

**S.I.P.M.E.**  
Syndicat Intercommunal  
pour la Protection du Massif de l'Estérel



## Rapport

# ETUDE PREALABLE A LA REHABILITATION ECOLOGIQUE ET PAYSAGERE DU SITE DE L'ANCIEN LAC DE L'ECUREUIL

## Phase 1 : Diagnostic – Volet hydraulique



Rapport n°A111563/version D – Avril 2022

Projet suivi par Claire ARRIGHI – 06.23.84.04.45 – [claire.arrighi@anteagroup.fr](mailto:claire.arrighi@anteagroup.fr)

Projet suivi par Antoine VOGT – 06.23.84.04.45 – [a.vogt@composite.eu](mailto:a.vogt@composite.eu)

Projet suivi par Guy DURAND - 07 87 02 50 65 - [g.durand@naturalia-environnement.fr](mailto:g.durand@naturalia-environnement.fr)

## Fiche signalétique

### ÉTUDE PRÉALABLE A LA RÉHABILITATION ÉCOLOGIQUE ET PAYSAGÈRE DE L'ANCIEN LAC DE L'ÉCUREUIL

#### Phase 1 : Diagnostic - Volet hydraulique

CLIENT	SITE
S.I.P.M.E. Syndicat Intercommunal pour la Protection du Massif de l'Estérel	Site de l'ancien lac de l'ÉCUREUIL
Bât F Le Florus - 127, rue Aubenas 83600 FREJUS	
Coryse TOURDOT Chargée de projet 04 94 17 66 19 c.tourdot@ville-frejus.fr	

RAPPORT D'ANTEA GROUP	
Responsable du projet	Nicolas DU BOISBERRANGER
Interlocuteur commercial	Nicolas BLANCHOIN
Implantation chargée du suivi du projet	Implantation d'Aubagne 04.42.08.70.70 secretariat.marseille-fr@anteagroup.com
Rapport n°	111563
Version n°	D
Votre commande et date	18 août 2020
Projet n°	PACP200152

	Nom	Fonction	Date
Rédaction	ARRIGHI CLAIRE	Ingénieure de projets	Avril 2022
Relecture	DU BOISBERRANGER Nicolas	Responsable Pôle EAU région Sud	Avril 2022

## Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
<b>A</b>	29/10/2021	55	2	Version initiale
<b>B</b>	04/11/2021	55	2	Relecture S.I.P.M.E.
<b>C</b>	19/11/2021	68	2	Intégration de la synthèse bibliographique
<b>D</b>	05/04/2022	68	2	Intégration des remarques sur le fonctionnement hydromorphologique

# Sommaire

1. Contexte .....	8
2. Synthèse bibliographique .....	9
2.1. Barrage de l'Ayrette sur le Rec Grand .....	9
2.1.1. L'ouvrage.....	9
2.1.2. L'opportunité .....	9
2.1.3. Les travaux .....	9
2.1.4. Le suivi et les résultats .....	10
2.1.5. Perception du projet .....	10
2.2. Barrage de la Biconque sur le Bitoulet .....	11
2.2.1. L'ouvrage.....	11
2.2.2. L'opportunité .....	11
2.2.3. Les travaux .....	11
2.2.4. Le suivi et les résultats .....	12
2.3. Barrage de Kernansquillec sur le Leguer .....	15
2.3.1. L'ouvrage et le cours d'eau .....	15
2.3.2. L'opportunité .....	15
2.3.3. Les travaux .....	15
2.3.4. Le suivi.....	15
2.3.5. Les résultats .....	16
2.3.6. La perception du projet.....	16
2.4. Barrage de Maisons-Rouges sur la Vienne .....	16
2.4.1. L'ouvrage et le cours d'eau .....	16
2.4.2. L'opportunité .....	16
2.4.3. Les travaux .....	17
2.4.4. Le suivi.....	17
2.4.5. Les résultats .....	17
2.5. Barrage de Saint-Etienne-du-Vigan sur l'Allier .....	17
2.5.1. L'ouvrage.....	17
2.5.2. L'opportunité .....	18
2.5.3. Les travaux .....	18
2.5.4. Le suivi.....	18
2.5.5. Les résultats .....	18
2.6. Conclusion .....	19
3. Diagnostic Hydrologie, Hydrogéologie et Hydromorphologie .....	20

3.1. Hydrologie .....	20
3.1.1. Caractéristiques du bassin versant .....	20
3.1.2. Débits d'étiage et module .....	22
3.1.3. Débits de crue .....	23
3.1.4. Débits caractéristiques retenus .....	28
3.1.5. Hydrogrammes de crue .....	28
3.2. Géologie et Hydrogéologie .....	30
3.2.1. Contexte géologique .....	30
3.2.2. Contexte hydrogéologique .....	31
3.3. Schéma annuel des flux .....	35
3.3.1. Principe .....	35
3.3.2. Flux d'entrée : les précipitations efficaces .....	36
3.3.3. Flux de sortie : l'infiltration et le ruissellement .....	36
3.4. Analyse des eaux .....	39
3.4.1. Analyses des relations entre les eaux souterraines et les eaux superficielles .....	45
3.4.2. Analyse du fonctionnement de l'écosystème .....	50
3.4.3. Conclusion sur l'état général du cours d'eau .....	54
3.5. Hydromorphologie .....	55
3.5.1. Analyse diachronique .....	55
3.5.2. Analyse des résultats de terrain .....	62
3.5.3. Puissance spécifique .....	64
3.6. Conclusion .....	66

## Table des figures

Figure 1 : Bassins versants de la zone d'étude .....	20
Figure 2 : Topographie du secteur d'étude - Source : RGE Alti 1 m .....	21
Figure 3 : Modules issus de l'étude hydrologique réalisée par l'ONEMA en 2012 .....	22
Figure 4 : Ajustement fréquentiel de Gumbel des pluies de la station du Luc (période 1946 - 2020) .	27
Figure 5 : Hydrogrammes à la station « Grenouiller » .....	30
Figure 6 : Extrait de la carte géologique n°1024 « Fréjus-Cannes » (Source : Infoterre BRGM).....	33
Figure 7 : Localisation des sources recensées sur la carte IGN au 1/25 000 <sup>ème</sup> .....	34
Figure 8 : Schéma de principe du bilan des flux d'eau sur un bassin versant (Source : Eau France) ....	35
Figure 9 : Calcul de la pluie efficace annuelle mm/an (Source : Météo-France) .....	36
Figure 10 : Schéma annuel des flux au niveau du bassin versant .....	39
Figure 11 : Localisation des prélèvements .....	40
Figure 12 : Diagramme de Piper des eaux prélevées .....	45
Figure 13 : Tronçon du cours d'eau en eau .....	48
Figure 14 : Exemple de suintements d'eau au niveau des berges rocheuses du ruisseau .....	49
Figure 15 : Taux de saprobie .....	51
Figure 16 : Probabilités d'altération chimique .....	53
Figure 17 : Probabilités d'altération physique .....	53
Figure 18 : Comparaison avec la carte de Cassini (XVIII <sup>e</sup> siècle) (Source : IGN) .....	56
Figure 19 : Comparaison de la carte IGN avec la carte d'Etat-Major (1820-1866) (Source : IGN) .....	57
Figure 20 : Comparaison de l'état actuel (photographie aérienne 2020) avec les clichés anciens (1950-1965) (Source : IGN) .....	58
Figure 21 : Comparaison de l'état actuel (photographie aérienne 2020) avec les photographies aériennes (2000-2005) (Source : IGN) .....	60
Figure 22 : Profil en long.....	64

## Table des tableaux

Tableau 1 : Programme de suivi de la qualité des eaux pendant les travaux – Barrage de la Biconque .....	13
Tableau 2 : Débits caractéristiques au niveau de l'ancien lac de l'Ecureuil issus de l'étude de l'ONF de 2012.....	23
Tableau 3 : Calculs des débits décennaux .....	24
Tableau 4 : Débits caractéristiques au droit du site de l'ancien lac de l'Ecureuil issus de la méthode SHYREG .....	25
Tableau 5 : Débits caractéristiques déterminés à partir de la station « Grenouiller » (méthode analogique).....	25
Tableau 6 : Débits de pointe théoriques calculés au niveau du site de l'ancien lac de l'Ecureuil par la méthode du Gradex .....	27
Tableau 7 : Synthèse des calculs des débits caractéristiques .....	28
Tableau 8 : Débits caractéristiques retenus.....	28
Tableau 9 : Extrait du guide du SETRA - Assainissement routier - Octobre 2006 .....	38
Tableau 10 : Définition des paramètres .....	41
Tableau 11 : Résultat des analyses d'eau de la campagne de prélèvement du 8 avril 2021 .....	43
Tableau 12 - Résultats de l'I2M2 .....	52
Tableau 13 : Puissance spécifique .....	65

## **Table des annexes**

Annexe I : Analyses des eaux

Annexe II : Réalisation d'indices biologiques sur le cours d'eau (IBG et IBD), MRE, Juin 2021

# 1. Contexte

Le **Syndicat Intercommunal pour la Protection du Massif de l'Estérel** (S.I.P.M.E.) a pour vocation la protection du massif forestier de l'Estérel via des actions variées de protection, de valorisation et d'amélioration des paysages et du patrimoine (naturel, culturel et architectural).

Le territoire du S.I.P.M.E. est constitué d'une mixité d'environnements :

- le massif côtier de l'Estérel ;
- le plateau de Bagnols-en-Forêt séparé de l'unité précédente par le fossé du Reyran ;
- la dépression permienne du bassin de l'Argens au sud-ouest.

Les paysages constitués y sont remarquables, notamment en lien avec un taux de boisement très élevé (73 % du territoire) et une identité paysagère unique associée à la rhyolite rouge, justifiant le classement d'une large partie du massif. Le massif de l'Estérel oriental a été classé au titre de la loi du 2 Mai 1930 par Décret du 3 Janvier 1996.

Au sein de ce massif forestier de la Provence cristalline, le **lac de l'Ecureuil** a été l'un des sites d'accueil les plus réputés et les plus connus du massif.

Créé en 1969 par l'Office National des Forêts dans un objectif de Défense des Forêts Contre les Incendies (DFCI), il était constitué d'un barrage de 12 m de haut permettant une capacité de stockage de 90 000 m<sup>3</sup>. Ce plan d'eau artificiel est alors devenu un des objectifs principaux de balade pour les visiteurs. Outre sa localisation en plein cœur du massif et sa réputation en tant que point focal touristique, le lac présentait également un potentiel écologique majeur. En effet, en tant que milieu humide, il abritait une grande biodiversité et des habitats naturels particuliers au regard de ceux rencontrés habituellement dans l'Estérel.

Dès son remplissage, la structure a présenté des fuites traversantes dans le corps du barrage. En 2007, la Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture a attiré l'attention de l'Office National des Forêts sur le caractère potentiellement dangereux de l'ouvrage, dû aux fuites traversantes qui menaçaient sa stabilité. En 2009, la vidange brutale de la retenue a provoqué un entrainement massif de matériaux, un désordre morphologique important (engravements et envasements) en aval et un impact profond sur la richesse floristique et faunistique en présence.

La consultation lancée par le S.I.P.M.E. porte sur la **reconquête de la zone**, avec comme objectifs principaux :

- la réhabilitation écologique et paysagère ;
- la restauration morphologique et la réhabilitation du fonctionnement de l'hydrosystème ;
- la préservation et le renforcement de la protection des milieux naturels.

La mission est organisée selon le phasage suivant :

- phase 1 : Diagnostic - Tranche ferme ;
- phase 2 : Scénarios préliminaires - Tranche ferme ;
- phase 3 : Avant-projet Sommaire (APS) -Tranche optionnelle ;
- phase 4 : Avant-projet Définitif (APD) - Tranche optionnelle.

Le présent rapport constitue le rapport diagnostic de la phase 1 pour le **volet Hydrologie, Hydrogéologie et Hydromorphologie**.

## 2. Synthèse bibliographique

Ce chapitre présente l'étude de cas sur des contextes similaires. Dans le cadre de l'étude, nous avons sollicité les organismes du département et des départements voisins (DDTM, Syndicats, ...). Peu de cas similaires en contexte méditerranéen ont pu être recensés. Aussi, ce chapitre présente également des cas d'effacement d'ouvrages sur l'ensemble du territoire métropolitain.

### 2.1. Barrage de l'Ayrette sur le Rec Grand

Les informations sur le cas de l'effacement du barrage de l'Ayrette sont issues du rapport : Analyse des impacts environnementaux – Etude n°8069, Aquascop, Mai 2013.

#### 2.1.1. L'ouvrage

Le barrage de l'Ayrette sur le Rec Grand, dans l'Hérault, était une voûte de béton non armé d'une hauteur de 26 m et d'une longueur de 125 m en crête ayant pour vocation l'alimentation en eau potable de cinq communes. Il permettait la rétention de 250 000 m<sup>3</sup> d'eau. Aucun débit réservé minimum n'était restitué en aval du barrage. Toutefois, les fuites dans le parement assuraient un petit débit constant en aval.

#### 2.1.2. L'opportunité

De nombreuses fuites sont repérées dans la structure, donnant lieu à des travaux de sécurisation, puis une vanne de vidange se bloque en position semi-ouverte en 2012. Aussi, devant le coût d'entretien et de suivi et considérant le fait que l'ouvrage n'avait plus de vocation propre (la ressource en eau potable a été abandonnée en 2008), son effacement s'est révélé pertinent.

#### 2.1.3. Les travaux

Les travaux d'effacement du barrage ont été réalisés en 2013. Le phasage de l'opération de mise en transparence est le suivant :

- Vidange de la retenue,
- Réalisation d'un barrage filtrant en aval du barrage avant la fin de la vidange,
- Terrassement (par modelage des matériaux du lit) d'un chenal d'écoulement dans la retenue,
- Aménagement des accès pour les engins de chantier,
- Démolition à l'explosif du barrage selon un phasage permettant d'assurer la sécurité de l'ouvrage pendant toutes les phases transitoires,
- Evacuation et enfouissement des matériaux dans la retenue.

Le barrage filtrant, situé 30 m en aval de l'ouvrage, a été effectué en gabions d'une largeur de 1 m et d'une longueur d'environ 15 m.

Concernant la réhabilitation de la retenue, le projet prévoyait la plantation de quelques (environ 100) jeunes arbres en berges du cours d'eau pour favoriser la création d'une ripisylve. Dans le reste de la cuvette, il est proposé de laisser le milieu évoluer naturellement. Seul l'ensemencement herbacé est proposé pour stabiliser le terrain.

#### 2.1.4. Le suivi et les résultats

La qualité des eaux du Rec Grand est appréciée à partir d'analyses physico-chimiques de l'eau et du sédiment complétées par des indices biologiques (invertébrés benthiques et diatomées).

La vidange du barrage ayant débuté accidentellement avant le commencement de l'étude, l'eau de la retenue n'a fait l'objet d'analyse ; en revanche, les sédiments de la retenue ont été analysés (4 échantillons).

Quatre stations principales de suivi du Rec Grand ont été choisies :

- Station RG1 : aval immédiat du barrage de l'Ayrette ; amont du barrage filtrant,
- Station RG2 : aval proche du barrage de l'Ayrette ; aval barrage filtrant mis en place début avril 2013 ;
- Station RG3 : aval éloigné du barrage de l'Ayrette ; amont confluence Jaur (environ 1,3 km en aval du barrage) ;
- Station J1 : Jaur en aval de la confluence avec le Rec Grand.

Les paramètres suivis sont :

- Mesures in situ : température, pH, oxygène dissous, conductivité ;
- Analyses et mesures au laboratoire : turbidité et ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

La vidange de la retenue a eu un effet limité sur la qualité de l'eau du Rec Grand : l'oxygénation est restée bonne ; la teneur en ammonium a été moyenne en fin de vidange sans risque de formation de la forme NH<sub>3</sub> toxique (grâce au pH acide). Toutefois, en fin de vidange, lors du passage du culot, des vases ont été évacuées vers l'aval. Le barrage filtrant, vite colmaté, n'a pu les retenir. Malgré des opérations de changement de filtre et des manœuvres de vannes pour limiter les débits évacués, il y a eu des périodes de surverse de ce barrage filtrant. Ces matériaux fins se sont déposés dans les mouilles en aval des cascades du Rec Grand.

D'après les analyses, le Jaur n'a pas été affecté : eau limpide, oxygénée, sans ammonium.

L'effacement complet du barrage a constitué au retour à un fonctionnement naturel du Rec Grand puisqu'il n'y avait pas d'autres ouvrages sur ce cours d'eau.

Il n'y a pas eu de suivi post travaux sur les impacts à moyen et long terme de l'effacement du barrage.

#### 2.1.5. Perception du projet

Des intérêts contradictoires ont été portés d'un côté par les amoureux du patrimoine (un référé en suspension en vue d'interdire les travaux de démolition, exercé le 13 juin 2013 par un particulier appartenant à une association de riverains, a été rejeté par ordonnance du 12 juillet 2013 du Tribunal Administratif de Montpellier), et de l'autre, par les défenseurs de l'environnement, satisfaits de voir un aménagement anthropique -devenu sans usage- disparaître au profit du retour à la continuité écologique et au fonctionnement morphodynamique naturel d'un cours d'eau, le Rec Grand.

## 2.2. Barrage de la Biconque sur le Bitoulet

Les informations de ce chapitre sont issues des rapports et études suivantes :

- Mise en transparence du barrage de la Biconque – évaluation des impacts – Etude n°9165 – ISL ingénierie et Aquascop – Juin 2015,
- Suivi de la qualité du milieu pendant les travaux, Etude n°9204, Aquascop, novembre 2015,
- Suivi de la qualité du milieu un an après les travaux, Etude n°9204, Aquascop, octobre 2016,
- Suivi de la végétation de la cuvette 3 ans après travaux, Etude n°9204 Aquascop, décembre 2018.

### 2.2.1. L'ouvrage

Le barrage de la Biconque sur le Bitoulet, dans l'Hérault, est un ouvrage de classe D construit entre 1924 et 1925 du type barrage poids en maçonnerie conçu sur des schistes massifs fracturés. La retenue constituait une réserve d'eau brute pour l'assainissement, l'arrosage et les loisirs avec un volume stocké de 175 000 m<sup>3</sup>. Sa longueur maximale en crête était de 70 m, sa largeur en crête de 1,7 m, sa largeur maximale à la base de 10 m et sa hauteur maximale au-dessus du terrain naturel de 15 m.

### 2.2.2. L'opportunité

Suite à la crue majeure du 18 septembre 2014 (5 morts ; 300 sinistrés), la préfecture de l'Hérault a demandé à la commune de Lamalou-les-Bains de mettre en sécurité le barrage de la Biconque, soit en réalisant sont confortement, soit en le détruisant (effacement). En 2015, la commune décide la mise en transparence totale de l'ouvrage, ainsi que la déconstruction des bassins situés en aval immédiat. L'effacement du barrage a été jugé comme la meilleure solution, accompagné de travaux de remodelage de la retenue et de la réalisation d'un peigne à embâcles.

### 2.2.3. Les travaux

Les travaux ont compris tout d'abord :

- la préparation du chantier,
- la conception et la réalisation de deux seuils filtrants en gabions avec filtre en natte coco en aval de la retenue,

Ensuite les opérations d'effacement du barrage :

- la vidange progressive de la retenue par création d'une brèche dans le barrage de 3 m de large,
- la dépose de tous les équipements du barrage et leur évacuation,
- la déconstruction du barrage, le tri des produits de démolitions et leur évacuation (parties en béton) ou leur utilisation sur site en protections de talus (plus gros moellons) ou leur enfouissement dans les zones de remblai dans la retenue (plus petits moellons).

Puis, le remodelage de la retenue :

- le déboisement de la retenue dans l'emprise et aux abords des zones de terrassement et l'évacuation des produits de coupe,
- les travaux de déblais et de remblai dans la retenue,
- la mise en place de protection de talus du chenal principal à partir du tri des plus gros moellons issus de la démolition du barrage complétés par des blocs issus du criblage d'une partie des matériaux excavés dans la retenue.

La solution visant à curer et évacuer l'ensemble des matériaux de la retenue n'a pas été retenue pour les raisons suivantes :

- un cout important,
- la mobilisation progressive de ces sédiments présente un intérêt en termes de continuité écologique et de rétablissement du transit sédimentaire (le Bitoulet est à ce titre l'un des seuls affluents susceptibles d'atténuer le déficit sédimentaire important de l'Orb sur le tronçon concerné).

Le parti pris est un retour à l'équilibre naturel sans intervention lourde.

#### **2.2.4. Le suivi et les résultats**

Suivi de la qualité des eaux du Bitoulet :

Pendant les travaux, trois stations principales de suivi ont été mises en place :

- Une station en amont de la retenue (B0) ; station de référence amont ;
- Une station principale de suivi (B1) : en aval proche du barrage (0,7 km) en aval immédiat du 1<sup>er</sup> barrage filtrant ;
- Une station à 1,2 km du barrage (B2) : en aval proche du 2<sup>ème</sup> barrage filtrant et en amont de la zone urbanisée ;

Deux stations optionnelles de suivi sont définies :

- Une station (B3) en amont de la confluence avec l'Orb,
- Une station (O1) dans l'Orb en aval du Bitoulet.

Elles sont analysées en cas de dépassement des seuils en amont (B1 ou B2).

Le tableau ci-dessous résume le programme de suivi :

Investigations avant, pendant et après la vidange et les travaux			
Stations - Bitoulet	période	Fréquence de prélèvement	Paramètres mesurés
<b>Station B0</b> Amont de la retenue ; Station de référence amont	Avant début vidange	Eau : 1 analyse ponctuelle	Temp, O2, pH, turbidité, MES, NH4
	Pendant la vidange et les travaux	Enregistrement continu avec sondes multiparamètres	Temp, O2, pH, turbidité
<b>Station B1</b> Aval proche du barrage ( 0,7 km) Aval 1 <sup>er</sup> dispositif filtrant ; <b>Station</b> principale contrôle	Avant début vidange	Eau : 1 analyse ponctuelle	Temp, O2, pH, turbidité, NH4
	Pendant la vidange	Enregistrement continu avec sondes multiparamètres	Temp, O2, pH, turbidité
		Prélèvements : horaire ; analyses en laboratoire (résultats différés) NH4 : contrôles horaires in situ par bandelettes arsenic, cadmium, zinc : sur eau filtrée : 1 fois (résultats différés)	MES, NH4 (NH3 par calcul) + arsenic, cadmium, zinc, nickel
Pendant les travaux	Enregistrement continu avec sondes multiparamètres NH4 : contrôles 2 fois par jour in situ par bandelettes	Temp, O2, pH, turbidité	
<b>Station B2</b> Aval 2 <sup>ème</sup> dispositif filtrant ; début de la zone urbanisée de Lamalou (2,2 km du barrage)	Avant début vidange	Eau : 1 analyse ponctuelle	Temp, O2, pH, turbidité, MES, NH4
		Sédiment fin : 1 analyse ponctuelle	arsenic, cadmium, zinc, nickel
	Pendant la vidange	Prélèvements : horaire ; analyses NH4 en laboratoire (résultats différés) NH4 : contrôles horaires in situ par bandelettes arsenic, cadmium, zinc : sur eau filtrée : 1 fois (résultats différés)	Temp, O2, pH, turbidité, NH4 + arsenic, cadmium, zinc, nickel
Pendant les travaux	analyses ponctuelles ; hebdomadaire	Temp, O2, pH, turbidité	
<b>Station B3</b> Pont Carel ( 4,4 km du barrage)	Avant début vidange	1 analyse ponctuelle	Temp, O2, pH, turbidité, MES, NH4
	<i>Si dépassement des seuils en B1 (selon temps de propagation)</i>	<i>Analyses ponctuelles</i>	<i>Temp, O2, pH, turbidité, NH4</i>
<b>Stations - Orb</b>	<b>période</b>	<b>Fréquence de prélèvement</b>	<b>Paramètres mesurés</b>
<b>Station O1</b> 0,5 km en aval de la confluence avec le Bitoulet	<i>Si dépassement des seuils en B1 (selon temps de propagation)</i>	<i>Analyses ponctuelles</i>	<i>Temp, O2, pH, turbidité, NH4</i>

Tableau 1 : Programme de suivi de la qualité des eaux pendant les travaux – Barrage de la Biconque

Une turbidité importante ainsi que des eaux chargées en ammonium sont constatés.

Un mois après les travaux de démolition, des analyses physicochimiques sont réalisées sur les deux stations B1 et B2 :

- Eau : Température, oxygène dissous, saturation en oxygène, pH, conductivité, NH4, NO2, NO3, NKJ, PO4, Ptot, MES, COD, DBO5, Echerichia coli, streptocoques fécaux,
- Sédiments fins : Arsenic, cadmium, zinc, nickel.

Elles montrent que la qualité de l'eau du Bitoulet est bonne : eau fraîche, riche en oxygène dissous, sans pollution organique ni richesse excessive en nutriment (formes azotées et phosphorées). Les concentrations en matières en suspension sont presque nulles. La présence de germe *Escherichia coli* dans le Bitoulet aval signale une petite contamination par des eaux usées domestiques.

Les sédiments fins du cours d'eau le Bitoulet en aval de la cuvette ont été analysés avant le début de la vidange et après la fin des travaux. Les résultats font état d'une contamination forte par l'arsenic et le zinc ; moyenne par le cadmium et le nickel dont l'origine est naturelle (composition des roches).

1 an après les travaux, les indices biologiques (IBG, IBD et indice IPR) sont analysés et indiquent une qualité du milieu différente selon le compartiment biologique considéré :

- L'indice biologique IBD, basé sur les micro algues benthiques, témoigne d'un état écologique qualifié de « médiocre » avec une faible richesse taxonomique et l'abondance d'espèces affectionnant les milieux chargés en matières organiques et en nutriments. Avant les travaux, l'indice IBD était plus élevé (qualité « moyenne ») ;
- L'indice biologique IBG, basé sur la faune invertébrée benthique, conduit à un diagnostic plus optimiste : la qualité est qualifiée de « très bonne » en 2016 avec une bonne diversité taxonomique et la présence de taxons exigeant en terme de qualité de l'eau. La qualité est meilleure qu'avant les travaux (qualité « bonne ») ;
- L'indice biologique IPR, basé sur le peuplement piscicole, témoigne d'une qualité moyenne. Le peuplement est dominé par la barbeau méridional, une espèce patrimoniale protégée, accompagnée de trois autres cyprinidés, le vairon, le chevaine, et le goujon, et de deux espèces peu abondantes, la loche franche et la truite commune. A noter la présence de l'écrevisse Signal (écrevisse non autochtone, susceptible d'entraîner des déséquilibres biologiques). Les juvéniles de barbeau et autres cyprinidés sont abondants signes d'une bonne reproduction dans le Bitoulet. Ainsi les travaux d'effacement du barrage n'ont pas impacté la reproduction des poissons. Le colmatage du lit par les matériaux fins issus du plan d'eau observé un mois après les travaux a été de courte durée et n'a pas empêché la réussite de la reproduction le printemps suivant. On note que les gros individus sont peu nombreux, du fait d'habitats peu favorables aux géniteurs en période d'étiage sévère (hauteur d'eau notamment).

#### Suivi hydromorphologique du cours d'eau :

Une reconnaissance du lit du Bitoulet a été réalisée 1 mois après la fin des travaux pour relever les éventuelles perturbations (dépôts vaseux, colmatage, signes de pollution) et comparer l'état du cours d'eau à celui avant travaux.

Un mois après les travaux de démantèlement du barrage de la Biconque, le Bitoulet présente un colmatage important du lit par des matériaux fins venant de l'amont : dépôts dans le lit, banquettes de saules/limons en berge. La zone d'impact assez forte est cependant limitée en surface : elle concerne 1 à 1,5 km du cours d'eau en aval de la zone de travaux. Le colmatage diminue en importance vers l'aval.

#### Suivi du milieu

Dans l'emprise de l'ancienne retenue, le programme de suivi a consisté à l'analyse du développement de la végétation (surface, diversité) 1 an, puis 3 ans après les travaux.

Trois ans après les travaux de démantèlement du barrage de la Biconque, les résultats témoignent d'une bonne végétalisation du site qui se poursuit favorablement :

- Couverture progressive et densification de la végétation prairiale ;
- Colonisations locales par une végétation arbustive spontanée (genets à balai) notamment dans les zones de plus forte pente ;
- Naissance naturelle d'une ripisylve avec des essences locales (peupliers noirs, saules blancs, aulnes glutineux ...) ;
- Maintien des bosquets de frênes préservés lors des travaux ;
- Peigne à embâcle fonctionnel, même si très peu d'amas ligneux y ont été observés.

Quelques désordres ont néanmoins pu être constatés, notamment au niveau du lit du Bitoulet :

- Abaissement du niveau du lit qui incise significativement le substrat de la cuvette ;
- Erosion marquée des berges du Bitoulet tout au long de la traversée de la cuvette, avec localement d'importants désordres (arrachement en cours de géotextiles) ;

- Quelques arbres anciens sont en péril, notamment dans les zones fortement drainées en rive droite (frênaie) ou de part et d'autre de l'ancien ouvrage.

Globalement, la végétation qui couvre la cuvette de l'ancienne retenue est en bon état sanitaire et poursuit son développement. Le cours du Bitoulet tend à reprendre une nouvelle dynamique, qui se traduit par un abaissement du lit, d'importantes zones d'érosion en berges, ainsi que la reprise active du transport solide.

## 2.3. Barrage de Kernansquillec sur le Leguer

Les informations sur le cas du barrage de Kernansquillec sont issues du rapport de retour d'expérience de l'ONEMA de mai 2010.

### 2.3.1. L'ouvrage et le cours d'eau

Le léguer est un petit fleuve de Bretagne de 58 km de long. Il se jette dans la Manche. Le cours d'eau est classé en première catégorie « rivière à poissons migrateurs », c'est l'une des rivières à saumons les plus renommées de la région.

Le barrage de Kernansquillec, dans les Côtes d'Armor, dans la commune de Plounévez-Moëdec, d'une hauteur de 15 mètres, situé 26 km en aval de la source, créait une retenue d'environ 1,5 km de long. Malgré la présence d'un ascenseur à poissons, l'obstacle restait difficilement franchissable pour le saumon et était impossible à franchir pour l'anguille.

### 2.3.2. L'opportunité

En 1965, la cessation d'activité de la papeterie qui exploitait son électricité, l'eutrophisation du plan d'eau et un risque de rupture de plus en plus important entraînent son démantèlement.

### 2.3.3. Les travaux

Le démantèlement est réalisé en 1996 tout d'abord par une vidange progressive de la retenue qui dure cinq mois. Elle vise à éviter les phénomènes de colmatage en aval et à réduire au maximum les risques de pollution. 90 000 m<sup>3</sup> de sédiments sont extraits dans le thalweg de la rivière, les boues sont emmenées dans des lagunes en aval et trois seuils de 50 cm sont mis en place pour retenir les sédiments qui auraient échappé à l'aspiro-draguage.

Ensuite, en 2001, une fois le profil en travers de la rivière stabilisé, des travaux de réhabilitation du lit sont réalisés (végétalisation des berges instables et ressuyage des vases). Dans l'ancienne retenue, 7 ha de parcelles agricoles sont exploitées.

### 2.3.4. Le suivi

Aucun état initial n'a été réalisé. Pendant les travaux, la qualité de l'eau a été en permanence surveillée et les résultats ont été régulièrement transmis à la population.

Suite à l'effacement du barrage, aucun suivi spécifique n'a été mis en place. Seules des études sur les invertébrés, par la méthode de l'indice biologique global normalisé (IBGN), ont été réalisées en 1997 en amont et en aval de l'ancien barrage.

Deux stations du référentiel hydrologique piscicole (RHP) sont présentes en amont et en aval du site. Elles sont assez éloignées du barrage et une station se trouve sur un affluent, le Loup.

L'étude des données piscicoles permet d'observer la recolonisation du secteur par les migrateurs. Des indices d'abondances du saumon sont réalisés tous les ans sur le cours d'eau retrouvé depuis 1997.

### 2.3.5. Les résultats

Les résultats de l'effacement sont visibles mais non quantifiés et sont très satisfaisants.

Les berges sont stabilisées 5 ans après la vidange du barrage. La rivière a retrouvé ses méandres, son débit ainsi que sa pente d'équilibre. Des alternances de radiers et de mouilles sont apparues. La végétation de berge typique de ce milieu a recolonisé l'ensemble du site. Les différentes crues hivernales ont totalement décolmaté le substrat, laissant apparaître une granulométrie hétérogène propice à la fraie des poissons.

Les notes de qualité de l'eau et de l'IBGN des stations RHP sont excellentes depuis 1994 et le sont restées après effacement.

Pour les poissons, le saumon, absent sur le Loup avant l'arasement du barrage, est apparu en 1999, soit trois ans après l'effacement. Il y est présent depuis cette date, en nombre variable.

L'effacement du barrage de Kernansquillec a permis la recolonisation de la zone amont sur au moins vingt-sept kilomètres. Pour l'anguille, l'évolution de la population est a priori identique à celle connue avant effacement, mais le manque de données précises rend l'interprétation difficile. D'autres ouvrages en amont et en aval sont problématiques.

### 2.3.6. La perception du projet

Le démantèlement était initialement assez mal vécu par les riverains mais la revalorisation envisagée a permis une meilleure acceptation. Douze kilomètres de sentiers pédestres jalonnés de panneaux d'information ont été créés.

## 2.4. Barrage de Maisons-Rouges sur la Vienne

Les informations sur le cas du barrage de Maisons-Rouges sont issues du rapport de retour d'expérience de l'ONEMA de mai 2010.

### 2.4.1. L'ouvrage et le cours d'eau

Le barrage de Maisons-Rouges, dans l'Indre-et-Loire, est érigé à 250 mètres en aval de la confluence de la Vienne avec la Creuse pour les besoins en énergie des papeteries de la Haye-Descartes. Il crée un verrou sur ces deux bassins ; la retenue d'eau ainsi générée est estimée à 8 km sur la Creuse et 7 km sur la Vienne.

Les sous bassins versants de la Vienne et de la Creuse accueillent historiquement le saumon, l'alose, la lamproie marine et l'anguille.

Dès son installation, aucun saumon ni alose n'est pêché en amont. Les passes à poisson installées n'ont qu'une très faible efficacité.

### 2.4.2. L'opportunité

Après le rachat de l'ouvrage par EDF, le barrage ne voit pas son autorisation de renouvellement de concession autorisée par la préfecture en raison des enjeux sur les poissons grands migrateurs. Aussi son démantèlement est-il programmé.

### 2.4.3. Les travaux

Les travaux s'organisent comme suit :

- Mise en place de digues de protection et arasement du barrage transversal,
- Abaissement progressif du plan d'eau et arasement des digues de protection rive droite,
- Mise en place de digues de protection rive gauche pour la mise à sec du chantier et la démolition des bâtiments,
- Le barrage transversal, les trois vannes à aiguilles et le clapet sont démantelés,
- Un radier en béton est mis en place dans le fond de la rivière afin de limiter l'effet d'érosion régressive et la progression trop brutale des sédiments vers l'aval.

### 2.4.4. Le suivi

Un état initial a été réalisé en 1995 pour les études préalables et actualisé en 1998 avant les travaux d'arasement. D'importants suivis ont ensuite été conduits annuellement entre 1999 (fin des travaux) et 2005, puis en 2009. Ces suivis portent sur les compartiments suivants : l'hydromorphologie et la sédimentologie, les macro-invertébrés, les grands poissons migrateurs et la végétation rivulaire.

### 2.4.5. Les résultats

Pour l'ensemble des compartiments étudiés, les résultats sont très positifs et confirment le succès de l'opération :

- Les habitats du lit mineur de la Creuse et de la Vienne situés dans l'ancienne retenue se sont diversifiés,
- Le fond du lit de la retenue était essentiellement recouvert de sables, depuis l'effacement de l'ouvrage sont alors apparus des radiers avec des matériaux plus grossiers, ainsi que des îlots essentiellement graveleux,
- Les caractéristiques substrat-vitesse sont devenues plus hétérogènes offrant aux invertébrés et aux poissons de nombreux supports biogènes. En 2000 (soit 1 an après la fin des travaux), la propagation des sédiments retenus dans le barrage a engendré un colmatage en aval entraînant une perte importante d'habitats pour les invertébrés. Mais en 2002 et 2005, suite aux phénomènes de déstockage des zones où les sédiments s'étaient déposés en 1999, les habitats favorables aux invertébrés sont réapparus et l'on retrouve ainsi les taxons présents avant le passage des sédiments,
- Un fort développement des strates arbustives et arborescente sur les berges de la Vienne et de la Creuse ainsi que sur les bancs alluviaux dans le périmètre de l'ancienne retenue,
- Une recolonisation progressive du saumon, de la lamproie marine et de l'aloise.

## 2.5. Barrage de Saint-Etienne-du-Vigan sur l'Allier

Les informations sur le cas du barrage de Saint-Etienne-du-Vigan sont issues du rapport de retour d'expérience de l'ONEMA de mai 2010.

### 2.5.1. L'ouvrage

Le barrage de Saint-Etienne-du-Vigan sur l'Allier dans la Haute-Loire était un ouvrage d'une hauteur de 14 m présentant une retenue de 900 m. Il ne permettait pas le franchissement piscicole et retenait environ 30 000 m<sup>3</sup> de sédiments.

L'allier présente un fort potentiel biologique pour les poissons migrateurs. Le peuplement piscicole est dominé par les salmonidés : truite fario, ombre commun et saumon atlantique. De nombreux cyprinidés d'eaux vives sont également présents.

### 2.5.2. L'opportunité

Au vu des impacts écologiques du barrage, l'autorisation de renouvellement d'exploitation n'est pas accordée à EDF et l'Etat demande un démantèlement de ce dernier.

### 2.5.3. Les travaux

Les travaux consistent à araser totalement le barrage et le bâtiment d'usine. L'opération se déroule en trois phases :

- en novembre 1996, l'usine est démolie ;
- en janvier 1997, une vanne de vidange supplémentaire est mise en place. La vidange est effectuée en novembre 1997 en période de crue afin de diluer les sédiments au fond de la retenue ;
- au printemps 1998, l'Allier est détournée pour travailler au sec et, le 24 juin 1998, le barrage est dynamité, la situation du site ne permettant pas l'accès aux engins de démantèlement.
- Le site est ensuite remis en état.

### 2.5.4. Le suivi

Avant les travaux, des études préliminaires portant sur l'analyse des sédiments ont été réalisés. Un suivi de la qualité de l'eau est réalisé pendant les travaux et notamment des MES et de l'ammoniac. Après les travaux, un suivi des berges sur trois ans est réalisé. Il vise à contrôler la stabilité des berges de la rivière du fait de la présence d'une ligne ferroviaire à proximité. Ce suivi est effectué avec prise de photos à intervalles réguliers.

Par ailleurs, chaque année, l'office national de l'eau et des milieux aquatiques (Onema), effectue un comptage des frayères sur le bassin de l'Allier, grâce à un survol en hélicoptère.

### 2.5.5. Les résultats

L'effacement du barrage de Saint-Étienne-du-Vigan permet de restaurer la continuité piscicole et de rétablir le transport sédimentaire. Dès l'hiver 1998, des frayères à saumons sont observées à l'amont du barrage. L'année suivante, une quarantaine de frayères y sont dénombrées, soit 15 % du total de l'ensemble de l'Allier. Ces résultats sont encourageants. Toutefois, la présence d'autres barrages en aval, limite la capacité de recolonisation du Haut-Allier par les saumons. Ceci explique le faible taux de remontées observées ces dernières années.

D'un point de vue morphologique, le cours d'eau s'équilibre rapidement. Le transport sédimentaire se réactive et permet l'alimentation en gravier des frayères à l'aval. La migration des sédiments vers l'aval met en évidence, quelques années après l'effacement, les fondations de l'ancien ouvrage démolie pour

la construction du barrage de Saint-Etienne du Vigan. Des travaux complémentaires sont alors nécessaires pour créer une échancrure dans le seuil réapparu.

## 2.6. Conclusion

Peu de suivis de l'impact des effacements de barrage ont été réalisés.

Les différents retours d'expérience d'effacement d'ouvrage collectés et présentés dans ce chapitre montrent un bilan globalement positif sur le milieu naturel avec un retour à un fonctionnement naturel du lit :

- Recolonisation des poissons,
- Diversification des habitats,
- Renaturation du lit (méandre, pente d'équilibre, diversification du substrat du fond du lit ...),
- Réactivation du transport sédimentaire.

Quelques désordres ont néanmoins pu être constatés :

- Une érosion des berges,
- Un abaissement du fond du lit,
- La périlclitication d'arbres dans l'emprise de l'ancienne retenue,
- Une dégradation temporaire de la qualité des eaux (turbidité plus importante, colmatage du lit, ...).

Dans notre cas d'étude, l'effacement du lac de l'Ecureuil ayant eu lieu il y a 12 ans, ses effets immédiats sur le milieu naturel ne sont plus visibles et on peut s'attendre à ce que le cours d'eau ait retrouvé un fonctionnement naturel sur cette portion.

## 3. Diagnostic Hydrologie, Hydrogéologie et Hydromorphologie

### 3.1. Hydrologie

#### 3.1.1. Caractéristiques du bassin versant

La zone d'étude est située au sein du massif volcanique de l'Estérel. Les bassins versants au droit de la zone d'étude sont montagneux et présentent un dénivelé important (entre 550 m NGF au niveau du sommet du Marsaou et 10 m NGF au niveau du lac du Grenouillet).

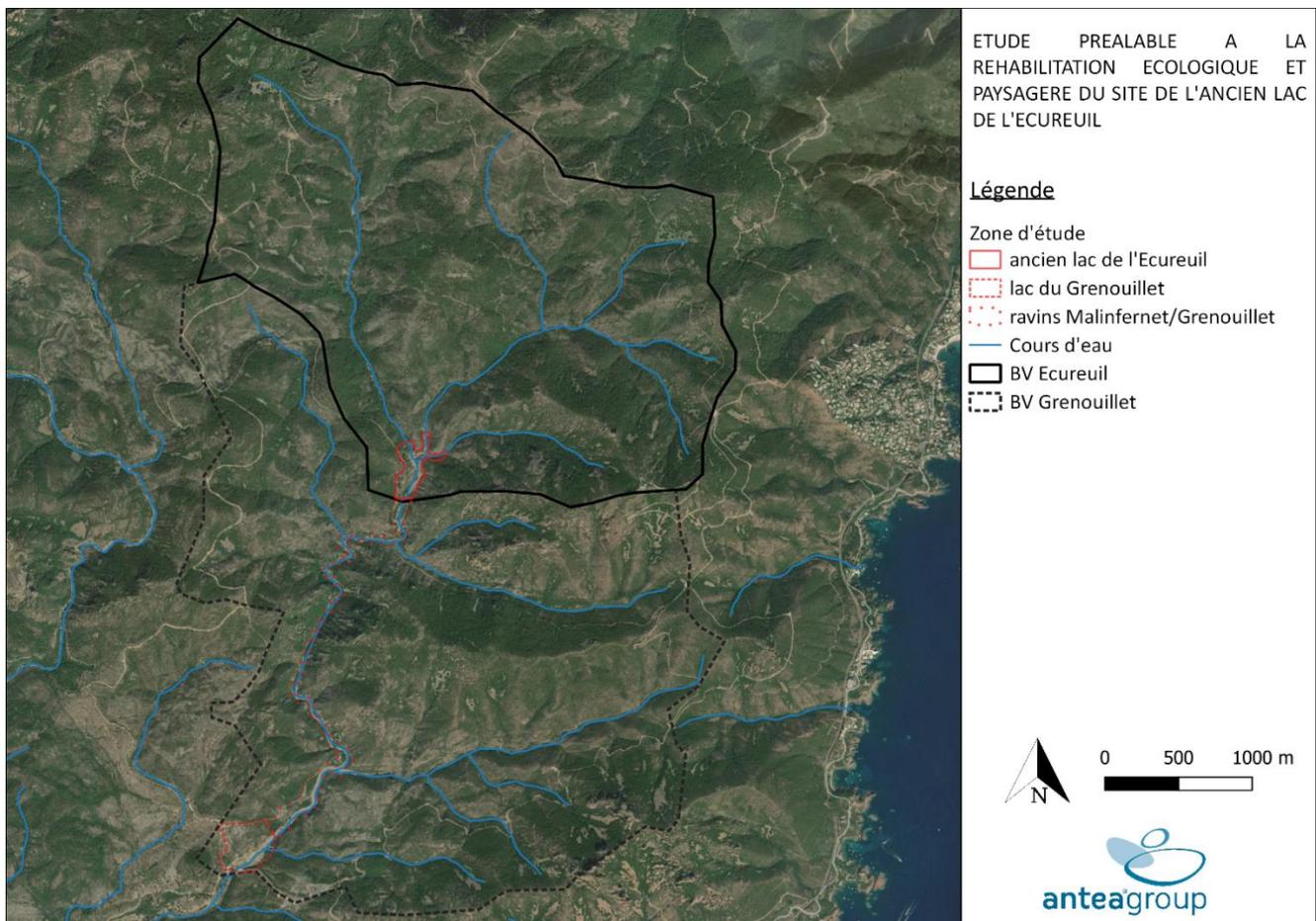


Figure 1 : Bassins versants de la zone d'étude

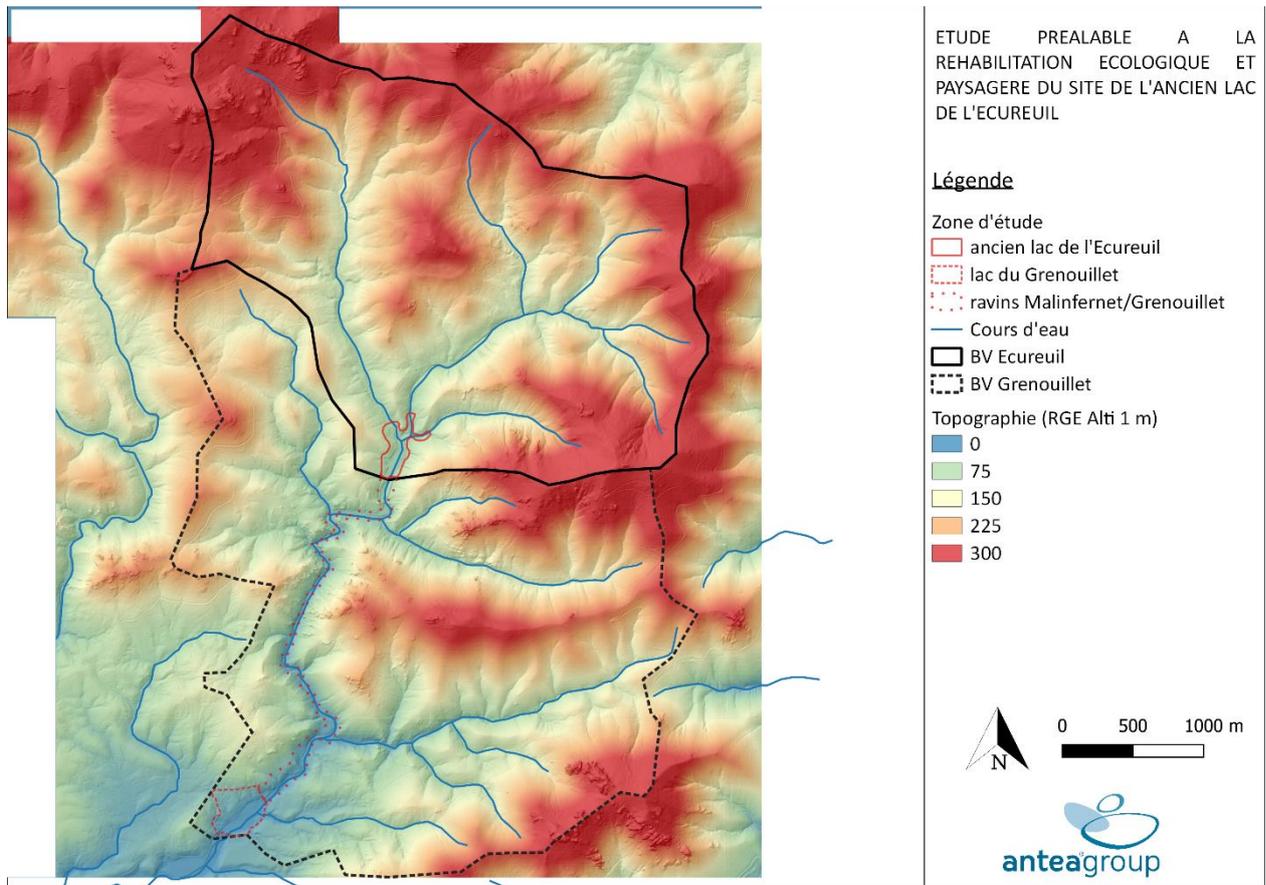


Figure 2 : Topographie du secteur d'étude - Source : RGE Alti 1 m

### 3.1.2. Débits d'étiage et module

❖ Etude Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) 2012

En 2012, l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques a réalisé une étude hydrologique visant à caractériser les débits d'étiages et les débits moyens sur l'ensemble du réseau hydrographique de l'hexagone.

Les deux variables Module et QMNA5 ont été reconstituées sur la base de chroniques existantes les moins influencées possibles par les activités humaines et de bonne qualité météorologique. Des chroniques d'une durée minimale de 26 ans (durée requise pour une estimation robuste du QMNA5) ont donc été sélectionnées sur la période 1970-2005 pour aboutir à un total de 632 stations disponibles dans la Banque HYDRO.

La cartographie résulte d'une combinaison de trois estimations obtenues par les équipes de recherche d'Institut national en Recherche Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA) de Lyon, Aix-en-Provence et Antony. La meilleure estimation en chaque point de mesure est au final conservée. Enfin, un tableau de données fournit à l'utilisateur un indice de robustesse (fragile, prudence, robuste) et une fourchette d'incertitude pour éclairer la confiance à accorder à l'estimation.

Sur la zone d'étude, les QMNA5 obtenus ont une robustesse faible et sont inutilisables. En revanche, les modules obtenus sont robustes. Ils sont présentés sur la figure suivante :

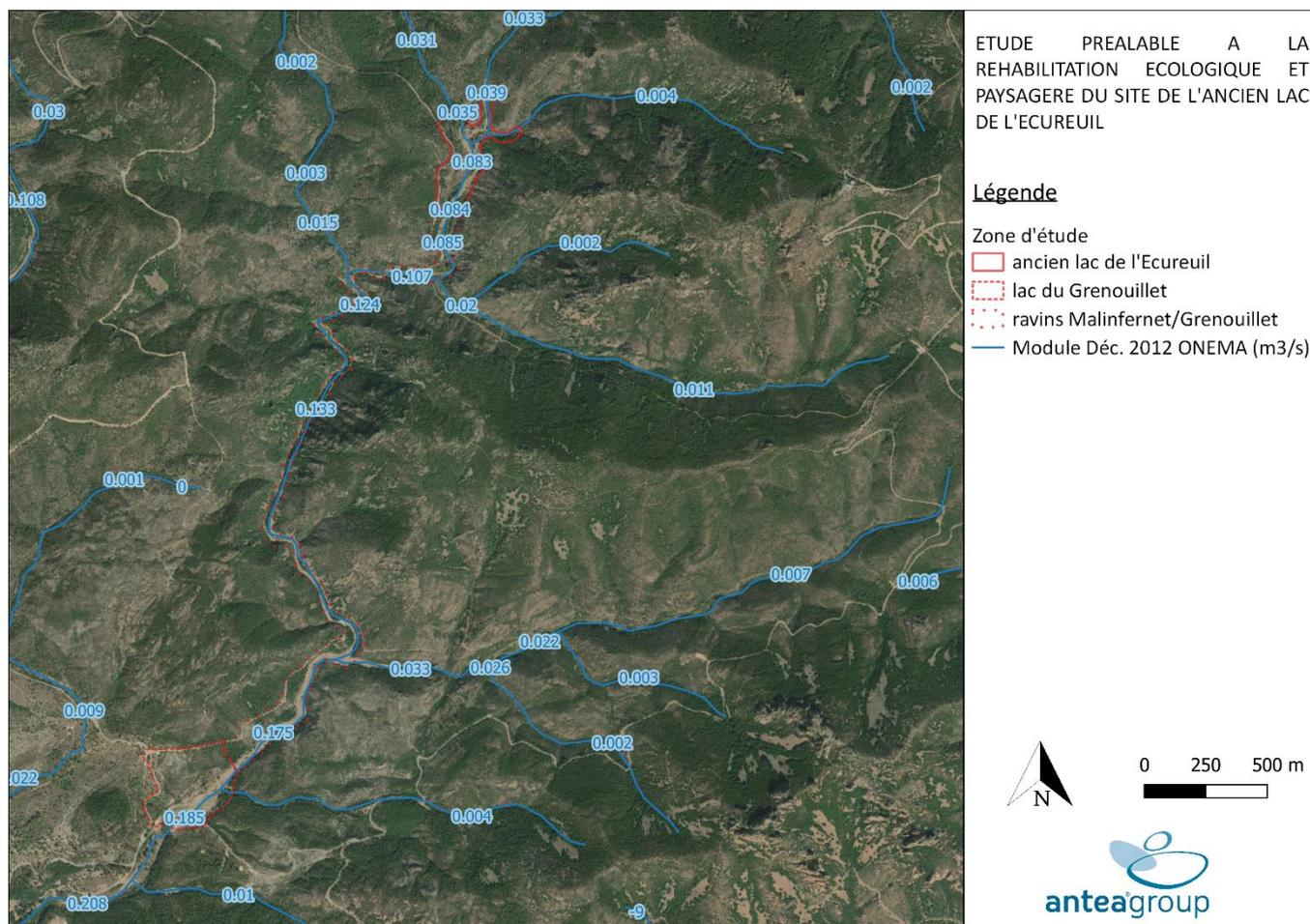


Figure 3 : Modules issus de l'étude hydrologique réalisée par l'ONEMA en 2012

Le débit varie entre 0,083 m<sup>3</sup>/s au niveau de l'ancienne retenue de l'Ecureuil et 0,185 m<sup>3</sup>/s au niveau du lac du Grenouillet.

Il est possible que ces débits soient influencés par le barrage. Ils fournissent donc un ordre de grandeur mais ne peuvent pas être utilisés comme tel.

❖ **Station hydrométrique - Méthode de transfert de bassin versant**

Une station hydrométrique est présente sur le Grenouillet environ 2,5 km en aval de la zone d'étude (station Y5505410 : Le Grenouiller à Saint-Raphaël [Agay]). Les données sont disponibles à la station sur la période 1969-2020.

La station étant située en aval du site de l'ancien lac de l'Ecureuil, les données antérieures à la destruction du barrage sont influencées par la retenue. Après 2009, seulement 5 années complètes de données sont disponibles. Aussi, cette station est utilisée pour la détermination des débits d'étiage mais ne permet pas une définition fiable des débits de crue.

Le module calculé sur les données postérieures à 2009 est de 0,65 m<sup>3</sup>/s. En appliquant la méthode analogique, on obtient les débits suivants :

- Module (lac de l'Ecureuil) = 0,11 m<sup>3</sup>/s,
- Module (lac du Grenouillet) = 0,24 m<sup>3</sup>/s.

### 3.1.3. Débits de crue

❖ **Bibliographie**

L'étude de remise en service du barrage de l'Ecureuil réalisée par l'Office National des Forêts en 2012 a retenu les débits caractéristiques suivants au niveau de l'ancien barrage de l'Ecureuil :

Période de retour	Débits étude ONF 2012 (m <sup>3</sup> /s)	Méthode de calcul
10 ans	15,1	Analogique (BV barrage de l'Avellan)
50 ans	31,8	
100 ans	42,9	
500 ans	74,8	
1000 ans	90,7	

**Tableau 2 : Débits caractéristiques au niveau de l'ancien lac de l'Ecureuil issus de l'étude de l'ONF de 2012**

❖ **Méthode rationnelle et de Crupedix -> Débit décennal**

Pour les bassins versants inférieurs à 1 km<sup>2</sup>, le débit décennal peut être calculé à partir de la formule rationnelle. Elle permet d'estimer des débits de pointe pour des événements pluvieux de fréquence décennale notamment, sur tout type de bassin versant. La formule est la suivante :

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \times Cr \times I \times S \quad \text{avec}$$

Q<sub>p</sub> = débit de pointe de fréquence décennale (m<sup>3</sup>/s)

Cr = coefficient de ruissellement pour une pluie orageuse de fréquence décennale (0 < Cr < 1)

I = intensité de pointe de la pluie de durée égale au temps caractéristique du bassin versant (mm/h)

S = surface du bassin versant (km<sup>2</sup>)

Pour des bassins versants supérieurs à 10 km<sup>2</sup>, la formule de Crupedix utilisée est celle établie par le Ministère de l'Agriculture français en 1980 à partir d'une synthèse sur 630 bassins versants :

$$Q_{10} = S^{0,8} \times \left(\frac{P}{80}\right)^2 \times R \quad \text{avec}$$

Q<sub>10</sub> : débit de pointe décennal en m<sup>3</sup>/s

S : superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>

P : pluie journalière décennale en mm

R : coefficient régional, valant généralement 1, sauf dans certains secteurs

Pour les bassins versants de superficie comprise entre 1 et 10 km<sup>2</sup>, la formule qui consiste à pondérer par la surface les deux méthodes évoquées est classiquement utilisée.

$$Q_{p10} = \left(\frac{10 - S}{9}\right)^2 Q_{rationnelle} + \left(1 - \left(\frac{10 - S}{9}\right)^2\right) Q_{crupedix}$$

Aussi les débits calculés à partir des méthodes décrites plus hauts sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	BV Ecureuil	BV Grenouillet
Superficie (km <sup>2</sup> )	7,8	17,5
Longueur hydraulique (m)	3800	7700
Estimation du ruissellement (0<C<1)	0,60	0,60
Coefficient "régional" CRUPEDIX	1,00	1,00
Pente (m/m)	0,1279	0,0701
Temps de concentration (min)	47	100

Pluie inter annuelle (mm/an)	776,7
Pluie maximale décennale journalière (mm) (P) Station le Luc – 1982 – 2016	130
Paramètres de Montana : a=	11,261
Station Le Luc – 1982 – 2016 b=	0,63

Intensité de la pluie (en mm/heure) :	59,08	36,54
Hauteur de pluie totale (en mm) :	46,03	60,76

	Débits calculés (Q <sub>10</sub> ) (m <sup>3</sup> /s)	Débits calculés (Q <sub>10</sub> ) (m <sup>3</sup> /s)
Rationnelle (S < 1 km <sup>2</sup> )	76,8	106,6
Crupedix (S > 10 km <sup>2</sup> )	13,7	26,14
BV (1 km <sup>2</sup> < S < 10 km <sup>2</sup> )	17,5	
<b>Débit de pointe décennal théorique</b>	<b>17,5</b>	<b>26,14</b>

Tableau 3 : Calculs des débits décennaux

Remarques :

- Le temps de concentration retenu correspond à la moyenne des temps de concentration calculés avec les formules de Ventura, Kirpich et Passini.

Au niveau du site de l'ancien lac de l'Ecureuil, le débit obtenu est du même ordre de grandeur que celui qui avait été retenu dans l'étude ONF de 2012.

#### ❖ Méthode SHYREG

Dans le cadre de ses activités de recherche et d'appui aux politiques publiques, l'Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA) a mis en œuvre la méthode SHYREG. L'aboutissement de ce travail est la mise à disposition par les services de l'Etat d'une base de données sur les quantiles de débit de crue à l'exutoire de bassins versants non-jaugés. Il s'agit des quantiles de crue estimés pour différentes durées (de la pointe au débit en 3 jours) pour des périodes de retour allant de 2 à 1000 ans.

Cette méthode est basée sur le couplage d'un générateur stochastique de pluie horaire et d'un modèle hydrologique.

Une estimation des débits caractéristiques selon cette méthode est disponible au niveau du site de l'ancien lac de l'Ecureuil.

Période de retour	T= 2 ans	T=5 ans	T=10 ans	T=20 ans	T=50 ans	T=100 ans	T=500 ans	T=1000 ans
Débits Ecureuil (m <sup>3</sup> /s)	10,3	16	21,9	29,3	42,1	54	88	105

**Tableau 4 : Débits caractéristiques au droit du site de l'ancien lac de l'Ecureuil issus de la méthode SHYREG**

Les débits calculés correspondent à un fonctionnement naturel du cours d'eau (sans barrage).

#### ❖ Méthode analogique

La méthode analogique a été appliquée sur les débits caractéristiques de la station « Grenouiller » en aval de la zone d'étude pour obtenir ceux au niveau du site de l'ancien lac de l'Ecureuil.

Malgré l'influence potentielle de la retenue du lac de l'Ecureuil sur les débits de crue, il est tout de même intéressant de comparer ces débits à ceux définis à partir d'autres méthodes.

	T=10 ans	T=20 ans	T=50 ans
Débits station « Grenouiller » (m <sup>3</sup> /s)	84	98	120
Débits Ecureuil (m <sup>3</sup> /s)	21,5	25,1	30,7

**Tableau 5 : Débits caractéristiques déterminés à partir de la station « Grenouiller » (méthode analogique)**

#### ❖ Méthode du Gradex -> Débits extrêmes

La méthode du GRADEX s'applique aux bassins versants d'une superficie de quelques km<sup>2</sup> à plusieurs milliers de km<sup>2</sup>. Cette méthode suppose qu'à partir d'un certain seuil (point pivot), tout excédent de pluie se traduit en débit.

Ainsi, à partir d'une certaine occurrence, les débits de pointe seront extrapolés à partir d'un point pivot, via la méthode du Gradex qui s'exprime de la manière suivante :

$$Q_p(T) = Q_p(T_0) + G_Q(d) \times (u_T - u_{T_0}) \times R_d$$

$Q_p(T)$  : débit de pointe pour la période de retour  $T$

$Q_p(T_0)$  : débit de pointe pour la période de retour  $T_0$ , constituant le point « pivot »

$G_Q(d)$  : Gradex des débits calculés sur la durée «  $d$  »

$u_T$  : variable de Gumbel pour la période de retour  $T$

$u_{T_0}$  : variable de Gumbel pour la période de retour  $T_0$

$R_d$  : coefficient d'affinité

Dans le cas de la présente étude, le coefficient d'affinité et la durée «  $d$  » ont été déterminées à partir de 3 hydrogrammes de la station « Grenouiller » en aval de la zone d'étude (Oct. 2015, Oct. 2018 et Nov. 2019). Le ratio entre le temps de concentration du bassin versant de la station hydrométrique et celui du bassin versant de l'Ecureuil (3,7) est ensuite appliqué à la durée «  $d$  » pour obtenir la durée au droit de l'ancien lac de l'Ecureuil.

La durée caractéristique et le coefficient d'affinité obtenus sont les suivants :  **$d = 3,7$  h et  $R_d = 1,6$** .

**Point pivot** : Le point pivot retenu est le débit décennal calculé précédemment avec la méthode SHYREG.

### **Détermination du Gradex des pluies et des débits**

Le Gradex des débits s'obtient de la manière suivante à partir du Gradex des pluies :

$$G_Q(d) = \frac{G_P(d) \times S}{d}$$

$G_Q(d)$  : Gradex des débits calculé sur la durée «  $d$  »

$G_P(d)$  : Gradex des pluies calculé sur la durée «  $d$  »

$S$  : superficie du bassin versant étudié (**ici  $S = 7,8$  km<sup>2</sup>**)

$d$  : durée caractéristique

Le Gradex des pluies est calculé sur la durée «  $d$  » (pas forcément égale au temps de concentration).

Le Gradex des pluies journalières a été déterminé par ajustement fréquentiel de Gumbel des pluies journalières de la station du Luc (1946 - 2020).

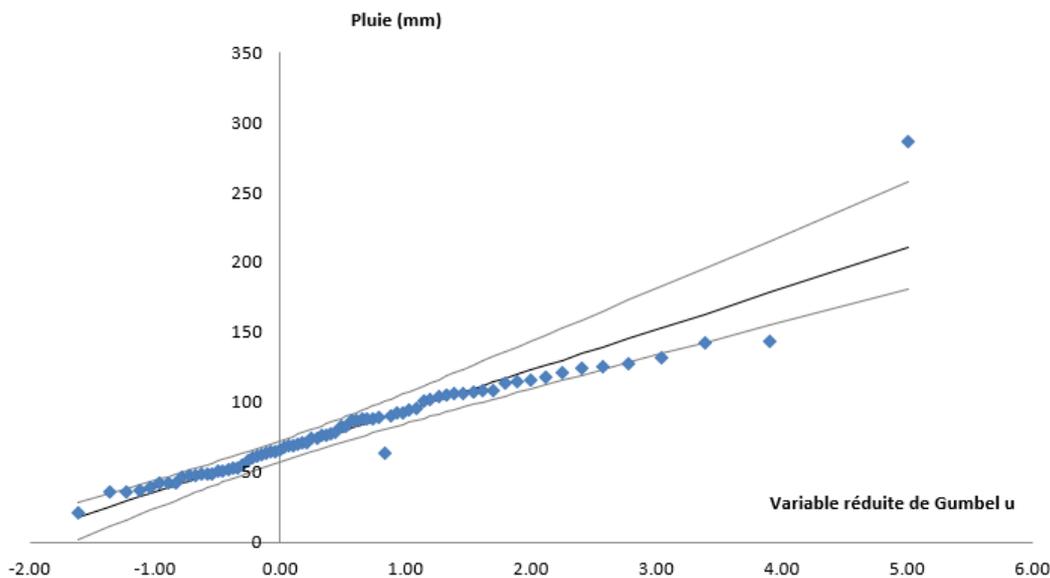


Figure 4 : Ajustement fréquentiel de Gumbel des pluies de la station du Luc (période 1946 - 2020)

Le Gradex des pluies journalières obtenu est de 29 mm.

Le coefficient de Weiss permet de passer des pluies journalières aux pluies 24 heures (période de 24 heures glissantes). Ainsi,

$$Gp(24h) = 1,14 * Gp(j)$$

Pour ramener le Gp (24h) au Gradex sur la durée d, on se base sur la pluie décrite selon une loi de Montana :  $P = a \times t^b$

$$Gp(d) = Gp(24h) \times \left(\frac{d}{24h}\right)^b$$

Dans le cas présent, le coefficient de Montana b utilisé est celui de la station Météo France du Luc pour une pluie de période de retour 10 ans : **b = 0,65.**

La méthode du Gradex fournit donc les débits suivants :

	T=20 ans	T=50 ans	T=100 ans	T=500 ans	T=1000 ans
Débits Ecureuil (m <sup>3</sup> /s)	29	37	44	58	65

Tableau 6 : Débits de pointe théoriques calculés au niveau du site de l'ancien lac de l'Ecureuil par la méthode du Gradex

### 3.1.4. Débits caractéristiques retenus

Le tableau ci-dessous synthétise les débits caractéristiques déterminés selon les différentes méthodes :

Méthode de calcul / Débits (m <sup>3</sup> /s)	ONEMA 2012	Etude ONF 2012 Méthode analogique (BV barrage de l'Avellan)	Méthode rationnelle et de Crupédix	Méthode SHYREG	Méthode analogique (station Grenouiller)	Gradex
Module	0,083*				0,11	
Q2				10,3		
Q5				16		
Q10		15,1	17,5	21,9	21,5*	21,9 (pivot)
Q20				29,3	25,1*	29
Q50		31,8		42,1	30,7*	37
Q100		42,9		54		44
Q500		74,8		88		58
Q1000		90,7		105		65

\*Débits calculés avec l'influence du barrage de l'Ecureuil - Donnés à titre informatif

Tableau 7 : Synthèse des calculs des débits caractéristiques

Nous retenons pour la suite de l'étude les débits caractéristiques de crue issus de la méthode SHYREG pour les raisons suivantes :

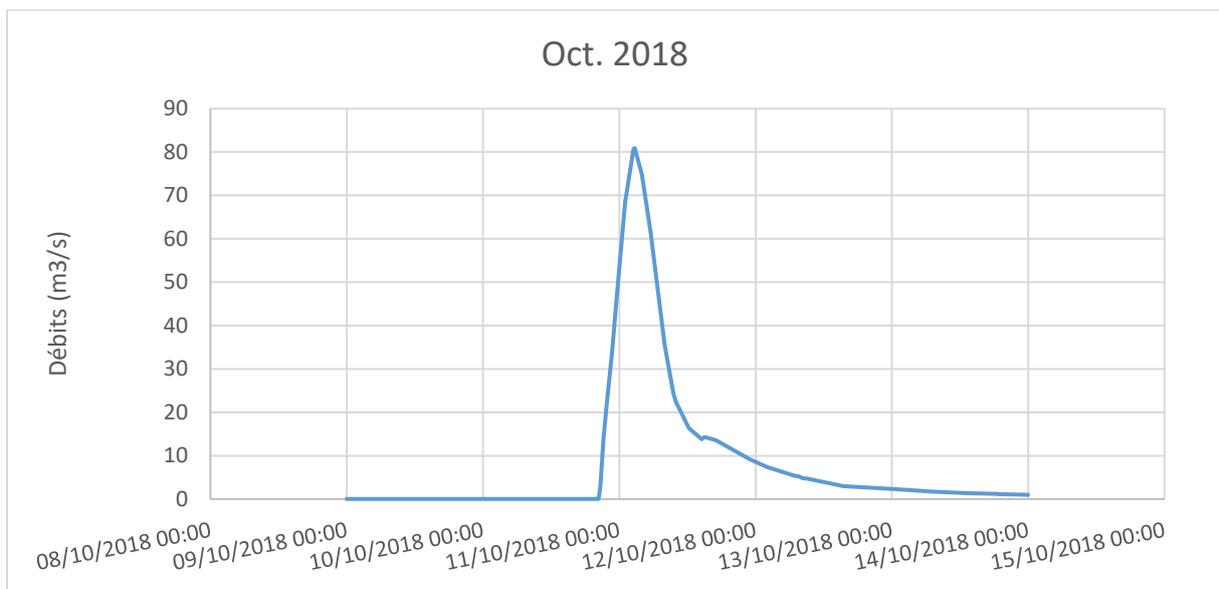
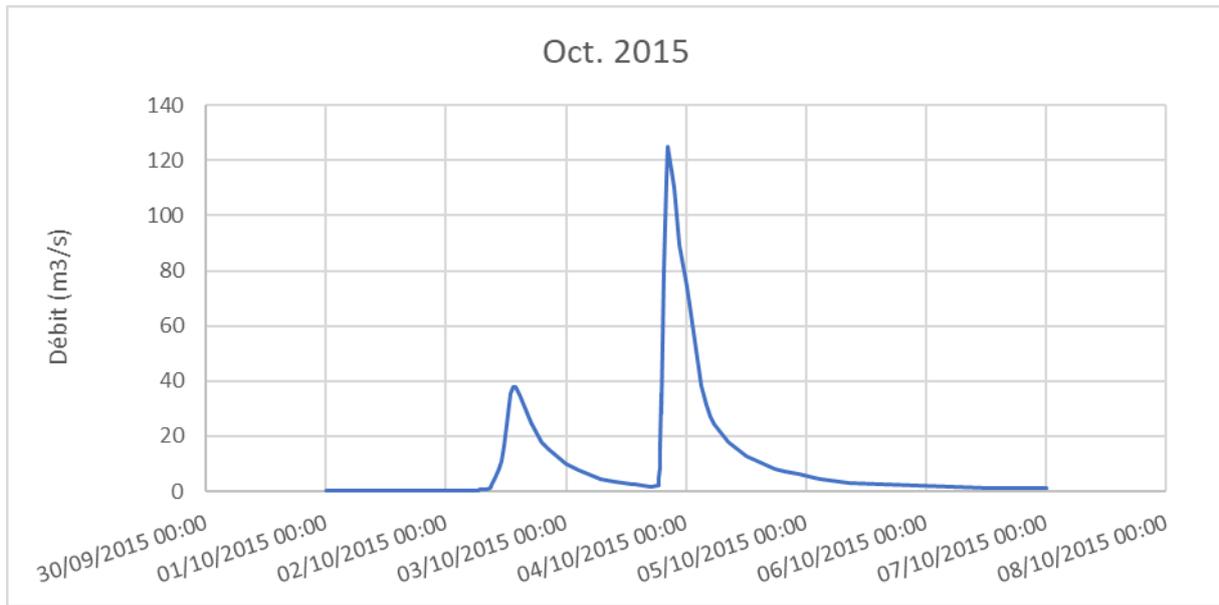
- Ils sont basés sur le couplage d'un générateur stochastique de pluie horaire et d'un modèle hydrologique,
- Ce sont les débits les plus élevés.

	Module	T=2 ans	T=5 ans	T=10 ans	T=20 ans	T=50 ans	T=100 ans	T=500 ans	T=1000 ans
Débits Ecureuil (m <sup>3</sup> /s)	0,11	10,3	16	21,9	29,3	42,1	54	88	105

Tableau 8 : Débits caractéristiques retenus

### 3.1.5. Hydrogrammes de crue

Des chroniques de débits sont disponibles à la station hydrométrique « Grenouiller ». Trois crues récentes ont été identifiées en Octobre 2015, Octobre 2018 et Novembre 2019. Elles sont présentées sur les figures suivantes :



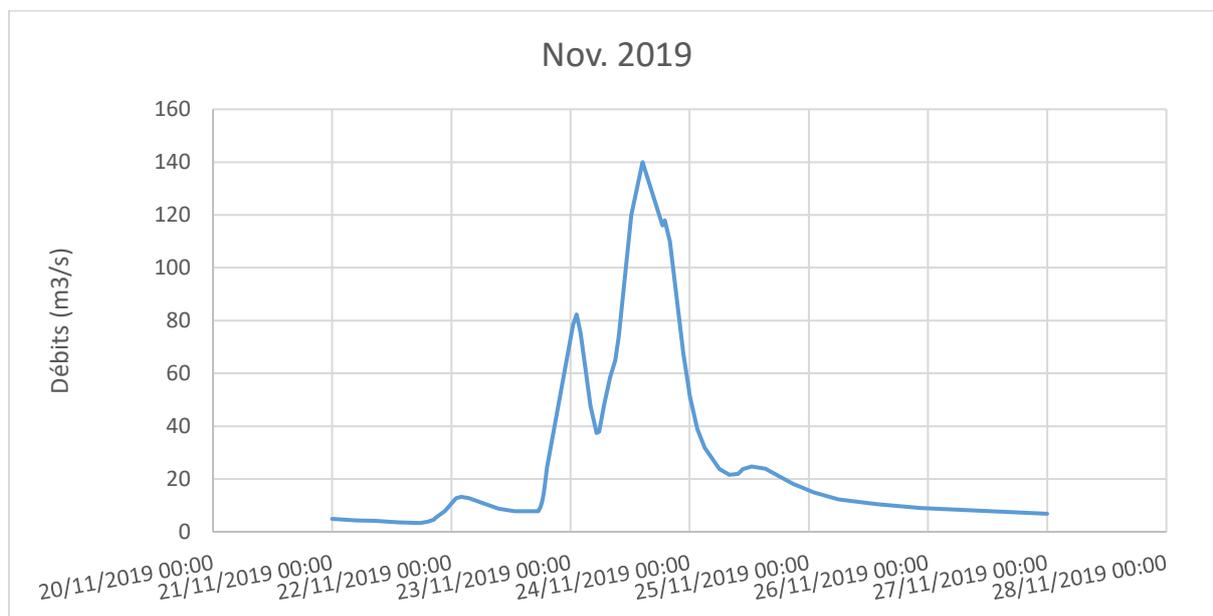


Figure 5 : Hydrogrammes à la station « Grenouiller »

## 3.2. Géologie et Hydrogéologie

### 3.2.1. Contexte géologique

Le site d'étude est localisé au droit du massif de l'Estérel qui est caractérisé par des formations résiduelles de la chaîne hercynienne. Ainsi, il est composé de terrains cristallins et métamorphiques (granite, gneiss), volcaniques (rhyolite, brèche et tuf) et parfois sédimentaires (pélite et arkose permien).

Des nombreuses failles découpent la zone d'étude en particulier selon un axe est-ouest, mais également nord-sud.

Au droit du bassin versant de la zone d'étude, les formations suivantes se trouvent à l'affleurement :

- Formations superficielles :
  - Dépôts de pentes :
    - E5 : éboulis rhyolitiques ;
    - E3 : glairés de l'Estérel recouvrant la plupart des pentes et ayant une épaisseur de 10 à 15 cm : blocs et cailloux (éboulis fossiles) ;
    - E2 : éboulis plus anciens se raccordant à la moyenne terrasse (éboulis fossiles) ;
  - Terrasses fluviales :
    - Fy : basse terrasse (3 à 5 m) : niveau alluvial caillouteux se raccordant aux épandages caillouteux du piémont qui l'a nourrie ;
- Volcanisme permien - Roches basiques :
  - 3αM : Coulée de mugéarite (20 à 50 m) ;
- Volcanisme permien - Roches acides (laves) :

- <sup>8</sup>P : coulée de rhyolite bréchique (3 à 4 m) formée d'éléments de 1 cm à 1 m<sup>3</sup> soudés entre eux, sans ciment. Les phénocristaux de quartz et de feldspaths potassiques sont peu abondants ;
- <sup>7</sup>P : coulée de rhyolite ignimbritique rouge à orangé (150 à 300 m) riche en phénocristaux (40 à 50 %) de quartz et de feldspaths potassiques. Cette coulée s'est mise en place par débordement fissural, le long des grandes failles bordières des bassins ;
- <sup>5</sup>P : coulée de rhyolite ignimbritique (0 à 150 m) riche en phénocristaux (30 à 40 %) de quartz et de feldspaths potassiques. Sa limite supérieure est souvent masquée par les éboulis de la rhyolite <sup>7</sup>P ;
- Permien :
  - rMi : formation du Mitan (100 à 300 m) : conglomérats à galets de rhyolite et de roches sédimentaires, grès roses ou verts, argiles ;
  - rPx : formation des Pradineaux (0 à 200 m) : conglomérats à galets de rhyolite (<sup>7</sup>P), grès micacés à pyrite, fluorite, argiles ;
  - rBa : formation de Bayonne (30 à 150 m) : grès rosâtres et tufs volcaniques.

### 3.2.2. Contexte hydrogéologique

Les formations du massif sont considérées comme peu aquifères. Les ressources d'eau souterraines sont superficielles, locales, discontinues et circulent dans le réseau fissuré des roches. Des petites nappes peuvent se former au droit de terrains plats perméables intercalés au sein de formations semi-perméables ou peu perméables. Ces nappes se localisent généralement dans les réseaux fissurés décomprimés des cinquante premiers mètres de profondeur. Toutefois, les terrains de la zone d'étude sont pentus et raides et ainsi peu propices à la formation de telles nappes. Ainsi, le ruissellement y est majoritaire par rapport à l'infiltration.

Par conséquent, la ressource d'eau souterraine du massif est très faible et très sensible à l'étiage en raison de sa nature superficielle dans les horizons altérés. Les exutoires sont représentés par des nombreuses sources de versant ou de pied de versant de faible débit (débit moyen généralement inférieur à 1 L/s).

L'altération des rhyolites ne donne qu'une argile sableuse peu perméable. Toutefois, la rhyolite <sup>7</sup>P, présente à l'affleurement au droit de la zone d'étude, favorise l'infiltration et l'emmagasinement de l'eau en profondeur en raison de son extension et de son épaisseur. Ces circulations souterraines profondes sont drainées par la mer entre Théoule-sur-Mer et Anthéor.

La faible perméabilité des terrains peut également se traduire par la création de lacs temporaires. La contribution aux cours d'eau à l'étiage est globalement très marginale.

Le Maître d'Ouvrage a indiqué que le site de l'ancien lac de l'Ecureuil est complètement à sec en période d'étiage tandis qu'au droit du vallon du Mal Infernet, situé à environ 800 m en aval, de nombreuses résurgences pérennes alimentent des marmites d'eau, même en période de sécheresse remarquable.

Sur l'ensemble de la zone d'étude, la banque de données du sous-sol ne recense pas de sources. Toutefois, la carte IGN indique la présence d'au moins cinq sources. Elles sont toutes localisées en aval du site de l'ancien lac de l'Ecureuil et en pied de versants rhyolitiques.

Trois de ces sources alimentent le vallon du Mal Infernet, dont les deux sources des Fontaines, situées parallèlement au vallon, en rive gauche, et de part et d'autre d'une faille de direction est-ouest. D'un point de vue qualité, les eaux souterraines ont un faciès bicarbonaté calcique et faiblement minéralisées. Des anomalies en éléments de trace ont été mises en évidence dans le secteur du massif pour l'arsenic, l'antimoine, le baryum et le fluor.

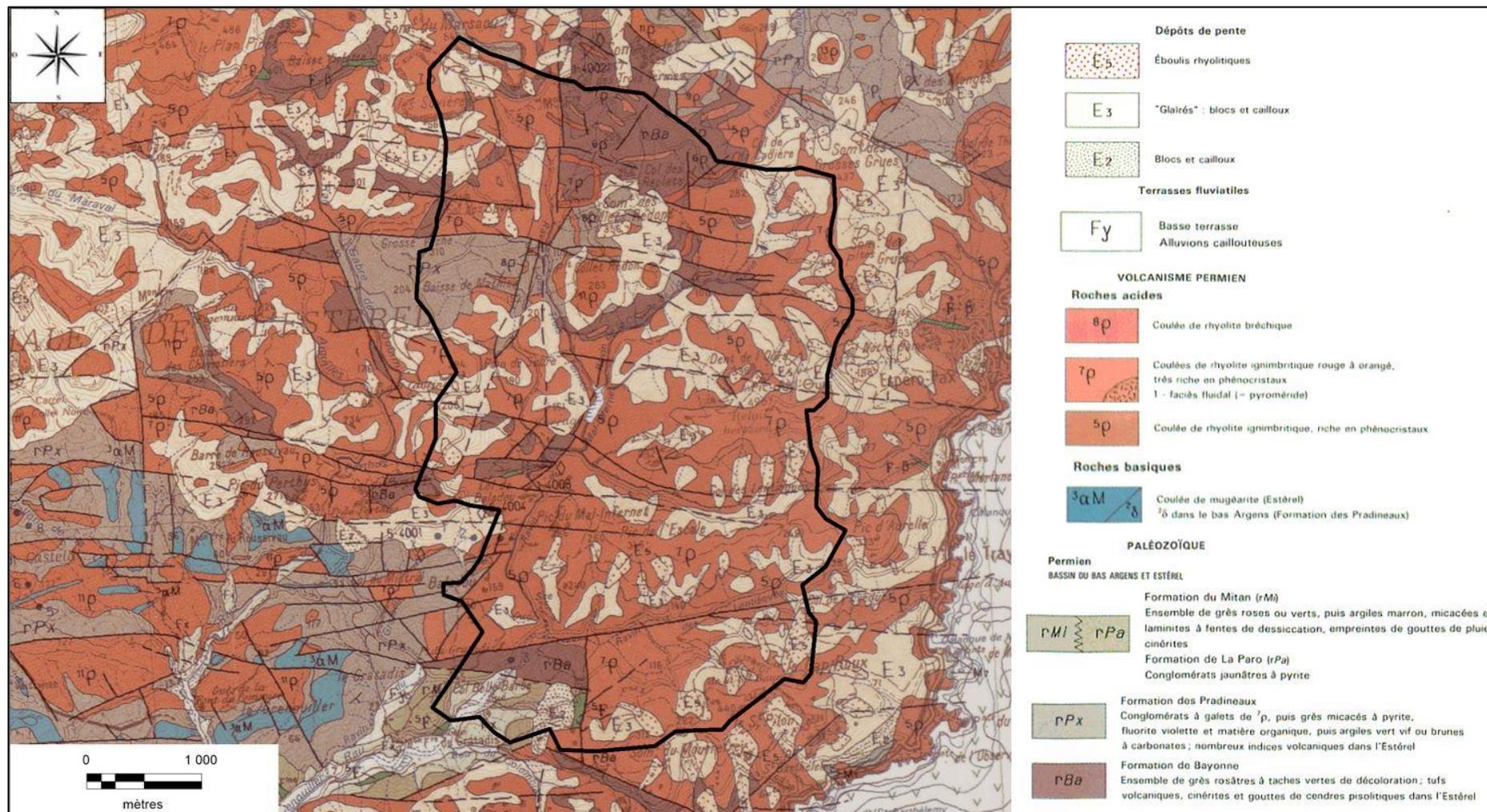


Figure 6 : Extrait de la carte géologique n°1024 « Fréjus-Cannes » (Source : Infoterre BRGM)

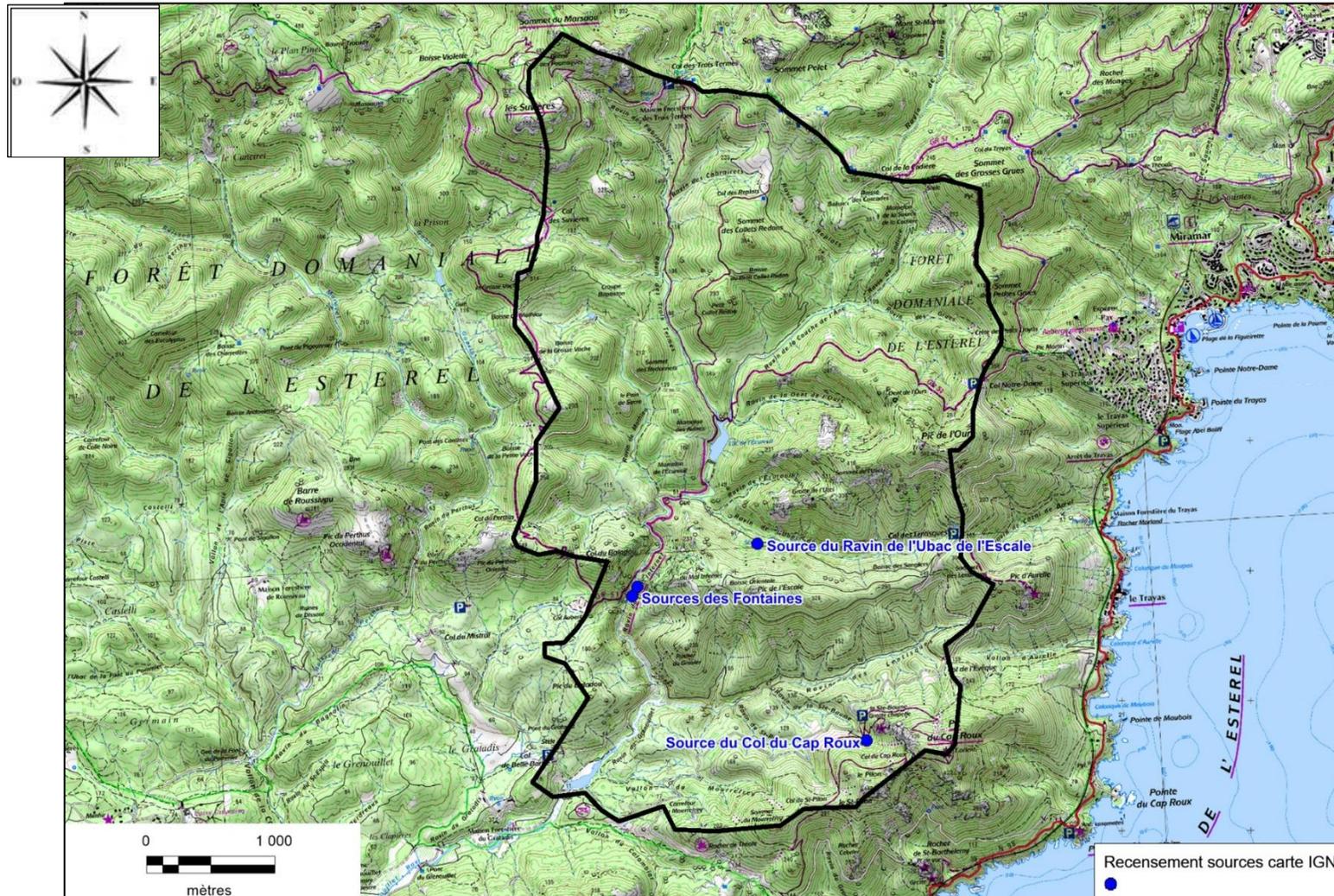


Figure 7 : Localisation des sources recensées sur la carte IGN au 1/25 000<sup>ème</sup>

### 3.3. Schéma annuel des flux

#### 3.3.1. Principe

Si les flux d'entrée à l'hydrosystème étudié (réseau hydrographique et aquifère) sont issus des précipitations, leur intégralité ne contribue pas aux écoulements de surface ou souterrains. Il existe en effet des phénomènes d'évapotranspiration et de stockage des eaux dans les sols qui limitent les flux parvenant au sein du réseau hydrographique ou en nappe. Les différents transferts hydrologiques rencontrés sont illustrés ci-après.

Le schéma des flux va donc consister à faire un état de la part de recharge des eaux souterraines, du coefficient de ruissellement et de l'évapotranspiration en fonction des précipitations sur le bassin versant.

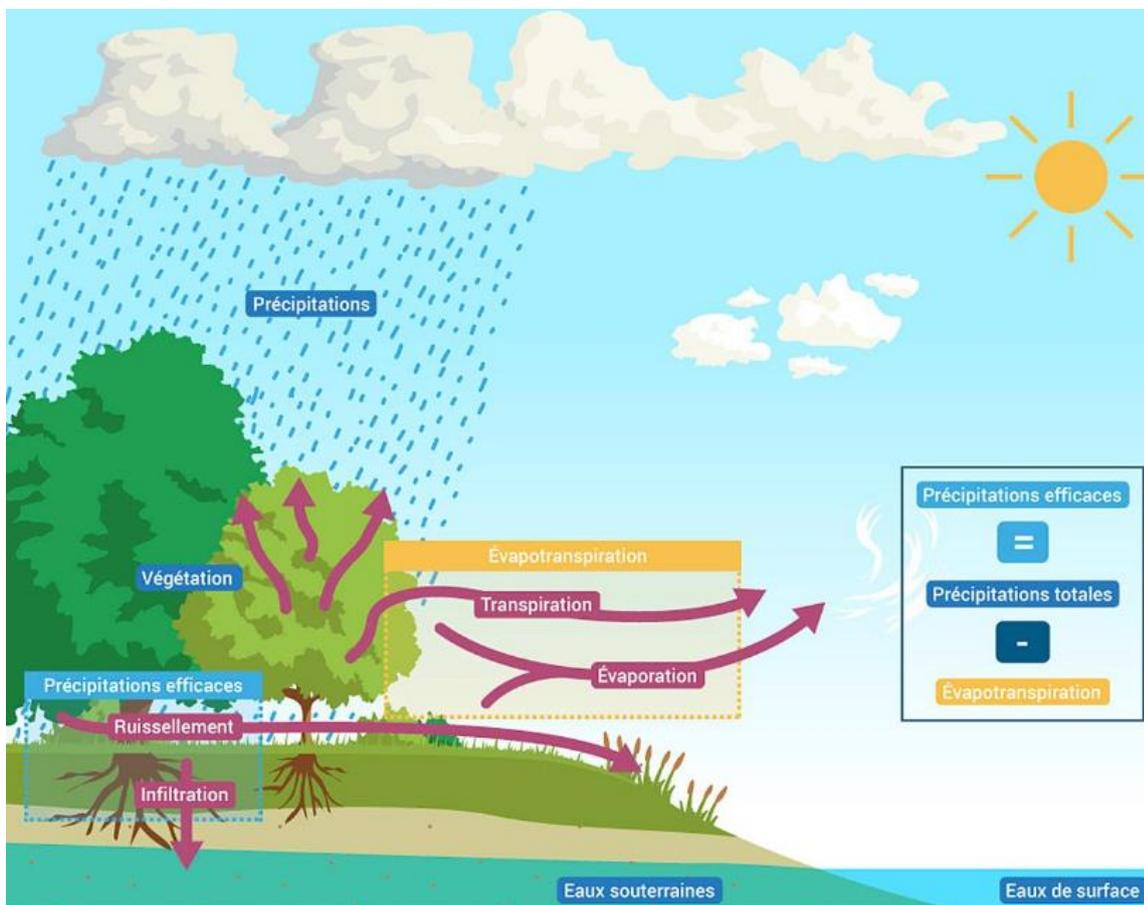


Figure 8 : Schéma de principe du bilan des flux d'eau sur un bassin versant (Source : Eau France)

Suite à un épisode pluvieux :

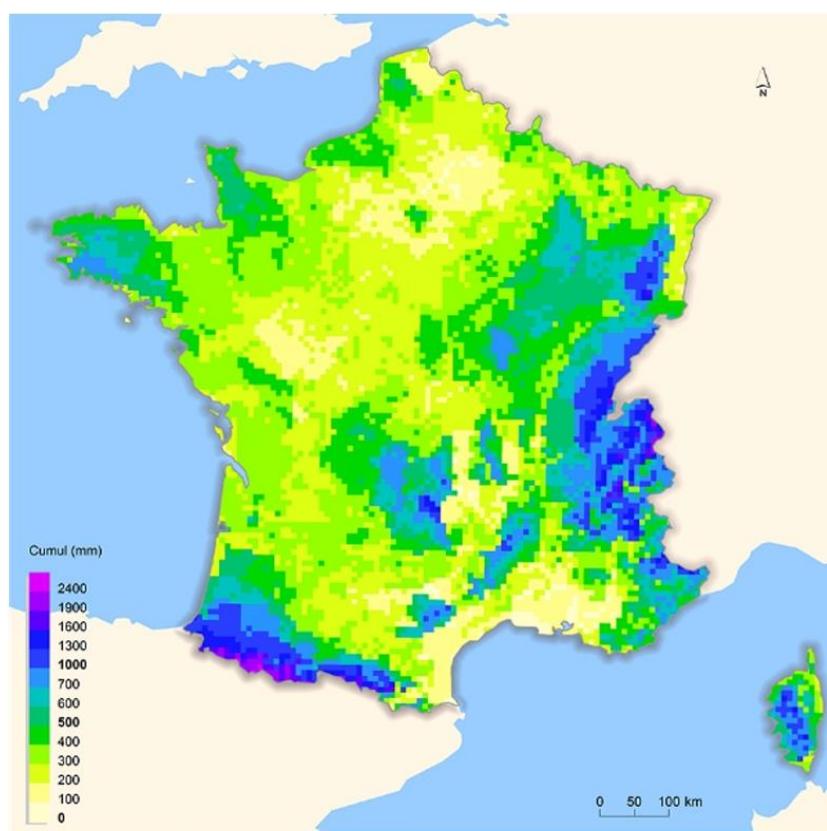
- une partie des précipitations repart par **évapotranspiration** (évaporation de l'eau et transpiration de la végétation) ;
- une partie appelée précipitation efficace :

- ruisselle potentiellement vers le réseau hydrographique,
- s'infiltrer dans le sol et recharge potentiellement les nappes.

Les précipitations efficaces sont aujourd'hui estimées à partir de modèles numériques développés par Météo-France. Elles sont obtenues par soustraction de l'évapotranspiration (estimée à partir de paramètres climatiques - insolation, rayonnement, température, etc. et du calcul des besoins en eau des végétaux) aux précipitations totales (mesures par un pluviomètre).

### 3.3.2. Flux d'entrée : les précipitations efficaces

Le cumul annuel des précipitations efficaces calculé par Météo-France est reporté sur la carte ci-dessous. La maille au droit de la zone d'étude indique une pluie efficace de 400 mm/an.



Source : Météo-France. Traitements : SOeS

Figure 9 : Calcul de la pluie efficace annuelle mm/an (Source : Météo-France)

### 3.3.3. Flux de sortie : l'infiltration et le ruissellement

L'infiltration et le ruissellement sont les deux grandeurs résultantes lorsqu'un bilan hydrologique est réalisé. Elles correspondent aux flux en sortie du premier compartiment de l'hydrosystème étudié qui viendront alimenter les eaux de surface et les eaux souterraines.

Ainsi, une fois les différentes variables et paramètres précédemment décrits déterminés, il est possible de réaliser un bilan hydrologique et d'obtenir pour la période et la fréquence voulues la recharge de la nappe et la lame d'eau ruisselant en surface.

Sur la base des transferts de flux et du bilan hydrologique, l'infiltration et le ruissellement sont déterminés avec les formules suivantes :

- **le ruissellement :**

$$R = (P - ETR) Cr$$

- **l'infiltration :**

$$I = P - ETR - R - \Delta S$$

*R : ruissellement*

*P : précipitations*

*ETR : évapotranspiration réelle*

*Cr : coefficient de ruissellement*

*I : infiltration*

*ΔS : variation de stock (remplissage) au sein de la réserve utile (RU)*

#### ❖ **Détermination du coefficient de ruissellement**

Le coefficient de ruissellement (Cr) est le rapport entre la hauteur d'eau qui a ruisselé sur une surface donnée et la hauteur d'eau précipitée. Il est dépendant de la pente des terrains, de la couverture et de la nature de ceux-ci.

Sur le bassin versant, la pente des terrains peut être relativement élevée. Elle est généralement comprise entre 20 et 40 %. Sur ce même secteur, l'occupation des sols est majoritairement composée de forêt et végétation basse. La nature des terrains est, quant à elle, plutôt de type argileuse.

Aussi compte-tenu de ces éléments et suivant la classification des coefficients de ruissellement présente dans le tableau ci-après, il peut être retenu un coefficient de ruissellement  $Cr = 0.60$ .

Couverture végétale	Morphologie	Pente %	Terrain sable grossier	Terrain limoneux	Terrain argileux
<b>Bois</b>	presque plat ondulé montagneux	$p < 5$	0,10	0,30	0,40
		$5 \leq p < 10$	0,25	0,35	0,50
		$10 \leq p < 30$	0,30	0,50	0,60
<b>Pâturage</b>	presque plat ondulé montagneux	$p < 5$	0,10	0,30	0,40
		$5 \leq p < 10$	0,15	0,36	0,55
		$10 \leq p < 30$	0,22	0,42	0,60
<b>Culture</b>	presque plat ondulé montagneux	$p < 5$	0,30	0,50	0,60
		$5 \leq p < 10$	0,40	0,60	0,70
		$10 \leq p < 30$	0,52	0,72	0,82

Tableau 9 : Extrait du guide du SETRA - Assainissement routier - Octobre 2006

#### ❖ La réserve utile

La réserve utile (RU) représente la quantité d'eau maximale que le sol peut contenir et restituer pour l'évapotranspiration réelle (ETR). La valeur de RU dépend de plusieurs caractéristiques du sol telles que la texture, la teneur en éléments grossiers et la profondeur des sols qui peuvent participer à l'ETR. L'ensemble de ces éléments est très difficile à apprécier. Par exemple en fonction des terrains, la RU est de 1 à 2 mm/cm de sol suivant qu'ils soient sableux ou argileux. La profondeur des sols est encore plus difficile à appréhender, suivant les situations, elle peut correspondre soit à la profondeur racinaire soit à l'ensemble des tranches de sol où peut se faire l'infiltration vers la nappe. Il a été retenu ici une RU de 50 mm, valeur communément admise dans ce type de contexte avec une végétation de garrigues sur des terrains argileux.

#### ❖ Détermination des flux de sortie

D'après les formules précédentes, les valeurs calculées sont donc :

##### - le ruissellement :

$$R = (P - ETR) Cr$$

$$R = 400 \text{ mm} \times 0,6 = 240 \text{ mm}$$

##### - l'infiltration :

$$I = P - ETR - R - \Delta S$$

$$I = 400 - 240 - 50 = 110 \text{ mm}$$

Sur la base de ce bilan hydrologique annuel, l'infiltration théorique disponible pour la recharge des eaux souterraines est de 110 mm/an.

Ces valeurs des flux de sortie sont cohérentes avec les valeurs mesurées sur le bassin versant où les débits mesurés des sources sont faibles (maximum mesuré de 10 à 35 L/h sur la source des Fontaines 1 soit 0,01 à 0,035 m<sup>3</sup>/h) et le ruissellement majoritaire (module de 0,24 m<sup>3</sup>/s soit 870 m<sup>3</sup>/h au lac du Grenouillet).

Les formations imperméables des terrains, les fortes pentes et la faible végétation de type garrigue sont autant de facteurs qui favorisent le ruissellement vis-à-vis de l'infiltration au niveau du bassin versant.

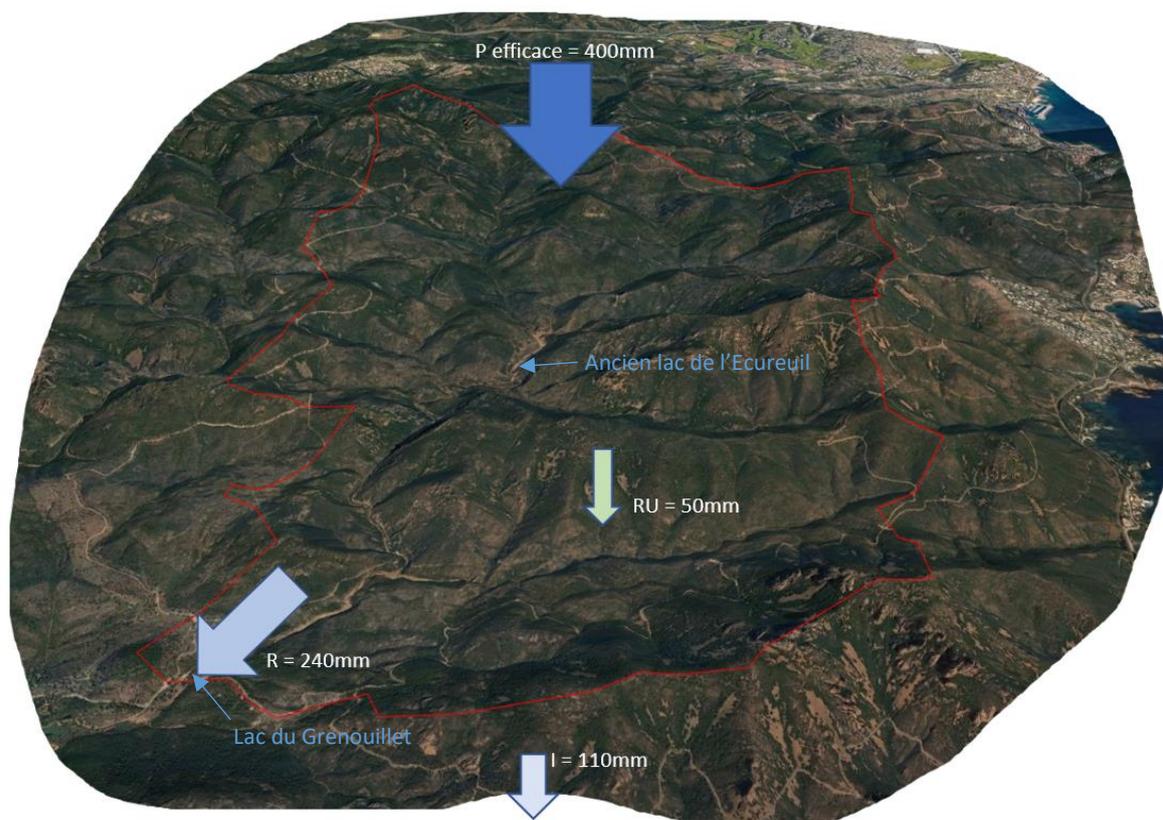
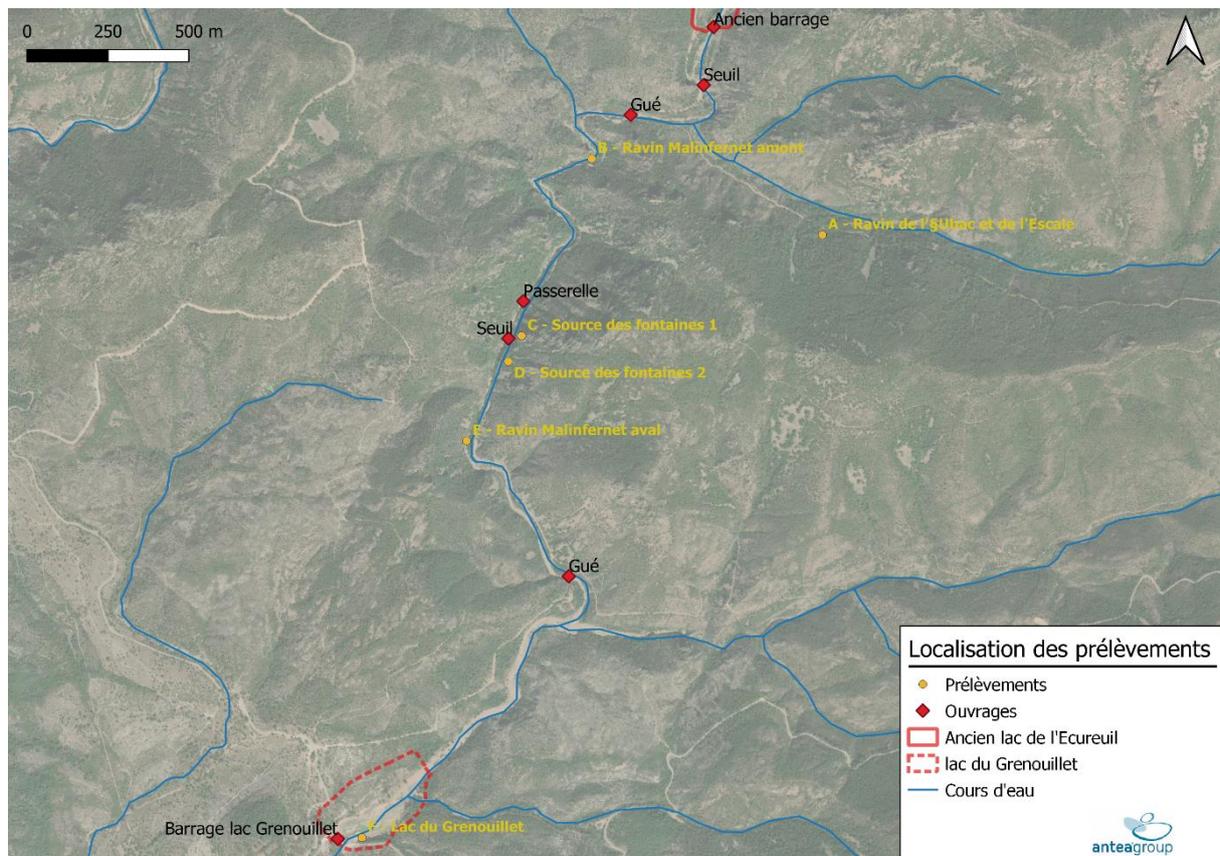


Figure 10 : Schéma annuel des flux au niveau du bassin versant

### 3.4. Analyse des eaux

Pour caractériser le fonctionnement du cours d'eau et identifier les éventuelles relations entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines, une campagne de prélèvement a été réalisée le 8 Avril 2021. L'analyse de différents paramètres physico-chimiques, hydrobiologiques et des micropolluants a été réalisée par le Laboratoire Départemental du Var. Les bordereaux d'analyses sont reportés en Annexe I.

La localisation ainsi que le nom des prélèvements sont fournis sur la carte suivante.



**Figure 11 : Localisation des prélèvements**

Le prélèvement A a été réalisé au niveau de la source du Ravin de l'Ubac de l'Escale, le B du Ravin du Mal Infernet amont, le C de la source des Fontaines 1, le D de la source des Fontaines 2, le E du Ravin Mal Infernet aval et le F du lac du Grenouillet.

La réalisation des indices biologiques a été effectuée par la Maison Régionale de l'Eau (MRE). Il s'agit des indices IBD et IBGN qui concernent respectivement les diatomées et les invertébrés. Les prélèvements ont été effectués à proximité immédiate des points B (diatomées) et E (diatomées + invertébrés).

Les résultats des analyses sont comparés aux valeurs de référence afin de caractériser l'état des eaux. Les paramètres analysés sont les suivants :

**Tableau 10 : Définition des paramètres**

Source des valeurs seuils : Guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales, Ministère de la transition écologique et solidaire, Janvier 2019

Nom du paramètre	Définition	Valeur seuil / référence
<b>Paramètres terrain</b>		
pH	Le pH (potentiel hydrogène) permet de mesurer l'acidité (ou la basicité) de l'eau (pH < 7 : acide ; pH > 7 : basique ; pH = 7 : neutre).	Très bon état dans l'intervalle [6,5 ; 8,2]
Conductivité	La conductivité permet de caractériser la capacité d'une solution à conduire l'électricité. Plus la concentration de solides dissous est grande, plus la solution conduit l'électricité.	Aucune valeur seuil
ORP (Oxydo Reduction Potential)	Le potentiel d'oxydoréduction mesure l'équilibre entre les formes oxydées et réduites des différents composés chimiques. Il permet de caractériser l'état ou l'activité microbiologique d'un milieu.	Aucune valeur seuil
Oxygène	La concentration en oxygène dans l'eau est déterminante pour la présence de certaines espèces et pour certaines réactions.	Etat très bon considéré si > 8 mg/L O <sub>2</sub>
Température		Très bon état : eaux salmonicoles < 20 °C eaux cyprinicoles < 24°C
<b>Paramètres physico-chimiques</b>		
Turbidité	La turbidité de l'eau désigne sa capacité à diffuser ou absorber la lumière incidente. Elle traduit la présence de matières organique ou inorganique dans l'eau.	Bon état considéré entre 15 et 35 NTU
Ions majeurs	Calcium, magnésium, sodium, potassium, hydrogénocarbonates, carbonates, sulfates, chlorures, fluorures, fer.	Aucune valeur seuil, il s'agit de comparer les valeurs des différents prélèvements entre elles
<b>Paramètres azotés et phosphorés</b>		
Ammonium	L'ammonium provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. C'est un bon indicateur de la pollution de l'eau.	Très bon état considéré si < 0,1 mg/L
Azote ammoniacal	L'azote ammoniacal provient de la dégradation aérobie de l'azote organique. La dégradation de l'azote ammoniacal en nitrites puis en nitrates via le processus de nitrification consomme de l'oxygène dissous et participe au phénomène d'eutrophisation.	Bon état considéré si < 3 mg/L
Nitrites	Les nitrites sont le résultat de la nitrification des ions ammonium par des bactéries.	Très bon état considéré si < 0,1 mg/L
Nitrites par filtration	Méthode d'analyse des nitrites par filtration.	Aucune valeur seuil
Nitrates	Les nitrites sont oxydés en nitrates par des bactéries.	Très bon état considéré si < 10 mg/L
Nitrates par filtration	Méthode d'analyse des nitrates par filtration.	Aucune valeur seuil
Azote global	Somme de l'ensemble des azotes contenus dans l'eau.	Une rivière dépassant 1 mg/L d'azote global peut être considérée comme étant affectée par des sources anthropiques

Nom du paramètre	Définition	Valeur seuil / référence
Azote Kjeldhal	L'azote Kjeldahl est la somme des composés non oxydés de l'azote : l'azote organique et ammoniacal contenu dans l'eau.	Aucune valeur seuil
<b>Oxygène et matières organiques</b>		
Carbone Organique Total	Il s'agit de la quantité de carbone organique contenu dans un échantillon d'eau. Il permet d'avoir accès à la quantité de matière organique présente dans l'eau.	Aucune valeur seuil
DBO5	La demande biologique en oxygène permet de caractériser la pollution par la matière organique biodégradable. La DBO5 mesure la quantité d'oxygène consommée en 5 jours à 20°C par les microorganismes vivants présents dans l'eau.	Très bon état considéré si < 3 mg/L O <sub>2</sub>
DCO	La demande chimique en oxygène représente, quant à elle, quasiment tout ce qui est susceptible de consommer de l'oxygène dans l'eau (substances organiques et minérales de l'eau).	Bon état considéré entre 20 et 30 mg/L
MEST	Particules très fines en suspension.	Bon état considéré entre 25 et 50 mg/L
ST-DCO	Nouvelle norme d'analyse de la DCO (ISO 15705). Paramètre créé en 2009. La fidélité des analyses de ST-DCO est légèrement moins bonne que celle de la méthode classique pour des teneurs supérieures à 100 mg/L. C'est l'inverse pour des niveaux inférieurs à 100 mg/L.	Aucune valeur seuil
<b>Métaux et micro polluants</b>		
Arsenic total		Aucune valeur seuil
Baryum total		Aucune valeur seuil
Antimoine total		Aucune valeur seuil
Fer total		Aucune valeur seuil

### Analyse des prélèvements

Les paramètres sont notés au regard des valeurs précédemment citées et suivant le code couleur suivant :

Très bon	
Bon	
Moyen	
Médiocre	
Mauvais	
Pas de valeur seuil	

Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Résultat des analyses d'eau de la campagne de prélèvement du 8 avril 2021

Paramètres	Prélèvement A Ravin de l'Ubac de l'Escale	Prélèvement B Ravin du Mal Infernet amont	Prélèvement C Source des Fontaines 1	Prélèvement D Source des Fontaines 2	Prélèvement E Ravin du Mal Infernet aval	Prélèvement F Lac du Grenouillet
<b>Paramètres in-situ</b>						
pH terrain	8,2	7,39	7,23	7,56	7,33	7,47
EC (Electrical conductivity) (µS/cm)	50,2	36,2	53,3	34,8	37,7	33
ORP (Potentiel d'Oxydo-réduction) (mV)	55,7	65,4	54,3	69,7	78,7	58,6
Température (°C)	12,7	11,3	13,2	14,3	15,6	18,1
Oxygène (mg/L)	9,38	10,45	9,7	9	10,28	/
<b>Ions majeurs</b>						
Turbidité (NFU)		0,47			0,22	2,3
Chlorures (mg/L)		16			16	15
Fluorures (mg/L)		0,52			0,78	0,44
Sulfates (mg/L)		7,1			7,9	6,1
Calcium dissous (mg/L)	2,9	5,1	8	6,3	5,5	4,5
Magnésium dissous (mg/L)	1,4	2,4	1,3	1,7	2,6	2,2
Potassium dissous (mg/L)	2,2	1,9	3,9	2,4	2	1,5
Sodium dissous (mg/L)	10,9	9,9	9,1	8	10,6	8,9
TAC (titre alcalimétrique complet) °f	0,7	1,75	1,35	1,75	2,0	1,5
Titre hydrotimétrique °f	1,31	2,54	2,28	2,28	2,46	2,04
<b>Paramètres azotés et phosphorés</b>						
Ammonium (mg/L NH4+)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Azote ammoniacal (mg/L)	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Nitrites (mg/L NO2-)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrites par filtration (mg/L)	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Nitrates (mg/L NO3-)	0,15	< 0,1	0,11	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Nitrates par filtration (mg/L)		< 0,02			< 0,02	< 0,02
Azote global (mg/L)		< 0,5			< 0,5	< 0,5

Azote Kjeldhal (mg/L N)		< 0,5			< 0,5	< 0,5
<b>Oxygène et matière organique</b>						
Carbone Organique Total (mg/L)		0,95			1,1	2,2
DBO5 (mg/L O2)		0,6			< 0,5	0,6
DCO (mg/L O2)		< 20			< 20	< 20
MEST (mg/L)		< 2			< 2	13
ST-DCO (mg/L O2)		< 5			< 5	6,2
<b>Métaux et micropolluants minéraux</b>						
Arsenic total (mg/L)	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Baryum total (mg/L)	< 0,01	< 0,01	0,028	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Fer total (mg/L)	0,063	< 0,01	< 0,01	0,019	< 0,01	0,395
Antimoine total (mg/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

### 3.4.1. Analyses des relations entre les eaux souterraines et les eaux superficielles

Le diagramme de Piper en Figure 12 permet de comparer la chimie des eaux. Contrairement à ce qui est marqué dans la fiche de la masse d'eau, les eaux prélevées ne sont pas de type bicarbonaté calcique, mais se situent entre deux faciès :

- chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne ;
- chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique.

Seule la source du ravin de l'Ubac de l'Escale a un faciès bien déterminé (chlorurée sodique ou potassique ou sulfatée sodique).

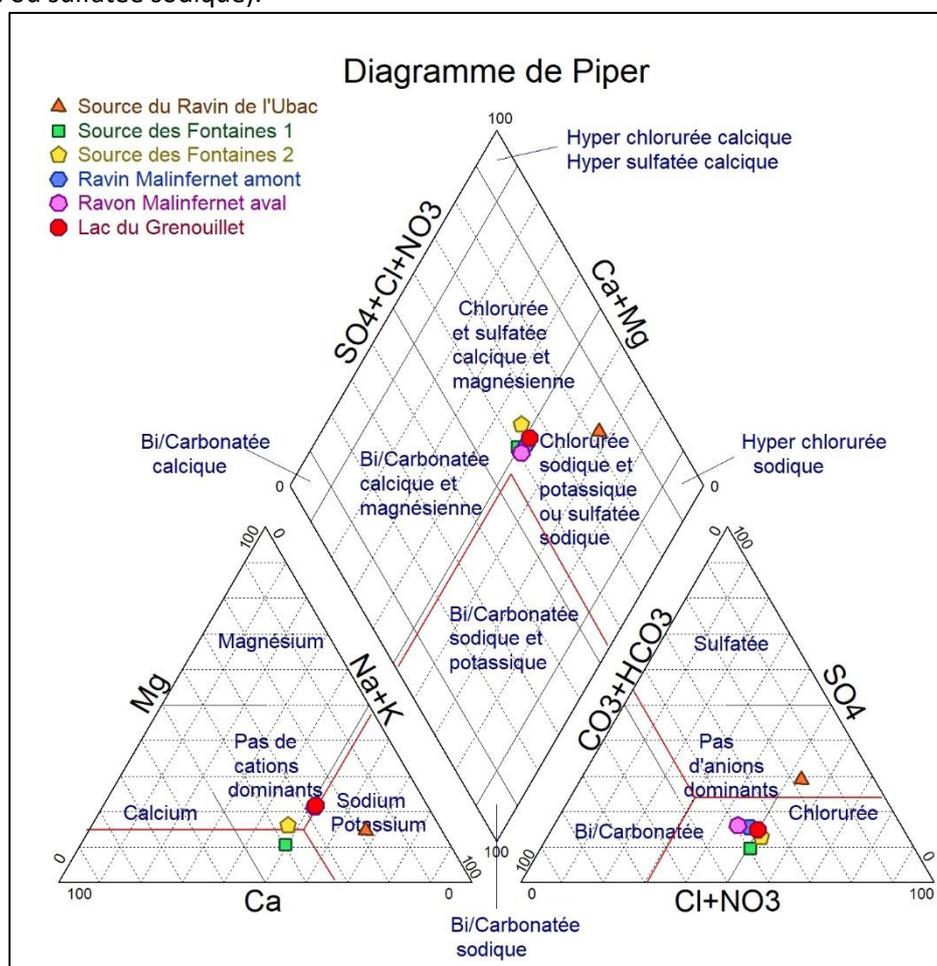


Figure 12 : Diagramme de Piper des eaux prélevées

Les principaux points à retenir sont les suivants :

- les points d'eau prélevés ont des signatures chimiques très similaires. Les eaux souterraines ne se différencient quasiment pas des eaux de surface. Seule la source du ravin de l'Ubac de l'Escale se distingue des autres de par ses concentrations plus faibles en calcium et hydrogencarbonates et ses teneurs plus élevées en sulfates ;

- les eaux sont très faiblement minéralisées avec des conductivités comprises entre 99 et 123  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ;
- les eaux sont très douces (titres hydrotimétriques compris entre 1,3 et 2,5 °f) ;
- au niveau de la source du ravin de l'Ubac de l'Escale et de la source des Fontaines 1, une très faible concentration en nitrates est constatée. Sur les autres points, les nitrates n'ont pas été détectés ;
- aucune trace d'ammonium n'a été détectée sur l'ensemble des points d'eau mettant en évidence l'absence de circulation des eaux souterraines en milieu réducteur ;
- en ce qui concerne les anomalies en éléments de trace qui, d'après les fiches de la masse d'eau, ont été mises en évidence dans le secteur du massif pour l'arsenic, l'antimoine, le baryum et le fluor, des eaux effectivement plus fortement fluorées au droit des sources des Fontaines 1 et 2 comparé sont identifiées par rapport aux autres points d'eau. De plus, une légère teneur en baryum est observée au niveau de la source des Fontaines 1. Ces résultats traduisent ainsi des circulations d'eau au sein du massif et non pas uniquement en subsurface ;
- la source du ravin de l'Ubac de l'Escale capte probablement les eaux s'écoulant dans les éboulis en subsurface. Par conséquent, elles sont moins minéralisées et présentent un autre faciès chimique que les sources des Fontaines 1 et 2 qui, quant à elles, s'écoulent au sein des coulées de rhyolite ignimbritique et sortent en faveur d'une faille ;
- les échantillons prélevés sur les eaux de surface en amont des sources des Fontaines 1 et 2 (ravin du Mal Infernet amont) sont légèrement moins minéralisées que les eaux prélevées en aval de ces sources (ravin du Mal Infernet aval). Ce résultat peut être expliqué par une alimentation du ravin par les sources plus minéralisées.

Le fonctionnement hydrogéologique du bassin versant et de la zone d'étude peut être synthétisé comme suit :

- les sources observées sont de deux types :
  - exutoires d'écoulements sub-superficiels dans les éboulis présentant un faible débit et se réinfiltrant plus loin (source du ravin de l'Ubac de l'Escale et source du col du Cap Roux). Ces sources sont probablement intermittentes et taries en période d'étiage et ne participent pas à l'alimentation de la zone d'étude ;
  - exutoires d'écoulements plus profonds dans le massif rhyolitique en faveur d'une faille présentant un débit plus important et probablement pérenne même en période d'étiage (source des Fontaines 1 et 2). Ces sources participent à l'alimentation de la zone d'étude et permettent la création de mares pérennes au niveau du lit de la rivière.
- les vasques alimentées par les sources pérennes sont localisées à des endroits où le lit de la rivière est constitué d'un fond rocheux. La faible perméabilité de ces formations ne permet

pas d'infiltration des eaux. A l'inverse, dès que le fond de la rivière est de type alluvionnaire, les eaux s'infiltrent et s'écoulent dans les alluvions, laissant le cours d'eau à sec à ces endroits ;

- en raison des terrains pentus et raides, le ruissellement est beaucoup plus important que l'infiltration. Toutefois, une partie des précipitations rejoint tout de même le réservoir souterrain caractérisé par des fractures et fissures dans la partie superficielle du terrain. Cette eau, stockée durant les périodes pluvieuses, trouve ses exutoires aux points topographiques bas (cours d'eau) où elle est lentement restituée et participe ainsi à la présence d'eau dans le ruisseau, même en période d'étiage.

### **Visite de site**

Une visite de site a été réalisée le 20 Septembre 2021 afin de vérifier le caractère permanent des sources des Fontaines 1 et 2 :

- la source des Fontaines 1, en amont du seuil, coulait faiblement. Le débit mesuré était de 14,4 L/h, soit beaucoup plus faible que le débit mesuré en Avril 2021 (34 L/h). La conductivité mesurée était de 144  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , soit une valeur similaire à celle d'Avril 2021 (123  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ;
- la source des Fontaines 2, en aval du seuil, était tarie.

Ces observations confirment globalement la première analyse du contexte hydrogéologique réalisée après la visite de site en Avril 2021.

De manière générale, le tronçon du cours d'eau présenté dans la figure ci-dessous était plus ou moins en eau. A certains endroits, les eaux s'écoulaient au sein des alluvions déposés au fond du ruisseau et n'étaient pas visibles en surface. En revanche, les endroits plus ou moins creusés dans les alluvions ainsi que les tronçons où la roche est à l'affleurement étaient caractérisés par la présence d'eau.

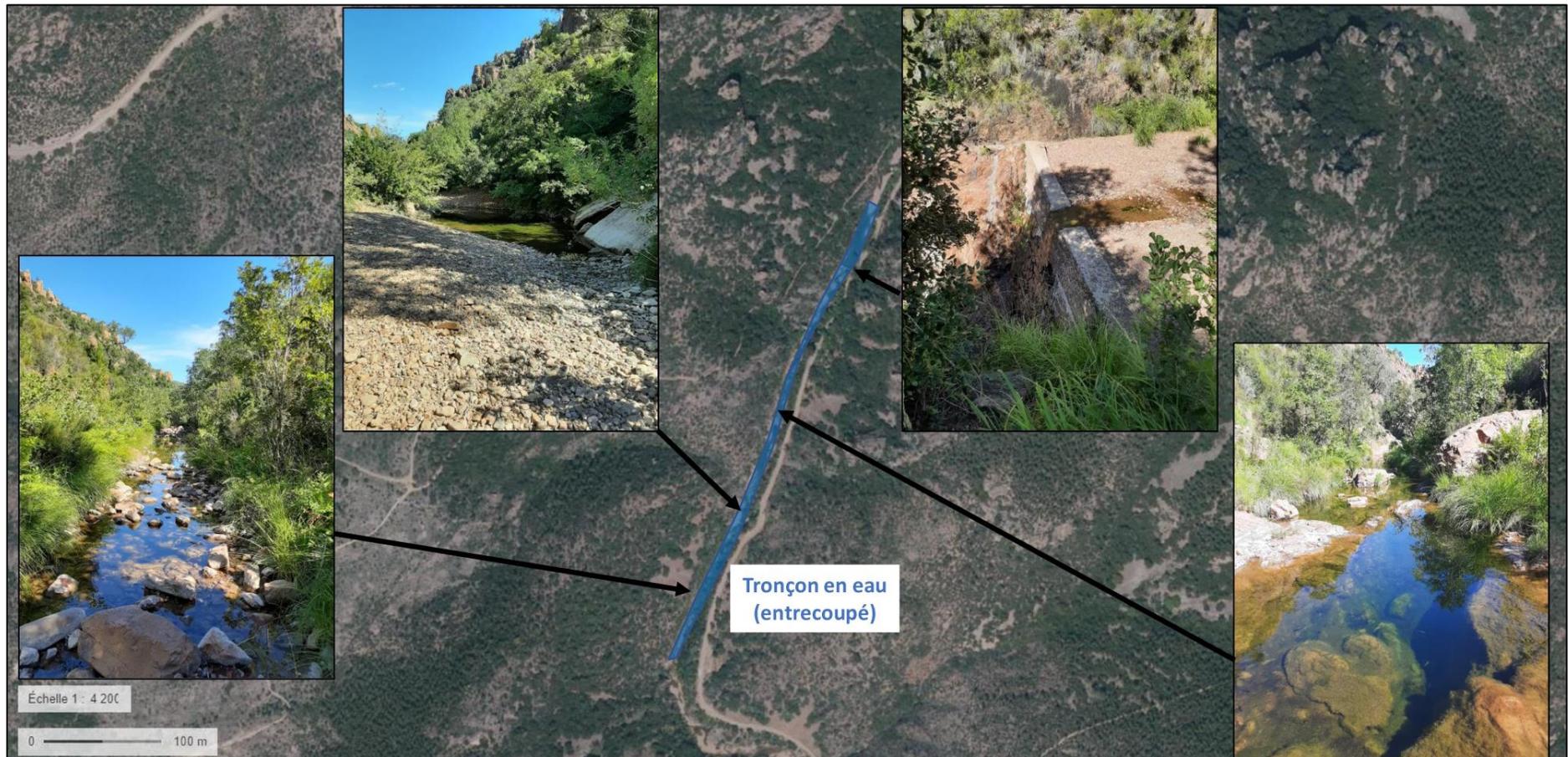


Figure 13 : Tronçon du cours d'eau en eau

Il est à noter que des précipitations sont tombées cinq jours avant la visite de site. Celles-ci ont été « retrouvées » en forme de suintements au niveau des berges rocheuses du ruisseau. Comme indiqué plus haut, une partie des précipitations s'infiltré dans la partie sub-superficielle du terrain et, en suivant la pente, trouve son exutoire dans les endroits topographiques bas. Ces suintements sont très faibles, mais contribuent à l'alimentation du ruisseau.

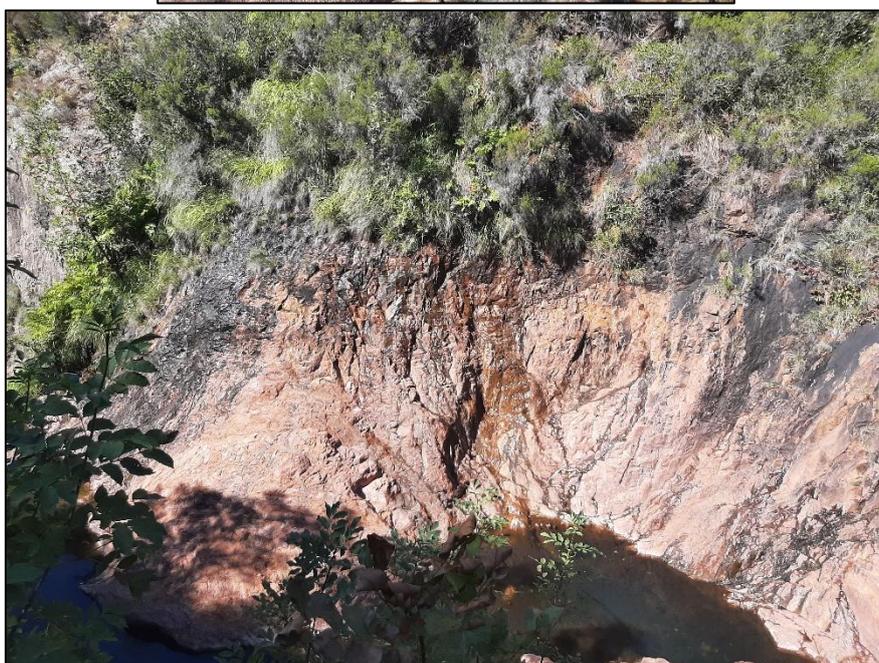


Figure 14 : Exemple de suintements d'eau au niveau des berges rocheuses du ruisseau

## 3.4.2. Analyse du fonctionnement de l'écosystème

### 3.4.2.1. Oxygène et matières organiques

Les résultats des prélèvements B, E et F (dans le cours d'eau) semblent indiquer une bonne qualité de l'eau et ne permettent pas de suspecter de pollution organique ou azotée.

Les valeurs de la turbidité de l'amont vers l'aval n'évoluent que très peu et montrent que sur l'ensemble du linéaire, l'eau est claire ce qui est en adéquation avec les valeurs de matière en suspension dans le cours d'eau.

Concernant le carbone organique total, la valeur obtenue au niveau du ravin Mal Infernet aval (prélèvement E) est deux fois plus petite qu'à l'amont et qu'à l'aval. Les deux sources des Fontaines qui rejoignent le cours d'eau un peu en amont peuvent expliquer cet écart. Les valeurs de DBO<sub>5</sub> et de DCO varient très peu le long du linéaire. On ne peut donc pas suspecter l'apport d'une pollution.

Enfin, on note que les concentrations en ammonium, azote ammoniacal, nitrites et nitrates présentent peu de différence entre les sources (eaux souterraines) et les eaux superficielles ce qui laisse entendre que les eaux constituant le linéaire ont une composition chimique proche de celle des sources et donc qu'elles ne sont que peu affectées par des pollutions extérieures depuis leur origine.

Les résultats des analyses montrent que globalement les différents paramètres sont stables de l'amont vers l'aval du cours d'eau.

### 3.4.2.2. Indices biologiques (IBGN et IBD)

La Maison Régionale de l'Eau (MRE) a effectué la réalisation d'indices biologiques sur la zone d'étude (macro-invertébrés et diatomées). Ce chapitre reprend les conclusions de l'étude. Le rapport détaillé est disponible en Annexe II de ce document. Les prélèvements ont été effectués à proximité immédiate des points B (diatomées) et E (diatomées + invertébrés) (cf. Figure 11).

#### 3.4.2.2.1. Macro-invertébrés

##### ❖ Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)

L'Indice Biologique Global Normalisé permet d'estimer la qualité de l'eau à travers l'analyse des peuplements des invertébrés benthiques. Les taxons prélevés sont triés puis identifiés afin de connaître la richesse taxonomique du cours d'eau et de mettre en évidence la présence ou l'absence de taxons sensibles à la pollution.

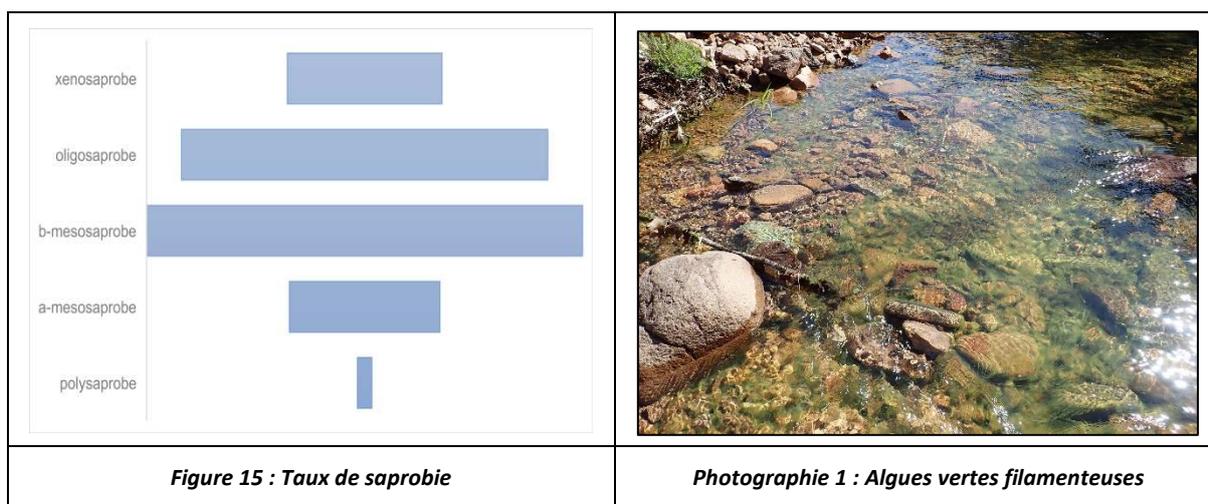
Les résultats de l'IBGN sont les suivants :

	Aval	
Richesse taxonomique	21	
<b>Classe de variété</b>	<b>7</b>	
Total invertébrés	251	
Densité (nb ind/m <sup>2</sup> )	627,5	
Taxon Indicateur	Hydroptilidae	
<b>Groupe Faunistique Indicateur (G.F.I)</b>	<b>5</b>	
<b>Note IBG (/20)</b>	<b>11</b>	
<b>Note de référence (/20)</b>	<b>17</b>	
note EQR	<b>0,63</b>	
Dominants 1	Tipulidae	24,6%
Dominants 2	Elmidae	22,3%
Dominants 3	Chironomidae	16,9%

La classe de qualité du cours d'eau obtenue est moyenne (référentiel des très petits cours d'eau de la zone méditerranéenne utilisé).

Les métriques montrent une richesse faunistique et des densités qui sont très faibles. Les taxons ubiquistes à cycle très court dominant fortement le peuplement (à près d'un tiers chacun, notamment Tipulidae et Chironomidae).

Il faut toutefois prendre en compte le caractère intermittent des écoulements dans les interprétations de l'indice. Les assèchements fréquents pourraient avoir une incidence directe sur les individus à cycle long et à plusieurs périodes de vol. Le cours d'eau offre aussi un habitat très minéral malgré quelques algues vertes filamenteuses faiblement recouvrantes.



Les taux de saprobie issus des taxons dominant le peuplement montrent que le cours d'eau est peu ou faiblement nourri. Le peuplement est aussi dominé par des taxons broyeurs et brouteurs - racleurs qui exploitent les microalgues à la surface des cailloux.

La dominance des mangeurs de débris végétaux et ligneux marque la forte présence de la forêt aux abords du cours d'eau ou sur le bassin versant.

La métrique qui semble la plus dégradée est le groupe faunistique indicateur qui, même sur les régimes intermittents, devrait être plus élevé. Néanmoins, les très faibles débits de l'hiver et du printemps ont peut-être eu un impact sur les taxons à cycle long qui assurent leur croissance pendant cette période. La faiblesse de ce groupe indicateur peut aussi être la conséquence d'une altération de la qualité de l'eau dont l'origine est difficile à déterminer (réchauffement des eaux). Les *Hydroptilidae* sont, par ailleurs, favorisés par la présence des algues filamenteuses.

### ❖ Résultats de l'I2M2

Tableau 12 - Résultats de l'I2M2

Indice de Shannon Weaver	Informe sur le niveau d'hétérogénéité et la stabilité de l'habitat	0,62
Average Score Per Taxon (ASPT)	Informe sur le niveau de polluo-sensibilité moyenne de l'assemblage des macro-invertébrés	0,72
Polyvoltinisme	Indique la stabilité de l'habitat	0,68
Ovoviviparité	Informe principalement sur la dégradation de la qualité physico chimique de l'habitat	1
Richesse	Descripteur de la complexité de l'habitat	0,26
Ind. Invertébré Multimétrique		0,69
Nombre de taxon contributifs		34

Le guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) de Janvier 2019 fournit un référentiel pour les très petits cours d'eau de la zone méditerranéenne. L'indice multimétrique (I2M2) est classé très bon. On note donc assez peu d'écart avec la référence admise.

Les différentes métriques associées sont aussi assez élevées sauf la richesse taxonomique qui est probablement impactée par l'intermittence des écoulements et un habitat assez homogène principalement composé de pierres et cailloux.

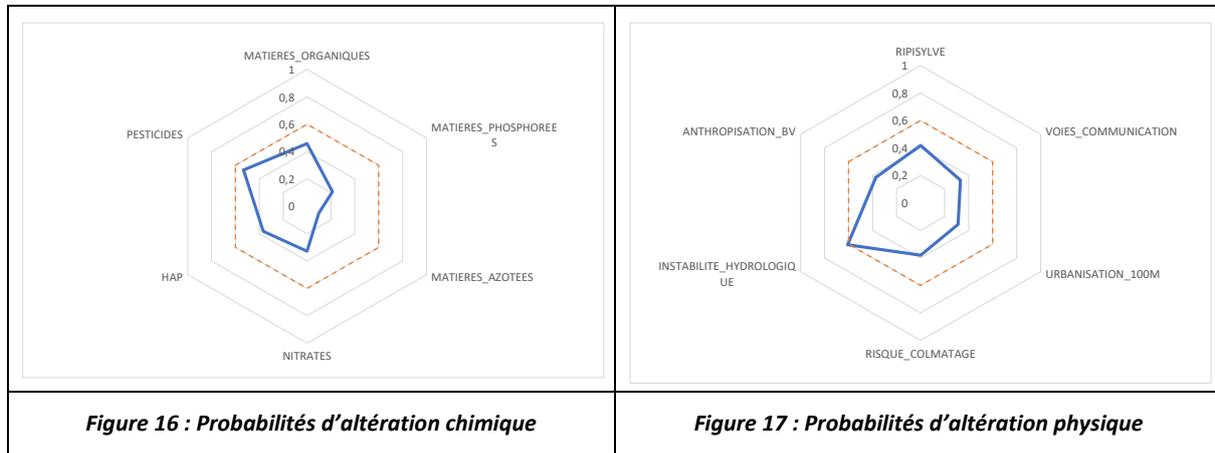
L'indice de diversité de **Shannon Weaver** montre que le peuplement est bien équilibré et qu'aucun taxon ne prolifère au détriment d'un autre.

L'indice **ASPT** est lui aussi plutôt proche de la référence. Il pourrait donc montrer que la faible valeur du groupe indicateur maximal obtenu dans le calcul de l'IBG est plutôt due à l'intermittence qu'à une altération de la qualité de l'eau.

La fréquence des **organismes polyvoltins** est, elle aussi, élevée. Elle est directement à mettre en relation avec les faibles écoulements, les crues soudaines et très ponctuelles et bien sûr l'intermittence des écoulements.

Pour les **organismes ovovivipares**, la métrique devrait être moins élevée et peut aussi être le signe d'une altération de la qualité.

L'outil diagnostique propose, pour l'interprétation de l'I2M2, d'apporter des informations complémentaires prédictives :



Les probabilités ne sont considérées comme significatives qu'au-delà de 0,5 - 0,6 (trait pointillé orange). Les graphiques montrent que le peuplement est surtout influencé par l'instabilité des écoulements.

Dans une moindre mesure, les probabilités d'altération chimique montrent aussi que le peuplement pourrait être impacté par les pesticides. Ces altérations pourraient influencer les taxons de haut groupe indicateur (sup. à 5) et favoriser les organismes ovovivipares c'est-à-dire les pontes protégées des altérations de la qualité de l'eau. Il est toutefois difficile de trouver l'origine de cette altération ; le relargage temporaire de boues issues de l'ancienne retenue peut être avancé.

La qualité biologique reste toutefois très bonne.

### 3.4.2.2. Indice Biologique Diatomées (IBD)

L'Indice Biologique Diatomées évalue le peuplement de diatomées vivant sur le substrat du cours d'eau. Considérant que toutes les espèces de diatomées ont des limites de tolérance pour certains facteurs écologiques (pH, température, etc.), cela permet d'évaluer la qualité de l'eau.

Pour les deux stations de mesures (Ravin du Mal Infernet amont et aval), la qualité biologique est très bonne selon la note EQR (Ecological Quality Ratio ou écart à la référence).

Les indices structuraux montrent des valeurs faibles, indiquant un peuplement peu stable et déséquilibré probablement lié à un milieu oligotrophe (milieu pauvre en éléments minéraux nutritifs où la production primaire est faible) limitant les ressources nécessaires au développement des diatomées. Les espèces abondantes sur la station sont attribuées par Carayon *et al.* (2019) à des classes de milieux exempts d'impact par la matière organique et les nutriments : *Achnanthydium minutissimum*, **ADMI**, *Fragilaria gracilis*, **FGRA**, *Brachysira neoexilis*, **BNEO**

Selon Van Dam *et al.*, les caractéristiques écologiques vis-à-vis du degré de saprobie<sup>1</sup> confirment que le peuplement diatomique est dominé par des formes sensibles. L'affinité vis-à-vis de la trophie montre également un peuplement sensible à la charge en nutriments.

Le peuplement diatomique suggère donc que le milieu ne subit aucune contamination organique et que la teneur en nutriments est faible.

### 3.4.3. Conclusion sur l'état général du cours d'eau

Les résultats issus des prélèvements montrent une **très bonne qualité physico-chimique de l'eau** et ne laissent pas supposer de quelconque pollution. Néanmoins, il faut garder à l'esprit que ces résultats sont ponctuels. Ils permettent de constituer un état initial du cours d'eau et seront le socle de base de l'évolution de la qualité du cours d'eau dans le temps et à la suite d'aménagements.

Les indices biologiques réalisés permettent d'avoir une vision de quelques mois de la qualité puisqu'ils mettent en évidence des caractéristiques représentatives d'une plage de temps plus longue. Ils montrent que la **qualité du cours d'eau est très bonne malgré une capacité d'accueil très faible. Les habitats sont assez peu variés et à dominance minérale malgré l'environnement forestier.**

L'intermittence des écoulements a probablement aussi un impact très fort sur le peuplement et la capacité d'accueil du cours d'eau. Il se trouve aussi que l'hiver et le début du printemps 2021 ont été extrêmement secs amenant à des écoulements très faibles et probablement inhabituels pour la saison et le secteur. Ces écoulements sélectionnent probablement les espèces selon leur cycle biologique et leur tolérance.

Certaines métriques de l'indice macro-invertébré comme le groupe indicateur maximal ou le nombre d'individus ovovivipares s'éloignent de la référence. Les résultats montrent qu'il y a plus de 40 % de diptères polluo-résistants (Tipulidae et Chironomidae) sur la totalité des invertébrés et que les groupes indicateurs les plus sensibles sont absents. Cette altération pourrait être due à l'intermittence autant qu'à une altération ponctuelle de la qualité de l'eau. Le mauvais classement de la note IBG irait dans le sens d'une pollution ou d'un enrichissement de type organique, cet indice étant plus sensible à ce type d'altération que l'indice multimétrique.

**Dans tous les cas, et quel que soit l'indice ou la station, les indices classent le cours d'eau en très bon état.**

**Les problématiques principales restent l'hydrologie pour son intermittence et son écoulement de subsurface, la diversité et la fonctionnalité des habitats.**

---

<sup>1</sup> La saprobie traduit la tolérance des taxons à la dégradation de la qualité chimique, principalement organique, de l'eau. Les diatomées sont classées en fonction de leur tolérance vis-à-vis du degré d'oxydation de la matière organique, d'oligosaprobe (eaux naturelles peu chargées en matières organiques, qui présentent un taux d'oxygène dissous voisin ou égal à la saturation) à polysaprobe (stade où des fermentations anaérobies sont observées).

## 3.5. Hydromorphologie

L'hydromorphologie a pour objet l'origine et l'évolution des formes des cours d'eau engendrées par des processus dynamiques comme l'érosion, le transport solide, ou encore la sédimentation. La modification de l'hydromorphologie a des conséquences sur les milieux aquatiques ; la dynamique fluviale s'en trouve modifiée ainsi que la diversité et la qualité des habitats biologiques. L'étude hydromorphologique est donc une des clés de la caractérisation de la qualité d'un cours d'eau.

### 3.5.1. Analyse diachronique

L'analyse diachronique permet de mieux cerner l'évolution des cours d'eau et en particulier de mieux appréhender l'évolution de l'hydrosystème et des aménagements. Elle est basée sur l'exploitation de cartes et de photographies aériennes anciennes.

Les figures ci-dessous comparent le tracé actuel du cours d'eau sur fond de carte IGN avec les cartes de Cassini du XVIII<sup>e</sup> siècle et d'Etat-Major.

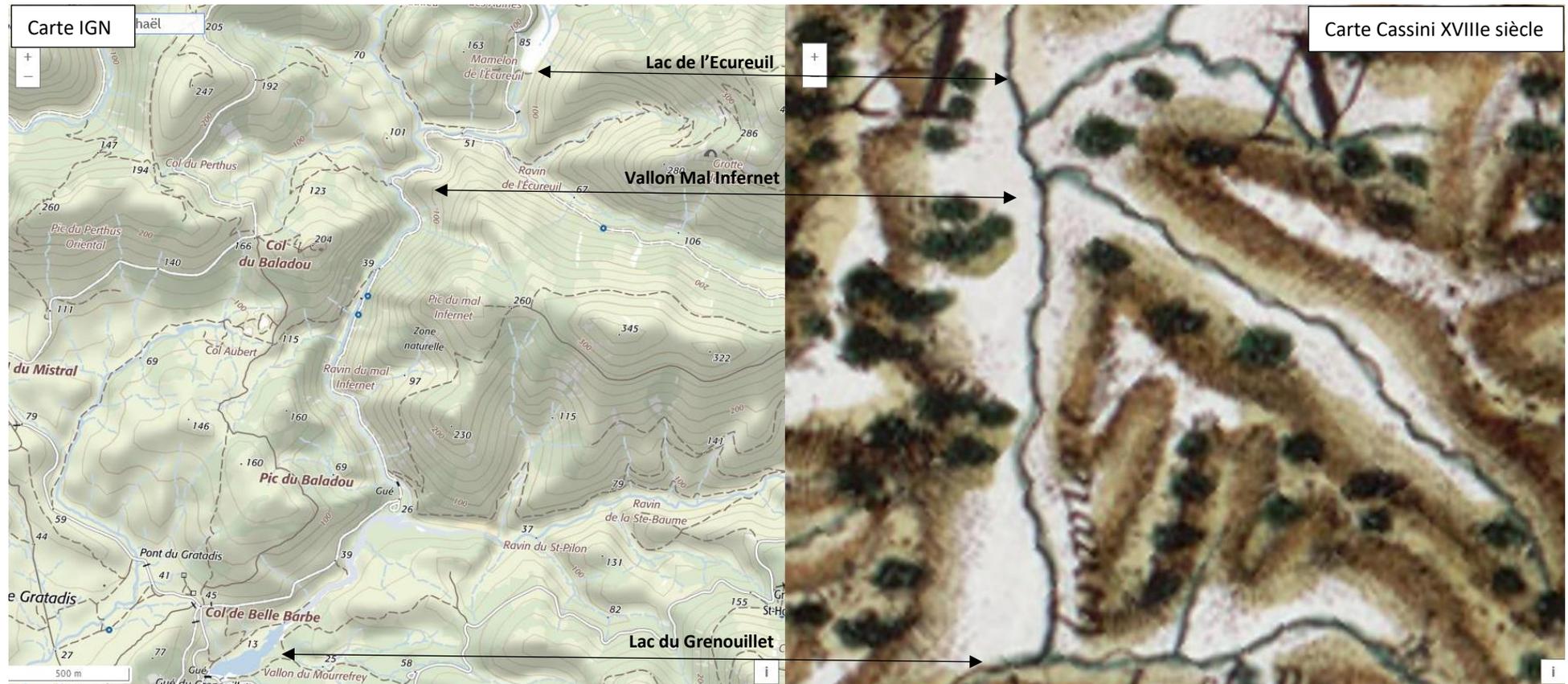


Figure 18 : Comparaison avec la carte de Cassini (XVIII<sup>e</sup> siècle) (Source : IGN)

La carte de Cassini est assez peu précise à cet endroit. Le cours d'eau de l'époque apparaît moins méandreux, probablement dû à une précision moindre du tracé.

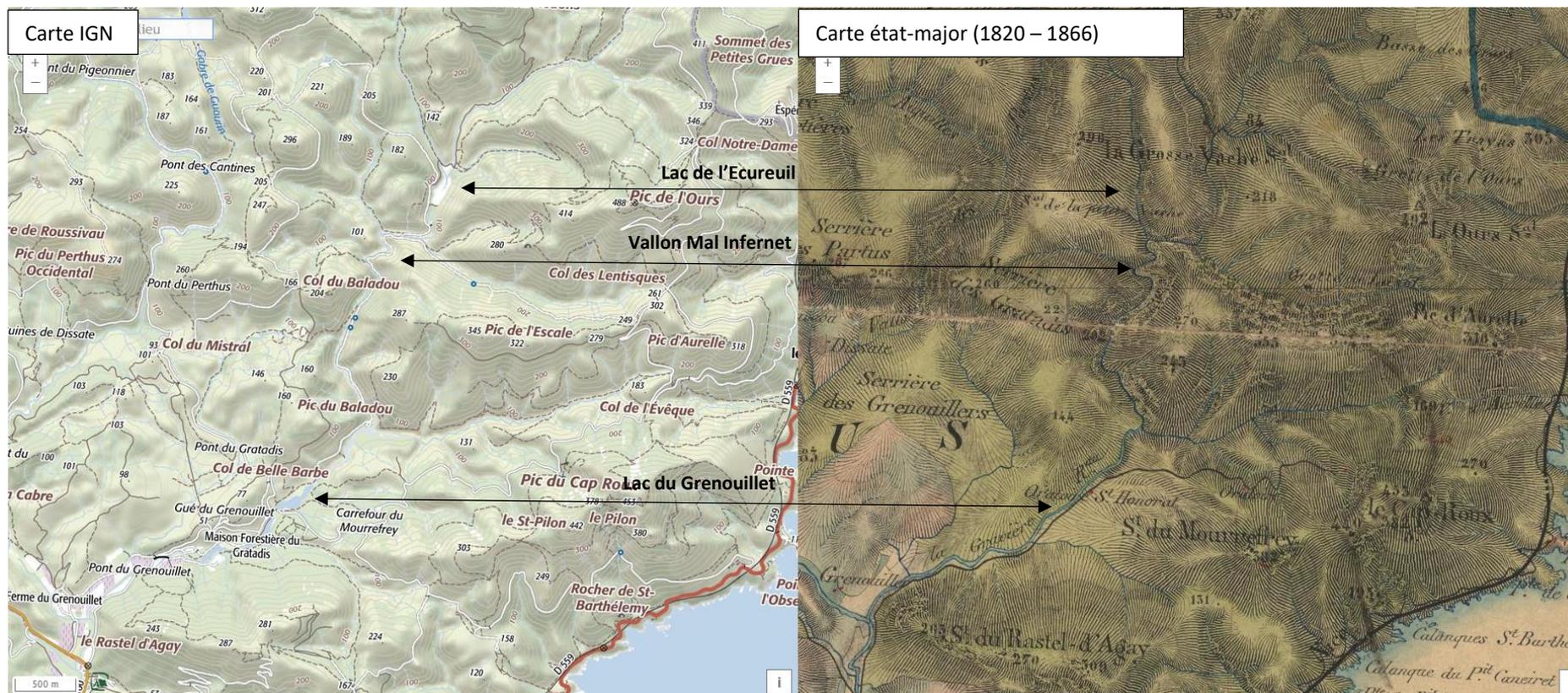


Figure 19 : Comparaison de la carte IGN avec la carte d'Etat-Major (1820-1866) (Source : IGN)

La carte d'Etat-Major (1820-1866) a une meilleure précision que celle de Cassini. On retrouve le tracé actuel avec ses différents méandres. Le barrage de l'Ecureuil n'est pas construit à cette époque. Le cours d'eau à ce niveau est très encaissé.

Les figures suivantes permettent de comparer l'état actuel avec des anciennes photographies aériennes.

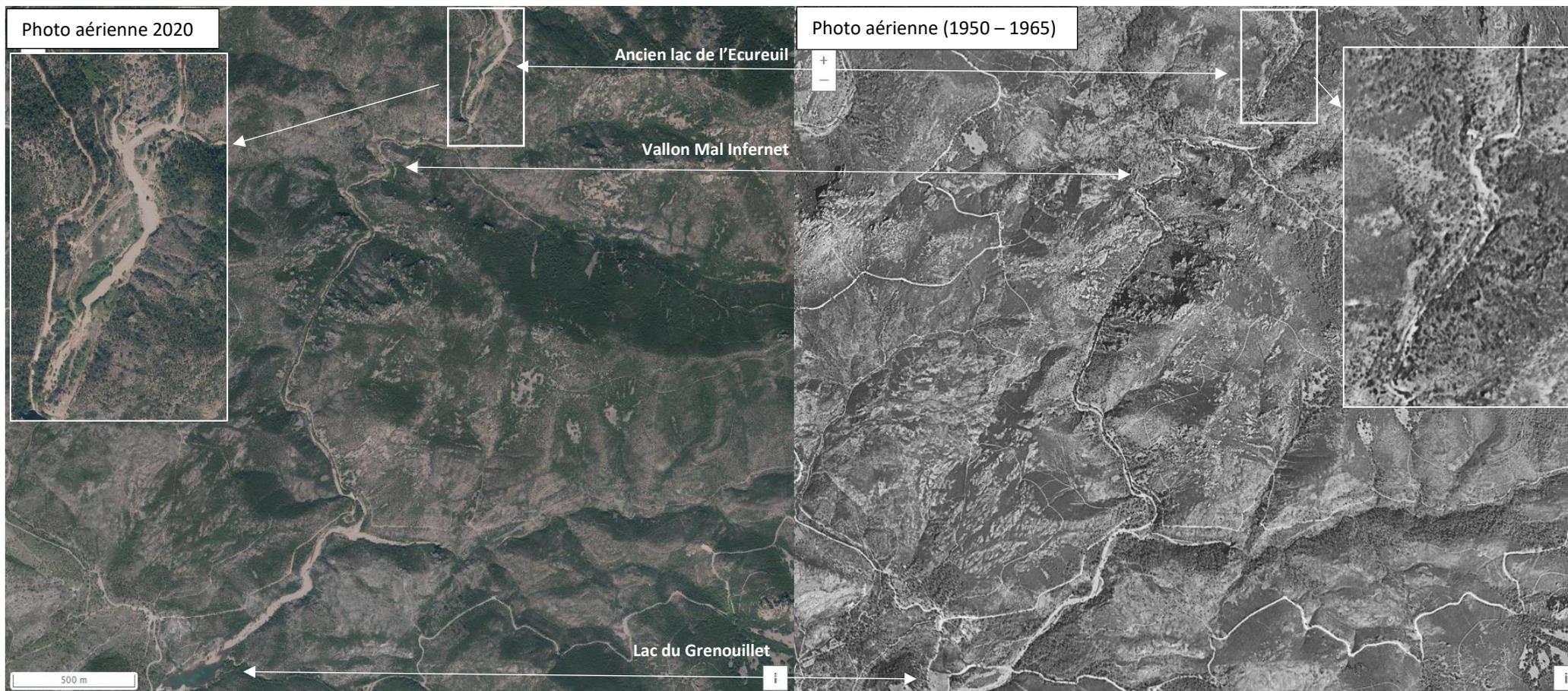


Figure 20 : Comparaison de l'état actuel (photographie aérienne 2020) avec les clichés anciens (1950-1965) (Source : IGN)

Les photographies aériennes de 1950-1965 ne montrent que peu de différences dans la morphologie globale du cours d'eau avec ce qui est observable aujourd'hui mis à part au niveau de l'ancienne retenue de l'Ecureuil où on note un élargissement du cours d'eau. Il s'agit de la trace de l'ancienne retenue (lit moyen relativement plat et large, alors que par le passé, le lit du cours d'eau restait étroit et les berges très végétalisées).

Il est à noter que les traversées de cours d'eau étaient déjà présentes à cette époque. La présence du seuil est, quant à elle difficile, à visualiser (trop faible qualité d'image). Bien que la mobilité latérale du cours d'eau semble faible au vu du contexte topographique (cours d'eau très encaissé entre deux versants), ces traversées constituent des points durs, contribuant dans une faible mesure à limiter la mobilité latérale du cours d'eau.

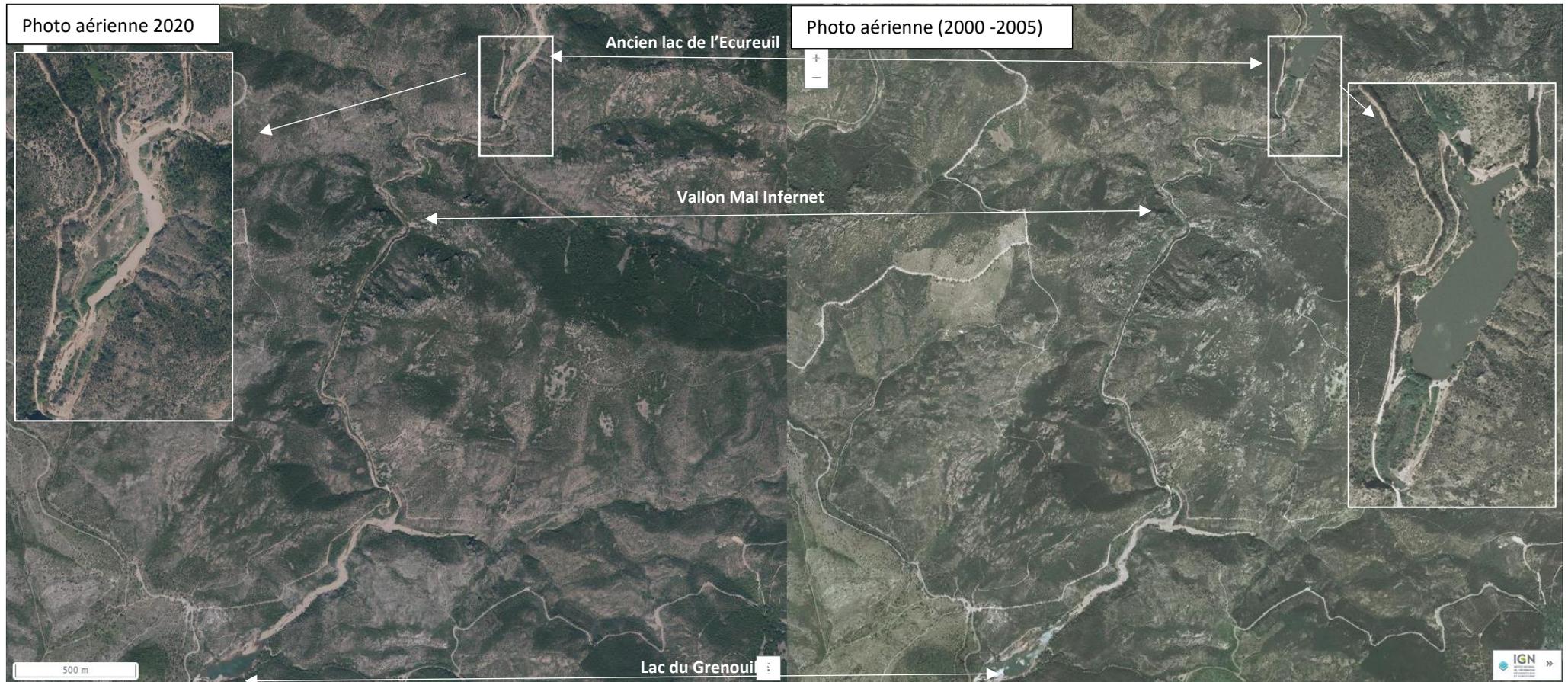


Figure 21 : Comparaison de l'état actuel (photographie aérienne 2020) avec les photographies aériennes (2000-2005) (Source : IGN)

Les photographies aériennes entre 2000 et 2005 permettent de visualiser le barrage et le lac de l'Ecureuil (construction en 1969 et déconstruction en 2009). Le cours d'eau en aval du barrage reste sensiblement similaire, à ceci-près que moins de zones de dépôts sédimentaires dans le cours d'eau sont constatés

via la présence du barrage de l'Ecureuil. Cet effet, biaisé par les différences de condition hydrologique, est lié à la présence de l'ouvrage, bloquant les sédiments vers l'aval.

En conclusion, de manière générale, le tracé du cours d'eau n'a quasiment pas évolué depuis le XIXe siècle. En effet, la topographie du site (encaissé entre deux versants) laisse peu de possibilité de mobilité du cours d'eau. Cette mobilité est d'autant plus réduite par la présence d'ouvrages dans le lit (deux traversées (actuellement des passages à gué) et 4 seuils. L'évolution la plus importante du cours d'eau est liée à la construction, puis à la déconstruction du barrage du lac de l'Ecureuil. Cet ouvrage a réduit les apports sédimentaires vers l'aval sur sa durée de vie. Sa déconstruction a permis de rétablir la continuité du transport sédimentaire. A l'aval, ce dernier reste encore fortement limité par la présence de seuils et du lac du Grenouillet. Au niveau de l'ancienne retenue, il apparaît que le cours d'eau ne semble pas encore avoir retrouvé son état initial avec un lit plus large qu'à l'origine et une végétation des berges encore limitée. Par ailleurs, beaucoup de sédiments sont présents dans la retenue.

### **3.5.2. Analyse des résultats de terrain**

Les visites de terrain ont permis de caractériser le cours d'eau et son fonctionnement hydromorphologique. Le cours d'eau a ainsi pu être divisé en huit secteurs. Ils sont présentés et décrits sur la carte en page suivante.

**Seuil**

- En pierres liaisons au béton
- Fonctionnalité non clairement identifiée – Suppression ?

**1 Ravin des trois termes**

- Zone d'incision du lit > 2m
- Lit encaissé – largeur = 2 m
- Roche affleurante
- Granulométrie moyenne du lit : sables et graviers

**2 Ravin de la Cadière**

- Mur en pierres RG en amont de la confluence
- Berge RG fortement érodée en aval de la confluence
- Granulométrie grossière: blocs et graviers
- Largeur du lit = 6 m

**3 Ravin de la dent de l'Ours**

- Berges végétalisées
- Granulométrie grossière : blocs et graviers
- Largeur du lit = 6 m
- Présence d'un gué équipé de buse à la confluence

**4 Ancienne retenue de l'Ecreuil**

- Berges érodées sur la partie amont
- Roche affleurante rive gauche
- Granulométrie hétérogènes : Blocs rocheux, graviers et sables
- Ecoulement subsurface en étiage
- Largeur du lit : entre 10 et 30 m
- Zone de dépôts sédimentaires

**5 Aval ancien barrage**

- Végétation dense
- Granulométrie hétérogènes : Blocs rocheux, graviers et sables
- Vestiges de l'ancien barrage – Pile béton + conduite dans le fond du lit
- Largeur du lit = 20 m
- Pente du cours d'eau = 1,1%

**Ancien barrage**

- Substratum rocheux
- Berge rive droite sub-verticale et instable

**Seuil**

- Positionné entre deux parois rocheuses
- Ouvrage en pierres,
- Seuil très engravé en amont (sables, graviers)
- Fosse en aval

**7 Zones méandres**

- Berges abruptes et rocheuses
- Granulométrie du lit moyenne (graviers, galets)
- Pente moyenne du cours d'eau = 1,1%
- Zone d'érosion dans les extrados des méandres
- Zone de dépôt dans les intrados des méandres
- Largeur du lit = 5 – 10 m

**6 Aval seuil barrage**

- Végétation dense des berges
- Granulométrie moyenne (galets, graviers)
- Largeur du lit = 10-15 m
- Pente du cours d'eau = 1,1%

**Gué**

- Ouvrage en pierres recouvert d'un enrobé béton pour le rendre carrossable
- Pas d'ouvrage de fuite permettant d'assurer la continuité hydraulique ou sédimentaire – percolation des écoulements à travers l'ouvrage
- Ouvrage très engravé à l'amont
- Affouillement important en aval (> 2m)

**Passerelle**

- Aucune pile de pont dans le lit
- Passerelle sans garde corps

**Seuil**

- Positionné entre deux parois rocheuses
- Ouvrage en pierres sur la partie basse, puis réhaussé avec du béton sur le tiers supérieur
- Seuil très engravé en amont (sables, graviers)
- Fosse dans le substratum rocheux en aval – secteur toujours en eau
- Problématique d'érosion en cas de suppression de l'ouvrage pouvant atteindre le chemin.

**Gué**

- Ouvrage en pierres recouvert d'un enrobé béton pour le rendre carrossable
- Pas d'ouvrage de fuite permettant d'assurer la continuité hydraulique ou sédimentaire – percolation des écoulements à travers l'ouvrage
- Ouvrage très engravé à l'amont
- Affouillement important en aval (> 2,5m) entraînant l'effondrement du gué par endroit -> problématique récurrente

**8 Secteur encaissé - Gorges**

- Berges abruptes
- Végétation dense
- Largeur du lit = 10 m
- Granulométrie hétérogène (blocs, graviers, sables)
- Pente moyenne du cours d'eau = 1,1% en amont du seuil et = 0,3% en aval du seuil
- Zone de dépôt sédimentaires en amont du seuil
- Chemin en bordure de cours d'eau rive gauche - Mur de soutènement du chemin dans le cours d'eau en amont du seuil

**9 Vallon Grenouillet**

- Berges s'adoucissant vers l'aval
- Berges végétalisées (Maquis et arbres)
- Lit s'élargissant vers l'aval (=10-15 m en amont du vallon des Lentisques // = 20-35 m en aval -> lac Grenouillet)
- Pente moyenne du cours d'eau = 0,2 - 0,3%
- Granulométrie hétérogène sables et graviers avec quelques blocs
- Ecoulement souterrain en étiage
- Affluent des Lentisques en aval du gué -> apports sédimentaires

**Seuil**

- Positionné entre deux parois rocheuses
- Ouvrage en pierres
- Seuil très engravé en amont (sables, graviers)
- Fosse dans le substratum rocheux en aval – secteur toujours en eau
- Problématique d'érosion en cas de suppression de l'ouvrage pouvant atteindre le chemin.

**Passerelle**

- Aucune pile de pont dans le lit
- Passerelle sans garde corps

**Seuil**

- Positionné entre deux parois rocheuses
- Ouvrage en pierres sur la partie basse, puis réhaussé avec du béton sur le tiers supérieur
- Seuil très engravé en amont (sables, graviers)
- Fosse dans le substratum rocheux en aval – secteur toujours en eau
- Problématique d'érosion en cas de suppression de l'ouvrage pouvant atteindre le chemin.

**Gué**

- Ouvrage en pierres recouvert d'un enrobé béton pour le rendre carrossable
- Pas d'ouvrage de fuite permettant d'assurer la continuité hydraulique ou sédimentaire – percolation des écoulements à travers l'ouvrage
- Ouvrage très engravé à l'amont
- Affouillement important en aval (> 2,5m) entraînant l'effondrement du gué par endroit -> problématique récurrente

**10 Lac du Grenouillet**

- Lac à sec en période d'étiage sévère
- Passage à gué en aval – 3 buses sous l'ouvrage sont présentes et assurent le transit vers l'aval d'un débit minimal
- Cet ouvrage constitue néanmoins un obstacle à la continuité sédimentaire

**Barrage lac Grenouillet**

**Seuil**

- Positionné entre deux parois rocheuses
- Ouvrage en pierres
- Seuil très engravé en amont (sables, graviers)
- Fosse dans le substratum rocheux en aval – secteur toujours en eau
- Problématique d'érosion en cas de suppression de l'ouvrage pouvant atteindre le chemin.

**Gué**

- Ouvrage en pierres recouvert d'un enrobé béton pour le rendre carrossable
- Pas d'ouvrage de fuite permettant d'assurer la continuité hydraulique ou sédimentaire – percolation des écoulements à travers l'ouvrage
- Ouvrage très engravé à l'amont
- Affouillement important en aval (> 2,5m) entraînant l'effondrement du gué par endroit -> problématique récurrente

**Seuil**

- Positionné entre deux parois rocheuses
- Ouvrage en pierres
- Seuil très engravé en amont (sables, graviers)
- Fosse dans le substratum rocheux en aval – secteur toujours en eau
- Problématique d'érosion en cas de suppression de l'ouvrage pouvant atteindre le chemin.

**09/2014**

**09/2014**

**09/2014**

### 3.5.3. Puissance spécifique

Elle permet de déterminer la capacité d'ajustement morphologiques d'un cours d'eau. On note notamment un seuil majeur à 35 W/m<sup>2</sup> au-dessus duquel la puissance naturelle du cours d'eau lui permet de se réajuster morphologiquement.

Néanmoins, en fonction de l'érodabilité des berges, les cours d'eau peuvent s'ajuster pour des puissances spécifiques plus faibles ou ne pas s'ajuster pour des puissances spécifiques plus fortes.

La puissance est calculée de la manière suivante :

$$\Omega = \gamma * Q * J$$

$\Omega$  : puissance en W/m

$\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$

$Q$  : débit journalier de crue de fréquence 2 ans en m<sup>3</sup>/s

$J$  : pente d'énergie en m/m

Puis, la puissance spécifique s'exprime ainsi :

$$\omega = \frac{\Omega}{l}$$

$\omega$  : puissance spécifique en W/m<sup>2</sup>

$\Omega$  : puissance en W/m

$l$  : largeur du lit en m

Les hypothèses suivantes sont considérées :

- la pente de la ligne d'énergie a été approximée à la pente de la section  $J = I$ .  
La pente du cours d'eau est issue des données topographiques RGE Alti au pas de 1 m acquises dans le cadre de l'étude ;

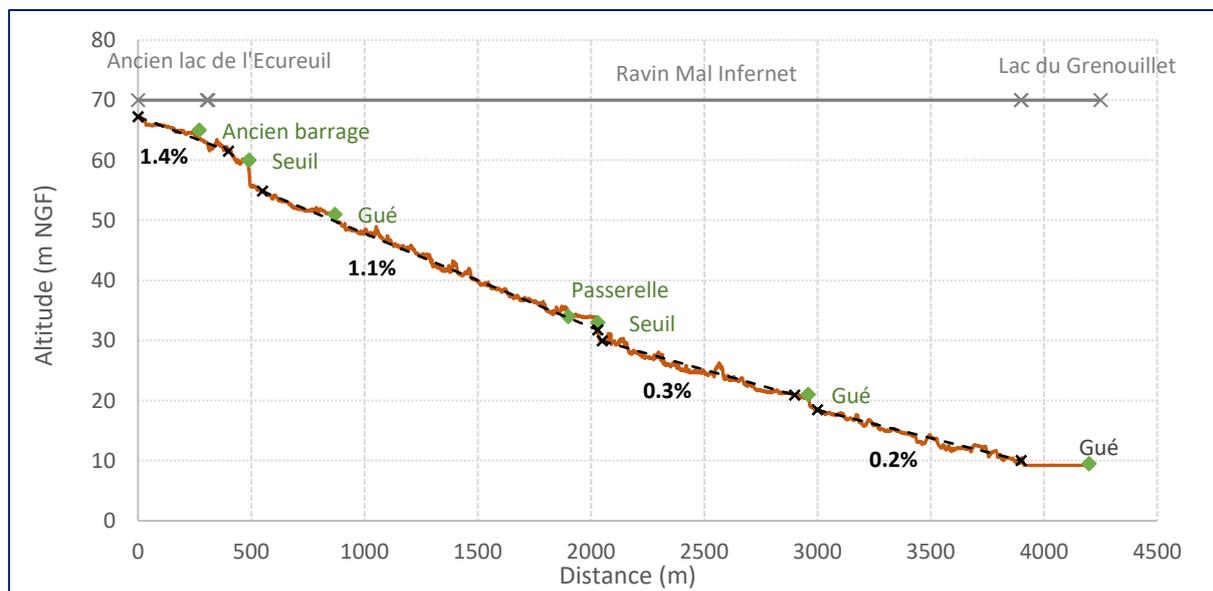


Figure 22 : Profil en long

- le débit journalier au droit du site de l'ancien lac de l'Ecureuil de période de retour 2 ans sera considéré égal à  $Q = 3,65 \text{ m}^3/\text{s}$  (SHYREG) ;
- le débit journalier au droit du lac du Grenouillet de période de retour 2 ans est calculé à partir du débit au droit du lac de l'Ecureuil  $Q=6,7 \text{ m}^3/\text{s}$  ;
- la largeur du lit est approximée à partir des données topographiques, des visites de site et des photographies aériennes.

Les résultats sont donnés ci-dessous :

Ils sont à utiliser avec précaution mais permettent d'avoir une idée de la capacité des différents tronçons à réaliser naturellement des modifications morphologiques.

Zones	Largeur du lit (m)	Pente m/m	Puissance spécifique $\text{W}/\text{m}^2$
4 - Ancienne retenue	20 - 30	0.014	18 - 25
5 - Aval ancien barrage	20	0.011	20
6 - Aval seuil barrage	10 - 15	0.011	26 - 40
7 - Méandres	10	0.011	40
8 - Gorges - Amont seuil	10	0.011	40
8 - Gorges - Aval seuil	10	0.003	20
9 - Vallon Grenouillet - Amont Gué	15	0.003	13
9 - Vallon Grenouillet - Aval Gué 2	30	0.002	5

Tableau 13 : Puissance spécifique

Seule la portion de cours d'eau entre le gué le plus amont et le seuil a une puissance spécifique supérieure à  $35 \text{ W}/\text{m}^2$ . Sur cette portion, le cours d'eau est encaissé et présente une largeur plus faible. Sur le reste du cours d'eau, la puissance spécifique est inférieure à  $25 \text{ W}/\text{m}^2$  (inférieure au seuil à partir duquel les procédés hydrogéomorphologiques sont observés). Néanmoins, malgré cette puissance spécifique faible, on constate des érosions ; signes que ces procédés adviennent dans les portions du cours d'eau présentant une puissance spécifique faible mais ayant des berges peu cohésives.

### 3.6. Conclusion

De manière générale, le **tracé du cours d'eau n'a quasiment pas évolué depuis le XIXe siècle**. En effet, la topographie du site (encaissé entre deux versants) laisse peu de possibilité de mobilité. Cette mobilité est d'autant plus réduite par la présence d'ouvrages dans le lit : 3 traversées (actuellement des passages à gué) et 4 seuils. **L'évolution la plus importante du cours d'eau est liée à la construction en 1969, puis à l'effacement du barrage du lac de l'Ecureuil en 2009**. Cet ouvrage a réduit les apports sédimentaires vers l'aval sur sa durée de vie. **Son effacement a permis de rétablir la continuité du transport sédimentaire**. A l'aval, elle reste encore **fortement limitée par la présence des gués, des seuils et du lac du Grenouillet**. Ses **ouvrages sont tous fortement engravés** (niveau de sédiments atteignant la crête de l'ouvrage). En aval des passages à gué des fosses d'érosion importantes sont présentes et entraînent une instabilité de l'ouvrage avec des travaux de confortement et de recharge aval récurrents.

Le cours d'eau est soumis à un important transport sédimentaire. Les affluents en amont de l'ancien lac de l'Ecureuil se sont incisés, leur lit s'est enfoncé, le ravin des trois termes sur une hauteur supérieure à 2 m.

**Au niveau de l'ancienne retenue, il apparaît que le cours d'eau n'a pas encore avoir retrouvé son état initial** avec un lit plus large qu'à l'origine et une végétation des berges encore limitée. Par ailleurs, beaucoup de sédiments sont présents dans la retenue.

L'effacement du barrage, réalisée de manière « brutale », a laissé des berges de cours d'eau très abruptes voire même instables pour la berge rive droite. Ils restent dans le lit du cours d'eau quelques vestiges de l'ouvrage qui n'ont pas été évacués (une pile et un morceau de canalisation béton).

Les traces de l'effacement du barrage sur l'aval du cours d'eau sont peu, voire pas visibles. Cet effacement datant de plus de 10 ans, les différentes crues de ces dernières années ont décolmaté **le fond du lit du cours d'eau pour retrouver un fonctionnement « naturel »**, malgré des ouvrages hydrauliques présents sur son linéaire. La **granulométrie est très hétérogène sur le linéaire : alternance de sable, graviers, galets et gros blocs rocheux**.

Le linéaire entre l'ancienne retenue de l'Ecureuil et le lac du Grenouillet est caractérisé par des zones de méandres alternées de zones d'écoulement plus rectilignes, entraînant des différences de vitesse d'écoulement, d'érosion (extrados) ou encore de dépôt solide (intrados). De manière globale, le linéaire est encaissé au fond du vallon entre des parois rocheuses avec certaines zones plus expansées. La végétation est présente tout le long du linéaire avec une prépondérance de maquis couplé à certaines essences d'arbres. On retrouve une érosion importante des berges dans certains secteurs (berges sableuses).

La pluviométrie de la zone d'étude est de type méditerranéenne avec des épisodes de sécheresses en été et des pluies intenses en automne. **Les écoulements dans le cours d'eau sont intermittents, sauf sur environ 300 m en aval du seuil présent dans le ravin du Mal Infernet**. Ce secteur est toujours en eau. Il est localisé sur un substratum rocheux très peu perméable. A l'inverse, dès que le fond de la rivière est de type alluvionnaire, les eaux s'infiltrent et s'écoulent dans les alluvions, laissant le cours d'eau à sec à sur un linéaire important.

Les deux sources des Fontaines 1 et 2 à proximité du cours d'eau participent à l'alimentation de ce dernier même en période d'étiage. Elles correspondent à des exutoires d'écoulements plus profonds dans le massif rhyolitique et trouvent leur exutoire en faveur d'une faille.

**L'état général du cours d'eau (biologique et physico-chimique) est très bon. Les problématiques principales restent l'hydrologie pour son intermittence et son écoulement de subsurface, la diversité et la fonctionnalité des habitats.**

## Observations sur l'utilisation du rapport

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

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

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

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

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



# ANNEXES

Annexe I : Analyses des eaux

Annexe II : Réalisation d'indices biologiques sur le cours d'eau (IBG et IBD), MRE, Juin 2021

## Annexe I : **Analyses des eaux**



Laboratoire agr e par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 13/04/2021

Destinataire :

**ANTEA FRANCE**  
**TRIANGLE DE NAPOLLON BT C**  
**400 AV DU PASSE TEMPS**  
**13400 AUBAGNE**

## Rapport d'essai définitif

Numéro Labo : 2021.3139-1-1

D epos e le.....: **08/04/2021 13:46**Pr elev e le.....: **08/04/2021 12:30** par LE CLIENT dépot Site Draguignan

Méthode de prélevement...: selon modalités internes du préleveur et/ou du client

Motif de prélevement.....: Autosurveillance

Type de prélevement.....: Eau douce souterraine (puits, source, forage)

Type d'analyse.....: +éléments supplémentaires CHIMIE

Date début d'analyse .....: 08/04/2021

**Commune du point.....: SAINT RAPHAEL****Nom du point .....: RAVIN DE L'UBAC DE L'ESCALE**

Localisation du point.....:

Analyses	Résultats	Normes et méthodes
<i>Paramètres Terrain</i>		
pH terrain	8.2 unités pH	NF EN ISO 10523
Température de l'eau au moment du prélevement	12.7 �C	Méthode à la sonde
<i>Paramètres physico chimiques de base</i>		
Conductivité électrique brute à 25�C	99 �S/cm	NF EN 27888 Conductim�etrie(c)(S)
Chlorures	15 mg/l Cl-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
Fluorures	0.57 mg/l F-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
pH Laboratoire	6.85 -	NF EN ISO 10523 Electrochimie(c)(S)
Température de mesure du pH	19.6 �C	NF EN ISO 10523 Electrochimie (S)
Sulfates	11 mg/l SO4--	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
TAC (Titre alcalimétrique complet)	0.70 � f	NF EN 9963-1 Potentiométrie(c)(S)
Hydrogénocarbonates (en CO3H) calcul�es	8.540 mg/l	Par calcul (T)
Titre Hydrotimétrique	1.31 �F	Par calcul (T)
<i>Minéralisation</i>		
Calcium dissous	2.9 mg/l Ca++	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
Potassium dissous	2.2 mg/l K+	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
Magnésium dissous	1.4 mg/l Mg++	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)

(c) : Essais et / ou prélevements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais r ealis es sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais r ealis es sur le site de Draguignan - (T) : Essais r ealis es sur le site de Toulon - (S) : Essais r ealis es par le laboratoire CARSO-LSEHL (portée disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la réference à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilitée. Lorsque le prélevement est r ealis e par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et reportées sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR - Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr  
Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULONN o Labo :  
2021.3139-1-1Mod ele:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 1 / 2



Laboratoire agréé par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 13/04/2021

Analyses	Résultats		Normes et méthodes
Sodium dissous	10.9	mg/l Na+	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
<i>Equilibre calco-carbonique</i>			
Anhydride carbonique agressif calculé	6.4	mg/l CO2	Méthode interne Calcul (S)
pH à l'équilibre	9.74	-	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
Equilibre calcocarbonique (5 classes)	4 aggressive	-	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
CO2 libre calculé	0.09	mg/l CO2	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
<i>Paramètres azotés et phosphorés</i>			
Ammonium	< 0.05	mg/l NH4+	NF T90-015-2 Spectrophotométrie au bleu indophéno(c)(S)
Azote Ammoniacal (en N) par filtration	< 0.040	mg/L	Par calcul (T)
Nitrites	< 0.01	mg/l NO2-	NF EN ISO 13395 Flux continu (CFA)(c)(S)
Nitrites (en N) par filtration	< 0.003	mg/L	Par calcul (T)
Nitrates	0.15	mg/l NO3-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
<i>Métaux et micropolluants minéraux</i>			
Arsenic total	< 0.002	mg/l As	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Barium total	< 0.010	mg/l Ba	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Fer total	0.063	mg/l Fe	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Antimoine total	< 0.001	mg/l Sb	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)

N° bon de commande.....: 2021.329

  
**Pierre-Olivier Ouary**  
**Responsable du Pôle Prélèvements / Gestion de**  
**la Relation Client**

(c) : Essais et / ou prélèvements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais réalisés sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais réalisés sur le site de Draguignan - (T) : Essais réalisés sur le site de Toulon - (S) : Essais réalisés par le laboratoire CARSO-LSEHL (portée disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la référence à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilitée. Lorsque le prélèvement est réalisé par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et reportées sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR – Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr  
 Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N° labo :  
2021.3139-1-1Modèle:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 2 / 2



Laboratoire agr e par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 13/04/2021

Destinataire :

**ANTEA FRANCE**  
**TRIANGLE DE NAPOLLON BT C**  
**400 AV DU PASSE TEMPS**  
**13400 AUBAGNE**

## Rapport d'essai définitif

Numéro Labo : 2021.3139-1-2

D epos e le.....: **08/04/2021 13:46**Pr elev e le.....: **08/04/2021 13:15** par LE CLIENT dépot Site Draguignan

Méthode de prélevement...: selon modalités internes du préleveur et/ou du client

Motif de prélevement.....: Autosurveillance

Type de prélevement.....: Eau douce souterraine (puits, source, forage)

Type d'analyse.....: +éléments supplémentaires CHIMIE

Date début d'analyse .....: 08/04/2021

**Commune du point.....: SAINT RAPHAEL****Nom du point .....: VALLON MALINFANET**

Localisation du point.....:

Analyses	Résultats	Normes et méthodes
<i>Paramètres Terrain</i>		
pH terrain	7.39 unités pH	NF EN ISO 10523
Température de l'eau au moment du prélevement	11.3 �C	Méthode à la sonde
<i>Paramètres physico chimiques de base</i>		
Conductivité électrique brute à 25�C	114 �S/cm	NF EN 27888 Conductim�etrie(c)(S)
Chlorures	16 mg/l Cl-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
Fluorures	0.52 mg/l F-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
pH Laboratoire	7.46 -	NF EN ISO 10523 Electrochimie(c)(S)
Température de mesure du pH	19.7 �C	NF EN ISO 10523 Electrochimie (S)
Sulfates	7.1 mg/l SO4--	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
TAC (Titre alcalimétrique complet)	1.75 � f	NF EN 9963-1 Potentiométrie(c)(S)
Hydrogénocarbonates (en CO3H) calcul�es	21.350 mg/l	Par calcul (T)
Titre Hydrotimétrique	2.28 �F	Par calcul (T)
<i>Minéralisation</i>		
Calcium dissous	5.1 mg/l Ca++	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
Potassium dissous	1.9 mg/l K+	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
Magnésium dissous	2.4 mg/l Mg++	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)

(c) : Essais et / ou prélevements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais r ealis es sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais r ealis es sur le site de Draguignan - (T) : Essais r ealis es sur le site de Toulon - (S) : Essais r ealis es par le laboratoire CARSO-LSEHL (port e disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la réference à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associ e au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilit e. Lorsque le prélevement est r ealis e par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et report es sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR - Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr

Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N o Labo :  
2021.3139-1-2Mod ele:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 1 / 2



Laboratoire agréé par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 13/04/2021

Analyses	Résultats		Normes et méthodes
Sodium dissous	9.9	mg/l Na+	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
<i>Equilibre calco-carbonique</i>			
Anhydride carbonique agressif calculé	4.0	mg/l CO2	Méthode interne Calcul (S)
pH à l'équilibre	9.79	-	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
Equilibre calcocarbonique (5 classes)	4 aggressive	-	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
CO2 libre calculé	0.19	mg/l CO2	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
<i>Paramètres azotés et phosphorés</i>			
Ammonium	< 0.05	mg/l NH4+	NF T90-015-2 Spectrophotométrie au bleu indophénol(c)(S)
Azote Ammoniacal (en N) par filtration	< 0.040	mg/L	Par calcul (T)
Nitrites	< 0.01	mg/l NO2-	NF EN ISO 13395 Flux continu (CFA)(c)(S)
Nitrites (en N) par filtration	< 0.003	mg/L	Par calcul (T)
Nitrates	< 0.1	mg/l NO3-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
<i>Métaux et micropolluants minéraux</i>			
Arsenic total	< 0.002	mg/l As	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Barium total	< 0.010	mg/l Ba	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Fer total	< 0.010	mg/l Fe	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Antimoine total	< 0.001	mg/l Sb	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)

N° bon de commande.....: 2021.329

  
**Pierre-Olivier Ouary**  
**Responsable du Pôle Prélèvements / Gestion de**  
**la Relation Client**

(c) : Essais et / ou prélèvements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais réalisés sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais réalisés sur le site de Draguignan - (T) : Essais réalisés sur le site de Toulon - (S) : Essais réalisés par le laboratoire CARSO-LSEHL (portée disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la référence à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilitée. Lorsque le prélèvement est réalisé par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et reportées sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR - Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr

Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N° labo :  
2021.3139-1-2Modèle:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 2 / 2



Laboratoire agréé par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 19/04/2021

Destinataire :

**ANTEA FRANCE**  
**TRIANGLE DE NAPOLLON BT C**  
**400 AV DU PASSE TEMPS**  
**13400 AUBAGNE**

## Rapport d'essai définitif

Numéro Labo : 2021.3139-1-8

Déposé le.....: **08/04/2021 13:46**Prélevé le.....: **08/04/2021 13:15** par LE CLIENT dépôt Site Draguignan

Méthode de prélèvement...: selon modalités internes du préleveur et/ou du client

Motif de prélèvement.....: Autosurveillance

Type de prélèvement.....: Eau douce de surface (rivère, lac)

Type d'analyse.....: +éléments supplémentaires CHIMIE

Date début d'analyse .....: 08/04/2021

**Commune du point.....: SAINT RAPHAEL****Nom du point .....: VALLON MAL INFERNET**

Localisation du point.....:

Analyses	Résultats		Normes et méthodes
<i>Paramètres physico chimiques de base</i>			
Turbidité	0.47	NFU	NF EN ISO 7027 Néphélométrie(c)(S)
<i>Oxygène et matières organiques</i>			
Carbone organique total (COT)	0.95	mg/l C	NF EN 1484 Oxydation par voie humide et IR(c)(S)
Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)	< 0.5	mg/l O2	NF EN 1899-2 Sans dilution(c)(S)
Demande Chimique en Oxygène	< 20	mg/l O2	ISO 15705 Spectrophotométrie(c)(S)
Matières en suspension totales	< 2.0	mg/l	NF EN 872 Gravimétrie - filtre Whatman 934 AH(c)(S)
Demande Chimique en Oxygène (indice ST-DCO)	< 5	mg/l O2	ISO 15705 Spectrophotométrie(c)(S)
<i>Paramètres azotés et phosphorés</i>			
Nitrites	< 0.01	mg/l NO2-	NF EN ISO 13395 Flux continu (CFA)(c)(S)
Nitrites (en N) par filtration	< 0.003	mg/L	Par calcul (T)
Nitrates	< 0.1 (**)	mg/l NO3-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique (S)
Nitrates (en N) par filtration	< 0.020	mg/L	Par calcul (T)
Azote Kjeldahl	0.59	mg/l N	NF EN 25663 Distillation(c)(S)
Azote global (en N)	0.590	mg/l	Par calcul (T)

(\*\*) L'absence du logo Cofrac provient d'un délai de mise en analyse par rapport au prélèvement supérieur aux exigences normatives.

Comm. 2021.3139-1-8 : Les étapes d'éliminations d'interférents (peroxydes, algues...) ne sont pas réalisées par le laboratoire (option de la norme)

(c) : Essais et / ou prélèvements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais réalisés sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais réalisés sur le site de Draguignan - (T) : Essais réalisés sur le site de Toulon - (S) : Essais réalisés par le laboratoire CARSO-LSEHL (portée disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la référence à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilitée. Lorsque le prélèvement est réalisé par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et reportées sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR – Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr  
 Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N° Labo :  
2021.3139-1-8

Modèle:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 1 / 2



Laboratoire agréé par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 19/04/2021

N° bon de commande.....: 2021.329

**Pierre-Olivier Ouary**  
**Responsable du Pôle Prélèvements / Gestion de**  
**la Relation Client**

(c) : Essais et / ou prélèvements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais réalisés sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais réalisés sur le site de Draguignan - (T) : Essais réalisés sur le site de Toulon - (S) : Essais réalisés par le laboratoire CARSO-LSEHL (portée disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la référence à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilitée. Lorsque le prélèvement est réalisé par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et reportées sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR – Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr

Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N° labo :  
2021.3139-1-8

Modèle:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 2 / 2



Laboratoire agr e par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 19/04/2021

Destinataire :

**ANTEA FRANCE**  
**TRIANGLE DE NAPOLLON BT C**  
**400 AV DU PASSE TEMPS**  
**13400 AUBAGNE**

## Rapport d'essai définitif

Numéro Labo : 2021.3139-1-3

Déposé le.....: 08/04/2021 13:46

Prélevé le.....: 08/04/2021 14:00 par LE CLIENT dépot Site Draguignan

Méthode de prélevement...: selon modalités internes du préleveur et/ou du client

Motif de prélevement.....: Autosurveillance

Type de prélevement.....: Eau douce souterraine (puits, source, forage)

Type d'analyse.....: +éléments supplémentaires CHIMIE

Date début d'analyse .....: 08/04/2021

**Commune du point.....: SAINT RAPHAEL****Nom du point .....: SOURCE FONTAINE 1**

Localisation du point.....:

Analyses	Résultats	Normes et méthodes
<i>Paramètres Terrain</i>		
pH terrain	7.23 unités pH	NF EN ISO 10523
<i>Paramètres physico chimiques de base</i>		
Conductivité électrique brute à 25�C	123 �S/cm	NF EN 27888 Conductim�trie(c)(S)
Chlorures	16 mg/l Cl-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
Fluorures	5.6 mg/l F-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
pH Laboratoire	6.75 -	NF EN ISO 10523 Electrochimie(c)(S)
Température de mesure du pH	19.8 �C	NF EN ISO 10523 Electrochimie (S)
Sulfates	4.1 mg/l SO4--	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
TAC (Titre alcalimétrique complet)	1.75 � f	NF EN 9963-1 Potentiométrie(c)(S)
Hydrog�nocarbonates (en CO3H) calculés	21.350 mg/l	Par calcul (T)
Titre Hydrotimétrique	2.54 �F	Par calcul (T)
<i>Minéralisation</i>		
Calcium dissous	8.0 mg/l Ca++	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
Potassium dissous	3.9 mg/l K+	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
Magnésium dissous	1.3 mg/l Mg++	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
Sodium dissous	9.1 mg/l Na+	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
<i>Equilibre calco-carbonique</i>		

(c) : Essais et / ou prélevements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais réalisés sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais réalisés sur le site de Draguignan - (T) : Essais réalisés sur le site de Toulon - (S) : Essais réalisés par le laboratoire CARSO-LSEHL (port e disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la référence à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associ e au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les donn es concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilit e. Lorsque le prélevement est réalisé par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des donn es fournies par le client et report es sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR - Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr  
 Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N  labo :  
2021.3139-1-3

Modèle:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 1 / 2



Laboratoire agréé par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 19/04/2021

Analyses	Résultats		Normes et méthodes
Anhydride carbonique agressif calculé	8.4	mg/l CO2	Méthode interne Calcul (S)
pH à l'équilibre	9.47	-	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
Equilibre calcocarbonique (5 classes)	4	agressive	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
CO2 libre calculé	0.19	mg/l CO2	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
<i>Paramètres azotés et phosphorés</i>			
Ammonium	< 0.05	mg/l NH4+	NF T90-015-2 Spectrophotométrie au bleu indophénol(c)(S)
Azote Ammoniacal (en N) par filtration	< 0.040	mg/L	Par calcul (T)
Nitrites	< 0.01	mg/l NO2-	NF EN ISO 13395 Flux continu (CFA)(c)(S)
Nitrites (en N) par filtration	< 0.003	mg/L	Par calcul (T)
Nitrates	0.11 (**)	mg/l NO3-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique (S)
<i>Métaux et micropolluants minéraux</i>			
Arsenic total	< 0.002	mg/l As	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Bayum total	0.028	mg/l Ba	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Fer total	< 0.010	mg/l Fe	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Antimoine total	< 0.001	mg/l Sb	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)

(\*\*) L'absence du logo Cofrac provient d'un délai de mise en analyse par rapport au prélèvement supérieur aux exigences normatives.

N° bon de commande.....: 2021.329

**Pierre-Olivier Ouary**  
 Responsable du Pôle Prélèvements / Gestion de  
 la Relation Client

(c) : Essais et / ou prélèvements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais réalisés sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais réalisés sur le site de Draguignan - (T) : Essais réalisés sur le site de Toulon - (S) : Essais réalisés par le laboratoire CARSO-LSEHL (portée disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la référence à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilitée. Lorsque le prélèvement est réalisé par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et reportées sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR – Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr  
 Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N° Labo :  
2021.3139-1-3Modèle:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 2 / 2



Laboratoire agréé par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 13/04/2021

Destinataire :

**ANTEA FRANCE**  
**TRIANGLE DE NAPOLLON BT C**  
**400 AV DU PASSE TEMPS**  
**13400 AUBAGNE**

## Rapport d'essai définitif

Numéro Labo : 2021.3139-1-4

Déposé le.....: **08/04/2021 13:46**Prélevé le.....: **08/04/2021 14:00** par LE CLIENT dépôt Site Draguignan

Méthode de prélèvement...: selon modalités internes du préleveur et/ou du client

Motif de prélèvement.....: Autosurveillance

Type de prélèvement.....: Eau douce souterraine (puits, source, forage)

Type d'analyse.....: +éléments supplémentaires CHIMIE

Date début d'analyse .....: 08/04/2021

**Commune du point.....: SAINT RAPHAEL****Nom du point .....: SOURCE FONTAINE 2**

Localisation du point.....:

Analyses	Résultats	Normes et méthodes
<i>Paramètres Terrain</i>		
pH terrain	7.56 unités pH	NF EN ISO 10523
Température de l'eau au moment du prélèvement	14.3 °C	Méthode à la sonde
<i>Paramètres physico chimiques de base</i>		
Conductivité électrique brute à 25°C	106 µS/cm	NF EN 27888 Conductimétrie(c)(S)
Chlorures	14 mg/l Cl-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
Fluorures	3.6 mg/l F-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
pH Laboratoire	6.81 -	NF EN ISO 10523 Electrochimie(c)(S)
Température de mesure du pH	19.6 °C	NF EN ISO 10523 Electrochimie (S)
Sulfates	4.7 mg/l SO4--	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
TAC (Titre alcalimétrique complet)	1.35 °f	NF EN 9963-1 Potentiométrie(c)(S)
Hydrogénocarbonates (en CO3H) calculés	16.470 mg/l	Par calcul (T)
Titre Hydrotimétrique	2.28 °F	Par calcul (T)
<i>Minéralisation</i>		
Calcium dissous	6.3 mg/l Ca++	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
Potassium dissous	2.4 mg/l K+	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
Magnésium dissous	1.7 mg/l Mg++	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)

(c) : Essais et / ou prélèvements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais réalisés sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais réalisés sur le site de Draguignan - (T) : Essais réalisés sur le site de Toulon - (S) : Essais réalisés par le laboratoire CARSO-LSEHL (portée disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la référence à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilitée. Lorsque le prélèvement est réalisé par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et reportées sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR – Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr  
 Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N° Labo :  
2021.3139-1-4Modèle:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 1 / 2



Laboratoire agréé par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 13/04/2021

Analyses	Résultats		Normes et méthodes
Sodium dissous	8.0	mg/l Na+	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
<i>Equilibre calco-carbonique</i>			
Anhydride carbonique agressif calculé	6.2	mg/l CO2	Méthode interne Calcul (S)
pH à l'équilibre	9.86	-	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
Equilibre calcocarbonique (5 classes)	4 aggressive	-	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
CO2 libre calculé	0.15	mg/l CO2	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
<i>Paramètres azotés et phosphorés</i>			
Ammonium	< 0.05	mg/l NH4+	NF T90-015-2 Spectrophotométrie au bleu indophéno(c)(S)
Azote Ammoniacal (en N) par filtration	< 0.040	mg/L	Par calcul (T)
Nitrites	< 0.01	mg/l NO2-	NF EN ISO 13395 Flux continu (CFA)(c)(S)
Nitrites (en N) par filtration	< 0.003	mg/L	Par calcul (T)
Nitrates	< 0.1	mg/l NO3-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
<i>Métaux et micropolluants minéraux</i>			
Arsenic total	< 0.002	mg/l As	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Barium total	< 0.010	mg/l Ba	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Fer total	0.019	mg/l Fe	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Antimoine total	< 0.001	mg/l Sb	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)

N° bon de commande.....: 2021.329

  
**Pierre-Olivier Ouary**  
**Responsable du Pôle Prélèvements / Gestion de**  
**la Relation Client**

(c) : Essais et / ou prélèvements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais réalisés sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais réalisés sur le site de Draguignan - (T) : Essais réalisés sur le site de Toulon - (S) : Essais réalisés par le laboratoire CARSO-LSEHL (portée disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la référence à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilitée. Lorsque le prélèvement est réalisé par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et reportées sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR – Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr

Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N° labo :  
2021.3139-1-4Modèle:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 2 / 2



Laboratoire agr e par :

- le Ministère de la Santé
- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 13/04/2021

Destinataire :

**ANTEA FRANCE**  
**TRIANGLE DE NAPOLLON BT C**  
**400 AV DU PASSE TEMPS**  
**13400 AUBAGNE**

## Rapport d'essai définitif

Numéro Labo : 2021.3139-1-5

D epos e le.....: **08/04/2021 13:46**  
 Pr elev e le.....: **08/04/2021 14:30** par LE CLIENT dépot Site Draguignan  
 Méthode de prélèvement...: selon modalités internes du pr el evateur et/ou du client  
 Motif de prélèvement.....: Autosurveillance  
 Type de prélèvement.....: Eau douce souterraine (puits, source, forage)  
 Type d'analyse.....: +éléments supplémentaires CHIMIE  
 Date début d'analyse .....: 08/04/2021

**Commune du point.....: SAINT RAPHAEL**  
**Nom du point .....: VALLON MALINFEUNET AVAL**

Localisation du point.....:

Analyses	Résultats	Normes et méthodes
<i>Paramètres Terrain</i>		
pH terrain	7.33 unités pH	NF EN ISO 10523
Température de l'eau au moment du prélèvement	15.6 �C	Méthode à la sonde
<i>Paramètres physico chimiques de base</i>		
Conductivité électrique brute à 25�C	119 �S/cm	NF EN 27888 Conductim�etrie(c)(S)
Chlorures	16 mg/l Cl-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
Fluorures	0.78 mg/l F-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
pH Laboratoire	7.63 -	NF EN ISO 10523 Electrochimie(c)(S)
Température de mesure du pH	19.8 �C	NF EN ISO 10523 Electrochimie (S)
Sulfates	7.9 mg/l SO4--	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
TAC (Titre alcalimétrique complet)	2.00 � f	NF EN 9963-1 Potentiométrie(c)(S)
Hydrogénocarbonates (en CO3H) calcul�es	24.400 mg/l	Par calcul (T)
Titre Hydrotimétrique	2.46 �F	Par calcul (T)
<i>Minéralisation</i>		
Calcium dissous	5.5 mg/l Ca++	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
Potassium dissous	2.0 mg/l K+	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
Magnésium dissous	2.6 mg/l Mg++	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)

(c) : Essais et / ou prélèvements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais r ealis es sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais r ealis es sur le site de Draguignan - (T) : Essais r ealis es sur le site de Toulon - (S) : Essais r ealis es par le laboratoire CARSO-LSEHL (port e disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la référence à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associ e au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilit e. Lorsque le prélèvement est r ealis e par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et report es sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR - Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr  
 Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N o Labo :  
2021.3139-1-5

Modèle:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 1 / 2



Laboratoire agréé par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 13/04/2021

Analyses	Résultats		Normes et méthodes
Sodium dissous	10.6	mg/l Na+	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
<i>Equilibre calco-carbonique</i>			
Anhydride carbonique agressif calculé	2.9	mg/l CO2	Méthode interne Calcul (S)
pH à l'équilibre	9.62	-	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
Equilibre calcocarbonique (5 classes)	4 agressive	-	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
CO2 libre calculé	0.22	mg/l CO2	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
<i>Paramètres azotés et phosphorés</i>			
Ammonium	< 0.05	mg/l NH4+	NF T90-015-2 Spectrophotométrie au bleu indophéno(c)(S)
Azote Ammoniacal (en N) par filtration	< 0.040	mg/L	Par calcul (T)
Nitrites	< 0.01	mg/l NO2-	NF EN ISO 13395 Flux continu (CFA)(c)(S)
Nitrites (en N) par filtration	< 0.003	mg/L	Par calcul (T)
Nitrates	< 0.1	mg/l NO3-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
<i>Métaux et micropolluants minéraux</i>			
Arsenic total	< 0.002	mg/l As	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Barium total	< 0.010	mg/l Ba	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Fer total	< 0.010	mg/l Fe	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Antimoine total	< 0.001	mg/l Sb	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)

N° bon de commande.....: 2021.329

Pierre-Olivier Ouary  
Responsable du Pôle Prélèvements / Gestion de  
la Relation Client

(c) : Essais et / ou prélèvements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais réalisés sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais réalisés sur le site de Draguignan - (T) : Essais réalisés sur le site de Toulon - (S) : Essais réalisés par le laboratoire CARSO-LSEHL (portée disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la référence à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilitée. Lorsque le prélèvement est réalisé par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et reportées sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR - Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr  
Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N° labo :  
2021.3139-1-5

Modèle:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 2 / 2



Laboratoire agr e par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 19/04/2021

Destinataire :

**ANTEA FRANCE**  
**TRIANGLE DE NAPOLLON BT C**  
**400 AV DU PASSE TEMPS**  
**13400 AUBAGNE**

## Rapport d'essai définitif

Numéro Labo : 2021.3139-1-9

D epos e le.....: **08/04/2021 13:46**Pr elev e le.....: **08/04/2021 14:30** par LE CLIENT dépot Site Draguignan

Méthode de prélevement...: selon modalités internes du préleveur et/ou du client

Motif de prélevement.....: Autosurveillance

Type de prélevement.....: Eau douce de surface (riv ere, lac)

Type d'analyse.....: +éléments supplémentaires CHIMIE

Date début d'analyse .....: 08/04/2021

**Commune du point.....: SAINT RAPHAEL****Nom du point .....: VALLON MAL INFERNET AVAL**

Localisation du point.....:

Analyses	Résultats	Normes et méthodes
<i>Paramètres physico chimiques de base</i>		
Turbidité	0.22 NFU	NF EN ISO 7027 Néphélométrie(c)(S)
<i>Oxygène et matières organiques</i>		
Carbone organique total (COT)	1.1 mg/l C	NF EN 1484 Oxydation par voie humide et IR(c)(S)
Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)	< 0.5 mg/l O2	NF EN 1899-2 Sans dilution(c)(S)
Demande Chimique en Oxygène	< 20 mg/l O2	ISO 15705 Spectrophotométrie(c)(S)
Matières en suspension totales	< 2.0 mg/l	NF EN 872 Gravimétrie - filtre Whatman 934 AH(c)(S)
Demande Chimique en Oxygène (indice ST-DCO)	< 5 mg/l O2	ISO 15705 Spectrophotométrie(c)(S)
<i>Paramètres azot�es et phosphor�es</i>		
Nitrites	< 0.01 mg/l NO2-	NF EN ISO 13395 Flux continu (CFA)(c)(S)
Nitrites (en N) par filtration	< 0.003 mg/L	Par calcul (T)
Nitrates	< 0.1 (**) mg/l NO3-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique (S)
Nitrates (en N) par filtration	< 0.020 mg/L	Par calcul (T)
Azote Kjeldahl	< 0.5 mg/l N	NF EN 25663 Distillation(c)(S)
Azote global (en N)	< 0.5 mg/l	Par calcul (T)

(\*\*) L'absence du logo Cofrac provient d'un délai de mise en analyse par rapport au prélevement supérieur aux exigences normatives.

Comm. 2021.3139-1-9 : Les étapes d'éliminations d'interférents (peroxydes, algues...) ne sont pas réalisées par le laboratoire (option de la norme)

(c) : Essais et / ou prélevements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais r ealis es sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais r ealis es sur le site de Draguignan - (T) : Essais r ealis es sur le site de Toulon - (S) : Essais r ealis es par le laboratoire CARSO-LSEHL (portée disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la réference à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilitée. Lorsque le prélevement est r ealis e par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et reportées sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR - Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr  
 Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N o Labo :  
2021.3139-1-9

Modèle:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 1 / 2



Laboratoire agréé par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 19/04/2021

N° bon de commande.....: 2021.329

**Pierre-Olivier Ouary**  
**Responsable du Pôle Prélèvements / Gestion de**  
**la Relation Client**

(c) : Essais et / ou prélèvements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais réalisés sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais réalisés sur le site de Draguignan - (T) : Essais réalisés sur le site de Toulon - (S) : Essais réalisés par le laboratoire CARSO-LSEHL (portée disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la référence à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilitée. Lorsque le prélèvement est réalisé par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et reportées sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR – Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr  
Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N° labo :  
2021.3139-1-9

Modèle:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 2 / 2



Laboratoire agr e par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 13/04/2021

Destinataire :

**ANTEA FRANCE**  
**TRIANGLE DE NAPOLLON BT C**  
**400 AV DU PASSE TEMPS**  
**13400 AUBAGNE**

## Rapport d'essai définitif

Numéro Labo : 2021.3139-1-6

D epos e le.....: **08/04/2021 13:46**Pr elev e le.....: **08/04/2021 15:00** par LE CLIENT dépot Site Draguignan

Méthode de prélevement...: selon modalités internes du préleveur et/ou du client

Motif de prélevement.....: Autosurveillance

Type de prélevement.....: Eau douce souterraine (puits, source, forage)

Type d'analyse.....: +éléments supplémentaires CHIMIE

Date début d'analyse .....: 08/04/2021

**Commune du point.....: SAINT RAPHAEL****Nom du point .....: LAC DU GRENOUILLET**

Localisation du point.....:

Analyses	Résultats	Normes et méthodes
<i>Paramètres Terrain</i>		
pH terrain	7.47 unités pH	NF EN ISO 10523
Température de l'eau au moment du prélevement	18.1 �C	Méthode à la sonde
<i>Paramètres physico chimiques de base</i>		
Conductivité électrique brute à 25�C	103 �S/cm	NF EN 27888 Conductim�etrie(c)(S)
Chlorures	15 mg/l Cl-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
Fluorures	0.44 mg/l F-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
pH Laboratoire	7.34 -	NF EN ISO 10523 Electrochimie(c)(S)
Température de mesure du pH	19.6 �C	NF EN ISO 10523 Electrochimie (S)
Sulfates	6.1 mg/l SO4--	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
TAC (Titre alcalimétrique complet)	1.50 � f	NF EN 9963-1 Potentiométrie(c)(S)
Hydrogénocarbonates (en CO3H) calcul�es	18.300 mg/l	Par calcul (T)
Titre Hydrotimétrique	2.04 �F	Par calcul (T)
<i>Minéralisation</i>		
Calcium dissous	4.5 mg/l Ca++	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
Potassium dissous	1.5 mg/l K+	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
Magnésium dissous	2.2 mg/l Mg++	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)

(c) : Essais et / ou prélevements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais r ealis es sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais r ealis es sur le site de Draguignan - (T) : Essais r ealis es sur le site de Toulon - (S) : Essais r ealis es par le laboratoire CARSO-LSEHL (port e disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la réference à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associ e au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilit e. Lorsque le prélevement est r ealis e par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et report es sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR - Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr

Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N o Labo :  
2021.3139-1-6Mod ele:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 1 / 2



Laboratoire agréé par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 13/04/2021

Analyses	Résultats		Normes et méthodes
Sodium dissous	8.9	mg/l Na+	NF EN ISO 11885 ICP/AES après filtration(c)(S)
<i>Equilibre calco-carbonique</i>			
Anhydride carbonique agressif calculé	3.7	mg/l CO2	Méthode interne Calcul (S)
pH à l'équilibre	9.44	-	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
Equilibre calcocarbonique (5 classes)	4 agressive	-	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
CO2 libre calculé	0.17	mg/l CO2	Méthode Legrand et Poirier Calcul (S)
<i>Paramètres azotés et phosphorés</i>			
Ammonium	< 0.05	mg/l NH4+	NF T90-015-2 Spectrophotométrie au bleu indophéno(c)(S)
Azote Ammoniacal (en N) par filtration	< 0.040	mg/L	Par calcul (T)
Nitrites	< 0.01	mg/l NO2-	NF EN ISO 13395 Flux continu (CFA)(c)(S)
Nitrites (en N) par filtration	< 0.003	mg/L	Par calcul (T)
Nitrates	< 0.1	mg/l NO3-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique(c)(S)
<i>Métaux et micropolluants minéraux</i>			
Arsenic total	< 0.002	mg/l As	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Barium total	< 0.010	mg/l Ba	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Fer total	0.395	mg/l Fe	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)
Antimoine total	< 0.001	mg/l Sb	ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2 ICP/MS après acidification et décantation(c)(S)

N° bon de commande.....: 2021.329

Pierre-Olivier Ouary  
Responsable du Pôle Prélèvements / Gestion de  
la Relation Client

(c) : Essais et / ou prélèvements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais réalisés sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais réalisés sur le site de Draguignan - (T) : Essais réalisés sur le site de Toulon - (S) : Essais réalisés par le laboratoire CARSO-LSEHL (portée disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la référence à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilitée. Lorsque le prélèvement est réalisé par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et reportées sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR - Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr  
Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N° labo :  
2021.3139-1-6

Modèle:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 2 / 2



Laboratoire agr e par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 20/04/2021

Destinataire :

**ANTEA FRANCE**  
**TRIANGLE DE NAPOLLON BT C**  
**400 AV DU PASSE TEMPS**  
**13400 AUBAGNE**

## Rapport d'essai définitif

Numéro Labo : 2021.3139-1-10

D epos e le.....: **08/04/2021 13:46**Pr elev e le.....: **08/04/2021 15:00** par LE CLIENT dépot Site Draguignan

Méthode de prélevement...: selon modalités internes du préleveur et/ou du client

Motif de prélevement.....: Autosurveillance

Type de prélevement.....: Eau douce de surface (riv ere, lac)

Type d'analyse.....: +éléments supplémentaires CHIMIE

Date début d'analyse .....: 08/04/2021

**Commune du point.....: SAINT RAPHAEL****Nom du point .....: LAC DU GRENOUILLET**

Localisation du point.....:

Analyses	Résultats	Normes et méthodes
<i>Paramètres physico chimiques de base</i>		
Turbidité	2.3 NFU	NF EN ISO 7027 Néphélométrie(c)(S)
<i>Oxygène et matières organiques</i>		
Carbone organique total (COT)	2.2 mg/l C	NF EN 1484 Oxydation par voie humide et IR(c)(S)
Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)	0.6 mg/l O2	NF EN 1899-2 Sans dilution(c)(S)
Demande Chimique en Oxygène	< 20 mg/l O2	ISO 15705 Spectrophotométrie(c)(S)
Matières en suspension totales	13 mg/l	NF EN 872 Gravimétrie - filtre Whatman 934 AH(c)(S)
Demande Chimique en Oxygène (indice ST-DCO)	6.2 mg/l O2	ISO 15705 Spectrophotométrie(c)(S)
<i>Paramètres azot�es et phosphor�es</i>		
Nitrites	< 0.01 mg/l NO2-	NF EN ISO 13395 Flux continu (CFA)(c)(S)
Nitrites (en N) par filtration	< 0.003 mg/L	Par calcul (T)
Nitrates	< 0.1 (**) mg/l NO3-	NF EN ISO 10304-1 Chromatographie ionique (S)
Nitrates (en N) par filtration	< 0.020 mg/L	Par calcul (T)
Azote Kjeldahl	< 0.5 mg/l N	NF EN 25663 Distillation(c)(S)
Azote global (en N)	< 0.5 mg/l	Par calcul (T)

(\*\*) L'absence du logo Cofrac provient d'un délai de mise en analyse par rapport au prélevement supérieur aux exigences normatives.

Comm. 2021.3139-1-10 : Les étapes d'eliminations d'interférents (peroxydes, algues...) ne sont pas réalisées par le laboratoire (option de la norme)

(c) : Essais et / ou prélevements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais r ealis es sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais r ealis es sur le site de Draguignan - (T) : Essais r ealis es sur le site de Toulon - (S) : Essais r ealis es par le laboratoire CARSO-LSEHL (portée disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la réference à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilitée. Lorsque le prélevement est r ealis e par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et reportées sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR - Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr  
 Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N o Labo :  
2021.3139-1-10Mod ele:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 1 / 2



Laboratoire agréé par :

- le Ministère de la Santé

- le Ministère en charge de l'Environnement

Draguignan, le 20/04/2021

N° bon de commande.....: 2021.329

**Pierre-Olivier Ouary**  
**Responsable du Pôle Prélèvements / Gestion de**  
**la Relation Client**

(c) : Essais et / ou prélèvements couverts par l'accréditation COFRAC. L'accréditation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

(e) : Essais réalisés sous couvert de l'agrément du Ministère en charge de l'Environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 Octobre 2011.

(D) : Essais réalisés sur le site de Draguignan - (T) : Essais réalisés sur le site de Toulon - (S) : Essais réalisés par le laboratoire CARSO-LSEHL (portée disponible sur demande auprès du laboratoire CARSO)

Le rapport ne concerne que les échantillons soumis à analyse. Il contient 2 page(s). La reproduction partielle de ce rapport et la référence à l'accréditation du laboratoire sont strictement interdits. Pour déclarer ou non la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat. Les conclusions réglementaires sont couvertes par l'accréditation si l'ensemble des résultats pris en considération pour conclure sont couverts par l'accréditation. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement pré-analytique, le traitement analytique et les incertitudes sont transmises sur demande. Ce rapport n'est valable que signé par une personne habilitée. Lorsque le prélèvement est réalisé par le client ou son mandataire, le LDAI83 ne peut être tenu pour responsable de l'exactitude des données fournies par le client et reportées sur le rapport d'essais.

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES ET D'INGENIERIE DU VAR – Tel: 04.83.95.32.30 - Ldai83@var.fr

Site de Draguignan: 375, rue Jean Aicard - 83300 DRAGUIGNAN - Site de Toulon: 6, Avenue François Cuzin - 83000 TOULON

N° labo :  
2021.3139-1-10

Modèle:  
B.HY\_01  
Version :  
07

Page 2 / 2

## Annexe II : Réalisation d'indices biologiques sur le cours d'eau (IBG et IBD), MRE, Juin 2021

**S.I.P.M.E.**

Syndicat Intercommunal  
pour la Protection du Massif de l'Estérel



# **Etude préalable à la réhabilitation écologique et paysagère du site de l'ancien lac de l'Ecureuil**

**Commune de SAINT-RAPHAEL (83700)**

**Réalisation d'indices biologiques sur le cours d'eau (Indice  
Biologique Global et Indice Biologique Diatomique)**



**Juin 2021**

**VF**



## Fiche Qualité du document

Libellé de la mission : Etude préalable à la réhabilitation écologique et paysagère du site de l'ancien lac de l'Ecureuil - Commune de SAINT-RAPHAEL (83700)

Réalisation d'indices biologiques sur le cours d'eau (Indice Biologique Global et Indice Biologique Diatomique)

Maître d'ouvrage : Syndicat Intercommunal pour la Protection du Massif de l'Esterel

Référence du document : Ecureuil\_05\_21

Rédacteur(s) : Christophe GARRONE  
Bérengère LASLANDES

Vérificateur : Gwenole LEGUELLEC  
Lenaïg KERMARREC

Crédit photo : MRE

Date : Juin 2021

### Contrôle qualité

Version	Rédigé par	Date	Visé par	le
0	C. GARRONE	31/05/21	G. LEGUELLEC	31/05/21
1	C. GARRONE	08/06/21	C. GARRONE	08/06/21
F	C. GARRONE	29/06/21	C. GARRONE	29/06/21

### Thématique

Localisation : Massif de l'Esterel – commune de Saint Raphaël

Mots-clés : Indice – qualité – invertébrés – diatomée - restauration

### Diffusion

Nom	Organisme	Date	Format	Nb exemplaire(s)
Claire ARRIGHI	ANTEA Group	31/05/21	word	1
Claire ARRIGHI	ANTEA Group	08/06/21	word	1
Claire ARRIGHI	ANTEA Group	29/06/21	word	1

1. Introduction .....	5
2. Méthodes utilisées.....	6
2.1. Macro invertébrés benthiques .....	6
2.1.1. Prélèvements sur le terrain.....	7
2.1.2. Tris, dénombrements et déterminations taxonomiques .....	7
2.1.1. Interprétations des résultats .....	8
2.1.1.1. Indices .....	8
2.1.1.2. Interprétations .....	8
2.2. Diatomées.....	9
2.2.1. Traitement des diatomées et préparation des lames .....	9
2.2.2. Analyse des diatomées .....	10
2.2.3. Interprétation des résultats.....	10
2.2.3.1. Indices .....	10
2.2.3.2. Interprétations .....	13
2.3. Campagne et stations de prélèvement .....	13
3. Résultats .....	16
3.1. Macro invertébrés .....	16
3.1.1. Résultats de l'IBG DCE .....	16
3.1.2. Résultats de l'I2M2.....	17
3.2. Diatomées.....	19
3.2.1. Préalable.....	19
3.2.2. Résultats par stations.....	19
4. Conclusions.....	22
ANNEXE 1 : Listes faunistiques invertébrés .....	23
ANNEXE 2 : Habitats prélevés .....	24
ANNEXE 3 : Rapports d'essai Diatomées .....	25

**TABLE DES ILLUSTRATIONS**

Figure 1 : Taux de saprobie.....	17
Figure 2 : Probabilités d'altération chimique .....	18
Figure 3 : Probabilités d'altération physique .....	18
Tableau 1 : Extrait du tableau 24 de l'Annexe 1 de l'Arrêté du 27/07/18 : Valeurs inférieures des classes d'état, exprimées en EQR, par type de cours d'eau pour l'IBD2007 .....	12
Tableau 2 : Informations échantillons .....	19
Photo 1 : Algues vertes filamenteuses.....	17
Carte 1 : Localisation des stations de prélèvements.....	15

## 1. INTRODUCTION

---

Le lac de l'Ecureuil constituait une retenue d'eau artificielle implantée au cœur de la forêt domaniale du massif de l'Estérel. Le barrage a dû être ouvert en 2009 pour des raisons de sécurité car la digue présentait des signes de faiblesse. La vidange brutale du lac a eu un fort impact sur le vallon du Mal Infernet situé en aval.

Le Syndicat Intercommunal pour la Protection du Massif de l'Estérel (S.I.P.M.E.) souhaite aujourd'hui porter une réflexion sur la réhabilitation de ce site et doit répondre à des enjeux de biodiversité mais aussi paysager et d'accueil du public. C'est dans le cadre des études préalables à cette réhabilitation écologique et paysagère que le bureau d'études ANTEA Group a demandé à la Maison Régionale de l'Eau (MRE) de réaliser des indices biologiques (invertébrés et diatomées) sur le vallon de Mal Infernet en aval de l'ancien barrage.

L'utilisation d'organismes vivants dans les eaux comme bioindicateurs (invertébrés et diatomées) repose sur le principe que la structure des communautés reflète l'état de leur écosystème et que toute altération du milieu provoque un changement de cette structure. Les bioindicateurs ont l'avantage d'intégrer les variations du milieu sur une période plus longue que les analyses chimiques et sont donc particulièrement appropriés aux rivières, où les conditions environnementales peuvent fortement varier spatialement et temporellement. De plus, ils permettent d'évaluer les effets de la perturbation qui peuvent ne pas être corrélés simplement aux concentrations (effets synergistes ou antagonistes).

Deux indices biologiques couramment utilisés dans les évaluations de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau, ont été mis en application :

- L'Indice Biologique Global (IBG) est basé sur les invertébrés benthiques vivant dans le cours d'eau. Ce compartiment très dense et à la base de nombreux processus rassemble de nombreux groupes, des vers aux insectes en passant par les crustacés d'eau douce. La variété des traits écologiques rencontrés permet de mieux comprendre les dynamiques passées. La connaissance de la polluo-sensibilité de chaque famille et la biodiversité rencontrée donnent des indications précieuses sur la qualité de l'eau et de l'habitat.
- L'Indice Biologique Diatomique (IDB) est basé sur le groupes des diatomées ou Bacillariophyta qui sont des microorganismes eucaryotes unicellulaires. Les diatomées ont prouvé leurs capacités bioindicatrices dans les études de pollution. Les diatomées sont retrouvées dans une large gamme d'environnement puisqu'en eau douce, elles sont présentes dans toutes les gammes de qualité d'eau, allant des sources non polluées jusqu'aux eaux les plus dégradées. Par ailleurs, les caractéristiques physico-chimiques des écosystèmes aquatiques ont un impact majeur sur la composition des communautés de diatomées ainsi que sur leur abondance totale ou relative. C'est pourquoi la composition et l'abondance des différentes espèces sont des indicateurs de l'état de l'écosystème dans lequel elles se développent. Ainsi, des modifications au sein de ces communautés peuvent traduire des changements dans leur environnement. Les diatomées colonisent, en outre, différents substrats et peuvent donc être échantillonnées sans difficulté dans différents types de rivières.

---

## 2. METHODES UTILISEES

---

### 2.1. Macro invertébrés benthiques

Les prélèvements, les dénombrements et les déterminations taxonomiques des invertébrés seront réalisés en suivant le protocole défini par les normes en vigueur :

- **Norme française NF T 90-333, septembre 2016** : Prélèvements des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes et le guide d'application de la norme FD T90-733 août 2017
- **Norme française XP T90-388, juin 2010** : Qualité de l'eau – traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau et son guide d'application GA T90-788, mars 2015.

Ce protocole consiste :

- à effectuer un relevé de la **mosaïque des habitats dominants et marginaux** de la station et de les identifier ;
- à réaliser **12 prélèvements au filet Surber** de faune des invertébrés dans chacun de ces habitats ;
- à regrouper ces prélèvements dans **trois bocaux**
- à établir **trois listes faunistiques** des taxons des invertébrés présents en fonction des habitats identifiés et regroupés par bocaux.

Avant de réaliser les prélèvements, il est nécessaire d'estimer la surface de recouvrement relative des différents supports minéraux et organiques (liste définie selon la norme IBGN, AFNOR, 2004) sur l'ensemble de la station. Il est défini dans la circulaire DCE (Directive Cadre Européenne) 2007/22 du 11 avril 2007 :

- les supports « dominants », dont la superficie représente plus de 5% de la surface mouillée de la station ;
- les supports « marginaux » représentatifs, dont la superficie représente au maximum 5% de la surface mouillée de la station, mais dont la présence n'est ni exceptionnelle, ni liée à des structures artificielles (ponts, enrochement...).

Rappelons que l' « habitat » est la combinaison d'un substrat et d'une classe de vitesse.

### 2.1.1. Prélèvements sur le terrain

Après avoir estimé la superficie mouillée et repéré les habitats marginaux et dominants et les avoir indiqués sur la fiche terrain, les prélèvements peuvent être réalisés en respectant strictement le protocole de prélèvement de la note méthodologique Usseglio-Wasson.

A savoir :

- **Phase A** : échantillonnage des quatre habitats marginaux représentatifs. Ils représentent moins de 5% de la superficie de la station mais sont régulièrement rencontrés le long de la station. Ils sont choisis en fonction de leur capacité d'accueil de la faune benthique, du plus biogène au moins biogène.
- **Phase B** : échantillonnage des quatre habitats dominants, avec priorité au substrat. Ils sont choisis du plus biogène au moins biogène.
- **Phase C** : échantillonnage des quatre habitats de manière à compléter l'échantillonnage des habitats dominants au *pro rata* de leur superficie.

(A : habitats marginaux par ordre d'habitabilité ; B : habitats dominants par ordre d'habitabilité ; C : habitats dominants au *pro rata* de leur superficie) ;

La définition précise des différents types d'habitats prélevés est mentionnée dans la note méthodologique Usseglio-Wasson. Rappelons que ce document sert de référence à la mise en place du protocole de prélèvements.

Les prélèvements sont fixés à l'alcool à 80%.

### 2.1.2. Tris, dénombrements et déterminations taxonomiques

Les prélèvements sont triés au laboratoire, sous la loupe binoculaire.

Les protocoles de tris et dénombrements respecteront la note méthodologique Usseglio-Wasson. Chaque prélèvement sera trié, déterminé et dénombré de manière exhaustive, à l'exception des taxons pour lesquels une indication de « présence » est uniquement demandée.

La liste faunistique avec dénombrement sera établie pour chacun des trois bocaliers selon le format SANDRE avec identification du personnel ayant réalisé les opérations de tri et de détermination.

**Le niveau de détermination taxonomique est celui de la note méthodologique. Il peut être la classe, la famille ou le genre selon les groupes considérés.**

### 2.1.3. Interprétations des résultats

#### 2.1.3.1. Indices

Les indices seront calculés à partir des prélèvements de la phase A et B. Les résultats sont présentés conformément à l'**arrêté du 27 juillet 2015** modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface. Dans l'analyse, les limites de classes prises en compte sont celles mentionnées dans l'annexe 1 du **Guide technique Relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau)** du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie : « **annexe 1** : Etat écologique des cours d'eau – Indices biologiques pour la métropole » de **Janvier 2019**.

Le calcul de l'I2M2 (Indice Multimétrique) et l'IBG a été réalisé via l'Interface Commune d'Accès aux Algorithmes (Ic2A) : <http://see.eaufrance.fr/>

Une attention particulière a été portée, lors de l'interprétation des résultats, à l'écologie des invertébrés et à leur comportement face aux perturbations du milieu.

Dans le **cadre de l'I2M2**, certaines métriques ont été calculées : l'indice de diversité de Shannon Weaver (qui informe sur le niveau d'hétérogénéité et la stabilité de l'habitat), l'indice ASPT (qui informe sur le niveau de polluo-sensibilité moyenne de l'assemblage des macro-invertébrés), la fréquence des organismes polyvoltins (qui est indicateur de l'instabilité de l'habitat), la fréquence des organismes ovovivipares (qui informe principalement sur la dégradation de la qualité physico-chimique de l'habitat) et enfin la richesse taxonomique (qui est un descripteur de la complexité de l'habitat).

#### 2.1.3.2. Interprétations

Les communautés aquatiques présentant naturellement des différences en fonction des caractéristiques du milieu dans lesquelles elles vivent, des stations de référence ont été définies pour chaque masse d'eau et chaque zone géographique. Ainsi, en France métropolitaine, différentes HER (HydroEcoRégions) ont été définies comme des zones géographiques présentant des caractéristiques communes, en termes de fonctionnement écologique et donc de communautés aquatiques. Ces HER constituent un cadre pour décrire les conditions abiotiques de différents types de cours d'eau et les communautés de référence associées.

Une couleur est attribuée à chaque classe d'état selon le calcul de la note EQR (Ecological Quality Ratio ou écart à la référence), qui est le rapport entre un état observé et l'état que « devrait » avoir le milieu en l'absence de perturbation anthropique. Cette note est calculée sur la base d'indices, son résultat est un ratio sur une échelle de 0 à 1.

$$\text{Note EQR} = (\text{note observée} - \text{note minimale du type}) / (\text{note de référence du type} - \text{note minimale du type})$$

L'expression de l'état en EQR est une exigence de compatibilité DCE (Directive Cadre Européenne sur l'eau) des méthodes d'évaluation. Les bornes des classes d'état sont définies sur cette échelle en EQR selon le tableau ci-dessous (HER6).

Éléments de qualité	HER	Limites des Classes d'État I2M2 en EQR				
		Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Faune benthique	6	0,676	0,464	0,31	0,155	

Les valeurs de l'IBGN en EQR figurant dans ce tableau ont pris en compte la décision de la commission du 20 septembre 2013 relative à l'inter-étalonnage.

**Extrait du tableau 23 de l'Annexe 1 de l'Arrêté du 27/07/15 : Valeurs inférieures des classes d'état, exprimées en EQR, par type de cours d'eau pour l'IBG DCE**

L'indice **I2M2** a été confirmé comme outil de diagnostic de l'état des cours d'eau et a été intégré dans l'évaluation de l'état au titre de la DCE. Il répond en effet à un plus grand nombre de pressions (physico-chimiques ou hydromorphologiques) que l'IBG.

Contrairement à ce dernier, ce nouvel indice exploite ainsi intégralement les données acquises selon la norme XP T90-333 de prélèvement des invertébrés (12 prélèvements, 3 phases, détermination au genre) préconisée depuis plusieurs années. Il fournit ainsi une évaluation de l'état bien plus pertinente.

## 2.2. Diatomées

### 2.2.1. Traitement des diatomées et préparation des lames

Les prélèvements ont été réalisés par la MRE puis les échantillons ont été envoyés, par colis postal, au laboratoire ECOMA. Dès réception des échantillons, l'intégrité des prélèvements a été vérifiée et les données correspondantes ont été enregistrées.

Le traitement des diatomées benthiques a été réalisé selon la Norme française NF T 90-354 d'avril 2016 et la Norme européenne NF EN 14407 d'avril 2014.

La matière organique et les carbonates ont été détruits respectivement par traitement au peroxyde d'hydrogène 30 % et à l'acide chlorhydrique 30 %. A l'issue des différentes réactions, les échantillons ont été rincés par ajout d'eau déminéralisée en alternant phases de décantation et de dilution. Pour observer les frustules<sup>1</sup>, ceux-ci doivent être montés dans une résine de montage à indice de réfraction élevé. Pour cela, quelques gouttes de matériel nettoyé ont été placées sur des lamelles.

Après évaporation du liquide, ces lamelles ont été retournées sur une goutte de mélange Naphrax®/Toluène déposé sur une lame, sur une plaque chauffante. Le toluène a été évaporé. Les lamelles ont ensuite été ajustées pour éliminer l'excès d'air et de résine, et pour obtenir la répartition des diatomées dans un plan horizontal.

<sup>1</sup> Coque entourant certaines diatomées

Ce montage permet une conservation pérenne des préparations qui ont été étiquetées avec les informations suivantes : numéro d'échantillon ; numéro de projet ; nom de station ; analyste ; date de prélèvement.

### 2.2.2. Analyse des diatomées

Les diatomées sont identifiées au microscope optique équipé du contraste de phase au grossissement x1000 à immersion. Entre 400 et 420 valves sont comptées afin de calculer les indices (Indice Biologique Diatomées IBD, Indice de Polluosensibilité Spécifique IPS, et indices de diversité). Si les 400 unités ne sont pas atteintes à l'issue de la première lame, une seconde peut être analysée.

L'identification a été réalisée en suivant des transects, en débutant par un diamètre de la lamelle. Certaines précautions sont prises pour harmoniser nos pratiques et identifications :

- les diatomées cassées ne sont prises en compte que si au moins les  $\frac{3}{4}$  sont visibles et identifiables,
- si une unité diatomique ne peut être identifiée, des photographies et des mesures sont prises et l'avis d'un autre diatomiste (interne ou externe) est sollicité.

Les déterminations sont réalisées en se basant sur les ouvrages bibliographiques comme la Süßwasserflora (Krammer & Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991b...), le Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe (Cantonati *et al.* 2017), les volumes de la collection Diatoms of Europe, les nombreux volumes d'Iconographia Diatomologica édités par Horst Lange-Bertalot ainsi que sur d'autres ouvrages tels que les atlas des régions de France métropolitaine.

### 2.2.3. Interprétation des résultats

#### 2.2.3.1. Indices

La saisie des listes floristiques a été réalisée, sous forme de code à 4 lettres, à l'aide d'OMNIDIA 6.0 (Lecointe & al., 1993)<sup>2</sup> avec la base du 24/02/2020. Les deux principaux indices utilisés en France ont été développés par le Cemagref : l'Indice de Polluosensibilité Spécifique, l'IPS (Cemagref, 1982) et l'Indice Biologique Diatomées, l'IBD (Lenoir & Coste, 1996). Contrairement à d'autres indices plus spécifiques comme le Trophic Diatom Index (Kelly & Whitton, 1995) qui estime l'eutrophisation du milieu, l'IPS et l'IBD informent sur la qualité globale des eaux.

---

<sup>2</sup> Lecointe et al. (1993) – « OMNIDIA » software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. Hydrobiologia 269/270 : 509-513.

- **L'Indice de Polluosensibilité (IPS)**

L'IPS est basé sur 3143 taxa de diatomées pour lesquels des valeurs de sensibilité et des valeurs indicatrices ont été définies par l'IRSTEA. La valeur de sensibilité de l'espèce, notée sur cinq, correspond à l'affinité de l'espèce pour une catégorie de qualité d'eau (mauvaise à bonne), tandis que la valeur indicatrice, notée sur trois correspond à l'amplitude écologique d'une espèce. Il permet de donner une note à la qualité de l'eau variant de 1 (eaux très polluées) à 20 (eaux pures). Cet indice est régulièrement mis à jour par l'IRSTEA.

- **L'Indice Biologique Diatomées (IBD)**

L'IBD utilise un nombre de taxa plus réduit (2 009), excluant les taxa considérés comme rares et regroupant les taxa difficiles à différencier en taxa appariés (Prygiel & Coste, 2000). L'IBD est l'indice requis par la DCE et est utilisé en routine pour le suivi de la qualité de l'eau. De mise en œuvre simple, il a été normalisé en 2000 (AFNOR NF T 90-354), puis révisé en 2007 et 2016.

Pour le calcul de l'IBD (utilisant la table de transcodage de l'outil d'évaluation du SEEE), 2009 taxa, incluant les synonymes, taxons appariés et formes anormales (dites tératogènes, et mises en relation avec la présence de pollutions toxiques) sont pris en compte et sept classes de qualité sont définies. Le calcul de l'indice repose sur l'abondance des différentes espèces de l'échantillon (en ‰), sur leur valeur écologique et sur leur probabilité de présence dans chacune des sept classes de qualité.

L'outil d'évaluation du SEEE (Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux), référence unique pour le calcul des indices dans le cadre d'une évaluation de l'état au titre de la DCE (Courrier du Directeur de l'eau et de la Biodiversité en date du 05 mai 2017) permet de calculer l'IBD automatiquement en mettant en relation l'inventaire établi par microscopie avec la valeur écologique de chaque taxon et sa probabilité de présence dans les classes de qualité. La valeur de l'indice correspond à une note allant de 1 (eaux très polluées) à 20 (eaux de très bonne qualité) à laquelle est associée une qualité d'eau.

L'IBD reste un indice de qualité générale de l'eau, basé en particulier sur les matières oxydables et la salinité.

La norme NF T 90-354 d'avril 2016 indique que le calcul de l'IBD peut être réalisé si au moins 400 unités diatomiques sont comptées sur un total de deux lames. Dans le cas où l'abondance totale reste inférieure à 400 après réalisation de deux lames, aucune note ne peut être attribuée et l'IBD est alors qualifié de « non calculable ».

Dans le cas où le pourcentage des unités diatomiques prises en compte pour le calcul de l'IBD est inférieur ou égal à 25 %, aucune note ne peut être attribuée et l'IBD est alors qualifié de « non calculable ». La note IBD pourra être fournie pour des pourcentages compris entre 25 % et 50 % avec des réserves sur la valeur obtenue.

Selon l'Arrêté du 27 juillet 2018 rectifié le 08/06/2019 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement, l'interprétation des valeurs de l'indice IBD (Annexe A.2 de la norme d'avril 2016) fait référence aux hydro-écorégions (HER) définies sur le territoire de France métropolitaine.

Les communautés aquatiques présentant naturellement des différences en fonction des caractéristiques du milieu dans lequel elles vivent, des stations de référence ont été définies pour chaque masse d'eau et chaque zone géographique. Ainsi, en France métropolitaine, différentes HER ont été définies comme des zones géographiques présentant des caractéristiques communes, en termes de fonctionnement écologique et donc de communautés aquatiques. Ces HER constituent un cadre pour décrire les conditions abiotiques de différents types de cours d'eau et les communautés de référence associées.

L'IBD est calculé et comparé aux valeurs d'indices attendues en conditions naturelles, en référence à des états non perturbés ou faiblement impactés par les activités humaines, par le calcul de la note EQR (Ecological Quality Ratio) :

$$\text{Note EQR} = \frac{\text{note observée} - \text{note minimale du type}}{\text{note de référence du type} - \text{note minimale du type}}$$

L'interprétation de l'IBD en termes de classe de qualité est réalisée selon les bornes de classes d'état exprimées en EQR (Tableau 1). Une couleur est associée à chaque classe de qualité définie pour une HER donnée.

Élément de qualité	Indice IBD	Limites des Classes d'Etat IBD en EQR			
		Très bon / Bon	Bon / Moyen	Moyen / Médiocre	Médiocre / Mauvais
Phytobenthos	Tous les types de cours d'eau sauf TGCE > 10 000 km <sup>2</sup> de bassin versant	0,94	0,78	0,55	0,30
	TGCE, ≥ 10 000 km <sup>2</sup> de bassin versant	0,92	0,76	0,52	0,26

Les valeurs d'EQR de l'IBD figurant dans ce tableau ont pris en compte de la décision de la commission du 12 février 2018 relative à l'inter-étalonnage.

**Tableau 1 : Extrait du tableau 24 de l'Annexe 1 de l'Arrêté du 27/07/18 : Valeurs inférieures des classes d'état, exprimées en EQR, par type de cours d'eau pour l'IBD2007**

**N.B. :** TGCE = Très Grands Cours d'Eau

Les stations de cette étude font partie des hydro-écorégions 6 (Méditerranée).

### 2.2.3.2. Interprétations

L'interprétation porte d'une part sur les notes d'indices diatomiques (IBD et IPS), sur la richesse spécifique, la diversité et l'équitabilité des peuplements rencontrés.

Les classifications de Van Dam *et al.* (1994)<sup>3</sup> ainsi que les données bibliographiques comme les récentes données autoécologiques de Carayon *et al.* 2019<sup>4</sup> sont utilisées afin de définir les caractéristiques écologiques des communautés de diatomées, notamment l'affinité vis-à-vis de la matière organique (saprobie) et le degré de trophie. Des commentaires sur les affinités écologiques des taxons dominants sont réalisés et permettent d'appréhender les éventuelles pollutions présentes ou dégradations constatées.

Le cas échéant, la présence et le développement d'espèces exotiques ou envahissantes sont mentionnés.

## 2.3. Campagne et stations de prélèvement

Le secteur d'étude est situé entièrement dans l'HER Méditerranée (HER6), dans le massif de l'Estérel. La caractérisation porte sur deux stations :

- 1 km environ en aval de l'ancien barrage : diatomées uniquement (amont) ;
- 2 km environ en aval de l'ancien barrage : diatomées et invertébrés (aval).

Les prélèvements sont réalisés en eau courante sur le Ravin de Mal Infernet. Ce dernier rejoint ensuite le ravin des lentisques pour former le ravin du Grenouillet.

Les ravins de Mal Infernet et du Grenouillet appartiennent à la masse d'eau naturelle « rivière l'Agay » portant le code FRDR11734 (très petit cours d'eau). Cette masse d'eau incluse au sous bassin « Littoral de Fréjus » (LP 15-08) est considérée en bon état écologique et chimique.

Une seule campagne d'analyse a été réalisée le **13 avril 2021** dans de très bonnes conditions hydrologiques et météorologiques.

La période d'échantillonnage a été déterminée par le régime hydraulique des milieux étudiés qui est très probablement intermittent. L'intervention a donc eu lieu avant l'arrêt de l'écoulement et en période de basses eaux.

Il convient toutefois de noter que l'hiver 2021 et le début du printemps ont été particulièrement secs, amenant à de très faibles écoulements. La fin de l'année 2020 et le début 2021 ont été marqués par plusieurs épisodes de crue suite à une remise en eau qui débute au mois d'octobre 2020.

---

<sup>3</sup> Van Dam H., A. Mertens & J. Sinkelda (1994) - A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28: 117-133.

<sup>4</sup> Carayon D., Tison-Rosebury J., Delmas F. (2019). Defining a new autoecological trait matrix for French stream benthic diatoms. *Ecological Indicators* 103:650-658.

La crue du 20 décembre 2020 atteint  $6,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  sur la station hydrométrique Y5505410 « Le Grenouiller à Saint-Raphaël [Agay] ». Signalons toutefois que cette station draine un bassin versant de  $48 \text{ km}^2$  et se situe dans la partie aval de la masse d'eau ( $1,7 \text{ km}$  en amont de la confluence dans la mer et  $420 \text{ m}$  en aval de celle avec le ravin du Grenouillet). C'est une crue de très faible intensité puisque la biennale est estimée à  $21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Le cours d'eau a ensuite subi quelques coups d'eau entre le 1<sup>er</sup> et le 4 janvier 2021 générant un débit maximum de  $13,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Ce débit de crue peut être considéré là aussi comme très faible au regard des crues enregistrées sur la même station et sur plus de 50 ans de mesure.

Suite à cet épisode, les débits chutent de manière assez exceptionnelle pour la saison. Les enregistrements montrent des débits proches de zéro à partir 13 janvier (données toutefois provisoires). Quelques petits coups d'eau de faible intensité surviennent de manière temporaire, probablement à l'occasion de pluies de faible intensité :

- 23/01/21 =  $1,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 10/02/21 =  $0,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 21/04/21 =  $1,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 29, 30/04 et 1/05 =  $1,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



Carte 1 : Localisation des stations de prélèvements

### 3. RESULTATS

#### 3.1. Macro invertébrés

Rappelons que, sur les deux stations suivies, une seule a fait l'objet d'un indice macro invertébrés. Il s'agit de la station aval.

La liste faunistique est fournie en **annexe 1**.

Les habitats prélevés sont décrits dans l'**annexe 2**.

##### 3.1.1. Résultats de l'IBG DCE

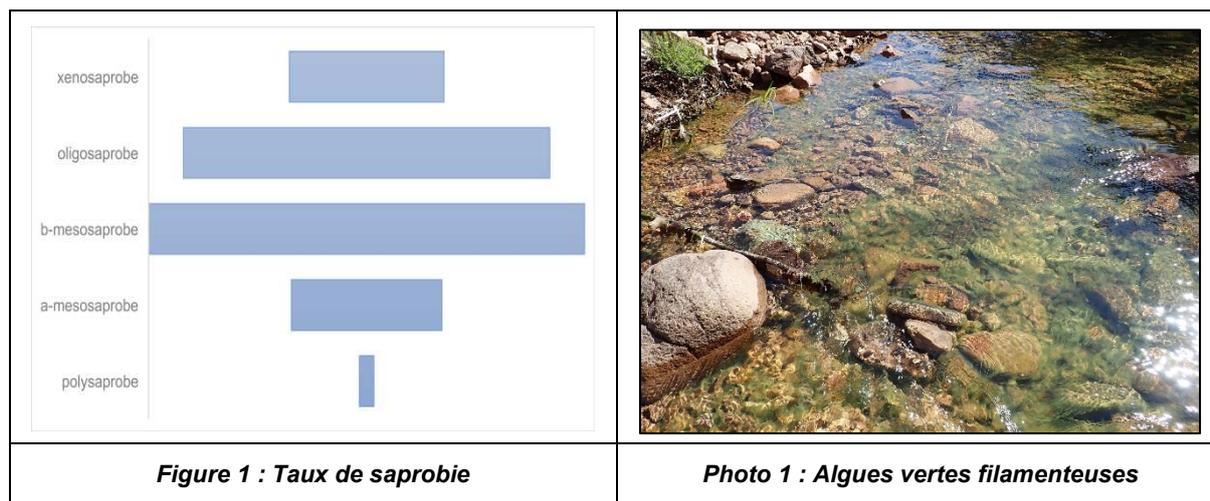
Les résultats de l'IBG sont les suivants :

	Aval	
Richesse taxonomique	21	
<b>Classe de variété</b>	<b>7</b>	
Total invertébrés	251	
Densité (nb ind/m <sup>2</sup> )	627,5	
Taxon Indicateur	Hydroptilidae	
<b>Groupe Faunistique Indicateur (G.F.I)</b>	<b>5</b>	
<b>Note IBG (/20)</b>	<b>11</b>	
<b>Note de référence (/20)</b>	<b>17</b>	
note EQR	<b>0,63</b>	
Dominants 1	Tipulidae	24,6%
Dominants 2	Elmidae	22,3%
Dominants 3	Chironomidae	16,9%

Le référentiel utilisé est celui des très petits cours d'eau de la zone méditerranée. La classe de qualité est moyenne.

Les métriques montrent une richesse faunistique et des densités qui sont très faibles. Les taxons ubiquistes à cycle très court dominent fortement le peuplement (à près d'un tiers chacun, notamment Tipulidae et Chironomidae).

Il faut toutefois prendre en compte le caractère intermittent des écoulements dans les interprétations de l'indice. Les assèchements fréquents pourraient avoir une incidence directe sur les individus à cycle long et à plusieurs périodes de vol. Le cours d'eau offre aussi un habitat très minéral malgré quelques algues vertes filamenteuses faiblement recouvrantes.



Les taux de saprobie issus des taxons dominant le peuplement montrent que le cours d'eau est peu ou faiblement nourri. Le peuplement est aussi dominé par des taxons broyeur et brouteurs - racleurs qui exploitent les microalgues de la surface des cailloux.

La dominance des mangeurs de débris végétaux et ligneux marque la forte présence de la forêt aux abords du cours d'eau ou sur le bassin versant.

La métrique qui semble la plus dégradée est le groupe faunistique indicateur qui, même sur les régimes intermittents, devrait être plus élevé. Néanmoins, les très faibles débits de l'hiver et du printemps ont peut-être eu un impact sur les taxons à cycle long et qui assurent leur croissance pendant cette période. Ce faible groupe indicateur peut aussi être la conséquence d'une altération de la qualité de l'eau dont l'origine est difficile à déterminer (réchauffement des eaux, assainissement non collectif). Les *Hydroptilidae* sont, par ailleurs, favorisés par la présence des algues filamenteuses.

### 3.1.2. Résultats de l'I2M2

Indice de Shannon	0,62
Average Score Per Taxon	0,72
Polyvoltinisme	0,68
Ovoviviparité	1,00
Richesse	0,26
Ind Invert Multimétrique	0,69
Nb Taxons Contributifs	34,00

Le guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) de janvier 2019 fournit un référentiel pour les très petits cours d'eau de la zone méditerranéenne. L'indice multimétrique (I2M2) est classé très bon. On note donc assez peu d'écart avec la référence admise.

Les différentes métriques associées sont aussi assez élevées sauf la richesse taxonomique qui est probablement impactée par l'intermittence des écoulements et un habitat assez homogène principalement composé de pierres et cailloux.

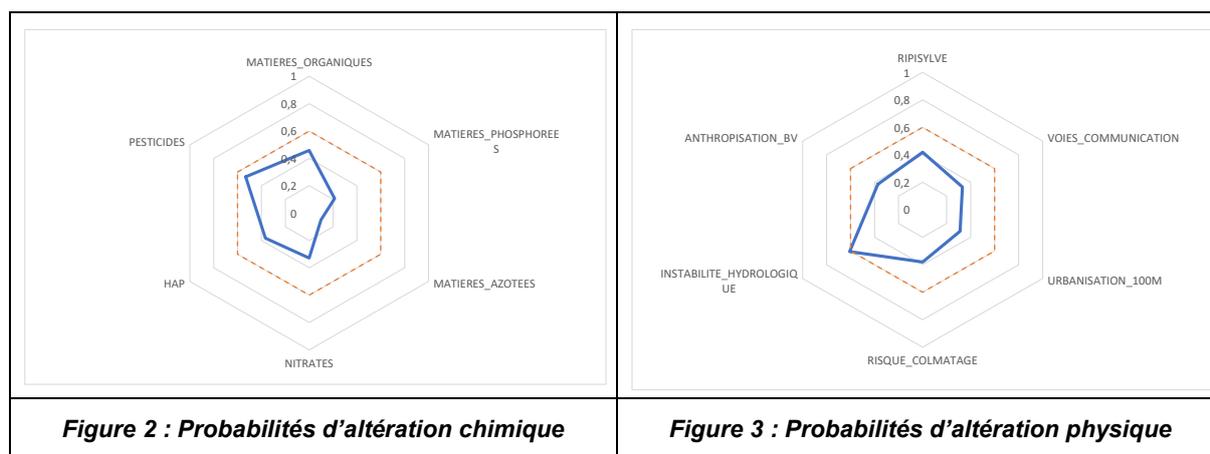
L'indice de diversité de **Shannon Weaver** (qui informe sur le niveau d'hétérogénéité et la stabilité de l'habitat), montre que le peuplement est bien équilibré et qu'aucun taxon ne prolifère au détriment d'un autre.

L'indice **ASPT** qui informe sur le niveau de polluo-sensibilité moyenne de l'assemblage des macro-invertébrés est lui aussi plutôt proche de la référence. Il pourrait donc montrer que la faible valeur du groupe indicateur maximal obtenu dans le calcul de l'IBG serait plutôt due à l'intermittence plutôt qu'à une altération de la qualité de l'eau.

La fréquence des **organismes polyvoltins**, qui est indicateur de l'instabilité de l'habitat, est elle-aussi élevée. Elle est directement à mettre en relation avec les faibles écoulements, les crues soudaines et très ponctuelles et bien sûr l'intermittence des écoulements.

La fréquence des **organismes ovovivipares** informe principalement sur la dégradation de la qualité physico-chimique de l'habitat. La métrique devrait être moins élevée et peut aussi être le signe d'une altération de la qualité.

L'outil diagnostic propose, pour l'interprétation de l'I2M2, d'apporter des informations complémentaires prédictives :



Les probabilités ne sont considérées comme significatives qu'au-delà de 0,5 – 0,6 (trait pointillé orange). Les graphiques montrent que le peuplement est surtout influencé par l'instabilité des écoulements.

A moindre mesure, les probabilités d'altération chimique montrent aussi que le peuplement pourrait être impacté par les pesticides. Ces altérations pourraient influencer les taxons de haut groupe indicateur (sup. à 5) et favoriser les organismes ovovivipares c'est-à-dire les pontes protégées des altérations de la qualité de l'eau. Il est toutefois difficile de trouver l'origine de cette altération, peut-être par le relargage temporaire de boues issues de l'ancienne retenue.

La qualité biologique reste toutefois très bonne.

## 3.2. Diatomées

### 3.2.1. Préalable

Deux échantillons ont été prélevés le 13 avril 2021 par la Maison Régionale de l'Eau.

N° échantillon	Code Station	Cours d'eau	Commune	Code client	HER	Préleveur	Date de prélèvement	Préparateur	Analyste
DIA21-0207	Sf1	Ravin du Grenouillet	Amont	Sf1	TP6	MRE PACA	13/04/2021	L. KERMARREC	B. LASLANDES
DIA21-0208	Sf2	Ravin du Grenouillet	Aval	Sf2	TP6	MRE PACA	13/04/2021	L. KERMARREC	B. LASLANDES

BL : Bérengère Laslandes ; LK : Lenaïg Kermarrec

**Tableau 2 : Informations échantillons**

Les résultats sont présentés sous la forme de fiches récapitulatives par station.

Les rapports d'essais sont fournis en **annexe 3**.

### 3.2.2. Résultats par stations

**Cours d'eau : Ravin du Mal Infernet**  
**Station : Amont**  
**Date de prélèvement : 13/04/2021**

**HER : TP6**

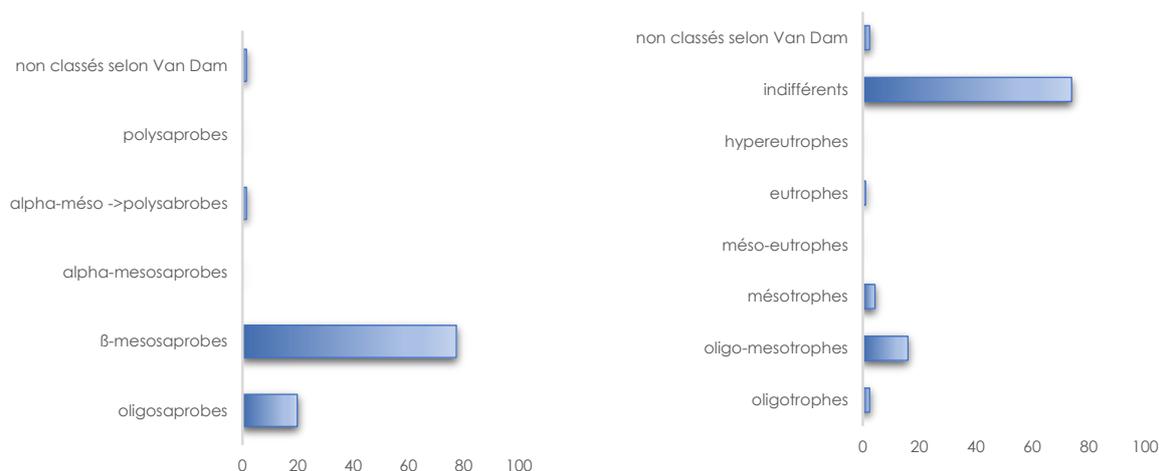
#### Indices

IPS	IBD	EQR	% de valves IBD	Effectif	Richesse taxonomique	Diversité	Equitabilité
19,6	20,0	<b>1,1111</b>	99,5	419	13	1,57	0,42
		<b>Très bonne qualité</b>					

#### Taxons dominants (>5%)

ADMI*	FGRA*	BNEO*
73,0	9,8	6,2

## Ecologie



## Commentaires

La qualité biologique du Ravin du Mal Infernet amont est très bonne selon la note EQR. La note IPS est équivalente à la note IBD.

Les indices structuraux montrent des valeurs faibles, indiquant un peuplement peu stable et déséquilibré probablement lié à un milieu oligotrophe<sup>5</sup> limitant les ressources nécessaires au développement des diatomées. Les espèces abondantes sur la station sont attribuées par Carayon *et al.* (2019) à des classes de milieux exempts d'impact par la matière organique et les nutriments : *Achnantheidium minutissimum*, **ADMI**, *Fragilaria gracilis*, **FGRA**, *Brachysira neoexilis*, **BNEO**

**N.B.** : représentativité des taxons dominants indiquée dans le tableau ci-dessus, l'astérisque indique que les taxons sont pris en compte dans le calcul de l'IBD).

Selon Van Dam *et al.*, les caractéristiques écologiques vis-à-vis du degré de saprobie<sup>6</sup> confirment que le peuplement diatomique est dominé par des formes sensibles. L'affinité vis-à-vis de la trophie montre également un peuplement sensible à la charge en nutriments.

Le peuplement diatomique suggère donc que le milieu ne subit aucune contamination organique et que la teneur en nutriments est faible.

<sup>5</sup> La trophie correspond à l'enrichissement de l'eau en sels minéraux nutritifs. Le niveau trophique dépend de la quantité de nutriments présents dans le milieu, principalement la matière carbonée, azotée et/ou phosphatée qui se trouve sous différente forme dans l'eau.

Les espèces de diatomées sont classées en fonction de leur tolérance vis-à-vis du niveau trophique, d'oligotrophe (milieu pauvre en éléments minéraux nutritifs où la production primaire est faible) à hypereutrophe (milieu très fortement enrichi en nutriments, ce qui entraîne une importante production primaire).

<sup>6</sup> La saprobie traduit la tolérance des taxons à la dégradation de la qualité chimique, principalement organique, de l'eau. Les diatomées sont classées en fonction de leur tolérance vis-à-vis du degré d'oxydation de la matière organique, d'oligosaprobe (eaux naturelles peu chargées en matières organiques, qui présentent un taux d'oxygène dissous voisin ou égal à la saturation) à polysaprobe (stade où des fermentations anaérobies sont observées).

Cours d'eau : Ravin du Grenouillet  
Station : Aval  
Date de prélèvement : 13/04/2021

HER : TP6

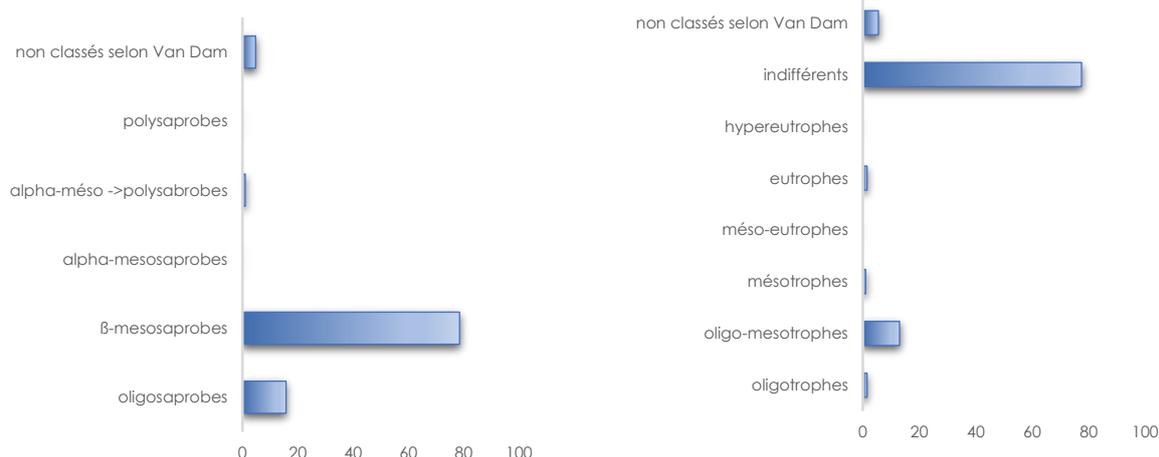
## Indices

IPS	IBD	EQR	% de valves IBD	Effectif	Richesse taxonomique	Diversité	Equitabilité
19,6	20,0	1,1111	100,0	400	11	1,39	0,40
		Très bonne qualité					

## Taxons dominants (&gt;5%)

ADMI*	BNEO*	FGRA*
76,8	7,0	6,0

## Ecologie



## Commentaires

La qualité biologique du Ravin du Mal Infernet Aval est très bonne selon la note EQR. La note IPS est équivalente à la note IBD.

Les indices structuraux montrent des valeurs faibles, indiquant un peuplement peu stable et déséquilibré probablement lié à un milieu oligotrophe limitant les ressources nécessaires au développement des diatomées. Les espèces abondantes sur la station sont attribuées par Carayon *et al.* (2019) à des classes de milieux exempts d'impact par la matière organique et les nutriments : *Achnantheidium minutissimum*, **ADMI**, *Fragilaria gracilis*, **FGRA**, *Brachysira neoexilis*, **BNEO**. Selon Van Dam *et al.*, les caractéristiques écologiques vis-à-vis du degré de saprobie confirment que le peuplement diatomique est dominé par des formes sensibles. L'affinité vis-à-vis de la trophie montre également un peuplement sensible à la charge en nutriments. Le peuplement diatomique suggère donc que le milieu ne subit aucune contamination organique et que la teneur en nutriments est faible.

## **4. CONCLUSIONS**

---

La réalisation d'indices biologiques en aval de l'ancien barrage de Grenouillet montre que la qualité du cours d'eau est très bonne malgré une capacité d'accueil très faible. Les habitats sont assez peu variés et à dominance minérale malgré l'environnement forestier.

L'intermittence des écoulements a probablement aussi un impact très fort sur le peuplement et la capacité d'accueil du cours d'eau. Il se trouve aussi que l'hiver et le début du printemps 2021 ont été extrêmement secs amenant à des écoulements très faibles et probablement inhabituels pour la saison et le secteur. Ces écoulements sélectionnent probablement les espèces selon leur cycle biologique et leur tolérance.

Si certaines métriques de l'indice macro invertébré comme le groupe indicateur maximal ou le nombre d'individus ovovivipares s'éloignent de la référence, cette altération pourrait être due à l'intermittence autant qu'à une altération ponctuelle de la qualité de l'eau. Le mauvais classement de la note IBG irait dans le sens d'une pollution ou d'un enrichissement de type organique, cet indice étant plus sensible à ce type d'altération que l'indice multimétrique.

Dans tous les cas et quel que soit l'indice ou la station, les indices classent le cours d'eau en très bon état.

## ANNEXE 1 : Listes faunistiques invertébrés

TAXON SANDRE	CODE SANDRE	A	B	C
<i>Leuctra</i>	69		2	
<i>Hydropsyche</i>	212			6
<i>Hydroptila</i>	200	6	10	22
<i>Oxyethira</i>	199		1	
<b>Leptoceridae</b>	<b>310</b>			2
<i>Chimarra</i>	207			2
<i>Wormaldia</i>	210		1	4
<i>Polycentropus</i>	231		1	1
<i>Baetis</i>	364		2	2
<i>Centroptilum</i>	383	2	1	2
<i>Caenis</i>	457	5	1	1
<i>Ecdyonurus</i>	421			3
<i>Dryops</i>	613		1	
Hydroporinae	2393	1		
<b>Elmidae</b>	<b>614</b>	3	1	
<i>Riolus</i>	625	1		
<i>Stenelmis</i>	617			1
<i>Oulimnius</i>	622	1		2
<i>Esolus</i>	619	4	47	17
<i>Limnius</i>	623			1
<i>Ochthebius</i>	609	1	1	
<b>Athericidae</b>	<b>838</b>		2	
<b>Ceratopogonidae</b>	<b>819</b>	21	4	1
<b>Chironomidae</b>	<b>807</b>	19	19	21
<b>Sciomyzidae</b>	<b>845</b>	1		
<b>Tipulidae</b>	<b>753</b>	71	10	5
<i>Boyeria</i>	670			1
<i>Calopteryx</i>	650	1		
<b>Coenagrionidae</b>	<b>658</b>	1		1
<i>Onychogomphus</i>	682	1	1	2
<b>Hydracarina</b>	<b>906</b>			2
<i>Ancylus</i>	1028	1		
<b>Oligochaeta</b>	<b>933</b>	3	1	
<b>Gordiidae</b>	<b>1085</b>	2		
	<b>Nbre d'US</b>	19	18	21
	<b>Total inv.</b>	145	106	99

## ANNEXE 2 : Habitats prélevés

Type substrat		Représentativité des substrats (%)		Classes de vitesses									
		S	Sandre	Superficie relative % estimé	Domin (D) / Margin (M) /	N6 > 75 cm/s		N5 75>V>25 cm/s		N3 25>V>5 cm/s		N1 V<5 cm/s	
						Ordre hiérarchique	N° Prélèvement	Ordre	N° Prélèvement	Ordre	N° Prélèvement	Ordre	N°
Bryophytes	11	S1											
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	10	S2		P									
Débris organiques grossiers (litière)	9	S3	1	M					2		1	A1	
Chevelus racinaires libres Supports ligneux	8	S28											
Sédiments minéraux de grande taille (pierres, galets) (25 à 250 mm)	7	S24	50	D	4	C2	1	B1 C4	2	B4	3	C1	
Blocs facilement déplaçables (> 250 mm)	6	S30	30	D	4		1	B2	2	C2	3	C3	
Granulats grossiers 25mm >taille>2 mm	5	S9	10	D					1	B3	2		
Spermaphytes émergents de strate basse (Helophytes)	4	S10											
Sédiments fins organiques, "vases" <0,1mm	3	S11											
Sables < 2 mm Limos	2	S25	3	M							1	A2	
Algues bactéries et champignons filamenteux	1	S18	4	M			1	A3	2				
Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles (roches, dalles,sols)	0	S29	2	M					1	A4			

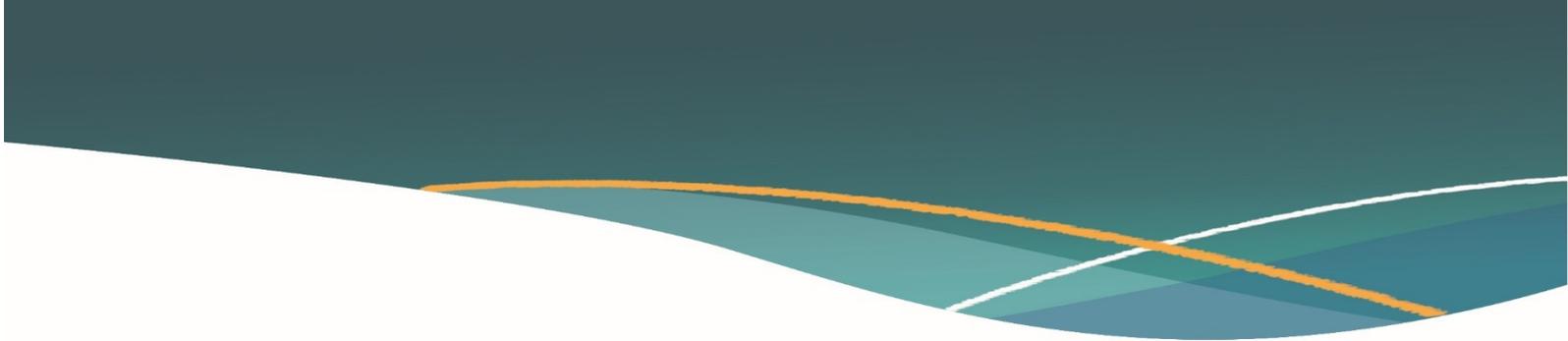
## ANNEXE 3 : Rapports d'essai Diatomées

		<b>RAPPORT D'ESSAI</b> COMMUNAUTE DE DIATOMÉES BENTHIQUES	
RE-DIA21-0207-00		Echantillon n° DIA21-0207	
<b>ESSAI</b>	<b>METHODE D'ESSAI</b>	<b>OBJET SOUMIS</b>	
Communauté de diatomées benthiques	NFT 90-354 d'avril 2016 (Échantillonnage, traitement et analyse de Diatomées benthiques en cours d'eau et canaux)	Cours d'eau / canaux	
<b>REFERENCE DE L'ECHANTILLON</b>			
<b>IDENTIFICATION</b>		<b>Coordonnées de la station en Lambert 93</b>	
Nom du Cours d'eau : Ravin du Grenouillet  Code station : 511 Commune : Amont  Département :		X : _____  Y : _____	
<b>Pour le Client :</b>		<b>Laboratoire ECOMA</b>	
MRE PACA Bd Grisolie BP 50008  83670 BARJOLS		Le 10/05/2021    Yannick Kermalec Responsable du laboratoire diatomées	
La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Le présent rapport ne concerne que les objets soumis à l'essai. Analyse effectuée par un laboratoire agréé par le ministère chargé de l'environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 octobre 2011.			
<b>DESCRIPTION DE LA STATION DE PRELEVEMENT (non réalisé par ECOMA)</b>			
Méthode de prélèvement : NFT 90-354 Préleveur : MRE PACA Date : 13/04/2021		<b>Conditions du prélèvement</b>	
		Antécédent hydrologique	Hydrologie apparente
Faciès : Vitesse de courant : Ombrage : Bryophytes + Algues filamenteuses : Bryophytes : Algues filamenteuses : Largeur moyenne :		Nature des substrats : Nombre de substrat : Profondeur moyenne du prélèvement (cm) : Distance à la berge (m) : Surface échantillonnée : Matériel : Fixateur : Ethanol	
Commentaires concernant le prélèvement			
non réalisé par ECOMA			

		<b>RAPPORT D'ESSAI</b> COMMUNAUTE DE DIATOMÉES BENTHIQUES	
RE-DIA21-0207-00		Echantillon n° DIA21-0207	
<b>LISTE FLORISTIQUE</b>			
Méthode d'analyse : NFT 90-354		Commentaires concernant l'analyse	
Analyse : B. LASLANDES			
Date analyse : 07/05/2021			
		Nom	DIA21-0207
		Date	13/04/2021
		Bassin	AERMC
		Cours d'eau	RAVIN DU GRENOUILLET
		Libellé station	RAVIN DU GRENOUILLET AMONT
		Code station	511
		N°	
		Préparation	
Espèces de diatomées		Code (*IBD)	%
Achnanthes minutissimum (Kützing) Czarneci var. minutissimum		ADME*	73,03
Fragilaria gracilis Østrup		FGRA*	9,79
Brachysira neoexilis Lange-Bertalot		BNEO*	6,21
Tabellaria flocculosa (Roth) Kützing var. flocculosa		TFLO*	3,82
Encyonopsis subminuta Krammer & Reichardt		ESUM*	2,39
Eunotia minor (Kützing) Grunow in Van Heurck		EMIN*	0,95
Gomphonema parvulum var. parvulum f. parvulum (Kützing) Kützing		GPAR*	0,95
Brachysira neglectissima Lange-Bertalot		BNEG*	0,48
Eunotia bilunaris (Ehrenberg) Schaarschmidt var. bilunaris		EBLU*	0,48
Fragilaria radians (Kütz.) Williams & Round		FRAD*	0,48
Gomphonema acidocinatum Lange-Bertalot & Reichardt		GADC*	0,48
GOMPHONEMA C.G. Ehrenberg		GOMP*	0,48
Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère var. ulna		UULN*	0,48

		<b>RAPPORT D'ESSAI</b> COMMUNAUTE DE DIATOMÉES BENTHIQUES	
<b>RE-DIA21-0208-00</b>		Echantillon n° DIA21-0208	
<b>ESSAI</b>	<b>METHODE D'ESSAI</b>	<b>OBJET SOUMIS</b>	
Communauté de diatomées benthiques	NF T 90-354 d'avril 2016 (Échantillonnage, traitement et analyse de Diatomées benthiques en cours d'eau et canaux)	Cours d'eau / canaux	
<b>REFERENCE DE L'ECHANTILLON</b>			
<b>IDENTIFICATION</b>		Coordonnées de la station en Lambert 93	
Nom du Cours d'eau : Ravin du Grenouillet  Code station : SI2 Commune : Aval  Département :		X _____  Y _____	
<b>Pour le Client :</b>		<b>Laboratoire ECOMA</b>	
MRE PACA Bd Grisolle BP 50008  83670 BARJOLS		Le 10/05/2021    Lenaig Kernarrec Responsable du laboratoire diatomées	
La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Le présent rapport ne concerne que les objets soumis à l'essai. Analyse effectuée par un laboratoire agréé par le ministère chargé de l'environnement dans les conditions de l'arrêté du 27 octobre 2011.			
<b>DESCRIPTION DE LA STATION DE PRELEVEMENT (non réalisé par ECOMA)</b>			
Méthode de prélèvement : NF T 90-354 Préleveur : MRE PACA Date : 13/04/2021		<b>Conditions du prélèvement</b>	
		Antécédent hydrologique	Hydrologie apparente
Faciès : Vitesse de courant : Ombrage : Bryophytes + Algues filamenteuses : Bryophytes : Algues filamenteuses : Largeur moyenne :		Nature des substrats : Nombre de substrat : Profondeur moyenne du prélèvement (cm) : Distance à la berge (m) : Surface échantillonnée : Matériel : Fixateur : Ethanol	
Commentaires concernant le prélèvement			
non réalisé par ECOMA			

		<b>RAPPORT D'ESSAI</b> COMMUNAUTE DE DIATOMÉES BENTHIQUES	
<b>RE-DIA21-0208-00</b>		<b>Echantillon n° DIA21-0208</b>	
<b>LISTE FLORISTIQUE</b>			
Méthode d'analyse : NFI 90-354 Analyste : B. LASLANDES Date analyse : 07/05/2021		Commentaires concernant l'analyse	
		Nom	DIA21-0208
		Date	13/04/2021
		Bassin	AERMC
		Cours d'eau	RAVIN DU GRENOUILLET
		Libellé station	RAVIN DU GRENOUILLET AVAL
		Code station	ST2
		N°	
		Préparation	
Espèces de diatomées		Code (*IBD)	%
Achnanthydium minutissimum (Kützing) Czarnocki var. minutissimum		ADMI*	76,75
Brachysira neoexilis Lange-Bertalot		BNEO*	7,00
Fragilaria gracilis Østrup		FGRA*	6,00
Achnanthydium lineare W.Smith		ACLI*	4,75
Encyonopsis subminuta Krammer & Reichardt		ESUM*	1,50
Gomphonema micropus Kützing var. micropus		GMIC*	1,25
Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère var. ulna		UULN*	0,75
Gomphonema hybridense Gregory		GHEB*	0,75
Gomphonema acidoclinatum Lange-Bertalot & Reichardt		GADC*	0,50
Tabellaria flocculosa (Roth) Kützing var. flocculosa		TFLO*	0,50
Gomphonema parvulum var. parvulum f. parvulum (Kützing) Kützing		GPAR*	0,25



[www.maisonregionaledeleau.com](http://www.maisonregionaledeleau.com) - [contact@mrepaca.com](mailto:contact@mrepaca.com)  
83 670 Barjols BP 50 008 - 04. 94. 77. 15. 83