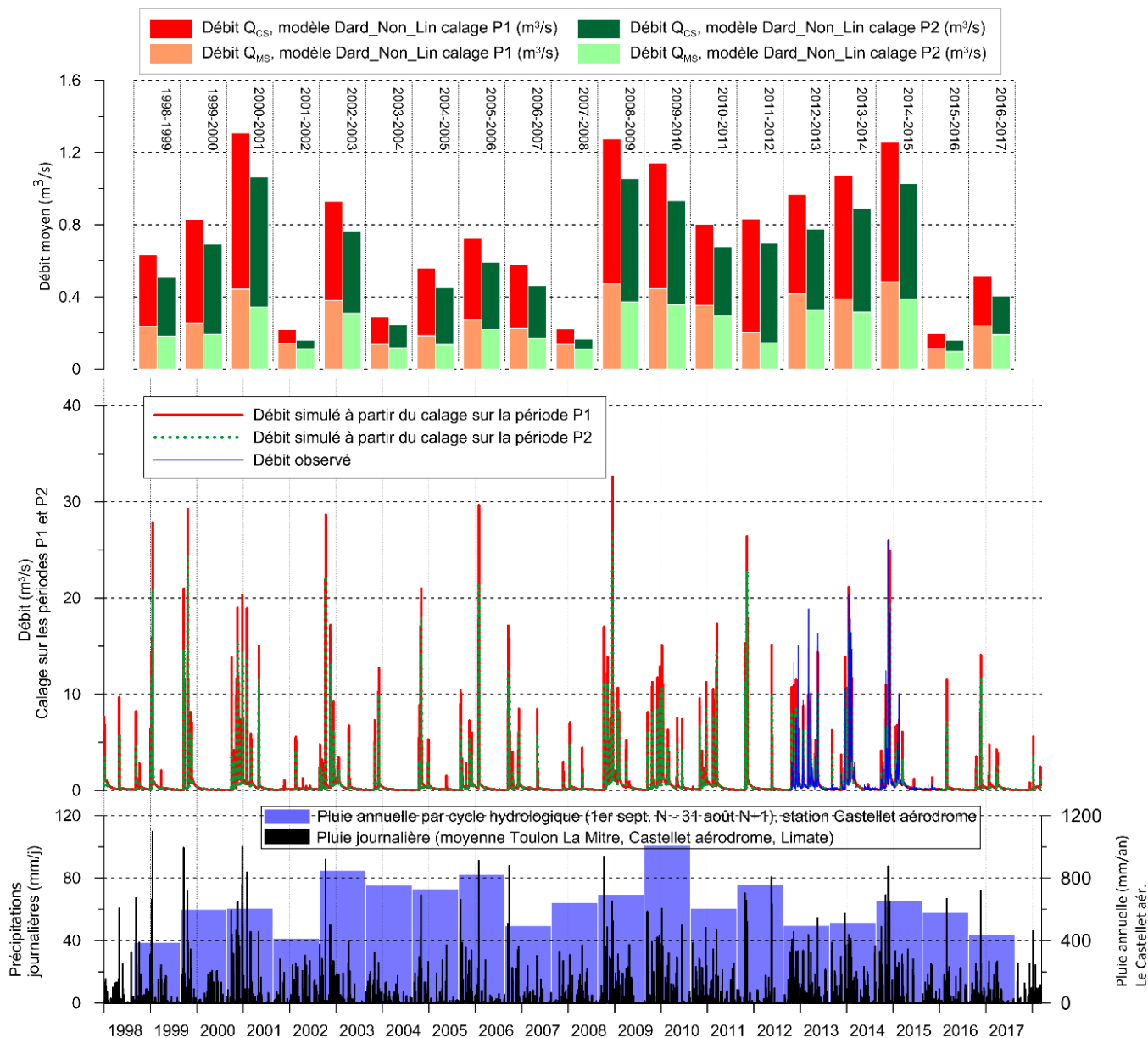
Deux modèles Pluie-Débit ont été proposés pour des applications différentes (Baudement, 2018 ; Garin et Arfib, 2018) :

- un modèle pour simuler le débit total des sources et étudier le fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère
- un modèle pour simuler les niveaux d'eaux aux sources de Dardennes et étudier l'effet d'un pompage

Le premier modèle a permis de simuler l'hydrodynamique des sources de Dardennes et de décomposer à chaque pas de temps (chaque jour) l'évolution du débit de base (écoulement lent) et du débit de crue (écoulement rapide). Deux périodes de calage ont été proposées (P1 et P2), donnant des résultats comparables. Les modèles permettent de calculer un débit moyen annuel variable (sur la période d'étude entre 2013 et 2017), entre un minimum à 0,16 m³/s sur le cycle 2015-2016 et un maximum à 1,24 m³/s sur le cycle 2014-2015. Le débit de base moyen par année (QMS) varie entre 0,10 et 0,48 m³/s, alors que l'écoulement rapide (QCS) varie entre un minimum annuel à 0,06 m³/s et un maximum annuel à 0,76 m³/s. Les modèles ont également permis de montrer qu'en moyenne sur la période étudiée de 2013 à 2017, environ 45 % du débit total des sources de Dardennes provient de l'écoulement lent (QMS) et 55 % provient de l'écoulement rapide (QCS). En crue plus de 90 % du débit total provient des écoulements rapides. Le modèle calé sur la période d'étude a ensuite été appliqué sur une période de 20 ans, entre 1998 et 2018 (Figure 16). Il permet ainsi de calculer un débit total moyen interannuel des sources de Dardennes compris entre 0,60 et 0,73 m³/s (incertitude liée aux deux calages P1 et P2 initialement proposés), avec un débit de base moyen interannuel compris entre 0,22 et 0,29 m³/s.

Le second modèle a permis de simuler les niveaux d'eaux aux sources de Dardennes et d'étudier l'effet d'un pompage à débit constant de 300 l/s de la ressource présente sous le niveau de résurgence actuel. Les modèles montrent que le niveau d'eau diminue durant chaque étiage sous l'effet des pompages à fort débit, puis revient à son niveau initial (lac plein à 123 mètres d'altitude) lors des pluies hivernales (le débit des sources est alors plus fort que le débit de pompage) par stockage des écoulements lents et rapides. Le niveau simulé descend d'un rabattement de quelques dizaines de mètres sous l'altitude des sources, jusqu'à une altitude proche de 0 mètre dans les années les plus sèches. Néanmoins les résultats doivent être considérés avec prudence en raison de problèmes de calage et de la non représentativité de certaines périodes simulées. Ces modélisations traduisent également la capacité de recharge de l'aquifère lorsque celui-ci a été préalablement déprimé. Elles montrent de plus qu'une exploitation avec un débit constant de 300 l/s permet de surexploiter ponctuellement la ressource sans mettre en péril les réserves de l'aquifère. Ce débit fixé à 300 l/s est équivalent au débit de base interannuel calculé sur la période 1998-2018, qui assure un prélèvement durable de la ressource dans l'état actuel de fonctionnement. L'étude a montré qu'un débit de pompage plus important est envisageable, car l'aquifère déprimé est capable de stocker une forte part des écoulements rapides, ce qui augmentera donc sa recharge. C'est une caractéristique commune aux aquifères drainés par une source vauclusienne, qui est ici augmentée par la rétention des écoulements rapides qui ne sont donc plus perdus sous forme de crue karstique éclair dans le cours d'eau en aval.

Figure 133 : Graphique du bas : pluie journalière représentative du bassin d'alimentation des sources de Dardennes. Graphique du milieu : simulation du débit moyen journalier des sources de Dardennes avec le modèle Dard_Non_Lin. Graphique du haut : déconvolution entre l'écoulement lent [simulé par le débit du réservoir M à la source (QMS)] et l'écoulement rapide [simulé par le débit du réservoir C à la source (QCS)] par cycle hydrologique (valeur moyenne annuelle des débits journaliers simulés). Le modèle est calé sur deux périodes (P1 : 22/12/2012 au 30/08/2014, et P2 : 22/12/2012 au 30/08/2014) qui donnent des résultats satisfaisants dans les deux cas. Année hydrologique du 1er septembre N au 31 août N+1).

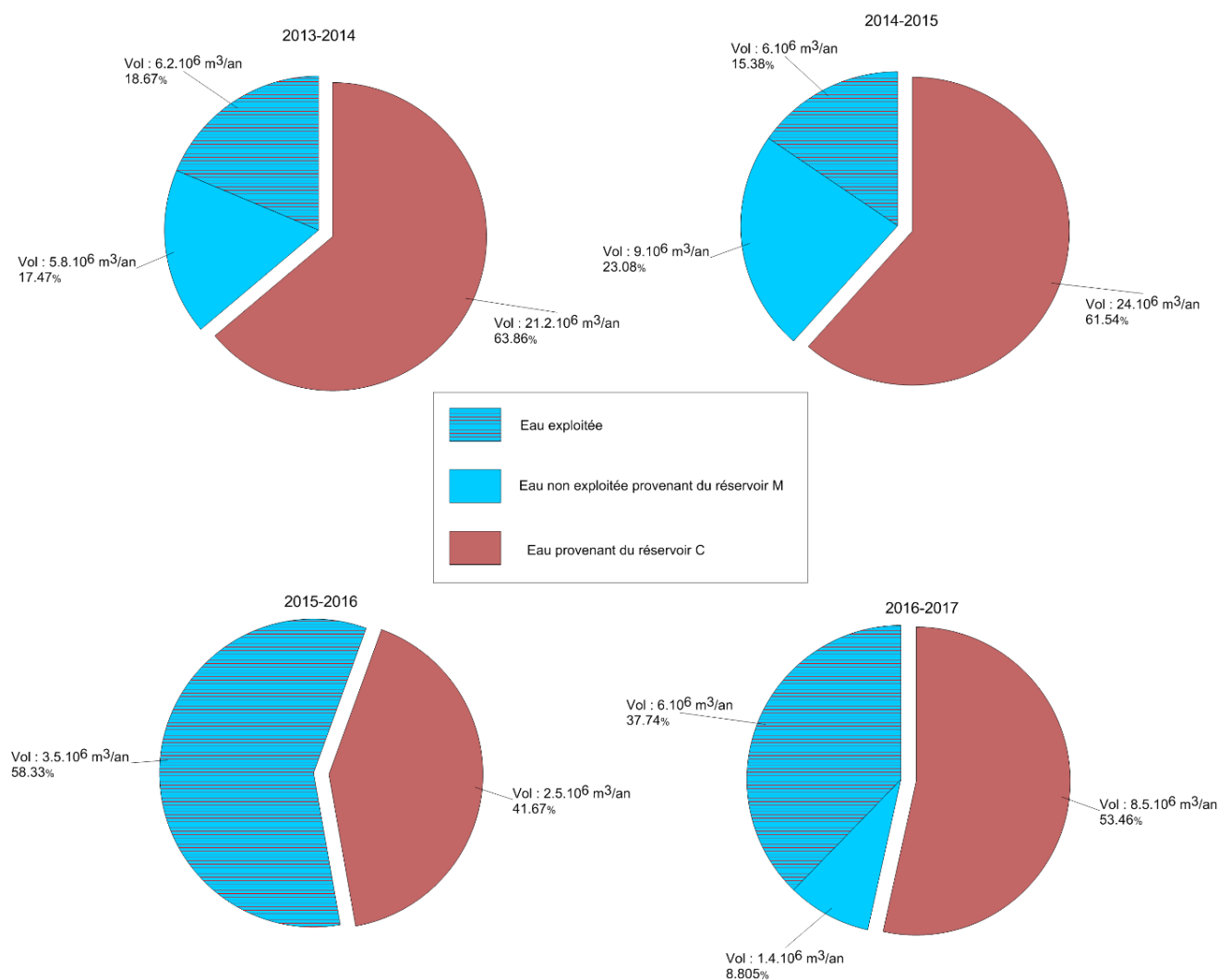


3.2.5. Réserves potentielles

Le réservoir karstique de Dardennes constitue une véritable réserve en eau souterraine, stratégiquement située au Nord de Toulon. Actuellement les volumes exploités gravitairement, via le barrage et l'usine de Dardennes, sont variables de manière annuelle et interannuelle et leur disponibilité n'est pas assurée, même avec une gestion optimale du volume contenu dans la retenue. Ils sont de l'ordre de 6 millions de m³ par an, ce qui représente entre 40 et 100% de la ressource provenant du débit de base sortant naturellement des sources entre 2013 et 2017, et environ deux tiers du débit de base moyen interannuel (Baudement, 2018 ; Jouves et al., 2018).

Selon les modélisations Pluie-Débit, une augmentation du débit d'exploitation à environ 300 l/s (environ 9 millions de m³ par an) serait envisageable sans mettre en péril les réserves. Des études complémentaires de type essai de pompage permettrait également de déterminer s'il est possible de prélever un débit supérieur. Cette augmentation de la production passerait nécessairement par pompage de la ressource en-dessous du niveau de résurgence actuel des sources. Ce type d'exploitation permettrait de passer à une gestion active de la ressource, avec alimentation du Las en aval de Dardennes et création d'une capacité accrue de stockage des pluies pour limiter les crues liées aux événements extrêmes de type méditerranéen en fin de période d'étiage. Cette ressource en eau est localisée dans les calcaires et dolomies fracturés et karstifiés. Les niveaux aquifères sont par ordre décroissant de productivité supposée : (1) le Jurassique supérieur dolomitique, poreux, fracturé et karstifié potentiellement en profondeur par des processus de fantômisiation, et (2) le Crétacé inférieur calcaire, très peu poreux mais intensément fracturé et karstifié, la ressource y est difficile d'accès du fait de la concentration des écoulements dans quelques grands vides karstiques.

Figure 134 : Répartition des volumes d'eau exploités et non exploités provenant de l'aquifère karstique. Les volumes sont calculés avec le modèle Pluie-Débit Dard_Non_Lin_P1. Le réservoir M correspond à l'écoulement de base alimentant les sources de Dardennes. Le réservoir C correspond à l'écoulement rapide alimentant les sources de Dardennes en crue. Jouvès et al. (2018).



3.3. Unité d'Ollioules

3.3.1. Présentation et délimitation de l'unité

L'unité d'Ollioules est située entre le cœur de l'unité du Beausset et l'unité de Siou-Blanc-Dardennes. Dans sa partie sud l'unité est limitée par les chevauchements nord-toulonnais qui se prolongent vers l'ouest au sud du massif du Croupatier et du Gros Cerveau. L'unité est séparée sur sa bordure est et nord-est de l'unité de Siou-Blanc-Dardennes par la présence de la surface des bauxites et les dépôts du cénomanien marno-calcaires (toit du réservoir urgonien). La limite passe progressivement vers l'ouest à la base les dépôts marno-calcaires de l'aptien-albien déposés dans l'ancien bassin sud-provençal et non érodés lors de la phase du bombement durancien. La limite nord-est correspond à un point triple, zone supposée de partage des eaux entre l'unité de Dardennes drainée vers les sources du même nom, celle de Sud-Sainte-Baume-Calanque drainée majoritairement vers les sources de la Baie de Cassis (Port-Miou et Bestouan), et l'unité d'Ollioules drainée par les sources des gorges d'Ollioules. La limite ouest correspond, dans sa partie nord, à la transition entre les calcaires à rudistes du Turonien et les calcarénites du Coniacien. Dans sa partie centrale, la limite ouest inclue les calcarénites du coniacien-santonien renfermant des résédimentation carbonatées (Hennuy, 2003 ; Floquet et al., 2005) et montrant des indices de développement de réseaux karstiques (paléo-perle de la Capucine, les ajoncs, etc...).

La superficie totale des terrains pris en compte pour l'impluvium est de 78.8 km² dont 49 km² sont compris dans le PNR.

3.3.2. Géologie et formation(s) aquifère(s)

Géologiquement, l'unité se décompose en deux domaines stratigraphiques et structuraux distincts.

La partie Nord s'étend des calcaires à rudistes du turonien aux formations calcarénitiques du coniacien-santonien. Cette série forme une grande structure monoclinale avec de faibles pendages vers le sud-ouest (Figure 17).

Figure 135 : Coupe géologique équilibrée nord-sud passant par les gorges d'Ollioules. Modifié d'après Baudement (2018).

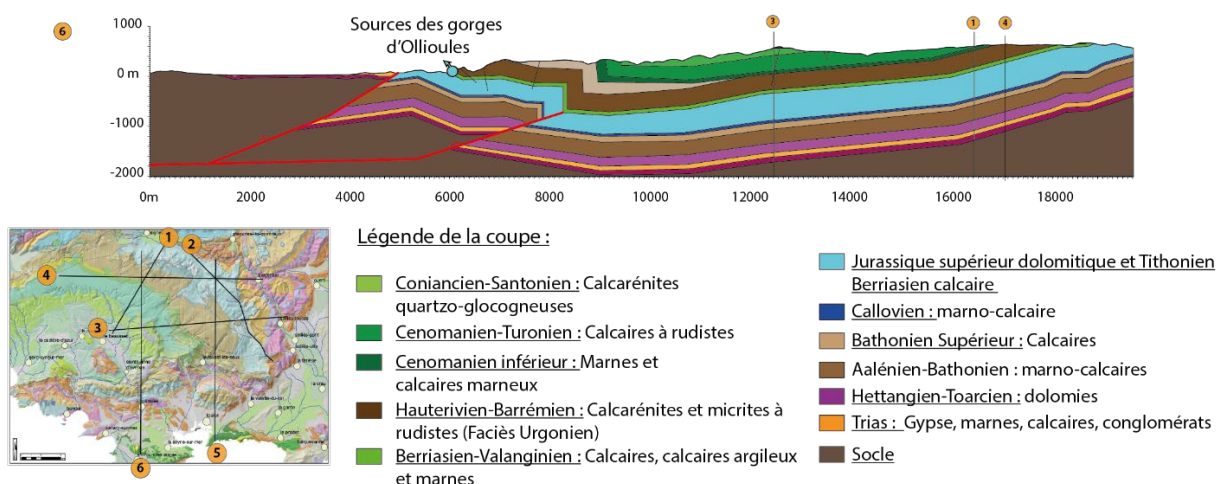
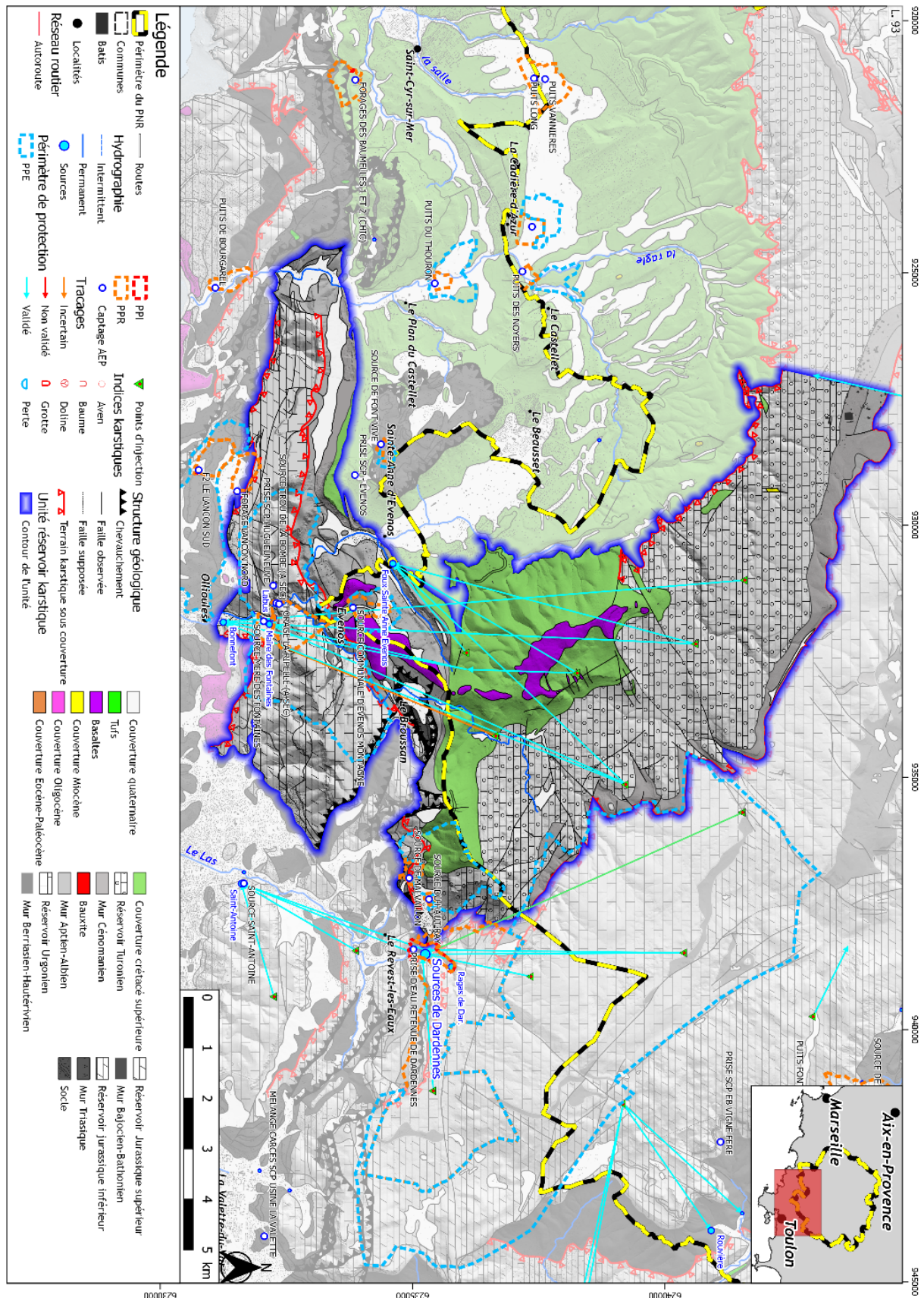


Figure 136 : Localisation de l'unité karstique des gorges d'Ollioules.



La partie sud est affectée par les chevauchements. Un chevauchement aveugle serait présent en subsurface responsable d'un pli d'entraînement et du redressement des couches (Baudement, 2018). Ce chevauchement aveugle correspondrait au chevauchement basal au niveau des sources de Dardennes, passant vers l'ouest au niveau de la dépression du Broussan, et serait à l'origine de la remontée du Trias dans ce secteur.

Dans les gorges d'Ollioules, les couches se retrouvant à l'affleurement sont du sud au nord : le jurassique supérieur dolomitique, le berriasien-valanginien marno-calcaire, les calcaires de l'hauterivien-barrémien (faciès urgonien) et les marnes de l'aptien et les grès de Saint-Anne-d'Evenos cénomanien inférieur.

Une coulée de basalte apparaît dans le paysage et scelle les vallées du Destel et de la Reppe. Ce volcanisme effusif s'est répandu dans une paléo-vallée, depuis le Roc de l'Aygue au nord jusqu'à la mer à la pointe Nègre (Coulon, 1967). Les datations $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sur des fragments de matrice de roches effectuées par C. Verati (Université de Nice) ont donné les âges de $5,42 \pm 0,13$ Ma (coulée à Evenos) et de $5,48 \pm 0,09$ Ma (coulée à la Pointe Nègre). Aujourd'hui, ces épanchements basaltiques de l'Aygue sont en inversion de relief par rapport aux canyons de la Reppe et du Destel.

3.3.3. Karstification

Deux indices présents sur cette unité permettent d'établir un schéma de karstification de cette unité :

- La surface du Camp présente au nord, surface aplanie se développant entre 400 et 450 m d'altitude.
- La coulée basaltique d'Evenos, datée à $5,42 \pm 0,13$ Ma (coulée à Evenos) et de $5,48 \pm 0,09$ Ma (coulée à la Pointe Nègre)

D'une part, la surface du Camp se développe aujourd'hui environ 100 m en contre-bas des basaltes d'Evenos déposés dans une paléo-vallée N-S. Cela suggère que les coulées de basaltes scellent aujourd'hui une topographie qui était autrefois évoluée et constituée de reliefs et de vallées. La surface du Camp correspondrait alors à un poljé de contact entre le cœur imperméable non érodé du synclinal du Beausset au sud et le massif de la Sainte-Baume au nord dont la surface du Camp y est reliée par une surface inclinée pouvant correspondre à un pédiment. D'autre part, les datations absolues des coulées de basaltes suggèrent un âge plus récent que 5.4 Ma pour l'incision des canyons de la Reppe et du Destel. Une phase de creusement par érosion régressive post-messinienne semble donc être à l'origine de l'incision de la surface d'érosion messinienne qui semble ici scellée sous les coulées basaltiques. L'essentiel de l'impact de la crise messinienne semblent alors s'établir dans l'endokarst (Figure 12 et Figure 13). En effet, il est probable que la chute drastique du niveau durant le Messinien provoque la structuration profonde des aquifères, comme cela est observé sur le pourtour méditerranéen (Camus, 2003 ; Audra et al., 2004 ; Mocochain et al., 2006) et comme cela est attesté ici par la présence d'émergence vauclusiennes telles que le Ragas, Saint-Antoine, et plus à l'ouest Port-Miou (Blavoux et al., 2004 ; Cavallera, 2007 ; Tassy, 2012). Cette phase d'abaissement du niveau de base a donc conduit au creusement de paléo-drains organisés en réseaux gravitaires. La recharge s'effectuait certainement sur le plateau de Siou-Blanc-Morières ainsi que sur toute l'unité du Beausset et la Sainte-Baume, pour ressortir soit à Port-Miou, soit dans le canyon de Bandol. En effet, lors de l'abaissement du niveau de la Méditerranée au Messinien, le point le plus bas où affleurerait le réservoir carbonaté correspond aux canyons de Cassidaigne et de Bandol (Figure 12). Le gradient hydraulique le plus fort, c'est-à-dire le trajet le plus court, entre les zones de recharge du plateau de Siou-Blanc et les plus bas affleurements du réservoir recoupés par la surface d'érosion messinienne, suggère des circulations le long du chevauchement nord-toulonnais. Se pose alors la question de la profondeur de karstification au sein du massif durant cet événement messinien. Tassy et al. (2014) ont mis en évidence que le paléo-canyon de Bandol incisait les formations du Jurassique supérieur jusqu'à une profondeur d'environ -700 m NGF. Cela signifierait que les drains gravitaires les plus profonds

auraient potentiellement pu se structurer jusqu'à cette profondeur de -700 m NGF, y compris dans le réservoir de Siou-Blanc. Cependant cette profondeur de karstification gravitaire au sein de l'unité du Beausset et de l'aquifère de Siou-Blanc peut également être influencée par des basculements tectoniques (Tassy, 2012). En effet, Tassy (2012) met en évidence un basculement de la marge Provençale durant le Pliocène avec une surrection de 100 à 300 m au niveau du massif de Siou-Blanc. Selon ce basculement, la profondeur maximale d'établissement des drains gravitaires dans le réservoir de Siou-Blanc serait alors d'environ -600 à -400 m NGF. Si karstification par fantômisement il y a eu en profondeur au sein des dolomies du Jurassique supérieur, les structures fantômisées ont potentiellement été débourrées durant cette phase. La corrélation entre les données dynamiques et les modélisations pluie-débit (Baudement et al., 2017) est en faveur d'une karstification profonde hiérarchisée responsable du caractère extrêmement dynamique de l'aquifère (Baudement, 2017). En effet, compte tenu du fait que le Ragas de Dardennes atteint une profondeur de -150 m (0 m NGF) cela nécessite la présence de drains fortement transmissifs et fortement connectés en profondeur, et ce sur tout le massif. Le maintien en tant que discontinuités ouvertes et interconnectées est assuré par la remontée du niveau de base au Pliocène qui provoque l'oblitération de la zone de restitution des eaux dans les canyons messiniens submergés (comme le canyon de Bandol) (Tassy et al., 2014). L'oblitération des anciennes sorties force les systèmes karstiques à se réorganiser pour ressortir à de nouvelles localisations. En effet, étant donné que toutes les vallées et canyons ne comportent pas d'incision messinienne, cela rejette au post-messinien l'organisation des réseaux karstiques actuels des gorges d'Ollioules et des sources de Dardennes.

3.3.4. Hydrogéologie

3.3.4.1. Exutoires

Les sources des gorges d'Ollioules sont situées dans un secteur structuralement complexe. Les sources principales sont : Bonnefont, Labus, la Reppe souterraine et Maire des Fontaines. Ces sources, géographiquement proches, sont caractérisées par des propriétés physico-chimiques variées.

L'étude hydrochimique (Fournillon, 2012) a montré l'existence de trois grands types d'eau dans ce secteur :

- des eaux essentiellement issues des calcaires (Reppe souterraine et Maire des Fontaines) ;
- des eaux issues des dolomies (Bonnefont) ;
- et des eaux hydrothermales (16-24°C) influencées par des évaporites (halite- NaCl) (Labus).

Le drainage s'organise essentiellement nord-sud. Le Crétacé inférieur alimente les sources des gorges d'Ollioules, tandis que le Jurassique supérieur alimente la source de Bonnefont. Cette dernière montre à l'étiage une influence d'eaux plus chaudes et salées, ce qui pourrait indiquer l'existence d'un réservoir profond l'alimentant durant cette période. La chimie des eaux d'étiage de cette source est cohérente avec une influence plus forte d'évaporites triasiques (Fournillon, 2012).

La source de Labus est alimentée en partie par des eaux chaudes issues du Trias. Celles-ci se mélangent avec des eaux locales dont l'importance est proportionnelle au débit. En effet, plus le débit de la source est important plus la température et la conductivité électrique sont faibles. Il est à noter que le système karstique profond alimentant le Labus lui est propre car les sources voisines, de Maire des Fontaines et de la Reppe souterraine distantes de quelques centaines de mètres, ne montrent aucune influence de ces eaux hydrothermales.

Les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ de la Reppe souterraine montrent une l'influence d'eaux provenant probablement du Canal de Provence utilisé pour l'irrigation et/ou l'AEP dans le bassin d'alimentation (certainement au Broussan).

Plus en amont, la foux de Saint-Anne d'Evenos constitue le plus haut déversoir de trop plein connu au sein de l'unité du Beausset. Il s'agit d'une cavité qui se terminant sur un siphon et se développant dans les calcaires cénomaniens et les calcarénites coniaciennes. Cette source se met en charge très rapidement après de gros épisodes pluvieux ($>100\text{mm}/24\text{h}$), atteint de forts débits ($>100\text{ L/s}$) et surverse durant plusieurs mois durant la période de hautes eaux. Cette source à une alimentation mixte (Arfib et al., 2011):

- une alimentation directe comme l'a montré le traçage de la « Perte et Fracas » (Arfib et al., 2011)
- une alimentation par la nappe générale du cœur de l'unité du Beausset.

3.3.4.2. Traçages

Cinq traçages ont été réalisés sur cette unité :

- Le traçage de l'abîme de Maramoye réalisé le 20/02/1997 à la Rhodamine B. Le traceur a été détecté aux différentes sources de la Reppe (Bonfont, Labus, Maire les Fontaine, la Bombe) ainsi qu'à la Foux de Sainte-Anne en faible quantité. Les premières traces sont détectées le 06/05/1997 à Bonfont, soit 75 jours après l'injection. A la Foux de Sainte-Anne, le traceur a été détecté le 22/12/1997, soit environ 9 mois après. Cette source est un exutoire temporaire, le traceur est possiblement resté bloqué longtemps avant de ressortir. Le taux de restitution est très faible, de 0,4% sur l'ensemble des sources.

- Le traçage à l'aven Robert-Gauthier réalisé le 17/03/1997 à la fluorescéine. Il a été détecté aux sources de la Reppe comme précédemment. Le point de suivi La Bombe a été le premier point à détecter le traceur au bout de 67 jours. Le taux de restitution sur l'ensemble des sources est de 0,57%.

- Le traçage de l'aven des Ajoncs le 01/08/1998 réalisé avec de l'acide Amino G. Il a été détecté aux sources de la Reppe ainsi qu'à la source de la Foux de Sainte-Anne en faible quantité au bout de 89 jours pour toutes ces sources. Le taux de restitution est plus important que le traçage précédent, il est de 24,75 %. L'injection dans les avens de Maramoye, de Robert-Gauthier et de l'aven des Ajoncs de trois traceurs différents met en relation 5 exutoires présents dans les gorges d'Ollioules (Bonfont, Labus, Maire les Fontaines et la Bombe) ainsi que la Foux à Sainte-Anne d'Evenos. Les temps de première apparition des traceurs et les faibles concentrations détectées ne permettent de donner qu'une fiabilité moyenne à ces résultats.

- Le traçage dans l'aven-perde temporaire « Perte et Fracas » situé 2,5 km en amont de la Foux de Sainte Anne d'Evenos réalisé le 13/01/2010. Ce traçage montre un écoulement extrêmement rapide à travers les calcarénites quarzeuses du Crétacé supérieur (arrivée du traceur en environ 12h) (Arfib et al., 2011)

- Un traçage à la fluoréscéine aurait été effectué par le BRGM en 1966 entre l'aven du Cerisier et la source de Bonfont. Cependant peu d'informations sont disponibles sur celui-ci et sa fiabilité est remise en doute.

3.3.4.3. Aire d'alimentation et conditions de recharge

Le bassin d'alimentation des sources des gorges d'Ollioules et de la foux de Saint-Anne d'Evenos, plus haut déversoir de trop plein connu au sein de l'unité du Beausset, s'étend sur environ 78 km² dont environ 49 km² sont compris sur l'emprise du PNR.

La zone d'alimentation principale des sources des gorges d'Ollioules et de la foux de Saint-Anne d'Evenos, plus haut déversoir de trop plein connu au sein de l'unité du Beausset, se retrouve dans la partie nord de l'unité (partie dans le périmètre du PNR), sur une bande allant du Mont-Caume à la partie orientale de la surface du Camp en passant par le domaine d'Orves et le poljé de Planier. Dans cette zone, l'absence ou la faible épaisseur des terrains de Crétacé moyen peu perméable et la position du niveau statique rendrait possible une recharge du Crétacé inférieur, ce qui serait en accord avec les données isotopiques (Fournillon, 2012). Dans cette zone, la recharge est de type unaire ou deux modalités d'infiltration peuvent être distinguées :

- une partie des eaux s'infiltrer directement de manière diffuse sans concentration préalable sur des surfaces lapiazées pour rejoindre les circulations karstiques,
- une partie des eaux s'infiltrer de manières concentrées après ruissellement et concentration sur des terrains peu karstifiable et peu perméable. Cet ensemble correspond au système de poljés étagé de Planier et d'Orves drainé par des pertes ou paléo-pertes (aven du Cerisier) . Aujourd'hui, ces poljés sont éventrés par le canyon du Destel, et une partie des eaux de ruissellement s'écoule en surface dans le canyon sans rejoindre les circulations souterraines.

3.3.4.4. Hydrodynamique

Les sources des gorges d'Ollioules ont des débits mesurés à l'étiage variant de quelques litres à quelques dizaines de litres par seconde. Les sources de Bonnefont, Maire les fontaines et de la Reppe souterraine sont caractéristiques de drainages peu profonds. Leur température varie de quelques degrés autour des valeurs atmosphériques moyennes annuelles et leur conductivité électrique varie autour de 500 µS/cm (Fournillon, 2012).

La source du Labus se distingue des autres sources des gorges d'Ollioules de par l'origine profonde et hydrothermale. Cette source est caractérisée par des valeurs élevées de température (de 16 à 25°C) et de conductivité électrique (généralement > 1000 µS/cm). Son origine est mixte, influencée par l'arrivée d'eau peu profonde durant les hautes eaux.

3.3.5. Réserves potentielles

D'un point de vue des réserves potentielles, les gorges d'Ollioules constituent une zone de restitution majeure des eaux de par la concentration des sources qu'elles renferment (Labus, Bonnefont, Maire les fontaines), mais mineure de par le débit de ces sources variant de quelques litres à quelques dizaines de litres par seconde en étiage. En effet, les bilans ont montré que cette zone ne représente certes pas un exutoire important pour l'Unité du Beausset. Mais qu'il s'agit d'une zone de transit vers le Sud et/ou l'ouest, hors de l'Unité (Fournillon, 2012).

Dans l'unité, seule la source de la Maire (ou Mère) des Fontaines est captée. Les trois autres sources, la Reppe souterraine, Labus et Bonnefont, sont canalisées puis distribuées à travers la ville d'Ollioules par gravité principalement pour l'arrosage. Seule la source de Labus présente des débits suffisamment importants pour faire l'objet d'une mise en valeur (débit d'étiage de 20 L/s), ceux de la Reppe souterraine sont faibles tout au long de l'année et ceux de Bonnefont sont négligeables durant les mois d'étiage, bien qu'ils puissent atteindre plusieurs centaines de litre par seconde en crue (Fournillon, 2012). Cependant, cette eau est dans son état brut impropre à la consommation du fait de sa qualité chimique (teneur en

Na⁺ et Cl⁻) (Fournillon, 2012). L'origine hydrothermale de la source du Labus suppose cependant des circulations et un réservoir profond (de 16 à 25°C et de conductivité électrique généralement > 1000 µS/cm) en relation avec des arrivées d'eau peu profonde durant les hautes eaux. La position altimétrique de ces zones de restitution est significativement plus basse que celle de Dardennes, ce qui suggère qu'elles drainent deux réservoirs séparés.

La zone des gorges d'Ollioules pourrait renfermer plus en profondeur des structures productives du fait de la probable zone d'influence de décolmatage durant la structuration profonde du karst au messinien. Il apparaît qu'une ressource potentielle pourrait exister plus en profondeur dans les gorges d'Ollioules mais celle-ci nécessiterait de plus amples études et serait potentiellement difficile à exploiter. La structure géologique est peu contrainte et le recoupement de drains transmissifs incertain. De plus étant donné le faible débit de ces sources, il semblerait que leur exploitation par forages à proximité des exutoires n'offre qu'une augmentation limitée du débit.

3.4. Unité du Sud Sainte-Baume-Calanques

3.4.1. Présentation et délimitation de l'unité

L'unité Sud Sainte-Baume-Calanques correspond à une association des unités du Beausset Interne et du Beausset Externe définies dans Cavalera (2007). Les limites ont en effet été revues pour cette unité de manière à prendre en compte les connaissances nouvelles hydrogéologiques (notamment le traçage de la perte de Mauregard traversant les marnes supposées imperméables de l'Aptien ; Arfib et Lamarque (2012b)) et karstologiques (structuration des axes de drainages karstiques ; Camus et Jouvès (2018) ; Jouvès (2018)).

Cette unité correspond à la partie occidentale de l'unité du Beausset. Elle est limitée au sud par le massif des Calanques et à l'ouest et par le passage sous couverture des calcaires à rudistes du Turonien. La limite est correspond à la zone supposée de partage entre l'unité de Dardennes (drainée vers les sources de Dardennes) et cette unité drainée majoritairement vers les sources de la Baie de Cassis (Port-Miou et Bestouan). Au nord-est l'unité jouxte l'unité d'Agnis. La limite Nord correspond d'est en ouest, au chevauchement de l'unité allochtone du Beausset sur l'unité de la Sainte-Baume (en incluant l'ensemble charrié Gemenos-Bassan), puis à la transition entre les calcaires urgonien et la plaine d'Aubagne. La limite ouest est circonscrite sur le faisceau de faille nord-sud du Mont Puget (faille de Sainte-Croix), faisceau de failles trouvant son prolongement en mer selon une direction globalement NW-SE (Tassy, 2012), mais dont le rôle hydrogéologique reste incertain.

La superficie totale des terrains pris en compte pour l'impluvium est de 255.6 km² dont 123 km² sont compris dans le PNR.

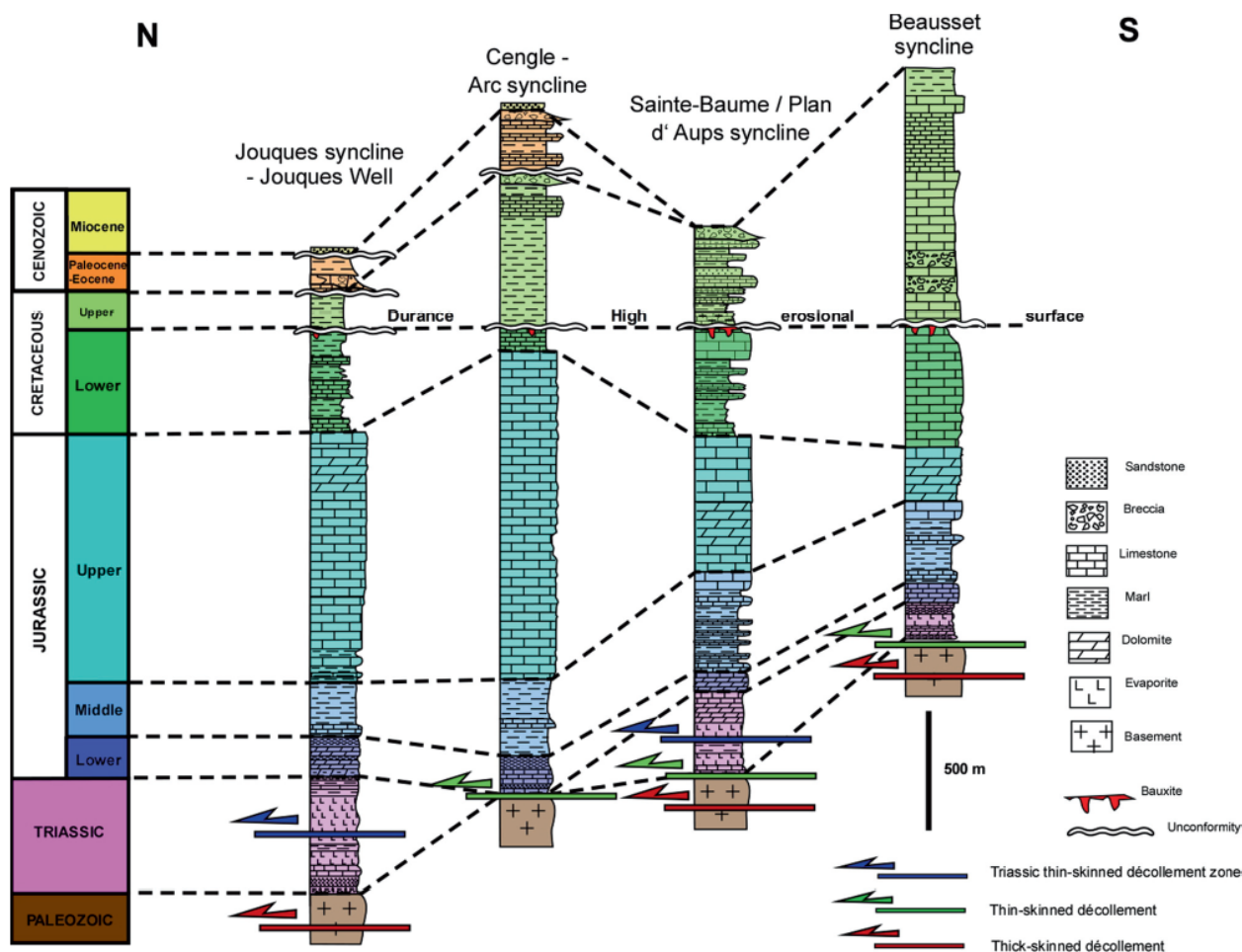
3.4.2. Géologie et formation(s) aquifère(s)

L'unité réservoir karstique du Sud-Sainte-Baume-Calanques (Grande unité occidentale du Beausset Externe dans Cavalera (2007)) intéresse l'ensemble de la série sédimentaire carbonatée et silico-clastique du Trias au Turonien. Dans cette série, le réservoir karstique principal identifié correspond à l'ensemble jurassique supérieur-crétacé inférieur correspondant à des dolomies et calcaires (Figure 20). Le sommet de l'unité correspond à la série turonienne présentant de fortes variations d'épaisseur et de lithologie, passant progressivement d'ouest en est de faciès détritiques (calcarénites, grès et poudingues de Soubeyran) à des faciès de plateforme carbonatés (plateau du Camp). Ces terrains sont séparés des calcaires urgoniens par une épaisse formation de marnes de l'Aptien (environ 300 m à Cassis) se réduisant progressivement vers l'est.

La partie nord est limitée par le chevauchement de l'unité allochtone du Beausset sur la série de la Sainte-Baume au niveau d'une zone de décollement dans le Trias. En profondeur, ce trias est susceptible de former une surépaisseur (Bestani, 2014) pouvant influencer les écoulements souterrains.

De la même façon que dans l'unité de Siou-Blanc-Ragas de Dardennes, les formations sont affectées par deux directions principales de fracturation ; N40-60 et N130-150.

Figure 138 : Localisation des unités réservoir karstiques (rectangle bleu) sur log stratigraphique de la Provence. Bestani et al. (2015).



3.4.3. Karstification

La karstification de cette unité s'inscrit dans la continuité occidentale de l'unité de Siou-Blanc-Dardennes.

La phase de structurations karstique ancienne durant le bombement de l'Isthme Durancien ne s'exprime quasiment pas dans cette unité. Les bauxites ne sont présentes que plus à l'est dans l'unité de Siou-Blanc-Dardennes. A la place, on retrouve ici les marnes de l'aptien qui se réduisent vers l'est. À partir du Crétacé terminal (Campanien), l'unité du Beausset, ou du moins la partie nord (vers Signes) est exondée et l'ensemble passe en domaine continental par la suite de la compression pyrénéo-provençale (Fournillon, 2012). La partie est (massif de Siou-Blanc-Morières) connaît alors une longue période d'altération et de karstification aboutissant à la structuration épigène et possiblement hypogène (par expulsion de fluide de bassin) des réservoirs karstiques l'Urgonien et du Jurassique supérieur.

Postérieurement à la mise en place des structures pyrénéennes, une surface karstique recoupe les structures héritées et rabote le massif dont les reliques correspondent aujourd'hui aux plus hautes surfaces sur le massif d'Agnis et des Morières. En raison de la proximité du niveau de base, la morphogenèse est dominée par la crypto-altération et le développement d'aplanissements par recul basal de bordures de corrosion.

L'abaissement du niveau de base, probablement durant le miocène et l'ouverture du golfe du Lion (Séranne, 1999), entraîne l'emboîtement d'une surface fluviokarstique (plateau de Siou-Blanc) en contrebas de la surface sommitale. Cette surface est jalonnée de traceurs fluviaux provenant du Massif cristallin méridional et traduit un transit sédimentaire du sud-est vers le nord-ouest (Jouves, 2018). L'aval de cette paléo-surface correspond aux replats à 500 m de la surface du Camp et se poursuit vers l'ouest où la proximité de la mer est attestée par un remplissage marin daté par la faune du Langhien-Serravalien dans le paléokarst du Douard (Philip et al., 1975) et dans les Calanques (Essaidon, Val Vierge ; M. Villeneuve com. orale).

Durant le Tortonien, le pourtour méditerranéen est soumis à un up lift brutal (Séranne, 1999). Dans la région toulonnaise le Massif cristallin méridional est en train de disparaître et le soulèvement de l'ensemble des massifs autour de l'unité du Beausset est attesté par le remplissage marin daté du Langhien-Serravalien du Douard (Philip et al., 1975) porté à une altitude de 235 m. La mise en place de la surface du Camp correspondant à un ancien plancher de poljé de contact entre le cœur imperméable non érodé du synclinal du Beausset au sud et le massif de la Sainte-Baume au nord dont la surface du Camp y est reliée par une surface inclinée pouvant correspondre à un pédiment, serait attribué à cette phase de baisse du niveau de base et d'emboîtement des poljés (Camus et Jouves, 2018). Cette surface s'étend d'amont en aval des replats du massif de Saint-Clément au paléo-poljé de Chibron puis à la surface du Camp entre 450 m et 550 m.

Durant la Crise de Salinité Messinienne le niveau de la Méditerranée chute de plus 1500 m de 5,6 à 5,32 Ma, après un premier abaissement de 5,95 à 5,6 Ma (Gorini et al., 2005). La pente hydrographique établie en direction de la mer plusieurs centaines mètres en contrebas, est scellée par les coulées basaltiques d'Evenos du Roc de l'Aygue à 600 m jusqu'à Pointe Nègre sur le littoral actuel. Les datations de ces coulées basaltiques qui dominent en position d'inversion de relief les canyons de la Reppe et du Destel, indiquent que leur incision est plus récente que 5.4 Ma. La topographie contemporaine de la Surface d'Érosion Messinienne est ainsi scellée par les coulées basaltiques et son expression morphologique, restée strictement continentale depuis, est celle de vallons peu marqués par rapport aux massifs calcaires du Turonien et de l'Urgonien environnants. Par ailleurs, l'absence d'incision fluviale dans le socle cristallin en aval du Las et du Gapeau indique que ces vallées n'existaient pas encore, le massif n'était donc pas drainé par le réseau hydrographique. L'essentiel de l'impact de la crise messinienne s'établit dans l'endokarst, comme cela est observé sur le pourtour méditerranéen (Camus, 2003 ; Audra et al., 2004 ; Mocochain et al., 2006) et comme cela est attesté ici par la présence d'émergence vaclusiennes telles que le Port-Miou ou plus à l'est le Ragas, Saint-Antoine (Blavoux et al., 2004 ; Cavallera, 2007 ; Tassy, 2012). Cette phase d'abaissement du niveau de base a donc conduit au creusement de paléo-drains organisés en réseaux gravitaires. La recharge s'effectuait certainement sur toute l'unité du Beausset et la Sainte-Baume voire le massif de Saint Clément alimentant le paléo-poljé de Signe, pour ressortir soit à Port-Miou, soit dans le canyon de Bandol. En effet, les canyons de Cassidaigne et de Bandol présentent les points les plus bas où affleurerait le réservoir carbonaté.

Deux chemins de drainage préférentiels se sont probablement développés durant cette structuration profonde :

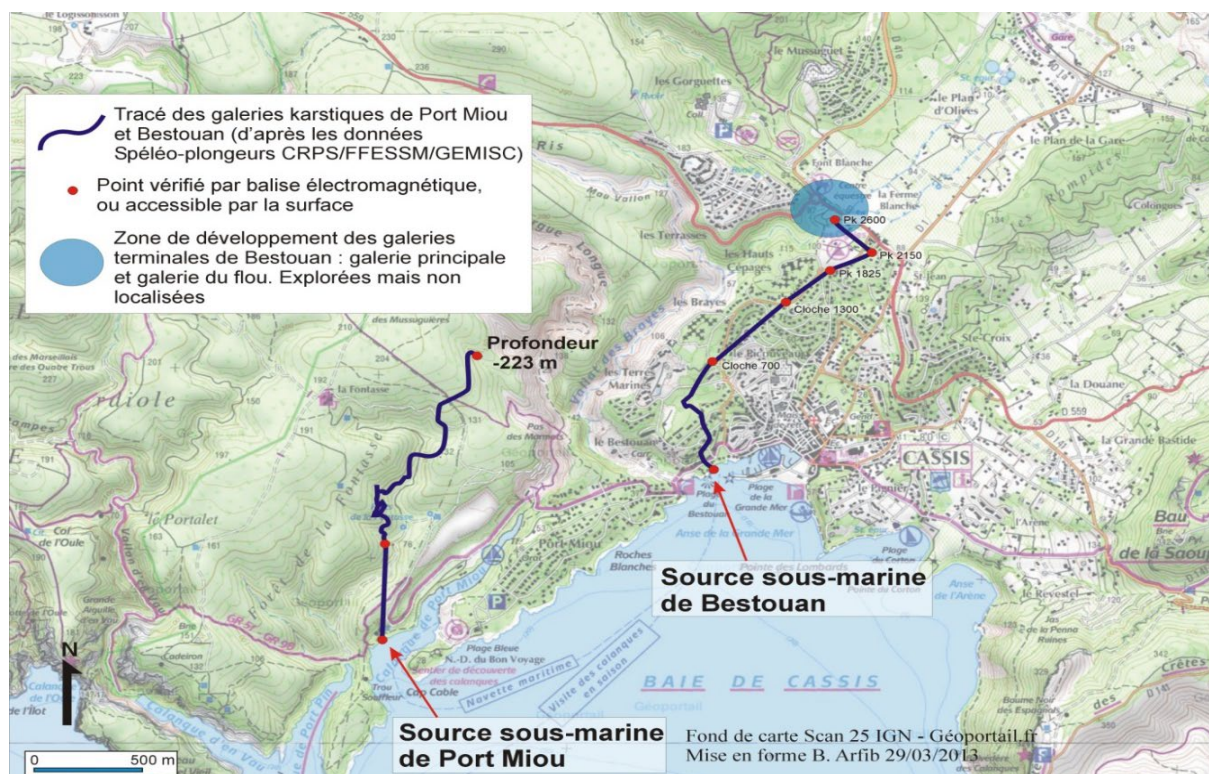
- Un chemin de drainage au sud le long du chevauchement nord-toulonnais et drainant l'est et le sud de l'unité du Beausset
- Un chemin de drainage au nord contournant le cœur imperméable de l'unité du Beausset par le nord pour rejoindre le système karstique profond de Port-Miou.

La remontée du niveau de base suivi du haut niveau marin du Pliocène durant plus de 1,5 Ma (Lofi, 2002) s'accompagne d'une forte sédimentation détritique à l'origine de l'oblitération de la zone de restitution

des eaux dans le canyon submergé de Bandol (Tassy et al., 2014) et d'une réorganisation des systèmes de drainage karstique, notamment dans leur zone d'émergence. De nouvelles zones de restitution adaptent la décharge du réservoir aux points bas de la topographie et le maintien des discontinuités ouvertes et interconnectées est assuré sous le niveau de ces nouvelles zones d'émergences. La position haute et durable du niveau de base provoque aussi l'engorgement des poljés (poljé de Cuges remplis de sédiment sur environ 135 m) qui assurent la concentration des eaux dans le bassin d'alimentation, car l'endokarst ne peut plus évacuer les infiltrations concentrées dans un réseau organisé pour rejoindre une émergence rendue inopérante.

Ainsi les poljés et paléo-poljés de Cuges, de la Rouvière, Roquefort et Cassis se mettent en place postérieurement et en contrebas de la surface du Camp selon un dispositif dinarique s'abaissant vers la Méditerranée et indiquant un paléo drainage d'est en ouest, drainage sous-jacent qui pour le poljé de Cuges est encore fonctionnel. Aujourd'hui, le poljé de Cuges constitue un vaste système endoréique (77 km²) alimenté par vallons secs et canyons creusé sous le front d'altération crypto-karstique de la surface du Camp.

Figure 139 : Tracé schématique des galeries karstiques noyées des sources de Bestouan et Port-Miou dans la baie de Cassis, d'après les données topographiques des spéléo-plongeurs CRPS/FFESSM/GEMISC. Modifié d'après Arfib et Douchet (2011).



Dans le paléo-poljé de Cassis aujourd'hui totalement colmaté, le paléo-ponor alimentait la rivière souterraine de Bestouan (Romey et al., 2014). Il constitue un petit modèle de fonctionnement de ces dispositifs morphokarstiques étagés.

Ainsi les sources sous-marines de la baie de Cassis, donnant accès à des galeries karstiques noyées de larges dimensions plusieurs mètres à dizaines de mètres de diamètre, et sur un développement de 2 000 m à Port-Miou (-233 m) et 3 000 m à Bestouan en direction du Nord (Figure 21), résulterait de la

structuration karstique en réponse au cycle messino-pliocène, et constituent aujourd'hui l'exutoire d'un réseau de drainage profond dont l'étendue du bassin d'alimentation reste incertain, mais s'étendrait au-delà des limites de l'unité (Cavalera, 2007 ; Arfib et Charlier, 2016).

3.4.4. Hydrogéologie

3.4.4.1. Exutoires

L'unité Sud-Sainte-Baume-Calanques forme un aquifère multicouche intégralement drainé par des sources sous-marines, dont les principales sont Sugiton, Port-Miou et Bestouan. Les sources de Port-Miou et Bestouan, dans la baie de Cassis, sont les exutoires actuels du réservoir régional jurassique, connecté avec le niveau de la mer à travers les calcaires urgoniens sus-jacents, et avec une continuité hydraulique depuis le massif de la Sainte-Baume (Coulter, 1985 ; Martin, 1991 ; Cavalera, 2007 ; Fournillon, 2012). Ces exutoires forment les deuxièmes plus importantes sources de la Région PACA après la Fontaine de Vaucluse (débit moyen 21 m³/s).

Le débit d'étiage de la source de Port-Miou est supérieur à 2 m³/s en moyenne (soit plus de 10 fois le débit de l'Huveaune) et le débit maximal enregistré de l'ordre de 50 m³/s pendant plusieurs jours aux mêmes dates que la crue de l'Huveaune de décembre 2008. Le débit moyen annuel a été mesuré au barrage souterrain entre 5 et 7.2 m³/s (Tableau 3) (Villeneuve et al., 2018).

Figure 140 : Mesures sur la source sous-marine de Port-Miou sur le site du barrage souterrain. Villeneuve et al. (2018).

Période de mesures	Débit moyen (m ³ /s)	Salinité moyenne (g/l)	Proportion d'eau de mer (%)	Origine des données
01/09/2005 au 31/08/2006	5 m ³ /s	11,7 g/l	31 %	Thèse T. Cavalera (Direction E. Gilli, C. Rousset) – correction des données Arfib & Lismonde 2013
01/01/2011 au 31/12/2011	7,2 m ³ /s	8,7 g/l	23%	Arfib – projet KarstEAU

Les explorations en plongée spéléo ont reconnu un conduit karstique jusqu'à -233 mètres de profondeur sous le niveau de la mer (plongée X. Meniscus, 2016). Le drainage profond de l'eau souterraine entraîne une salinisation de l'eau souterraine par l'intrusion saline, qui affecte la qualité des eaux durant toute l'année (Cavalera, 2007 ; Arfib et Charlier, 2015). Cette salinisation se produit en amont des points explorés par les spéléo-plongeurs, soit à plusieurs kilomètres de la côte. Lors des crues, la proportion d'eau douce augmente, alors que la proportion d'eau de mer varie peu (Arfib et Charlier, 2015), mais l'eau garde toujours une salinité résiduelle la rendant impropre à la consommation, y compris lors des crues exceptionnelles (comme celle de décembre 2008 avec un débit de 50 m³/s). La source de Bestouan se distingue par sa salinité environ deux fois moins élevée que celle de Port-Miou à l'étiage. Les modélisations Pluie-Débit-Salinité suggèrent un mécanisme de salinisation par dilution d'un réservoir d'eau salée profond par un réservoir d'eau douce moins profond (Arfib et Charlier, 2015).

Quelques sources temporaires de faibles débits s'ouvrent également sur l'unité. Ces sources s'ouvrent dans la partie ouest sur les versants de crétacé supérieur (source de Fontblanche, source de la Glacière, Fontaine Romaine). Dans la partie est, il s'agit des sources donnant naissance au Latay : sources des Fabron ainsi que plusieurs petites autres sources à proximité du haut Latay.

Juste en amont hydraulique du poljé de Cuges, une source de trop plein apparaît dans le vallon de la Serre (NE du poljé). Cette source se met en eau plusieurs jours après des pluies de forte intensité (observations ponctuelles montrant un décalage de deux jours minimums après des pluies entre 20 et 50 mm/jour) avec un débit pouvant dépasser plusieurs centaines de litres par seconde pendant plusieurs mois (observations T. Lamarque et B. Arfib – Projet Karsteau.fr) (Villeneuve et al., 2018). Le cours d'eau rejoint ensuite le

poljé où il est dévié vers une perte en bordure NE pour s'infiltrer (jusqu'à plusieurs centaines de litres par seconde).

Sur le littoral, la source Font Sainte sourd en inter-bancs dans les calcarénites, sous la plage, formant un bouillonnement à la surface de la mer durant les crues, et à sec durant l'étiage estival. Des mesures de salinité en mer (Fournillon, 2012), dans la baie de La Ciotat et Cassis, montrent que des venues d'eau souterraine en mer existent de manière diffuse dans toute la baie de La Ciotat, dans l'aquifère multicouche des calcarénites quartzueuses.

3.4.4.2. Traçages

Huit traçages sont inventoriés sur cette unité. Ces traçages s'intéressent tous au bassin versant des sources sous-marines de Port-Miou et Bestouan (Cassis). Ces traçages montrent une connexion hydraulique des sources sous-marines avec :

- La plaine de Gémenos-Aubagne drainée vers le Sud :

- o Traçage à l'embut Coulin réalisé avec 50 kg de fluorescéine en 1965 (Durozoy et Paloc, 1969) et détecté 42 jours après l'injection à Port-Miou, soit une vitesse d'environ 12 m/j.

- Les calcaires urgoniens affleurant à Cassis au Mussuguet :

- o Traçage dans le tunnel du Mussuguet réalisé avec 50 kg de fluorescéine en décembre 1966 (Durozoy et Paloc, 1969) et détecté 8 jours après l'injection à Port-Miou.

- o Traçage dans le gouffre du Mussuguet réalisé avec 2 kg de fluorescéine en février 2015 (Arfib, 2015b) et détecté 42h50 après l'injection à Port-Miou.

- o Le traçage au gouffre de la Gorguette réalisé en octobre 2015 n'a quant à lui pas été détecté, ni à Port-Miou, ni à Bestouan malgré un suivi de 2 mois (Arfib, 2015a).

- Le Crétacé supérieur de Ceyreste, dans le secteur du Grand Caunet au Sud du plateau du Camp :

- o Le traçage réalisé le 08/02/2011 à la perte de Mauregard avec 35 kg de Rhodamine B et ressorti à Port-Miou et Bestouan 13 jours après l'injection. Ce traçage est d'une importance majeure car place les calcaires et calcarénites quartzueuses du turonien du plateau du Camps dans le bassin d'alimentation des sources de Cassis alors qu'il était jusqu'ici considéré comme déconnecté de ces sources par la présence d'une épaisse série de marnes de l'aptien.

De plus, ce traçage met en évidence une relation hydraulique souterraine rapide avec les sources sous-marines. De fortes pluies ont eu lieu le 14 et 15 février 2011 (7 jours après l'injection), mettant en crue toutes les sources de l'unité du Beausset, et provoquant un fort ruissellement s'infiltrant rapidement dans les pertes. Le traceur a alors été poussé vers la profondeur dans la perte de Mauregard. C'est donc 7 jours après les pluies que le traceur est arrivé aux sources sous-marines. La distance séparant la perte de Mauregard du barrage souterrain de Port Miou est d'environ 12 km à vol d'oiseau. Sans appliquer de facteur correctif sur la distance réelle, la vitesse de circulation minimale est donc approximativement de 1,7 km par jour (ou 71 m/heure) en considérant un temps de transfert de 7 jours (Arfib et Lamarque, 2012a ; Arfib et Lamarque, 2012b).

Il en résulte quatre implications géologiques et hydrogéologiques majeures (Arfib et Lamarque, 2012a ; Arfib et Lamarque, 2012b) :

- 1) une partie de l'eau souterraine émergeant aux sources de Port Miou et Bestouan a la même origine ;

- 2) le bassin d'alimentation des sources de Port Miou et Bestouan s'étend vers l'est de Cassis et le sud de Cuges les Pins dans les formations carbonatées du Crétacé supérieur ;
- 3) l'eau souterraine traverse les terrains réputés peu perméables marneux de l'Aptien (Gargasien) et du Cénomaniens. Ces terrains ne constituent donc pas localement un écran entre le Crétacé supérieur et le Crétacé inférieur (Urgonien);
- 4) le transfert très rapide implique un écoulement de type karstique, dans des vides de grande dimension.

Les traçages réalisés dans les embuts du poljé de Cuges-les-Pins (embut SW et embut de Caranquet) n'ont jamais été détectés (Monteau, 1971 ; Arfib et al., 2011). Ces résultats sont probablement liés aux conditions de réalisation de l'essai de traçage (traceur, quantité, adsorption, dilution etc.), car le contexte géologique et hydrogéologique régional permet d'affirmer que le poljé de Cuges-les-Pins ne peut être drainé qu'au niveau des sources sous-marines de Cassis.

Le traçage le plus lointain ayant été réalisé a été effectué à la perte de la Revengudo, entre le circuit du Castellet et Signes, le 13/02/2011 avec 45,2 kg de fluorescéine (Arfib et Lamarque, 2011). Ce traçage avait pour objectif d'investiguer le devenir de l'eau d'infiltration dans les calcaires urgoniens sur la ligne de partage des eaux présumée entre le système de Dardennes à l'Est et le système de Port-Miou à l'Ouest. Le traceur n'a pas été détecté sur ces deux exutoires potentiels, malgré un suivi de plusieurs mois (analyses au laboratoire d'échantillons d'eau prélevés et fluorimètres in-situ). Seules des traces de fluorescéine ont été détectées sur l'eau du forage du circuit Paul Ricard sur trois échantillons le 27/06/11, 29/06/11 et 23/09/11, soit plus de 4 mois après l'injection, pour une distance linéaire d'environ 2,9 km. Ces résultats ne permettent pas de conclure sur le devenir de l'eau d'infiltration dans ce secteur, mais ils montrent que l'écoulement peut être lent et diffus malgré une surface karstifiée à l'affleurement. L'exploitation des calcaires dans la carrière de Croquefigue située immédiatement au nord a montré également une très forte quantité d'argile au sein des fractures et karsts sur plusieurs dizaines de mètres de profondeurs, confirmant l'infiltration localement retardée qui perturbe nécessairement la réalisation de traçages artificiels.

3.4.4.3. Aire d'alimentation et conditions de recharge

L'unité Sud-Sainte-Baume-Calanques forme un même ensemble structural et sédimentaire drainé essentiellement par les sources sous-marines de Port-Miou et Bestouan. Cependant, la superficie de cette unité ne permet pas d'expliquer les débits de ces sources qui suggèrent un bassin d'alimentation beaucoup plus élevé d'un minimum de 400 km² (Cavalera, 2007 ; Arfib et Charlier, 2015). Cette unité constitue donc une partie de l'aire d'alimentation des sources de la baie de Cassis mais non la totalité dont les extensions sont à rechercher vers les unités situées au nord (Cavalera, 2007 ; Arfib et Charlier, 2015).

L'extension de cette unité a été revue par rapport à celle délimitée par Cavalera (2007) de manière à inclure les calcaires et calcarénites du turonien qui participent à l'alimentation des sources de Cassis comme le montre le traçage à la perte de Mauregard (Ceyreste), traversant les 300 mètres de marnes de l'Aptien (Arfib et Lamarque, 2012b). Dans ce secteur, l'eau de surface est drainée vers la baie de La Ciotat par les vallons entaillant le Crétacé supérieur affleurant.

Une particularité de la zone d'alimentation est la présence du bassin versant hydrographique endoréique de Cuges-les-Pins d'une superficie de 77,7 km². Ce vaste poljé récolte les eaux de tous les vallons alentours, et constitue ainsi le point d'absorption de tous les écoulements temporaires de surface vers la profondeur. Trois pertes principales ("ponor" ou localement "embut") assurent le drainage vers la

profondeur au contact entre les calcaires et la plaine. Les pertes au sud sont partiellement colmatées et la plaine peut s'inonder dans sa partie basse au SW.

Les études hydrogéologiques réalisées dans la plaine de Gémenos-Aubagne à l'est de Huveaune avant les aménagements urbains, ont montré que les terrains oligocènes à quaternaires participaient également à l'alimentation des sources de la baie de Cassis en direction du sud (Durozoy et Paloc, 1969 ; Naud, 1969)

Dans la présente unité, plusieurs modalités d'infiltrations peuvent être distinguées :

- Des zones d'infiltration diffuse, sans drainage de surface préalable, où la majorité des précipitations qui tombent sont intégralement drainées par infiltration verticale dans le karst. Cet ensemble concerne l'essentiel des surfaces lapiazées des dolomies du jurassique supérieur, des calcaires urgoniens et des calcaires turoniens.
- Des zones correspondantes à des surface d'impluvium sur des terrains peu karstifiables comme sur les termes du bajocien-bathonien ou des marnes de l'aptien. Ces zones contribuent à la recharge des écoulements souterrains par ruissellement et concentration en surface des écoulements en amont de pertes. Cette caractéristique concerne l'amont du Latay et les impluviums des poljés étagés depuis Cuges vers Cassis avant que les écoulements de surface ne rejoignent les écoulements souterrains. Dans ces poljés, il est également possible de différencier des zones de faibles infiltrations en raison du colmatage argileux du fond de ces dépressions qui peuvent être remplies sur d'importantes épaisseurs
- Des zones d'infiltrations concentrées sous forme de pertes ou de ponors généralement disposés en position latérale des poljés ou des vallons. Ces zones concernent particulièrement les embuts (ponors) du poljé de Cuges, l'embut Coulin, ou encore les pertes situées dans le bajocien-bathonien marno-calcaire (cas de l'embut des enfers ; Riboux), ainsi que potentiellement des pertes suspectées dans les terrains du jurassiques inférieur (Lias) dans le versant sud de la Sainte-Baume.

3.4.4.4. Hydrodynamique

Il existe deux types d'écoulement souterrain sur l'unité :

- Des écoulements temporaires de faible débit drainant des bassins d'alimentation de taille modeste (source de Fontblanche, source de la Glacière, Fontaine Romaine, Fabron, source du vallon de la Serre). Ces sources sont actives en hautes eaux (jusqu'à plusieurs centaines de litres par seconde pendant plusieurs mois) mais se tarissent durant les périodes de basses eaux.
- Un écoulement d'importance régionale drainant l'ensemble de l'unité ainsi que d'autres unités voisines. Cet écoulement permanent d'un débit moyen annuel de plusieurs mètres cubes par secondes ressort aux sources de la baie de Cassis (Port-Miou et Bestouan). Le drainage est assuré par un système de conduits karstiques transmissifs et les sources sont caractérisées par un fonctionnement karstique typique avec de fortes variations de débit (de quelques centaines de litre par seconde à plusieurs dizaines de mètres cubes par seconde). Il est à noter que ces sources sont saumâtres avec un phénomène de salinisation par dilution où la quantité d'eau de mer reste plus ou moins constante au cours du temps (Arfib et Charlier, 2016).

3.4.5. Réserves potentielles

Les systèmes karstiques structurés en réponse à l'oscillation messino-pliocène présentent généralement de fortes réserves potentielles en eau. Les sources sous-marines de Port-Miou et Bestouan constituent ici l'exutoire d'un système de drainage karstique profond d'importance régionale. Le débit moyen annuel de Port-Miou compris entre 5 et 7.2 m³/s (Tableau 3) (Villeneuve et al., 2018) avec des proportions respectives d'eau de mer de 31 % et 23 % suggère des débits d'eau douce compris entre 3,45 m³/s et 5,54 m³/s.

Cependant, au niveau des exutoires, mais également au terminus des galeries explorées par spéléoplongée (Port-Miou : 2 km dans les terres et -233 m), cette ressource est saumâtre et impropre à la consommation. Par modélisation Pluie-Débit-Salinité, Arfib et Charlier (2016) montrent que l'intrusion saline peut être presque constante dans le temps et que le phénomène de salinisation est principalement due à la dilution des écoulements d'eau saumâtre profonde dans un aquifère frais moins profond. Il en résulte que la contribution du réservoir profond salé ne peut être arrêtée ou inversée. En conséquence, les eaux souterraines disponibles comme ressources en eau douce peuvent être situées dans deux zones cibles :

- Dans le compartiment aquifère supérieur, en amont de la connexion avec les eaux saumâtres profondes ;
- Dans le compartiment aquifère profond, en amont de la zone d'intrusion saline.

Dans l'optique d'un captage des ressources en eau de cet aquifère, des travaux supplémentaires sont encore nécessaires afin de localiser la zone de mélange entre l'eau douce et l'eau saumâtre. Ces travaux pourraient s'appuyer sur l'utilisation de traceur chimiques et isotopiques pour aider à mieux comprendre les temps de transit des eaux, leur origine et le brassage des compartiments d'eau saumâtre et d'eau douce (Thèse en cours de T. Garin, Aix-Marseille Université), ainsi que sur de la reconnaissance géophysique et/ou par forage dans des zones cibles notamment dans un secteur compris entre Gémenos, le sud-ouest du polyèdre de Cuges-les-Pins et Roquefort-la-Bédoule.

3.5. Unité de la Sainte-Baume

3.5.1. Présentation et délimitation de l'unité

L'unité de la Sainte-Baume occupe le cœur nord du PNR et comprend les sommets les plus élevés de basse Provence (1 147 m à la Croix des Béguines). L'unité s'étire d'ouest en est, de l'unité synclinale du Plan d'Aups fermé à l'ouest par le chevauchement de la série allochtone du Beausset en continuité avec les unités de Bassan-Roqueforcade, et est prolongée à l'est par les plateaux du nord de Mazaugues et limité à l'est par le vallon de la Tourte et Lamanon. Ce vaste ensemble est limité au Nord par l'unité chevauchante de Roqueforcade et par l'arc triasique de Barjols à l'est. Au Sud, il est surmonté par les séries renversées de la Sainte-Baume. La limite sud est matérialisée par le front de chevauchement du bassin du Beausset constitué par la série normale du flanc sud.

La superficie totale des terrains pris en compte pour l'impluvium est de 100,3 km² dont la totalité est comprise dans le PNR (Tableau 2).

Etant donné la situation des exutoires, l'unité peut être divisée en trois zones distinctes :

- La Sainte Baume occidentale constitue la partie ouest allant de la source de Saint Pons au plateau de Saint-Cassien.
- La Sainte Baume centrale constituée des plateaux de Saint-Cassien.
- La Sainte Baume orientale composée des plateaux de Mazaugue méridionale.

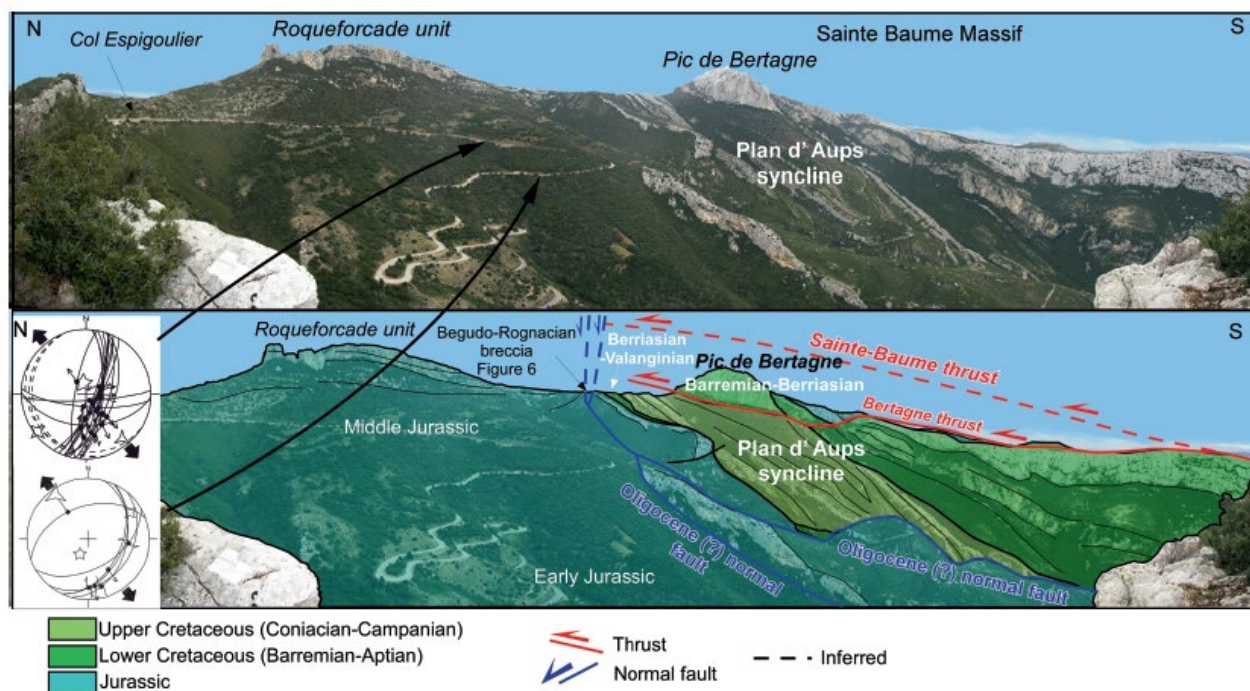
3.5.2. Géologie et formation(s) aquifère(s)

L'unité de la Sainte-Baume correspond globalement à la série autochtone de la Sainte-Baume étendue au sud par la chaîne à la série renversée.

L'autochtone de l'unité du Plan d'Aups se prolonge jusqu'à l'Est de Mazaugues. La série se réduit peu à peu en largeur en perdant sa morphologie de plateau. Cette unité est constituée par du Crétacé supérieur reposant sur un socle de terrains jurassiques au Nord, avec interposition de bauxite (biseau d'érosion du Crétacé moyen). Au Sud, l'unité du Plan d'Aups disparaît sous la série renversée formant la haute chaîne de la Sainte-Baume (Figure 23). Cette série para-autochtone renversée vers le nord est composée de formations du bathonien au santorien poussées de 2,5 à 3 km sur le Crétacé supérieur du Plan d'Aups (Villeneuve et al., 2018).

Au sud, l'allochtone du Beausset chevauche largement vers le Nord le para-autochtone et l'autochtone. Au nord de Signes, l'accident du Latay (Jurassique supérieur sur Rhétien) conduit au chevauchement du Mourré d'Agnis sur le Crétacé de Mazaugues (Villeneuve et al., 2018). Ce chevauchement est en partie due à la disparition vers l'est de la série renversée. Au nord de l'unité de Sainte-Baume, la colline du Vieux-Nans (prolongement oriental de l'unité de Roqueforcade) et la colline nord de Nans (klippe reposant sur le Crétacé supérieur) appartiennent également à l'allochtone du Beausset.

Figure 142 Vue panoramique vers l'est du système de chevauchement de la Sainte-Baume le long d'un transect nord-sud. Voir l'emplacement sur la figure 4. Les plans de stratifications sont représenté en trait noir fin. Les chevauchements pyrénéo-provençal en rouge et les failles normales supposées oligocène en bleu. Bestani et al. (2015).



Les principales formations aquifères de l'unité comprennent (Figure 24):

- Les calcaires de l'Hettangien sur les contreforts nord du massif d'Agnis passant en situation captive sous les marno-calcaires du Bajocien-Bathonien ;
- Les dolomies du jurassique supérieur présentes au nord de l'unité et constituant le principal réservoir karstique. Ces formations sont surmontées d'est en ouest par les formations bauxitiques qui ont été exploitée dans les mines de Mazaugues.
- Les calcaires à rudistes urgonien (Barrémien) se retrouvant dans le vallon de Saint-Pons et dans la série renversée.

Le cœur de l'unité forme un synclinal de terrains du crétacé supérieur selon un axe WSW-ENE composé de calcaires, marnes et grès. L'accident N-S du Gavaudan-Laou individualise hydrogéologiquement l'est de la Sainte Baume des montagnes de la Loube.

3.5.3. Karstification

Les indices de karstification sur l'unité de la Sainte Baume se traduisent par des morphologies en surface et en subsurface.

La présence de bauxite, exploitée aux mines de Mazaugues, traduit en premier lieu un épisode de karstification majeur durant le crétacé moyen. Cette surface des bauxites est de nature à compartimenter les écoulements souterrains en créant un écran aux circulations. Cependant, comme l'ont montré les traçages sur cette unité cette surface est traversée par les écoulements à la faveur des discontinuités tectoniques héritées de la compression pyrénéo-provençale et de l'extension oligocène.

En surface les indices regroupent plusieurs poljés dont le plus emblématique est le poljé suspendu du Plan d'Aups drainé par les Tournes, mais également plus à l'est le poljé de Saint-Cassien et le poljé de Mazaugues. Ces poljés se développent tous dans le cœur de crétacé supérieur de la formation synclinale du Plan d'Aups. Plusieurs générations de surfaces karstiques se développent également sur cette unité, notamment dans la partie est depuis le plateau de Saint-Cassien jusqu'aux plateaux nord de Mazaugues. Ces surfaces emboîtées traduisent l'étagement successif de niveaux de développement de réseaux karstiques et l'enfoncement progressif des systèmes de drainages karstiques. Sur les plateaux nord de Mazaugues, trois surfaces emboîtées sont reconnues, toutes entaillées par le canyon du Caramy, qui s'établit donc postérieurement à ces surfaces. L'emboîtement de ces surfaces pourrait résulter de la surélévation récente (messinienne) de la partie occidentale du massif de la Sainte Baume (Cornet, 1966).

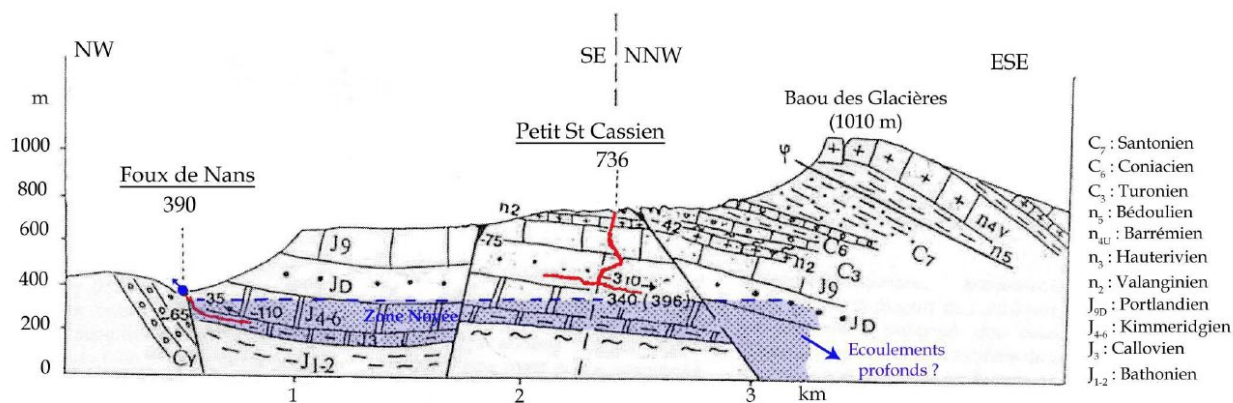
Sur la haute chaîne et dans sur les anciennes surfaces karstiques abandonnées et démantelées, des cryptolapiaz et mégalapiaz apparaissent. Ces formes traduisent le soutirage des couvertures de ces surfaces vers l'endokarst consécutif à l'abaissement du niveau de base, aujourd'hui dicté par la position des vallées.

En subsurface, de nombreuses cavités se développent dont les principales sont l'aven de l'Eau de là (dév. 806 m), le gouffre du Petit St Cassien (-321 m et plus de 9 km de développement) dont le drainage s'effectue vers le Sud au contact des calcaires kimméridgiens (Figure 25) (terminus du réseau exploré), la grotte de la Castellet (dév. 1880 m) et la grotte Sabre (dev. 4268 m). Le Gouffre de l'Eau de Là constitue un exemple d'anciens drains de surface piézométrique sous le plateau du Petit Saint-Cassien, aujourd'hui déconnectés des écoulements.

La majorité des sources importantes (St Pons, Huveaune, Foux de Nans, Lietaud, Lecques) sont situées en bordure du massif à de faibles altitudes (250 - 380 m) et à proximité d'accidents structuraux mettant au contact les formations calcaires avec des terrains imperméables. Dans le paysage, les sources de l'Huveaune s'expriment par la présence d'une reculée karstique entaillant le paléo-plancher du poljé du Plan d'Aups.

La source de Saint-Pons revêt quant à elle un caractère particulier de par sa position et ses caractéristiques physico-chimiques. En effet, cette source au caractère peu transmissif et très capacitif, se situe au point topographiquement le plus bas de la série renversée (270 m), sur un accident mettant en contact les calcaires urgoniens et les calcaires moins karstifiables de l'Aptien. Cette source apparaît ainsi comme un exutoire de trop plein du réservoir profond à la faveur d'une fenêtre hydrogéologique recoupant le toit du réservoir suite à l'incision du vallon de Saint-Pons, qui pourrait correspondre à une vaste reculée karstique.

Figure 143 Coupe géologique dans le Plan d'Aups mettant en évidence la disposition du gouffre du Petit St Cassien vis-à-vis de la résurgence de la Foux et les écoulements profonds vers le Sud dépendant du pendage naturel des couches. Cavallera (2007), modifiée d'après Monteau et Courbon (1983).



L'impact de la crise de salinité messinienne dans cette unité est peu connu, mais des indices indirects permettent de supposer des écoulements profonds en direction du sud et des sources de Port-Miou et Bestouan. En effet l'observation généralisée sur cette partie de la Sainte Baume de déficits hydriques au profit du karst profond suggère une alimentation de ces sources (Coulier, 1985 ; Martin, 1991 ; Cavallera, 2007 ; SAFEGE, 2011a), au moins pour partie de l'unité dans sa partie occidentale.

3.5.4. Hydrogéologie

3.5.4.1. Exutoires

Les exutoires de l'unité sont concentrés en quelques points principaux :

- La source de Saint-Pons à l'ouest, source pérenne principale du massif de la Sainte-Baume drainant la terminaison ouest de la chaîne (Coulier, 1985). Son débit varie entre 10 l/s et plus de 500 l/s, avec une moyenne proche de 100 l/s. La principale source est pérenne et sort d'un griffon impénétrable. Le second exutoire des Cabrelles lui est associé et fonctionne en trop plein. Cet ensemble draine la partie occidentale de la série de la Haute chaîne comme l'a démontré le traçage positif entre le gouffre de l'Escandaou et la source (Coulier, 1985). La Tourne de Saint-Pons est un exutoire de trop plein plus en amont du vallon de Saint-Pons, aux crues brutales et brèves après de fortes pluies. Cette résurgence donne accès à un réseau de siphons explorés sur plus de 400 m de longueur. Les sources du vallon de Saint-Pons donnent naissance au cours d'eau du Fauge au Sud du Pic de Bertagne. La partie supérieure du cours est temporaire, mais l'eau s'écoule toute l'année à partir du Domaine de Saint-Pons, alimentée par des sources à proximité de l'abbaye.

- Les sources de l'Huveaune sont des sources temporaires, taries durant l'été, qui émergent dans la reculée karstique du vallon de la Castelette qui entaille le Plan d'Aups. À 470 m d'altitude s'écoulent les sources les plus basses, appelées communément Sources de l'Huveaune, tandis que les sources supérieures sont celles de la Grotte des Moulins (altitude 500 m) et de la Grotte de la Castelette (590 m) donnant accès à un système de galeries épinoyée et canyons souterrains parcourus par des écoulements sur plus de 1800 m (terminus sur un siphon). Le bassin versant réel de la Haute-Huveaune s'étend au-delà de ses limites topographiques et inclut une partie du poljé du Plan d'Aups drainé par infiltration sur la surface lapiazée et dans les tournes (pertes). L'Huveaune pérenne commence généralement à l'étiage, au niveau de la Sambuc, par l'écoulement des sources de Brise et de Lazare à l'amont de Saint-Zacharie

(Martin, 1991). À Aubagne, quartier le Charrel, la station de mesure de la banque Hydro (station n° Y4424040) a mesuré un débit moyen interannuel de l'ordre de 1 m³/s (sur 16 ans, entre 1997 et 2012), avec un minimum l'été de quelques centaines de litres par secondes (Villeneuve et al., 2018). Les affluents rive gauche de l'Huveaune sont soutenus par des sources karstiques aux débits très variables, forts en crue, faibles ou nuls durant l'étiage : source des Naves, sources des Encanaux, source temporaire des Brayes (unité de la Lare), source de Saucette (unité sud-Sainte-Baume-Calanques). L'ensemble de ces sources a un bassin d'alimentation local, de faible extension (Coulier, 1985).

- Le secteur central de l'unité (plateaux de Saint-Cassien), est drainé par La Grande Foux de Nans (alt. 398 m), exutoire de trop plein du système vaclusien, ainsi que les griffons secondaires en contrebas (source des Filles) s'ouvrant en bordure des affleurements crétacés de la plaine de Nans. Cet ensemble de sources donne naissance au Cauron.

- Les sources du canyon du Caramy (Figuières, Lecques, Lieutaud) et la source St Julien drainent la sainte Baume orientale dont les plateaux de Mazaugues. Ce canyon conditionne l'essentiel des écoulements vers les points bas incisés dans les dolomies du jurassique supérieur. La source de la Figuière la plus important de la Sainte-Baume occidentale (débit moyen annuel de 180 l/s, Martin (1991)) .

Une partie de l'unité renversée de la haute chaîne est certainement également drainée par les sources du Vallon de la Serre (unité Sud-Sainte-Baume-Calanques).

3.5.4.2. Traçages

Six traçages ont été réalisés sur cette unité avec d'ouest en est :

- Le traçage au gouffre de l'Escandaou réalisé le 14/01/1984 avec 0,810 kg de fluorescéine (Coulier, 1985). Le traceur a été détecté 19 jours après l'injection au niveau de la source de Saint-Pons et de la galerie drainante. Le taux de restitution à la source de Saint-Pons est de 3,5 % et de 0,4 % à la galerie drainante.

- Un traçage effectué dans la petite Tourne du poljé du Plan d'Aups est ressorti à la fois à la source de St Pons au Sud et au niveau de la source des Encanaux dans le massif de la Lare au Nord (Martin, 1991). Ce traçage avait été réalisé avec 3,5 kg de fluorescéine et avec un suivi aux fluocapteurs puis analyses au spectrofluorimètre. Les faibles concentrations maximales obtenues en laboratoires (1,99.10-3 g/l à Saint Pons et 5,09.10-3 g/l aux Encanaux) ne permettent pas de tirer de conclusion sur ce traçage. Néanmoins, le devenir des eaux d'infiltration cette de zone semble d'un intérêt majeur pour la préservation des masses d'eau souterraine dans la mesure où cette zone alimenterait potentiellement la source de Saint-Pons voir plus en aval le forage de Coulin, ainsi que fort probablement la ressource régionale en eaux régionale transitant vers les sources de la Baie de Cassis.

- Un essai de traçage réalisé à la grande Tourne du poljé du Plan d'Aups réalisé avec plusieurs kilogrammes de colorant mais n'ayant jamais prouvé la liaison très probable avec ce point d'injection et les sources de l'Huveaune (Mazet, 1967).

- Plusieurs essai de traçages aurait été réalisés à l'aven du Petit Saint Cassien en ayant pour objectif de mettre en évidence une relation avec les sources du Cauron et la grande Foux de Nans situées au nord (Monteau et Courbon, 1983 ; Coulier, 1985). Cependant de très faibles pics de restitution ne permettaient pas de conclure sur la liaison Saint-Cassien-Foux de Nans-Cauron. Le 19/04/2014 1,8 kg de fluorescéine injecté à -139 m dans le gouffre du petit Saint-Cassien et le traceur est détecté à la source des Filles environ 5 jours après (taux de restitution de 30 %) (Durand et Margaria, 2015).

- Le traçage dans le Grand Gaudin Amont réalisé le 30/03/2011 avec 18 kg de Sulforhodamine B diluée directement dans le cours d'eau. Le traceur a été détecté aux sources de la Figuière et Lietaud avant le 13/04/2011, et à la source des Lecques le 28/04/2011. Un bref signal douteux a été détecté sur fluorimètre au forage de Rougiers. (SAFEGE, 2011a).

- Le traçage dans le Ruisseau de Font Frège, dans la zone de la Capelette, réalisé le 30/03/2011 avec 18 kg de fluorescéine. Le traceur a été détecté par des arrivées discrètes mais avérées sur les sources des Lecques et de Lieutaud, respectivement avant le 12/05/2011 et avant le 22/06/2011 (SAFEGE, 2011a). Des indices douteux de fluorescéine ont été détecté au forage de Rougiers le 08/04/2011 ne permettent pas de conclure sur cette liaison (SAFEGE, 2011a).

3.5.4.3. Aire d'alimentation et conditions de recharge

Plusieurs systèmes karstiques avec différentes conditions de recharge se répartissent sur cette unité permettant de diviser l'unité en 3 sous-bassins d'alimentation pouvant probablement s'intercepter lors de périodes de hautes eaux :

- À l'ouest, la Sainte Baume occidentale est drainée vers la source de Saint-Pons ainsi que fort probablement vers les sources du vallon des Encanaux et les sources de l'Huveaune, même si pour cette dernière aucun traçage n'a pu pour l'heure prouver la liaison. Le bassin d'alimentation de ces systèmes comprendrait la partie occidentale de la haute chaîne de la Sainte-Baume ainsi que le grand poljé du Plan d'Aups dont les écoulements souterrains présenteraient des diffluences vers les différents exutoires.

- Le secteur central du plateau de Saint-Cassien alimente la grande Foux de Nans et la source du Cauron.

- À l'est, la Sainte Baume orientale et les plateaux de Mazaugues sont drainées vers les sources du canyon du Caramy que sont Figuières, Lieutaud et Lecques.

Sur ces trois bassins d'alimentation, plusieurs modalités d'infiltrations peuvent être distinguées :

- Des zones d'infiltration diffuse, sans drainage de surface préalable, où la majorité des précipitations qui tombent sont intégralement drainées par infiltration verticale dans le karst. Cet ensemble concerne les surfaces lapiazées présentes sur le haut de la chaîne de la sainte baume au sein des calcaires urgoniens, les surfaces de crypto-lapiaz dénudées et soutirées du poljé du Plan d'Aups, du plateau du Saint-Cassien et des plateaux nord de Mazaugues.

- Des zones d'alimentation par ruissellement et concentration des eaux correspondantes à des surfaces d'impluvium sur des terrains peu karstifiables. Ces terrains concernent ici les termes marno calcaires du bajocien-bathonien des contreforts nord du massif d'Agnis, ainsi que les formations gréseuses et marneuses du crétacé supérieur dans lesquels s'établissent les poljés de Plan d'Aups, Capelette et Mazaugues. Le poljé du Plan d'Aups s'enneie temporairement. Ce type d'alimentation correspond également au bassin hydrographique de surface du Grand Gaudin qui se perd dans son cours aval dans les niveaux calcaires.

- Des zones d'infiltrations concentrées sous forme de pertes ou de ponors généralement disposés en position latérale des poljés ou des vallons. Ces zones concernent particulièrement les tournes (ponors ou pertes) du poljé du Plan d'Aups, la petite et la grande tourne, ou encore les pertes situées dans le ruisseau du Grand Gaudin alimentant les sources du Caramy. Dans ce dernier cas, une des particularités du système karstique du Caramy est son alimentation binaire à la fois par des apports allochtones et des infiltrations autochtones.

Une autre des particularités de cette unité, est la présence de la série renversée de la Sainte-Baume. Cette unité semble à la fois alimenter les écoulements souterrains rejoignant la source de Saint-Pons mais pourrait également contribuer à l'alimentation des sources sur le versant nord (sources de l'Huveaune, grande Foux de Nans) ainsi que les écoulements superficiel et souterrains en directions du sud vers le poljé de Cuges (source du vallon de la Serre) et le système karstique des sources de Cassis. A ce titre, une partie de l'eau d'infiltration de cette unité, notamment de la partie occidentale voire centrale est susceptible d'être drainée en profondeur jusqu'aux exutoires régionaux sous-marins de Port-Miou et Bestouan.

3.5.4.4. Hydrodynamique

Les systèmes karstiques et exutoires compartimentés de cette unité traduisent une hydrodynamique tout aussi compartimentée :

- Le système de Saint-Pons, au faciès bi-carbonaté calcique, apparaît comme un système tamponné, comparable à un aquifère de type fissuré, avec de faibles variations des paramètres physico-chimiques. Le système draine un aquifère très capacitif et peu transmissif. Le traçage de l'Escandaou (vitesse de transit, restitution du traceur, etc.) traduit pour Coulier (1985) un aquifère mal drainé à karstification peu évoluée avec l'absence d'axe de drainage privilégié. Coulier (1985) signale également la présence d'une source en amont de la source de Saint-Pons, la source de la Vèze, ayant pour particularité une faible minéralisation des eaux, mais une température anormalement élevée oscillant entre 17 et 18°C. Ces eaux seraient liées à un réservoir profond relativement indépendant du système de la source de Saint-Pons (Coulier, 1985).

- Le système des sources de l'Huveaune est un système temporaire, en eau durant les périodes de hautes eaux et à sec durant l'été. Coulier (1985) signale un système très sensible aux précipitations, réagissant quelques jours après les précipitations importantes. Ce débit décroît rapidement jusqu'au tarissement complet. Le faciès chimique est de type bicarbonaté calcique. Les teneurs en Mg^{2+} sont toujours très faibles malgré un exutoire dans les dolomies du jurassique supérieur. Pour Coulier (1985) cela est dû au fait que les dolomies assurent uniquement le transit rapide au cours duquel peu d'interactions chimiques ont lieu. Ces sources draineraient alors un aquifère perché dans les calcaires du crétacé supérieur à une altitude voisine des 650 m sur le poljé du plan d'aups et s'étendant sur le plateau des Béguines.

- Le système du Cauron qui comprend plusieurs exutoires dont l'exutoire de trop plein de la Grand Foux de Nans. Cette cavité est noyée dans sa partie inférieure, avec un écoulement vers la source des Filles et un exutoire situé plus bas mais inconnu. L'ensemble de ces sources a été jaugé à plusieurs reprises (Coulier, 1985 ; Martin, 1991) à un débit moyen variant de 48 à 63 l/s.

Plus en aval quelques sources donnent naissance à des écoulements alimentant le Cauron comme la source de Font-Alaman Alaman (ou Chateaneuf), dont le débit est estimé entre 15 et 20 L/s, draine localement la klippe urgo-aptienne du plateau des Pins (Coulier, 1985).

Les bilans réalisés sur ce système mettraient en évidence un déficit (Cavalera, 2007 ; SAFEGE, 2011a), laissant supposé des exutoires non connus ou la contribution de cette unité à l'alimentation des sources de Port-Miou et Bestouan (Cavalera, 2007).

Le système des sources du canyon du Caramy qui comprend plusieurs exutoires avec d'amont en aval les Figuières, Lieutaud et les Lecques. La source des Lecques à un faciès bicarbonaté calcique légèrement sulfatés. La source des Figuières appartiendrait à un système de drainage différent des deux autres, avec qui ne transiterait pas par les travaux miniers (SAFEGE, 2011a). Pour Martin (1991), la source des Figuières ($Q_{moy} = 180$ l/s), la plus importante de la Sainte-Baume orientale, associe deux sorte de drainage, un transmissif et peu capacitif pouvant correspondre à un écoulement superficiel lords des

périodes de hautes eaux, et l'autre, peu transmissif mais très capacitifs, correspondant à un écoulement de nappe.

3.5.5. Réserves potentielles

L'unité de la Sainte Baume constitue un vaste impluvium de 100 km² où la majorité des précipitations transitent par le milieu souterrain. Sur cette unité, il apparaît deux zones de restitution et de réserves majeures, à l'est et à l'ouest avec respectivement les sources du canyon du Caramy, notamment la source des Figuières, et la source de Saint-Pons.

À l'est, les sources du canyon du Caramy ont d'ores et déjà fait l'objet d'une étude de la ressource en eau et de la délimitation de zone de sauvegarde (SAFEGE, 2011b). Cette unité présente une ressource en eau importante en quantité et facilement mobilisable au niveau des vides miniers. Les volumes exploitables sont évalués entre 2 et 7 millions de m³ en tenant compte de la capacité de recharge annuelle des vides miniers. L'exploitation de cette ressource influencerait très probablement les débits des sources en aval (Figuières, Leques, Lieutaud) et le débit du Caramy, avec une incidence sur les débits arrivant au lac de Carcès, influençant ainsi indirectement l'alimentation en eau potable de Toulon.

A l'est, les réserves potentielles du système de Saint Pons sont probablement importantes et exploitables du fait du contexte géologique et karstologique. Cette source apparaît comme un regard sur le réservoir profond, peu structuré et hiérarchisé pour assurer la décharge via cet exutoire. Des études complémentaires sur l'origine et le devenir des eaux, ainsi que sur les volumes potentiellement mobilisables (Exploitation vs. Recharge) permettraient d'établir de définir les potentialités de cette zone pour les besoins futurs en AEP.

3.6. Unité de la montagne de la Lare

3.6.1. Présentation et délimitation de l'unité

L'unité de la montagne de la Lare jouxte dans sa partie sud l'unité de la Sainte-Baume.

Cette unité hydrogéologique correspond à l'unité structurale anticlinale de la Lare étendue vers le sud à l'unité chevauchante de la Roqueforcade pour sa contribution, soit par ruissellement, soit par infiltration et restitution des eaux en amont du crétacé supérieur ou directement dans les terrains jurassiques, à l'unité de la Lare. À l'ouest cette unité trouve sa limite sur les contreforts de l'unité structurale de Bassan. La limite croise ensuite le vallon de la Vède au contact entre les formations du jurassique et du crétacé supérieur dans la dépression d'Auriol-Saint-Zacharie. La limite Nord correspond globalement à un axe ouest-est correspondant au cours de l'Huveaune et un réseau de failles globalement WSW-ENE entre cette unité et le massif du Mont-Aurélien. La limite est comprend les affleurements de jurassique supérieur de la plaine de Nans les Pins.

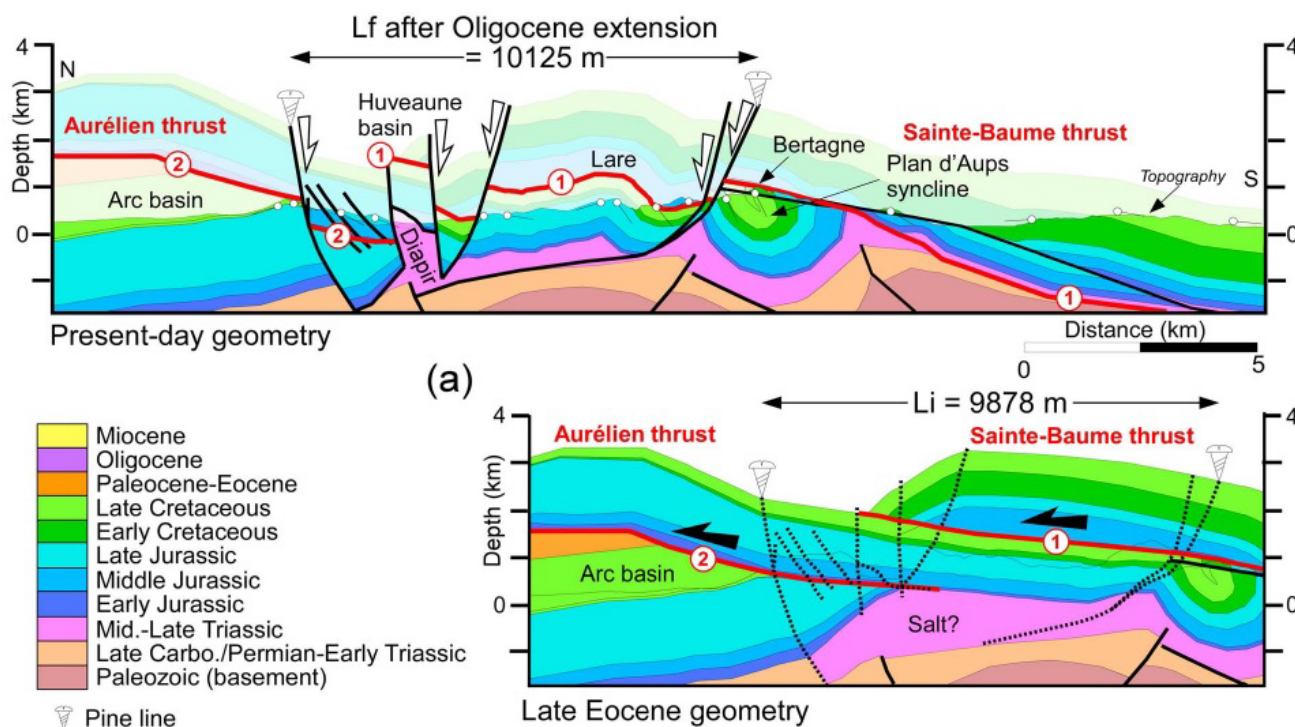
La superficie totale des terrains pris en compte pour l'impluvium est de 43,3 km² dont la totalité est comprise dans le PNR.

3.6.2. Géologie et formation(s) aquifère(s)

L'unité hydrogéologique de la Lare est essentiellement constituée d'un dôme anticlinal de calcaires dolomitiques et biclastique du jurassique supérieur-crétacé inférieur surmonté de la série crétacé supérieur Turonien à Santonien composée principalement de calcarénites, marnes et calcaires. Il n'existe pas de barrière strictement "étanche" dans cette unité ce qui place les terrains en continuité hydrogéologique avec ceux de l'unité de la Sainte Baume. Selon Bestani et al. (2016), l'unité de la Lare est limitée au sud et au nord, respectivement au niveau de l'unité de la Roqueforcade et de la plaine de l'Huveaune et de la limite nord de l'unité au contact avec l'unité du Mont Aurélien, par de grands accidents normaux oligocènes enracinés dans les terrains du Trias ayant eu pour effet d'effondrer l'ensemble du massif (Figure 27). Cette évolution tectonique permet d'entrevoir l'individualisation de cette unité par rapport aux unités de la Sainte-Baume et du Mont-Aurélien, qui se retrouve aujourd'hui en position effondrée. L'anticlinal de la Larre est également parcouru sur sa périphérie de faille "en étoile" pouvant présumer du rôle de la tectonique salifère diapirique sous l'anticlinal de la Larre (Bestani et al., 2016 ; Villeneuve et al., 2018).

La principale formation aquifère de cette unité correspond aux dolomies du jurassique supérieur.

Figure 145 Restauration de la compression pyrénéo-provençale de la Sainte-Baume et de l'Aurélien postérieurement déformées par un ensemble de failles normales à fort pendage, incluant la migration du sel de Trias (bassin de Huveaune). Bestani et al. (2016).



3.6.3. Karstification

Les deux réseaux karstiques majeurs de cette unité sont concentrés sur la partie ouest de l'unité. Il s'agit du réseau des Brailles avec un développement de 1135 m et celui des Encanaux (déniv : 130 m et dev.: 1800 m).

Le réseau des Brailles aboutit à la source du même nom et draine la partie occidentale du cirque de Roussargue. Il se développe au sein des bancs calcaires du Valanginien, dont la direction détermine en partie l'orientation des galeries du réseau (Coulier, 1985). Cette cavité, essentiellement horizontale, montre plusieurs niveaux de galeries. La grotte des Infernets en contre-haut du vallon du même nom, correspond à un ancien drain partiellement colmaté, recoupé par l'incision du vallon. Cet étage fossile semble se retrouver dans le réseau des Brailles. Le gouffre des Encanaux correspond à un système de drainage en montagne russe (looping-cave (Häuselmann et al., 2003)), développé au toit de la surface piézométrique dans la zone épinoyé, et caractéristique d'infiltrations concentrées provoquant des mises en charge dans le réseau.

Dans la partie est, le système des Naves est impénétrable et n'a pas donné lieu à des explorations spéléologiques.

L'organisation des systèmes et des réseaux karstiques semble ainsi s'établir en périphérie est et ouest de l'unité et au droit des principales incisions. L'évolution karstologique de cette unité se traduit par un enfoncement progressif des réseaux en réponse à la dynamique d'incision amorcée depuis le Pliocène (Cornet, 1966), les principaux systèmes karstiques s'établissant aux points bas des aquifères. Ces systèmes

constituent des axes de drainage préférentiel susceptibles de capturer une partie des écoulements de l'unité voisine de la Sainte-Baume (traçage supposé de la petite tourne à la source des Encanaux).

Dans cette unité, une karstification profonde en réponse au cycle messino-pliocène est susceptible d'exister, mais les observations spéléologiques (pas de réseaux profonds sous le niveau de base) et géologiques (pas d'incision messinienne dans la vallée de l'Huveaune) ne permettent pas de l'affirmer. Cependant, le bilan déficitaire du massif de 41 % (Cavalera, 2007) supposerait potentiellement la contribution à un réservoir profond alimentant potentiellement les sources de Port-miou et Bestouan en donc relation hydrogéologique avec l'unité de la Sainte-Baume et l'unité Calanques-Sud Sainte-Baume.

3.6.4. Hydrogéologie

3.6.4.1. Exutoires

Les exutoires de l'unité sont concentrés en trois points principaux :

- Au sud-ouest les systèmes karstiques étagés des ravins des Encanaux et de la Daurengue drainant une partie de la Lare et de l'unité de Roqueforcade et dont la liaison avec l'unité de Sainte Baume septentrionale est avérée. Le ravin des Encanaux possède deux résurgences principales : la résurgence inférieure des Encanaux et le système de résurgences supérieures des Encanaux. La résurgence inférieure des Encanaux est pérenne et sort des dolomies saccharoïdes portlandiennes, en rive droite du bas du vallon. Son débit moyen a été jaugé au cours des cycles 1983-86 à plus de 30 l/s (Coulier, 1985). Le système supérieur est un ensemble de griffons impénétrables se mettant en charge lors des crues. Le griffon principal, la source du Genêt, est une exsurgence pérenne située à l'altitude de 290 m NGF. Le Grand Aven des Encanaux constitue un regard en amont du système dont la liaison avec la source des Encanaux supérieur (ou Genêt) a été prouvée par traçage (Coulier, 1985). Le débit moyen de la source des Encanaux supérieurs a été estimé au cours des cycles 1982-87 à 74 L/s grâce à un limnigraphe installé par le S.R.A.E. (Martin, 1991). Le vallon de Daurengue à l'ouest des Encanaux livre les eaux de deux résurgences. La source temporaire des Brailles est l'exutoire d'un réseau de galeries de plus de 1 km de long. Plus en aval une source chaude (environ 20,5°C), la Glacière sort des calcaires santoniens dans le lit du ruisseau. Cette dernière bien que pérenne ne représente qu'un débit moyen de quelques litres par seconde (Mazet, 1991).

- Au nord-est les résurgences des Naves, puis dans le secteur de St Zacharie les sources de Lazare, la Brise et la Foux pouvant à la fois drainer la partie nord de la Lare et l'Aurélien. Les sources des Naves émergent au point bas du vallon de Peyruis à 275 m d'altitude. Les deux griffons émergent à la faveur de l'accident qui met en contact les terrains jurassiques de la Lare avec le Trias de l'Huveaune. Ces sources ont fait l'objet d'un suivi hydrométrique aux cours des cycles 1983-86 et livré un débit moyen de 64 L/s (Mazet, 1991). Les sources Lazare et la Foux émergent sur le flanc sud de l'Aurélien, elles seront traitées dans la partie suivante. La source de la Brise est située à la sortie du vallon de la Sambuc. Le griffon de cette source n'est pas visible car elle est captée par la ville de St Zacharie. Elle n'a pas fait l'objet de suivi hydrométrique.

- À l'est, les sources de Peyruis et des Taurelles drainant une partie de l'unité de la Roqueforcade. La source du Peyruis présente un fonctionnement temporaire avec un assèchement estival et un débit moyen mesuré sur la période 1984-86 est d'environ 60 L/s (Mazet, 1991). Les eaux de cette source se perdent complètement 200 m en aval du lieu de résurgence (avant le Pont d'Angèle) dans une zone fracturée des termes jurassiques et ne réapparaît qu'au niveau du Pont d'Orgnon. Les eaux se perdent de nouveau en amont des sources des Naves et il est probable qu'elles contribuent à l'alimentation de cette source (Cavalera, 2007).

La source de la Taurelle est une petite émergence sortant de l'extrémité orientale de l'unité de Roqueforcade à une position plus basse que la source du Peyruis (alt.: 430 m).

3.6.4.2. Traçages

Quatre traçages ont été effectués sur cette unité :

- Le traçage effectué avec 3,5 kg de fluorescéine injecté dans la petite Tourne du poljé du Plan d'Aups. Le suivi avait été réalisé aux fluocapteurs puis analyses au spectrofluorimètre (Martin, 1991). Le traceur avait été détecté à la fois à la source de St Pons au Sud et au niveau de la source des Encanaux (Martin, 1991). Cependant, les faibles concentrations maximales obtenues en laboratoires (1,99.10⁻³ g/l à Saint Pons et 5,09.10⁻³ g/l aux Encanaux) ne permettent pas de tirer de conclusion sur ce traçage. Ce traçage serait à confirmer par un suivi quantitatif au fluorimètre dans le sens où cette zone constitue une zone de recharge privilégiée des aquifères karstiques et est soumise à une pression démographique croissante s'étendant dans le poljé.

- Trois traçages réalisés dans le Grand Gouffre des Encanaux (Tableau 1) dans des conditions hydrologiques différentes, en basse eaux pour Coulier (1985) et hautes eaux pour Fermier et al. (2015). Les traceurs ont été détectés principalement dans les sources supérieures des Encanaux peu de temps après l'injection, entre environ 8 h et 12 jours. Ces expériences de traçage soulignent la relative indépendance de la source inférieure des Encanaux au regard des sources hautes.

3.6.4.3. Aire d'alimentation et conditions de recharge

La recharge de cette unité est principalement autochtone voire para-autochtone. La cuvette synclinale de Roqueforcade ne constitue pas une limite étanche avec l'impluvium Nord Sainte Baume, mais les résurgences issues de cet ensemble (résurgences du ravin de Peyruis) participent par leur ré-infiltration à l'alimentation de la Lare. Des pertes de l'Huveaune s'effectuent dès que le ruisseau dépasse les formations crétacées de Roqueforcade pour entrer dans les calcaires de la Lare (au niveau du gué de Mantelette).

L'unité est ainsi en continuité hydrologique avec l'unité hydrogéologique de la Sainte-Baume qui participe pour partie à sa recharge, notamment par sa partie nord-est.

La recharge est ainsi :

- Diffuse, sans drainage de surface préalable, et les précipitations qui tombent sont intégralement drainées par infiltration verticale dans le karst, sur la majorité des terrains affleurant au sein de l'unité et sur, potentiellement, les surfaces de crypto-lapiaz dénudées et soutirées du poljé du Plan d'Aups ;

- Concentrée, sous forme de pertes ou de ponors dans le poljé du Plan d'Aups ou les vallons de Peyruis et de l'Huveaune, et probablement des Encanaux, comme en témoigne le réseau épinoyé du Grand aven des Encanaux.

3.6.4.4. Hydrodynamique

La partie ouest de l'unité présente deux fonctionnements hydrodynamiques distincts (Coulier, 1985):

- La source inférieure des Encanaux au système de drainage développé avec une composante inertielle et une régulation des débits

- Des sources au fonctionnement très réactif (source supérieure des Encanaux). Ce fonctionnement peut être bien expliqué par les traçages et la karstologie. En effet les traçages mettent en évidence une relation directe, de l'ordre de quelques heures, entre le grand gouffre des Encanaux et les sources supérieures. Les observations karstologiques ont montré que le réseau amont (grand gouffre des

Encanaux), correspond à un système de drainage en montagne russe (looping-cave (Häuselmann et al., 2003)), développé au toit de la surface piézométrique dans la zone épinoyé, et caractéristique d'infiltrations concentrées provoquant des mises en charge dans le réseau.

La source des Naves, à l'est correspond à un système au fonctionnement inertiel, tamponné, traduisant une absence de drain transmissifs structurés.

3.6.5. Réserves potentielles

Les réserves potentielles de l'unité de la Lare semblent s'établir en périphérie sud-ouest et nord-est de l'unité au droit des systèmes karstiques des Encanaux-Brailles et des Naves. Les sources des Encanaux inférieure et des Naves semblent constituer un regard sur le réservoir profond de par leur caractère tamponné et inertiel. Ce réservoir est essentiellement constitué par les dolomies du jurassique supérieur qui passent en situation captive sur les retombées anticlinales. Il peut potentiellement constituer une ressource en eau locale dont les capacités sont à étudier.

3.7. Unité du Mont Olympe-Aurélien

3.7.1. Présentation et délimitation de l'unité

L'unité hydrogéologique du Mont Olympe-Aurélien constitue la terminaison nord du PNR (Figure 28) et culmine à 872 m d'altitude. Au nord, les limites correspondent d'ouest en est au front de chevauchement sur le bassin synclinal de l'Arc, puis à la base des dolomies du jurassique supérieur, les contreforts de bajocien-bathonien ayant été exclus car ils contribuent aux ruissellements de surface alimentant les vallons nord du massif. La limite sud-est correspond au contact entre les terrains carbonatés du jurassique ceux du Trias à l'est et du jurassique de l'unité de la Lare à l'ouest. Cet axe correspond globalement à la terminaison du faisceau de faille de Barjols. Au sud-ouest, les limites de l'unité correspondent au passage sous couverture du jurassique supérieur sous les formations oligocènes. Cette unité se prolonge donc vers l'ouest et en profondeur.

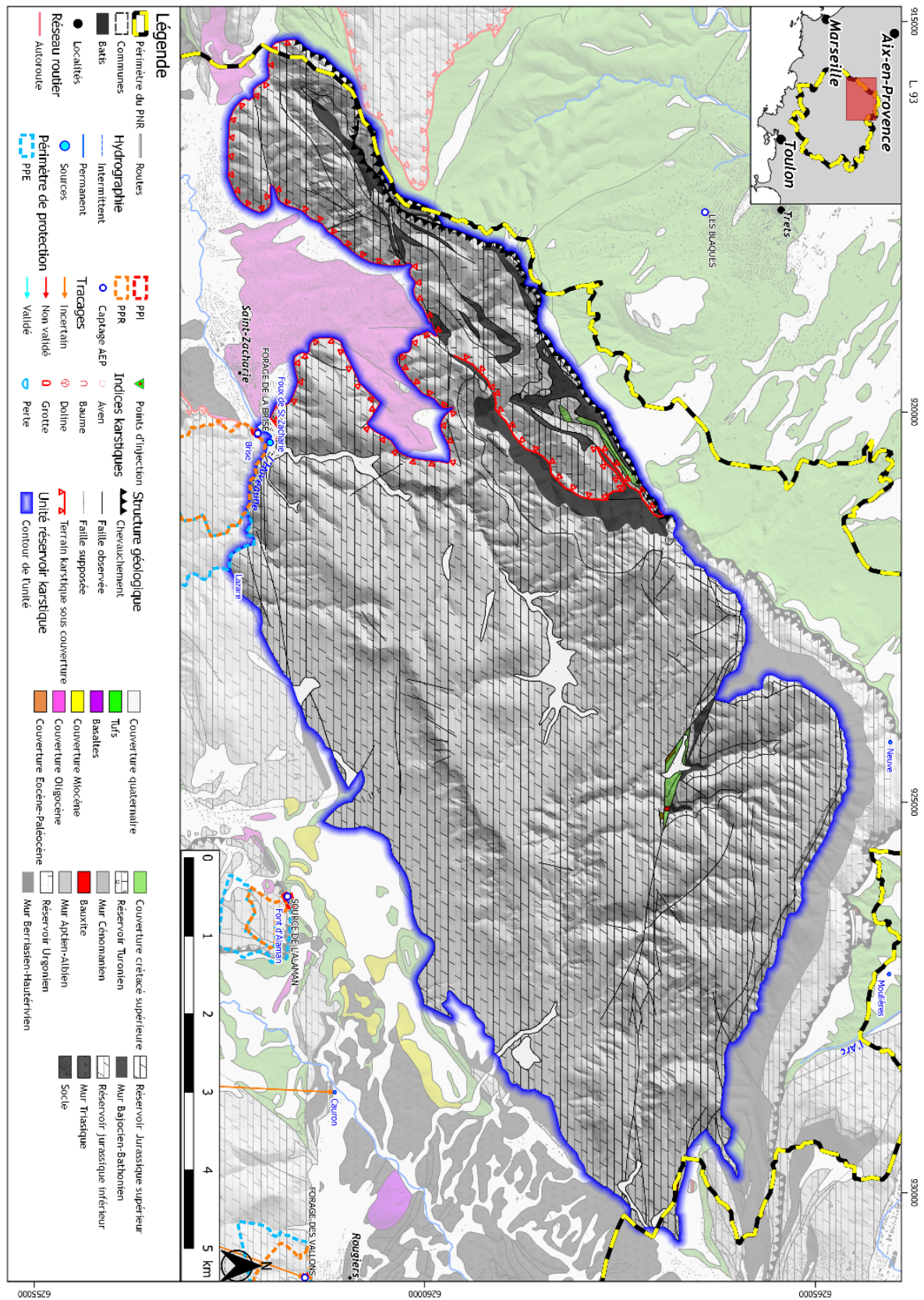
La superficie totale des terrains pris en compte pour l'impluvium est de 55.9 km² dont la quasi-totalité est comprise dans le PNR (Tableau 2).

Une continuité de cette unité est supposée vers l'ouest, vers l'unité de Roquevaire. Cette unité correspond à l'extension jurassico-crétacé du Mont-Aurélien-Olympe sous la couverture Oligocène du bassin d'Aubagne-Marseille. Cette continuité s'étend en dehors des limites du PNR sur une superficie de 22.1 km² (Figure 29).

3.7.2. Géologie et formation(s) aquifère(s)

Les massifs de l'Olympe et de l'Aurélien sont constitués essentiellement par des terrains calcaires et dolomitiques du Jurassique supérieur et de l'Hettangien. Ces formations constituent les principaux réservoirs aquifères régionaux. Dans la continuité ouest supposée vers l'unité de Roquevaire les formations oligocènes du bassin d'Aubagne-Marseille recouvrent les terrains aquifères du jurassique supérieur, et crétacé inférieur (urgonien). La géologie de cette zone est fortement affectée par les phases tectoniques (compression pyrénéo-provençale et extension oligocène). Il en résulte une géométrie profonde peu contrainte sujette à différentes interprétations (Villeneuve et al., 2018).

Figure 146 Localisation de l'unité karstique des Monts Olympe-Aurélien.



Peu d'indices permettent d'établir un schéma de karstification sur cette unité karstique. Sur une superficie de près de 60 km² seule une dizaine de cavités assez insignifiantes sont répertoriées. Aucun réseau karstique actif notable n'est à signaler, mis à part les sources impénétrables de St Lazare et de la Foux de St Zacharie. Ces dernières se retrouvent au niveau de l'incision faite par le vallon de l'Huveaune au sud du massif. Les écoulements souterrains et le drainage de cette unité peut uniquement être supposé mais non avéré.

Les seuls indices karstiques qui demeurent sur cette unité sont quelques lambeaux de surfaces karstiques qui semblent se raccorder en altitude aux surfaces identifiées sur l'unité de la Sainte-Baume. Cela impliquerait une évolution conjointe de ces unités lors de niveau de base peu déprimés.

Au sud-ouest, sur la continuité supposée de l'unité vers l'unité de Roquevaire, des indices de karstification par fantômisations ont été reconnus dans les dolomies du jurassique supérieur au niveau de Pourchier sur la D45b. Cette observation locale laisse supposer une altération par fantômisations du réservoir jurassique, qui potentiellement peut se s'étendre en profondeur.

D'autres parts, le champ captant AEP de Roquevaire apparaît pour être suralimenté par une ressource karstique et le nouveau forage AEP a rencontré un drain karstique à -125 m de profondeur, ce qui atteste d'une karstification profonde, proche du niveau actuel de la mer.

Nous supposons ici une alimentation de l'unité de Roquevaire par une recharge pouvant s'effectuer sur le massif du Mont Olympe-Aurélien et qui transiterait vers le sud-est au nord de la dépression triasique de l'Huveaune entre Auriol et Saint-Zacharie.

3.7.3. Hydrogéologie

L'ensemble Olympe-Aurélien n'a fait l'objet d'aucune étude précisant ses écoulements. Seul Cavalera (2007) établit des bilans hydrogéologiques sur la base de la superficie, de la pluviométrie et du débit estimé des exutoires peu connus. Cet ensemble semble complètement déficitaire (95 % soit 522 l/s). Cependant le bilan est nuancé du fait du manque de connaissance sur les exutoires du massif.

3.7.3.1. Exutoires et hydrodynamique

L'hydrogéologie de l'unité de l'Aurélien semble contrainte par l'incision de son flanc sud par l'Huveaune dans les terrains du jurassique supérieur. En rive droite de l'Huveaune, au point le plus bas en contact avec le bassin triasique et oligocène de Saint-Zacharie, s'ouvre la Foux de Saint-Zacharie. Plus en amont, au pied de l'Ubac de Mourre, sourd la source Lazare.

La source de la Foux de St Zacharie émerge au point bas du vallon de l'Espagnol à 230 m d'altitude. Cette source n'a jamais fait l'objet d'un suivi hydrométrique.

La source Lazare émerge par plusieurs petits griffons dans une zone broyée à la limite de la Lare et de l'Aurélien sur le flanc sud de ce dernier. Le débit de cette n'a pu être mesuré que lorsque qu'il n'y a pas, ou très peu, d'arrivées d'eaux en amont du vallon de l'Huveaune par les émergences supérieures (sources de l'Huveaune et de la Taurelle) (Martin, 1991 ; Mazet, 1991). Le débit moyen obtenu sur le cycle particulièrement sec de 1981-83 est de 27 L/s (Mazet, 1991). Cette source semble avoir une forte pérennité liée à un aquifère de type fissuré (Martin, 1991).

Quelques émergences sont citées pour s'ouvrir dans les calcaires liasiques du flanc nord des massifs de l'Olympe et de l'Aurélien (Cavalera, 2007). Il s'agit notamment de la source de la Cabassude sur la commune de Trets et émergeant dans les calcaires liasiques, des exutoires de la Boucharde et du Perdu dans les contreforts jurassiques de l'Aurélien, de la grotte Neuve située à plus de 500 m d'altitude sur le flanc nord de l'Aurélien (siège d'un écoulement temporaire répertorié dans la base de données du CDS13).

Cova et Durozoy (1983) suggèrent la participation de la partie nord de cette unité à la recharge de nappe du Trias s'écoulant vers les sources Gours Bénis et/ou Aquilé sur la commune de Bras.

3.7.3.2. Traçages

Aucun traçage n'est répertorié sur cette unité.

3.7.3.3. Aire d'alimentation et conditions de recharge

La recharge de cette unité est autochtone, elle s'effectue uniquement par les pluies tombant sur le massif. Tous les vallons présents sur l'unité sont secs. L'unité présente un fort couvert végétal pouvant minimiser l'infiltration hormis sur les parties les plus hautes du Mont Aurélien où la surface apparaît lapiazée et l'infiltration diffuse mais facilitée.

3.7.4. Réserves potentielles

Cette unité ne comprend que très peu d'exutoires connus et les bilans effectués tendent à montrer que cet impluvium est quasiment complètement déficitaire, de l'ordre de 95% (Cavalera, 2007). Cette unité constitue une zone de recharge dont le devenir des eaux reste incertain. Les deux hypothèses de drainages hydrogéologiques sont :

- Un drainage vers le Sud-est et une suralimentation de l'autochtone profond du Beausset via l'unité de Roquevaire.
- Un drainage vers l'Est et l'alimentation du karst triasique de Saint-Maximin-Barjols.

Dans cette optique il apparaît que les ressources potentielles se situeraient en périphérie du massif selon 3 zones :

- Au niveau du contact est de l'unité avec les terrains triasique de la plaine de Saint-Maximin ;
- Au niveau de la Foux de Saint-Zacharie ;
- Dans le prolongement ouest de de l'unité vers l'unité de Roquevaire où les prélèvement AEP sont alimenté par une ressource karstique.

3.8. Unité du massif d'Agnis

3.8.1. Présentation et délimitation de l'unité

L'unité du massif d'Agnis culminant à plus de 900 m d'altitude forme un triangle entre Signe au sud-ouest, Méounes-lès-Montrieux, au sud-est, et Mazaugues au nord. L'unité est limitée à l'est par la dépression triasique de La Roquebrussane-Néoules qui s'étend vers le sud au niveau de Signes en contournant le massif. Au nord et à l'ouest les limites de cette unité correspondent au contact des termes carbonatés du jurassique supérieur avec ceux marno-calcaires du bajocien-bathonien. Ces terrains du bajocien-bathonien sont incluent dans les unités voisines de la Sainte-Baume au nord et des Calanques-Sud-Sainte-Baume à l'ouest pour leur contribution par ruissellement.

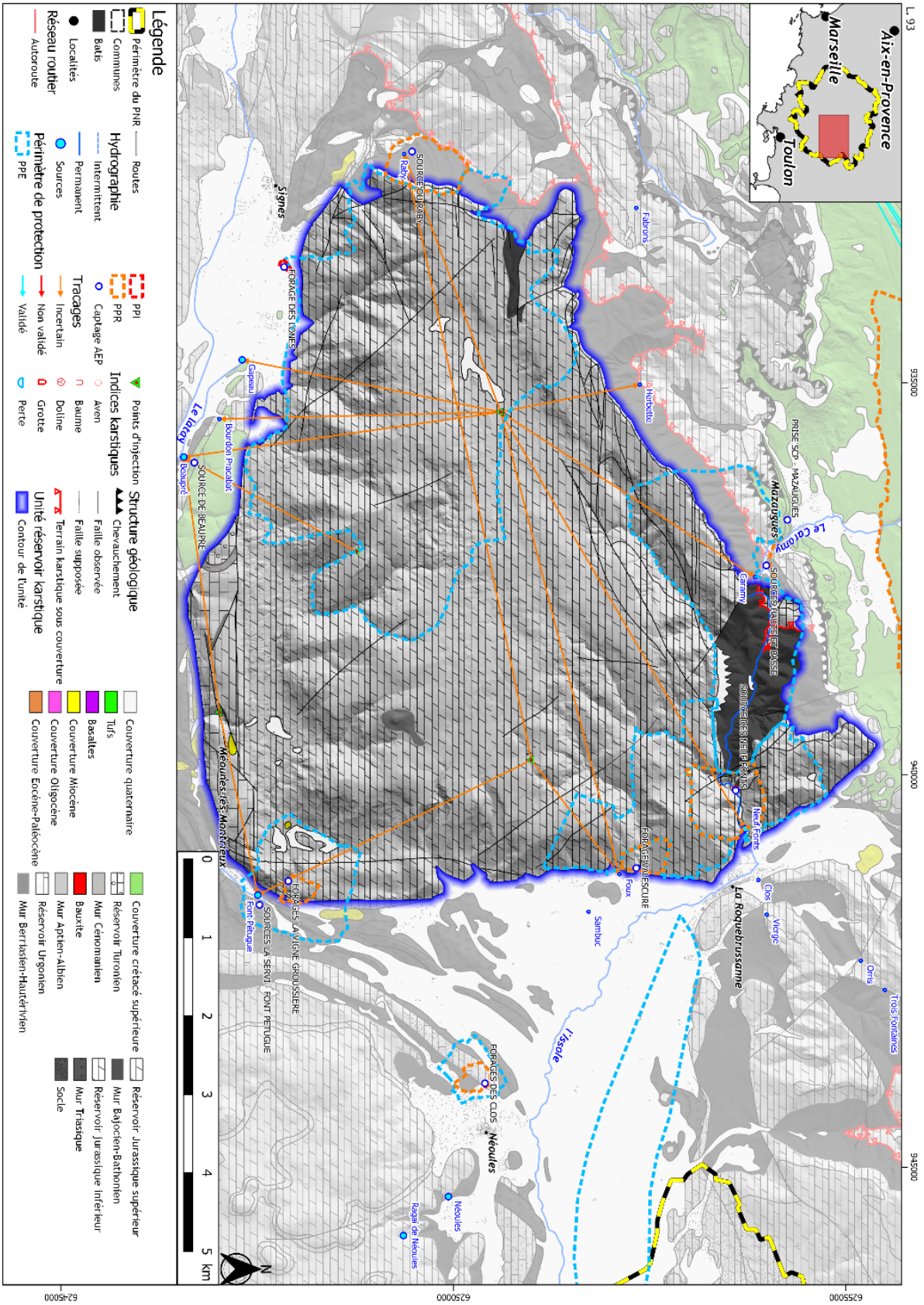
La superficie totale des terrains pris en compte pour l'impluvium est de 51 km² dont la totalité est comprise dans le PNR.

3.8.2. Géologie et formation(s) aquifère(s)

L'unité est limitée sur sa bordure sud et est par des contacts anormaux. L'unité représente l'homologue de la série chevauchante normale de l'unité du Beausset. La structure est monoclinale à pendage sud, localement tabulaire (poljé central du Mourré d'Agnis). Au nord, le Jurassique domine le plateau de Mazaugues, tandis qu'au Sud, des failles normales provoquent sa retombée brutale (Crétacé supérieur en bordure de la dépression de Signes). Au nord-est le Jurassique supérieur des buttes de Lamanon repose quasi directement sur le Crétacé supérieur et s'interrompt à l'est contre le Trias lié à la faille de la Roquebrussanne. Le percement du canal de Provence de Mazaugues—Signes a confirmé le chevauchement vers le Nord du massif du Mourré d'Agnis et l'écaillage de la base de la série jurassique.

L'unité est constituée à l'affleurement des terrains aquifères du jurassique supérieur. Les terrains karstiques du Lias sont séparés du plateau calcaréo-dolomitique Jurassique par la série du Bajocien-Bathonien qui individualise deux unités hydrogéologiques.

Figure 148: Localisation de l'unité karstique du massif d'Agnis.



Karstification

La karstification du massif se raccorde aux plus anciennes phases reconnues sur le massif des Morières au sud.

En effet, le massif d'Agnis présente aujourd'hui plusieurs surfaces karstiques étagées dont les plus hautes se situent à 830-840 m d'altitude. Deux surfaces s'étagent ensuite vers l'ouest aux alentours des 750 m et 650 m. Ces surfaces en position sommitale correspondent au plus ancien événement relatif à un abaissement du niveau de base enregistré depuis la tectonique pyrénéo-provençale. L'établissement de ces surfaces correspond à des phases de stabilité prolongée du niveau de base qui était très proche???. Les secteurs sommitaux sont alors situés en position basse de la paléogéographie dominée par le relief de la Sainte-Baume à l'ouest et des massifs cristallins au Sud. Ces surface pourraient correspondre aux surfaces sommitales S et S' des auteurs Nicod (1967) et Blanc (1997) qui retiennent un âge oligocène pour celles-ci.

Emboîté dans la surface médiane, la plaine d'Agnis correspond à un vaste poljé aujourd'hui drainé par la perte de la plaine d'Agnis située vers le cœur du poljé. Cependant les bordures de corrosion en contre-haut du poljé dans la partie ouest suggère un paléo-aval drainage en direction de l'ouest.

En pied du massif au sud, une autre surface karstique marque la rupture de pente et se développe à une altitude de 450 m. Cette surface trouve sa continuité vers l'est sur le massif de Saint-Clément et vers l'ouest vers le paléo-poljé de Chibron et la surface du Camp. Le dispositif de cette dernière surface traduit le fait qu'avant que le drainage soit comme aujourd'hui assuré vers le sud par la vallée du Gapeau, l'ensemble Chibron-Signes-St-Clément formait un vaste dispositif endoréique avec un point bas situé vers l'ouest de la dépression actuelle de Signe (Camus et Jouves, 2018).

Un petit poljé se développe enfin juste au nord de Méounes, au lieudit Vigne Groussière. Ce poljé s'emboîte dans la surface à 450 m et est reliée à la vallée du Naï par un petit canyon entaillant les formations du jurassique supérieur.

Enfin, le fonctionnement hydrodynamique ultra-tamponné de la source du Gapeau suggère le débordement de la nappe en arrière de la boutonnière triasique et le déversement l'aquifère. Ceci suggère que le réservoir est ici confiné en arrière de la structure triasique, qu'il n'est pas karstifié de façon optimale vers cet exutoire ou qu'il n'a pas bénéficié de mécanisme de décolmatage des zones altérées qui caractérisent tout le pourtour du poljé de Signes (Camus et Jouves, 2018). De plus, les traçages effectués (Gilli, 2000) présentant de nombreuses diffluences vers tout le pourtour du massif (cf. infra) semblent traduire une karstification isotrope du massif.

3.8.3. Hydrogéologie

3.8.3.1. Exutoires et hydrodynamique

Les exutoires se répartissent sur l'ensemble du pourtour du massif :

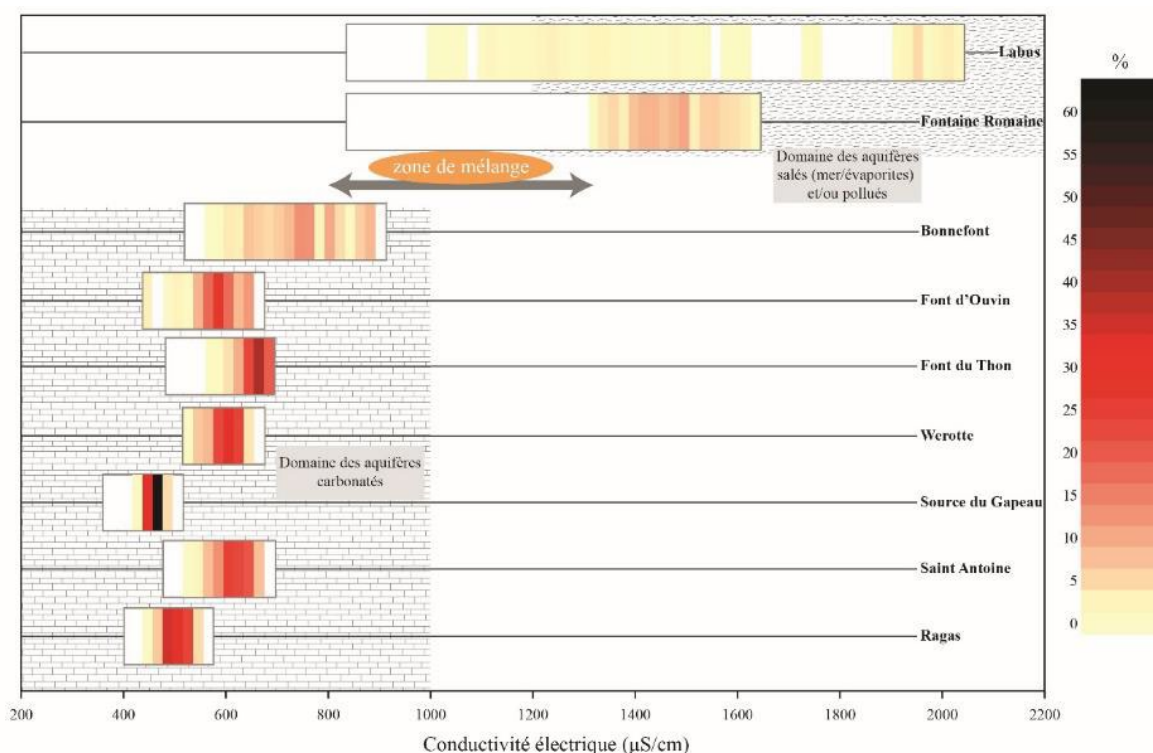
Au Sud émerge le système en karst barré des sources Gapeau-Bourbon Pracabat-Beaupré dont l'hydraulique est dictée par la faille de Méounes mettant en contact l'impluvium Jurassique-Crétacé avec l'imperméable triasique (Chanut, 1976). Les sources représentent un débit cumulé de plus de 200 L/s.

La source du Gapeau a été étudiée dans le cadre du projet KarstEAU (Fournillon, 2012). Elle sourd à Signes dans une vasque reliée à un canal en pierre, dans un terrain privé. L'eau sort au gré d'une fracture dans le Crétacé supérieur. Des traçages artificiels ont montré une alimentation de cette source depuis le massif d'Agnis (Gilli, 2000). Elle est alimentée par un vaste massif dolomitique du Jurassique supérieur

via les calcaires et calcarénites quartzes du Crétacé supérieur. Elle possède un faciès calco-magnésien, marquant une signature forte de l'aquifère dolomitique

La source du Gapeau est caractérisée par une très forte inertie de la température et de la conductivité électrique (Figure 31). La conductivité électrique montre que seules des eaux plus minéralisées, donc au temps de résidence plus long arrivent lors des crues. Choquet (1972) établit via des mesures au tritium que les eaux remobilisées durant les crues sont âgées de plus de 10 ans. La source répond aux pulses de crues rapidement, de l'ordre de la journée, mais montre parallèlement une inertie de plusieurs dizaines de jours face à ces mêmes crues. Cela montre que le karst présent dans les dolomies du Jurassique supérieur permet les transferts de pressions rapides mais la matrice permet de tamponner les crues en termes de transferts de fluides. Cette source se comporte à la fois comme un milieu poreux et comme un milieu karstique (Fournillon, 2012). Cela signifie au final, que l'aquifère doit posséder une importante réserve qui est soumise aux variations saisonnières et qui joue un très grand rôle tampon dans la régulation des crues.

Figure 149 : Distribution fréquentielle de la conductivité électrique de quelques sources du secteur sud-ouest du PNR.
Baudement (2018) modifié d'après Fournillon (2012).



Sur la bordure est émergent du sud au nord, le long d'un accident, les sources de Font Pétugue, de la Foux et des Neuf Fonts.

Au nord et à l'ouest, un ensemble de sources, souvent de faible débit, sont issues de la bordure liasique de l'Agnis. Les plus importantes sont les sources du Caramy qui émergent dans l'Ubac de Caucadis et celle de l'Herbette dans le vallon du même nom sur la commune de Mazaugues, et celles des Fabrons et de la Raby au nord de Signes. Leur débit est estimé à 100 L/s (Cavalera, 2007).

L'ensemble des exutoires représente un débit d'environ 550 l/s (Cavalera, 2007).

Les investigations réalisées durant le percement de la Galerie Mazaugues – Signes pour le compte du Canal de Provence ont montré que le Massif d'Agnis possède une importante zone non-saturée ; celle-ci peut atteindre presque 500 m. Un niveau piézométrique en dôme s'établit en son sein, à travers les calcaires et marno-calcaires du Jurassique moyen, et les dolomies du Jurassique supérieur. Cette disposition hydrique est en accord avec les traçages effectués par Gilli (2000), qui ont caractérisé des écoulements radiaux divergeant depuis le centre du massif. Dans la partie en amont de Signes, la galerie est généralement sous le niveau piézométrique : de nombreuses venues d'eau y ont été rencontrées, le radier de la galerie drainant jusqu'à 13 m³/s.

Enfin, du point de vue hydrogéologique, les formations triasiques de Signes semblent jouer un rôle d'écran imperméable dans la mesure où aucune trace évaporitique n'a été rencontrée dans les analyses hydrochimiques de ce secteur (Fournillon, 2012).

3.8.3.2. Traçages

Quatre traçages sur le massif d'Agnis ont montré l'alimentation des sources bordières du massif à partir d'aven et de pertes (Gilli, 2000). Nous ne disposons malheureusement pas des informations détaillées sur ces traçages.

- Le traçage à Escampo-Pissadou et détecté à la source Beaupré et à Font-Pétugue ;
- Le traçage à l'aven de la Marseillaise, sur le flanc sud du massif, et détecté à la source Beaupré ;
- Le traçage dans la perte de la Plaine d'Agnis et détecté sur l'ensemble des sources sur le pourtour du massif : Herbettes, Caramy, Neufs Fonts, Foux, Raby, Gapeau, Bourdon-Pracabat et Beaupré ;
- Le traçage à la perte du Jas d'Agnis, sur la partie orientale du massif et détecté à Font Pétugue, la Foux et la Raby

Même si nous ne disposons pas des informations détaillées pour ces traçages, ces derniers reflètent à la fois les conditions karstologiques d'un karst isotrope structuré par altération par fantômisatation et les conditions piézométriques de la présence d'un dôme provoquant des écoulements radiaux.

3.8.3.3. Aire d'alimentation et conditions de recharge

L'alimentation de cette unité est uniquement autochtone, de type unaire. Les conditions de recharge sont de deux types :

- Diffuse, sans drainage de surface préalable, et les précipitations qui tombent sont intégralement drainées par infiltration verticale dans le karst, sur la majorité des terrains affleurant au sein de l'unité sur les anciennes surfaces démantelées ;
- Concentrée, sous forme de pertes ou de ponors notamment dans le grand poljé de la plaine d'Agnis et la perte du même nom et dans la perte du Jas d'Agnis.

3.8.4. Réserves potentielles

La géologie, la karstification et l'hydrogéologie de ce massif suggère des réserves potentielles non négligeables d'un intérêt local. Cette ressource contenue essentiellement dans la porosité matricielle et dans les altérations karstiques de type fantôme de roche des dolomies du jurassique supérieur peut s'avérer relativement facilement mobilisable. Cependant, il n'apparaît de zone saturée majeure, mise à part à proximité de Signes au nord où la structure géologique pourrait former une flexure.

3.9. Unité de la montagne de la Loube

3.9.1. Présentation et délimitation de l'unité

L'unité hydrogéologique karstique de la montagne de la Loube est située au nord-est du PNR de la Sainte Baume et se prolonge au-delà du périmètre d'étude en direction de l'est. L'unité s'étend du nord au sud entre Brignoles et Garéoult et d'ouest en est de la vallée au Nord de la Roquebrussane à la barre de Saint-Quinis formant les contreforts du massif au Nord-est de la Besse-sur-Issole. Sa superficie est d'environ 68,3 km² (Figure 32). Les limites de cette unité reposent essentiellement sur la lithologie et le contact des dolomies du jurassique supérieur avec leur mur de bajocien-Bathonien marno-calcaire.

La superficie totale des terrains pris en compte pour l'impluvium est de 68.3 km² dont 40 km² sont compris dans le PNR.

3.9.2. Géologie et formation(s) aquifère(s)

L'unité hydrogéologique karstique de la montagne de la Loube correspond à une structure anticlinale essentiellement composée à l'affleurement de jurassique supérieur dolomitique laissant apparaître un cœur d'Hettangien à l'est sous le bajocien-bathonien inférieur. Cette structure correspondrait au prolongement est de la série chevauchante de la Sainte-Baume et d'Agnis. Sur la retombée nord du dôme se développe une zone de replis et d'écailles au contact du soubassement jurassique et crétacé supérieur avec la présence de bauxite interposée. Cette partie Nord représenterait la continuité de l'unité du Plan d'Aups et de la Sainte-Baume.

La direction générale des plis et chevauchements est E-O, correspondant à la phase pyrénéo-provençale. Ultérieurement, ces plis ont été disloqués par des plissements transversaux.

Les principales formations géologiques sont, du plus ancien au plus récent :

- Jurassique inférieur (Lias) : calcaires, calcaires dolomitiques, et calcaires marneux. Cet ensemble est perméable avec une épaisseur d'environ 200 m.
- Jurassique moyen (Bajocien-Bathonien inférieur) : formations à dominante marno-calcaire d'une épaisseur d'environ 500 à 600 m. Cet ensemble assez peu perméable, mais peut être traversé par des écoulement au moyen de la fracturation.
- Jurassique supérieur : calcaires, calcaires dolomitiques. Ces formations d'une épaisseur d'environ 500 m sont perméables et karstifiées.
- Des dépôts de bauxite du crétacé moyen sont présent au nord-est de l'unité. Cette formation est présente en couches irrégulières, intercalées entre le Jurassique supérieur et le Crétacé supérieur.
- Crétacé supérieur : ces formations affleurent sur un axe est-ouest au nord de l'unité et correspondent d'abord à des calcaires (Turonien) puis à des formations gréseuses intercalées avec des marnes. Cet ensemble est peu perméable.

Figure 150 : Localisation de l'unité karstique de la montagne de la Loube.

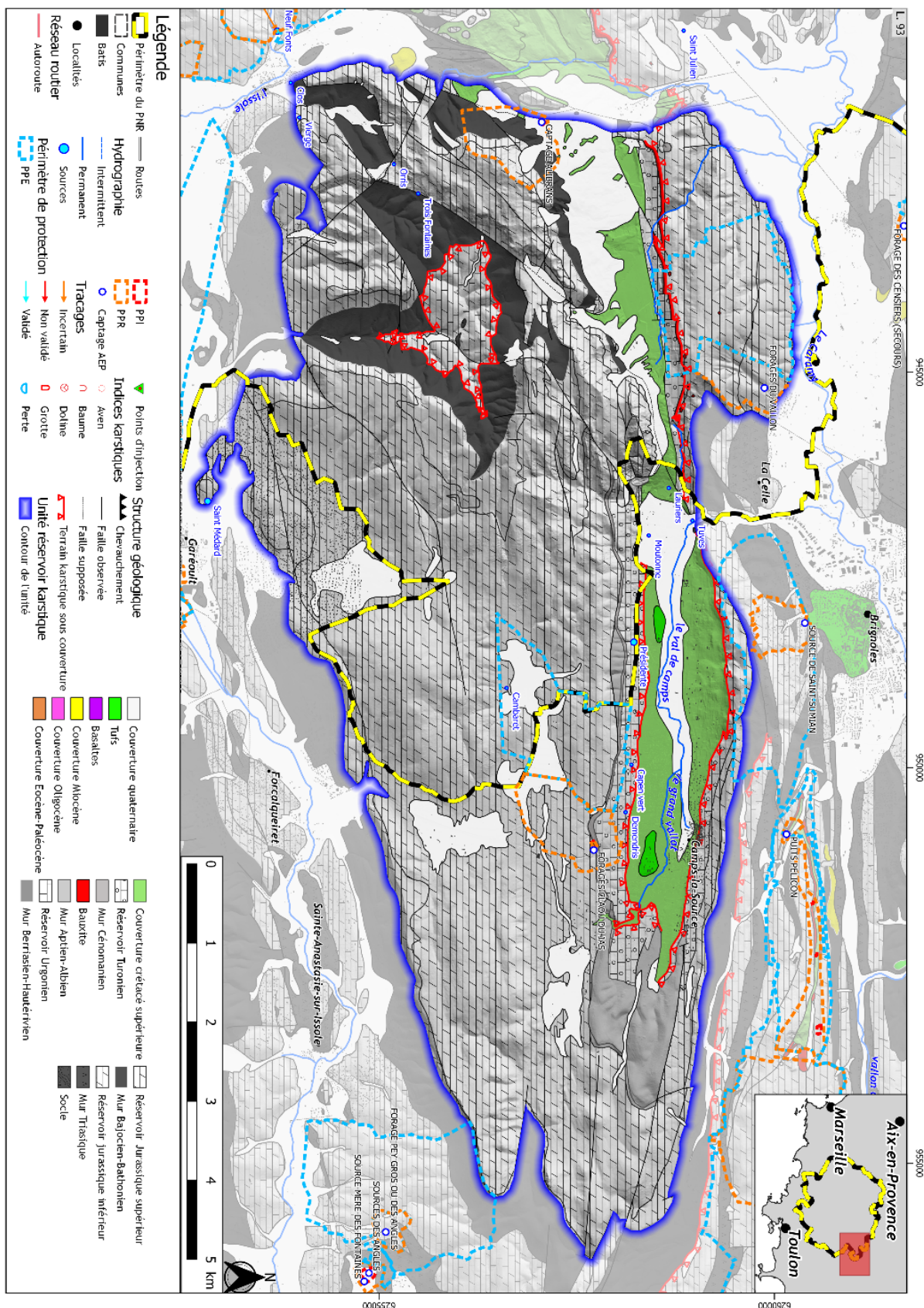
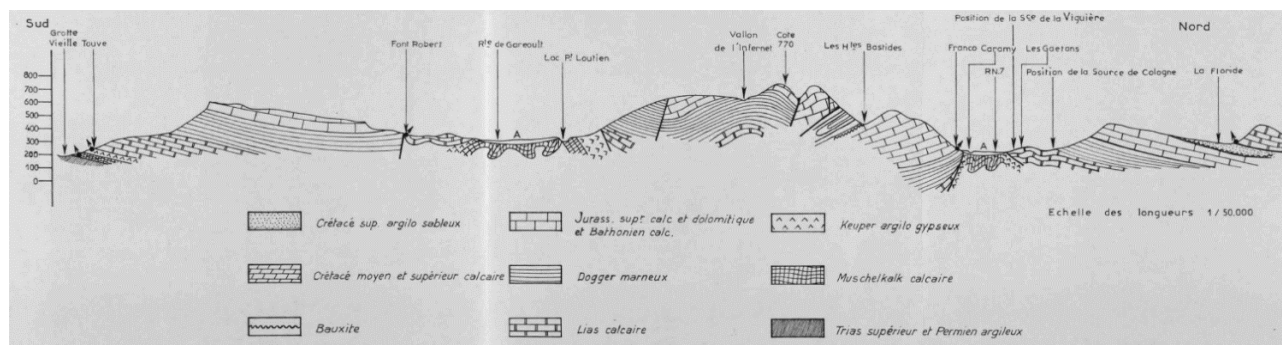


Figure 151 : Coupe structurale nord-sud du Pilon-Saint Clément et de la montagne de la Loube. Durozoy et Gouvernet (1971)



3.9.3. Karstification

La présence de source en périphérie du massif au contact des couches moins perméables indique la présence d'une structuration principalement en trois sous-systèmes karstiques :

- Au nord vers la source de la Présidente et vers les sources au contact du cœur du synclinal de crétacé supérieur ;
- Au sud-est vers la source de Saint-Médard ;
- Au sud-ouest vers la source de la Vierge.

Etant donné l'isolement géologique et l'absence d'incision dans les vallées périphériques, il est peu probable qu'une karstification se développe en profondeur, sous le niveau de base actuel. Les calcaires et dolomies de l'hettangien pourraient quant à eux renfermer une karstification ancienne de type fantômisation, tel que cela a été reconnu dans la vallée du Gapeau (Camus et Jouvès, 2018 ; Jouvès, 2018).

3.9.4. Hydrogéologie

3.9.4.1. Exutoires

Plusieurs petits exutoires sont présents sur le massif de la Loube.

Dans la partie Nord, ces exutoires se localisent principalement en bordure sud de la dépression de crétacé supérieur formant le toit imperméable. Ces exutoires peuvent correspondre à des sources de débordement comme la Fontaine de Mendris, la source de la Présidente ($Q_{moy} = 30 \text{ l/s}$) ou la source de la Moutonne. Sous ce cœur de crétacé supérieur, l'aquifère jurassique passe vraisemblablement en captif, alors qu'il est libre dans le reste de l'unité. En surface et dans le cœur de crétacé supérieur le cours d'eau le Val de Camp draine les eaux vers le Caramy.

Au sud, le massif est principalement drainé par la source de Saint Médard (Garéoult) et la source de la Vierge (La Roquebrussanne). La source de Saint Médard (Alt. 312 m ; $Q_{moy} = 70 \text{ l/s}$) est légèrement sulfatées mais dans une proportion beaucoup plus faible que les lacs des Laouciens plus bas en altitudes (302 à 305 m) (Courbon, 2012). La source de Saint Médard, pourrait correspondre à un exutoire de débordement de la partie captive de l'aquifère jurassique plongeant dans la dépression de Garéoult, et recoupé par l'érosion de surface.

3.9.4.2. Traçages

Aucun traçage n'est connu sur cette unité.

3.9.4.3. Aire d'alimentation et conditions de recharge

Le massif est topographiquement et géologiquement isolé. La recharge naturelle d'une partie de cette unité se fait exclusivement par infiltration directe des précipitations sur les affleurements principalement du jurassique supérieur dolomitique. Localement, la recharge peut s'effectuer de manière concentrée par des pertes des cours d'eau temporaires en provenance des contreforts hauts.

3.9.4.4. Hydrodynamique

Peu de données décrivent l'hydrodynamique de cette unité. Les jaugages effectués en 1970 (Durozoy et Gouvernet, 1971) indiquent que les sources de La Présidente et de Saint-Médard ont des débits variant respectivement de $Q_{moy} = 30 \text{ l/s}$, $Q_{min} = 10 \text{ l/s}$ et $Q_{moy} = 80 \text{ l/s}$ et $Q_{moy} = 70 \text{ l/s}$, avec $Q_{min} = 3 \text{ l/s}$ et $Q_{max} = 400 \text{ l/s}$. Les écoulements sont décrits comme pour l'essentiel des écoulements karstiques libres, plus ou moins compartimentés selon la complexité structurale (Cova et Durozoy, 1983).

3.9.5. Réserves potentielles

Quelques forages AEP sont présents sur l'unité principalement sur la partie nord.

Le dispositif géologique et karstique de la montagne de la Loube, suggère une recharge essentiellement assurée par les précipitations et une décharge des aquifères karstiques via les sources de bordure. L'absence supposée d'une zone noyée profonde suggère l'absence de réserves hydraulique majeure.

Seule la partie nord, les dolomies du jurassique supérieur situées sous le cœur de crétacé supérieur pourrait renfermer une réserve localement intéressante. Les abords des sources de Saint-Médard et de la Vierge au sud pourraient également contenir une réserve localement intéressante.

Il est à noter cependant que l'ensemble de ces sources alimente les cours d'eau secondaires qui participent à l'alimentation des cours d'eau de l'Issole et du Caramy rejoignant le Lac de Carcès utilisé pour l'AEP.

L'aquifère du Lias, affleurant dans le cœur du dôme de la montagne de la Loube, est potentiellement karstifié et capacitif (analogie avec l'état de karstification par fantômisiation de ce niveau dans la vallée du Gapeau). Cependant, la recharge de cet aquifère risque d'être limitée et la ressource non-renouvelée.

3.10. Unité du Pilon Saint-Clément

3.10.1. Présentation et délimitation de l'unité

Cette unité se situe en bordure orientale du PNR, à l'est du village de Méounes-Les-Montrieux et au sud de Néoules. La délimitation de l'unité est circonscrite aux affleurements de bathonien supérieur formant l'ossature du massif.

La superficie totale des terrains pris en compte pour l'impluvium est de 25.6 km² dont la totalité est comprise dans le PNR.

3.10.2. Géologie et formation(s) aquifère(s)

Le massif du Pilon Saint Clément forme une structure tabulaire à faible pendage vers le nord-ouest dont les contreforts sont essentiellement composés de Bathonien supérieur. Cette série d'environ 100 mètres est essentiellement composée de calcaires passant progressivement à des marno-calcaires vers le sommet. Des reliefs de buttes de jurassique supérieur dolomitique parcourent le massif en continuité stratigraphique sur une mince couche de Callovien marno-calcaire (≈ 10 m). L'unité est limitée au sud-est par l'aquitard du bajocien-bathonien inférieur marno-calcaire et de l'ouest au nord-est par la bande triasique de Méounes-La Roquebrussanne-Garéoult formant une dépression.

3.10.3. Karstification

Le massif du pilon Saint Clément correspond à un karst à butte parsemé de plusieurs poljés. De nombreuses cavités s'ouvrent sur ou en bordure du massif. Il s'agit de plusieurs réseaux spéléologiques se développant dans les calcaires bathonien : Le Ragaïe de Néoules, la Baume de Néoules, le réseau de Planesselve – grotte des Rampins, Fougély. Ces réseaux se développent sur le niveau de base perché, imposé par le contact entre le bathonien supérieur calcaire et le Bajocien-Bathonien marno-calcaire. La nappe est en écoulement karstique libre.

Le poljé de l'est du massif trouve sa continuité vers l'ouest en direction du poljé de Signe. Avant que le drainage soit comme aujourd'hui assuré vers le sud par la vallée du Gapeau, l'ensemble Signe-Chibron-St-Clément forme un vaste dispositif endoréique avec pour point bas la bordure de corrosion située à l'ouest de la dépression de Signe, c'est-à-dire en direction d'une perte dans les dolomies du Jurassique supérieur au sud-ouest de Signe (Camus et Jouves, 2018).

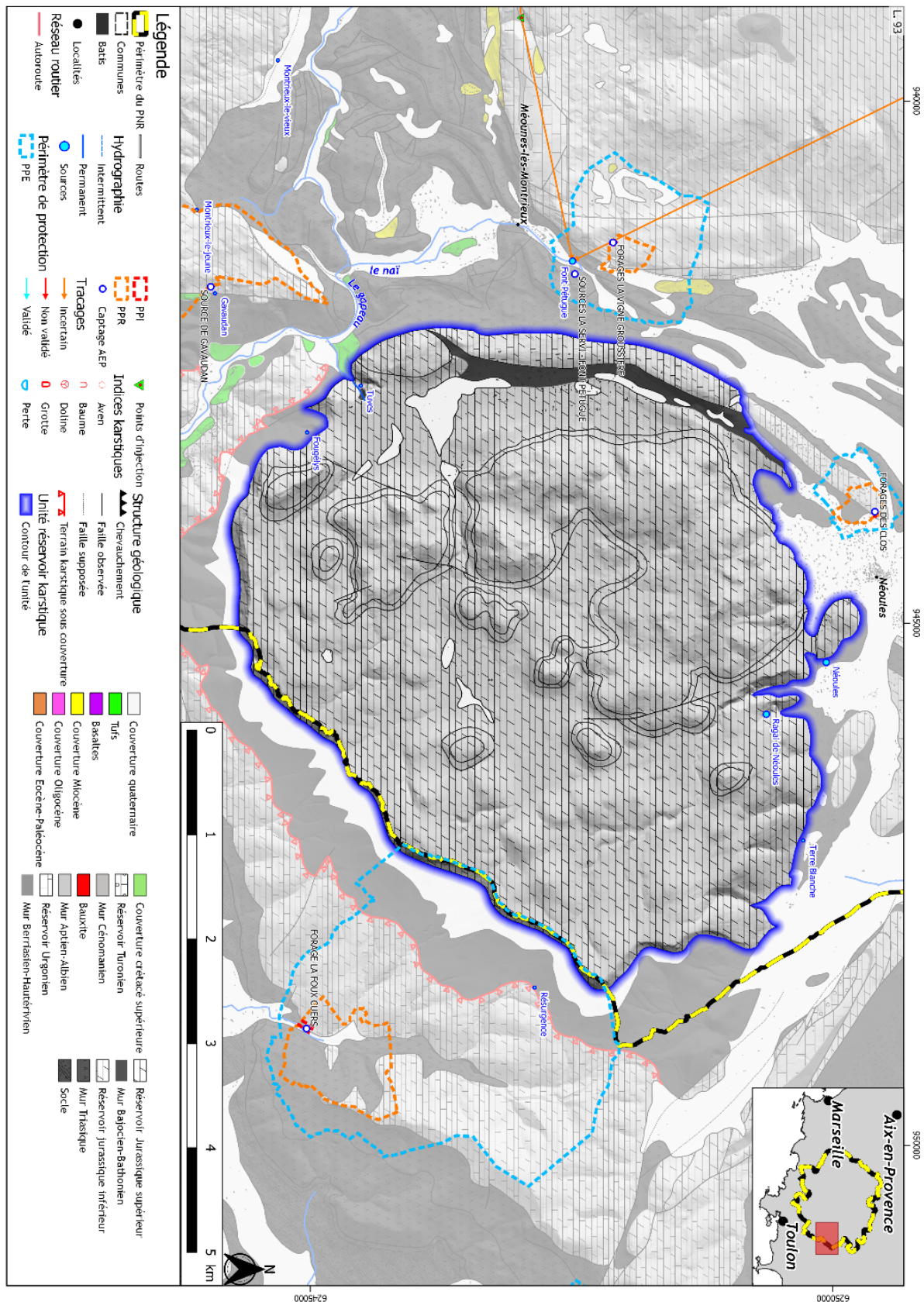
3.10.4. Hydrogéologie

3.10.4.1. Exutoires

Plusieurs petits exutoires sont présents sur le pourtour du massif au niveau du contact entre le bathonien supérieur calcaire et le bajocien-bathonien marno-calcaire. Parmi ces exutoires, sont présents au nord, la source de Font Gayaou ($Q_{moy} = 65$ l/s), Font Robert ($Q_{moy} = 50$ l/s), la source de trop plein du Ragaïe de Néoules, la baume de Néoules, et terre Blanche, au nord-est, les sources du Moulin à Parole, du Château de Trians et de Trians, au sud-ouest la source des Tuves (exutoire de la rivière souterraine de Planesselve) et la source Fougély, et au sud-est la Font de Garrel et le Brusquet. Les eaux ont principalement un faciès de type bi-carbonatés calcique (Fournillon, 2012). Les sources du secteur Nord alimentent la plaine de la Roquebrussanne-Garéoult et l'Issole.

La source Saint-Mathieu, située plus en aval du Gapeau, dont la signature chimique serait influencée par des évaporites, et les valeurs de $\delta^{18}O$ seraient cohérentes avec une zone d'infiltration sur le Pilon St Clément (Fournillon, 2012) pourrait également drainer une partie des eaux du massif qui transiteraient au travers des niveaux du Lias et du Trias.

Figure 152: Localisation de l'unité karstique du Pilon Saint-Clément.



3.10.4.2. Traçages

Il n'existe pas de traçage connu sur l'unité du Pilon Saint Clément. Néanmoins, la structure circonscrite de l'unité et la présence de sources sur tout le pourtour du massif permettent de supposer un drainage intégral du massif par les sources bordières. Des opérations de traçages pourraient être cependant intéressantes afin de mettre en évidence les bassins d'alimentations des différentes sources, notamment celles de la partie nord (Ragaïl de Néoules, Terre Blanche) de celles de la partie sud-ouest (Tuves, Fougélyls).

3.10.4.3. Aire d'alimentation et conditions de recharge

Le massif forme un îlot, au fonctionnement hydrogéologique indépendant des structures géologiques environnantes (massifs de l'Agnis, de la Sainte-Baume, de Siou-Blanc, et montagne de la Loube). La recharge est de type unaire : le massif est uniquement alimenté par les pluies tombant sur le massif qui s'infiltrant alors directement. Il n'existe pas de cours d'eau en surface.

La zone d'alimentation est parcourue de morphologies karstiques, telles que des poljés, buttes, plateau et lapiaz (Blanc, 2010), aux comportements différents en termes d'infiltration. Deux types de recharge sont distingués :

- Diffuse, sans drainage de surface préalable, et les précipitations qui tombent sont intégralement drainées par infiltration verticale dans le karst, sur la majorité des terrains affleurant au sein de l'unité ;
- Concentrée, sous forme de pertes ou de ponors notamment en bordure des poljés.

3.10.4.4. Hydrodynamique

Dans le cadre du projet « Eaux souterraines » à destination des élèves de collège (Arfib et Mourau, 2015), un suivi de hauteur d'eau, température et conductivité électrique a été réalisé au siphon du Ragaïl de Néoules. Ce suivi d'octobre 2014 à février 2016 a mis en évidence une dynamique rapide de variation des niveaux d'eau dans les conduits karstiques (jusqu'à 20 mètres de mise en charge), réagissant en quelques heures après les précipitations et avec un retour à un niveau bas en quelques jours (Arfib et Mourau, 2015). Ces grandes crues apparaissent après un cumul de pluie supérieur à 50 mm sur 48 heures, et quelques rares fois pour une pluie moins importante mais qui suit une période pluvieuse dans les deux jours précédents. Le suivi en conductivité électrique et en température suggère également un faible effet piston et une arrivée rapide des eaux d'infiltration sans homogénéisation préalable. Cette dynamique sur le Ragaïl de Néoules suggère une faible inertie du système. Des études complémentaires seraient à réaliser sur les autres exutoires du massif.

3.10.5. Réserves potentielles

De par sa géologie, l'unité réservoir karstique du Pilon Saint-clément est un karst perché qui ne présente pas de réel potentiel quantitatif.

4. SYNTHÈSE ET CONCLUSION

Dans un contexte où dans les pays méditerranéens, le karst est souvent la seule formation aquifère utilisable, la délimitation et la caractérisation des unités réservoir karstique permet l'identification des territoires à prendre en compte dans une démarche de protection à long terme de la ressource en eau.

Le PNR de la Sainte-Baume couvre plusieurs massifs dont le Mont-Olympe-Aurélien, la montagne de la Lare, la chaîne de la Sainte-Baume, les massifs de l'unité du Beausset (Plateau du Camp, Siou-Blanc, Morrières, Mont-Caume), massif d'Agnis, du Pilon Saint-Clément, et la montagne de la Loube. Ces massifs, essentiellement carbonatés, constituent de véritables réservoirs d'eau souterraine, pour certains stratégiquement placés à proximité des grandes agglomérations de Marseille et Toulon. Ces réservoirs hydrogéologiques multicouches sont alimentés par les eaux d'infiltration selon différentes modalités de recharge. L'alimentation peut être principalement directe sur des surfaces lapiazées ou via des avens et des pertes, retardée par la présence de couvertures peu perméables sur les formations karstiques, ou éloignée par la présence de terrains peu perméables assurant un ruissellement qui alimentent en aval le karst (système binaire). Les eaux d'infiltration sont drainées par des systèmes karstiques structurés en réponse aux contraintes géologiques et paléogéographiques inhérentes aux différentes unités. Globalement les massifs sont drainés selon deux modalités :

- Un drainage superficiel sur le pourtour des massifs dans les points les plus bas de la topographie au contact des formations peu perméables ;
- Un drainage profond vers des exutoires d'importance régionale (Port-Miou, Bestouan, Source de Dardennes)

Les principales ressources sont localisées au sein des calcaires et dolomies fracturés et karstifiés. L'aquifère régional est principalement constitué par

- le jurassique supérieur dolomitique, poreux, fracturé et karstifié ;
- (2) le Jurassique inférieur aux propriétés semblables au précédent, mais d'une épaisseur moindre ; et
- (3) le crétacé inférieur calcaire, non poreux mais intensément fracturé et karstifié et où la ressource est difficile d'accès du fait de la concentration des écoulements dans de grands vides karstiques.

Sur le territoire du PNR (843 km²), neuf unités réservoirs karstiques sont identifiées, représentant environ 70 % de la surface. Parmi ces neuf unités réservoirs :

- Deux présentent des ressources potentielles d'importance régionale :
 - L'unité de Siou-Blanc-Dardennes pour l'alimentation future de l'agglomération de Toulon et où les modélisations ont permis d'établir un bilan hydrologique pouvant soutenir des prélèvements de l'ordre de 300 l/s (Jouves *et al.*, 2018).
 - L'unité des Calanques-Sud-Sainte-Baume et l'unité de la Sainte-Baume participant majoritairement aux exutoires majeurs de Port-Miou et Bestouan où la ressource est considérable.
- Quatre présentent des ressources potentielles à évaluer :
 - L'unité du Mont-Aurélien dont la connaissance est à améliorer ;
 - L'unité de la montagne de la Lare qui participe à l'alimentation des sources de Port-Miou et Bestouan et qui pourrait présenter des ressources d'importance locale ;
 - L'unité d'Agnis dont la géologie, la karstification et l'hydrogéologie indiquent des réserves potentiellement exploitables ;
 - L'unité d'Ollioules où la réserve peut être importante mais où la géologie complexe limite la compréhension de cet hydro système.

- Deux présentent des ressources potentielles d'importance locales :
 - L'unité de la Montagne de la Loube ;
 - L'unité du Pilon Saint Clément où la géologie n'est pas favorable à la présence de réserve.

Il est à noter que mises à part les unités du Pilon-Saint Clément, de la montagne de la Loube et du massif d'Agnis, toutes les autres unités sont, par le biais d'accidents tectoniques et par la karstification, potentiellement en continuité hydrogéologique. Les unités de la partie occidentale peuvent participer à ce titre à l'alimentation des sources d'importance régionale de Port-Miou et Bestouan.

Les terrains triasiques n'ont pas été investigués. Cependant, de par la lithologie de certains niveaux, notamment les carbonates du Muschelkalk, ces terrains peuvent renfermer des nappes localisées. Ces terrains sont souvent très tectonisés et la continuité hydraulique pas toujours assurée.

Dans cette première analyse d'identification et de caractérisations des unités réservoirs karstiques, il apparaît que des investigations supplémentaires sont nécessaires afin d'affiner et de compléter la connaissance sur certains secteurs, notamment :

- Dans zone du poljé du Plan d'Aups. En effet, compte tenu de la forte urbanisation du poljé du Plan d'Aups et de la zone de recharge importante que cette zone constitue pour les réservoirs hydrogéologiques, il serait important de confirmer les résultats discutables des traçages effectués dans cette zone. Cette zone constitue une zone de recharge sensible aux pollutions, de par son fonctionnement endoréique qui concentre les eaux avant qu'elles ne rejoignent le milieu souterrain.
- Sur l'unité du Mont-Aurélien afin de déterminer le devenir des eaux d'infiltration
- Sur l'unité des Calanques-Sud-Sainte-Baume, notamment dans la terminaison est de l'unité où (i) le devenir des eaux se perdant dans le Latay est inconnu, et (ii) dans la zone de partage des eaux supposée vers le circuit du Castellet.

BIBLIOGRAPHIE

Arfib, B., Douchet, M., 2011. Etat des connaissances hydrogéologiques et spéléonautiques sur les rivières souterraines sous-marines de Port Miou et du Bestouan (Cassis, France). , 9th Conference on Limestone Hydrogeology, , Besançon, France.

Arfib, B., Lamarque, T., 2011. Traçages artificiels KarstEAU 2011 - Rapport de synthèse des injections d'Acide Amino G, Sulforhodamine B et Fluorescéine à Cuges les Pins, Ceyreste et Signes., Université de Provence.

Arfib, B., Lamarque, T., Maurel, P., Fournillon, A., 2011. Traçages artificiels à travers l'aquifère régional mixte carbonaté-silicoclastique de l'unité du Beausset (SE France). 9th Conference on Limestone Hydrogeology,, Besançon, France, pp. 21-24.

Arfib, B., Lamarque, T., 2012a. Etude du bassin d'alimentation des sources sous-marines de Port Miou et Bestouan par traçage artificiel : les marnes de l'Aptien sont-elles imperméables?, CFH-AIH Colloque Ressources et Gestion des aquifères littoraux, Cassis, France.

Arfib, B., Lamarque, T., 2012b. Résultats préliminaires et premières interprétations du traçage KARSTEAU du 08 février 2011 par injection de Sulforhodamine B à la perte de Mauregard (Ceyreste) (version du 09/02/2012). Résultats positifs sur les sources sous-marines de la baie de Cassis : Bestouan et Port Miou. Aix-Marseille Université, 14.

Arfib, B., 2015a. Traçage artificiel au gouffre de la Gorguette (Cassis) le 21/10/15, Cassis Rivière mystérieuse.

Arfib, B., 2015b. Traçage artificiel au gouffre du Mussuguet (Cassis), Cassis Rivière Mystérieuse.

Arfib, B., Charlier, J.B., 2015. Assessing Freshwater Resources in Coastal Karstic Aquifer Using a Lumped Model: The Port-Miou Brackish Spring (SE France). 313-321, doi:10.1007/978-3-642-17435-3_35.

Arfib, B., Mourau, F., 2015. Le fonctionnement hydrogéologique d'une cavité karstique sous climat méditerranéen comme appui à un projet pédagogique Régaie de Néoules (Var). Karstologia, 66, 1-14.

Arfib, B., Charlier, J.B., 2016. Insights into saline intrusion and freshwater resources in coastal karstic aquifers using a lumped Rainfall-Discharge-Salinity model (the Port-Miou brackish spring, SE France). Journal of Hydrology, 540, 148-161, doi:10.1016/j.jhydrol.2016.06.010.

Arthaud, F., Matte, P., 1975. Les décrochements tardi-Herciniens du Sud-Ouest de l'Europe. Géométrie 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.

Audra, P., Mocochain, L., Camus, H., Gilli, E., Clauzon, G., Bigot, J.Y., 2004. The effect of the Messinian Deep Stage on karst development around the Mediterranean Sea. Examples from Southern France. Geodinamica Acta, 17(6), 389-400, doi:10.3166/ga.17.389-400.

Baudement, C., Arfib, B., Mazzilli, N., Jouvès, J., Lamarque, T., Guglielmi, Y., 2017. Assessing floods and groundwater management of a highly dynamic karst with a reservoir model (Dardennes springs, SE France). Evaluation des crues et gestion des eaux souterraines d'un karst fortement dynamique avec un modèle à réservoirs (sources de Dardennes, S-E France) (submitted). Bull. Soc. Geol. Fr.

- 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., Jouvès, 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.
- Bercovici, C., 1983.** Contribution à la géologie de la région nord-toulonnaise. Structure de la zone Broussan-Dardennes. Cartographie détaillée et interprétation. Thèse de Doctorat de l'Université de Provence., 80.
- Bertrand, M., 1887.** Ilôt triasique du Beausset (Var), analogies avec le bassin houiller franco-belge et avec les Alpes de Glaris. *B Soc Geol Fr*, 15, 667-702.
- 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.
- Bestani, L., 2015.** Géométrie et cinématique de l'avant-pays provençal : Modélisation par coupes équilibrées dans une zone à tectonique polyphasée. Ph. D. PhD, Aix-Marseille Université, 246 pp.
- Bestani, L., Espurt, N., Lamarche, J., Floquet, M., Philip, J., Bellier, O., Hollender, F., 2015.** Structural style and evolution of the Pyrenean-Provence thrust belt, SE France. *B Soc Geol Fr*, 186(4-5), 223-241, doi:10.2113/gssgfbull.186.4-5.223.
- Bestani, L., Espurt, N., Lamarche, J., Bellier, O., Hollender, F., 2016.** Reconstruction of the Provence Chain evolution, southeastern France. *Tectonics*, 35(6), 1506-1525, doi:10.1002/2016tc004115.
- Blanc, J.J., 1992.** Importance géodynamique des surfaces d'aplanissement en Provence. *Karst et évolution climatique*, 291-307.
- Blanc, J.J., 1997.** Géodynamique et histoire du karst-Application au sud-est de la France [Paleokarsts, evolution and geodynamics. Application to the South-eastern France.]. *Quaternaire*, 8(2), 91-105.
- Blanc, J.J., 2001.** Histoire géologique et enregistrement karstique: exemple du massif de Siou Blanc et de ses abords (Var). *Karstologia*, 37, 11-22.
- Blanc, J.J., 2010.** Explorations sous-marines : les karsts et les surfaces d'érosion au large de la Provence occidentale. *Karstologia*, 55, 27-38.
- Blavoux, B., Gilli, É., Rousset, C., 2004.** Alimentation et origine de la salinité de la source sous-marine de Port-Miou (Marseille-Cassis). Principale émergence d'un réseau karstique hérité du Messinien. *Comptes Rendus Geoscience*, 336(6), 523-533, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2003.10.027.
- Camus, H., 2003.** Vallées et réseaux karstiques de la bordure carbonatée sud Cévenole. Relations avec la surrection, le volcanisme et les paléoclimats., M. de Montagne. Bordeaux III.
- Camus, H., Jouvès, J., 2018.** Diagnostic karstologique du réservoir de Dardennes-Siou-Blanc, Cenote.
- Cavalera, T., 2007.** Etude du fonctionnement et du bassin d'alimentation de la source sous-marine de Port-Miou (Cassis, Bouches-du-Rhône). Approche multicritère. PhD, Université de Provence - Aix Marseille I, 403 pp.
- Champion, C., Choukroune, P., Clauzon, G., 2000.** La déformation post-Miocène en Provence occidentale. *Geodinamica Acta*, 13, 67-85.

- Chanut, J.-P., 1976.** Hydrogéologie des massifs jura-crétacés et du Trias du S.W. varois. PhD, Université de Provence, 249 pp.
- Choquet, C., 1972.** Etude géotechnique et hydrogéologique d'aménagements du Canal de Provence au Nord de Toulon (Var). . 168.
- 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., 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.
- Combes, P., 1984.** La tectonique récente de la Provence occidentale, caractéristiques dynamiques et cinématiques: méthodologie de zonation tectonique et relations avec la sismicité. Thèse Sciences, Université de Strasbourg, 182.
- Cornet, C., 1966.** Evolution tectonique et morphologique de la Provence depuis l'Oligocène. PhD, Univ. Paris, 245 pp.
- Coulier, C., 1985.** Hydrogéologie karstique de la Sainte-Baume occidentale (Bouches-du-Rhône - Var). Ph.D., Université de Provence, 400 pp.
- Coulon, C., 1967.** Le volcanisme basique de la Basse Provence occidentale (région toulonnaise et massif des Maures).
- Courbon, P., 2012.** Les mégadolines du var. Spelunca, 127, 14-20.
- Cova, R., Durozoy, G., 1983.** Notice explicative de la carte hydrogéologique du département du Var à 1/200 000.
- Durand, R., Margaria, Y., 2015.** La liaison Saint-Cassien / Foux de Nans-les-Pins est maintenant une réalité. Spelunca, 139, 47-50.
- Durozoy, G., Paloc, H., 1969.** Enseignements apportés par les expériences de colorations – Bassin du Beausset (Bouches-du-Rhône et Var).
- Durozoy, G., Gouvernet, C., 1971.** Etude des ressources hydrauliques des bassins du Caramy et de l'Issole.
- Fermier, M., Garin, T., Ait Messaoud, A., Gourmelon, M., Mektoub, N., 2015.** Etude des transferts d'eau souterraine dans le karst par traçage artificiel. Massif de la Sainte-Baume. Source des Encanaux. Ms, Aix-Marseille Université.
- Fitzgerald, P.G., Muñoz, J.A., Coney, P.J., Baldwin, S.L., 1999.** Asymmetric exhumation across the Pyrenean orogen: implications for the tectonic evolution of a collisional orogen. Earth and Planetary Science Letters, 173(3), 157-170, doi:10.1016/s0012-821x(99)00225-3.

Floquet, M., Gari, J., Hennuy, J., Léonide, P., Philip, J., 2005. Sédimentations gravitaires carbonatées et silicoclastiques dans un bassin en transtension, séries d'âge Cénomanién à coniacien moyen du Bassin-Sud Provençal. Livret guide d'excursion géologique. , 10ème Congrès Français de Sédimentologie, 85.

Fournier, F., Tassy, A., Thinon, I., Münch, P., Cornée, J.-J., Borgomano, J., Leonide, P., Beslier, M.-O., Fournillon, A., Gorini, C., Guennoc, P., Oudet, J., Rabineau, M., Sage, F., Toullec, R., 2016. Pre-Pliocene tectonostratigraphic framework of the Provence continental shelf (eastern Gulf of Lion, SE France). *B Soc Geol Fr*, 187(4-5), 187-215, doi:10.2113/gssgfbull.187.4-5.187.

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.

Garin, T., Arfib, B., 2018. La modélisation Pluie-Débit-Niveau de l'aquifère karstique de Dardennes : synthèse des modèles proposés au cours du projet Dardennes (2014-2018), Aix-Marseille université.

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.

Gilli, E., 2000. Etude des conditions d'émergence et du bassin d'alimentation de la source Beaupré (signes - Var), Société des Sources de Signes.

Gilli, E., 2002. Etude préalable sur le drainage des karsts littoraux. Rapport Agence de l'Eau Rh.

Gorini, C., Lofi, J., Duvail, C., Dos Reis, A.T., Guennoc, P., Lestrat, P., Mauffret, A., 2005. The Late Messinian salinity crisis and Late Miocene tectonism: Interaction and consequences on the physiography and post-rift evolution of the Gulf of Lions margin. *Marine and Petroleum Geology*, 22(6-7), 695-712, doi:10.1016/j.marpetgeo.2005.03.012.

Gouvernet, C., 1963. Structure de la région toulonnaise, Ministère de l'Industrie.

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.

Häuselmann, P., Jeannin, P.Y., Monbaron, M., 2003. Role of Epiphreatic Flow and Soutirages in Conduit Morphogenesis: the Bärenschaft Example (BE, Switzerland). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 47(2), 171-190.

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.

- Lacombe, O., Jolivet, L., 2005.** Structural and kinematic relationships between Corsica and the Pyrenees-Provence domain at the time of the Pyrenean orogeny. *Tectonics*, 24(1), 20 p, doi:10.1029/2004tc001673.
- Lamarque, T., Maurel, P., 2004.** Projet SPELE-EAU Compte-rendu général des opérations 1993-2000. Rapport Spélé-H2O. rapport interne.
- Lamarque, T., 2015a.** Campagne de jaugeage sur le Las et Traçage Artificiel perte du Las à Dardennes janvier et juin-juillet-août 2015 - étude réalisée en juin-juillet-août 2015.
- Lamarque, T., 2015b.** Campagne de traçages artificiels au mont Faron - étude réalisée en février - mai 2015.
- Laville, P., 1981.** La formation bauxitique provençale (France). Séquence des faciès chimiques et paléomorphologie Crétacé. *Chronique de la recherche minière*. .
- 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 %@ 0072-1077.
- Leleu, S., 2005.** Les cônes alluviaux crétacé supérieur/paléocène en Provence: traceurs de l'évolution morpho-tectonique des stades précoces de collision. . Thèse Sci., Université de Strasbourg, 222.
- Lofi, J., 2002.** La crise de salinité messinienne : conséquences directes et différées sur l'évolution sédimentaire de la marge du Golfe du Lion. PhD, Sciences et technologie de Lille, 287 pp.
- Martin, P., 1991.** Hydromorphologie des géosystèmes karstiques des versants nord et ouest de la Sainte Baume. Etude hydrologique, hydrochimique et de vulnérabilité à la pollution PhD, Thèse de géographie, Université de Provence.
- 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.
- Mattauer, M., 1968.** Les traits structuraux essentiels de la chaîne Pyrénéenne. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 10(1), 3-11.
- 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.
- Mazet, J., 1967.** Etude hydrologique du bassin de la SaInte Baume. *Spéléopérations : bulletin du Club Alpin Français Spéléo Club de Marsettle*, 59.
- Mazet, J., 1991.** Le karst du massif de la Sainte Baume (Bouches-du-Rhône, Var). *Spéléopérations*, 79, 19-21.
- Mocochain, L., Clauzon, G., Bigot, J.-Y., Brunet, P., 2006.** Geodynamic evolution of the peri-Mediterranean karst during the Messinian and the Pliocene: evidence from the Ardèche and Rhône Valley systems canyons, Southern France. *Sedimentary Geology*, 188-189, 219-233, doi:10.1016/j.sedgeo.2006.03.006.
- Monteau, R., 1971.** Le karst des formations turoniennes du Bassin du Beausset (B-d-R - Var). DES, Université d'Aix-Marseille, 92 pp.

- Monteau, R., Courbon, P., 1983.** Le massif de la Sainte Baume, géologie et hydrologie. *Spelunca*, 13, 59-68.
- Naud, G., 1969.** Étude hydrogéologique du bassin d'Aubagne à l'Est de l'Huveaune. DEA, Université de Provence, 30 pp.
- Nicod, J., 1967.** Recherches géomorphologiques en Basse-Provence calcaire. PhD, Aix-Marseille, 557 pp.
- Nury, D., 1988.** L'Oligocène de Provence méridionale : stratigraphie, dynamique sédimentaire, reconstitutions paléogéographiques. Thèse d'Etat, Univ. De Provence, 411 pp.
- Philip, J., Angladar, R., Rousset, C., Tronchetti, G., 1975.** Sur la découverte d'un nouveau témoin de la transgression miocène en Basse Provence occidentale. Implications paléogéographiques. *C. R. Acad. Sc.*, 280.
- Philip, J., 1987.** L'évolution paleogéographique et structurale du front de chevauchement nord toulonnais basse provence.
- Romey, C., Rochette, P., Vella, C., Arfib, B., Andrieu-Ponel, V., Braucher, R., Champollion, C., Douchet, M., Dussouillez, P., Hermitte, D., Mattioli, E., Parisot, J.-C., Schwenninger, J.-L., 2014.** Geophysical and geomorphological investigations of a Quaternary karstic paleolake and its underground marine connection in Cassis (Bestouan, Cassis, SE France). *Geomorphology*, 214, 402-415, doi:10.1016/j.geomorph.2014.02.021.
- Rouchy, J.M., Caruso, A., 2006.** The Messinian salinity crisis in the Mediterranean basin: A reassessment of the data and an integrated scenario. *Sedimentary Geology*, 188, 35-67, doi:10.1016/j.sedgeo.2006.02.005.
- Roure, F., Brun, J.P., Colletta, B., Vandendriessche, J., 1992.** Geometry and Kinematics of Extensional Structures in the Alpine Foreland Basin of Southeastern France. *Journal of Structural Geology*, 14(5), 503-519, doi:10.1016/0191-8141(92)90153-N.
- Roure, F., Choukroune, P., 1998.** Contribution of the Ecors seismic data to the Pyrenean geology: Crustal architecture and geodynamic evolution of the Pyrenees. *Mem. Soc. Geol. Fr.*, 173, 37-52.
- Rousset, C., 1968.** Contribution à l'étude des karsts du SE de la France. Altérations morphologiques et minérales. PhD, Université de Provence, 533 pp.
- Rousset, C., 1969.** Le Bombement Varois : relations entre la bauxitisation du Crétacé moyen en Provence et l'évolution originelle de la région en régime karstique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 268, 2231-2234.
- 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.

SAFEGE, 2011a. Ressource en eau des contreforts nord de la Sainte-Baume. Identification et caractérisation de la ressource majeure à préserver pour l'alimentation en eau potable. Compte rendu de fin de traçage., SAFEGE.

SAFEGE, 2011b. Ressource en eau des contreforts nord de la Sainte-Baume. Identification et caractérisation de la ressource majeure à préserver pour l'alimentation en eau potable. Synthèse et mise à jour des connaissances actuelles., SAFEGE.

Séranne, M., 1999. The Gulf of Lion continental margin (NW Mediterranean) revisited by IBS: an overview. Geological Society, London, Special Publications, 156(1), 15-36 %@ 0305-8719.

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.

Tassy, A., 2012. Karsts côtiers et canyons sous-marins de la marge provençale au Cénozoïque : Contrôle géodynamique, eustatique, hydrologique et structural, Aix-Marseille Université, Centre Saint-Charles, Marseille.

Tassy, A., Fournier, F., Munch, P., Borgomano, J., Thinon, I., Fabri, M.C., Rabineau, M., Arfib, B., Begot, J., Beslier, M.O., Cornee, J.J., Fournillon, A., Gorini, C., Guennoc, P., Leonide, P., Oudet, J., Paquet, F., Sage, F., Toullec, R., 2014. Discovery of Messinian canyons and new seismic stratigraphic model, offshore Provence (SE France): Implications for the hydrographic network reconstruction. Marine and Petroleum Geology, 57, 25-50, doi:10.1016/j.marpetgeo.2014.05.001.

Tempier, C., 1987. Modèle nouveau de mise en place des structures provençales. B Soc Geol Fr, 3(3), 533-540.

Villeneuve, M.c., Blanc, J.-J., Collina-Girard, J., Dubar, M., Floquet, F., Masse, J.-P., Monteau, R., Nury, D., Philip, J., Arfib, B., Argyriadis, I., Arlhac, P., Arnal, C., Caron, J.-P., Fournier, F., Jouvès, J., Hennuy, J., Laville, P., Ricour, J., Rousset, C., Tassy-Borgomano, A., Thinon, I., Vacca-Goutoulli, M., 2018. Mémoire explicatif. Carte géol. France (1/50 000), feuille Aubagne-Marseille, 3^{ème} édition (1044). Carte géologique par Laville P., Monteau R., Villeneuve M. et al. BRGM, Orléans, pp. 333.

Wynns, R., Guillocheau, F., 1999. Géomorphologie grande longueur d'onde, altération, érosion et bassins épicontinentaux. Résultats et perspectives. In: L. P. (Ed.), Colloque GéoFrance 3D. BRGM, pp. 103-108.

7.3 DETAILS DES DETECTIONS DES SUBSTANCES INDESIRABLES DANS LES ANALYSES DES QUALITOMETRES (BD ADS)

PLATEAU DE SIOU BLANC

Source de Gavaudan (Belgentier)

23/06/2016	Anthraquinone	0.008 µg/L
06/09/2000	Bromoforme	1.4 µg/l
06/09/2000	Dibromochloromethane	3.9 µg/l
17/01/2012	Dibromochloromethane	0.58 µg/l
06/09/2000	Dichloromonobromométhane	3.3 µg/l
24/05/2002	Fluoranthène	0.004 µg/l
10/03/2004	Hexachlorocyclohexane alpha	0.008 µg/l
10/03/2004	Hexachlorocyclohexane bêta	0.085 µg/l
12/02/2004	Hexachlorocyclohexane gamma	5.5 µg/l
10/03/2004	Hexachlorocyclohexane gamma	5.15 µg/l
16/03/2004	Hexachlorocyclohexane gamma	2.79 µg/l
12/01/2010	Hexachlorocyclohexane gamma	0.039 µg/l

Retenue de Dardennes (Le Revest-des-Eaux)

15/05/2013	Anthraquinone	0.99 µg/l
15/05/2013	Biphényle	0.39 µg/l

PILON ST CLEMENT

Absence de qualitomètre.

MASSIF D'AGNIS

Source de Raby (Signes):

29/05/2018	Bisphenol A	0.062 µg/l
16/11/2018	Bisphenol A	0.022 µg/l

Forage des Launes (Signes)

Absence de détections des substances indésirables.

Forage de Valescure (La Roquebrussanne)

17/03/1999	Bromoforme	3 µg/l
17/03/1999	Chloroforme	1.5 µg/l
17/02/2011	Chloroforme	2 µg/l
17/03/1999	Dibromochloromethane	3.5 µg/l
17/02/2011	Dibromochloromethane	0.9 µg/l
17/03/1999	Dichloromonobromométhane	3 µg/l
17/02/2011	Dichloromonobromométhane	1.4 µg/l

Source des Neufs Fonts (La Roquebrussanne)

Absence de détections des substances indésirables.

Forage Vigne Groussière (Méounes-Les-Montrieux) :

Absence de détections des substances indésirables.

MONTAGNE DE LA LOUBE

La qualité des eaux de cette unité karstique peut être approchée par les analyses réalisées sur deux qualitomètres :

- Forage des Vallons (La celle).
- Forage de Claou du Jas (Camps-La-Source).

Pour le premier, les analyses montrent des eaux de bonne qualité (concentrations en nitrates inférieures à 10 mg/l, absence de pesticides et de pollutions industrielles). On observe un dépassement ponctuel des teneurs en fer et en aluminium : analyses du 26/02/1999 avec des teneurs en aluminium de 6 100 µg/l (teneur maximale autorisée de 200 µg/l) et en fer de 31 900 µg/l (teneur maximale autorisée de 200 µg/l). Cela pourrait correspondre à un lessivage des horizons de bauxite en période de crue karstique.

Pour le second, les eaux sont aussi de bonne qualité. On observe une unique détection de pesticides dans les analyses du 22/04/2016 (teneurs totales en pesticides de 0,012 µg/l pour une concentration maximale autorisée de 0,5 µg/l) et des contaminations microbiologiques ponctuelles.

PLATEAUX DU VERSANT NORD DE LA SAINTE BAUMESource des Lecques (Ourves) :

▪ 15/05/1996	Bromoforme	0.5 µg/l
▪ 15/05/1996	Chloroforme	1.5 µg/l
▪ 15/05/1996	Dichloromonobromométhane	2 µg/l

Forage du Vallon (Rougiers) :

▪ 28/06/2001	Benzo(b)fluoranthène	0.006 µg/l
▪ 28/06/2001	Benzo(k)fluoranthène	0.002 µg/l
▪ 06/04/2011	Chloroforme	1.7 µg/l
▪ 17/06/2003	Fer	242 µg/l

Forages de la Foux de Nans :

Absence de détections des substances indésirables.

Source de St Pons (Gémenos) :

▪ 25/05/2018	Bisphenol A	0.024	µg/l
▪ 16/11/2018	Bisphenol A	0.033	µg/l
▪ 16/11/2018	n-Butyl Phtalate	0.05	µg/l
▪ 21/05/2019	n-Butyl Phtalate	0.08	µg/l
▪ 24/07/1996	Aluminium	277	µg/l
▪ 14/09/2000	Aluminium	182	µg/l
▪ 14/09/2000	Fer	368	µg/l
▪ 26/04/2013	Phosphate de tributyle	0.005	µg/l

MONTAGNE DE LA LARE

Forage de la Brise (St Zacharie)

Pesticides

09/10/2013	2,6-Dichlorobenzamide	0.007 µg/l
07/06/2016	2,6-Dichlorobenzamide	0.006 µg/l
31/01/2018	AMPA	0.056 µg/l
21/10/2016	Anthraquinone	0.018 µg/l
31/01/2018	Anthraquinone	0.27 µg/l

Solvants chlorés de type trihalométhanes (limites de qualité fixé à un total de 100 µg/l) :

18/03/1999	Bromoforme	3.5 µg/l
18/03/1999	Dibromochloromethane	4 µg/l
18/03/1999	Dichloromonobromométhane	2.5 µg/l

HAP :

18/03/1999 00:00	HAP somme(6)	0.006 µg/l
------------------	--------------	------------

MONT AURELIEN ET MONT OLYMPE

Pas de qualitomètres.

PLATEAUX DU VERSANT SUD DE LA SAINTE BAUMEForage du vallon de Dausserand (Cuges-Les-Pins)

Absence de détections des substances indésirables.

Forage de Puyricard (Cuges-Les-Pins) :

03/09/2009	Aminotriazole	0.06 µg/l
------------	---------------	-----------

Forage du vallon madeleine – Jardins de la Ville (Cuges-Les-Pins) :

Absence de détections des substances indésirables.

Forages de Riboux :

Absence de détections des substances indésirables.

19/10/2001 08:00	Aluminium	752 µg/l
------------------	-----------	----------

Forage du Coulin (Gémenos) :

25/05/2018	4-tert-butylphénol	0.029 µg/l
21/12/2009	Dibromochloromethane	1.5 µg/l
29/11/2018	Galaxolide	0.034 µg/l
29/11/2018	n-Butyl Phtalate	0.06 µg/l
21/05/2019	n-Butyl Phtalate	0.09 µg/l
21/05/2019	Perfluorohexanesulfonic acid	0.0021 µg/l
12/06/2017	Chrome	0.5 µg/l
05/12/2017	Chrome	0.5 µg/l

MASSIF DES GORGES D'OLLIOULES

Puits à Evenos :

Absence de détections des substances indésirables.

Source Ollioules :

■ 12/06/2017	Methamidophos	0.1 µg/l
■ 20/11/2013	Fluroxypyr	0.02 µg/l
■ 20/11/2013	2,4-MCPA	0.02 µg/l

7.4 DONNEES UTILESEES POUR LES PROSPECTIVES SUR LES EVOLUTIONS DE POPULATION

7.4.1 HORIZON 2030

Figure 153 : Communes des Vals d'Issole et du Caramy, et du littoral varois (horizon 2030).

COMMUNES	Population 2006	Population 2013	Population 2030	Différentiel 2013-2030	Taux annuel 2013-2030
Vals d'Issole et du Caramy					
CABASSE	1 708	1 929	2 592	663	2.02%
CAMPS LA SOURCE	1 485	1 808	2 916	1 108	3.60%
CARCES	2 848	3 406	5 260	1 854	3.20%
CARQUEIRANNE	9 482	9 905	13 000	3 095	1.84%
ROCBARON	3 264	4 389	7 000	2 611	3.50%
SAINTE-ANASTASIE-SUR-ISSOLE	1 775	1 862	2 679	817	2.58%
VINS-SUR-CARAMY	773	978	1 500	522	3.14%
FLASSANS-SUR-ISSOLE	2 772	3 327	5 000	1 673	2.96%
FORCALQUEIRET	2 039	2 697	3 795	1 098	2.39%
GAREOULT	5 435	5 422	7 612	2 190	2.38%
	31 581	35 723	51 354	15 631	2.76%
Littoral Varois					
BANDOL	8 647	7 636	10 000	2 364	1.82%
SANARY-SUR-MER	18 023	16 047	18 428	2 381	0.87%
LA SEYNE-SUR-MER	56 768	64 523	75 000	10 477	0.96%
OLLIOULES	13 400	13 321	15 357	2 036	0.90%
EVENOS	2 170	2 250	2 760	510	1.33%
SIX-FOURS-LES-PLAGES	34 325	34 387	38 642	4 255	0.73%
SOLLIES-PONT	10 788	11 310	14 568	3 258	1.69%
SOLLIES VILLE	2 418	2 422	2 432	10	0.02%
TOULON	167 816	163 760	176 749	12 989	0.47%
SAINT-CYR-SUR-MER	11 797	11 894	12 133	239	0.12%
LA VALETTE-DU-VAR	22 067	21 463	21 463	0	0.00%
LE PRADET	10 603	11 074	14 216	3 142	1.67%
LA CRAU	15 798	16 612	27 367	10 755	3.81%
CUERS	9 542	10 570	15 404	4 834	2.69%
LA FARLEDE	6 952	8 719	15 112	6 393	4.31%
LA GARDE	25 621	25 298	25 621	323	0.08%
LE REVEST LES EAUX	3 677	3 675	4 138	463	0.74%
SAINT-CYR-SUR-MER	11 769	11 752	11 752	0	-0.03%
	432 181	436 713	501 142	64 429	1.23%

Figure 154 : Communes du PNR (horizon 2030).

COMMUNES	Population 2006	Population 2013	Population 2030	Différentiel 2013- 2030	Taux annuel 2013-2030
Parc Naturel de la Sainte Baume					
AURIOL	11 870	11 707	13 707	2 000	0.70%
BELGENTIER	2 180	2 440	3 208	768	1.9%
BRIGNOLES	14 963	16 450	22 278	5 828	2.08%
CUGES LES PINS	4 940	5 060	6 060	1 000	0.49%
GEMENOS	6 245	6 496	7 384	888	0.80%
EVENOS	2 119	2 141	2 195	54	0.1%
LA CADIÈRE-D'AZUR	5 039	5 487	6 748	1 261	1.4%
LA CELLE	1 239	1 385	1 815	430	1.8%
LA ROQUEBRUSSANNE	2 061	2 526	3 831	1 305	3.0%
LE BEAUSSET	8 710	9 310	12 462	3 152	2.0%
LE CASTELLET	4 154	4 088	3 932	-156	-0.2%
MAZAUGUES	673	858	1 244	386	2.6%
MEOUNES LES MONTRIEUX	1 762	2 073	3 370	1 297	3.7%
NANS LES PINS	3 891	4 166	5 456	1 290	1.8%
NEOULES	2 264	2 573	3 787	1 214	2.8%
PLAN D'AUPS	1 125	1 955	5 000	3 045	9.2%
POURCIEUX	1 043	1 378	1 805	427	1.8%
POURRIERES	4 389	4 754	6 500	1 746	2.2%
RIBOUX	35	36	39	3	0.5%
ROQUEVAIRE	8 429	8 939	10 778	1 839	1.21%
ROUGIERS	1 313	1 570	2 682	1 112	4.2%
SAINT-MAXIMIN	14 183	15 590	22 000	6 410	2.4%
SAINT-ZACHARIE	4 776	5 086	5 925	839	1.0%
SIGNES	2 688	2 732	3 549	817	1.8%
SOLLIES TOUCAS	4 907	5 499	7 251	1 752	1.9%
TOURVES	4 641	4 951	6 485	1 534	1.8%
	119 639	129 250	169 491	40 241	2.0%

Figure 155 : Communes du Val d'Huveaune et du littoral des Bouches du Rhône (horizon 2030).

COMMUNES	Population 2010	Population 2015	Population 2030	Différentiel 2013- 2030	Taux annuel 2013-2030
Val d'Huveaune					
AUBAGNE	46 892	45 844	52 444	6 600	0.50%
LA PENNE-SUR-HUVEAUNE	6 228	6 433	7 153	720	0.66%
MARSEILLE	859 368	869 815	914 815	45 000	0.24%
	912 488	922 092	974 412	52 320	0.47%
Littoral Bouches du Rhône					
CARNOUX-EN-PROVENCE	6 862	6 615	6 615	0	-0.72%
CASSIS	7 830	7 325	7 325	0	-1.29%
CEYRESTE	4 186	4 580	6 046	1 466	1.88%
LA CIOTAT	34 258	35 994	39 994	4 000	1.01%
RIOQUEFORT-LA-BEDOULE	5 135	5 600	5 900	300	1.81%
	58 271	60 114	65 880	5 766	0.54%

7.4.2 HORIZON 2050

Figure 156 : Communes des Vals d'Issole et du Caramy, et du littoral varois (horizon 2050).

COMMUNES	Taux annuel 2013-2030	Différentiel 2030-2050 hypothèse basse	Différentiel 2030-2050 hypothèse haute	Population 2050 hypothèse basse	Population 2050 hypothèse haute
Vals d'Issole et du Caramy (Hypothèse basse =1% ; Hypothèse haute=2.7%)					
CABASSE	2.02%	518	1 400	3 110	3 992
CAMPS LA SOURCE	3.60%	583	1 575	3 499	4 491
CARCES	3.20%	1 052	2 840	6 312	8 100
CARQUEIRANNE	1.84%	2 600	7 020	15 600	20 020
ROCBARON	3.50%	1 400	3 780	8 400	10 780
SAINTE-ANASTASIE-SUR-ISSOLE	2.58%	536	1 447	3 215	4 126
VINS-SUR-CARAMY	3.14%	300	810	1 800	2 310
FLASSANS-SUR-ISSOLE	2.96%	1 000	2 700	6 000	7 700
FORCALQUEIRET	2.39%	759	2 049	4 554	5 844
GAREOULT	2.38%	1 522	4 110	9 134	11 722
	2.76%	10 271	27 731	61 625	79 085
Littoral Varois (Hypothèse basse =0,5% ; Hypothèse haute=1,2%)					
BANDOL	1.82%	1 000	2 400	11 000	12 400
SANARY-SUR-MER	0.87%	1 843	4 423	20 271	22 851
LA SEYNE-SUR-MER	0.96%	7 500	18 000	82 500	93 000
OLLIOULES	0.90%	1 536	3 686	16 893	19 043
EVENOS	1.33%	276	662	3 036	3 422
SIX-FOURS-LES-PLAGES	0.73%	3 864	9 274	42 506	47 916
SOLLIES-PONT	1.69%	1 457	3 496	16 025	18 064
SOLLIES VILLE	0.02%	243	584	2 675	3 016
TOULON	0.47%	17 675	42 420	194 424	219 169
SAINT-CYR-SUR-MER	0.12%	1 213	2 912	13 346	15 045
LA VALETTE-DU-VAR	0.00%	2 146	5 151	23 609	26 614
LE PRADET	1.67%	1 422	3 412	15 638	17 628
LA CRAU	3.81%	2 737	6 568	30 104	33 935
CUERS	2.69%	1 540	3 697	16 944	19 101
LA FARLEDE	4.31%	1 511	3 627	16 623	18 739
LA GARDE	0.08%	2 562	6 149	28 183	31 770
LE REVEST LES EAUX	0.74%	414	993	4 552	5 131
SAINT-CYR-SUR-MER	-0.03%	235	2 820	11 987	14 572
	1.23%	49 174	120 274	550 316	621 416

Figure 157 : Communes du PNR (horizon 2050).

COMMUNES	Taux annuel 2013-2030	Différentiel 2030-2050 hypothèse basse	Différentiel 2030-2050 hypothèse haute	Population 2050 hypothèse basse	Population 2050 hypothèse haute
Parc Naturel de la Sainte Baume (Hypothèse basse=1%; Hypothèse haute=2 %)					
AURIOL	0.70%	274	5 483	13 981	19 190
BELGENTIER	1.9%	321	1 283	3 529	4 491
BRIGNOLES	2.08%	4 456	12 030	26 734	34 308
CUGES LES PINS	0.49%	121	2 424	6 181	8 484
GEMENOS	0.80%	148	2 953	7 531	10 337
EVENOS	0.1%	220	878	2 415	3 073
LA CADIERE-D'AZUR	1.4%	675	2 699	7 423	9 447
LA CELLE	1.8%	182	726	1 997	2 541
LA ROQUEBRUSSANNE	3.0%	383	1 532	4 214	5 363
LE BEAUSSET	2.0%	1 246	4 985	13 708	17 447
LE CASTELLET	-0.2%	393	1 573	4 325	5 505
MAZAUGUES	2.6%	124	498	1 368	1 742
MEOUNES LES MONTRIEUX	3.7%	337	1 348	3 707	4 718
NANS LES PINS	1.8%	546	2 182	6 002	7 638
NEOULES	2.8%	379	1 515	4 166	5 302
PLAN D'AUPS	9.2%	500	2 000	5 500	7 000
POURCIEUX	1.8%	181	722	1 986	2 527
POURRIERES	2.2%	650	2 600	7 150	9 100
RIBOUX	0.5%	4	16	43	55
ROQUEVAIRE	1.21%	216	4 311	10 993	15 089
ROUGIERS	4.2%	268	1 073	2 950	3 755
SAINT-MAXIMIN	2.4%	2 200	8 800	24 200	30 800
SAINT-ZACHARIE	1.0%	593	2 370	6 518	8 295
SIGNES	1.8%	355	1 420	3 904	4 969
SOLLIES TOUCAS	1.9%	725	2 900	7 976	10 151
TOURVES	1.8%	649	2 594	7 134	9 079
	2.0%	16 143	70 915	185 633	240 406

Figure 158 : Communes du Val d'Huveaune et du littoral des Bouches du Rhône (horizon 2050).

COMMUNES	Taux annuel 2013-2030	Differentiel 2030-2050 hypothèse basse	Differentiel 2030-2050 hypothèse haute	Population 2050 hypothèse basse	Population 2050 hypothèse haute
Val d'Huveaune (Hypothèse basse=0,1% ; Hypothèse haute=1%)					
AUBAGNE	0.50%	1 049	10 489	53 493	62 933
LA PENNE-SUR-HUVEAUNE	0.66%	143	1 431	7 296	8 584
MARSEILLE	0.24%	18 296	182 963	933 111	1 097 778
	0.47%	19 488	194 882	993 900	1 169 294
Littoral Bouches du Rhône (Hypothèse basse=0,1% ; Hypothèse haute=1%)					
CARNOUX-EN-PROVENCE	-0.72%	132	1 323	6 747	7 938
CASSIS	-1.29%	147	1 465	7 472	8 790
CEYRESTE	1.88%	121	1 209	6 167	7 255
LA CIOTAT	1.01%	800	7 999	40 794	47 993
RIOQUEFORT-LA-BEDOULE	1.81%	118	1 180	6 018	7 080
	0.54%	1 318	13 176	67 197	79 056



Nazareth • 2219 CD80 • Route de Nans
83640 Plan d'Aups Sainte-Baume

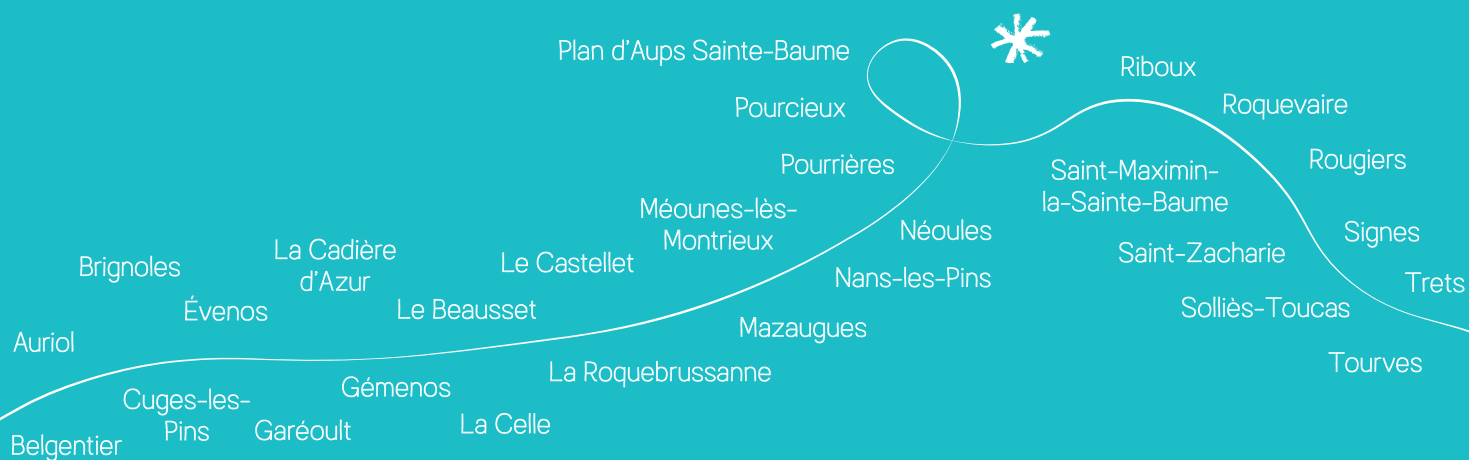
Tél. : 04 42 72 35 22

E-mail : thierry.darmuzey@pnr-saintebaume.fr

www.pnr-saintebaume.fr



@pnrsaintebaume



Financé par

