



Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

AUTORISATION DE RESTITUTION DU DÉBIT RÉSERVÉ DANS LE LAS EN AVAL DU
BARRAGE DE DARDENNES

RAPPORT

Région Méditerranée

18 rue Elie Pelas
Le Condorcet
13322 Marseille Cedex 16
Tel. : +33 (0)4 91 17 00 00
Fax : +33 (0)4 91 17 00 73

VILLE DE TOULON
Direction des réseaux

SOMMAIRE

Section 1	RESUME NON TECHNIQUE	1
Section 2	DOCUMENT D'IDENTIFICATION ET DE PRESENTATION DU PROJET	4
1.	NOMS ET ADRESSES DU DEMANDEUR ET DES AUTEURS DU DOCUMENT	5
2.	SITUATION GÉOGRAPHIQUE	6
2.1.	PRÉSENTATION SUCCINCTE DU BARRAGE ET DE LA RETENUE DE DARDENNES	7
2.2.	PRÉSENTATION SUCCINCTE DU LAS	10
3.	CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE	12
3.1.	ARTICLE L214-18 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT	12
3.2.	CIRCULAIRES	12
4.	NATURE ET CONSISTANCE DU PROJET	14
Section 3	DOCUMENT D'INCIDENCES DU PROJET	15
5.	ETAT INITIAL DU SITE ET DE SON ENVIRONNEMENT : ETAT ACTUEL	16
5.1.	CONTEXTE GÉOLOGIQUE	16
5.2.	CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE	20
5.2.1.	Sources et Souterrain du Ragas	20
5.2.2.	Pertes du Las	22
5.3.	HYDROLOGIE	28
5.3.1.	Pluviométrie	28
5.3.2.	Bassin versant du Las	29
5.3.3.	Le Las avant construction du barrage	30
5.3.3.1.	LE LIT DU LAS (SOURCE : LE LAS : « UNE RIVIÈRE DANS LA VILLE »)	30
5.3.3.2.	ALIMENTATION DU LAS AVANT LA CONSTRUCTION DU BARRAGE	32
5.3.3.3.	DÉBIT DU LAS AVANT LA CONSTRUCTION DU BARRAGE	32
5.3.4.	Écoulement de l'eau dans le Las à l'état actuel	33
5.3.5.	Débit d'étiage du Las dans l'état actuel	33
5.3.6.	Débites moyens des sources (module) ou débit naturel du Las	36
5.3.6.1.	MÉTHODE DU BILAN HYDROLOGIQUE	36
5.3.6.2.	MÉTHODE PLUIE-DÉBIT	38
5.3.6.3.	MODULE INTERANUEL DES SOURCES	39
5.4.	QUALITÉ DES EAUX	40
5.4.1.	Qualité des eaux brutes de la retenue	40
5.4.2.	Qualité des eaux brutes du Ragas	40
5.4.3.	Analyse de l'état écologique du Las	41
5.4.3.1.	PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU COURS D'EAU (SOURCE : LE LAS : « UNE RIVIÈRE DANS LA VILLE »)	41
5.4.3.2.	FACIÈS MORPHO-ÉCOLOGIQUES (EXTRAIT DE L'ÉTUDE MRE 2013)	43
5.4.3.3.	QUALITÉ DE L'EAU DU LAS	46
5.4.3.4.	ASPECTS PISCICOLES DU LAS (EXTRAIT DE L'ÉTUDE MRE 2013)	49
5.5.	MILIEU NATUREL	53
5.5.1.	Le SDAGE Rhône-Méditerranée	53
5.5.2.	Réseau Natura 2000	56
5.5.3.	La ripisylve	58
5.6.	USAGES LIÉS À LA RESSOURCE	60
5.6.1.	Alimentation en eau potable	60

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT

5.6.1.1.	LA RETENUE ET L'USINE DE DARDENNES	60
5.6.1.2.	VARIATIONS SAISONNIÈRES	60
5.6.1.3.	PÉRIMÈTRES DE PROTECTION	61
5.6.2.	Irrigation	61
5.6.3.	Loisirs	63
5.7.	DÉBIT RÉSERVÉ	64
5.7.1.	Notion de « débit réservé »	64
5.7.2.	Réglementation	64
5.7.3.	Définitions	66
5.7.4.	Cas particulier du barrage de Dardennes	67
5.7.4.1.	LA RESTITUTION ACTUELLE DES EAUX AU LAS	67
5.7.4.2.	CONFIGURATION ATYPIQUE DU COURS D'EAU	70
5.7.5.	Débts à considérer pour la fixation du débit réservé du barrage de Dardennes	70
5.7.5.1.	DÉBIT PLANCHER	70
5.7.5.2.	DÉBIT BIOLOGIQUE (SOURCE : MRE)	70
5.7.5.3.	DÉBIT RÉSERVÉ	70
6.	ANALYSE DES INCIDENCES DIRECTES ET INDIRECTES, À COURT, MOYEN, LONG TERMES DU PROJET ET MESURES ENVISAGÉES POUR ÉVITER OU RÉDUIRE CES IMPACTS	72
6.1.	NOTIONS PRÉALABLES	72
6.1.1.	Identification et évaluation des impacts du projet	72
6.1.1.1.	EFFETS PERMANENTS ET EFFETS TEMPORAIRES	72
6.1.1.2.	EFFETS À COURT, MOYEN ET LONG TERMES	72
6.1.1.3.	EFFETS DIRECTS ET INDIRECTS	73
6.1.2.	Proposition de mesures	73
6.1.2.1.	MESURES D'ÉVITEMENT OU DE SUPPRESSION	73
6.1.2.2.	MESURES DE RÉDUCTION	73
6.1.2.3.	MESURES DE COMPENSATION	73
6.1.2.4.	MESURES D'ACCOMPAGNEMENT	74
6.2.	IMPACTS QUANTITATIFS	74
6.2.1.	Débts du Las	74
6.2.2.	Incidences sur la ressource en eau souterraine	76
6.3.	IMPACTS QUALITATIFS	77
6.3.1.	Incidences sur la qualité de l'eau	77
6.3.2.	Incidences sur la faune et la flore	83
6.3.3.	Incidences sur les usages	85
6.3.4.	Incidences sur les milieux remarquables	85
6.3.5.	Incidences sur les périmètres de protection de la retenue	85
7.	COMPATIBILITÉ AVEC LE SDAGE	86
Section 4 Entretien des ouvrages, Moyens de surveillance et d'intervention		88
8.	MOYENS DE SURVEILLANCE ET D'INTERVENTION	89
8.1.	SURVEILLANCE DE LA VALEUR DU DÉBIT RÉSERVÉ	89
8.2.	SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ RESTITUÉE	91
8.2.1.	Fiabilité et sécurité de la chaîne de traitement des eaux sales	91
8.2.2.	Protection et sécurité du personnel	91
9.	ENTRETIEN DES OUVRAGES	92
ANNEXE 1		93

TABLEAUX

TABL. 1 - CORRESPONDANCE ENTRE LES FACIÈS DE ROCHE ET LES SÉRIES REPRÉSENTÉES SUR LA CARTE GÉOLOGIQUE	19
TABL. 2 - ANALYSE DES PRÉCIPITATIONS MENSUELLES MOYENNES SUR LA PÉRIODE 1968 À 2008 (D'APRÈS DONNÉES BRUTES VÉOLIA)	28
TABL. 3 - DÉBITS D'ÉTIAGE DU LAS ET DE SES AFFLUENTS	35
TABL. 4 - MOYENNES MENSUELLES DE DÉBIT DES SOURCES DE DARDENNES	37
TABL. 5 - RÉSULTATS DES ANALYSES D'EAU RÉALISÉES AU COURS DES ESSAIS DE POMPAGE	41
TABL. 6 - RÉSULTAT QUALITATIFS, STATION DU JONQUET, CODE 06710300	48
TABL. 7 - OBJECTIFS SDAGE (2015-2021) POUR LES MASSES D'EAU DU LAS	55
TABL. 8 - PARAMÈTRES DE CLASSEMENT MEFM DE LA MASSE D'EAU	55
TABL. 9 - OBJECTIFS SDAGE (2015-2021) POUR LES MASSES D'EAU SOUTERRAINE	56
TABL. 10 - BILAN SUR LES CONSOMMATIONS ACTUELLES ET FUTURES	60
TABL. 11 - MESURES DU SDAGE 2015-2021 PORTANT SUR LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE CONCERNÉE PAR LE PROJET	86

FIGURES

FIG. 1. LOCALISATION DU LAS ET DE LA RETENUE DE DARDENNES	6
FIG. 2. COUPE ET PLAN DU BARRAGE	7
FIG. 3. LA SOURCE DU RAGAS EN AMONT DE LA RETENUE (À GAUCHE : EN FONCTIONNEMENT, À DROITE : À SEC)	8
FIG. 4. SCHÉMA D'ALIMENTATION DES EAUX DE LA RETENUE PAR LES SOURCES KARSTIQUES EN RÉGIME NOYÉ	8
FIG. 5. LA RETENUE DU LAS (LES TACHES MARRONS FONT APPARAÎTRE DEUX SOURCES DE LA RETENUE)	9
FIG. 6. LES TRONÇONS CARACTÉRISTIQUES DU LAS	10
FIG. 7. LE LAS (D'AMONT VERS AVAL)	11
FIG. 8. ESQUISSE GÉOLOGIQUE DE L'UNITÉ DU BEAUSSET (J. AUBOUIN ET G. MENESSIER, 1963)	17
FIG. 9. SCHÉMATISATION DES DIRECTIONS D'ÉCOULEMENT DES NAPPES DE L'URGONNIEN ET DES DOLOMIES JURASSIQUES (SOURCES : ETUDE HYDROGÉOLOGIQUE, BURGEAP, 2012)	17
FIG. 10. CARTE GÉOLOGIQUE DU BASSIN HYDROGÉOLOGIQUE ÉTUDIÉ	18
FIG. 11. INVENTAIRE DES SOURCES À L'INTÉRIEUR DE LA RETENUE (SOURCE : À GAUCHE : LE LAS, UNE RIVIÈRE DANS LA VILLE, PAUL COURDON ; À DROITE : ARFIB, 2006)	20
FIG. 12. SCHÉMATISATION DES ÉCOULEMENTS KARSTIQUES AU DROIT DU BARRAGE DE DARDENNES (SOURCES : BURGEAP : ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE, 2012)	21
FIG. 13. PERTES SUR LE LINÉAIRE DU LAS (SOURCE : LE LAS, UNE RIVIÈRE DANS LA VILLE, PAUL COURDON)	22
FIG. 14. JOINTS DE STRATIFICATION ÉLARGIS DES MARNO-CALCAIRES DU BATHONIEN - LIT DU LAS À L'AVANT DU SEUIL	22
FIG. 15. CROQUIS D'EXPLORATION D'UNE PERTE DU LAS IDENTIFIÉE AU NIVEAU DE DARDENNES (LE LAS : UNE RIVIÈRE DANS LA VILLE, VAL D'AS)	23
FIG. 16. PRÉSENTATION DU LAS ET DES SECTEURS OÙ SONT LOCALISÉS LES PRINCIPAUX FOYERS DE PERTES RECENSÉS (IGN)	24
FIG. 17. INJECTION DE FLUORECÉINE DANS LA PERTE DE DARDENNES (LIT DU LAS) LORS DE L'OPÉRATION DE TRAÇAGE DE 2015	25
FIG. 18. SUIVI AU NIVEAU DE LA PERTE LORS DE L'OPÉRATION DE TRAÇAGE DE 2015	25
FIG. 19. OBSERVATIONS DES DÉBITS SOUS LES PONTS LORS DE L'OPÉRATION DE TRAÇAGE DE 2015	26
FIG. 20. OBSERVATIONS DES DÉBITS À LA SOURCE DE SAINT ANTOINELORS DE L'OPÉRATION DE TRAÇAGE DE 2015	26
FIG. 21. GRAPHIQUES DE SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE DE TRAÇAGE RÉALISÉE EN 2015	27
FIG. 22. CARTE DE SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE DE TRAÇAGE RÉALISÉE EN 2015	27
FIG. 23. PRÉCIPITATIONS MENSUELLES MESURÉES ENTRE 1968 ET 2008 (DONNÉES BRUTES VÉOLIA)	28
FIG. 24. REPRÉSENTATION DES BASSINS VERSANT GÉOLOGIQUE (EN ROSE) ET TOPOGRAPHIQUE (EN VERT) QUI ALIMENTENT LA RETENUE DE DARDENNES (SOGREAH 2010)	29
FIG. 25. LE BASSIN VERSANT DU LAS (VAL D'AS)	30
FIG. 26. CARTE DE L'ÉTAT-MAJOR (1820-1866)	31
FIG. 27. PHOTOGRAPHIE DU LAS AVANT LA CONSTRUCTION DU BARRAGE (SOURCE : LE LAS : UNE RIVIÈRE DANS LA VILLE)	32
FIG. 28. LE SEUIL DU BÉAL	33
FIG. 29. VUES DU LAS À L'AVANT DU SEUIL	34
FIG. 30. SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT DU BILAN HYDROLOGIQUE	36
FIG. 31. MODÈLE À 2 RÉSERVOIRS SOUS ENVIRONNEMENT VENSIM®	38
FIG. 32. MODULE ANNUEL ET INTERANNUEL (EN ROUGE) DU DÉBIT DES SOURCES DE DARDENNES DEPUIS AVRIL 1995	39
FIG. 33. TROU D'EAU EN AVAL DIRECT DU BARRAGE DE DARDENNES (À GAUCHE) ET FORTE TURBIDITÉ OBSERVÉE	43
FIG. 34. LE BARRAGE DES TROIS MARTELIÈRES (À GAUCHE) ET LA SALLE VERTE (À DROITE)	43
FIG. 35. LA PRISE D'EAU DU BÉAL	44
FIG. 36. LE LAS AU NIVEAU DU PONT DU JONQUET AVANT DE PASSER EN SOUTERRAIN	45
FIG. 37. LE LAS AU QUARTIER BON RENCONTRE AVANT DE REDEVENIR SOUTERRAIN	45

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT

FIG. 38.	LES MASSES D'EAU DU BASSIN VERSANT DU LAS	46
FIG. 39.	PLAN DE SITUATION DE LA STATION 06710300 AU JONQUET	47
FIG. 40.	PLAN DE SITUATION DE LA STATION 06710400 À BON RENCONTRE	49
FIG. 41.	RÉPARTITION DES ESPÈCES PISCICOLES SUR LE BASSIN VERSANT DU LAS	51
FIG. 42.	PÉRIMÈTRE ADMINISTRATIF DU BASSIN RHÔNE-MÉDITERRANÉE	53
FIG. 43.	LE SITE NATURA 2000 - SIC FR9301608 " MONT CAUME - MONT FARON - FORÊT DOMANIALES DES MORIÈRES	57
FIG. 44.	LE SITE NATURA 2000 - ZPS FR9312016 "FALAISES DU MONT CAUME"	58
FIG. 45.	LA PRISE D'EAU DU BÉAL DE DARDENNES DITE «1679» MAIS EN RÉALITÉ PLUS RÉCENTE	61
FIG. 46.	TERRAINS CULTIVÉ	62
FIG. 47.	EXTRAIT DE L'ARRÊTÉ CONCERNANT LA FIXATION DES HEURES D'ARROSAGES DES USAGERS DES EAUX DU BÉAL COMMUNAL PENDANT L'ANNÉE 1900 (SOURCES : LE LAS, UNE RIVIÈRE DANS LA VILLE)	62
FIG. 48.	LES JARDINS DU LAS	63
FIG. 49.	VUES DE L'USINE DE TRAITEMENT	67
FIG. 50.	VUE DEPUIS L'AMONT DE LA CONDUITE DE PRISE ET DU BAJOYER DE L'ANCIEN CHENAL D'ÉVACUATION DES VIDANGES	68
FIG. 51.	SCHÉMA DES CONDUITES DE VIDANGE ET DE LA PROVENANCE DES EAUX ISSUES DU DÉBIT RÉSERVÉ (FOND DE PLAN ISSU DE L'EDD, SCP 2012)	69
FIG. 52.	RELATION CÔTE DE LA RETENUE – DÉBIT DE FUITE DU BARRAGE	75
FIG. 53.	PARCELLE RETENUE POUR LA FILIÈRE DE TRAITEMENT DES EAUX SALES (PARCELLE N°49)	78
FIG. 54.	FILIÈRE DE TRAITEMENT PRÉVUE POUR LES EAUX DE LAVAGE DES FILTRES	80
FIG. 55.	CANAL VENTURY EXISTANT EN AVAL IMMÉDIAT DE L'EXUTOIRE AU LAS	90

SECTION 1 RESUME NON TECHNIQUE

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnementAutorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT

Le présent dossier constitue la **demande d'Autorisation** pour la **fixation du débit réservé à restituer en aval du barrage de Dardennes**.

Actuellement, il n'existe pas d'autorisation spécifique pour ce barrage (première mise en eau datant de 1911) pour la restitution d'un débit réservé.

Le débit restitué en aval, dans le cours d'eau du Las, provient actuellement des eaux de lavage des filtres de l'usine de traitement de Dardennes et des fuites du barrage. Les débits sont donc soumis à des variations importantes avec des eaux chargées en MES (matières en suspension).

La spécificité de la retenue de Dardennes provient du fait qu'elle soit alimentée par un très grand **réservoir karstique** (Synclinal du Beausset) donnant naissance à de nombreuses sources de type vauclusien. La plus importante est la source du **Ragas** située en amont de la retenue.

Le Las est le cours d'eau qui naît juste en aval du barrage. Ce cours d'eau est également particulier car il **s'écoule sur un substratum calcaire fracturé où s'engouffrent** une partie des eaux. Des traçages récents (été 2015) réalisés au niveau d'une des pertes du cours d'eau ont mis en évidence des échanges entre les eaux superficielles de la rivière avec l'aquifère karstique environnant (observations faites à la source de Saint-Antoine).

De la sorte, il est possible de considérer le cours d'eau du Las comme un **cours d'eau atypique** au sens du 1° de l'**article R.214-111** du Code de l'Environnement.

Dans ce cas et conformément à l'article **L. 214-18** du Code de l'Environnement, le débit minimum à maintenir au droit ou à l'aval immédiat de l'ouvrage peut alors être fixé à une valeur inférieure que la valeur du débit plancher.

Pour le calcul du débit plancher, un modèle hydrologique pluie-débit conçu pour les réservoirs karstiques (**modèle de Fleury**) a été réalisé en 2013 afin de permettre une simulation des apports des sources. Ceci permet, in fine, de considérer un état sans barrage. Le module a été évalué à 450l/s soit un débit plancher de **45 l/s** (en considérant un débit plancher égal au 1/10^e du module interannuel).

L'estimation du débit biologique a fait l'objet d'une étude réalisée par la Maison Régionale de l'Eau (MRE) en 2013. Cette estimation est basée sur l'**étude des microhabitats** réalisée à l'aide du **logiciel EVHA**, dans la partie amont du Las. Le débit biologique pour ce cours d'eau a été estimé aux alentours de **400 l/s**. Cette valeur est assez élevée et correspond à peu près au module du cours d'eau. Elle montre de fortes contraintes imposées aux poissons à certaines périodes de l'année, même en régime naturel. Cette situation est souvent retrouvée sur les cours d'eau méditerranéen qui présentent un module comparable aux autres cours d'eau mais des amplitudes de débit plus fortes (fortes crues et étiages prononcés). **La Maison Régionale de l'Eau conclue que, dans le cas du Las, les évaluations hydrologiques et la règle du 1/10ème du module sont probablement plus fiables que l'approche EVHA.**

Une grande partie du Las est confrontée à l'affleurement de la roche mère et à un fort colmatage du substrat lié en partie à la géologie (eau calcaire) mais également des apports anormaux de matières en suspension. C'est une contrainte très forte pour les milieux aquatiques en termes de perte d'habitat piscicole et de moindre qualité hydrobiologique. Il est alors important d'essayer d'améliorer la fonctionnalité du biotope, en mettant en place **un système limitant les déversements de matières fines directement dans le milieu aquatique et notamment en période d'étiage.**

Le parti pris, pour la restitution du débit réservé concernent des enjeux s'articulant autour de **quatre axes** :

- La garantie toute l'année et dans la limite des entrants du débit réservé qui apporterait aussi de la fraîcheur au cours d'eau (température toujours inférieures à 18°C).
- Une amélioration de la qualité de l'eau par réduction des apports de matières en suspension dans le cours d'eau.
- Une diminution des variations brusques du débit en tamponnant les restitutions en aval (hors périodes de crues).
- Des modalités de vidange améliorées.

Le débit réservé pourra de cette façon améliorer de manière significative la fonctionnalité du Las, cours d'eau fortement anthropisé, mais qui continue à abriter des espèces aquatiques à forte valeur patrimoniale (anguille, barbeau méridional et blennie fluviatile), tout en gardant une valeur proche du 1/10^{ème} du module du cours d'eau.

Le scénario de débit réservé avec modulation intermensuelle a été retenu par le pétitionnaire, en concertation avec la DDTM et l'ONEMA.

La modulation du débit proposée est un débit de 30 l/s pendant les 3 mois d'été (mois de juillet, août et septembre) et 60 l/s le reste de l'année.

Cette modulation permet à la fois de respecter les besoins d'alimentation en eau de la ville de Toulon (hormis lors des sécheresses sévères automnales et printanières) et d'améliorer la capacité d'accueil du cours d'eau pour les espèces piscicoles.

De plus, la mise en place d'une filière de traitement des eaux de lavage des filtres de l'usine de Dardennes permettra une nette amélioration de la qualité du débit restitué au Las par rapport à l'état actuel.

Les propositions faites pour la mise en œuvre du débit réservé en aval du barrage de Dardennes sont entièrement compatibles avec les orientations fondamentales et les objectifs du nouveau SDAGE Rhône méditerranée.

SECTION 2 DOCUMENT D'IDENTIFICATION ET DE PRESENTATION DU PROJET

1. NOMS ET ADRESSES DU DEMANDEUR ET DES AUTEURS DU DOCUMENT

Nom et adresse du demandeur

Le présent dossier fait suite à la demande de :

VILLE DE TOULON

Adresse :

Ville de Toulon – Direction « Réseaux »
L'oiseau de feu
113 rue Henri Poincaré
83000 Toulon

Téléphone :

04 94 36 33 91

Nom et adresse des auteurs

La présente étude a été réalisée par :

ARTELIA VILLE ET TRANSPORT

Adresse du Siège Social :

6, rue de Lorraine
38130 Echirolles B.P.172
38042 Grenoble Cedex

Adresse de la Direction Régionale Méditerranée :

Le Condorcet – 18, rue Elie Pelas
CS80132 – 13016 Marseille

Téléphone :

04.91.17.00.00

2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le Las est un fleuve côtier méditerranéen, situé dans le département du Var, sur les communes de Toulon et Le Revest-les-Eaux. Le cours d'eau prend sa source dans le barrage de Dardennes au nord, et se jette dans la baie de Toulon qui constitue son exutoire.



Fig. 1. Localisation du Las et de la retenue de Dardennes

2.1. PRÉSENTATION SUCCINCTE DU BARRAGE ET DE LA RETENUE DE DARDENNES

Le barrage de Dardennes, construit en 1912 est situé dans le département du Var à quelques kilomètres en amont du centre-ville de Toulon. Le barrage est destiné à l'alimentation en eau potable de l'aire toulonnaise. Appartenant à la Ville de Toulon, sa gestion est confiée à Veolia.

Le barrage est de classe A selon le décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007 codifié (articles R.214-112 à 151 du Code de l'Environnement).

Il s'agit d'un barrage poids en maçonnerie qui barre le cours d'eau du Las alimenté en majeure partie par une source vauclusienne, le *Ragas*. La retenue formée par ce barrage de 35 m de hauteur est de 1.1 hm³ à la cote 123 NGF auquel s'ajoute un volume d'eau situé dans le karst mis en charge.



Première mise en eau :	en 1912
Hauteur H sur TN	35 m
Volume V sous RN	1,1 hm ³
$H^2 \cdot V^{0.5}$	1285
Type	maçonnerie poids arqué
Cote de la crête	125 m
Cote retenue normale	123 m
Evacuateur de crue	entonnement latéral
Capacité =	116 m ³ /s sous 125 m
Organe de vidange :	2 conduites ϕ 700
Capacité	11 m ³ /s sous 123 m
Fruit amont	0,19
Fruit aval	0,65
Longueur en crête	154 m
Largeur en crête	4 m
Rayon de courbure	300 m

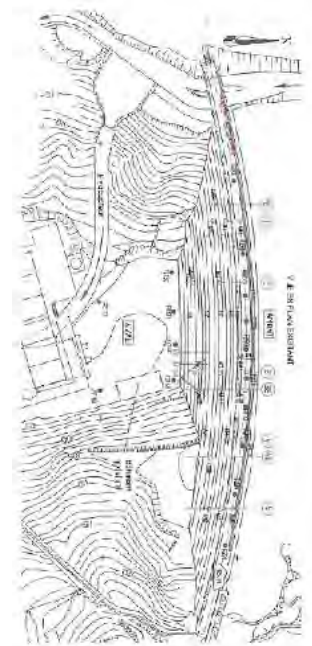


Fig. 2. Coupe et plan du barrage

La particularité de la retenue de Dardennes est qu'elle ne soit pas alimentée directement par un cours d'eau. Son alimentation est assurée essentiellement par un ensemble de sources karstiques de type vauclusienne dont la principale est **la source du Ragas**.

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT

Fig. 3. La source du Ragas en amont de la retenue (à gauche : en fonctionnement, à droite : à sec)

Lors des fortes pluies, la retenue reçoit les eaux des sources du Ragas ainsi que des vallons du Cierge et des Olivières (affluents rive gauche au thalweg du Ragas), le ravin du Ragas (affluent en rive droite au thalweg du Ragas), le ravin de Fiéraquet qui débouche dans le fossé de colature de la retenue en rive droite, le ravin des Baumettes qui débouche également dans le fossé de colature de la retenue. Le fossé de colature donne un débit de 200 l/s en moyenne lors des fortes pluies.



Fig. 4. Schéma d'alimentation des eaux de la retenue par les sources karstiques en régime noyé

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT



Fig. 5. *La retenue du Las (les taches marrons font apparaître deux sources de la retenue)*

L'alimentation des eaux du Las, avant même la création du barrage s'inscrit dans un contexte géologique karstique qui a de particulier l'importance du bassin versant géologique drainé et le régime noyé des sources alimentant le cours d'eau.

2.2. PRÉSENTATION SUCCINCTE DU LAS

D'un linéaire de 7 à 8 km, le Las est situé sur le territoire du Revest les Eaux et de Toulon. Il s'agit d'un petit fleuve côtier qui prend sa source dans la retenue de Dardennes, elle-même alimentée par les sources du Ragas. À l'entrée du centre-ville de Toulon jusqu'à son rejet en mer, la rivière est totalement canalisée.

Avant la construction du barrage, plusieurs sources donnaient naissance au cours d'eau. Elles s'épanchaient au pied du village du Revest puis allaient se jeter à la mer au fond de la rade. Depuis la construction du barrage de Dardennes, en 1912, les sous-écoulements de ces sources sont noyées la plus grande partie de l'année.

De la retenue des « trois martelières » à quelques centaines de mètres en aval du barrage de Dardennes jusqu'au hameau de Dardennes, le tronçon de la rivière est naturel. Au niveau du seuil de Dardennes, l'eau est déviée au profit du vieux Béal qui jadis participait à l'alimentation en eau pour les industries et l'agriculture toulonnaise. En aval de cette prise, la rivière est plus fortement soumise à des zones d'assecs en période d'étiage qui entraînent une réduction importante des zones de survie pour la faune aquatique.

Les fuites de la prise permettent néanmoins de créer des niches écologiques plus en aval. Le Las est ensuite grossi par les eaux de la Baume de Dardennes.

La rivière de Dardennes est à l'état naturel du barrage jusqu'au quartier du Jonquet. Ensuite, elle est totalement artificialisée et prend le nom de « Rivière Neuve » ou « Rivière couverte » jusqu'à son débouché dans la rade de Toulon.

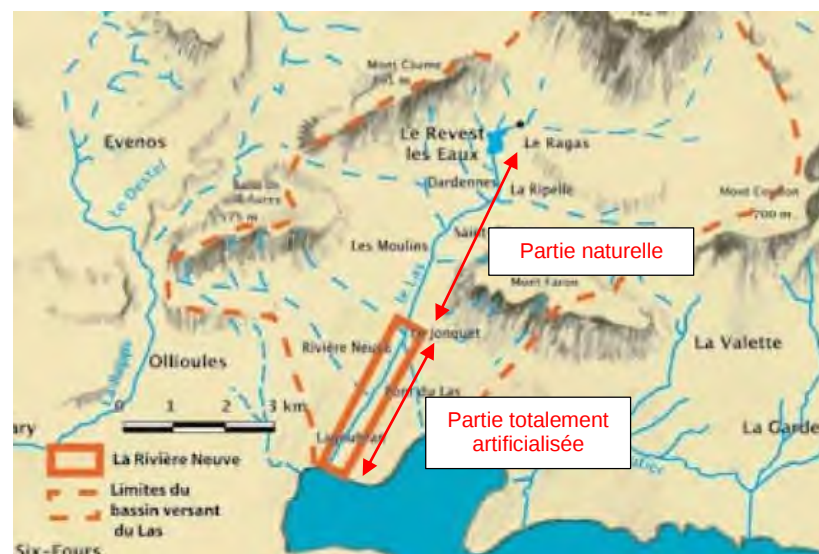


Fig. 6. Les tronçons caractéristiques du Las

Sur sa partie naturelle, la rivière alterne différents faciès et rupture de pentes (gorges étroites, zones d'eaux stagnantes,...). En aval de la prise du Béal, la rivière s'écoule en partie en ville, mais, du fait de son niveau plus bas par rapport à la ville, cette spécificité lui permet d'être en partie protégée par l'anthropisation car les accès y sont difficiles. Arrivée à la Baume, les murs de protection ont un effet néfaste car ils favorisent l'accélération de l'eau et la destruction des berges et des refuges pour la faune en aval.

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT

Fig. 7. Le Las (d'amont vers aval)

Des pertes du Las ont été mises en évidence au niveau du barrage des trois martelières ainsi qu'entre le hameau de Dardennes et du Pont Saint-Pierre. Des écoulements « sourds » se produisent également sous le lit du Las.

3. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Le présent dossier a pour objet de fixer la valeur du débit réservé à maintenir dans le Las, en aval du barrage de Dardennes, conformément à l'article 214-18 du code de l'environnement et aux circulaires du 21 octobre 2009 et du 5 juillet 2011.

3.1. ARTICLE L214-18 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT

Créé par [Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 - art. 6 JORF 31 décembre 2006](#)

I.- Tout ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau doit comporter des dispositifs maintenant dans ce lit un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage ainsi que, le cas échéant, des dispositifs empêchant la pénétration du poisson dans les canaux d'amenée et de fuite.

Ce débit minimal ne doit pas être inférieur au dixième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage correspondant au débit moyen interannuel, évalué à partir des informations disponibles portant sur une période minimale de cinq années, ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur. Pour les cours d'eau ou parties de cours d'eau dont le module est supérieur à 80 mètres cubes par seconde, ou pour les ouvrages qui contribuent, par leur capacité de modulation, à la production d'électricité en période de pointe de consommation et dont la liste est fixée par décret en Conseil d'Etat pris après avis du Conseil supérieur de l'énergie, ce débit minimal ne doit pas être inférieur au vingtième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage évalué dans les mêmes conditions ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur. Toutefois, pour les cours d'eau ou sections de cours d'eau présentant un fonctionnement atypique rendant non pertinente la fixation d'un débit minimal dans les conditions prévues ci-dessus, le débit minimal peut être fixé à une valeur inférieure.

II.-Les actes d'autorisation ou de concession peuvent fixer des valeurs de débit minimal différentes selon les périodes de l'année, sous réserve que la moyenne annuelle de ces valeurs ne soit pas inférieure aux débits minimaux fixés en application du I. En outre, le débit le plus bas doit rester supérieur à la moitié des débits minimaux précités.

Lorsqu'un cours d'eau ou une section de cours d'eau est soumis à un étiage naturel exceptionnel, l'autorité administrative peut fixer, pour cette période d'étiage, des débits minimaux temporaires inférieurs aux débits minimaux prévus au I.

III.-L'exploitant de l'ouvrage est tenu d'assurer le fonctionnement et l'entretien des dispositifs garantissant dans le lit du cours d'eau les débits minimaux définis aux alinéas précédents.

IV.-Pour les ouvrages existant à la date de promulgation de la [loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006](#) sur l'eau et les milieux aquatiques, les obligations qu'elle institue sont substituées, dès le renouvellement de leur concession ou autorisation et au plus tard le 1er janvier 2014, aux obligations qui leur étaient précédemment faites. Cette substitution ne donne lieu à indemnité que dans les conditions prévues au III de l'article [L. 214-17](#).

V.-Le présent article n'est applicable ni au Rhin ni aux parties internationales des cours d'eau partagés.

3.2. CIRCULAIRES

L'étude d'évaluation du débit réservé en aval du barrage de Dardennes répond aux attentes définies dans la **circulaire du 21 octobre 2009** relative à la mise en œuvre du relèvement au 1^{er}

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnementAutorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT

janvier 2014 des débits réservés des ouvrages existants et la **circulaire du 5 juillet 2011** relative à l'application de **l'article L. 214-18 du code de l'environnement** sur les débits réservés à maintenir en cours d'eau.

Les circulaires précédemment citées permettent de mieux cerner la notion de « débit réservé ». Nous reprenons ci-après les quelques éléments importants de définition.

D'après ces textes, *l'obligation principale consiste à maintenir dans le cours d'eau à l'aval de l'ouvrage un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage. Ce débit minimum « biologique », appelé « débit réservé », ne doit pas être inférieur à un plancher qui est fixé au 10^e du module interannuel du cours d'eau, pour l'essentiel des installations, et au 20^e de ce module pour les ouvrages situés sur un cours d'eau dont le module est supérieur à 80 m³/s, ou pour les ouvrages hydroélectriques contribuant à la production d'électricité en période de pointe de consommation, listés par décret. Si le débit à l'amont immédiat de l'ouvrage est inférieur à ce plancher, c'est ce débit entrant qui doit être respecté à l'aval.*

Par ailleurs, l'article L. 214-18 CE prévoit des possibilités de déroger au débit plancher, dans le cas de cours d'eau à fonctionnement atypique ou d'étiage naturel exceptionnel.

Il prévoit enfin la possibilité, tout en respectant en moyenne sur l'année le débit réservé, de moduler celui-ci selon les différentes périodes de l'année, le débit le plus bas devant cependant rester supérieur à la moitié du débit réservé. On parle alors d'un « régime hydraulique réservé ».

A noter que trois cas de cours d'eau dits, de cours d'eau atypiques, sont considérés :

- si l'hydrogéologie explique l'intermittence naturelle du cours d'eau,
- si l'aval immédiat d'un barrage de classe A ou à usage hydroélectrique d'une puissance supérieure à 20 mégawatts, est en permanence ennoyé par le remous du plan d'eau d'un autre barrage de même nature,
- en l'absence (naturelle et historique) de certains organismes (Ichtyofaune, invertébrés du benthos, phytoplancton, phytobenthos, macrophytes).

Par ailleurs, *conformément à la jurisprudence (Cons. Etat, 15 avril 1996, n°140965, M. Mortera), afin de satisfaire l'obligation principale de l'article L.214-18 du code de l'environnement de « garantir en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux », le débit minimum biologique peut être supérieur à cette valeur plancher du 10^{ème} du module naturel. Ces valeurs, instituées par le législateur en tant que minimum intangible, ne sont en aucun cas des références de qualité ni des normes. Le débit minimum biologique ne saurait donc être assimilé d'emblée au 10^{ème} du module.*

Notons enfin que, *si le débit à l'amont immédiat de l'ouvrage est inférieur au débit réservé fixé par l'autorité administrative, c'est l'intégralité de ce débit entrant qui doit être restitué au droit ou à l'aval de l'ouvrage.*

4. NATURE ET CONSISTANCE DU PROJET

La retenue de Dardennes fait l'objet d'un dossier d'autorisation au titre du Code de l'environnement et de la Santé publique pour le prélèvement d'eau à usage d'AEP et d'un dossier de DUP pour la définition des périmètres de protection. Les dossiers sont en cours de réalisation par ARTELIA.

Par ailleurs, des études préalables à la fixation du débit réservé en aval du barrage ont été réalisées par ARTELIA en 2013/2014 pour le compte de Véolia (calcul du module et estimation du débit minimum biologique). À la suite de ces études, des concertations ont été menées avec les différents services de l'Etat (notamment la DDTM et l'ONEMA) pour déterminer la valeur du débit réservé à appliquer.

La fixation du débit réservé fait l'objet du présent dossier d'autorisation au titre du Code de l'Environnement.

SECTION 3

DOCUMENT D'INCIDENCES DU PROJET

5. ETAT INITIAL DU SITE ET DE SON ENVIRONNEMENT : ETAT ACTUEL

5.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La région étudiée est située à l'extrémité orientale d'une vaste structure synclinale appelée « Synclinal de Beausset » (voir figure suivante). Les terrains sont constitués des formations datant du Crétacé supérieur : terrains argilo-gréseux moyennement perméables, voire marneux. Peu de sources n'émergent de cet ensemble.

Plus en profondeur, entre l'Aptien et l'Urgonien, on rencontre les calcaires urgoniens intensément karstifiés et constituant le plateau du Siou Blanc. Avec les dolomies jurassiques sous-jacentes, également karstifiées, un imposant aquifère karstique est constitué, donnant naissance à de nombreuses sources : les exurgences de Dardennes, les sources du Gapeau et celles sous-marines et Cassis et Port-Miou.

La vallée de Dardennes dont la direction générale va du nord au Sud, est dominée au Nord par un vaste plateau constitué par des calcaires urgoniens.

La coupe en long de la vallée montre qu'il existe en sous-sol, un fond de cuvette étanche constitué par des marnes néocomiennes imperméables, au-dessus desquelles règne sur une épaisseur variable le prolongement en profondeur du banc urgonien fissuré qui constitue le plateau et que recouvrent à leur tour, des couches épaisses, plus ou moins imperméables, de calcaires turoniens et de marnes aptiennes et cénomaniennes.

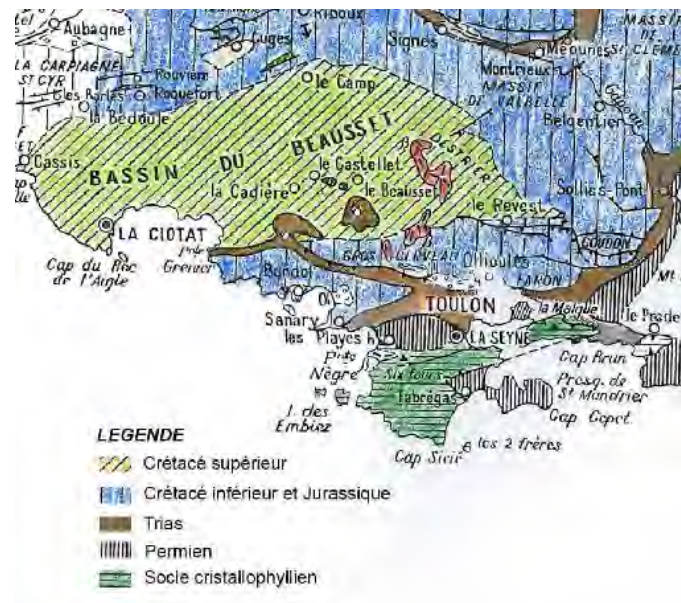
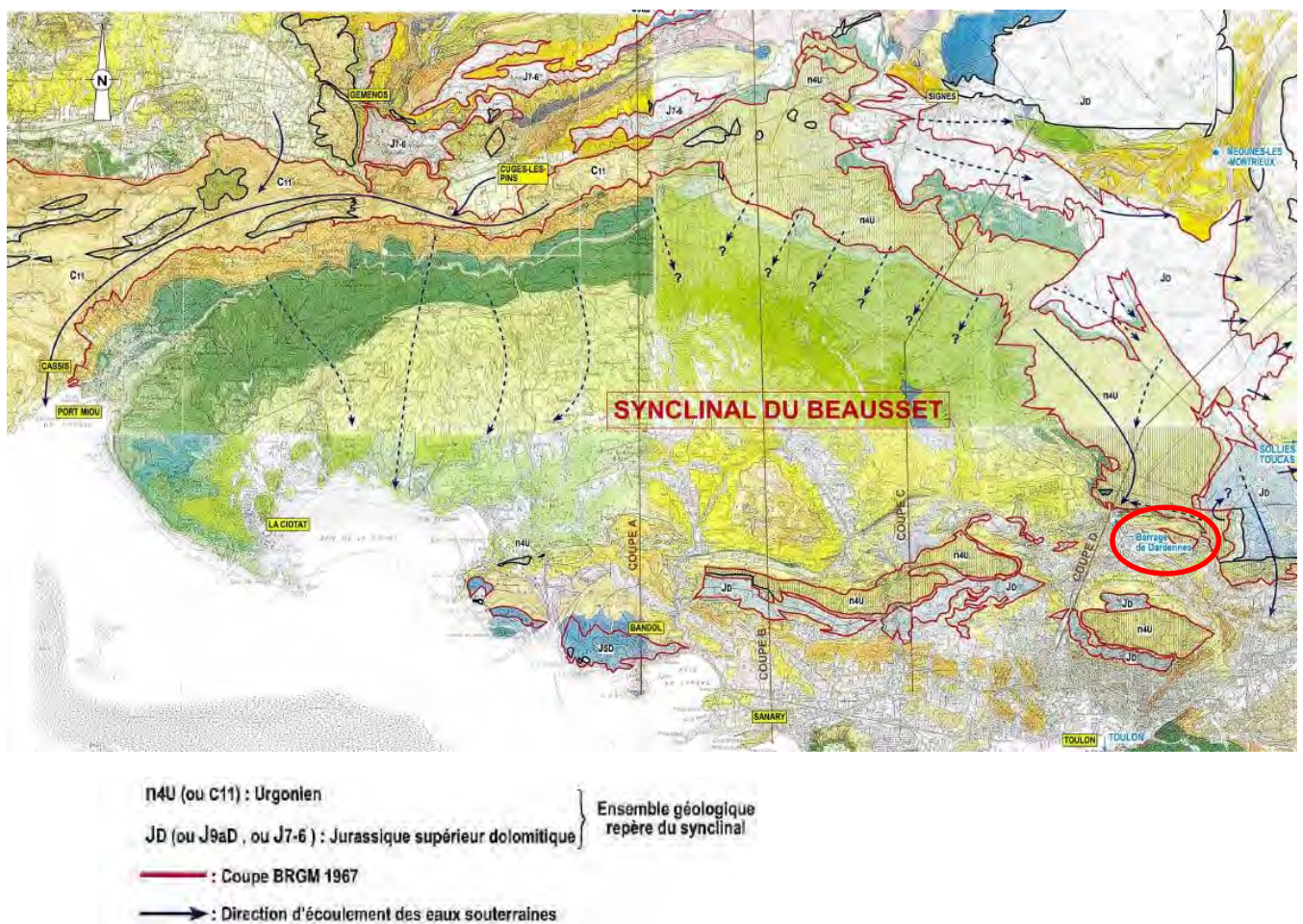
Le secteur de la retenue de Dardennes appartient à l'unité du Ragas, qui, avec les unités de Morières et de la Tête du Cade, constitue le plateau de Siou Blanc, lui-même appartenant à l'unité géologique du Beausset.

L'unité du Beausset est une unité monoclinale inclinée au SE, appartenant à la Basse Provence. Les terrains qui la composent s'étalent du Trias au Jurassique supérieur. Le cœur du Synclinal est occupé de terrains argilo-gréseux à marneux du Crétacé supérieur.

Cette unité est constituée de terrains s'étendant du Muschelkalk (Gapeau) au Turonien (Beausset), affectée par une tectonique mouvementée. Dans sa partie Sud, cette unité plonge sous le front de chevauchement des massifs Nord toulonnais (fig. 15).

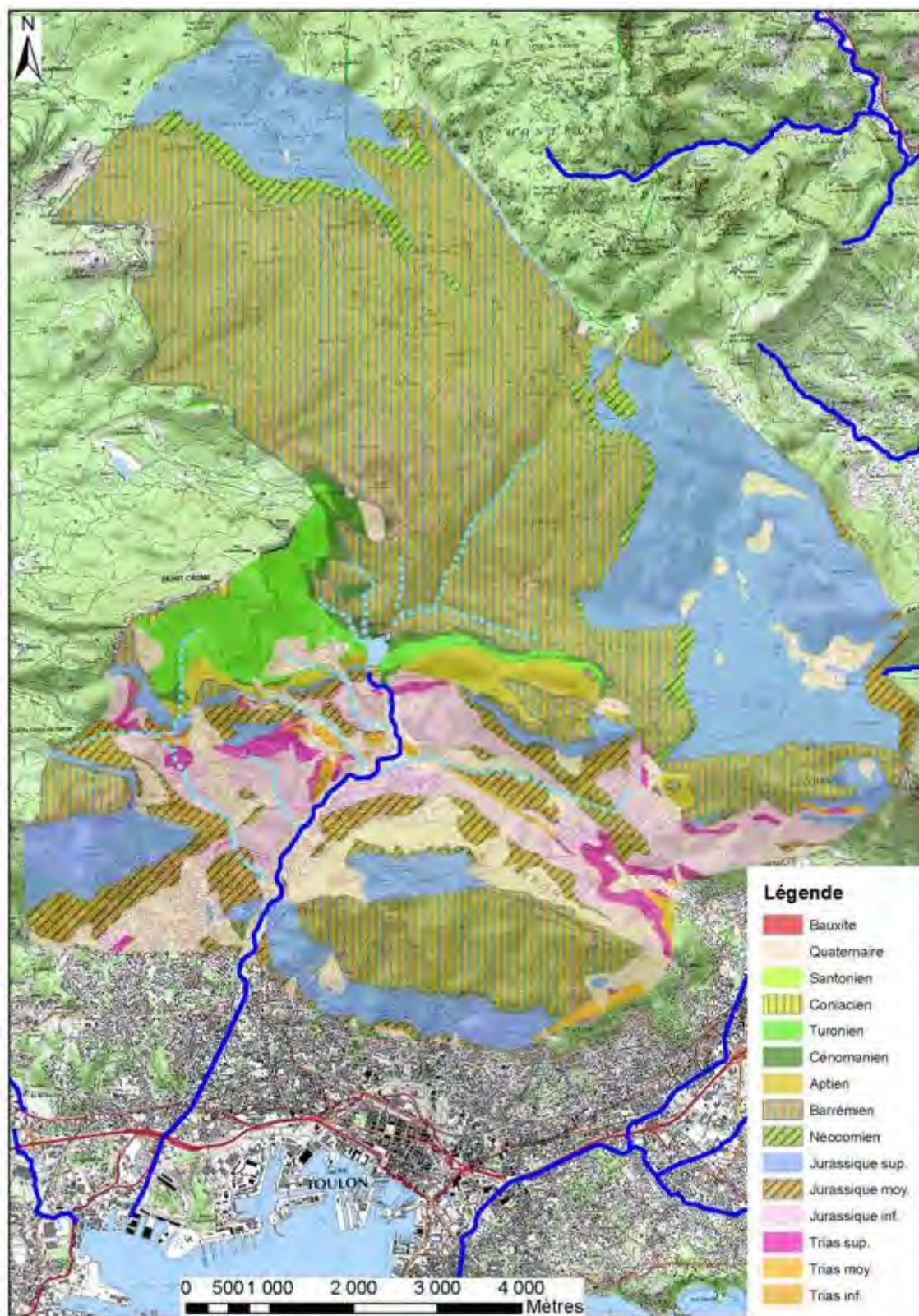
Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT**Fig. 8. Esquisse géologique de l'Unité du Beausset (J. Aubouin et G. Menessier, 1963)****Fig. 9. Schématisation des directions d'écoulement des nappes de l'Urgonien et des dolomies jurassiques (sources : Etude hydrogéologique, Burgeap, 2012)**

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT**Fig. 10. Carte géologique du bassin hydrogéologique étudié**

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT

Le tableau suivant est le complément de la légende cartographique permettant d'apprécier les différents faciès de roche associés aux différentes séries représentées sur la carte géologique :

Tabl. 1 - Correspondance entre les faciès de roche et les séries représentées sur la carte géologique

Faciès	Série
Eboulis, alluvions, colluvions et argiles de décalcification	Quaternaire
Grès et marnes sableuses	Santonien
Grès, calcaires à rudistes et marnes sableuses	Coniacien
Grès glauconieux, marnes sableuses et calcaires à rudistes	Turonien
Marnes gréseuses, grès et calcaires à rudistes	Cénomanién
Marnes et calcaires marneux à silex	Aptien
Calcaires à rudistes (faciès urgonien)	Barrémien
Calcaires, calcaires argileux et marnes	Néocomien
Dolomies et calcaires blancs	Jurassique sup.
Marno-calcaires et marnes	Jurassique moyen
Calcaires à silex et dolomies	Jurassique inf.
Calcaires en plaquettes, dolomies, argiles, gypse et cargneules	Trias sup.
Calcaires et dolomies	Trias moyen
Grès arkosiques à dragées de quartz	Trias inf.

5.2. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

5.2.1. Sources et Souterrain du Ragas

Comme indiqué précédemment, les formations géologiques présentant un réseau karstique plus ou moins développé sont celles de l'urgonien (calcaires) et du jurassique (dolomies). Le Siou Blanc est intensément fissuré et fait apparaître d'importantes galeries noyées. Des explorations spéléologiques ont été tentées mais la plupart des galeries en eau n'ont pas encore été atteintes. Il est apparu cependant que certains avens (cas par exemple de l'aven du Caveau, exploré en 2008), s'est développé au niveau d'une faille et que le niveau Berriasien constitue un horizon semi-perméable entre les calcaires de l'Urgonien et les dolomies jurassiques qui n'est traversé que difficilement.

La retenue de Dardennes est alimentée principalement par des résurgences de type vauclusien provenant des eaux d'infiltration dans le plateau karstique du Siou Blanc constitué essentiellement de calcaires urgoniens fissurés avec notamment la Foux de Dardennes et le Ragas.

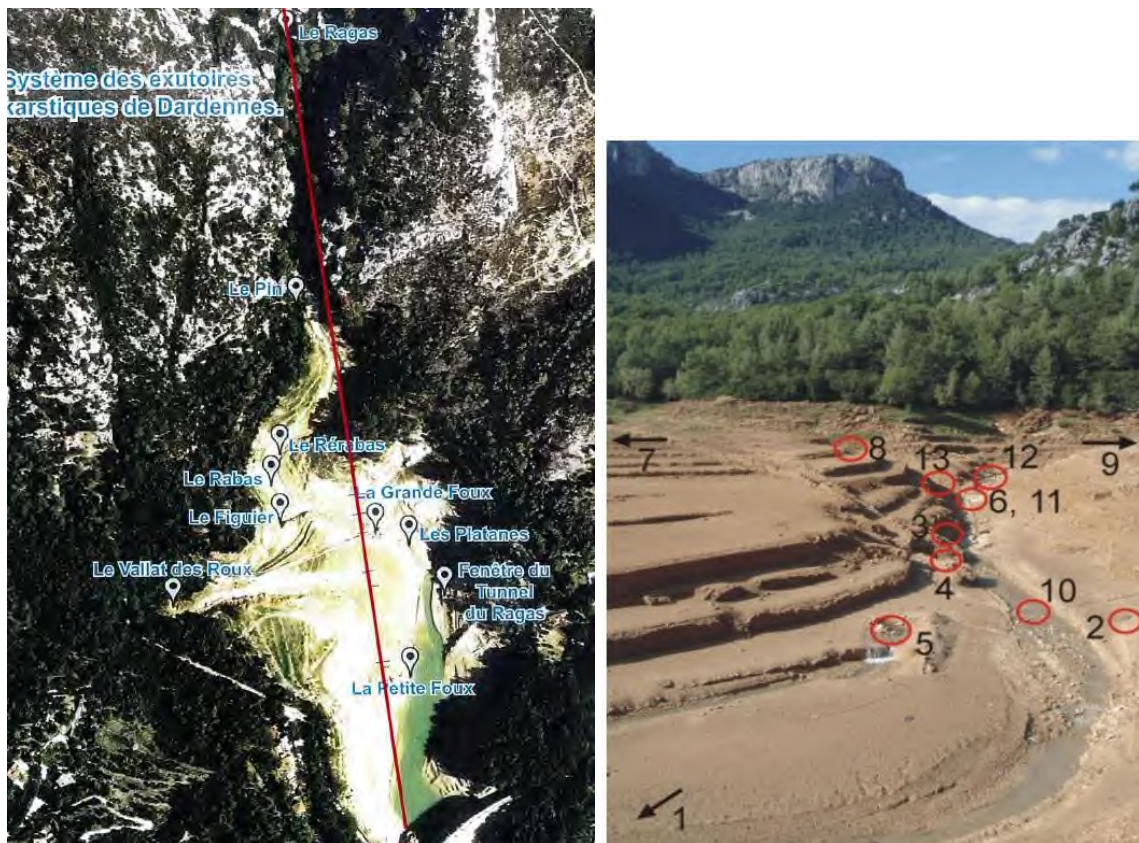


Fig. 11. Inventaire des sources à l'intérieur de la retenue (source : à gauche : Le Las, une rivière dans la ville, Paul Courdon ; à droite : Arfib, 2006)

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

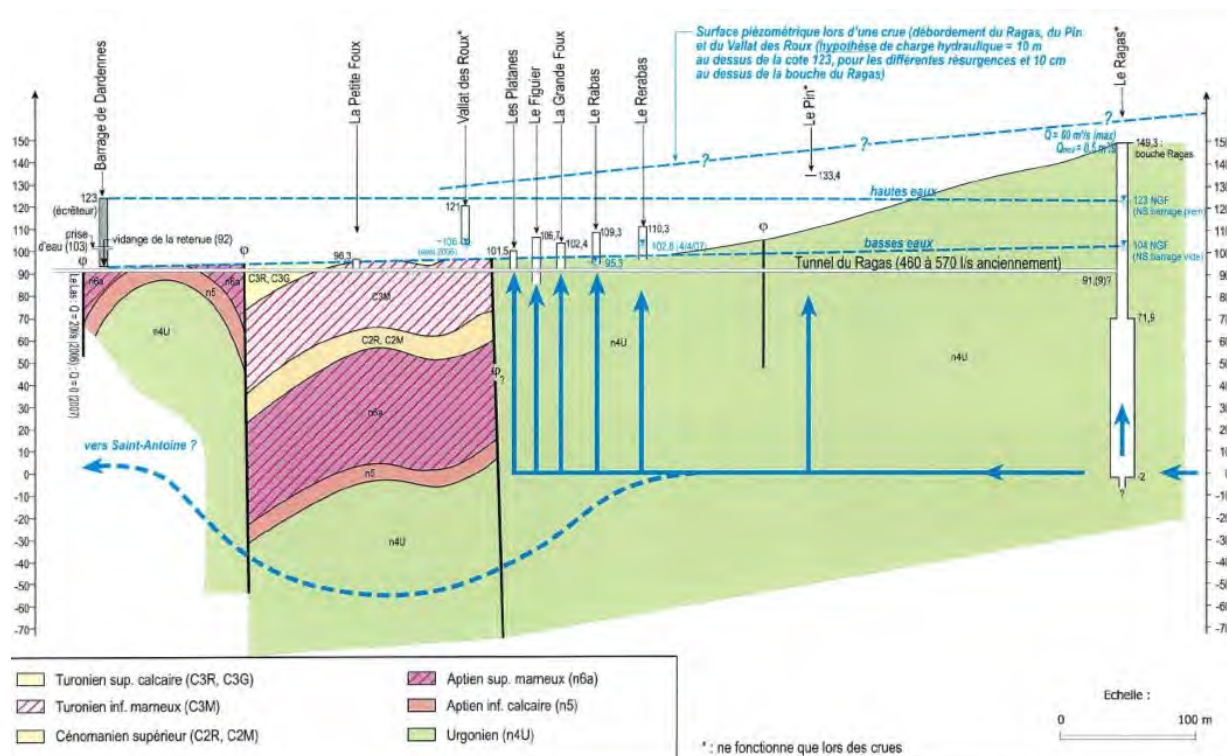
RAPPORT

Fig. 12. Schématisation des écoulements karstiques au droit du barrage de Dardennes (sources : Burgeap : étude hydrogéologique, 2012)

Le Ragas est un puits naturel qui ne déverse qu'en hautes eaux. Le trop plein de cette source se déverse dans la retenue en périodes pluvieuses. En effet, en cas de fortes précipitations, l'eau jaillit de plusieurs exutoires constituant un trop-plein du système karstique.

À noter que les eaux de ruissellement sur le bassin versant, à l'exception de celles qui proviennent du talweg amont, sont drainées par un canal de colature en pourtour de retenue et sont rejetées en aval du barrage.

Avant 1879, c'est-à-dire avant l'exploitation naturelle de la source du Ragas et de ses sources associées, le niveau de vidange du karst était de l'ordre de 96 mNGF. Le débit d'écoulement de cet ensemble d'émergences correspond à la vidange d'une tranche d'aquifère comprise entre un niveau haut et un niveau bas. Ces niveaux sont inconnus à ce jour.

Après 1879, l'exploitation de la source du Ragas par la galerie de captage abaisse la prise d'eau, le niveau de l'eau passe donc à 91 mNGF. La galerie pouvant être fermée, la tranche d'eau pouvant être exploitée correspond à la tranche située entre 91m et 96 mNGF.

Après la réalisation du barrage de Dardennes en 1912, le stockage en surface de l'eau peut atteindre la cote maximale de 123 mNGF. La tranche de nappe pouvant être exploitée est alors comprise entre 123 m et 96 mNGF correspondant aux deux niveaux extrêmes des barrages.

Le souterrain du Ragas qui servait à l'adduction en eau de la ville de Toulon a été envahi par les eaux de la retenue. Il a fallu poser une conduite permettant de d'isoler l'eau de la source afin de continuer à la puiser d'une part et d'obturer le souterrain afin de d'empêcher que les eaux de la retenue ne s'écoulent par la tête aval. En même temps que la canalisation, un bouchon en maçonnerie d'une épaisseur de 10 mètres a été réalisé à 193 m de la tête aval, des suintements importants ont été observés lors de la mise en eau, c'est pourquoi un second bouchon a été réalisé au pied du puits Paul, ce dernier s'est avéré étanche par la suite.

5.2.2. Pertes du Las

Des pertes du Las ont été mises en évidence au niveau du barrage des trois martelières ainsi qu'entre le hameau de Dardennes et du Pont Saint-Pierre. Des écoulements « sourds » se produisent également sous le lit du Las. Les eaux du Las s'infiltrent dans le lit de cours d'eau ce qui crée des variations de débit importantes selon les endroits.



Fig. 13. Pertes sur le linéaire du Las (source : Le Las, une rivière dans la ville, Paul Courdon)

Ces échanges se font avec l'aquifère karstique alimentant notamment la source de Saint-Antoine très probablement à la faveur des joints de stratification des marno-calcaires Bathonien qui constituent le substratum du Las. La photographie suivante permet d'illustrer ces joints de stratification :



Fig. 14. Joints de stratification élargis des marno-calcaires du Bathonien - Lit du Las à l'aval du seuil

Les pertes par infiltration du Las ne sont pas toutes connues avec certitude. Certaines de ces pertes ont en partie été explorées par les équipes de l'association SpéléH2O : le croquis suivant présente une perte identifiée au niveau de Dardennes, en face du terrain de boules :

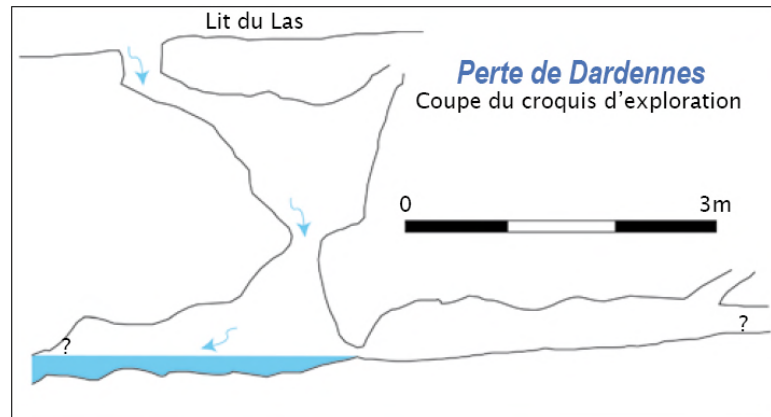


Fig. 15. *Croquis d'exploration d'une perte du Las identifiée au niveau de Dardennes (Le Las : une rivière dans la ville, Val d'As)*

Des exurgences viennent par endroit gonfler le débit du Las. Celles-ci peuvent être interprétées comme les résurgences d'un écoulement souterrain du Las, ou comme des sources. L'état des connaissances ne permet pas de présumer d'un fonctionnement plutôt que d'un autre, bien que les éléments d'explorations fassent apparaître des galeries d'écoulements rapides sous le lit du Las. Par ailleurs deux sources viennent alimenter le Las : la source de la Baume de Dardennes, et la source de Saint-Antoine.

Des pertes d'eau dans le lit du Las sont mentionnées depuis le barrage des Trois Martelières, et en particulier entre le hameau de Dardennes et la Valtière Saint-André où une exurgence est identifiée. Sur ce secteur du fleuve, des pertes et des exurgences sont identifiées par l'association du Val d'As. Pour autant, des points ou secteurs d'infiltration peuvent exister ailleurs sur le parcours du Las.

La carte en page suivante présente les principales sources évoquées et le secteur privilégié d'infiltration.

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

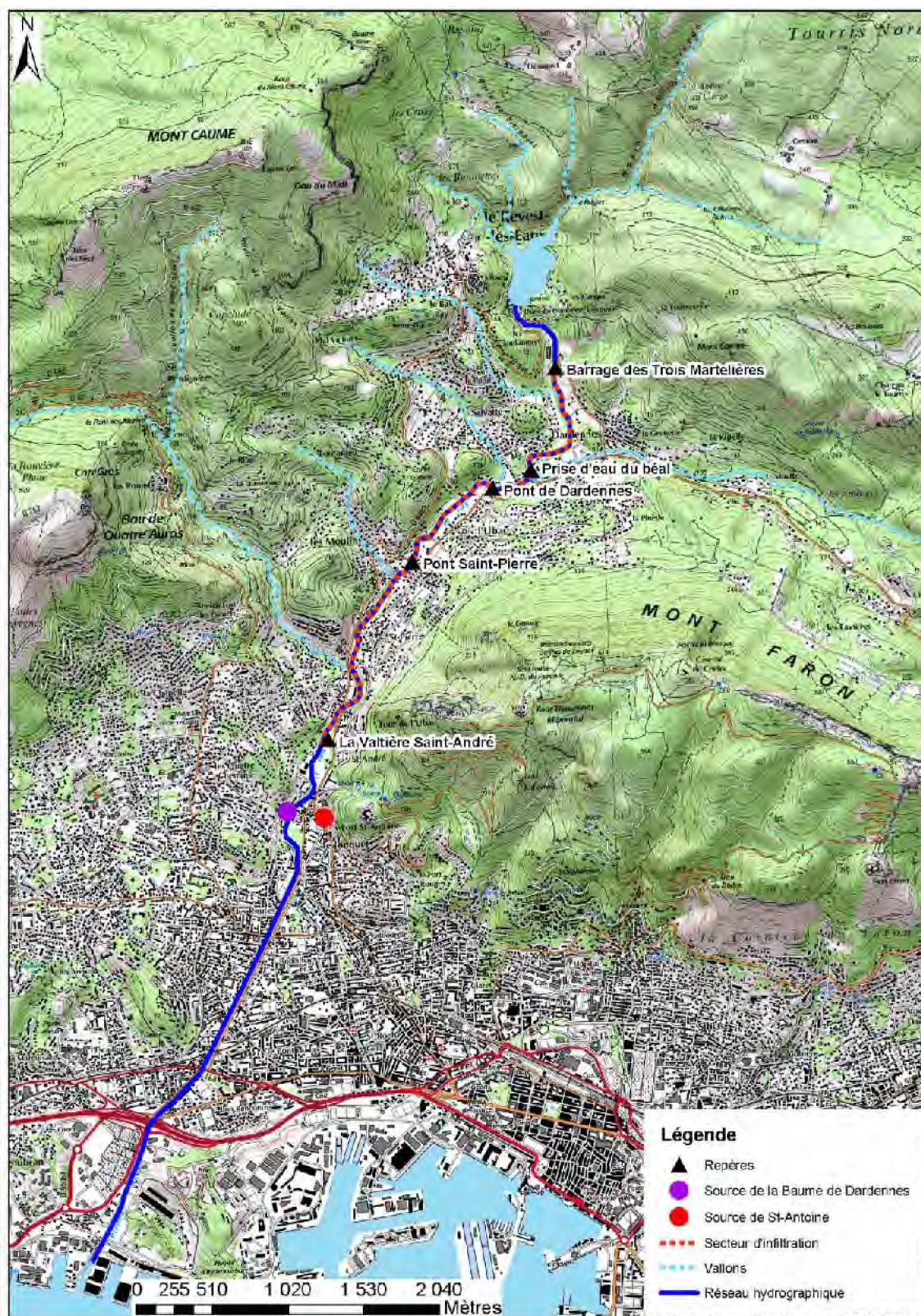
RAPPORT

Fig. 16. Présentation du Las et des secteurs où sont localisés les principaux foyers de pertes recensés (IGN)

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT

Dans le cadre d'une campagne de jaugeage sur le Las et de traçage artificiel de caractérisation des pertes du Las à Dardennes (réalisées en janvier et juin à août 2015), il apparaît clairement une relation hydraulique souterraine avec la source de St Antoine.

Le traçage artificiel a été réalisé le 12/06/15-10h37 dans la perte du Las à Dardennes alors que le Las et la source Saint Antoine étaient en étiage avec un débit égal à 20 l/s (pour le Las) et 100 l/s (pour Saint Antoine) au jour de l'injection. Les pluies sur la période du 12 au 14/06/15 ont perturbé la restitution par une petite crue (500 l/s à Saint Antoine) et une turbidité conséquente sur la période du 13 au 15/06/15. La fluorescéine a été détectée après les crues, le 16/06/15 au soir avec un débit de l'ordre de 100 l/s, puis 50 l/s en fin de période de surveillance (du 16 au 26/08/15).



Fig. 17. Injection de fluorescéine dans la perte de Dardennes (lit du Las) lors de l'opération de traçage de 2015



Fig. 18. Suivi au niveau de la perte lors de l'opération de traçage de 2015

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

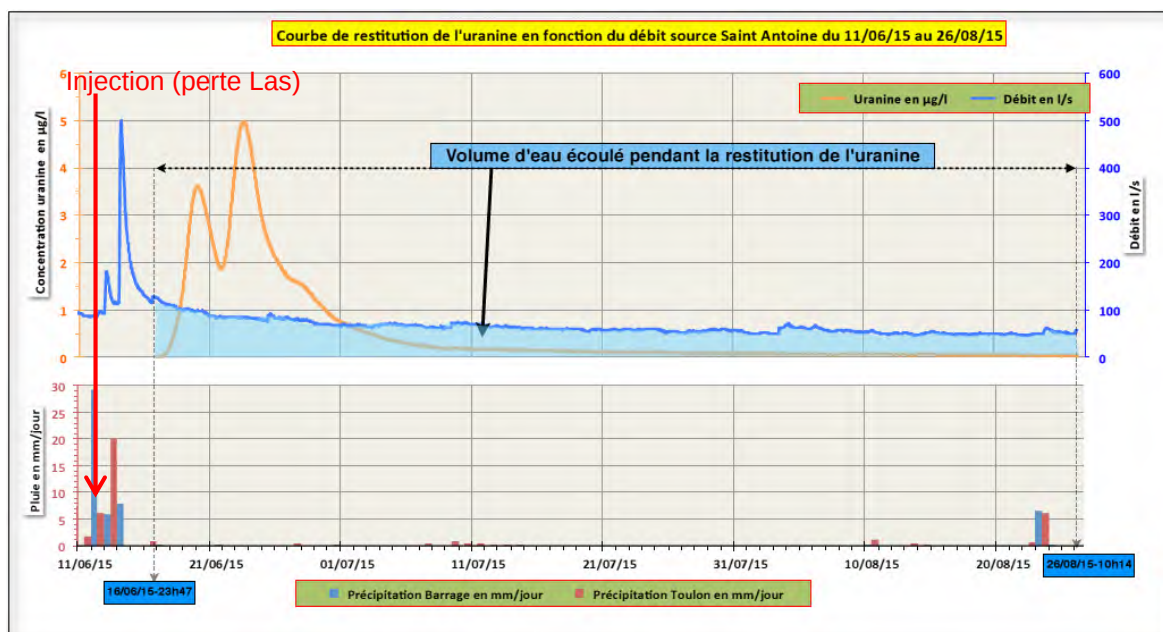
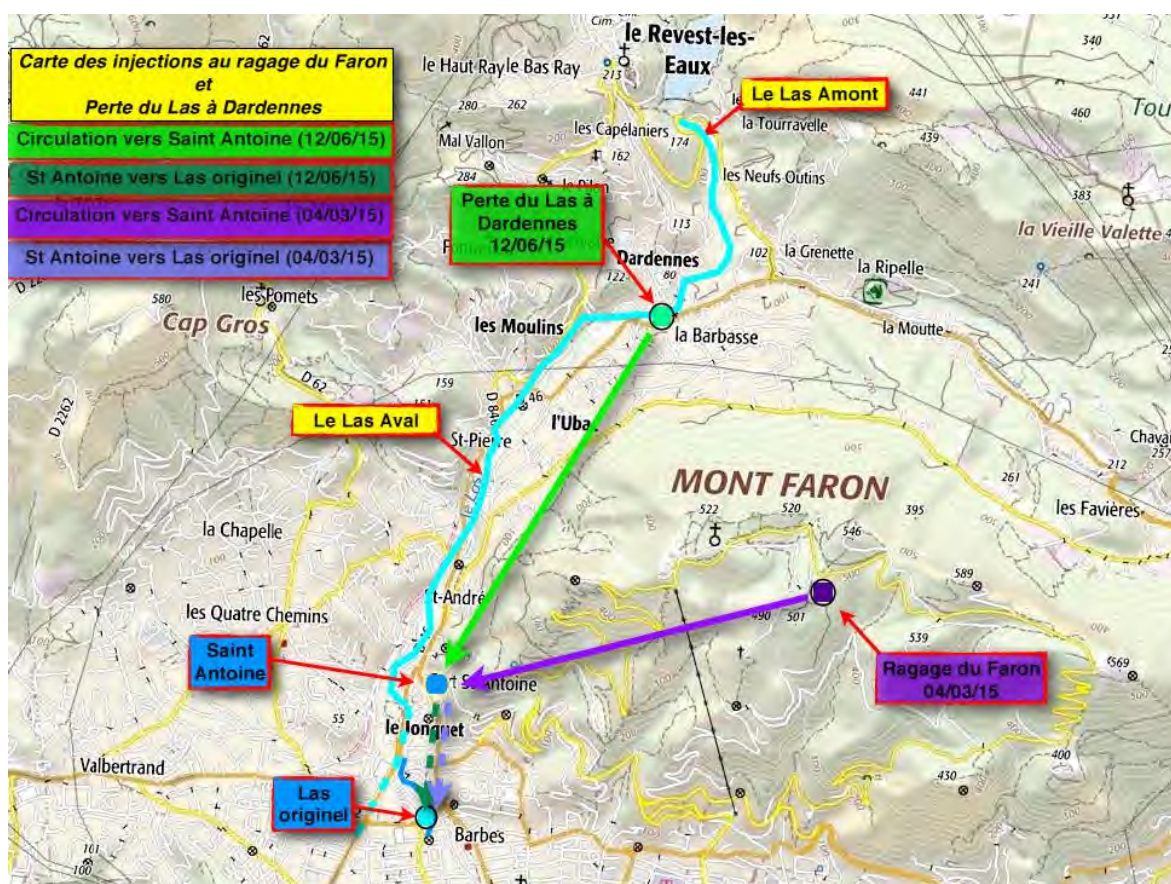
Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT**Fig. 19. Observations des débits sous les ponts lors de l'opération de traçage de 2015****Fig. 20. Observations des débits à la source de Saint Antoine lors de l'opération de traçage de 2015**

Les précipitations du 12 et 13/06/15 ont fait fluctuer le débit de Saint Antoine entre le 13 et 16/06/15, sans pour autant influencer la conductivité électrique. Par contre, celle-ci évolue entre le 16 et 17/06/15, passant de 630 à 616 $\mu\text{S/cm}$. Une arrivée d'eau turbide apparaît à la source dès le 15/06/15.

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT**Fig. 21. Graphiques de synthèse de la campagne de traçage réalisée en 2015****Fig. 22. Carte de synthèse de la campagne de traçage réalisée en 2015**

5.3. HYDROLOGIE

5.3.1. Pluviométrie

La commune du Revest bénéficie d'un climat méditerranéen aux étés chauds et secs et aux hivers doux. La pluviométrie est particulièrement marquée en automne et en hiver. Des précipitations très importantes peuvent saturer le sol en quelques heures.

Tabl. 2 - Analyse des précipitations mensuelles moyennes sur la période 1968 à 2008 (d'après données brutes Véolia)

	Moyenne mensuelle	Minimum mensuel	Maximum mensuel
Janvier	84	0	300
Février	67	0	364
Mars	59	0	146
Avril	75	2	280
Mai	78	7	273
Juin	41	4	172
Juillet	24	0	110
Août	47	0	177
Septembre	84	0	296
Octobre	116	3	447
Novembre	96	0	310
Décembre	92	0	229

Les automnes et les hivers sont les périodes pendant lesquelles les précipitations sont les plus abondantes. Octobre est le mois de plus forte précipitation (116 mm en moyenne) et juillet est le mois le plus sec (24 mm en moyenne).

Les précipitations moyennes annuelles présentent une variabilité interannuelle très importante. De 1968 à 2014, elles ont variées du simple au triple (432 mm en 2007 et 1492 mm en 1976). De 2008 à 2014, les précipitations ont varié de 676 mm/h (2012) à 1183 mm/h (2014). Entre 1968 et 2014, la valeur moyenne interannuelle est estimée à 891 mm.

Le vent dominant est le mistral mais les vents d'Est ou Sud-Est, moins fréquents, peuvent être tout aussi violents et sont souvent accompagnés de précipitations.

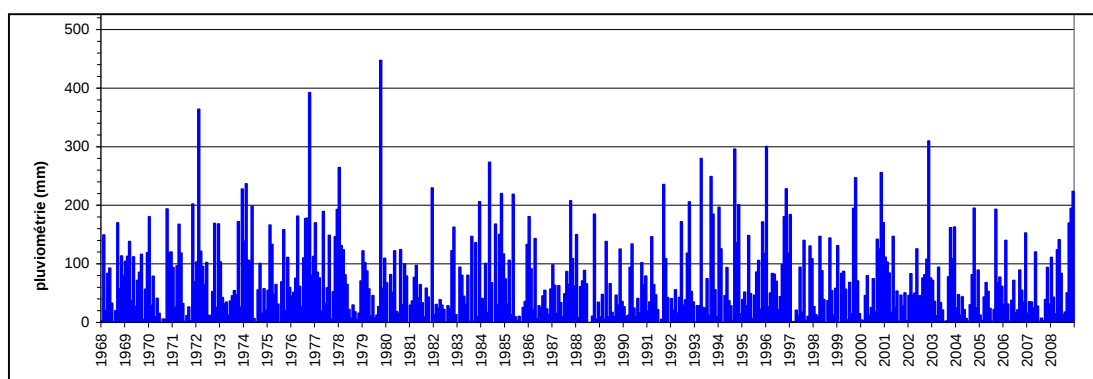


Fig. 23. Précipitations mensuelles mesurées entre 1968 et 2008 (Données brutes Véolia)

5.3.2. Bassin versant du Las

Le bassin d'alimentation de la retenue de Dardennes est constitué d'un petit bassin versant topographique (11 km²) et d'un important bassin souterrain dont les limites sont moins connues.

Les limites supposées de ce bassin géologique sont :

- Au Nord, la dépression de Signes que domine la cuvette de la Limate,
- A l'Ouest, le contact Urganien / Turonien au niveau des Bigoureux
- A l'Est, la grande faille orientée Nord-Ouest / Sud-Est passant par la Citerne Neuve
- Au Sud Est, la plaine des Selves limitée par le Coudon.

Les surfaces des bassins versants géologiques et topographiques retenues dans la suite de l'étude sont issues de l'étude hydrologique de Dardennes (Sogreah, 2010). Le bassin d'alimentation de la retenue comprend un bassin géologique de 45 km² et un bassin topographique de 11 km² (voir figure ci-dessous).

À noter que l'étude Burgeap de 2012 évalue la superficie du bassin versant géologique de Dardennes à 36km², plus, éventuellement, 6 km², soit une taille de bassin versant légèrement inférieure à celle prise en référence jusqu'alors.

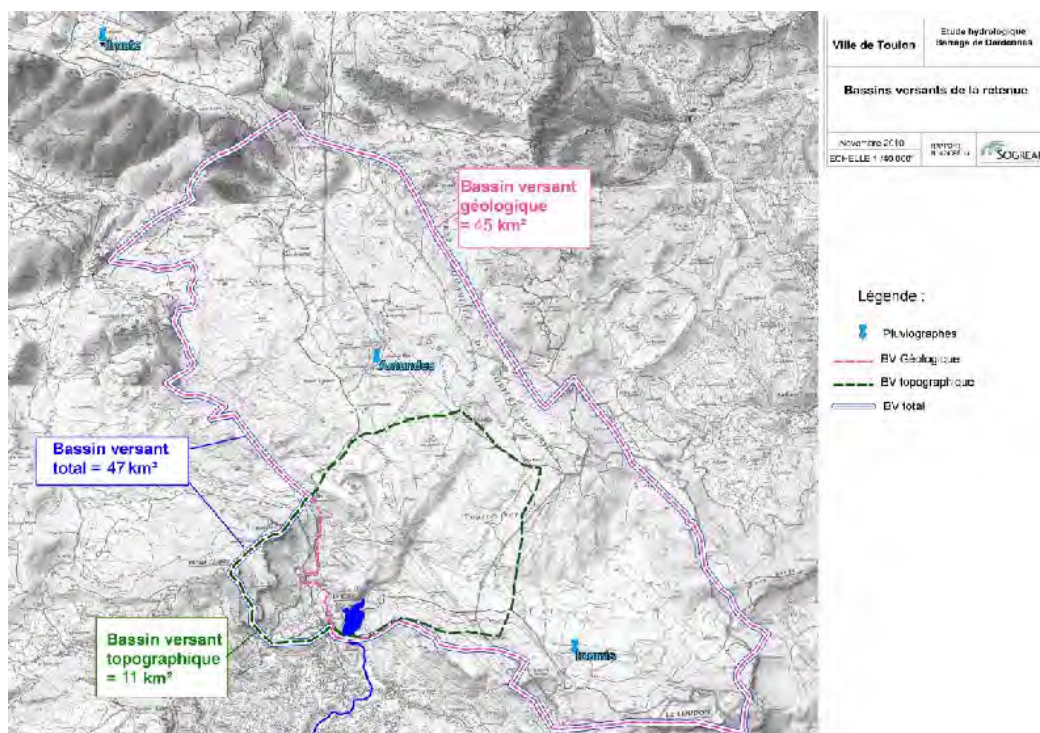


Fig. 24. Représentation des bassins versant géologique (en rose) et topographique (en vert) qui alimentent la retenue de Dardennes (Sogreah 2010)

De par la configuration géomorphologique du Plateau de Siou-Blanc et son caractère karstique, les eaux de surface sont très peu représentées. En effet, les ruisseaux ou ravins matérialisant des failles et des ruptures de pente sont à secs sauf lors d'évènements pluvieux intenses. De nombreux thalweg sont des vallées sèches ce même en période pluviale le ruissellement est faible et une grande partie des eaux de pluie s'infiltrent à travers les fissures de la roche en place.

Le bassin versant hydrologique du Las est représenté sur la figure ci-dessous.

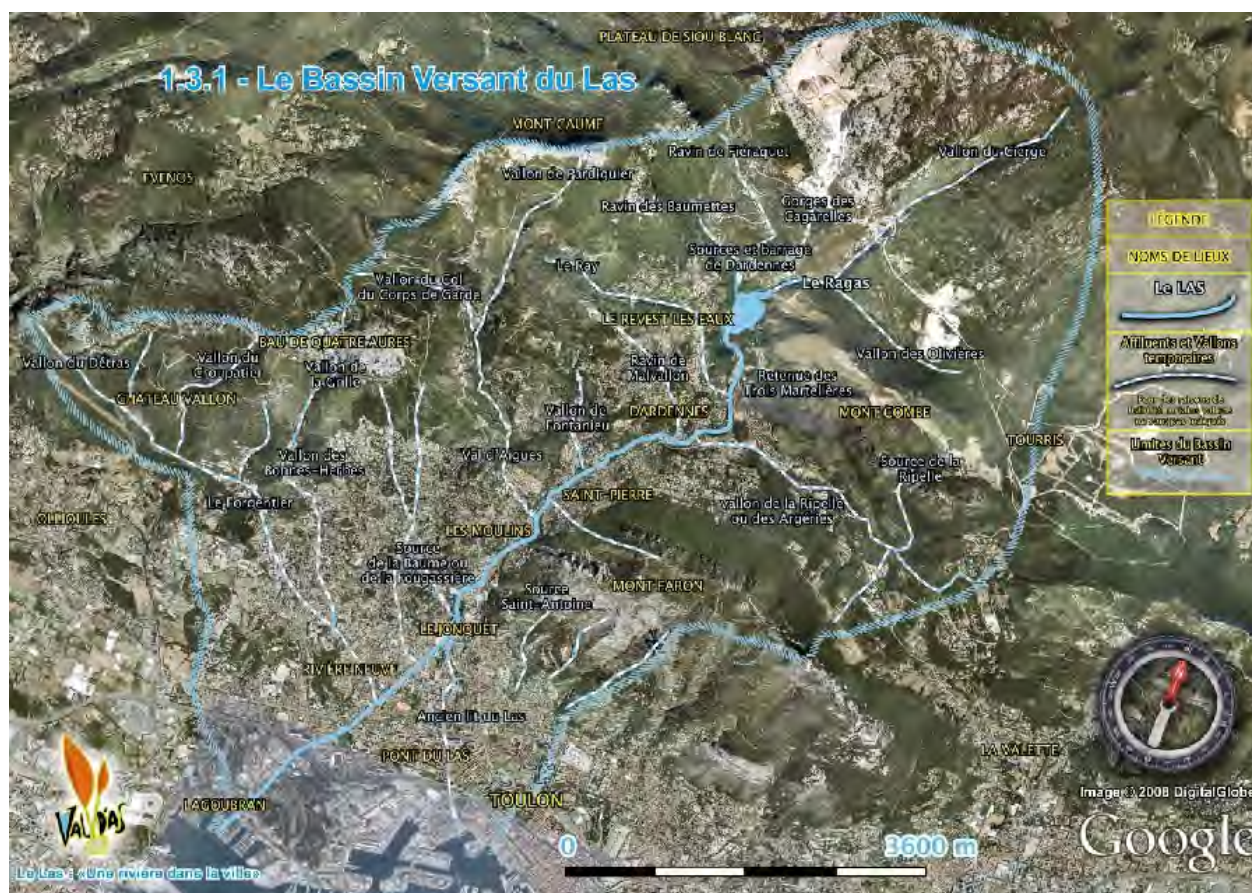


Fig. 25. Le bassin versant du Las (Val d'As)

La création de la retenue sur les sources du Las a engendré la création d'un milieu aquatique artificiel ayant pour fonction le stockage pour la production d'eau potable. La retenue a une influence majeure sur l'écoulement du Las et entretient une fonction d'écêtement des crues du Las.

5.3.3. Le Las avant construction du barrage

5.3.3.1. LE LIT DU LAS (SOURCE : LE LAS : « UNE RIVIÈRE DANS LA VILLE »)

Le tracé du Las a été modifié à deux reprises au cours de l'histoire. En 1643, la communauté de Toulon pour « obvier aux inondations » et « aux ravages » que les eaux du Las occasionnaient au terroir, décide de leur donner un nouveau lit.». À nouveau à la fin du 17^e siècle où sous la direction de Vauban fut décidé l'agrandissement de l'Arsenal de Toulon. Il fallut, dans la crainte de voir la petite rade se combler sous l'apport incessant de vases, de sables et graviers, envisager un nouveau détournement de la rivière du Las, ou tout au moins en partie, c'est-à-dire à son embouchure.

Vauban fit construire, au quartier du Jonquet, une écluse, dite de Rodillat. Il traça un nouveau lit au Las et le fit déboucher entre la plage de Lagoubbran et l'île de Milhaud. La partie du Las, à partir du quartier du Jonquet prit le nom de Rivière Neuve qui lui est resté.

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT

La digue construite aux frais du Roi, fut détruite plusieurs fois, notamment en 1743* (incohérence dans le texte original 1743 ou 1746 ?) et 1764 par la violence du courant du Las.

Par la construction de cette digue, la partie inférieure du torrent qui forme l'ancien lit, ne fut pas entièrement délaissée parce qu'une partie de l'eau venant de la source des Vaux et des diverses autres sources et écoulements d'eau se jetaient dans le torrent, passaient dans un canal servant à faire tourner un moulin existant autrefois un peu plus bas que le pont de Rodeilhac.

L'ancien lit recevait le surplus des eaux de ce canal, et aussi celui du Béal, puis, au moment des orages, les eaux qui débordaient de la digue Vauban.

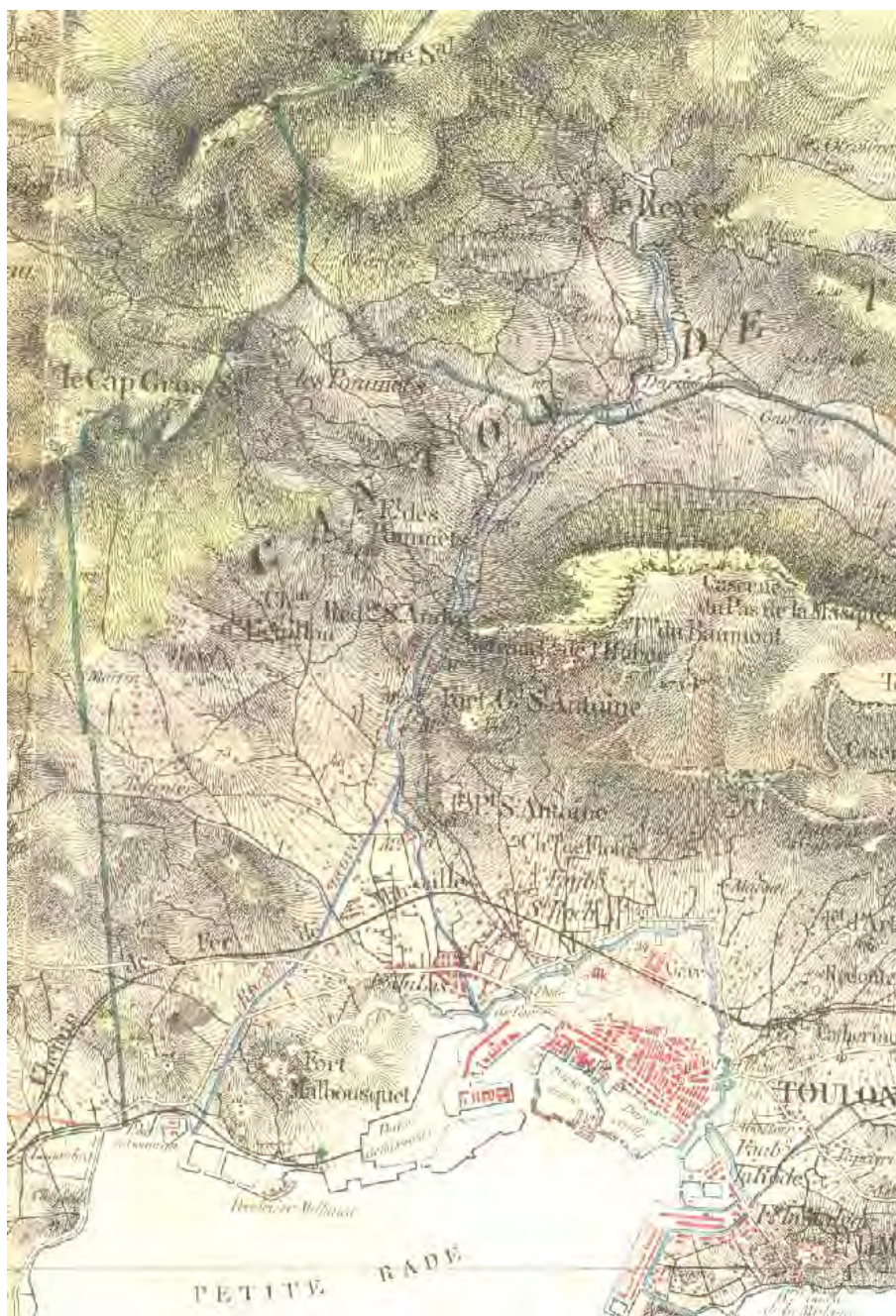


Fig. 26. Carte de l'état-major (1820-1866)

5.3.3.2. ALIMENTATION DU LAS AVANT LA CONSTRUCTION DU BARRAGE

Avant la construction du barrage, le Las était alimenté à l'amont par les sources du Ragas, mais aussi des vallons suivants :

- le ravin du Cierge et des Olivières, affluents en rive gauche au thalweg du Ragas,
- le ravin du Ragas, affluent en rive droite au thalweg du Ragas,
- le ravin de Fiéraquet,
- le ravin des Baumettes

Depuis la construction de la retenue de Dardennes, celle-ci reçoit les eaux des sources du Ragas, des ravins du Cierge et des Olivières et du ravin du Ragas.

Le ravin de Fiéraquet et le ravin des Baumettes débouchent dans le fossé de colature de la retenue en rive droite et rejoignent le Las en aval de la retenue. Le fossé de colature donne un débit de 200 l/s en moyenne lors des fortes pluies. (Source : *le Las* : « Une rivière dans la Ville »).

5.3.3.3. DÉBIT DU LAS AVANT LA CONSTRUCTION DU BARRAGE

Le débit du Las en aval de la source du Ragas avant la construction du barrage devait être équivalent au débit des sources estimé dans l'étude du débit plancher des sources (étude ARTELIA 2013). Le module interanuel du Las estimé à partir du modèle pluie-débit à réservoirs (voir §5.3.6) sur la durée des chroniques de pluie disponibles, soit du 1^{er} avril 1995 au 31 octobre 2012, donne un débit de 450 l/s, avec une variabilité très importante en fonction des saisons.



Fig. 27. Photographie du Las avant la construction du barrage (source : *Le Las : une rivière dans la ville*)

5.3.4. Écoulement de l'eau dans le Las à l'état actuel

Le Las naît au pied du barrage de Dardennes. Le débit dans le Las fluctue en fonction des saisons, des rejets de l'usine de traitement d'eau de Dardennes et des fuites du barrage. Quelques résurgences situées dans le lit l'alimentent, ainsi que les ravins de Fiéraquet, des Baumettes et du Ray en cas de pluie.

Au niveau du seuil de Dardennes, l'eau est déviée au profit du vieux Béal qui, selon les saisons, capte la totalité du débit du Las. Cela implique, en aval du seuil, des zones d'assecs importantes en période d'étiage estival ou hivernal.

Toutefois, les fuites du Béal permettent au Las de retrouver un certain écoulement sur le tronçon situé entre Dardennes et le pont de la place Louis Charry.

Sur le tronçon localisé entre le pont Charry et la rivière couverte, plusieurs sources alimentent le Las, ainsi que plusieurs vallons (voir §5.2.2).

5.3.5. Débit d'étiage du Las dans l'état actuel

Au pied de la retenue, le Las n'est alimenté que par les fuites du barrage et l'eau de lavage des filtres de l'usine de traitement de Dardennes. Le débit fluctue en fonction des saisons, du niveau d'eau dans la retenue et des rejets de l'usine de traitement.

En aval, les variations de débit observées le long du parcours du Las ont pour origine le régime d'écoulement du cours d'eau (dont une partie des eaux s'infiltrant dans le lit), les prélèvements et les apports des affluents.

À une époque, les eaux du Las étaient déviées dans un Béal qui alimentait la ville. Aujourd'hui le cours d'eau en surface est pratiquement asséché à l'aval direct de la prise d'eau du Béal, qui reçoit la majeure partie du débit du Las à certains moments de l'année.

Les photographies suivantes présentent le seuil qui alimente la prise d'eau du Béal et le lit du Las à l'aval de ce prélèvement :



Fig. 28. Le seuil du Béal

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT



Fig. 29. *Vues du Las à l'aval du seuil*

Une campagne de jaugeage a été réalisée à l'automne 2006 par l'association Val d'As et la Maison Régionale de l'Eau. Une estimation des débits en décembre 2007, année de forte sécheresse, a été réalisée par l'association Val d'As.

À l'automne 2006, le débit mesuré à l'aval de la retenue était d'environ 20 l/s. Du barrage au seuil de Dardennes, le débit fluctue tout en oscillant entre 14 et 32 l/s et sont dues à des pertes dues à des changements géologiques (au niveau du barrage des Trois Martelières, présence d'un socle calcaire avec de nombreuses strates fortement inclinées).

Au seuil de Dardennes, la prise d'eau du Béal capte une quantité d'eau très importante (17 l/s) ne laissant qu'un maigre filet d'eau pour la rivière (1 l/s).

En aval du seuil (au niveau de la cascade de Dardennes), une arrivée d'eau importante de provenance non certaine (résurgence ou arrivée d'eau souterraine) réalimente le cours du Las (11 l/s).

Du hameau de Dardennes jusqu'à la Valtière Saint-André, la rivière présente des assecs périodiques. L'eau se perd en souterrain (Pont Saint-Pierre 3 l/s) pour réapparaître au niveau de la Valtière Saint-André (3 l/s). Sur cette distance, les fuites du Béal permettent à la rivière de revivre un cours instant (fuite du canal et de l'aqueduc) car l'eau est aussitôt absorbée par le lit du Las.

Le débit du Las va augmenter rapidement, grâce à l'apport d'eau des sources de la Baume de Dardennes (21 l/s) et de la source de Saint-Antoine (22 l/s) préservant la rivière des assèchements. À noter des arrivées d'eaux souterraines occultes entre la fin de la Rivière Couverte et le Pont des Gaux (10 l/s) ainsi qu'au niveau du pont de la Pyrotechnie Maritime (7 l/s) assurant à la rivière un débit acceptable.

En 2007, à la même période, le débit observé en aval du barrage était nul, ainsi que sur plusieurs autres points de mesure sur le Las.

Quelques résurgences situées dans le lit l'alimentent entre le barrage et le seuil de Dardennes. Ainsi, le Las coule paisiblement jusqu'au hameau de Dardennes. Au seuil de Dardennes, la prise d'eau du Béal capte dans les deux cas la totalité de l'eau du Las.

En 2007, le cours d'eau est à sec entre le hameau de Dardennes et la Valtière Saint André.

Les débits issus des estimations et de la campagne de jaugeages réalisée par l'association Val d'As sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT**Tabl. 3 - Débits d'étiage du Las et de ses affluents**

Station	Débit en l/s 2006	Débit en l/s 2007	Points GPS	Vitesse en m/s
Fuites de la	20	0	B01	0,09
Les Trois	14	1	B05	0,067
Le Platane	32	2	B07	0,145
Les deux pompes	24	3	B11	0,014
Amont Salle-Verte	19	8	B16	0,147
Maison vitrée	18	8	B18	0,011
Prise du Béal de Dardennes	17	8	B01	0,066
Cascade	1	0	D01	
Dardennes	11	10	D01	0,015
Pont Saint-Pierre	3	0	D17	0,006
Perte - D18	0	0	D18	
Fuite Béal	3	0	D21	
Perte - D22	0	0	D22	
Fuite aqueduc	5	0	D24	
Pont Charry	0	0	D25	
Pont des Moulins	0	0	PC06	
Valtière Saint-	3	3	PC08	0,022
Pont de la Résidence de la Baume	5	5	PC15	0,033
Amont B	11	non estimé	PC18	0,032
Aval B. Dardennes	32	non estimé	PC20	0,063
Aval Saint-Antoine	54	non estimé	Rivière Couverte	0,141
Fin Rivière	58	non estimé	PB03	0,206
Pont des Gaux	68	non estimé	PB06	0,1
Dégrilleur Arsenal	75	non estimé	PB14	0,083
Marge d'erreur + ou - 10 %				



5.3.6. Débits moyens des sources (module) ou débit naturel du Las

La détermination du débit moyen des sources, ou module, a fait l'objet d'une étude spécifique réalisée par ARTELIA en 2013. Une synthèse de l'étude est présentée ci-dessous, l'étude complète est jointe en Annexe.

Dans le cas du barrage de Dardennes, aucune chronique de débits n'est disponible en amont ou aval de la retenue. Par ailleurs, la particularité du bassin versant hydrogéologique de Dardennes ne permet pas d'établir facilement une corrélation avec un bassin versant de géologie et climatologie voisin. L'étude de définition du débit réservé du Las en aval de la retenue de Dardennes a nécessité la détermination du Débit moyen interannuel du cours d'eau.

Le débit moyen a été estimé selon deux méthodes :

- La reconstitution de la chronique des débits entrants suivant le principe de bilan hydrologique
- La réalisation d'un modèle Pluie-Débit

5.3.6.1. MÉTHODE DU BILAN HYDROLOGIQUE

La méthode d'estimation du débit par le bilan hydrologiques est une méthode efficace à partir du moment où les données d'entrée sont fiables. Le principe est d'estimer le débit des sources (débit entrant dans la retenue) à partir de la variation du volume d'eau dans la retenue et en connaissant le débit sortant de la retenue.

L'équation de base est de la forme :

$$\text{Volume entrée} = \text{Variation du volume de la retenue} + \text{Volume sortie}$$

Le volume en entrée est composé :

- Du volume d'eau issu des sources karstiques (dont le Ragas)
- Du volume d'eau issu des pluies (ruissellement)

Le volume en sortie est constitué de :

- Du volume d'eau prélevé sur l'usine de Dardennes
- Du volume d'eau restitué par les fuites du barrage
- Du volume d'eau évaporé
- Du volume évacué par l'évacuateur lorsque le niveau dépasse la cote du seuil.

Un schéma de fonctionnement du bilan hydrologique est présenté ci-dessous :

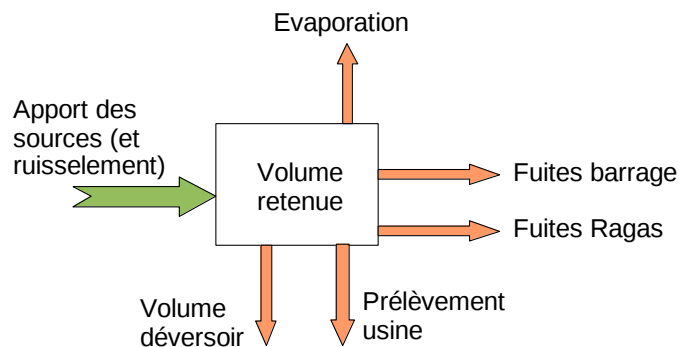


Fig. 30. Schéma de fonctionnement du bilan hydrologique

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT

La connaissance de chaque terme du bilan permet donc d'estimer le débit entrant journalier. Les données d'entrée ont été recueillies auprès de Veolia Eau (côte de la retenue, prélèvements pour l'usine de Dardennes, fuites au niveau du barrage, pluies journalières à la station de Dardennes). Les données d'évapotranspiration potentielle proviennent de Météo France (station de Toulon).

La moyenne interannuelle de débit des sources alimentant la retenue de Dardennes est évaluée à **427 l/s sur la période de 1989 à 2009 et 440 l/s sur la période 1995 à 2009**. Les valeurs moyennes mensuelles sont présentées dans le tableau 1, ces moyennes sont calculées pour les années 1989 à 2010.

Tabl. 4 - Moyennes mensuelles de débit des sources de Dardennes

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Débit Sources (l/s)	926	500	394	452	348	213	132	118	190	454	711	751

Cette méthode d'évaluation des débits a montré des faiblesses :

- Mise en évidence d'un module anormalement élevé pour les années 2010 et 2011 par rapport au cumul de pluie annuel qui pourrait s'expliquer par une source d'imprécision de mesure de côte d'eau de la retenue. De ce fait, les années 2010 et suivantes n'ont pas été prises en compte pour l'évaluation du module interannuel
- Incertitudes liées à la surverse : on observe que la contribution du débit de surverse au débit total des sources est très importante, et ce en particulier les années pluvieuses. Le débit de surverse représente en moyenne 30,4% du module annuel des sources sur la période 1989 – 2009. Une incertitude sur le débit de surverse du fait par exemple d'imprécisions de mesure de la côte de la retenue et de la relation hauteur-débit du déversoir peu avoir un effet non négligeable sur l'évaluation du module. En effet, une incertitude de 20% du débit de surverse, qui représente lui-même 30,4% du débit total, implique un écart de plus ou moins 6% sur le module interannuel des sources. Cela représente un module interannuel des sources compris entre 413,3 l/s et 466,7 l/s.
- Incertitude de côte d'eau : l'influence d'une erreur sur l'estimation de la côte d'eau du barrage uniquement peut également être importante. Par exemple, un écart de 2 cm sur la côte de la retenue provoque une variation considérable du module attribué aux sources. Pour une côte d'eau supérieure de 2 cm aux données récoltées sur la période 1989-2009 on obtient un module interannuel de 562 l/s, soit une augmentation de 31,5%. Pour une côte d'eau inférieure de 2 cm aux données, on obtient un module interannuel de 357 l/s, soit une baisse de 16,3%. Ces écarts proviennent presque exclusivement des variations de lame d'eau au-dessus du seuil de déversement et augmentent l'incertitude sur l'estimation des débits de crue des sources du Las.

On comprend pourquoi il est important de réduire la contrainte liée à l'estimation des débits de crue et c'est pourquoi on réalise un modèle Pluie-Débit (voir chapitre suivant) qui permet approche différente d'évaluation des débits.

5.3.6.2. MÉTHODE PLUIE-DÉBIT

Le modèle pluie-débit utilisé pour la détermination du module des sources est un modèle conceptuel dont les variables d'entrées sont la pluie, les caractéristiques physiques des bassins versant hydrologique et géologique et les données d'évapotranspiration. La variable de sortie est le débit des sources.

Le modèle est composé de deux fonctions distinctes :

- Une fonction de production qui assure la répartition de la pluie incidente entre pertes par évapotranspiration et pluie contribuant à l'écoulement ;
- Une fonction de transfert qui assure la répartition temporelle de la pluie efficace vers l'exutoire.

Le modèle pluie-débit de Dardennes est construit sur la base du modèle à deux réservoirs développé par Fleury (2005) pour les aquifères karstiques, auquel des ajustements ont été apportés pour définir la structure la plus adaptée au bassin versant de Dardennes.

Le modèle de base de Fleury est caractérisé par un réservoir de production appelé réservoir sol, et deux réservoirs de routage. Le réservoir sol permet de calculer la pluie efficace qui va alimenter les réservoirs de routage à partir des précipitations et de l'ETP. Concernant les réservoirs de routage, l'un des deux est caractérisé par une vidange lente reproduisant le tarissement et les débits d'étiage, l'autre présente une vidange rapide et permet de reproduire les crues.

Le modèle de Fleury ne permet pas de prendre en compte le phénomène de saturation du karst et le ruissellement sur le bassin versant topographique, il ne considère que l'infiltration sur le bassin versant géologique.

Les compléments ajoutés au modèle sont donc le ruissellement à partir du réservoir Sol et l'ajout d'un seuil à ce réservoir. Le seuil permet de modéliser la saturation du karst lors d'événements pluvieux intenses et transforme l'excès de pluie en ruissellement.

Le schéma de fonctionnement du modèle à deux réservoirs déployé pour l'estimation du débit des sources est illustré ci-dessous.

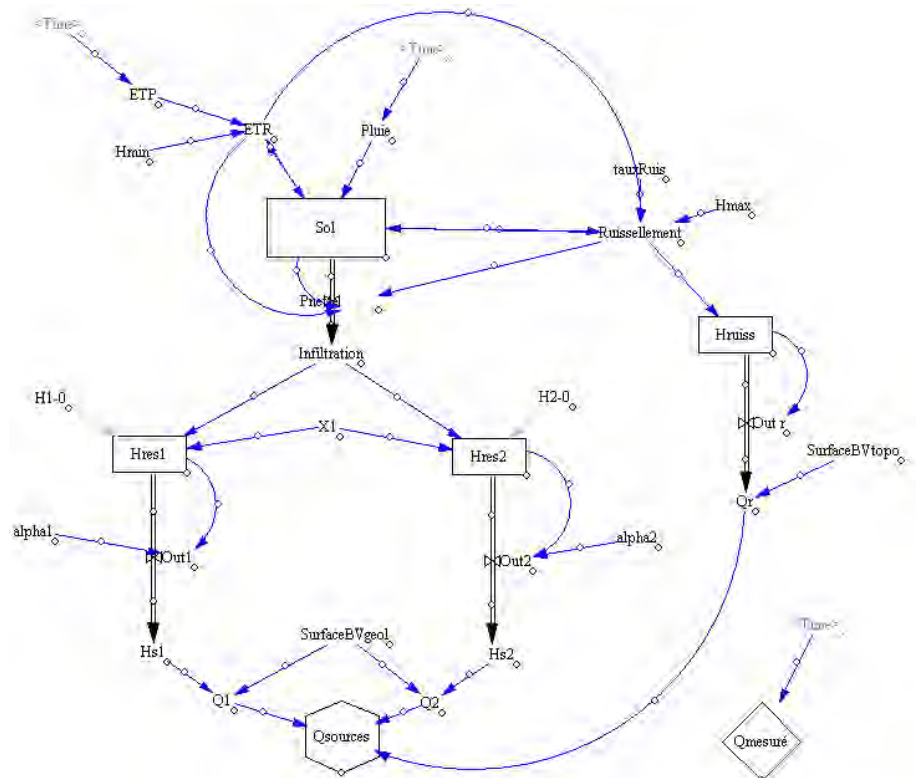


Fig. 31. Modèle à 2 réservoirs sous environnement Vensim®

5.3.6.3. MODULE INTERANUEL DES SOURCES

Les moyennes du débit interrannuel obtenues par les méthodes du bilan hydrologique et du modèle pluie-débit (modèle à réservoirs) sur la période valide de données pour les deux modèles (1995 – 2009) sont très proches. L'évolution des modules annuels pour les deux modèles est présentée sur la figure 22.

L'anomalie concernant la prédiction des débits par le bilan hydrologique pour les années 2010 et 2011 est confirmée par l'écart important entre ces débits pour les deux modèles (cf. figure 22).

Par ailleurs on remarque une sous-estimation du débit issu du bilan hydrologique pour l'année 2006. Ceci est dû à l'absence de données pour ce modèle durant la vidange décennale de septembre 2006, mois à forte pluviométrie.

Le module interrannuel du Las retenu est le module estimé à partir du modèle pluie-débit à réservoirs sur la durée des chroniques de pluie disponibles, soit du 1^{er} avril 1995 au 31 octobre 2012. La valeur du module est de 450 l/s, soit un **débit plancher à maintenir en aval de la retenue de Dardennes de 45 l/s**.

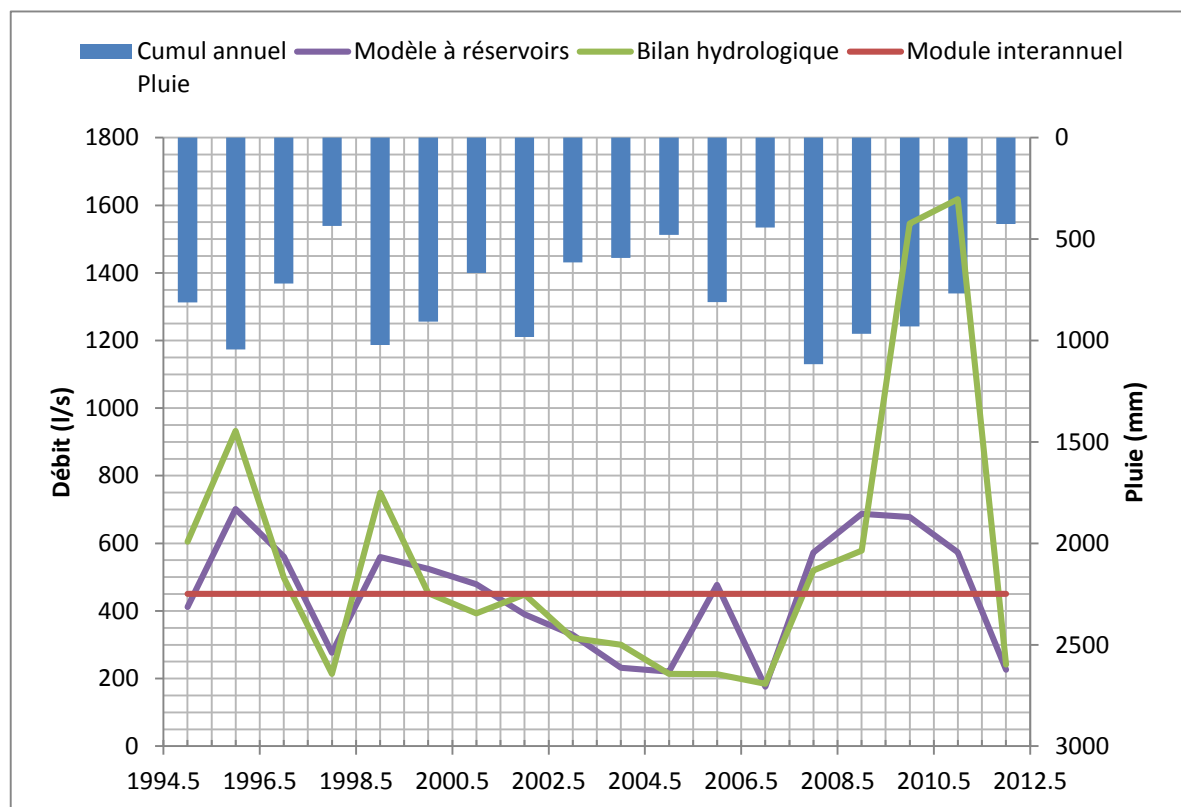


Fig. 32. Module annuel et interrannuel (en rouge) du débit des sources de Dardennes depuis avril 1995

5.4. QUALITÉ DES EAUX

5.4.1. Qualité des eaux brutes de la retenue

Les résultats d'analyses disponibles auprès de l'exploitant, sur la période 2011 à 2012 issus des contrôles internes et officiels montrent :

- Une turbidité de 0.26 à 36 NFU avec une moyenne de 2.64 NFU.
- La présence de géosmine et MIB en été et à l'automne à l'origine de goûts et odeurs de « terre moisie ». Une étude menée par Veolia en 2011 a permis de préciser l'origine de ces composés sapides liée au développement d'actinomycètes et de certaines bactéries en périphérie de la retenue sans toutefois pouvoir identifier précisément les facteurs d'apparition
- Une température variant de 8.4 à 23.7°C avec une moyenne de 16°C.
- Des teneurs en oxygène dissous relevées sur l'analyseur en ligne souvent au-dessus de la courbe de saturation de l'oxygène dissous avec une pic important en juin 2007.
- Une charge modérée en matière organique (teneur moyenne de 0,4 mg/l).
- La détection assez régulière d'ammoniaque (dans 31% des analyses depuis 2000) mais en faibles concentrations.
- Des pointes ponctuelles en fer et manganèse.
- Des teneurs moyennes en aluminium de 0,19 mg/l.
- Une faible charge bactérienne et l'absence de parasites dans les analyses réalisées depuis 2000.
- Un pH variable de 7,35 à 7,95 avec une moyenne de 7,5 à une température de 20°C.
- Une minéralisation et une dureté moyennes (TAC de 24°F et TH de 25°F en moyenne).

En période estivale, compte-tenu de la hauteur d'eau, la retenue est probablement stratifiée avec une couche de surface (épilimnion) chaude et saturée en oxygène et une couche de fond (hypolimnion) plus froide et moins oxygénée.

5.4.2. Qualité des eaux brutes du Ragas

Lors de la campagne de pompage sur le Ragas en 2012, des analyses sur eau brutes ont été effectuées. Les principaux résultats sont:

- L'eau du Ragas est de type bicarbonaté calcique
- les indicateurs de pollution, les éléments considérés comme indésirables ainsi que les éléments toxiques sont systématiquement inférieurs à la référence de qualité en vigueur.
- Aucune trace d'hydrocarbures n'a été détectée,
- Aucune bactérie n'a été observée lors des deuxièmes essais sur les échantillons sauf lors des premiers essais (19/09/2012) où la présence d'E. Coli a été détectée (8 UFC/100 ml),
- Aucune trace de pesticides n'a été détectée.

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT

Tabl. 5 - Résultats des analyses d'eau réalisées au cours des essais de pompage

Période	Nom	pH	c25°C μS/cm	TAC mg/l	Turb. NFU	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO3- mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	NO2 mg/l	NO3 mg/l	Fe(III) mg/l	Al mg/l	NH4 mg/l
prépompage	Ragas_19092012	7,6	482	23,5	0,3	72	20	3,9	0,5	287	6,7	9,4	0,02	2,3	0,003	0,004	0,05
	StAntoine_19092012	7,45	579	21,8	0,54	90	17	8,9		266	16,1	50,1	0,02	5,8			0,05
	Platanes_19092012	7,85	475	23	19	100	13	3,2		281	6,8	11,8	0,02	1,4			0,05
Après 1 ^{er} essai	Ragas_28092012	7,62	481	23,7	1,1	71,3	18,8	4,3	0,72	290	7,3	10,8	0,01	3,3	0,025		0,02
Fin des essais	Ragas_19102012	7,6	483	22,9	0,25	68	19	3,5	0,5	279	6,4	9,7	0,02	2,4	0,007	0,006	0,05

5.4.3. Analyse de l'état écologique du Las

5.4.3.1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU COURS D'EAU (SOURCE : LE LAS : 'UNE RIVIÈRE DANS LA VILLE »)

Le Las, principal cours d'eau de l'ouest toulonnais, achemine ses eaux jusqu'à la rade de Toulon après un parcours d'environ 7 à 8 km.

Tantôt naturel, tantôt artificiel, il peut-être découpé en quatre zones distinctes :

- la Rivière de Dardennes (de la Retenue à Dardennes)
- le Las (de Dardennes au Jonquet)
- la Rivière Couverte (Du Jonquet au Pont Neuf)
- la Rivière Neuve (du Pont Neuf à Lagoubran)

Ce petit fleuve côtier s'écoule dans la direction nord-est/sud-ouest et traverse une zone rurale, mais aussi une zone fortement urbanisée.

- **La Rivière de Dardennes de la Retenue au Hameau de Dardennes**

La rivière traverse une zone industrielle (rive droite). L'ensemble du lit est colmaté par une croûte calcaire.

De la retenue des «Trois Martelières» au Hameau de Dardennes, la rivière retrouve son aspect naturel, glissant par percolation sur les strates et blocs calcaires. Bordée par d'imposantes falaises, à la ripisylve sauvage et dantesque, l'eau, couleur émeraude, circule lentement entre les différentes vasques naturelles. Une petite cascade donne sur la fameuse et historique Salle Verte, grand bassin où toulonnais et riverains se baignent en été. Plus en aval, de vieilles pompes nous rappellent l'antique prospérité de la vallée, mais aussi le retour à la civilisation.

Plus loin, l'eau est déviée au niveau du seuil de Dardennes au profit du vieux Béal qui jadis participait à l'alimentation en eau pour les industries et l'agriculture toulonnaise.

En rive gauche, aboutit le vallon de la Ripelle ou des Argéries drainant les eaux de ruissellement pour partie des collines de Tourris et du Mont-Faron.

- **Le Las du hameau de Dardennes au Jonquet**

Selon les saisons, son eau est entièrement captée par la prise d'eau du Béal. Cela implique, en aval, en période d'étiage estival ou hivernal des zones d'assecs qui entraînent une réduction drastique des zones de survie pour la faune aquatique...

Mais, les fuites du Béal vont permettre à la rivière de vivre sur de faibles portions entre Dardennes et le pont de la place Louis Charry (le canal longe le cours d'eau). Ainsi de véritables niches écologiques voient le jour.

À la hauteur de l'école des Moineaux de l'Hermitage, l'eau sourd dans le lit de la rivière, s'écoulant doucement entre béton et calcaire.

Grossi par les eaux de la Baume de Dardennes, le Las traverse des zones profondes (Jardin du Las) et s'engouffre sous la route dite de la «Rivière Couverte».

Au pied du Mont Faron, la source de Saint-Antoine résurge. Celle-ci, comme les sources du Ragas a été captée pendant longtemps pour alimenter une partie de l'agglomération toulonnaise. Avec la Baume de Dardennes qui lui fait face, elle contribue à l'alimentation de la rivière.

Plusieurs vallons viennent alimenter le Las entre Dardennes et le Jonquet :

- Les ravins de Malvallon et de Fontanieu, drainent en partie les eaux de ruissellement du Mont Caume (est) et de zones imperméabilisées du village du Revest.
- Le val d'Aigues-Pardiguier, drainant les eaux du Corps de Garde et de l'ouest du Mont Caume.

● **La rivière neuve du Jonquet à Lagoubran**

Elle débute au Jonquet (Jardin du Las) et aboutit au Pont Neuf, elle fut couverte et bétonnée dans les années 70-80 afin de faciliter la circulation routière.

L'excédent des eaux de la source de Saint-Antoine permet de gonfler le débit et de redonner à la rivière un aspect hydrique satisfaisant.

Deux vallons débouchent dans cette portion, il s'agit du Forgentier, qui draine les eaux de ruissellement des collines du Baou et du Croupatier et celui de l'avenue Clovis Hugues. C'est également dans cette portion qu'arrivent en majorité les ruissellements urbains lors des fortes pluies tel que les eaux des Quatre chemins des Routes et celles du vallon des Bonnes Herbes.

Entre le pont Neuf et le pont des Gaux, l'eau circule sur un sol bétonné avec çà et là quelques arbustes et herbacées. Un pluvial débouche en rive droite juste avant la cascade du pont des Gaux.

Entre le Pont des Gaux et la Pyrotechnie Maritime, le débit change, ainsi que la géologie. L'eau quitte enfin l'enfer du béton pour couler à nouveau sur un socle calcaire. La végétation change également avec une ripisylve plus variée et abondante.

Il faut noter la présence de trous d'eaux (cascade des Gaux) et d'un énorme bassin au niveau des entrepôts du service de ramassage des déchets. Ceux-ci permettent à la vie aquatique de se développer. La rivière continue à couler, en eau profonde jusqu'au dégrilleur de l'Arsenal. Un large pluvial se jette en rive droite, un filet d'eau coule en continu avec une forte odeur nauséabonde et une couleur douteuse.

Le lit originel du Las que l'on nomme «ancien lit du Las» existe encore aujourd'hui. Il permet de drainer les eaux superficielles des quartiers du Jonquet et de Rodeilhac. Canalisé et busé à partir de Rodeilhac, il traverse en souterrain le Pont du Las et l'Arsenal, pour déboucher en mer près de la darse de Castigneau.

5.4.3.2. FACIÈS MORPHO-ÉCOLOGIQUES (EXTRAIT DE L'ÉTUDE MRE 2013)

Le cours de la rivière peut être séquencé en quatre zones distinctes :

- **le cours amont, secteur du barrage jusqu'au hameau de Dardennes.** Il se caractérise par la présence du barrage, par une pente peu forte et par un faible débit des eaux superficielles en régime hydraulique normal. L'écoulement est quasi permanent jusqu'à Dardennes, alimenté par des résurgences en période de sécheresse intense. Sur ces 500 premiers mètres, le lit du cours d'eau est dominé par des pierres et cailloux recouverts de limon. Le lit du cours d'eau est alors colmaté par des matières fines. L'eau est très turbide le jour de notre reconnaissance. La largeur du lit varie de 3 à 5 mètres, la ripisylve y est dense et permet le maintien des berges. A partir du barrage des Trois Martelières, le Las retrouve son aspect naturel. Le fleuve s'écoule dans un système de petite gorge, aux berges abruptes présentant une ripisylve dense et naturelle. Les faciès d'écoulement dominants sont de type cascades/vasques. Ce tronçon se termine en amont de la confluence du vallon de la Ripelle.



Fig. 33. Trou d'eau en aval direct du barrage de Dardennes (à gauche) et forte turbidité observée

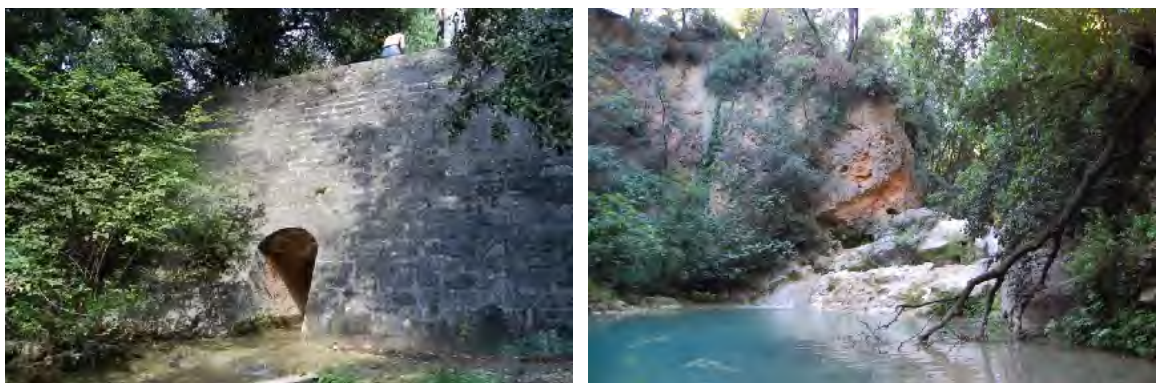


Fig. 34. Le barrage des trois martelières (à gauche) et la salle verte (à droite)

- **Le cours moyen du Las, du hameau de Dardennes au Jonquet,** est non pérenne, en période d'étiage estival et hivernal. Selon les saisons, l'eau est entièrement captée par la prise du Béal et les eaux ont tendances à s'infiltrer, de par sa nature géologique (affleurements calcaires favorisant les infiltrations). Le Las est alimenté selon les saisons par les pertes du Béal et en période hivernale par le vallon de Fontanieu en rive droite.

La rivière redevient pérenne grâce aux apports de la source de la Baume. Le Las reçoit les eaux des ravins de Mal Vallon, de Fontanieu et du Val d'Aigues-Pardiguier en rive droite. Sur ce secteur, la pente diminue, la rivière s'élargit, puis le lit se rétrécit peu après le pont de Saint Pierre. Le lit du cours moyen est formé de cailloux. Sur une importante partie du cours, les riverains de ce cours d'eau non domanial ont consolidé les berges, en construisant des murs de pierres à la façon des " restanques " pour lutter contre l'érosion des berges.



Fig. 35. La prise d'eau du Béal

Le cours aval comprend également deux parties :

- **La Rivière Neuve** : du Jonquet jusqu'à la pyrotechnie à l'ouest de Toulon. Cette partie est un détournement du cours naturel du Las. **La partie souterraine de la rivière Neuve** (« rivière couverte »), du Jonquet (photographie 7) au Pont Neuf, a été couverte dans les années 70-80 afin de faciliter la circulation routière. Elle présente uniquement un intérêt pour la circulation des espèces. Seul le vallon de Forgentier débouche dans la rivière couverte sous forme de pluvial. **Entre le pont Neuf et le pont des Gaux**, l'eau s'écoule sur du béton, puis jusqu'à la Pyrotechnie Maritime sur un socle calcaire et présente une ripisylve plus variée. Le Las et la rivière Neuve trouvent leur exutoire dans la Rade de Toulon.
- **Le Las « naturel »** : du Jonquet à la darse de Castigneau. L'ancien lit du Las existe encore aujourd'hui et draine les eaux superficielles des quartiers du Jonquet et de Rodeilhac. Puis, il est canalisé, busé et traverse en souterrain le Pont du Las et l'arsenal pour déboucher dans la mer près de darse de Castigneau.

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT



Fig. 36. Le Las au niveau du pont du Jonquet avant de passer en souterrain



Fig. 37. Le Las au quartier Bon Rencontre avant de redevenir souterrain

5.4.3.3. QUALITÉ DE L'EAU DU LAS

- **Les masses d'eau du bassin de Las**

Le Las est découpé en deux masses d'eau :

- FRDR116a : « Amont du Las » est une masse d'eau dite naturelle,
- FRDR116b : « Aval du Las » est considéré comme une masse d'eau fortement modifiée



Fig. 38. Les masses d'eau du bassin versant du Las

- **L'état écologique des masses d'eau d'après les points de suivi RCO**

Le Réseau de Contrôles Opérationnels (RCO) de l'Agence de l'Eau compte deux stations sur la rivière Las.

Seule la station du **Las à Toulon au lieu-dit « Le Jonquet »** (code station : 06710300) a fait l'objet d'analyses physico-chimiques, au cours de ces dernières années. **Le potentiel écologique** est considéré comme **moyen à bon** à cette station depuis 2008 : potentiel moyen de 2011 à 2013, bon potentiel de 2008 à 2010 et en 2014.



Fig. 39. Plan de situation de la station 06710300 au Jonquet

La teneur en oxygène est un paramètre qui commande fortement la vie aquatique. On considère que celle-ci est, d'un point de vue de la fonction biologique, perturbée dès que la concentration passe en dessous de 5 mg/L.

Les données de concentration en oxygène sont disponibles la station du Jonquet entre mars 2010 et décembre 2014 (19 mesures). Sur cette période, on observe que le Las présente un taux de saturation et des concentrations en oxygène médiocres en période d'été avec par exemple une valeur de 45,9% pour la saturation et de 4,47 mg.l⁻¹ d'O₂, à la mi-septembre 2011.

L'IBGN et l'essai MPCE fournissent des indications sur les populations de macro-invertébrés benthiques inféodées aux habitats des cours d'eau : les macro-invertébrés constituent un groupe faunistique hétérogène incluant des larves d'insectes, des mollusques, des vers.... Les inventaires faunistiques sont réalisés sur les différents habitats répertoriés dans le tronçon de cours d'eau constituant la station de mesure. Les inventaires réalisés dans chacun de ces habitats permettent de calculer divers indices dont par exemple l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) et le l'indice de Macro-invertébrés en Petits Cours d'Eau (MPCE). Complémentaire des analyses physico-chimiques, l'IBGN et ses dérivés intègrent les variations de la qualité de l'eau sur plusieurs mois, et prennent en compte la stature et la qualité de l'habitat qui ont une influence majeure sur l'état des peuplements de macro-invertébrés. L'analyse des macro-invertébrés donne une expression synthétique de la qualité générale d'un cours d'eau.

Les notes de l'MPCE en 2010 et 2011 (16/20), 2012 (20/20), 2013 et 2014 (15/20) indiquent que la qualité biologique du Las à cette station est bonne.

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT

L'état chimique du Las à la station du Jonquet en revanche est établi comme mauvais depuis 2009, hormis sur l'année 2012 où l'état chimique était qualifié de bon état.

Les résultats des différents suivis sur cette station sont les suivants :

Tabl. 6 - Résultat qualitatifs, station du Jonquet, code 06710300

État des eaux de la station

Années (1)	Bilan de l'oxygène	Température	Itutriments	Acidification	Salinité	Polluants spécifiques	Invertébrés benthiques	Diatomées	Poissons (2)	Hydromorphologie	Pressions hydromorphologiques	ÉTAT ÉCOLOGIQUE	POTENTIEL ÉCOLOGIQUE	ÉTAT CHIMIQUE
2014	MOY ①	NC	BE	BE	Ind	BE	BE	TBE			Faible		BE	MAUV ①
2013	MOY ①	NC	BE	BE	Ind	MAUV ①	TBE	TBE			Faible		MOY	MAUV ①
2012	MED ①	NC	BE	BE	Ind	BE	TBE	TBE			Faible		MOY	BE
2011	MED ①	NC	BE	TBE	Ind	BE	TBE	TBE			Faible		MOY	MAUV ①
2010	BE	NC	BE	TBE	Ind	BE	MOY	TBE			Faible		BE	MAUV ①
2009	MOY ①	NC	BE	TBE	Ind	BE	MOY	BE	MOY		Faible		BE	MAUV ①
2008	MOY ①	NC	BE	TBE	Ind		TBE	TBE	MOY		Faible		BE	

Année la plus récente de la période considérée pour l'évaluation de l'état.

Voir Nota concernant l'élément de qualité "Poissons" à la rubrique évaluation de l'état.

gende

État écologique

TBE	Très bon état
BE	Bon état
MOY	État moyen
MED	État médiocre
MAUV	État mauvais
Ind	État indéterminé : absence actuelle de limites de classes pour le paramètre considéré, ou absence actuelle de référence pour le type considéré (biologie), ou données insuffisantes pour déterminer un état (physicochimie). Pour les diatomées, la classe d'état affichée sera "indéterminé" si l'indice est calculé avec une version de la norme différente de celle de 2007 (Norme AFNOR NF T 90-354)
NC	Non Concerné
	Absence de données

État chimique

BE	Bon état
MAUV	Non atteinte du bon état
Ind	Information insuffisante pour attribuer un état
	Absence de données

L'état écologique moyen de 2011 à 2013 est établi suite aux valeurs déclassantes d'oxygène dissous dans l'eau et de taux de saturation en oxygène.

L'état mauvais de classification des polluants spécifiques de l'état écologique en 2013 est lié à une contamination de l'eau au Zinc.

Signalons aussi le mauvais état chimique initié par des valeurs élevées en cadmium en 2010, 2011 et 2013 ; et en certains hydrocarbures en 2009 et 2014.

Le Las à Toulon au lieu-dit « Bon rencontre » (code station : 06710400) est suivi depuis 2008 uniquement d'un point de vue biologique.

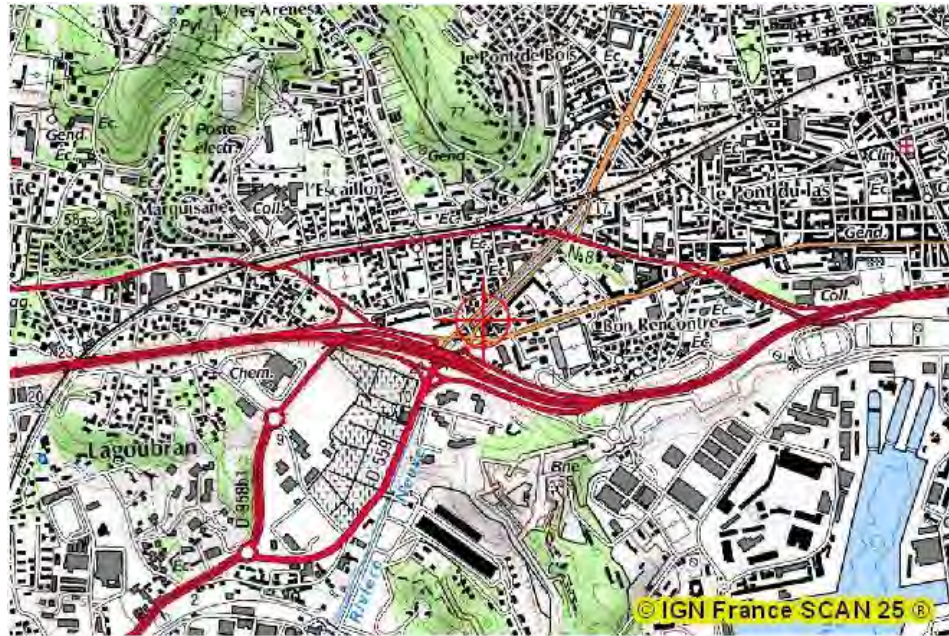


Fig. 40. Plan de situation de la station 06710400 à Bon rencontre

A cette station, les valeurs de MPCE correspondent à un état moyen en 2010 à bon, avec des valeurs variant entre 10 et 15 de 2010 à 2014.

5.4.3.4. ASPECTS PISCICOLES DU LAS (EXTRAIT DE L'ÉTUDE MRE 2013)

● Le peuplement piscicole

Lors de la vidange décennale de la retenue de Dardennes, un bilan environnemental a été réalisé avant, pendant et après vidange (TREBAOL, 2007). Avant la vidange de la retenue, des pêches ont été réalisées en octobre 2006 afin de récupérer les poissons. Elles indiquent que le peuplement piscicole de la retenue était composé d'ablette, de gardon, brème, chevine, carpe commune, perche commune, **anguille** et de brochet. L'anguille avait déjà été observée en 1976 dans la retenue. Trois espèces indésirables ont été également recensées puis éliminées : la perche soleil, la tortue de Floride et l'écrevisse américaine. Après la vidange, en janvier 2007 la retenue a été rempoissonnée avec des gardons, rotengle, carpe commune, perche commune et brochet.

En mars 2007, des inventaires piscicoles ont été réalisés par la Maison Régionale de l'Eau, en aval du barrage de Dardennes, au lieu-dit « Jonquet » et au lieu-dit « Lagourdan » (cf. carte page suivante). Deux espèces à forte valeur patrimoniale ont été recensées dans les stations aval : le **barbeau méridional** et la **blennie fluviatile**. Le barbeau méridional aurait dû être recensé plus en amont mais sa présence peut être limitée par l'assèchement régulier de plusieurs secteurs de cours d'eau. Les **anguilles** constituent la troisième espèce à fort intérêt car elle est considérée comme vulnérable. Le peuplement repère est constitué par le chevesne, le barbeau méridional et l'anguille, peuplement type des cours d'eau côtiers à l'Est du Rhône. La présence de la blennie n'est pas exceptionnelle mais constitue probablement un reliquat d'une population altérée et fragmentée. Cette espèce et son habitat doivent être préservés. Cette étude a montré que la vidange de la retenue de Dardennes a eu un impact sur le peuplement piscicole avec un dévalement : des espèces allochtones, plutôt affiliées aux retenues, se retrouvant dans le

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

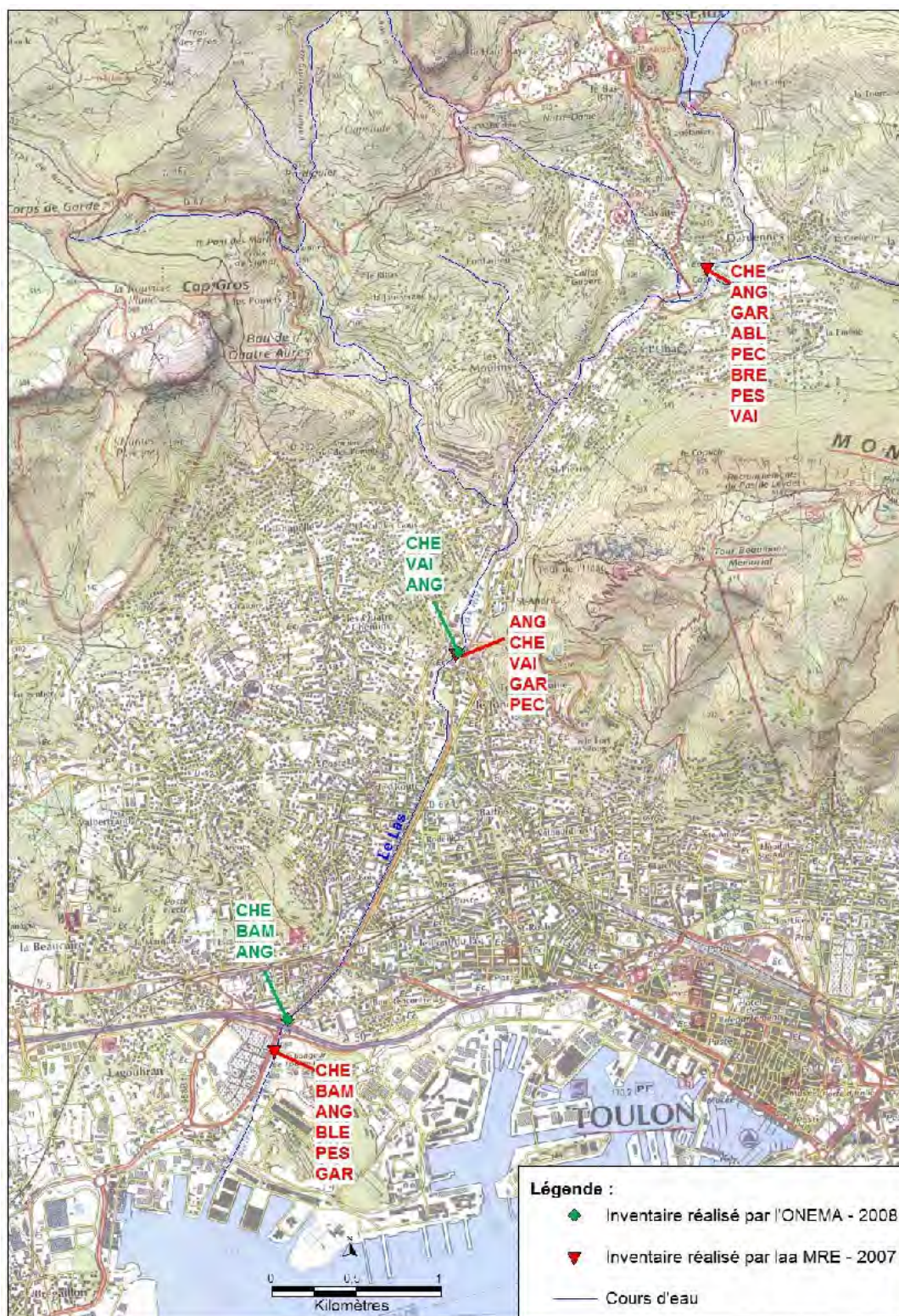
RAPPORT

peuplement du cours d'eau, avec des densités décroissantes vers l'aval (gardons, les ablettes, les perches, la brème ou perche soleil).

L'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) a réalisé en juin 2008 des inventaires piscicoles au lieu-dit « le Jonquet » et au niveau du pont de l'A50 (cf. carte page suivante). A la station du Jonquet, trois espèces ont été recensées : chevaine, vairon et anguille. Au niveau du pont de l'A50, trois espèces sont également inventoriées : le chevaine, le barbeau méridional et l'anguille.

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT**Fig. 41. Répartition des espèces piscicoles sur le bassin versant du Las**

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT

Rappel des codes poissons : **ABL** : Ablette ; **ANG** : anguille ; **BAM** : barbeau méridional ; **BLE** : Blennie fluviatile ; **BRE** : brème ; **CHE** : Chevaine ; **GAR** : gardon ; **PEC** : perche commune ; **PES** : perche soleil ; **VAI** : Vairon

- **Le peuplement astacicole**

Aucune donnée n'est disponible, à ce jour, sur les espèces patrimoniales d'écrevisses. Seule l'écrevisse américaine a été recensée en 2006 lors de la vidange du barrage de Dardennes (TREBAOL, 2007).

- **La faune de macro-invertébrés benthiques**

En avril 2003, une analyse hydrobiologique a été réalisée sur quatre stations entre le barrage de Dardennes et le village de Dardennes (Charlier, 2003). Les notes IBGN attestent d'une **qualité biologique relativement bonne** sur l'ensemble du tronçon étudié. Toutefois, la présence d'un important colmatage, en aval du barrage, limite le développement de cette macrofaune. En novembre 2006, sept stations, de l'aval immédiat du barrage à l'embouchure avec la mer, ont fait l'objet de prélèvements d'invertébrés benthiques. Les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant :

	B01	B016	B018	PC012	PC020	PB009	PB014
Campagne 1							
Date	15/04/2003	15/04/2003	15/04/2003				
Richesse taxonomique	18	28	29				
Densité (ind/m²)	7558	3093	3303				
Taxon indicateur (GI)	Philopotamidae (8)	Philopotamidae (8)	Leuctridae (7)				
Taxon dominant (%)	Chironomidae (52%)	Chironomidae (61%)	Chironomidae (63%)				
IBGN	13	15	15				
Campagne 2							
Date	30/11/2006	30/11/2006	30/11/2006	30/11/2006	30/11/2006	30/11/2006	30/11/2006
Richesse taxonomique	7	10	10	24	23	20	21
Densité (ind/m²)	47,5	85	315	4238	3528	4310	3938
Taxon indicateur (GI)	Non	Sericostomatidae (7)	Sericostomatidae (7)	Hydroptilidae (5)	Philopotamidae (8)	Psychomyiidae (4)	Hydroptilidae (5)
Taxon dominant (%)		Hydropsychidae (23%)	Gammaridae (59%)	Baetidae (33%)	Hydrobiidae (34%)	Caenidae (34%)	Oligochètes (53%)
IBGN	0	9	9	11	14	9	11

Cette étude a mis en évidence l'impact du délimonage de la retenue, dans un contexte hydrologique défavorable (crue survenue quelques jours après le délimonage), sur le peuplement de macro-invertébrés. Les augmentations de débit dues au délimonage et à la crue ont donc provoqué une dérive importante de la faune. Il apparaît que les dépôts de limons, suite au délimonage complet de la retenue, empêchent tout retour à l'état initial. Les conséquences du délimonage sur le peuplement invertébrés sont surtout visibles dans la partie amont du Las. En aval, la distance avec le barrage et les seuils limitent les apports de limons. L'impact de la vidange sur le peuplement est donc peu visible pour les stations localisées **en aval de Dardennes**. Les **invertébrés récoltés sont banaux** et témoignent d'une **qualité passable**, légèrement dégradée par les effluents urbains dans les stations les plus en aval. Ces résultats sont en cohérence avec le diagnostic de la Directive cadre Européenne de 2009.

Une seule station présente une **bonne qualité biologique, située en aval d'apport de sources**, qui contribuent à améliorer la qualité du milieu. Ces apports permettent tout particulièrement le développement d'un Trichoptère polluo-sensible vivant dans les eaux fraîches (Philopotamidae, genre Wormaldia).

- **La gestion piscicole et statut**

Le Las est classé en **deuxième catégorie piscicole** (à vocation cyprinicole). C'est un cours d'eau non domanial, le droit de pêche appartient aux propriétaires riverains et la gestion est assurée par l'Association de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique (AAPPMA) du « Gardon de Toulon et de ses environs ».

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT

Le Plan Départemental pour la Protection du Milieu Aquatique et la Gestion des Ressources Piscicoles (**PDPG**) du Var classe le Las dans un **contexte intermédiaire perturbé**. Le peuplement piscicole est dominé par les cyprinidés d'eau vive (espèce repère). Il est constitué de barbeaux méridionaux, de chevaines et de vairons. Les facteurs limitants identifiés dans ce contexte sont un débit d'étiage sévère et des pollutions diffuses.

5.5. MILIEU NATUREL

5.5.1. Le SDAGE Rhône-Méditerranée

Les travaux d'élaboration du SDAGE 2016-2021 se sont engagés sur le bassin et un projet de SDAGE 2016-2021 a été proposé en octobre 2015 et a reçu un avis favorable le 20 novembre 2015 sur le programme de mesures qui l'accompagne.



Fig. 42. Périmètre administratif du Bassin Rhône-Méditerranée

Le SDAGE 2016-2021 devrait arrêter pour une période de 5 ans les grandes orientations de préservation et de mise en valeur des milieux aquatiques à l'échelle du bassin. Il fixe des objectifs de qualité des eaux à atteindre d'ici à 2021 à travers neuf orientations fondamentales :

0. Adaptation au changement climatique

1. Prévention : privilégier la prévention et les interventions à la source pour plus d'efficacité,

2. Non dégradation : concrétiser la mise en œuvre du principe de non dégradation des milieux aquatiques,

3. Enjeux économiques et sociaux : intégrer les dimensions sociale et économique dans la mise en œuvre des objectifs environnementaux

4. Gestion locale et aménagement du territoire : organiser la synergie des acteurs pour la mise en œuvre de véritables projets territoriaux de développement durable

5. Lutte contre les pollutions : lutter contre les pollutions, en mettant la priorité sur les pollutions toxiques et la protection de la santé :

A. Poursuivre les efforts de lutte contre les pollutions d'origine domestique et industrielle.

B. Lutter contre l'eutrophisation des milieux aquatiques.

C. Lutter contre les pollutions par les substances dangereuses.

D. Lutter contre la pollution par les pesticides par des changements conséquents dans les pratiques actuelles.

E. Évaluer, prévenir et maîtriser les risques pour la santé humaine.

6. Fonctionnement des milieux aquatiques et des zones humides : préserver et développer les fonctionnalités naturelles des bassins et des milieux aquatiques :

A. Agir sur la morphologie et le découloisonnement pour préserver et restaurer les milieux aquatiques.

B. Prendre en compte, préserver et restaurer les zones humides.

C. Intégrer la gestion des espèces faunistiques et floristiques dans les politiques de gestion de l'eau.

7. Équilibre quantitatif : atteindre et pérenniser l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir

8. Gestion des inondations : gérer les risques d'inondation en tenant compte du fonctionnement naturel des cours d'eau.

Ces 9 orientations fondamentales et leurs dispositions concernent l'ensemble des diverses masses d'eau du bassin. Leur bonne application doit permettre de contribuer à l'atteinte des objectifs environnementaux du SDAGE.

Pour chaque masse d'eau du bassin Rhône-Méditerranée, sont ainsi proposés des objectifs d'état (chimique et écologique pour les eaux de surface ; chimique et quantitatif pour les eaux souterraines) à maintenir ou atteindre et un délai de réalisation, 2021 étant la 1ère échéance fixée. L'objectif de bon état résulte, pour une masse d'eau donnée, de la prise en compte de l'échéance la moins favorable retenue l'objectif d'état chimique et l'objectif d'état écologique pour les eaux superficielles ou quantitatif pour les eaux souterraines.

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT

Critères d'évaluation	Indicateurs
L'état écologique des eaux superficielles est qualifié au travers d'éléments de qualité biologique (flore aquatique, faune benthique, ichtyofaune) mais également de qualité physico-chimique et hydromorphologique garant du bon équilibre de l'écosystème. Les normes de bon état écologiques ont été fixées en fonction du type auquel appartient la masse d'eau, conformément à la circulaire du 29 avril 2005 relative à la typologie nationale des eaux de surface ; pour certains cours d'eau, l'évaluation future de cet objectif tiendra compte, non seulement des conditions de référence propres à chacun des types mais aussi des caractéristiques spécifiques de leur fonctionnement (ex : fond géochimique, charge solide, régime naturel d'assecs ...) qui sont à l'origine de fortes variations inter-saisonnières ou interannuelles des paramètres biologiques notamment. L'état écologique des cours d'eau est ainsi évalué selon une grille à 5 niveaux de qualité de « très bon » à « mauvais ». (cf. ci-contre).	■ Très bon ■ Bon ■ Moyen ■ Médiocre ■ Mauvais
L'état chimique est qualifié selon deux modalités : « bon » ou « mauvais » Les normes de bon état chimique pour les eaux superficielles ont été élaborées en application de la circulaire du 7 mai 2007 définissant les « normes de qualité environnementale provisoires (NQE_p) » des 41 substances impliquées dans l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau ainsi que des substances pertinentes du programme national de réduction des substances dangereuses dans l'eau. Cette circulaire fixe également les objectifs nationaux de réduction au titre du programme national de réduction des substances dangereuses. Les normes de bon état chimique pour les eaux souterraines ont été élaborées en application de la circulaire du 21 décembre 2006 relative à la définition du "bon état" pour les eaux souterraines.	● Bon ● Pas bon

>> Le site d'étude est concerné par plusieurs masses d'eau dont les objectifs sont les suivants :

Les objectifs de qualité fixés dans l'ancien SDAGE 2009-2015 étaient les suivants :

Tabl. 7 - Objectifs SDAGE (2015-2021) pour les masses d'eau du Las

Code masse d'eau	Nom de la masse d'eau	Catégorie de masse d'eau	Objectif d'état écologique					Objectif d'état chimique			
			Objectif d'état	Statut	Echéance	Motivations en cas de recours aux dérogations	Paramètres faisant l'objet d'une adaptation	Echéance sans ubiquiste	Echéance avec ubiquiste	Motivations en cas de recours aux dérogations	Paramètres faisant l'objet d'une adaptation
FRDR116a	Amont du Las	Cours d'eau	bon potentiel	MEFM	2027	FT	hydrologie, morphologie	2027	2027	FT	Cadmium et ses composés
FRDR116b	Aval du Las	Cours d'eau	bon potentiel	MEFM	2015			2027	2027	FT	Cadmium et ses composés

FT : faisabilité technique

MEFM : Masse d'eau fortement modifiée

Les masses d'eau du Las sont considérées comme MEFM : masse d'eau fortement modifiée :

Tabl. 8 - Paramètres de classement MEFM de la masse d'eau

Code masse d'eau	Nom de la masse d'eau	Activités spécifiées	Type de modification physique
Côtières Ouest Toulonnaises - LP_16_02			
FRDR116a	Amont du Las	zones urbaines : protection contre les crues	Chenalisation / rectification / stabilisation ; Protection de berge / digue
FRDR116b	Aval du Las	zones urbaines : protection contre les crues	Chenalisation / rectification / stabilisation ; Protection de berge / digue

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT

Concernant les masses d'eau souterraines, le site est concerné par la masse d'eau FRDG168 :

Tabl. 9 - Objectifs SDAGE (2015-2021) pour les masses d'eau souterraine

		Objectif d'état quantitatif				Objectif d'état chimique				
Code masse d'eau	Nom de la masse d'eau	Objectif d'état	Echéance	Motivations en cas de recours aux dérogations	Paramètres faisant l'objet d'une adaptation	Objectif d'état	Echéance	Motivations en cas de recours aux dérogations	Paramètres faisant l'objet d'une adaptation	Polluant dont la tendance à la hausse est à inverser
9 - Côtiers Côte d'Azur										
FRDG168	Calcaires du Bassin du Beausset et du massif des Calanques	Bon état	2015			Bon état	2015			

5.5.2. Réseau Natura 2000

Le réseau Natura 2000 a pour objectif de constituer un réseau de sites choisis pour abriter des habitats naturels ou des espèces identifiées comme particulièrement rares et menacées. Il est composé de sites désignés spécialement par chacun des États membres en application des directives européennes n°76/409 du 6 avril 1979 dite « Directive Oiseaux » et n°92/43/CEE du 21 mai 1992 dite « Directive Habitats ».

La zone d'étude comprend deux sites faisant partie du réseau Natura 2000 (fig. 38 et 39):

- Le Site d'intérêt Communautaire (SIC) « **Mont Caume - Mont Faron - Forêt domaniale des Morières** » n°FR9301608 au titre de la Directive Habitat.

Ce site présente un grand intérêt biologique et écologique, avec notamment une forêt domaniale (des Morières) bien conservée. Les crêtes et autres biotopes rupestres accueillent l'association endémique toulonnaise à Choux de Robert et Alysse épineuse, et des éboulis à Sabline de Provence (endémique). Les gorges calcaires et les zones karstiques constituent un réseau d'habitat, notamment pour neuf espèces de chiroptères d'intérêt communautaire.

La retenue de Dardennes, ainsi que le Las pendant les 800 mètres situés directement en aval de la retenue sont compris dans ce site. Le Las s'écoule ensuite au pied du Mont Faron et à moins de 500 m du site Natura 2000 du même nom jusqu'au lieu-dit du Jonquet.

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT

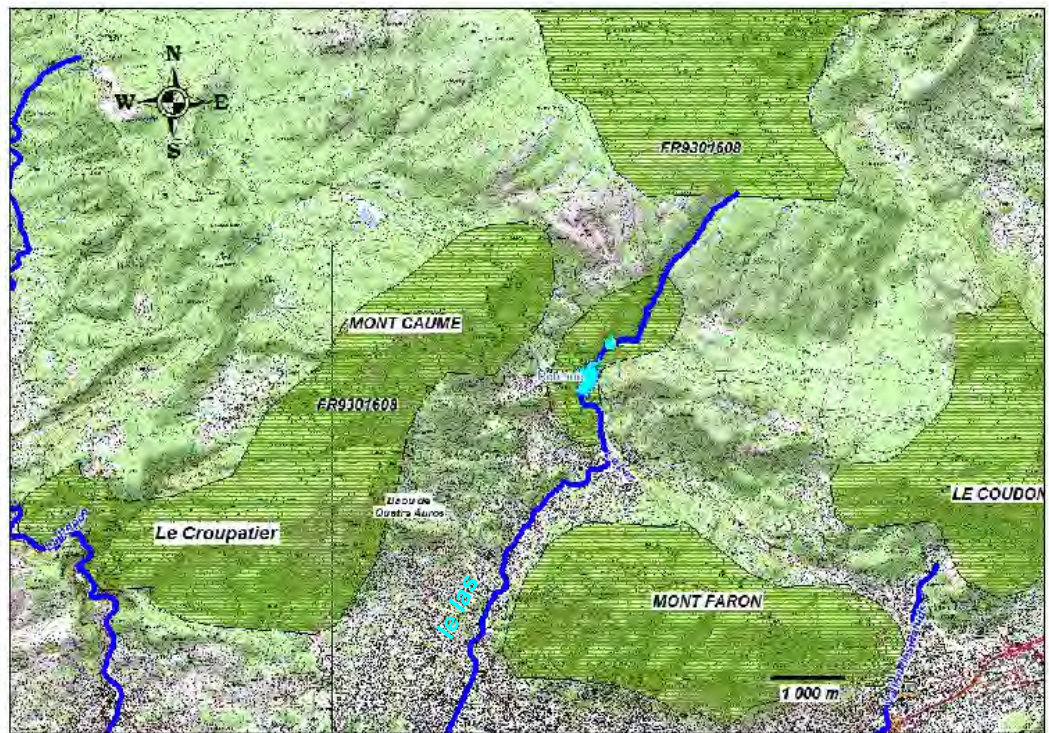


Fig. 43. Le site Natura 2000 - SIC FR9301608 " Mont Caume - Mont Faron - Forêt domaniales des Morières

- La Zone de Protection Spéciale (ZPS) « **Falaises du Mont Caume** » n°FR9312016 au titre de la Directive Oiseaux.

L'intérêt majeur du site est la présence d'un couple nicheur d'Aigle de Bonelli, espèce fortement menacée en France (moins de 30 couples). Ce couple est le seul du département du Var et le Mont Caume constitue à ce jour la limite orientale de la population méditerranéenne française. Outre l'Aigle de Bonelli, quelques autres oiseaux d'intérêt communautaire nichent dans le site. Certaines espèces nichent hors du périmètre mais fréquentent le site pour s'alimenter : Circaète Jean-le-Blanc, Autour des Palombes.

La retenue de Dardennes se situe à environ 800 m à l'Est de cette zone.

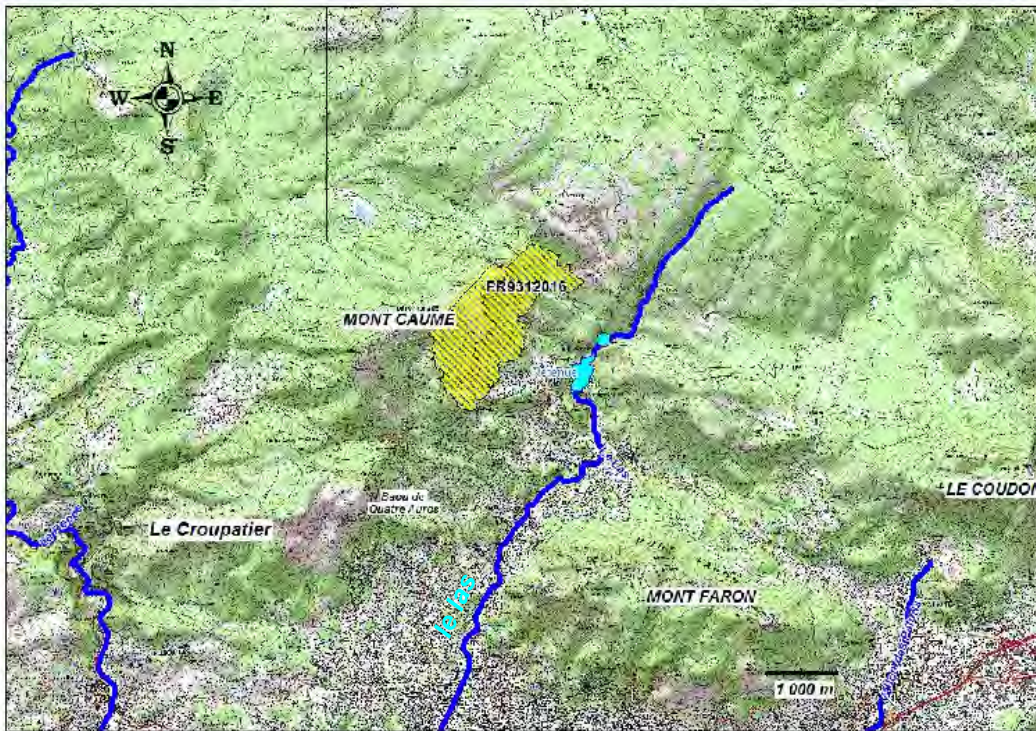


Fig. 44. Le site Natura 2000 - ZPS FR9312016 "Falaises du Mont Caume"

5.5.3. La ripisylve

Source : « Le Las : une rivière dans la ville »

L'analyse de la ripisylve du bassin versant du Las, débutée sur photos aériennes, a permis de mettre en avant le fait que celle-ci est très réduite sur la totalité du linéaire étudié.

C'est sur le cours amont que la ripisylve est le plus à son avantage, par endroits elle dispose d'une largeur correcte n'excédant toutefois que très rarement la dizaine de mètres de large. Les strates herbacées, arbustives et arborées y sont dans l'ensemble bien représentées et disposant d'une bonne diversité globale (voir en annexe l'inventaire). Les facteurs limitants étant ici essentiellement un ensoleillement moyen ainsi qu'une incision du lit parfois très importante déconnectant certains peuplements de la nappe alluviale et participant alors à un état sanitaire souvent médiocre.

Au fil de l'eau, la végétation rivulaire va se réduire très fortement, d'amont en aval, sous l'effet de la forte pression qu'exerce l'urbanisation, jusqu'à parfois même disparaître à certains endroits sur les deux rives. La diversité rencontrée en amont de la prise du Béal va alors laisser place à des peuplements moins riches d'un point de vue floristique, des essences plus communes et quasi exclusives (figuiers, peupliers, ronciers, platanes). A noter la présence de lauriers roses sauvages (*nerium oleander*), espèce protégée car en voie de disparition. Mais aussi celle la présence d'un pionnier invasif : *Ailanthus altissima* (Faux vernis du Japon).

A partir du Jonquet, le Las est couvert et bétonné jusqu'au pont des Gaux. Enfin, sur sa partie aval, le Las s'écoule à nouveau sur un socle calcaire et la végétation s'affiche avec une ripisylve plus variée.

D'importantes disparités existent en fonction des secteurs en ce qui concerne les rôles de la ripisylve. Si le cours amont (Dardennes) semble efficace en termes d'abris pour la faune, d'ombre à la rivière et de maintien des berges notamment grâce aux puissantes racines des nombreux platanes, la végétation du cours aval se réduit au fur et à mesure que l'embouchure du fleuve se

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT

rapproche. Elle est plutôt efficace dans le piégeage des nombreux détritus qui jonchent le lit du Las (sacs plastiques, bouteilles, polystyrène...).

Les potentialités de la végétation rivulaire du Las existent même si elles sont aussi fortes sur le cours amont que faibles voire inexistantes par endroits sur le cours aval.

5.6. USAGES LIÉS À LA RESSOURCE

5.6.1. Alimentation en eau potable

5.6.1.1. LA RETENUE ET L'USINE DE DARDENNES

La retenue de Dardennes a une capacité d'environ 1.1 millions de m³. Elle assure l'alimentation en eau potable à hauteur de 40% de la ville de Toulon. Le reste provient des usines de potabilisation de La Valette et de Carnoules ainsi que des achats d'eau auprès de la Société du Canal de Provence (SCP).

La gestion de cette ressource est assurée, pour le compte de la Ville de Toulon par la société VEOLIA.

Le débit moyen des sources karstiques qui alimentent la retenue de Dardennes est de 500 l/s (1800 m³/h). Le débit moyen prélevé est de l'ordre de 218 l/s (784 m³/h) soit deux fois moins que le débit disponible et fourni par les sources.

En période d'étiage, l'alimentation de secours de l'usine de potabilisation est assurée par une galerie équipée d'une conduite de diamètre 500 mm qui capte les eaux du Ragas.

La plage de fonctionnement de l'usine est située entre 300 l et 500 l/s. la filière de traitement des eaux comprend:

- Alimentation en eau brute par turbinage,
- Coagulation si la turbidité est élevée,
- Désinfection à l'ozone et au chlore,
- Filtration à l'aide de 6 filtres à sables en série,
- Stockage de l'eau traitée et distribution vers le réservoir de Saint Antoine pour une alimentation en gravitaire.
- Les "eaux sales" issues des filtres à sables seront traitées par épaissement des boues puis déshydratation afin de mettre ces boues en centre de compostage. Ce procédé permet de ne rejeter dans le Las qu'une quantité infime de matières en suspension conformément à la réglementation en vigueur.

5.6.1.2. VARIATIONS SAISONNIÈRES

Les variations saisonnières importantes de la consommation d'eau potable sont liées :

- Au tourisme
- Aux activités portuaires (port de commerce, Marine Nationale)
- A l'arrosage municipal

La consommation maximale est donc observée pendant la période estivale.

Tabl. 10 - Bilan sur les consommations actuelles et futures

Année	Consommation	Consommation de pointe	Volume total livré au réseau de Toulon en prenant en compte le rendement du réseau
2010	29 270 m ³ /jour	37 739 m ³ /jour	10 683 440 m ³ /an
2020	30 710 m ³ /jour	39 248 m ³ /jour	11 209 150 m ³ /an

Le bilan sur la consommation des foyers exclut les ventes en gros aux autres collectivités desservies.

5.6.1.3. PÉRIMÈTRES DE PROTECTION

La retenue de Dardennes fait actuellement l'objet d'un dossier d'autorisation au titre du Code de l'environnement et de la Santé publique pour le prélèvement d'eau à usage d'AEP et d'un dossier de DUP pour la définition des périmètres de protection.

5.6.2. Irrigation

Le Béal est un canal d'irrigation. Il a servi depuis sa création à arroser les nombreux jardins de la Vallée de Dardennes mais aussi à alimenter les moulins et différentes installations industrielles qui puisaient dans l'eau la force motrice nécessaire pour accomplir leurs fonctions.

L'omniprésence de l'eau a favorisé le développement d'activités agricoles sur les terres situées dans le périmètre d'irrigation du Béal. Certains de ces espaces ont traversé le temps et appartiennent aujourd'hui au patrimoine de la vallée.



Fig. 45. La prise d'eau du Béal de Dardennes dite «1679» mais en réalité plus récente

**Fig. 46. terrains cultivé**

Aujourd'hui, les eaux du Béal permettent l'irrigation des jardins des riverains jusqu'au quartier de Saint-Pierre à Toulon.

Concernant les Droits d'eau, l'ouvrage « Le Las, Une rivière dans la Ville » indique qu'avant la construction du barrage, la ville de Toulon était propriétaire des droits d'eau. Un arrêté concernant les droits et quantités pompées était appliqué chaque année.



Fig. 47. Extrait de l'arrêté concernant la fixation des heures d'arrosages des usagers des Eaux du Béal communal pendant l'année 1900 (sources : Le las, une rivière dans la Ville)

5.6.3. Loisirs

- **Pêche**

Le Las est une rivière piscicole de deuxième catégorie. Aucune activité de pêche n'est observée sur ce cours d'eau dont les berges ne sont pas praticables.

- **Le jardin du Las**

Créé au XIX^{ème} siècle par des marins toulonnais, ce jardin de 15000m², situé en plein coeur de la vallée du Las, accueille des plantes exotiques venues d'Orient, d'Océanie et d'Amérique. A l'entrée, son ordonnancement reste très classique pour s'organiser de plus en plus librement lorsqu'on arrive vers la rivière avec notamment une grande prairie.

Venez y découvrir le jardin des roches, le jardin des plantes fossiles, la serre, le cèdre de l'Atlas, le balcon au-dessus de la rivière du Las, le jardin aux insectes ou encore le jardin rural. Des jeux de plein air et des jeux d'eau amuseront vos enfants.



Fig. 48. Les jardins du Las

5.7. DÉBIT RÉSERVÉ

5.7.1. Notion de « débit réservé »

Au sens étymologique du mot, l'adjectif « réservé » est pris ici au sens de « réservé à différents usages de l'eau et/ou à la nature ».

Le concept normatif de « débit réservé » a deux objectifs :

- Préservation du milieu aquatique (écosystème)
- Répartition de l'eau entre les usages amont et aval

Les ouvrages de prélèvement d'eau (y compris souterraine), de dérivation ou de stockage modifient le débit naturel et peuvent le diminuer fortement, voire assécher un cours d'eau, amoindrir la surface du lit et le volume habitable, diminuer la biomasse d'invertébrés disponibles, ralentir le courant pour les poissons qui vivent en eau rapide, réchauffer l'eau pour des poissons d'eau fraîche, etc.

L'étiage est une période difficile pour la plupart des espèces aquatiques, surtout en aval des points de rejet ; les capacités de dilution ou d'auto-épuration des rejets et les possibilités d'utiliser l'eau en aval s'en trouvent limitées.

Le débit réservé n'est pas une notion hydrologique mais une contrainte réglementaire.

5.7.2. Réglementation

En France, avant 1984, le débit réservé faisait partie du cahier des charges de tout ouvrage hydraulique. Cette contrainte était négociée en fonction des conditions locales et des caractéristiques de l'ouvrage.

Depuis, la loi « Pêche » du 30 juin 1984, puis le décret n°89-804 du 27 octobre 1989 du Code rural, et enfin la loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques (art. 214-18 du Code de l'Environnement), le débit réservé minimal pouvant être exigé à l'aval de la retenue doit être égal au dixième du module interannuel, évalué à partir des informations disponibles sur une période minimale de cinq années; ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur :

Article L214-18 créé par Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 - art. 6 JORF 31 décembre 2006

« I.- Tout ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau doit comporter des dispositifs maintenant dans ce lit un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage ainsi que, le cas échéant, des dispositifs empêchant la pénétration du poisson dans les canaux d'amenée et de fuite.

Ce débit minimal ne doit pas être inférieur au dixième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage correspondant au débit moyen interannuel, évalué à partir des informations disponibles portant sur une période minimale de cinq années, ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur. Pour les cours d'eau ou parties de cours d'eau dont le module est supérieur à 80 mètres cubes par seconde, ou pour les ouvrages qui contribuent, par leur capacité de modulation, à la production d'électricité en période de pointe de consommation et dont la liste est fixée par décret en Conseil d'Etat pris après avis du Conseil supérieur de l'énergie, ce débit minimal ne doit pas être inférieur au vingtième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage évalué dans les mêmes conditions ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur. Toutefois, pour les cours d'eau ou sections de cours d'eau présentant un fonctionnement atypique rendant non pertinente la

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT

fixation d'un débit minimal dans les conditions prévues ci-dessus, le débit minimal peut être fixé à une valeur inférieure.

II. - Les actes d'autorisation ou de concession peuvent fixer des valeurs de débit minimal différentes selon les périodes de l'année, sous réserve que la moyenne annuelle de ces valeurs ne soit pas inférieure aux débits minimaux fixés en application du I. En outre, le débit le plus bas doit rester supérieur à la moitié des débits minimaux précités.

Lorsqu'un cours d'eau ou une section de cours d'eau est soumis à un étiage naturel exceptionnel, l'autorité administrative peut fixer, pour cette période d'étiage, des débits minimaux temporaires inférieurs aux débits minimaux prévus au I.

III. - L'exploitant de l'ouvrage est tenu d'assurer le fonctionnement et l'entretien des dispositifs garantissant dans le lit du cours d'eau les débits minimaux définis aux alinéas précédents.

IV. - Pour les ouvrages existant à la date de promulgation de la loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques, les obligations qu'elle institue sont substituées, dès le renouvellement de leur concession ou autorisation et au plus tard le 1er janvier 2014, aux obligations qui leur étaient précédemment faites. Cette substitution ne donne lieu à indemnité que dans les conditions prévues au III de l'article L. 214-17.

V. - Le présent article n'est applicable ni au Rhin ni aux parties internationales des cours d'eau partagés. »

La circulaire du 5 juillet 2011 relative à l'application de l'article L. 214-18 du code de l'environnement précise la notion de débit réservé à maintenir en cours d'eau.

D'après ces textes, l'obligation principale consiste à maintenir dans le cours d'eau à l'aval de l'ouvrage un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage. Ce débit minimum « biologique », appelé « débit réservé », ne doit pas être inférieur à un plancher qui est fixé au 10^e du module interannuel du cours d'eau, pour l'essentiel des installations, et au 20^e de ce module pour les ouvrages situés sur un cours d'eau dont le module est supérieur à 80 m³/s, ou pour les ouvrages hydroélectriques contribuant à la production d'électricité en période de pointe de consommation, listés par décret. Si le débit à l'amont immédiat de l'ouvrage est inférieur à ce plancher, c'est ce débit entrant qui doit être respecté à l'aval.

Par ailleurs, l'article L. 214-18 CE prévoit des possibilités de déroger au débit plancher, dans le cas de cours d'eau à fonctionnement atypique ou d'étiage naturel exceptionnel.

Il prévoit enfin la possibilité, tout en respectant en moyenne sur l'année le débit réservé, de moduler celui-ci selon les différentes périodes de l'année, le débit le plus bas devant cependant rester supérieur à la moitié du débit réservé. On parle alors d'un « régime hydraulique réservé ».

À noter que trois cas de cours d'eau dits, de cours d'eau atypiques, sont considérés :

- si l'hydrogéologie explique l'intermittence naturelle du cours d'eau,
- si l'aval immédiat d'un barrage de classe A ou à usage hydroélectrique d'une puissance supérieure à 20 mégawatts, est en permanence ennoyé par le remous du plan d'eau d'un autre barrage de même nature,
- en l'absence (naturelle et historique) de certains organismes (Ichtyofaune, invertébrés du benthos, phytoplancton, phytobenthos, macrophytes).

Par ailleurs, conformément à la jurisprudence (Cons. Etat, 15 avril 1996, n°140965, M. Mortera), afin de satisfaire l'obligation principale de l'article L.214-18 du code de l'environnement de « garantir en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les

eaux », le débit minimum biologique peut être supérieur à cette valeur plancher du 10^{ème} du module naturel. Ces valeurs, instituées par le législateur en tant que minimum intangible, ne sont en aucun cas des références de qualité ni des normes. Le débit minimum biologique ne saurait donc être assimilé d'emblée au 10^{ème} du module.

Notons enfin que, si le débit à l'amont immédiat de l'ouvrage est inférieur au débit réservé fixé par l'autorité administrative, c'est l'intégralité de ce débit entrant qui doit être restitué au droit ou à l'aval de l'ouvrage.

5.7.3. Définitions

- Débit minimum biologique

Ce terme est consacré par l'usage et correspond à la notion définie par le premier paragraphe du I de l'article L214-18 du code de l'environnement : « débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux ». La détermination de ce débit minimum biologique doit faire l'objet d'une étude particulière analysant les incidences d'une réduction des valeurs de débit à l'aval de l'ouvrage sur les espèces vivant dans les eaux, suivant une des 3 méthodes définies dans la circulaire du 5 juillet 2011 : méthode hydrologique, hydraulique ou habitat.

- Débit plancher

Le débit plancher est défini au second paragraphe du I de l'article L214-18 du code de l'environnement. Il correspond à un minimum intangible servant de protection pour les milieux aquatiques. Il est exprimé en fraction de débit moyen interannuel naturel (module) et correspond au 10ème ou 20ème de celui-ci suivant les cas.

- Débit réservé

Cette notion de « débit réservé » est consacrée elle-aussi par l'usage et est souvent utilisée dans les titres régissant les ouvrages. Elle a une portée législative et réglementaire et désigne la valeur du débit telle qu'elle est fixée par le titre de l'ouvrage, en application minima du I de l'article L. 214-18 du code de l'environnement ou des textes qui l'ont précédé, et donc la valeur du débit instantané qu'un ouvrage établi dans le lit d'un cours d'eau doit laisser transiter à son aval immédiat. Cette valeur de débit réservé doit correspondre à la plus forte valeur entre le débit minimum biologique et le débit plancher.

5.7.4. Cas particulier du barrage de Dardennes

5.7.4.1. LA RESTITUTION ACTUELLE DES EAUX AU LAS

Dans le cas du barrage de Dardennes, aucun débit réservé n'était imposé jusqu'à présent. Le débit minimal dans le Las provient des fuites du barrage et des eaux de lavage des filtres de l'usine de traitement de Dardennes.

Les eaux rejetées au Las ressortent de l'usine de traitement située à aval immédiat du barrage.

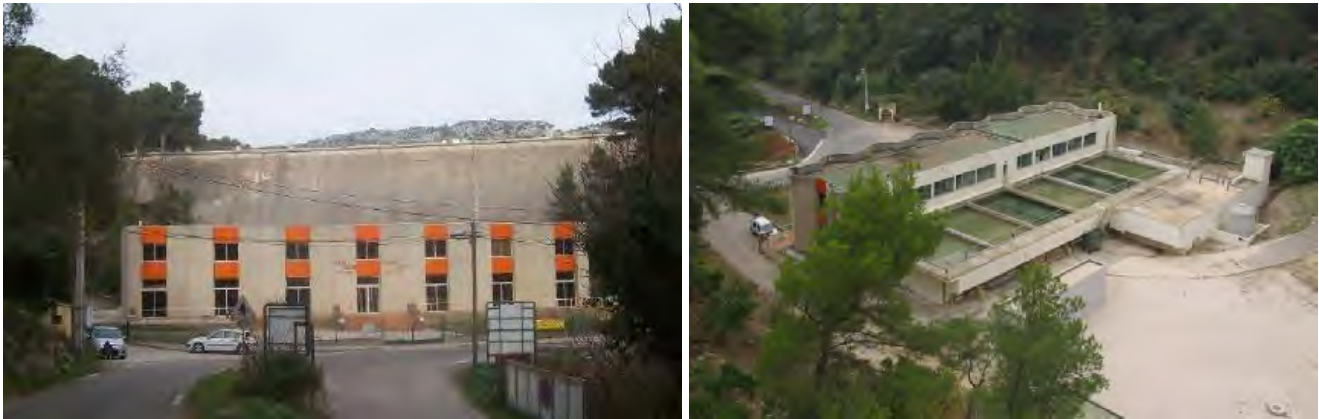


Fig. 49. Vues de l'usine de traitement

En effet, le barrage de Dardennes est traversé à sa base par trois conduites en fonte calées au même niveau (92,10 m à l'amont et 91,4 m à l'aval).

La conduite située en rive gauche est la conduite de prise, qui constitue à la fois un ouvrage de restitution pour l'alimentation aval, mais également un ouvrage de sécurité qui peut participer à la vidange de la retenue. Cette conduite en acier de diamètre 600 mm est parallèle au parement amont, inclinée pour suivre la pente du talus rive droite. Cette conduite est équipée d'une crépine de prise haute (calée à 103,90 m NGF) et d'une crépine de prise basse. Seule la crépine haute est utilisée pour les prélèvements d'eau. Elle se termine par un coude à 90° raccordé à la conduite 800mm (700 mm intérieur) qui traverse le barrage. Un piquage, vraisemblablement en diamètre 400 mm sur la conduite de prise permet d'alimenter une micro-centrale située au pied de l'ouvrage. Le débit nominal d'équipement de la prise d'eau est de 500 l/s.

Les 3 conduites de vidange traversent ensuite le barrage et débouchent dans une chambre de vannes.

Les 3 vannes aval sont de type guillotine (de diamètre utile 800 mm) et sont manœuvrées par un servomoteur électrique. Elles sont également équipées d'un volant de manœuvre manuel débrayable avec sécurité (en cas de manœuvre électrique simultanée). L'organe de manœuvre est muni d'un dispositif de fins de course, et d'un indicateur de la position de la vanne. Ces vannes de réglages permettent actuellement de régler le débit de vidange. Après la chambre des vannes, les trois conduites débouchent dans le canal de fuite aval, aujourd'hui situé sous l'usine.



Fig. 50. Vue depuis l'amont de la conduite de prise et du bajoyer de l'ancien chenal d'évacuation des vidanges

À noter que l'usine de traitement des eaux qui reçoit l'eau brute de la retenue (directement et indirectement via la micro-centrale) peut également être alimentée directement par la galerie du Ragas (depuis la source), ce qui permet d'assurer une production minimale de l'usine en cas d'indisponibilité de la retenue (vidange ou mauvaise qualité des eaux).

Les vannes amont des conduites de vidange et de prise du barrage sont manœuvrées par commande locale depuis une armoire électrique située sur la crête du barrage. Les vannes aval de réglage sont en commande locale depuis une armoire électrique située au pied du barrage dans la chambre des vannes. Elles sont également manœuvrables manuellement par volant manuel débrayable, situé sur la vanne.

Les différentes vannes de la micro-centrale, ainsi que les vannes équipant la conduite du Ragas, sont également manœuvrables localement. Aucune vanne n'est manœuvrable à distance. Le fonctionnement hydraulique est schématisé sur la figure en page suivante.

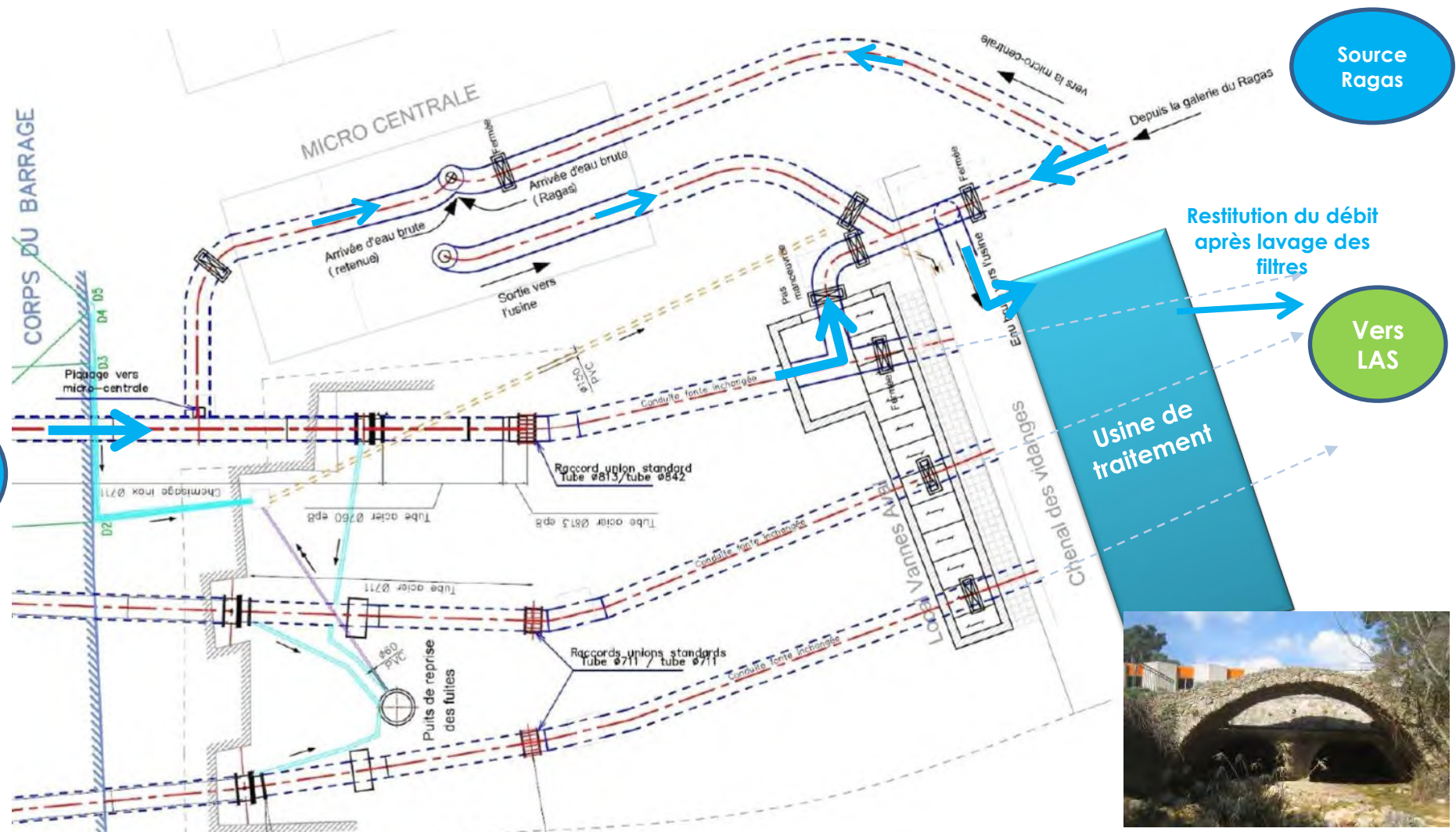


Fig. 51. Schéma des conduites de vidange et de la provenance des eaux issues du débit réservé (fond de plan issu de l'EDD, SCP 2012)

5.7.4.2. CONFIGURATION ATYPIQUE DU COURS D'EAU

La retenue d'eau est directement alimentée par des **résurgences karstiques** dont celle du Ragas appartenant à un très vaste aquifère de fonctionnement complexe. Le Las prend naissance en aval de la retenue. Cours d'eau méditerranéen, le Las a toujours subi des étiages sévères les mois de sécheresses. De plus, **le cours d'eau s'écoule sur un socle karstique avec des pertes en plusieurs secteurs sur son linéaire naturel**. Cela peut lui conférer d'être considéré comme cours **d'eau atypique** au sens de l'article L. 214-18 CE dans le cas de cours d'eau à fonctionnement atypique ou d'étiage naturel exceptionnel du fait de son hydrogéologie qui explique l'intermittence naturelle du cours d'eau. En effet :

- Les sources alimentant la retenue ne sont pas pérennes en tout temps,
- Les pertes en aval du barrage contribuent à assécher certains tronçons du cours d'eau.

5.7.5. Débits à considérer pour la fixation du débit réservé du barrage de Dardennes**5.7.5.1. DÉBIT PLANCHER**

Le module interannuel des sources du Las a fait l'objet d'une étude réalisée par ARTELIA en 2013 (voir en annexe). **Le module interannuel des sources est estimé à 450 l/s.**

Le débit plancher, égal à 1/10^e du module interannuel, est 45 l/s.
--

5.7.5.2. DÉBIT BIOLOGIQUE (SOURCE : MRE)

L'estimation du débit biologique a fait l'objet d'une étude réalisée par la Maison Régionale de l'Eau (MRE) en 2013. L'étude complète est présentée en annexe et la conclusion de l'étude MRE est reprise ci-dessous.

« Le Las, cours d'eau naturel dans sa partie amont et artificialisé dans sa partie basse, héberge un peuplement piscicole typique des contextes intermédiaires (cyprinidés d'eaux vives) avec la présence de trois espèces patrimoniales : l'anguille, le barbeau méridional et la blennie fluviatile.

<i>Suite à l'étude des microhabitats réalisée à l'aide du logiciel EVHA, dans la partie amont du Las, le débit biologique pour ce cours d'eau a été estimé aux alentours de 400 l.s⁻¹. Cette valeur est assez élevée et correspond à peu près au module du cours d'eau. Elle montre de fortes contraintes imposées aux poissons à certaines périodes de l'année, même en régime naturel. Cette situation est souvent retrouvée sur les cours d'eau méditerranéen qui présentent un module comparable aux autres cours d'eau mais des amplitudes de débit plus fortes (fortes crues et étiages prononcés). Dans ce cas, les évaluations hydrologiques et la règle du 1/10ème du module sont probablement plus fiables. »</i>

5.7.5.3. DÉBIT RÉSERVÉ

La Maison Régionale de l'Eau (MRE) estime qu'«une grande partie du las est confrontée à l'affleurement de la roche mère et à un fort colmatage du substrat lié en partie à la géologie (eau calcaire) mais également des apports anormaux de matières en suspension. C'est une contrainte très forte pour les milieux aquatiques en termes de perte d'habitat piscicole et de moindre qualité hydrobiologique. Il est alors important dans un premier temps d'essayer d'améliorer la

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT

fonctionnalité du biotope, en mettant en place un système limitant les déversements de matières fines directement dans le milieu aquatique et notamment en période d'étiage.

Les enjeux pourraient donc être beaucoup plus d'ordre qualitatif que quantitatif et s'articuler autour de **quatre axes** :

- La **garantie** toute l'année et dans la limite des entrants **du débit réservé** qui apporterait aussi de la fraîcheur au cours d'eau (température toujours inférieures à 18°C).
- Une amélioration de la qualité de l'eau par **réduction des apports de matières** en suspension dans le cours d'eau.
- Une **diminution des variations brusques** du débit en tamponnant les restitutions.
- Des **modalités de vidange** améliorées.

Le débit réservé pourrait donc améliorer de manière significative la fonctionnalité de ce cours d'eau fortement anthropisé mais qui continue à abriter des espèces aquatiques à forte valeur patrimoniale (anguille, barbeau méridional et blennie fluviatile), tout en gardant une valeur proche du 1/10^{ème} du module du cours d'eau.

D'un point de vue quantitatif, les marges de manœuvre sont très étroites. Deux scénarii peuvent toutefois être envisagés :

- Un débit réservé égal au 1/10^{ème} du module toute l'année soit 45 l.s⁻¹.
- Un débit modulé pendant les trois mois d'été à 20 l.s⁻¹ correspondant environ à l'étiage de la source et un débit plus élevé le reste de l'année soit 60 l.s⁻¹. Le gain en SPU représenterait alors environ 2 à 3%. »

Le scénario de débit réservé avec modulation intermensuelle a été retenu par le pétitionnaire, en concertation avec la DDTM et l'ONEMA. La modulation du débit proposée est un débit de 30 l/s pendant les 3 mois d'été (mois de juillet, août et septembre) et 60 l/s le reste de l'année.

Cette modulation permet à la fois de respecter les besoins d'alimentation en eau de la ville de Toulon et d'améliorer la capacité d'accueil du cours d'eau pour les espèces piscicoles.

De plus, la mise en place d'une filière de traitement des eaux de lavage des filtres de l'usine de Dardennes permettra une nette amélioration de la qualité du débit restitué au Las par rapport à l'état actuel.

6. ANALYSE DES INCIDENCES DIRECTES ET INDIRECTES, À COURT, MOYEN, LONG TERMES DU PROJET ET MESURES ENVISAGÉES POUR ÉVITER OU RÉDUIRE CES IMPACTS

6.1. NOTIONS PRÉALABLES

6.1.1. Identification et évaluation des impacts du projet

L'analyse de l'état initial a permis d'apprécier une partie des éléments naturels et humains de l'environnement susceptibles de représenter des enjeux. Ainsi, au regard des enjeux identifiés, il est possible d'apprécier les impacts sur l'environnement résultant de la mise en place du projet.

Cette phase du dossier d'incidences vise à identifier, évaluer et quantifier les effets du projet sur le milieu aquatique.

Dans ce cadre, nous avons repris le vocabulaire utilisé pour la rédaction des Études d'Impact. Les textes français régissant l'Étude d'Impact désignent les conséquences d'un projet sur l'environnement sous le terme d'effets. Les termes d'effets et d'impacts sont souvent utilisés indifféremment pour nommer ces conséquences et c'est le parti qui a été pris dans la présente étude.

6.1.1.1. EFFETS PERMANENTS ET EFFETS TEMPORAIRES

Il est possible de reprendre la réglementation relative aux études d'impact qui fait une distinction entre effets permanents et temporaires :

- un effet permanent est un effet persistant dans le temps ; il est dû à la construction même du projet ou à son exploitation et son entretien,
- un effet temporaire est un effet limité dans le temps, soit parce qu'il disparaît immédiatement après cessation de la cause, soit parce que son intensité s'atténue progressivement jusqu'à disparaître. Les travaux de réalisation d'un ménagement sont par essence limités dans le temps : la plupart des effets liés aux travaux sont de ce fait des effets temporaires.

6.1.1.2. EFFETS À COURT, MOYEN ET LONG TERMES

Le « court terme » fait référence à une période brève, instantanément ou dans l'année. Le « moyen terme » se situe entre le court et le long terme, généralement entre 1 et 5 ans. Le « long terme » désigne une longue période, au-delà de 5 ans.

6.1.1.3. EFFETS DIRECTS ET INDIRECTS

La réglementation relative aux études d'impact distingue « effets directs » et « indirects » :

- un « effet direct » traduit les conséquences immédiates du projet, dans l'espace et dans le temps,
- un « effet indirect » résulte d'une relation de cause à effet ayant à l'origine un effet direct. Un effet indirect peut concerner des territoires éloignés du projet, ou apparaître dans un délai plus ou moins long.

>> Pour chacun des thèmes traités dans l'état initial, l'analyse des effets négatifs ou positifs, directs et indirects, à moyen court et long terme, est réalisée pour deux étapes de la vie de l'opération, à savoir en phase chantier (effet temporaire) et en phase exploitation (effet permanent).

6.1.2. Proposition de mesures

Par une analyse progressive, le présent chapitre s'attache également à proposer un ensemble de mesures visant à éviter, supprimer, réduire et finalement compenser l'impact du projet.

L'intégration environnementale s'appuie sur deux principes. Le gain peut en effet être obtenu suite à une réflexion sur le projet lui-même par la modification des éléments constitutifs afin de limiter les conflits (mesures d'évitement et de suppression dans le cadre de la conception), mais également grâce à des considérations d'ensemble (mesures de réduction), notamment lors de l'organisation et du phasage du chantier.

Suivant le principe de non-perte globale, les mesures qui évitent le dommage et agissent directement sur le projet, sont privilégiées par rapport aux mesures qui réduisent l'impact.

Au vu des impacts résiduels du projet, le maître d'ouvrage pourra être amené à proposer des mesures compensatoires et à budgéter les dépenses afférentes au titre de l'économie globale du projet.

6.1.2.1. MESURES D'ÉVITEMENT OU DE SUPPRESSION

Les mesures de suppression sont rarement identifiées en tant que telles. Elles sont généralement mises en œuvre ou intégrées dans la conception du projet, du fait du choix d'un parti d'aménagement qui permet d'éviter un impact jugé intolérable pour l'environnement, ou grâce à des choix technologiques permettant de supprimer des effets à la source.

6.1.2.2. MESURES DE RÉDUCTION

Les mesures réductrices sont mises en œuvre dès lors qu'un effet négatif ou dommageable ne peut être supprimé totalement lors de la conception du projet. Elles visent à atténuer les effets négatifs du projet et peuvent s'appliquer aux phases de chantier, de fonctionnement et d'entretien des aménagements. Il peut s'agir d'équipements particuliers, mais aussi de règles d'exploitation et de gestion.

6.1.2.3. MESURES DE COMPENSATION

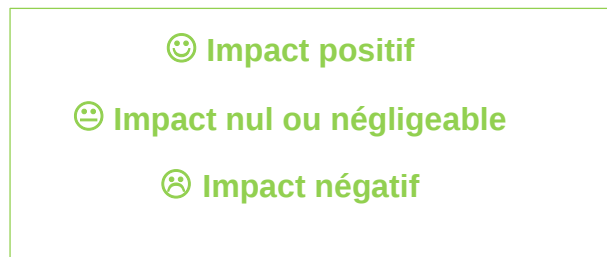
Ces mesures à caractère exceptionnel sont envisageables dès lors qu'aucune possibilité de supprimer ou de réduire les impacts d'un projet n'a pu être déterminée. Elles peuvent ainsi se définir comme tous travaux, actions et mesures :

- ayant pour objet d'apporter une contrepartie aux conséquences dommageables qui n'ont pu être évitées ou suffisamment réduites,
- justifiées par un effet direct ou indirect clairement identifié et évalué,
- s'exerçant dans le même domaine, ou dans un domaine voisin, que celui touché par le projet,
- intégrées au projet mais pouvant être localisées, s'il s'agit de travaux, hors de l'emprise finale du projet et de ses aménagements connexes.

6.1.2.4. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT

Les mesures d'accompagnement, sont transversales au projet et peuvent être appliquées sur plusieurs phases et plusieurs thématiques. Elles sont mises en œuvre en cas de risque fort pressenti et/ou afin d'enrichir la connaissance scientifique sur une thématique précise.

Légende utilisée :



6.2. IMPACTS QUANTITATIFS

6.2.1. Débits du Las

En dehors des périodes de fonctionnement de l'évacuateur de crue du barrage de Dardennes et des périodes de vidange de la retenue, le débit réservé du Las sera le débit avec modulation intermensuelle défini dans l'étude ARTELIA et MRE de 2013 et validé par l'ONEMA et la DDTM du Var, **à savoir un débit modulé pendant les trois mois d'été à 30 l.s⁻¹ et un débit plus élevé le reste de l'année soit 60 l.s⁻¹.**

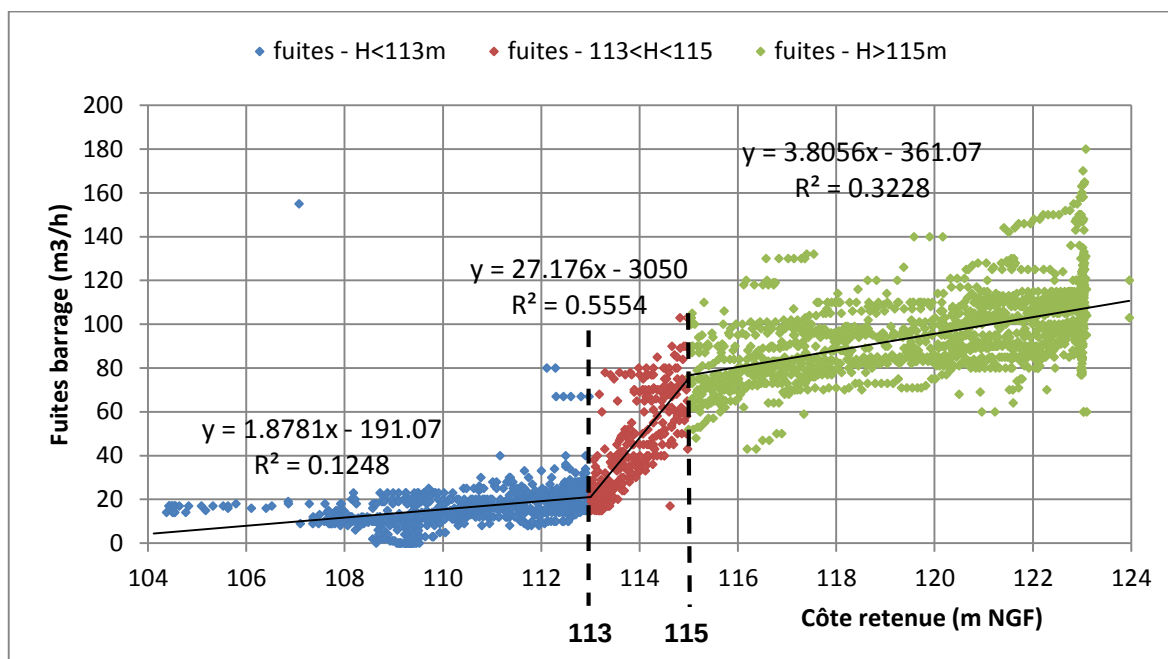
Pour la rivière du Las, l'impact généré par la mise en conformité du débit réservé en aval du barrage de Dardennes **sera une amélioration par rapport à l'état actuel.**

En effet, aucune restitution de débit n'est réalisée dans l'état actuel, hormis le débit provenant des fuites du barrage et du lavage des filtres.

Les données de fuite du barrage ont été étudiées sur la période 2000 à 2009 et une corrélation entre la hauteur d'eau de la retenue et de débit de fuite a été mise en évidence. Le débit de fuite varie entre 0 l/s et 45 l/s en amplitude maximum. Les valeurs obtenue par la corrélation varient entre 3 l/s lorsque le niveau d'eau dans la retenue est inférieur à 110 mNGF et 30 l/s lorsque à l'approche du niveau de surverse de la retenue (123 mNGF).

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT**Fig. 52. Relation côte de la retenue – débit de fuite du barrage**

Dans l'état actuel, le débit de lavage des filtres engendre des variations brusque du débit dans le Las.

>> L'obligation de restitution d'un débit réservé aura une incidence positive sur les débits du Las en aval par rapport à la situation actuelle.

Impact positif ☺ du projet sur l'aspect quantitatif des eaux superficielles **AVANT mesures.**

Mesures

La mise en œuvre du débit réservé sera assurée par réglage de ce débit en sortie d'usine. Le débit réservé provient des eaux issues de l'usine de traitement située à l'aval immédiat du barrage.

Le débit réservé sera restitué directement depuis l'usine, après lavage des filtres. Le débit de lavage des filtres est pris en compte dans la valeur de débit réservé.

Par ailleurs, en aval de l'usine, il est prévu la mise en place d'un bassin tampon, ou bache afin de restituer un débit régulier en aval et continue. Ceci permettra une nette amélioration par rapport au fonctionnement actuel.

Le réglage du débit en sortie sera assuré par la mise en œuvre d'un dispositif de mesure du débit réservé en sortie, en aval de la confluence du canal d'amenée des eaux de fuites du barrage et des eaux en sortie d'usine qui viendront complétées cet apport d'eau.

6.2.2. Incidences sur la ressource en eau souterraine

La restitution d'un débit réservé dans la rivière aura un impact positif sur l'aquifère karstique en relation directe avec le lit du Las. En effet, tel que décrit au §5.2.2 ; des pertes ont été mises en évidence dans le lit du Las, notamment au droit du hameau de Dardennes.

Les traçages réalisés en juin 2015 lors d'une période d'étiage sévère de la rivière ont mis en évidence une relation entre les eaux du Las et les eaux en sortie de la source de Saint-Antoine ce qui confirme les interconnexions complexes entre les différents réservoirs en eau dans la région.

>> La restitution d'un débit réservé plus important que le débit restitué actuellement aura une incidence positive sur la recharge souterraine.

Impact positif 😊 sur l'aspect quantitatif des eaux souterraines AVANT mesures

6.3. IMPACTS QUALITATIFS

6.3.1. Incidences sur la qualité de l'eau

Dans l'état actuel, l'eau de lavage des filtres qui constitue une des deux sources d'eau restituée en aval du barrage (l'autre source de débit étant les fuites du barrage), présente des concentrations importantes de matières en suspension.

Deux phases sont observées pendant le lavage des filtres :

- Une phase de lavage (air et eau)
- Une phase de rinçage à l'eau uniquement

Les eaux issues de la phase de rinçage à l'eau ont des concentrations inférieures à 30 mg/l en MES ce qui permet un rejet direct au milieu naturel.

Les eaux issues du lavage (air et eau) présentent des concentrations importantes de MES et feront l'objet d'un traitement spécifique.

En prenant en compte le volume d'eau généré dans la phase de lavage (air + eau), le volume total journalier pour les 5 lavages est d'environ 300 m³, à raison de 5 lavages par jour et de 60 m³ d'eau généré par lavage.

En considérant une situation moyenne avec une concentration en MES de l'eau brute de 2.5 mg/l, la quantité journalière de MES engendrée par le lavage des filtres est de 69 kg/m³. Ce volume de MES rejeté nécessite un dossier d'autorisation selon la rubrique 2.2.3.0 selon les articles L. 214-1 à L214.6 du Code de l'Environnement.

Pour une situation extrême, la concentration des eaux brutes en MES est de 7 mg/l. pour un volume d'eau de 300 m³ généré par les 5 lavages quotidiens, le volume de MES engendré est de 195 m³/j. ce rejet nécessite donc un dossier d'autorisation si une nouvelle filière n'est pas mise en place.

>> La restitution d'un débit réservé plus important que le débit restitué actuellement qui présente des concentrations importantes en MES aura une incidence négative sur l'aspect qualitatif.

Impact négatif ☹ sur l'aspect qualitatif des eaux superficielles AVANT mesures

Mesures

La qualité des eaux rejetées dans le Las après passage dans l'usine de potabilisation de Dardennes (eaux de lavage des filtres), sera améliorée par la création d'une filière de traitement spécifique des eaux de lavage, décrite dans les paragraphes ci-dessous.

a) Filière de traitement prévue

- Dispositions générales

Selon les informations recueillies auprès de la mairie de Toulon et de Véolia, le traitement complet (épaississement puis déshydratation) des eaux sales sera effectué sur site avec envoi des boues en centre de compostage. Seules les eaux claires d'épaississement sont rejetées dans le Las.

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT

L'implantation de la filière de traitement des eaux sales est prévue sur la parcelle N° 49 section AH située au Sud Est de l'usine. Il s'agit de la parcelle d'un bâtiment désaffecté appartenant à Véolia (plan ci-après).

La filière de traitement envisagée consiste en :

- **L'épaississement** des boues afin de réduire les volumes à traiter. Les boues épaissies auront une concentration en MES de 20 à 30 g/l au lieu de 0.5 à 10 g/l en entrée.
- **La déshydratation** qui permet de réduire encore d'avantage le volume des boues et d'obtenir une siccité et une qualité compatible avec les débouchés envisagés (Centre de compostage).

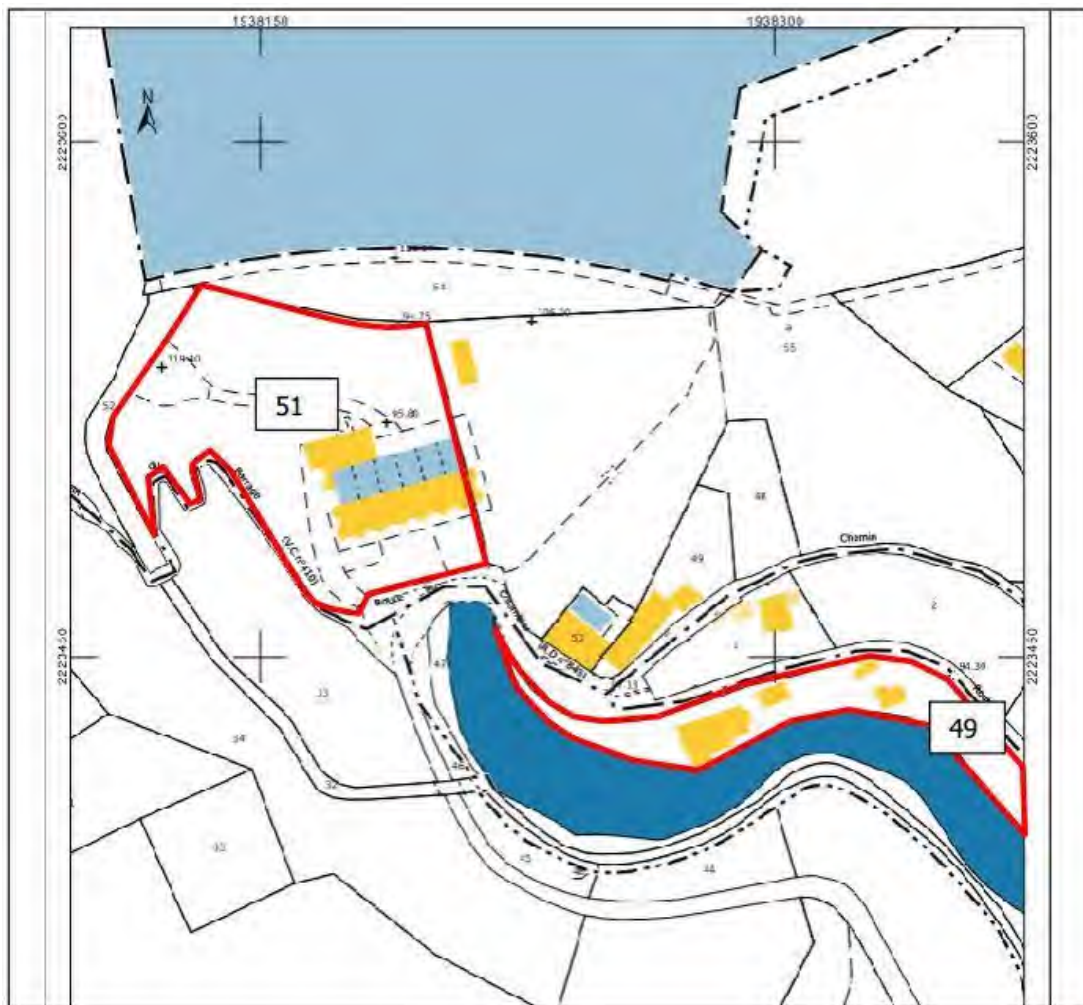


Fig. 53. Parcelle retenue pour la filière de traitement des eaux sales (parcelle n°49)

- **Épaississement gravitaire**

L'objectif de l'épaississement est :

- de réduire le volume des eaux sales (boues épaissies);
- d'améliorer la capacité de production des appareils de déshydratation (concentration en MES minimales nécessaires pour un bon fonctionnement);

- d'évacuer les surverses vers le milieu naturel tout en respectant la réglementation en vigueur.

L'épaississement permet d'augmenter la concentration en MES des boues. Les boues épaissies auront une concentration en MES de 20 à 30 g/l au lieu de 0.5 à 10 g/l en entrée en général.

L'épaississeur est un ouvrage permettant la séparation des matières en suspension par décantation et concentration des boues au fond de l'ouvrage. Les boues soutirées sont plus concentrées que dans un décanteur classique (de 20 à plus de 30 g/l).

L'épaississeur sert également de stockage des boues avant déshydratation, permettant d'économiser une bêche tampon, par exemple pour la déshydratation par filtre presse qui est alimentée de façon discontinue.

- **Déshydratation par filtre-presse à plateau**

La déshydratation permet de réduire le volume de boues et d'obtenir une siccité et une qualité compatibles avec les débouchés (épandage, CET...).

La déshydratation par filtre-presse fonctionne à l'aide de plateaux verticaux, évidés et recouvert de toiles filtrantes. Les plateaux sont disposés en batterie et serrés les uns contre les autres par des vérins hydrauliques. Les chambres ainsi aménagées entre les plateaux sont alimentées avec la boue à l'aide d'une pompe à haute pression. Le résultat est un "gâteau" de boue (boue desséchée) qui sera évacué selon le procédé choisi (CSDU de classe 2 ou épandage).

- Les boues traitées par ce procédé ont une siccité élevée (supérieure à 30%)
- Elles peuvent être facilement manipulées et stockées,
- Le taux de capture des boues de 98%
- La consommation d'énergie est modérée.

L'eau débarrassée de la quasi-totalité de sa matière en suspension, sera ainsi rejetée vers le Las.

b) Mise en place de la filière de traitement

Le traitement des eaux sales se compose, des ouvrages et équipements principaux suivants :

- Une bêche d'eaux sales (agité) permettant d'alimenter à débit constant l'épaississeur,
- Un épaississeur hersé,
- Une bêche de conditionnement des boues épaissies dans le cas de la filière avec filtre-presse,
- Une déshydratation pour obtenir une siccité > 30 % réalisée par un filtre presse, avec ajout de lait de chaux. La chaux est ajoutée dans une bêche de conditionnement, dont le volume équivaut à une pressée ;

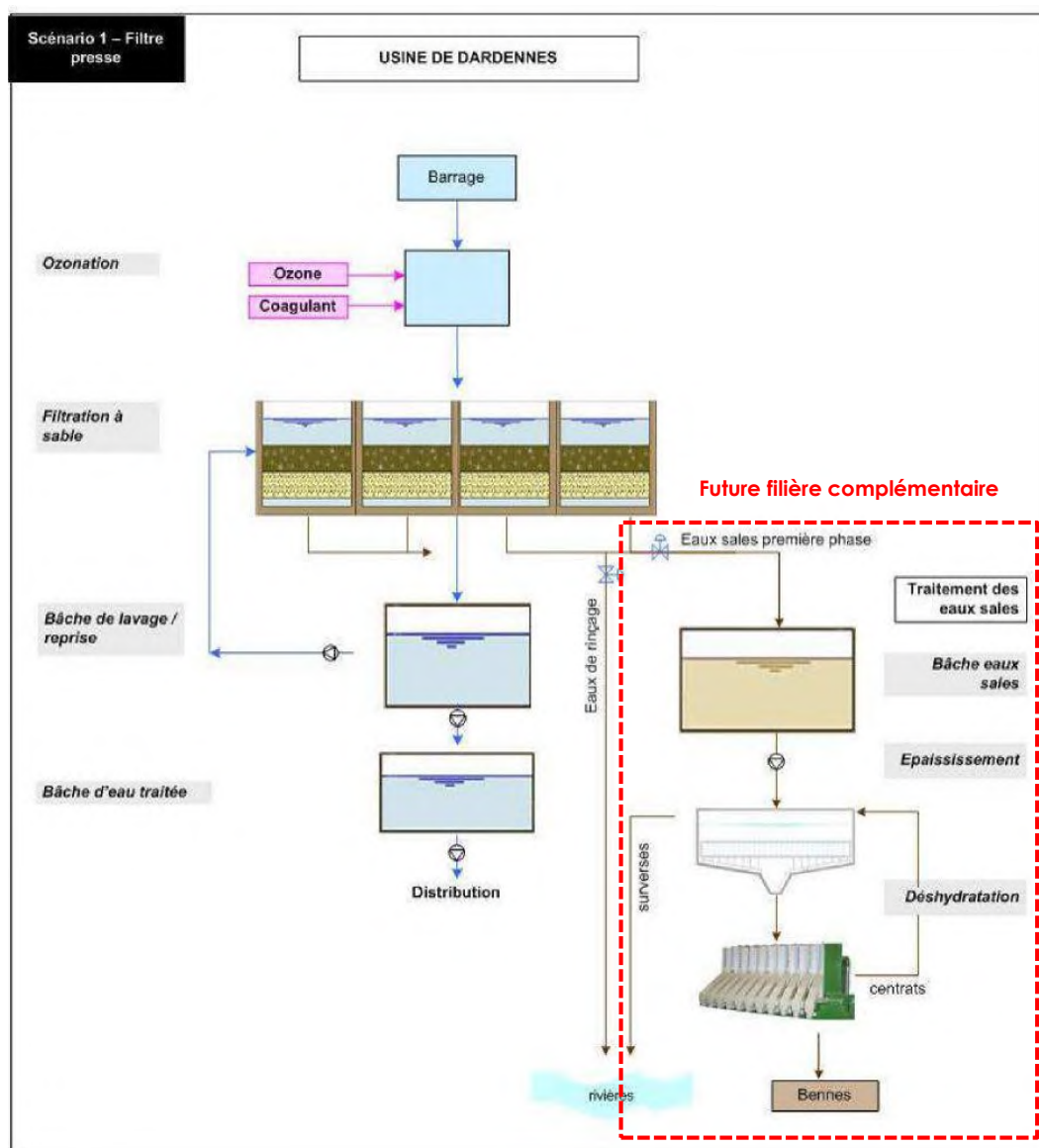


Fig. 54. Filière de traitement prévue pour les eaux de lavage des filtres

c) Dimensionnement et caractéristiques de la filière de traitement

• Bâche de stockage

	Base de dimensionnement	Caractéristiques
Alimentation	Eaux de lavage (air + eau) vers la filière Eaux de rinçage vers le milieu naturel	Mise en place de mesure de turbidité Mise en place d'un DEM Vannage automatique
Bâche des eaux sales	Stockage de : ➢ 5 lavages d'un filtre à sable	Volume $5 * 60 \text{ m}^3 = 300 \text{ m}^3$

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT

- **Épaississement**

	Base de dimensionnement	Caractéristiques
<i>Alimentation</i>	Un secours installé Alimentation continue	(1 + 1) x 15 m³/h sur 20h/j
<i>Épaississement</i>	Vitesse au radier max en pointe (charge et volume) : 1 m/h Charge au radier max en pointe (charge et volume) : 25 kg/m².j	Diamètre : 4.4 m Volume de stockage : 60 m³ Autonomie de stockage 3 jours Surverse au milieu naturel

- **Déshydratation**

	Base de dimensionnement	Caractéristiques
<i>Déshydratation par filtre presse</i>	Bâche de conditionnement : volume d'1 pressée Filtre-presse : 3 pressées par jour en pointe Stockage des boues en benne	Volume conditionnement : 0,5 m³ Volume du filtre : 340 l Taux de chaux : 35% Siccité : 30 % ± 2 % (avec chaulage) 1 benne de 15 m³ autonomie de 12jours en pointe

- **Réactifs**

	Base de dimensionnement	Caractéristiques
<i>Déshydratation par filtre presse</i>	Bâche de conditionnement : volume d'1 pressée Filtre-presse : 3 pressées par jour en pointe Stockage des boues en benne	Volume conditionnement : 0,5 m³ Volume du filtre : 340 l Taux de chaux : 35% Siccité : 30 % ± 2 % (avec chaulage) 1 benne de 15 m³ autonomie de 12jours en pointe

- **Production de boues**

	A Débit moyen Qualité d'eau moyenne	A débit de pointe Qualité d'eau moyenne
Production kgMS/j	310	480
Injection de chaux	110	170
Production kgMS/j (yc chaux)	420	650
Production T MS/an	22	33
Siccité	30%	
Production T boues / an	73	112
Volume de boues m³/an	86	131

d) Incidence de la filière de traitement sur le Las

Actuellement la quantité de boue rejetée dans le Las est de 195 kg/j. Selon l'étude de faisabilité du Cabinet Merlin, l'efficacité de la nouvelle filière est de 98%.

Avec un taux d'efficacité de 90%, la quantité de MES susceptible d'être rejetée dans le Las est de 19.5 kg/j.

La mise en place d'une filière complète de traitement des eaux sales permet de rejeter dans le Las une eau débarrassée de ces matières en suspension. Ainsi il y'aura moins de sédiments dans ces eaux que dans les eaux brutes arrivant directement du Ragas et les sources qui lui sont associées.

Compte tenu de la nature des eaux rejetées (eaux karstiques du Ragas) et du flux de MES concerné, on peut raisonnablement considérer que le rejet ne compromet en rien l'équilibre biologique et écologique du milieu.

6.3.2. Incidences sur la faune et la flore

Le Las, cours d'eau naturel dans sa partie amont et artificialisé dans sa partie basse, héberge un peuplement piscicole typique des contextes intermédiaires (cyprinidés d'eaux vives) avec la présence de trois espèces patrimoniales : l'anguille, le barbeau méridional et la blennie fluviatile.

Suite à l'étude des microhabitats réalisée par la Maison Régionale de l'Eau à l'aide du logiciel EVHA, dans la partie amont du Las, le **débit biologique** pour ce cours d'eau a été estimé aux alentours de **400 l.s⁻¹**. Cette valeur est assez élevée et correspond à peu près au module du cours d'eau. Elle montre de fortes contraintes imposées aux poissons à certaines périodes de l'année, même en régime naturel. Cette situation est souvent retrouvée sur les cours d'eau méditerranéen qui présentent un module comparable aux autres cours d'eau mais des amplitudes de débit plus fortes (fortes crues et étiages prononcés).

>> La restitution d'un débit réservé obligatoire de valeur plus importante que les restitutions actuelles est favorable aux écosystèmes du Las présents ou potentiels.

Toutefois, une grande partie du Las est confrontée à l'affleurement de la roche mère et à un fort colmatage du substrat lié en partie à la géologie (eau calcaire) mais également des apports anormaux de matières en suspension. C'est une contrainte très forte pour les milieux aquatiques en termes de perte d'habitat piscicole et de moindre qualité hydrobiologique.

Impact à la fois négatif et positif ☺ sur la faune et la flore AVANT mesures

Mesures

La mise en place d'une filière de traitement des eaux de lavage des filtres (voir chapitre précédent) va permettre d'améliorer la fonctionnalité du biotope, en mettant en place un système limitant les déversements de matières fines directement dans le milieu aquatique et notamment en période d'étiage.

La mise en place d'un débit réservé associé à une filière de traitement des eaux de lavage aura un impact positif sur la faune notamment par l'amélioration de la qualité et de la pérennité du débit restitué :

- La **garantie** toute l'année et dans la limite des entrants **du débit réservé**, qui apportera également de la fraîcheur au cours d'eau. L'eau restituée au Las provient de la retenue ou de la source du Ragas. Sa température est toujours inférieure à 18°C, même en période estivale.
- Une amélioration de la qualité de l'eau par **réduction des apports de matières en suspension** dans le cours d'eau.
- Une **diminution des variations brusques** du débit en tamponnant les restitutions.

Le débit réservé (pré-traité) pourrait donc améliorer de manière significative la fonctionnalité de ce cours d'eau fortement anthropisé mais qui continue à abriter des espèces aquatiques à forte valeur patrimoniale (anguille, barbeau méridional et blennie fluviatile), tout en gardant une valeur proche du 1/10^{ème} du module du cours d'eau.

Il faut rappeler que, d'un point de vue quantitatif, les marges de manœuvre sont très étroites. Le scénario retenu est le scénario de modulation intermensuel du débit réservé :

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes
RAPPORT

- Un débit modulé pendant les trois mois d'été à 30 l.s⁻¹, et un débit plus élevé le reste de l'année, soit 60 l.s⁻¹. Le gain en Surfaces Pondérées Utiles (SPU) représenterait alors environ 2 à 3%.

L'interprétation des courbes d'évolution des surfaces pondérées utiles couplées à la connaissance des sites et de leur environnement permet de voir les évolutions de la capacité d'accueil du cours d'eau par rapport au futur débit réservé.

Ces débits étant extrêmement bas, les gains estimés sont très théoriques. Leur délivrance et les mesures de débit associé sont très difficiles à mettre en application.

À titre indicatif, MRE a estimé plusieurs gains au-delà de 50 l.s⁻¹ (correspondant environ au dixième du module interanuel du cours d'eau) :

augmentation du débit	Gains (l.s-1)	% de gain de SPU/100m	
		chevesne adulte	vairon adulte
de 0,05 à 0,06 m3/s	10	3,0	2,0
de 0,06 à 0,07 m3/s	10	2,8	2,2
de 0,05 et 0,07 m3/s	20	5,6	4,2
de 0,07 et 0,13 m3/s	60	16,5	12,9
de 0,06 et 0,13 m3/s	70	18,8	14,8
de 0,05 et 0,13 m3/s	80	21,2	16,5
de 0,05 à 0,15 m3/s	100	26,8	20,7

Le gain commence à devenir significatif avec une augmentation d'environ 60 l.s⁻¹. Le débit réservé pourrait donc améliorer de manière significative la fonctionnalité de ce cours d'eau fortement anthropisé mais qui continue à abriter des espèces aquatiques à forte valeur patrimoniale (anguille, barbeau méridional et blennie fluviatile), tout en gardant une valeur proche du 1/10ème du module du cours d'eau.

6.3.3. Incidences sur les usages

L'instauration d'un débit réservé n'aura pas d'impact sur les usages : irrigation et loisirs. À plus long terme, de nouveaux usages pourraient revoir le jour (pêche par exemple).

En revanche, l'impact sur la disponibilité de la ressource pour l'Alimentation en Eau Potable (AEP) sera important en cas de sécheresse marquée (telle que la sécheresse observée en 2005) surtout pour les sécheresses de printemps ou d'automne où le débit réservé est fixé à 60 l/s. Il sera alors sans doute nécessaire, pour la Ville de Toulon, d'augmenter ses achats d'eaux brutes à la Société du Canal de Provence (SCP).

À l'avenir, la possibilité de pouvoir compter sur les prélèvements à la source de Saint-Antoine permettra une ressource complémentaire

Absence d'impact ou impact positif 😊 sur les usages autres que l'alimentation en eau potable

6.3.4. Incidences sur les milieux remarquables

L'instauration du débit réservé aura une incidence positive sur la faune aquatique par rapport à l'état actuel, grâce à la garantie d'un débit minimum dans le Las en aval de la retenue et à l'amélioration de la qualité des eaux restituées au Las par la mise en place de la filière de traitement des eaux de lavage des filtres.

Impact positif 😊 sur les milieux remarquables

6.3.5. Incidences sur les périmètres de protection de la retenue

La modification du débit réservé n'aura pas d'incidence sur les périmètres de protection de la retenue.

Absence d'impact 😊 sur les périmètres de protection

En conclusion, l'instauration d'un débit réservé, associé à la mise en place d'une filière de traitement des eaux de lavage des filtres de l'usine de Dardennes présente nette amélioration sur l'ensemble des enjeux (aspects quantitatifs, aspects qualitatifs, écosystèmes, usages...) présents et permet même d'envisager de nouvelles potentialités pour ce cours d'eau.

7. COMPATIBILITÉ AVEC LE SDAGE

Le projet est inclus dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse. Il doit donc, à ce titre, répondre aux orientations de son SDAGE.

Les mesures réductrices d'impacts qui accompagnent le projet assurent une maîtrise des débits et des sources potentielles de pollution en aval de la retenue.

L'application de préconisations particulières (définies en tant que Mesures Compensatoire et Moyens de surveillances et d'intervention) permettra de limiter les incidences du projet et de les maîtriser dans un contexte global de développement durable.

Dans ce cadre, le projet ne fait pas l'impasse sur la priorité aux économies d'eau et à la maîtrise des consommations.

Plus particulièrement, les directives suivantes du nouveau SDAGE 2016-2021 concernent le secteur d'études :

Tabl. 11 - Mesures du SDAGE 2015-2021 portant sur la ressource en eau souterraine concernée par le projet

Calcaires du Bassin du Beausset et du massif des Calanques - FRDG168			
Mesures spécifiques du registre des zones protégées			
Directive concernée : Qualité des eaux destinée à la consommation humaine			
AGR0503 Elaborer un plan d'action sur une seule AAC			
Code	Mesures	Commentaires - précisions	Maîtrise d'ouvrage
AGR0503	Elaborer un plan d'action sur une seule aire d'alimentation de captage (AAC)	Cette mesure vise à reconquérir la qualité de l'eau d'un captage prioritaire du SDAGE. Il s'agit : <u>En Zones Soumises à Contraintes Environnementales :</u> - de délimiter la zone de protection ; - de définir le programme d'action agricole ; - d'imposer le programme d'action réglementairement, intégralement ou en partie 1 à 3 ans après la définition du programme d'action agricole, si nécessaire ; - de mettre en œuvre un plan de contrôle. <u>Hors Zones Soumises à Contraintes Environnementales :</u> - de délimiter l'AAC si ce travail n'a pas déjà été fait dans le cadre d'une étude globale portant sur plusieurs AAC ; - d'élaborer et rédiger le plan d'action s'y rapportant ; - d'évaluer la mise en œuvre de ce dernier. Ce programme d'action est établi à partir des conclusions du diagnostic territorial des pressions agricoles permettant entre autres de définir les zones de protection des aires d'alimentation de captages (ZPAAC) (également appelées "périmètres de protection efficace").	Collectivité locale Etablissement public

>> la démarche de mise en œuvre des périmètres de protection du prélèvement sur la retenue de Dardennes est concomitante à la demande de fixation du débit réservé de Dardennes.

Aussi, l'amélioration de la qualité des eaux pour la restitution du débit au Las participe à la protection de l'aquifère.

Les masses d'eau superficielles FRDR116 a et b (Le Las amont et aval) ne sont pas concernées par une action d'amélioration de la connaissance sur l'état des pressions.

On notera également que les orientations fondamentales concernées par le projet sont respectées :

OF 0 : Adaptation au changement climatique

OF 7 : Equilibre quantitatif : atteindre et pérenniser l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir

>> L'obligation de restitution d'un débit réservé permet de garantir un débit minimum restitué à la rivière. Cela permet de limiter les effets du changement climatique notamment en cas de sécheresse sévère.

OF 1 : Prévention : privilégier la prévention et les interventions à la source pour plus d'efficacité

>> Le débit réservé est restitué en aval immédiat du barrage.

OF 2 : Non dégradation : concrétiser la mise en œuvre du principe de non dégradation des milieux aquatiques,

OF 5. Lutte contre les pollutions : lutter contre les pollutions, en mettant la priorité sur les pollutions toxiques et la protection de la santé :

A. Poursuivre les efforts de lutte contre les pollutions d'origine domestique et industrielle.

B. Lutter contre l'eutrophisation des milieux aquatiques.

C. Lutter contre les pollutions par les substances dangereuses.

D. Lutter contre la pollution par les pesticides par des changements conséquents dans les pratiques actuelles.

E. Évaluer, prévenir et maîtriser les risques pour la santé humaine.

OF 6 : Fonctionnement des milieux aquatiques et des zones humides : préserver et développer les fonctionnalités naturelles des bassins et des milieux aquatiques :

A. Agir sur la morphologie et le découloisonnement pour préserver et restaurer les milieux aquatiques.

B. Prendre en compte, préserver et restaurer les zones humides.

C. Intégrer la gestion des espèces faunistiques et floristiques dans les politiques de gestion de l'eau.

>> La mise en œuvre du débit réservé qui sera prétraité afin d'éviter un apport chargé en MES permettra une préservation, voire une amélioration sur les écosystèmes présents et potentiels du Las. Les mesures entre dans le champs de : lutte contre les pollutions d'origines industrielles, lutte contre l'eutrophisation des milieux, maîtrise du risque pour la santé humaine, l'action sur morphologie et le découloisonnement pour préserver et restaurer les milieux aquatiques et de l'intégration des espèces faunistiques et floristiques dans les politiques de gestion de l'eau.

OF 3 : Enjeux économiques et sociaux : intégrer les dimensions sociale et économique dans la mise en œuvre des objectifs environnementaux

>> La délivrance du débit réservé lors des sécheresses sévères, pour les mois d'automne et de printemps (60l/s) pourrait avoir des incidences sur l'Alimentation en Eau Potable de l'aire toulonnaise. C'est pourquoi la ville de Toulon devra se tourner vers une autre ressource soit par achat d'eau ou en se

tournant vers une autre ressource. La source de Saint-Antoine anciennement exploitée fait l'objet d'études pour la remise en fonctionnement.

SECTION 4 ENTRETIEN DES OUVRAGES, MOYENS DE SURVEILLANCE ET D'INTERVENTION

8. MOYENS DE SURVEILLANCE ET D'INTERVENTION

8.1. SURVEILLANCE DE LA VALEUR DU DÉBIT RÉSERVÉ

Le respect de la valeur de débit réservé en aval du barrage sera assuré par contrôle du débit au niveau du canal de mesure existant servant actuellement au contrôle de la « fuite barrage » ou « fuite usine » installé depuis 1975 dans le lit du Las (FUI TE USINE), en aval du pont romain. Ce canal est équipé d'un dispositif bulle à bulle et l'information est transmise en continu sur l'ordinateur du local de surveillance. Ce canal recueille toutes les fuites du barrage ainsi que les eaux de lavage de l'usine qui sont rejetées en amont.

Aussi, **il sera impératif de créer dans cette configuration un nouvel ouvrage de mesure des débits de fuite du barrage**, en amont, de sorte d'améliorer le dispositif existant et de permettre un contrôle continu où seuls les débits de fuites seront mesurés (eaux de lavages des filtres rejetées par l'usine exclues de ce nouveau dispositif). En cas d'empêchement au regard de l'historique des mesures, un dispositif complémentaire sera créé afin de mesurer les débits d'eaux de lavage et de restitution.

Par ailleurs, le respect du débit réservé en aval du barrage et de l'usine de Dardennes sera soumis à des contrôles impromptus de la part des services de contrôle (DDTM, ONEMA, DREAL, etc.) grâce à la mise en place d'un dispositif de mesures du débit.

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT



Fig. 55. Canal Ventury existant en aval immédiat de l'exutoire au Las

8.2. SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ RESTITUÉE

8.2.1. Fiabilité et sécurité de la chaîne de traitement des eaux sales

La conception de la chaîne de traitement est telle que la qualité de l'eau rejetée dans le Las soit conforme aux textes réglementaires.

Un suivi qualitatif des eaux rejetées dans le Las sera assuré dans la nouvelle installation de lavage des filtres:

- Un ensemble de capteurs et de comptages est prévu à chaque étape de traitement. Les informations collectées sur l'usine sont reprises sur une unité centrale de commande et de supervision afin d'assurer le suivi de la filière de traitement,
- Des équipements de secours sont prévus afin d'éviter toute interruption de traitement
- Des voies de circulation larges sont aménagées autour du bâtiment afin d'en faciliter l'accès,
- Les dispositifs de manutention (portique, rail, potence, palan...) nécessaires pour le déplacement des équipements les plus encombrants sont prévus,
- Une ventilation efficace des locaux techniques est prévue.

8.2.2. Protection et sécurité du personnel

L'hygiène et la sécurité du personnel sont prises en compte dans la conception du projet : vestiaires, ventilation des locaux, insonorisation des machines bruyantes, gestion des opérations de manutention.

Des dispositions sont prévues pour éviter la transmission des vibrations des équipements.

Les locaux dans lesquels sont installées des machines bruyantes sont insonorisés et la nature des matériaux permet de limiter la réverbération du bruit.

L'installation comporte les matériels de protection nécessaires à l'obtention d'un bon niveau de sécurité en fonction de la nature des ouvrages et des équipements : rambardes et garde-corps, panneaux de signalisation, affiches réglementaires, alarmes, extincteurs, perches, bouées, tabouret isolant, pharmacie de secours.

Outre les prescriptions réglementaires concernant la protection contre l'incendie et la sécurité des travailleurs, ainsi que celles relatives à l'environnement et celles relatives aux réactifs, l'installation est réalisée pour limiter au maximum les risques d'accident et les nuisances pour le personnel.

Les manutentions sont limitées au maximum. Des rails de manutention sont prévus pour évacuer les équipements les plus lourds ou les plus encombrants (pompes...) et des potences pour les plus petits. Des points d'ancrages sont également prévus, ainsi que des systèmes mobiles dans certains cas (transpalette pour les modules d'UF par exemple).

Les locaux présentant un risque particulier d'incendie ou d'explosion sont munis de détecteurs pouvant générer, le cas échéant, une alarme.

Les lieux clos dans lesquels des atmosphères dangereuses pourraient se former sont munis d'appareils de détections et d'alarme.

Des portes anti-paniques sont prévues dans les locaux techniques.

Les emplacements et dispositifs de stockage des réactifs tiennent compte des volumes et quantités nécessaires au fonctionnement de l'installation, en période de pointe, et des difficultés éventuelles d'accès liées aux conditions climatiques.

Les stockages de produits dangereux sont munis de cuves de rétention nécessaires pour prévenir toute pollution en cas de fuite ou de débordement.

L'installation comporte tous les dispositifs de manutention de sécurité et de neutralisation nécessaires compte tenu du conditionnement des réactifs.

Des rince-œil et des douches de sécurité sont prévus au niveau de l'aire de dépotage des réactifs et du stockage des réactifs, ainsi que dans tous les autres locaux à risque.

9. ENTRETIEN DES OUVRAGES

Un nettoyage des équipements devra être effectué périodiquement.

Les dispositifs de mesure de débits feront l'objet de vérifications périodiques et de contrôles métrologiques annuels.

La filière de traitement des eaux des filtres fera l'objet d'une surveillance journalière (jours ouvrés).

Dossier d'autorisation au titre du code de l'environnement

Autorisation de restitution du débit réservé dans le Las en aval du barrage de Dardennes

RAPPORT

ANNEXE 1



Barrage de Dardenne

ETUDE DU DEBIT PLANCHER EN AVAL DU BARRAGE

CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE ET DEFINITION DU DEBIT PLANCHER

Région Méditerranée

18 rue Elie Pelas
Le Condorcet
13322 Marseille Cedex 16
Tel. : +33 (0)4 91 17 00 00
Fax : +33 (0)4 91 17 00 73

VEOLIA EAU

SOMMAIRE

Synthèse et Conclusions	1
I. OBJET DE L'ETUDE	1
II. DEROULEMENT DES OPERATIONS	1
III. RESULTATS	1
1. PRESENTATION DU SITE	2
1.1. CONTEXTE REGLEMENTAIRE	2
1.2. PRESENTATION SUCCINCTE DU BARRAGE ET DE LA RETENUE DE DARDENNESS	3
1.3. PRESENTATION SUCCINCTE DU LAS	5
1.4. SUPERFICIE DES BASSINS VERSANTS	7
2. ETUDE DU DEBIT PLANCHER	9
2.1. PREAMBULE	9
2.2. RECONSTITUTION DE LA CHRONIQUE DES DEBITS ENTRANTS SUIVANT LE PRINCIPE DE BILAN HYDROLOGIQUE	9
2.2.1. Paramètres du bilan hydrologique	10
2.2.2. Résultats du bilan hydrologique	12
2.2.2.1. ANALYSE DES DONNEES	12
2.2.2.2. MODULE INTERANNUEL	15
2.2.2.3. ANALYSE COMPARATIVE AVEC DES ETUDES ANTERIEURES	16
2.3. REALISATION D'UN MODELE PLUIE-DEBIT	16
2.3.1. Critère de performance	18
2.3.2. Modèle GR4J	18
2.3.3. Modèle conceptuel à réservoirs	19
2.3.3.1. MODELE DE BASE	19
2.3.3.2. ADAPTATION DU MODELE AU CAS DE DARDENNES	20
2.3.4. Données nécessaires aux modèles	21
2.3.5. Résultats et comparaison des modélisations	23
2.3.5.1. CRITERE QUANTITATIF	23
2.3.5.2. CRITERE QUALITATIF	24
2.4. MODULE DU LAS	25
ANNEXE 1 EVOLUTION DES DEBITS : bilan hydrologique et modèle à réservoirs	26
ANNEXE 2 FONCTIONNEMENT DU MODELE GR4J	31
ANNEXE 3 FONCTIONNEMENT DU MODELE A RESERVOIRS	36

TABLEAUX

TABL. 1 - MOYENNES MENSUELLES DE DEBIT DES SOURCES DE DARDENNES	15
TABL. 2 - PART DE DEBIT DE SURVERSE DANS LE MODULE ANNUEL DES SOURCES	15
TABL. 3 - ETP (DONNEES METEO FRANCE STATION DE TOULON)	22

TABL. 4 -	PARAMETRES DE CALAGE DES MODELES A RESERVOIRS (EN HAUT) ET GR4J (EN BAS)	23
-----------	--	----

FIGURES

FIG. 1.	A GAUCHE : LA RETENUE DU LAS (LES TACHES MARRONS FONT APPARAÎTRE DEUX SOURCES DE LA RETENUE)	3
FIG. 2.	A DROITE : INVENTAIRE DES SOURCES A L'INTERIEUR DE LA RETENUE (SOURCE : LE LAS, UNE RIVIERE DANS LA VILLE, PAUL COURDON)	3
FIG. 3.	PLAN ET COUPE DU BARRAGE	4
FIG. 4.	COUPE EN LONG GEOLOGIQUE DE LA VALLEE DES DARDENNES ; FONCTIONNEMENT DE LA FOUX ET DU RAGAS DE DARDENNES A TOULON (ETABLIE PAR E.A.MARTEL, 1911)	4
FIG. 5.	LE LAS	6
FIG. 6.	PERTES SUR LE LINEAIRE DU LAS (SOURCE : LE LAS, UNE RIVIERE DANS LA VILLE, PAUL COURDON)	6
FIG. 7.	REPRESENTATION DES BASSINS VERSANT GEOLOGIQUE (EN ROSE) ET TOPOGRAPHIQUE (EN VERT) QUI ALIMENTENT LA RETENUE DE DARDENNES (SOGREAH 2010)	8
FIG. 8.	SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DU BILAN HYDROLOGIQUE	10
FIG. 9.	GRAPHIQUE DE LA LOI HAUTEUR-VOLUME DE LA RETENUE (SOURCE : VEOLIA)	10
FIG. 10.	COURBE DE TARAGE DU DEVERSOIR DE DARDENNES (SOURCE : COB 2008)	11
FIG. 11.	RELATION COTE DE LA RETENUE – DEBIT DE FUITE DU BARRAGE	11
FIG. 12.	EVOLUTION DU DEBIT DES SOURCES DE DARDENNES DEPUIS 1989 AU PAS DE TEMPS JOURNALIER (VOIR DETAIL EN ANNEXE 1)	12
FIG. 13.	MOYENNE ANNUELLE DU DEBIT DES SOURCES DE DARDENNES DEPUIS 1989	13
FIG. 14.	CORRELATION ENTRE LE DEBIT DES SOURCES ALIMENTANT LA RETENUE ET LA PLUIE A DARDENNES	13
FIG. 15.	EVOLUTION DE LA COTE D'EAU ET DU DEBIT DES SOURCES POUR L'HIVER 2010-2011 (EN HAUT) ET POUR NOVEMBRE 2008 (EN BAS)	14
FIG. 16.	REPRESENTATION ET FORMULATION DANS L'ENVIRONNEMENT VENSIM® DU BILAN D'UNE RETENUE D'EAU AVEC SES FLUX ENTRANTS ET SORTANTS	18
FIG. 17.	SCHEMA DE LA STRUCTURE DU MODELE GR4J	19
FIG. 18.	SCHEMA DU MODELE A RESERVOIRS	20
FIG. 19.	MODELE A 2 RESERVOIRS SOUS ENVIRONNEMENT VENSIM®	21
FIG. 20.	CHRONIQUE DE PLUIES JOURNALIERES, STATION DE DARDENNES	22
FIG. 21.	HYDROGRAMME DE DARDENNES POUR LES ANNEES HYDROLOGIQUES 1995 - 1997	24
FIG. 22.	MODULE ANNUEL ET INTERANNUEL (EN ROUGE) DU DEBIT DES SOURCES DE DARDENNES DEPUIS AVRIL 1995	25

Synthèse et Conclusions

I. OBJET DE L'ETUDE

L'objet de cette étude est de déterminer le débit réservé en aval du barrage de Dardennes, ou ***débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage.*** Le débit réservé correspond au maximum entre le débit biologique et le 10^{ème} du module interannuel du cours d'eau.

La présente étude vise à déterminer le module du Las afin d'établir le débit plancher (10^{ème} du module) à respecter en aval de la retenue de Dardennes.

L'estimation du débit minimum biologique fait l'objet d'une étude particulière réalisée par la Maison Régionale de l'Eau et qui fera l'objet d'un rapport prochain.

II. DEROULEMENT DES OPERATIONS

Ce rapport est divisé en deux parties. La 1^{ère} partie est une présentation du Las et de l'environnement de la retenue de Dardennes. La 2^{ème} partie est dédiée à l'estimation du débit plancher. Aucune chronique de débit en amont ou aval de la retenue de Dardennes n'étant disponible, la détermination du débit plancher du Las doit faire l'objet d'une analyse hydrologique spécifique. Deux approches ont été étudiées ici, la 1^{ère} consiste à faire une reconstitution des débits entrant suivant le principe du bilan hydrologique, cette méthode est détaillée au paragraphe 2.2. La 2^{ème} méthode consiste en la réalisation d'un modèle Pluie-Débit, qui sera présenté au paragraphe 2.3.

III. RESULTATS

Les méthodes du bilan hydrologique et du modèle Pluie-Débit donnent des résultats très proches qui permettent de valider ces modèles et qui renforcent la fiabilité des données d'entrée de la retenue de Dardennes.

Le module interannuel en aval de la retenue de Dardennes est déterminé par le modèle Pluie-Débit pour une chronique de pluies incidentes du 1^{er} avril 1995 au 31 décembre 2012.

La valeur du module est de 450 l/s, soit un **débit plancher à maintenir en aval de la retenue de Dardennes de 45 l/s.**

1. PRESENTATION DU SITE

1.1. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

L'étude d'évaluation du débit réservé en aval du barrage de Dardenness répond aux attentes définies dans la **circulaire du 21 octobre 2009** relative à la mise en œuvre du relèvement au 1^{er} janvier 2014 des débits réservés des ouvrages existants et la **circulaire du 5 juillet 2011** relative à l'application de l'**article L. 214-18 du code de l'environnement** sur les débits réservés à maintenir en cours d'eau.

Les circulaires précédemment citées permettent de mieux cerner la notion de « débit réservé ». Nous reprenons ci-après les quelques éléments importants de définition.

*D'après ces textes, l'obligation principale consiste à maintenir dans le cours d'eau à l'aval de l'ouvrage un **débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage. Ce débit minimum « biologique », appelé « débit réservé », ne doit pas être inférieur à un plancher qui est fixé au 10e du module interannuel du cours d'eau**, pour l'essentiel des installations, et au 20e de ce module pour les ouvrages situés sur un cours d'eau dont le module est supérieur à 80 m³/s, ou pour les ouvrages hydroélectriques contribuant à la production d'électricité en période de pointe de consommation, listés par décret. Si le débit à l'amont immédiat de l'ouvrage est inférieur à ce plancher, c'est ce débit entrant qui doit être respecté à l'aval.*

Par ailleurs, l'article L. 214-18 CE prévoit des possibilités de déroger au débit plancher, dans le cas de cours d'eau à fonctionnement atypique ou d'étiage naturel exceptionnel.

Il prévoit enfin la possibilité, tout en respectant en moyenne sur l'année le débit réservé, de moduler celui-ci selon les différentes périodes de l'année, le débit le plus bas devant cependant rester supérieur à la moitié du débit réservé. On parle alors d'un « régime hydraulique réservé ».

A noter que trois cas de cours d'eau dits, de cours d'eau atypiques, sont considérés :

- si l'hydrogéologie explique l'intermittence naturelle du cours d'eau,
- si l'aval immédiat d'un barrage de classe A ou à usage hydroélectrique d'une puissance supérieure à 20 mégawatts, est en permanence ennoyé par le remous du plan d'eau d'un autre barrage de même nature,
- en l'absence (naturelle et historique) de certains organismes (Ichtyofaune, invertébrés du benthos, phytoplancton, phytobenthos, macrophytes).

*Par ailleurs, conformément à la jurisprudence (Cons. Etat, 15 avril 1996, n°140965, M. Mortera), afin de satisfaire l'obligation principale de l'article L.214-18 du code de l'environnement de « garantir en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux », **le débit minimum biologique peut être supérieur à cette valeur plancher du 10ème du module naturel. Ces valeurs, instituées par le législateur en tant que minimum intangible, ne sont en aucun cas des références de qualité ni des normes. Le débit minimum biologique ne saurait donc être assimilé d'emblée au 10ème du module.***

Notons enfin que, si le débit à l'amont immédiat de l'ouvrage est inférieur au débit réservé fixé par l'autorité administrative, c'est l'intégralité de ce débit entrant qui doit être restitué au droit ou à l'aval de l'ouvrage.

1.2. PRESENTATION SUCCINCTE DU BARRAGE ET DE LA RETENUE DE DARDENNESS

Le barrage de Dardennes, construit en 1912 est situé dans le département du Var à quelques kilomètres en amont du centre-ville de Toulon. Le barrage est destiné à l'alimentation en eau potable de l'aire toulonnaise. Appartenant à la Ville de Toulon, sa gestion est confiée à Veolia.

Le barrage est de classe A selon le décret n° 2007-1735.

Il s'agit d'un barrage poids en maçonnerie qui barre le cours d'eau du Las alimenté en majeure partie par une source vaclusienne, le Ragas. La retenue formée par ce barrage de 35 m de hauteur est de 1.1 hm³ à la cote 123 NGF auquel s'ajoute un volume d'eau situé dans le karst mis en charge.



Fig. 1. A gauche : la retenue du Las (les taches marrons font apparaître deux sources de la retenue

Fig. 2. A droite : inventaire des sources à l'intérieur de la retenue (source : Le Las, une rivière dans la ville, Paul Courdon)

[illegible]

Fig. 4. Coupe en long géologique de la vallée des Dardennes ; fonctionnement de la Foux et du Ragas de Dardennes à Toulon (établie par E.A.MARTEL, 1911)

Lors des fortes pluies, la retenue reçoit les eaux des sources du Ragas ainsi que des vallons du Cierge et des Olivières (affluents rive gauche au thalweg du Ragas), le ravin du Ragas (affluent en rive droite au thalweg du Ragas), le ravin de Fiéraquet qui débouche dans le fossé de colature de la retenue en rive droite, le ravin des Baumettes qui débouche également dans le fossé de colature de la retenue. Le fossé de colature donne un débit de 200 l/s en moyenne lors des fortes pluies.

1.3. PRESENTATION SUCCINCTE DU LAS

D'un linéaire de 7 à 8 km, le Las est situé sur le territoire du Revest les Eaux et de Toulon. Il s'agit d'un petit fleuve côtier qui prend sa source dans la retenue de Dardennes, elle-même alimentée par les sources du Ragas. A l'entrée du centre-ville de Toulon jusqu'à son rejet en mer, la rivière est totalement canalisée.

Avant la construction du barrage, plusieurs sources donnaient naissance au cours d'eau. Elles s'épanchaient au pied du village du Revest puis allaient se jeter à la mer au fond de la rade. Depuis la construction du barrage de Dardennes, en 1912, les sous-écoulements de ces sources sont noyées la plus grande partie de l'année.

De la retenue des « trois martelières » à quelques centaines de mètres en aval du barrage de Dardennes jusqu'au hameau de Dardennes, le tronçon de la rivière est naturel. Au niveau du seuil de Dardennes, l'eau est déviée au profit du vieux Béal qui jadis participait à l'alimentation en eau pour les industries et l'agriculture toulonnaise. En aval de cette prise, la rivière est plus fortement soumise à des zones d'assecs en période d'étiage qui entraînent une réduction importante des zones de survie pour la faune aquatique.

Les fuites de la prise permettent néanmoins de créer des niches écologiques plus en aval. Le Las est ensuite grossi par les eaux de la Baume de Dardennes.

Sur sa partie naturelle, la rivière alterne différents faciès et rupture de pentes (gorges étroites, zones d'eaux stagnantes,...). En aval de la prise du Béal, la rivière s'écoule en partie en ville, mais, du fait de son niveau plus bas par rapport à la ville, cette spécificité lui permet d'être en partie protégée par l'anthropisation car les accès y sont difficiles. Arrivée à la Baume, les murs de protection ont un effet néfaste car ils favorisent l'accélération de l'eau et la destruction des berges et des refuges pour la faune en aval.



Fig. 5. Le Las

Des pertes du Las ont été mises en évidence au niveau du barrage des trois martelières ainsi qu'entre le hameau de Dardennes et du Pont Saint-Pierre. Des écoulements « sourds » se produisent également sous le lit du Las. Ceci peut conférer une structure « atypique » du cours telle que définie dans la circulaire.



Fig. 6. Pertes sur le linéaire du Las (source : Le Las, une rivière dans la ville, Paul Courdon)

A notre connaissance, des études ont été entreprises pour caractériser les écosystèmes aquatiques en aval du barrage.

Des prélèvements I.B.G.N. ont été effectués après la vidange décennale de l'ouvrage de Dardennes en 2006 et permettent de noter l'incidence du délimonage de la retenue. Des pêches électriques ont également été réalisées afin de réaliser l'inventaire du peuplement ichthyologique de

la rivière (mars 2007). A priori, huit espèces sont présentes avec une dominance de chevesnes (46% du peuplement) et de l'anguille (19% du peuplement).

Les autres espèces (gardon, ablette, perche, brème, perche soleil) sont allochtones, le Las ne correspond pas à leur milieu. Il semble que ces espèces proviennent de la retenue de Dardennes et ont dévalé au cours de la vidange.

Deux espèces à forte valeur patrimoniale sont présentes dans le Las : le barbeau méridional et la blennie fluviatile. Les anguilles constituent la troisième espèce à fort intérêt car elle est considérée comme plus vulnérable.

Aussi, le travail d'inventaire réalisé en 2006/2007 montre que la qualité est préservée sur certains tronçons du cours d'eau, notamment en amont. Plus en aval, la situation est plus dégradée avec une baisse sensible de la qualité due aux multiples rejets et l'aménagement du cours d'eau. La dernière vidange a eu un impact important sur la faune aquatique.

La ripisylve est marquée par une végétation rivulaire qui va se réduire très fortement, d'amont en aval. A noter la présence du laurier sauvage, espèce protégée.

1.4. SUPERFICIE DES BASSINS VERSANTS

Le bassin d'alimentation de la retenue de Dardennes est constitué d'un petit bassin versant topographique (11 km²) et d'un important bassin souterrain dont les limites sont moins connues.

Les limites supposées de ce bassin géologique sont :

- Au Nord, la dépression de Signes que domine la cuvette de la Limate,
- A l'Ouest, le contact Urganien / Turonien au niveau des Bigourets
- A l'Est, la grande faille orientée Nord-Ouest / Sud-Est passant par la Citerne Neuve
- Au Sud Est, la plaine des Selves limitée par le Coudon.

Les surfaces des bassins versants géologique et topographique retenus pour la modélisation sont issues de l'étude hydrologique de Dardennes (Sogreah 2010). Le bassin d'alimentation de la retenue comprend un bassin géologique de 45 km² et un bassin topographique de 11 km². Ils sont représentés sur la figure 7.

Barrage de Dardenne

Etude du débit plancher en aval du barrage

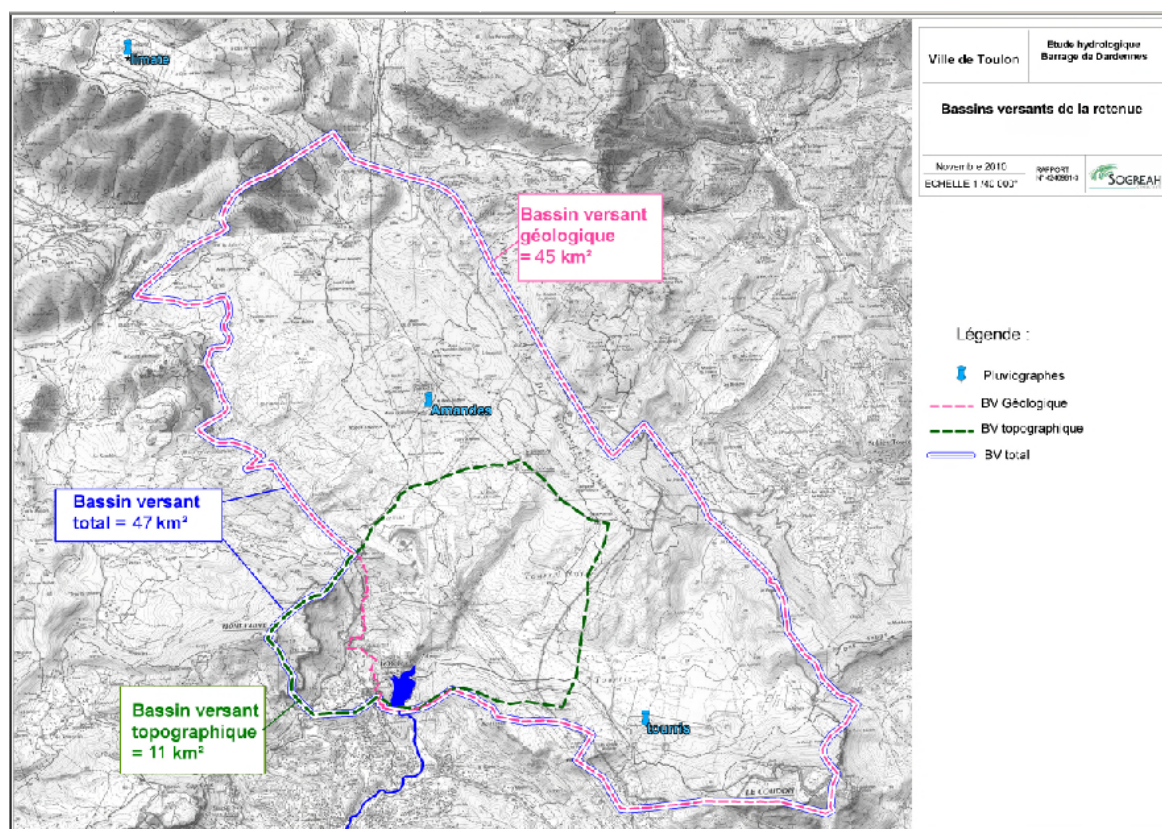
CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE ET DEFINITION DU DEBIT PLANCHER

Fig. 7. Représentation des bassins versant géologique (en rose) et topographique (en vert) qui alimentent la retenue de Dardennes (Sogreah 2010)

2. ETUDE DU DEBIT PLANCHER

2.1. PREAMBULE

Le débit plancher est défini au second paragraphe du I de l'article L214-18 du code de l'environnement. Il correspond à un minimum intangible servant de protection pour les milieux aquatiques. Il est exprimé en fraction de débit moyen interannuel naturel (module) et correspond au 10^{ème} ou 20^{ème} de celui-ci suivant les cas.

Dans le cas du barrage de Dardennes, aucune chronique de débits n'est disponible en amont ou aval de la retenue. Par ailleurs, la particularité du bassin versant hydrogéologique de Dardennes ne permet pas d'établir facilement une corrélation avec un bassin versant de géologie et climatologie voisin.

Reste alors deux possibilités :

- La reconstitution de la chronique des débits entrants suivant le principe de bilan hydrologique
- La réalisation d'un modèle Pluie-Débit

Les deux méthodes vont être traitées dans la présente étude, aux paragraphes 2.2 et 2.3 respectivement.

2.2. RECONSTITUTION DE LA CHRONIQUE DES DEBITS ENTRANTS SUIVANT LE PRINCIPE DE BILAN HYDROLOGIQUE

L'approche de reconstitution de la chronique des débits entrants suivant le principe de bilan hydrologique reste la manière la plus simple - et peut-être moins hasardeuse compte tenu de la présence importante de karst - pour estimer une valeur du module.

L'équation de base étant de la forme :

$$\text{Volume entrée} = \text{Variation du volume de la retenue} + \text{Volume sortie}$$

Le volume en entrée est composé :

- Du volume d'eau issu des sources karstiques (dont le Ragas)
- Du volume d'eau issu des pluies (ruissellement)

Le volume en sortie est constitué de :

- Du volume d'eau prélevé
- Du volume d'eau restitué par les fuites du barrage
- Du volume d'eau évaporé
- Du volume évacué par l'évacuateur lorsque le niveau dépasse la cote du seuil.

Un schéma de fonctionnement du bilan hydrologique est présenté sur la figure 8.

La connaissance de chaque terme du bilan permet donc d'estimer le débit entrant journalier. Les données d'entrée ont été recueillies auprès de Veolia Eau (côte de la retenue, prélèvements pour l'usine de Dardennes, fuites au niveau du barrage, pluies journalières à la station de Dardennes). Les données d'évapotranspiration potentielle proviennent de Météo France (station de Toulon).

La période d'étude doit correspondre à la durée maximum des données disponible, soit de 1989 à 2012.

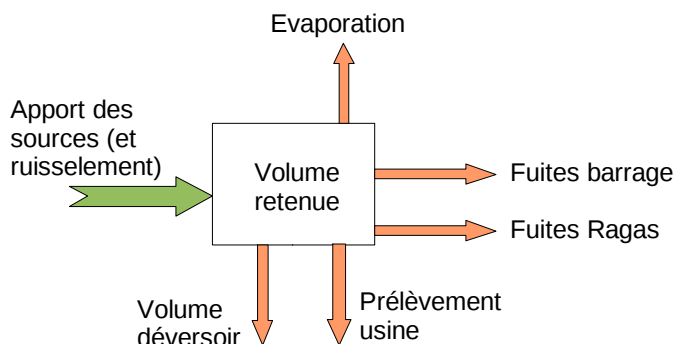


Fig. 8. Schéma de fonctionnement du bilan hydrologique

2.2.1. Paramètres du bilan hydrologique

- Le calcul de la variation du volume de la retenue est réalisé à partir de la courbe hauteur-volume établie sur la base du lever topographique réalisé à l'occasion de la dernière vidange décennale (2006). Cette relation est donnée par Veolia Eau et est présentée en figure 9.

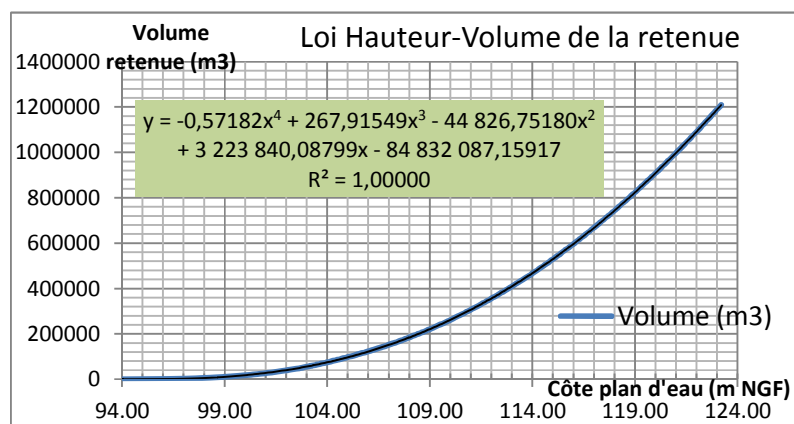


Fig. 9. Graphique de la loi hauteur-volume de la retenue (source : Veolia)

- Le volume d'eau prélevée dans la retenue (eau brute) pour l'alimentation en eau potable de la ville de Toulon et traitée à l'usine de Dardennes est fourni par Veolia Eau. Cette donnée est disponible en format papier entre janvier 1989 et novembre 1997, et au format numérique depuis 1999.
- L'évaporation à la surface de la retenue correspond aux moyennes mensuelles d'ETP calculés à partir des données décennales d'ETP de la station de Toulon entre janvier 1989 et novembre 2012. Cette donnée pourrait être ignorée puisqu'elle représente moins de 0,5% du débit des sources.
- Les débits évacués par le déversoir seront évalués à partir de la courbe hauteur-débit issue des études antérieures (étude COB 2008), ici en figure 10.

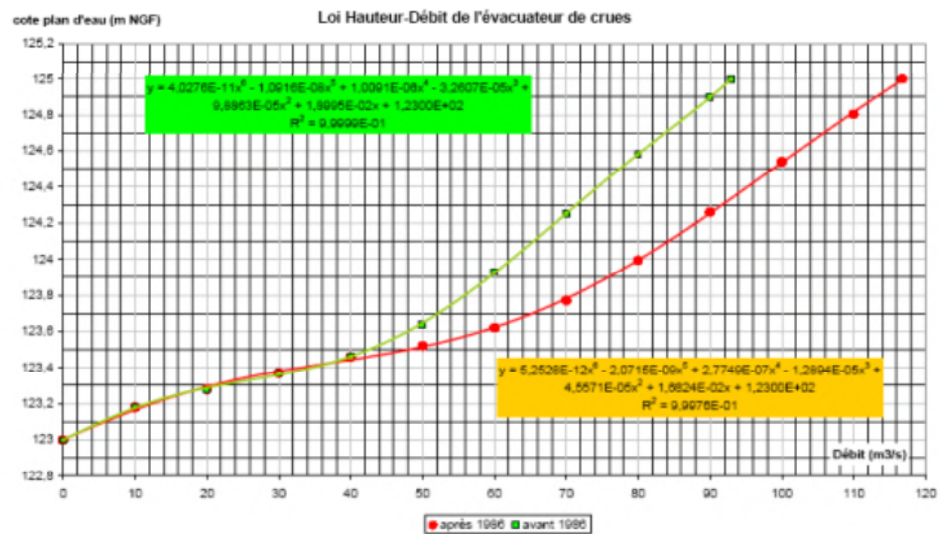


Fig. 10. Courbe de tarage du déversoir de Dardennes (source : COB 2008)

- Les données de fuite du barrage sont étudiées entre 2000 et 2009 et montrent une corrélation avec la hauteur d'eau de la retenue. On distingue trois comportements linéaires, le premier pour une hauteur d'eau inférieure à 113 m NGF, le second pour une hauteur supérieure à 115mNGF, et le troisième entre ces deux valeurs. La relation hauteur d'eau – débit est illustrée sur la figure 11. Le débit de fuite du barrage est non négligeable puisqu'il représente environ 4% du débit des sources.

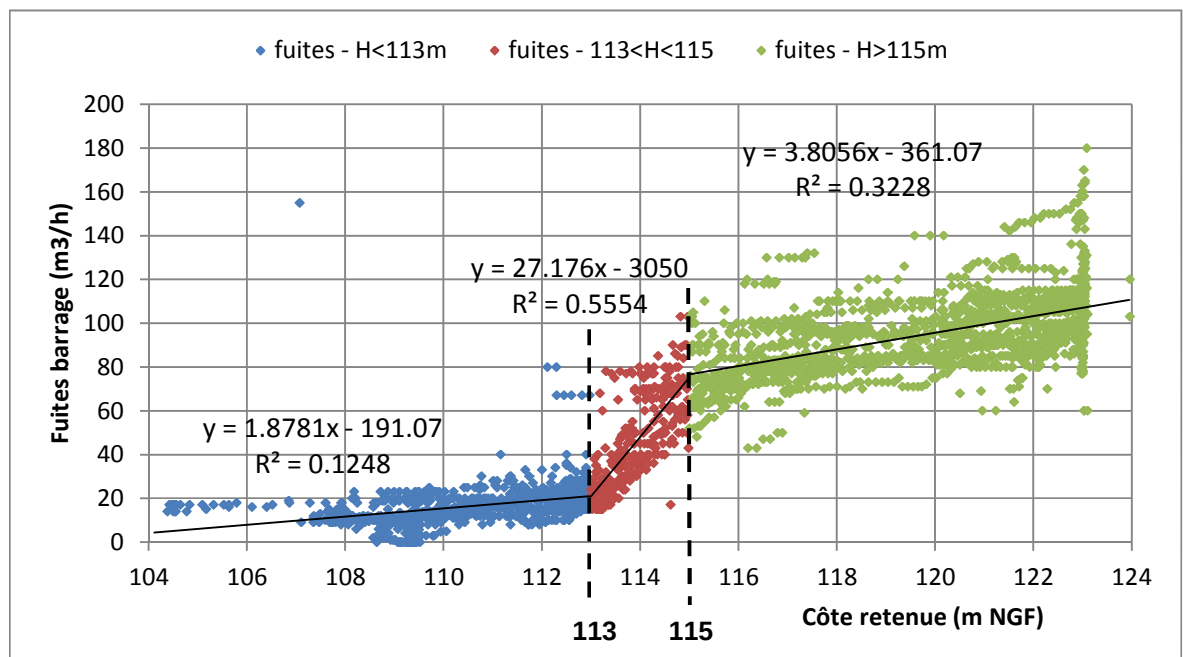


Fig. 11. Relation côte de la retenue – débit de fuite du barrage

- Par ailleurs, les fuites résultant de l'infiltration dans les éboulis en rive gauche appelée « fuites Ragas » sont également prise en compte. Leur influence reste faible puisque qu'elle représente moins de 1% du débit des sources.

2.2.2. Résultats du bilan hydrologique

2.2.2.1. ANALYSE DES DONNEES

Le bilan hydrologique est réalisé sur la période de janvier 1989 à octobre 2012, période pour laquelle on dispose des données de cote d'eau de la retenue et de prélèvement pour l'usine de Dardenness. Les périodes de vidange décennale (automne 1995 et 2006) ne sont pas intégrées à l'étude. Les données sont manquantes pour les mois de février, mai et octobre 1998, ainsi que février 1999.

La figure 12 présente le débit des sources calculé au pas de temps journalier depuis 1989 en échelle logarithmique. La figure 13 montre l'évolution des débits moyens annuels des sources et du cumul de pluie annuel depuis 1989. On observe que les débits moyens des sources pour les années 2010 et 2011 sont très élevés par rapport au cumul de pluie annuel.

On a par exemple :

Année	Cumul pluie annuel (mm)	Module (l/s)
2000	908	453
2009	968	579
2010	930	1546
2011	768	1648

Afin de confirmer cette observation, on s'intéresse à la corrélation entre le module et la pluie (cf. figure 14). Les valeurs du module pour les années 2010 et 2011 sont très éloignées de la courbe de tendance. Ce décalage peut provenir d'imprécisions de mesure de cote d'eau de la retenue. On observe en effet un niveau d'eau dans la retenue supérieur au seuil de déversement après 50 jours sans pluie, à 123,06 m NGF le 11/02/2011, soit une lame d'eau de 6 cm au-dessus du seuil et un débit de l'ordre de 3000 l/s durant toute cette période (cf. figure 15). Par comparaison, au mois de novembre 2008 et après de fortes pluies, le niveau de la retenue est redescendu à 122,7 m NGF et environ 300 l/s après 20 jours sans pluie (cf. figure 15).

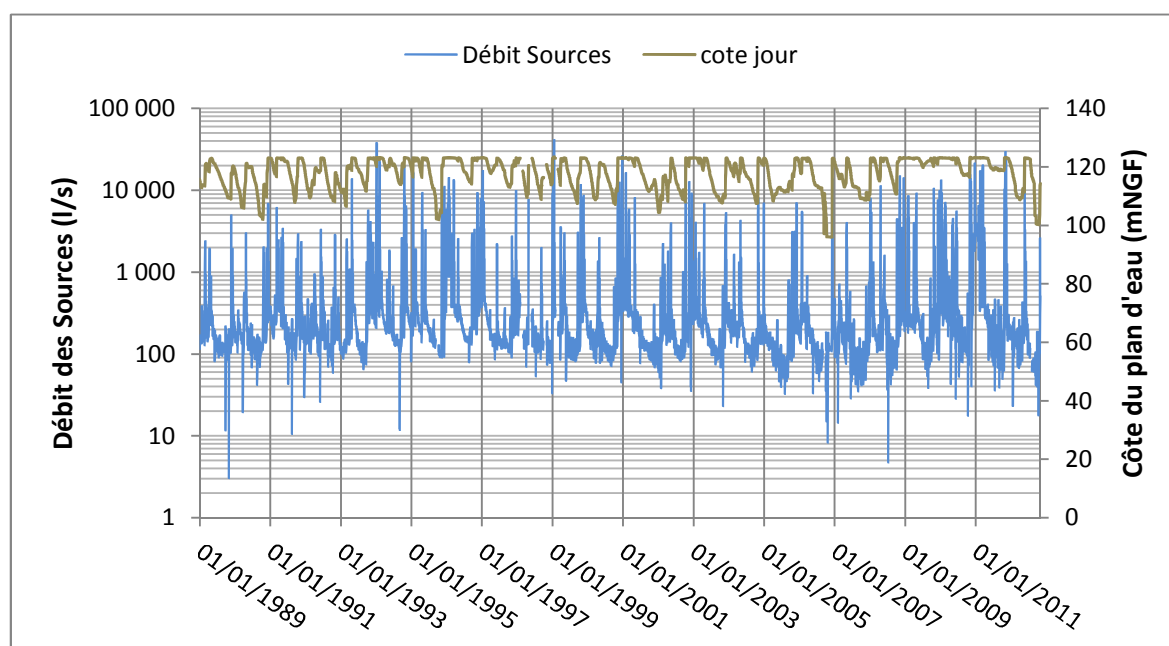


Fig. 12. Evolution du débit des sources de Dardennes depuis 1989 au pas de temps journalier (voir détail en Annexe 1)

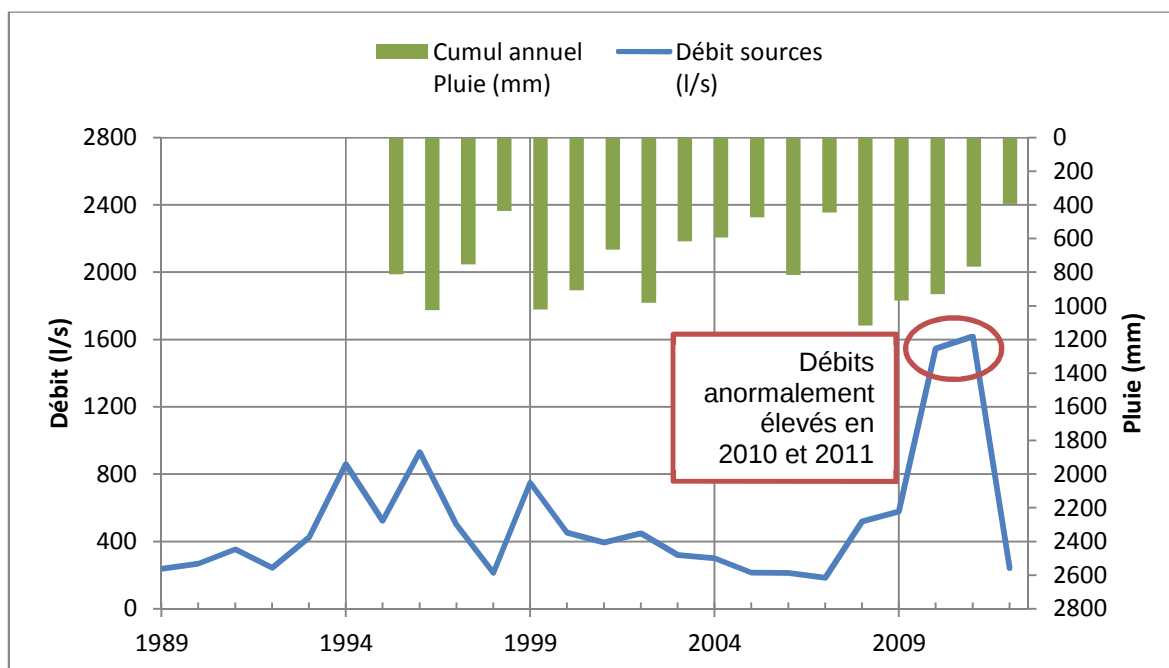


Fig. 13. Moyenne annuelle du débit des sources de Dardennes depuis 1989

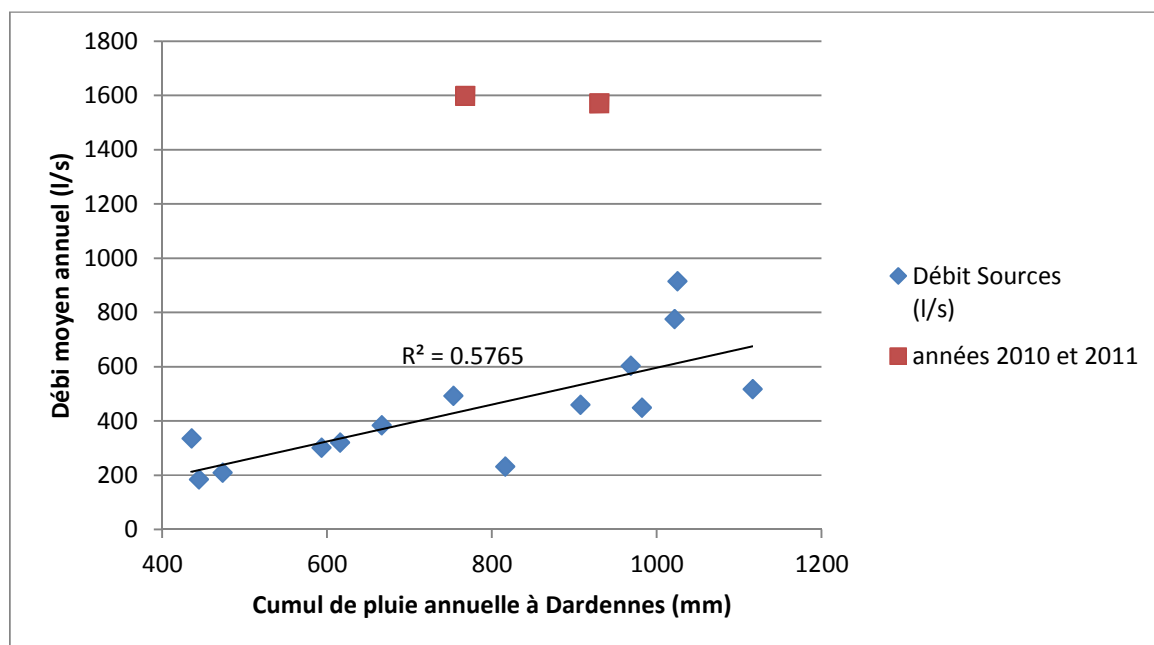


Fig. 14. Corrélation entre le débit des sources alimentant la retenue et la pluie à Dardennes

Suite à ces observations, et pour ne pas baser le calcul du module sur des débits anormalement élevés, on choisit de limiter l'étude à la période 1989 – 2009.

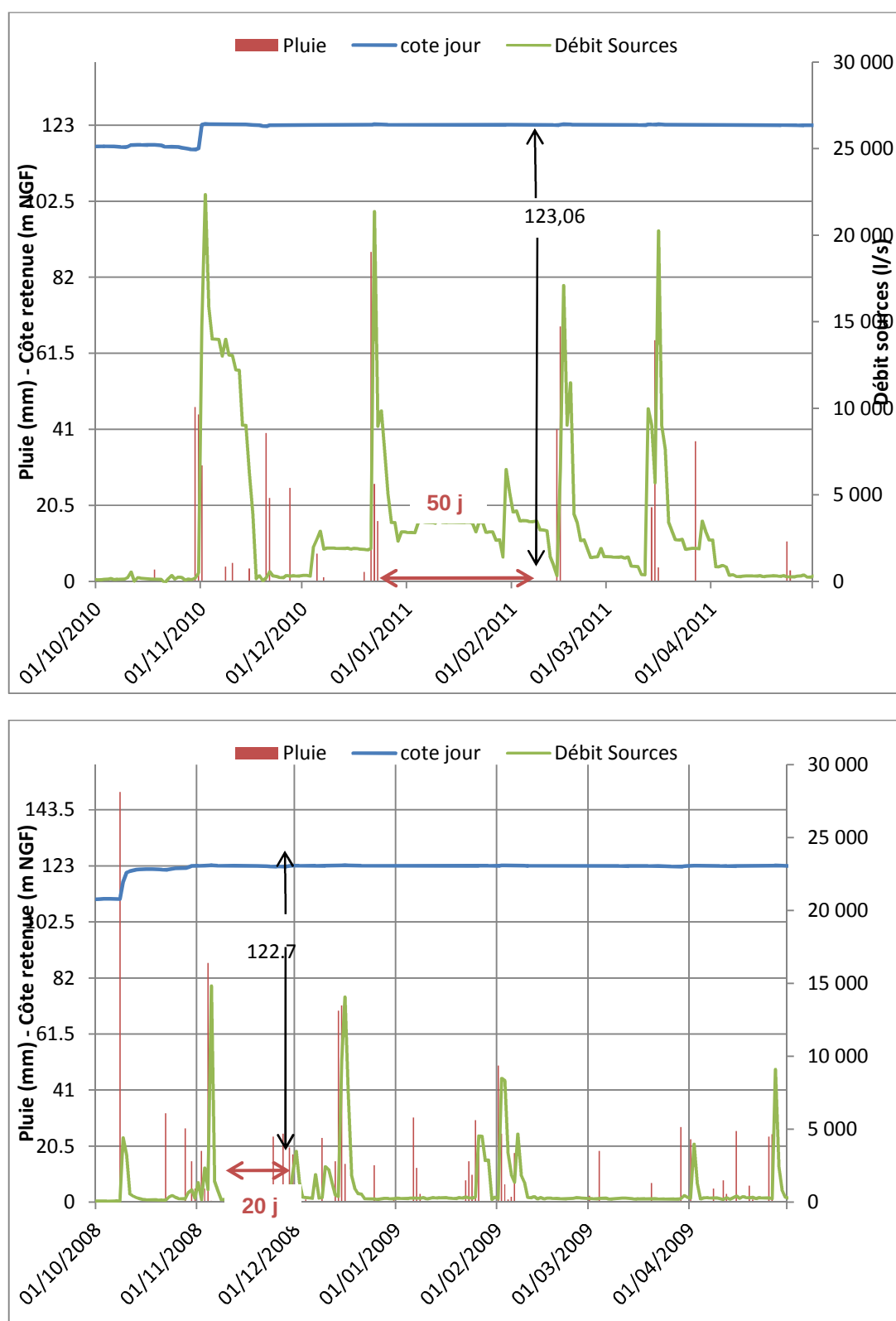


Fig. 15. Evolution de la côte d'eau et du débit des sources pour l'hiver 2010-2011 (en haut) et pour novembre 2008 (en bas)

2.2.2.2. MODULE INTERANNUEL

La moyenne interannuelle de débit des sources alimentant la retenue de Dardennes est évaluée à **427 l/s sur la période de 1989 à 2009 et 440 l/s sur la période 1995 à 2009**. Les valeurs moyennes mensuelles sont présentées dans le tableau 1, ces moyennes sont calculées pour les années 1989 à 2010.

Tabl. 1 - Moyennes mensuelles de débit des sources de Dardennes

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Débit Sources (l/s)	926	500	394	452	348	213	132	118	190	454	711	751

- Incertitudes de surverse

On observe que la contribution du débit de surverse au débit total des sources est très importante, et ce en particulier les années pluvieuses (cf. Tableau 2). Le débit de surverse représente en moyenne 30,4% du module annuel des sources sur la période 1989 – 2009.

Tabl. 2 - Part de débit de surverse dans le module annuel des sources

Année	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Cumul annuel de Pluie (mm)	-	-	-	-	-	-	812	1025	753	435	1022	908
Part de surverse dans le débit (%)	0,0	8,5	22,5	4,3	35,5	66,4	36,5	67,8	52,1	0,0	53,8	49,6
Année	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Cumul annuel de Pluie (mm)	666	982	616	593	473	816	444	1116	968	930	768	394
Part de surverse dans le débit (%)	42,5	39,1	21,0	14,4	11,9	1,6	9,7	42,9	59,0	82,3	86,2	37,3

On s'intéresse ici à l'influence d'une incertitude du débit de surverse sur le module annuel des sources. Cette incertitude peut provenir d'imprécisions de mesure de la cote de la retenue et de la relation hauteur-débit du déversoir. Une incertitude de 20% du débit de surverse, qui représente lui-même 30,4% du débit total, implique un écart de plus ou moins 6% sur le module interannuel des sources. Cela représente un **module interannuel des sources compris entre 413,3 l/s et 466,7 l/s**.

- Incertitude de cote d'eau

Concernant l'influence d'une erreur sur l'estimation de la cote d'eau du barrage uniquement, on s'aperçoit qu'un écart de 2 cm sur la cote de la retenue provoque une variation considérable du module des sources. Pour une cote d'eau supérieure de 2 cm aux données récoltées sur la période 1989-2009 on obtient un module interannuel de 562 l/s, soit une augmentation de 31,5%. Pour une cote d'eau inférieure de 2 cm aux données, on obtient un module interannuel de 357 l/s, soit une baisse de 16,3%. Ces écarts proviennent presque exclusivement des variations de lame d'eau au-dessus du seuil de déversement et augmentent l'incertitude sur l'estimation des débits de crue des sources du Las.

On comprend pourquoi il est important de réduire la contrainte liée à l'estimation des débits de crue et c'est pourquoi on réalise un modèle Pluie-Débit (§2.3) qui permet approche différente d'évaluation des débits.

2.2.2.3. ANALYSE COMPARATIVE AVEC DES ETUDES ANTERIEURES

- Etude Burgeap, 2012

L'étude Burgeap de 2012 présente une évaluation du débit fourni par le bassin versant de Dardennes sur la période 2000 – 2010 par la méthode du bilan hydrologique. Cette étude se base sur les moyennes mensuelles de cote du plan d'eau et de production d'eau potable, et sur les cumuls de pluie mensuels. Cette approche ne prend pas en compte les fuites du barrage et l'évapotranspiration.

L'étude Burgeap évalue une moyenne du débit total d'apport à la retenue de Dardennes de 271 l/s sur la période 2000 – 2010. Sur cette période, moins les mois de novembre et décembre 2010 pour les raisons précédemment détaillées, nous obtenons un module de 402 l/s.

Cet écart peut sembler important mais il s'explique si on s'intéresse à la différence temporelle des données d'entrée de hauteur du plan d'eau. En effet, la moyenne mensuelle de la cote d'eau ne permet pas de prendre en compte quelques jours de surverse dans le mois, alors qu'on sait que la surverse influence de manière non négligeable le débit moyen. A titre d'exemple, la moyenne pour le mois de décembre 2009 de la hauteur d'eau de la retenue est 122,8 m NGF. Pour ce même mois, l'étude Burgeap indiquerait ainsi un débit de surverse nul, alors que nous obtenons pratiquement 2000 l/s de module.

- Le Las, « Une rivière dans la ville »

D'après cette étude basée sur le bilan hydrologique et prenant en compte les fuites du barrage, le débit moyen des sources a été évalué à 480 l/s pour l'année 1966 et 980 l/s pour l'année pluvieuse de 1994.

Notre étude ne permet pas de remonter à la valeur du débit des sources de l'année 1966. En revanche, nous estimons un module de 860 l/s pour l'année 1994, ce qui représente un écart inférieur à 15%.

2.3. REALISATION D'UN MODELE PLUIE-DEBIT

Compte tenu du très fort impact lié au karst, nous avons choisi de réaliser un modèle Pluie-Débit de type conceptuel. On aura donc la pluviométrie et les mesures de débit comme variables d'entrée et de sortie, et un ensemble de « boîtes » assemblées qui réalisent la fonction de transformation de la pluie en débit. Selon les modèles, les « boîtes » prises en compte peuvent varier. Les principaux phénomènes représentés sont l'évapotranspiration, le passage dans un sol, l'infiltration lente, l'infiltration rapide, le passage dans l'épikarst, la zone noyée, les effets d'un pompage ou d'un apport extérieur (par une perte par exemple). Le modèle fonctionnera en continu (sur un ou plusieurs cycles ou années hydrologiques).

Les modèles conceptuels sont composés de deux fonctions distinctes :

- Une fonction de production qui assure la répartition de la pluie incidente entre pertes par évapotranspiration pluie contribuant à l'écoulement ;
- Une fonction de transfert qui assure la répartition temporelle de la pluie efficace vers l'exutoire.

Ces modèles sont de type empirique : à la différence des modèles à base physique, les paramètres des modèles conceptuels ne peuvent pas être estimés à partir de caractéristiques physiques du système. Contrairement aux modèles physiques, la phase de calage est donc un passage obligé dans la mise en œuvre d'un modèle conceptuel. Dans la modélisation présente, nous réalisons la phase de calage à partir des débits issus du bilan hydrologique. Il faut toutefois rester critique concernant cette phase de calage qui s'appuie sur une modélisation et non pas sur des débits mesurés.

Quant au choix du modèle, il faut savoir que la modélisation conceptuelle globale de la relation pluie-débit, classiquement utilisée (dans les modèles de type GR par exemple) n'est pas directement adaptée à la prise en compte des apports liés à la présence d'un karst. Or, dans le cas du bassin versant de Dardennes, la composante karstique est même prédominante.

Nous allons comparer deux modèles, un modèle classique (GR4J) et un modèle plus adapté à la modélisation de zones karstiques, afin de déterminer le plus adapté pour la modélisation pluie-débit du bassin versant de Dardennes.

Les données d'entrées nécessaires pour ce type de modèle sont uniquement la pluie et l'évapotranspiration potentielle (ETP). Nous disposons de la pluie journalière à la station de Dardennes depuis le 1^{er} avril 1995, c'est donc le pas de temps journalier que l'on choisit pour la modélisation. Concernant l'ETP, sa variabilité interannuelle est assez faible. Cela nous permet d'utiliser les moyennes mensuelles interannuelles d'ETP calculées à partir des données décennales de la station de Toulon entre 1989 et 2012.

En première approche, nous utilisons le modèle GR4J développé par le Cemagref dans sa version présentée par Perrin (2002) et Perrin et al. (2003). Bien que le GR4J soit un modèle empirique, sa structure l'apparente à des modèles conceptuels à réservoirs.

Dans un second temps, nous utiliserons la base du modèle à deux réservoirs développé par Fleury (2005) pour les aquifères karstiques, auquel nous apporterons certains ajustements pour définir la structure la plus adaptée au bassin versant de Dardennes.

Les simulations sont réalisées sous Excel pour le modèle GR4J et sous Vensim® pour le modèle à réservoirs.

Vensim® se situe dans une position intermédiaire entre les langages de programmation et les modèles génériques. On peut l'assimiler à un langage de modélisation qui fournit des outils de base de construction des modèles, ainsi que des outils d'analyse et de validation aussi bien des structures de modèles que des résultats.

Par comparaison avec les modèles génériques, l'environnement de modélisation offre plus de flexibilité pour représenter les systèmes de flux d'eau. Il permet aussi de réduire considérablement le temps de développement de modèles en rapport avec une utilisation de langages de programmation plus primaires.

Vensim® assimile la méthode de la Dynamique des Systèmes ; il permet de créer un lien entre l'analyse qualitative des systèmes (System Thinking) et la mise en œuvre quantitative des modèles de simulation.

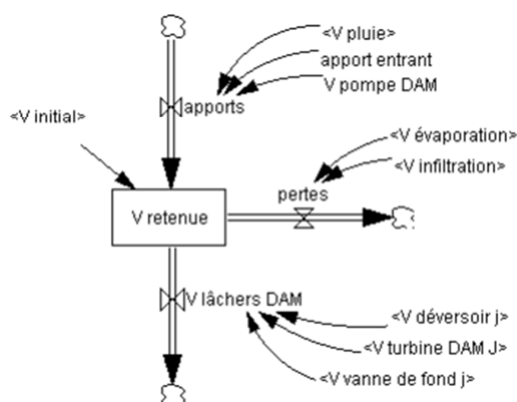


Fig. 16. Représentation et formulation dans l'environnement Vensim® du bilan d'une retenue d'eau avec ses flux entrants et sortants

2.3.1. Critère de performance

Il existe deux manières d'évaluer la performance d'un modèle et de le comparer à d'autres, qualitativement et quantitativement. Les critères qualitatifs reposent sur des observations graphiques et sont subjectifs. Les critères quantitatifs sont des évaluations numériques.

Le critère quantitatif que nous appliquerons ici est un critère basé sur l'erreur relative. Il est proche du critère de Nash, communément utilisé en hydrologie, mais ne fait pas intervenir la moyenne des débits mesurés. Dans le cas des climats méditerranéens, la moyenne des débits mesurés est très sensible à la série utilisée et le critère de l'erreur relative est donc plus stable.

Il est défini par :

$$C_{ER} = 1 - \frac{\sum (Q_{mes} - Q_{sim})^2}{\sum (Q_{mes})^2}$$

- C_{ER} le critère basé sur l'erreur relative
- Q_{sim} le débit simulé
- Q_{mes} le débit mesuré, qui est issu du bilan hydrologique

2.3.2. Modèle GR4J

La structure du modèle GR4J associe un réservoir de production ou réservoir 'Sol', un réservoir de routage, deux hydrogrammes unitaires qui assurent le décalage temporel progressif entre la pluie et le débit, ainsi qu'une fonction d'échange souterrain. La structure du modèle est représentée sur la figure 17. P est la pluie journalière, E l'évapotranspiration potentielle et Q le débit à l'exutoire. Le fonctionnement détaillé du modèle GR4J est fourni en Annexe 2.

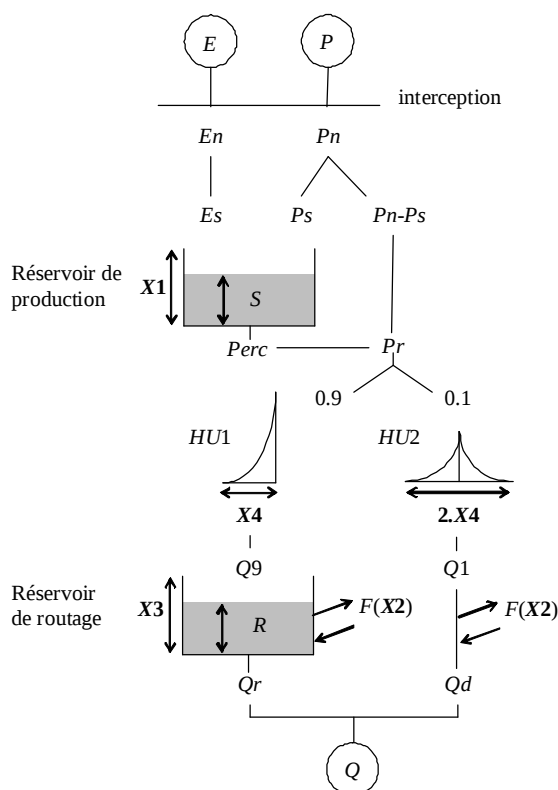


Fig. 17. Schéma de la structure du modèle GR4J

Ce modèle comporte quatre paramètres et nécessite en donnée d'entrée les pluies journalières et l'évapotranspiration potentielle.

2.3.3. Modèle conceptuel à réservoirs

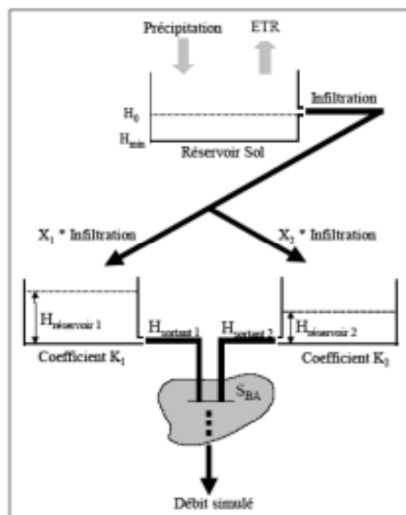
2.3.3.1. MODELE DE BASE

Le modèle de base est celui développé par Fleury (2005) pour les aquifères karstiques cotiers. Il est caractérisé par un réservoir de production appelé réservoir sol et deux réservoirs de routage. Le réservoir sol permet de calculer la pluie efficace qui va alimenter les réservoirs de routage à partir des précipitations et de l'ETP. Concernant les réservoirs de routage, l'un des deux est caractérisé par une vidange lente reproduisant le tarissement et les débits d'étiage, l'autre présente une vidange rapide et permet de reproduire les crues. La structure du modèle est présentée sur la figure 18 et détaillée en Annexe 3.

Comme pour le modèle GR4J, les données d'entrée sont les chroniques de pluies journalières et l'ETP.

ées, les hauteurs d'eau sortant de chacun des réservoirs sont au bassin d'alimentation. Les débits issus des deux réservoirs se combinent pour fournir le débit de la source.

La structure globale du modèle se schématise de la façon suivante.



Structure générale du modèle de base.

Fig. 18. Schéma du modèle à réservoirs

2.3.3.2. ADAPTATION DU MODELE AU CAS DE DARDENNES

Nous avons vu précédemment que les surfaces des bassins versants géologique et topographique qui alimentent la retenue de Dardennes diffèrent fortement, soit un bassin géologique de 45 km² et un bassin topographique de 11 km². Le modèle à réservoir développé par Fleury (2005) ne prend pas en compte le ruissellement sur le bassin versant topographique, il ne considère que l'infiltration sur le bassin versant géologique. D'autre part, le modèle à deux réservoirs présenté ci-dessus ne prend pas en compte le phénomène de saturation du karst.

Afin de considérer ces deux aspects, on ajoute une composante de ruissellement à partir du réservoir Sol, ainsi qu'un seuil à ce réservoir. Le seuil permet de modéliser la saturation du karst lors d'événements pluvieux intenses et transforme l'excès de pluie en ruissellement. Il a pour effet une réduction des débits de crue puisque le ruissellement est considéré uniquement sur la surface du bassin versant topographique, soit 11 km².

On considère un ruissellement sur le bassin versant topographique qui alimente la retenue de Dardennes de 3%. Cette estimation est extraite du rapport de *recueil et synthèse des données*, Sogreah 2010.

Le fonctionnement du modèle à réservoirs développé sous environnement Vensim® est présenté sur la figure 19.

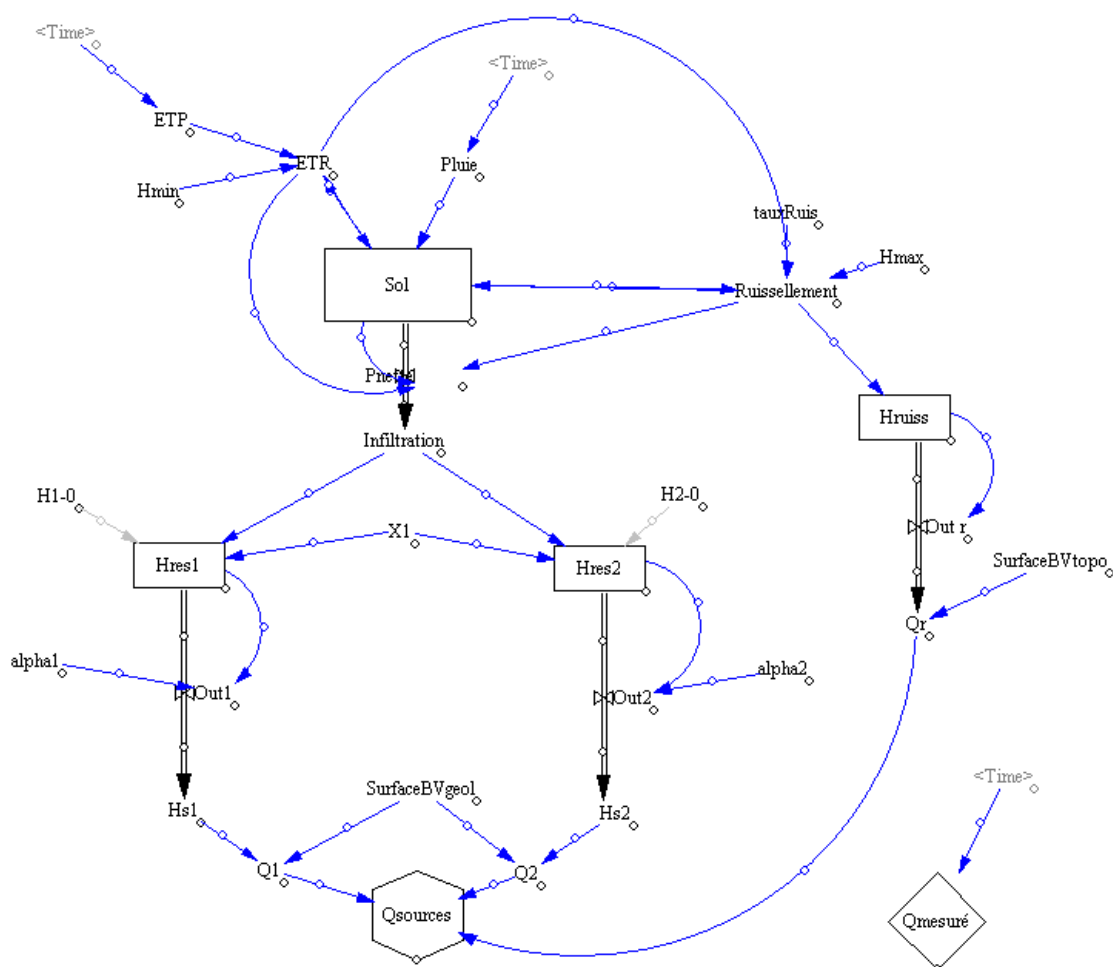


Fig. 19. Modèle à 2 réservoirs sous environnement Vensim®

2.3.4. Données nécessaires aux modèles

Les données d'entrée sont les mêmes pour les deux modèles : les pluies journalières et l'ETP.

- Chroniques de pluies

Les données de pluies journalières à la station de Dardennes sont mises à disposition par Veolia Eau pour la période du 1^{er} avril 1995 au 31 octobre 2012 (cf. figure 20).

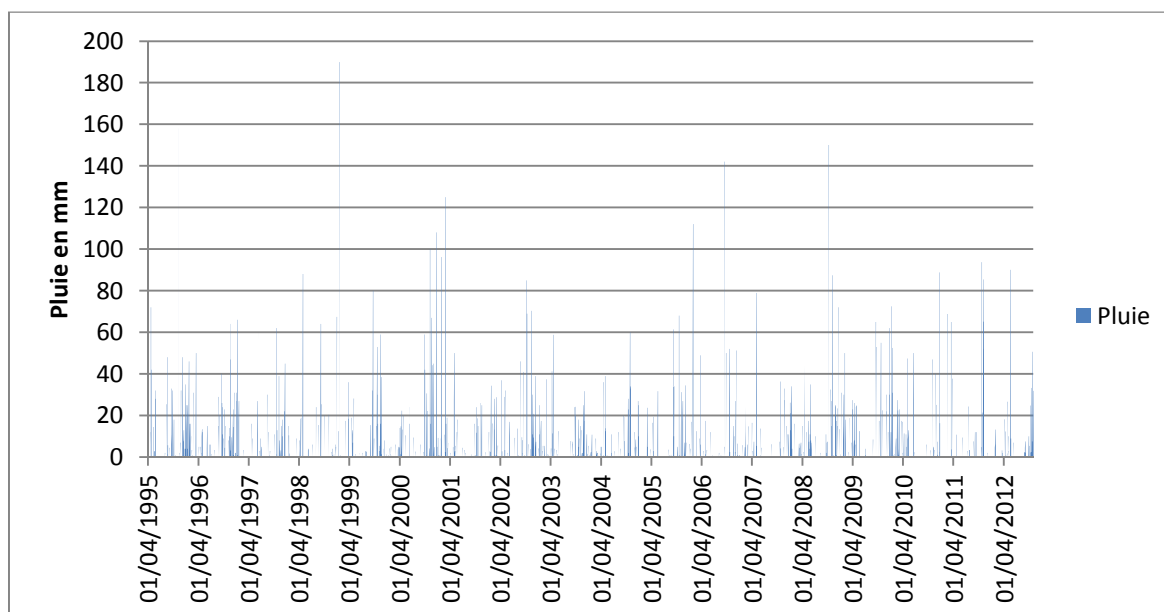


Fig. 20. Chronique de pluies journalières, station de Dardennes

- ETP

L'évapotranspiration potentielle journalière est calculée à partir des données décadaires de la station de Toulon entre janvier 1989 et novembre 2012. La variabilité interannuelle de l'ETP est faible ; cela permet de calculer la moyenne mensuelle interannuelle que l'on utilise pour les modélisations (cf. tableau 3).

Moyenne interannuelle (mm)	mensuelle	journalière
janvier	32,0	1,03
février	45,2	1,60
mars	83,4	2,69
avril	110,3	3,68
mai	152,5	4,92
juin	178,5	5,95
juillet	197,8	6,38
août	168,9	5,45
septembre	112,3	3,74
octobre	66,5	2,14
novembre	37,2	1,24
décembre	35,0	1,13

Tabl. 3 - ETP (données Météo France station de Toulon)

2.3.5. Résultats et comparaison des modélisations

2.3.5.1. CRITERE QUANTITATIF

Ne disposant pas de mesure de débits pour caler les modèles, la phase de calage s'effectue à partir des débits journaliers estimés par le bilan hydraulique (§2.2). Le calage est réalisé sur la période du 1^{er} avril 1995 au 31 décembre 2009, afin de ne pas considérer les années 2010 et 2011 qui présentent des anomalies détaillées précédemment.

Le calage des modèles s'effectue en recherchant les valeurs des paramètres qui optimisent le critère C_{ER} , à la fois en période de crue et d'étiage. L'étiage correspond ici aux périodes pour lesquelles le débit observé est inférieur à $200000\text{m}^3/\text{j}$ (ou 2315 l/s), cette valeur a été choisie suite à des observations graphiques.

La méthode d'optimisation utilisée est la méthode du gradient réduit non linéaire. Les paramètres calés, ainsi que les critères d'erreur sont présentés dans le tableau 4.

Les critères basés sur l'erreur relative C_{ER} des deux modèles sont proches, ce qui signifie que les modèles donnent des résultats similaires quantitativement. En revanche, on observe que le modèle à réservoirs est nettement plus performant en période d'étiage que le modèle GR4J, avec des valeurs de C_{ER} de 55 et -8,8 respectivement. Nous avons pu caler les paramètres du modèle à réservoirs de manière satisfaisante à la fois en période de crue et d'étiage. En revanche, il n'a pas été possible de caler simultanément les deux phénomènes dans le cas du modèle GR4J et les périodes d'étiage y sont mal reproduites. On constate ainsi que ce dernier modèle est moins adapté à la modélisation des systèmes karstiques en climat méditerranéen, qui présentent de longues périodes d'étiage.

Le débit moyen interannuel calculé pour la période du 01/04/95 au 31/12/10 par la méthode du bilan hydrologique est de $439,8\text{ l/s}$. Sur cette même période, le module est de $437,3\text{ l/s}$ pour le modèle à réservoirs adapté au karst de Dardennes et de $296,2\text{ l/s}$ pour le modèle GR4J, soit un écart de 0,58% et 32,65% respectivement.

Les résultats quantitatifs des deux modèles montrent de meilleures performances du modèle à réservoirs pour reproduire le comportement des sources de Dardennes.

Paramètres	X1	X _{ruiss}	$\alpha 1$	$\alpha 2$	H _{min}	H _{max}	C_{ER}	C_{ER} crue	C_{ER} étiage	Module 1995- 2012	Module 1995- 2009
Modèle à Réservoirs	0,51	0,03	0,008	0,55	-40	45	66,7	60,4	55,0	450,9	437,3

Paramètres	X1	X2	X3	X4	C_{ER}	C_{ER} crue	C_{ER} étiage	Module 1995- 2012	Module 1995- 2009
Modèle GR4J	4,62	-2,58	4,64	0,33	63,4	68,9	-8,8	299,0	296,2

Tabl. 4 - Paramètres de calage des modèles à réservoirs (en haut) et GR4J (en bas)

2.3.5.2. CRITERE QUALITATIF

Le graphique des débits des années hydrologiques 1995 - 1997 est présenté figure 20, les graphiques de toutes les années disponibles sont détaillés en Annexe 1. Le débit observé correspond au débit obtenu par le bilan hydrologique (§2.2) et utilisé pour le calage des modèles. Les pluies sont celles de la station de Dardennes.

On remarque que les deux modèles sous-estiment les débits de crues. Cela peut être dû aux modèles qui représentent difficilement à la fois les périodes d'étiage et les période de crue. Une autre explication réside dans le calcul des débits de crue par la méthode du bilan hydrologique. Lors des crues, le débit des sources de Dardennes, estimé par le bilan hydrologique, provient presque exclusivement du débit de surverse de la retenue. Celui-ci dépend très fortement de la relation entre la côte d'eau de la retenue et le débit du déversoir et il possible que les débits issus du bilan hydrologique soient surrestimés. En effet, la loi du déversoir n'a pas été construite à des fins d'évaluation très précise des débits, notamment sur les premiers centimètres de lame d'eau écoulee.

Les différents tests et observations graphiques (cf. figure 21 et Annexe 1) montrent que le modèle à réservoirs représente plus fidèlement les périodes de décrue et d'étiage que le modèle GR4J. Ce dernier a tendance à étaler les pics de crue et de décrue et à sous-estimer les débits en période d'étiage. Ces observations confirment les mauvaises performances de l'estimation du débit d'étiage par le modèle GR4J mises en avant au paragraphe précédent.

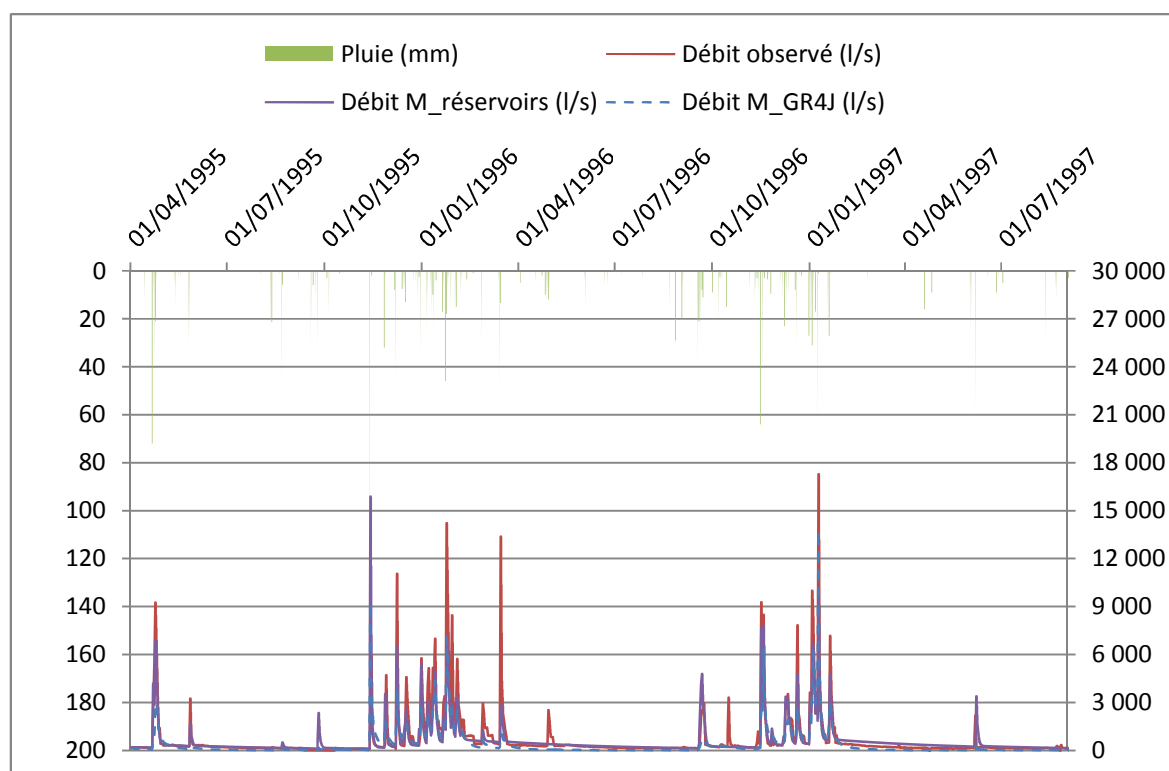


Fig. 21. Hydrogramme de Dardennes pour les années hydrologiques 1995 - 1997

In fine, on choisit de retenir le modèle à réservoirs adapté au kart de Dardennes qui présente à la fois de meilleurs résultats quantitatifs lorsqu'il s'agit de trouver un compromis entre les performances en crue et en étiage du modèle, et des meilleurs résultats qualitatifs. La valeur du module retenue pour le modèle pluie-débit est celle de la résolution du système à réservoirs pour la période du 1^{er} avril 1995 au 31 octobre 2012, soit **450 l/s**.

2.4. MODULE DU LAS

Les moyennes du débit interannuel obtenues par les méthodes du bilan hydrologique et du modèle pluie-débit (modèle à réservoirs) sur la période valide de données pour les deux modèles (1995 – 2009) sont très proches. L'évolution des modules annuels pour les deux modèles est présentée sur la figure 22.

L'anomalie concernant la prédiction des débits par le bilan hydrologique pour les années 2010 et 2011 est confirmée par l'écart important entre ces débits pour les deux modèles (cf. figure 22).

Par ailleurs on remarque une sous-estimation du débit issu du bilan hydrologique pour l'année 2006. Ceci est dû à l'absence de données pour ce modèle durant la vidange décennale de septembre 2006, mois à forte pluviométrie.

Le module interannuel du Las retenu est le module estimé à partir du modèle pluie-débit à réservoirs sur la durée des chroniques de pluie disponibles, soit du 1^{er} avril 1995 au 31 octobre 2012. La valeur du module est de 450 l/s, soit un **débit plancher à maintenir en aval de la retenue de Dardennes de 45 l/s**.

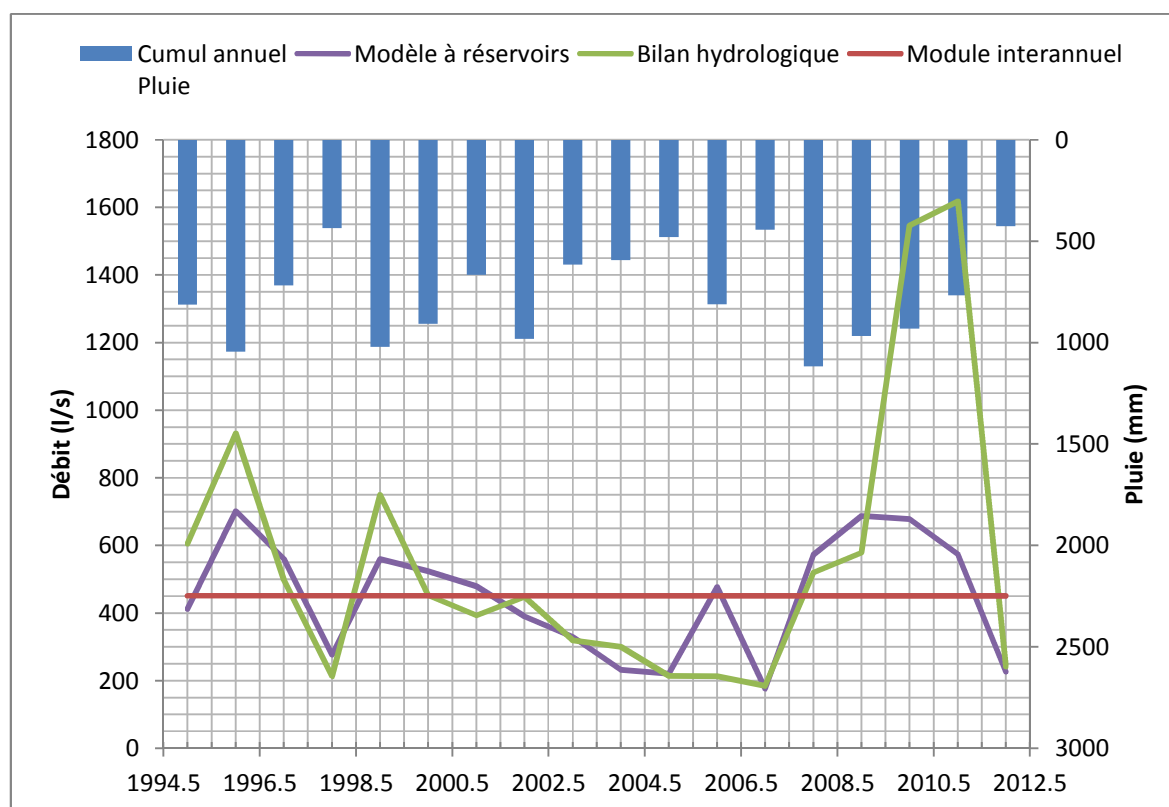
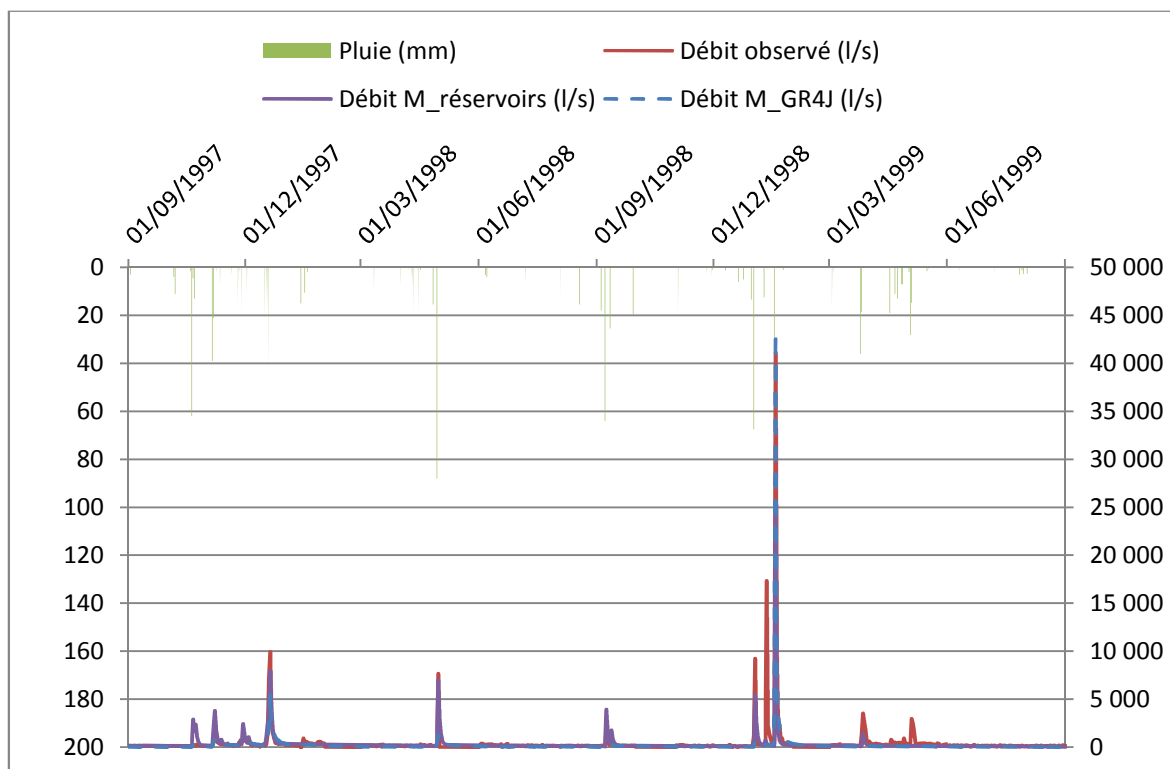
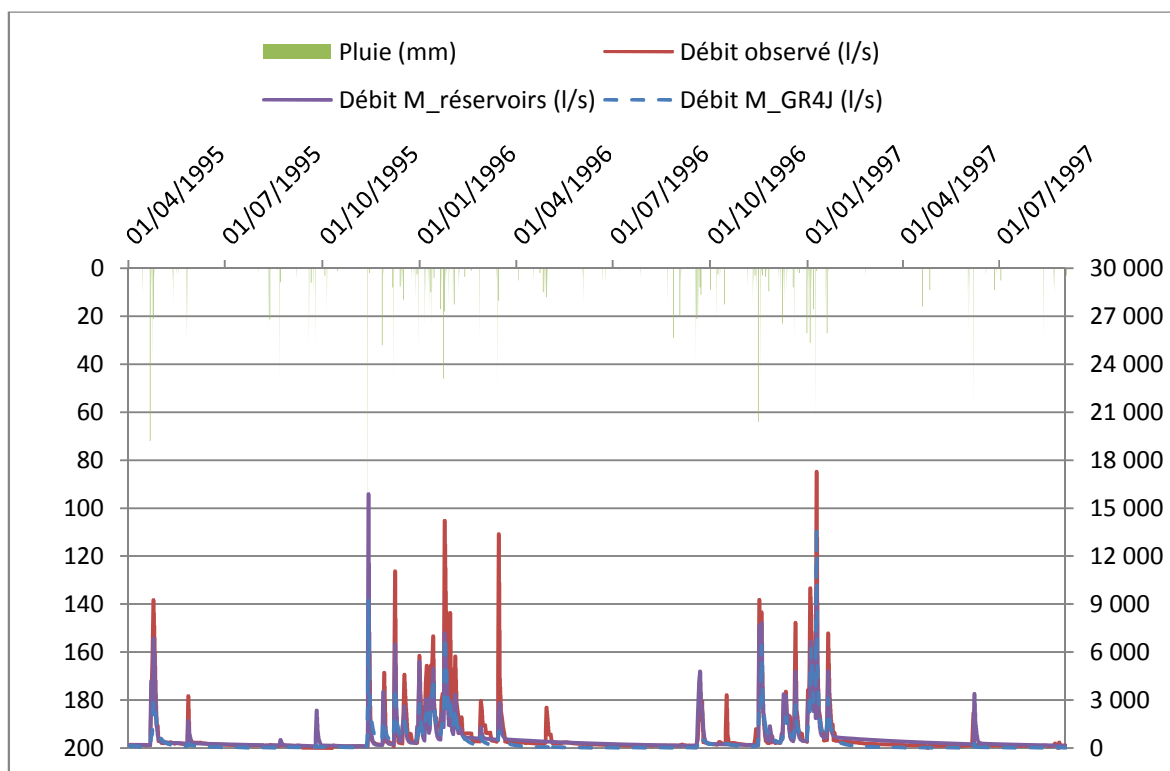


Fig. 22. Module annuel et interannuel (en rouge) du débit des sources de Dardennes depuis avril 1995

ANNEXE 1 EVOLUTION DES DEBITS : bilan hydrologique et modèle à réservoirs

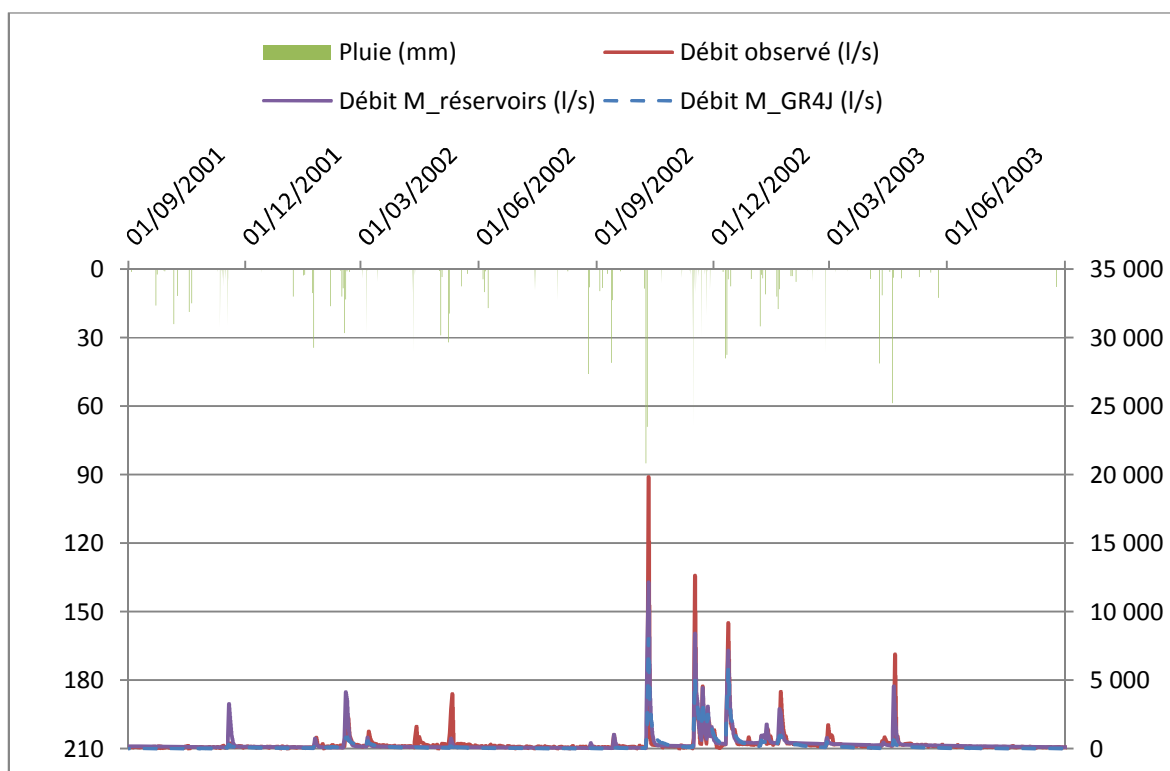
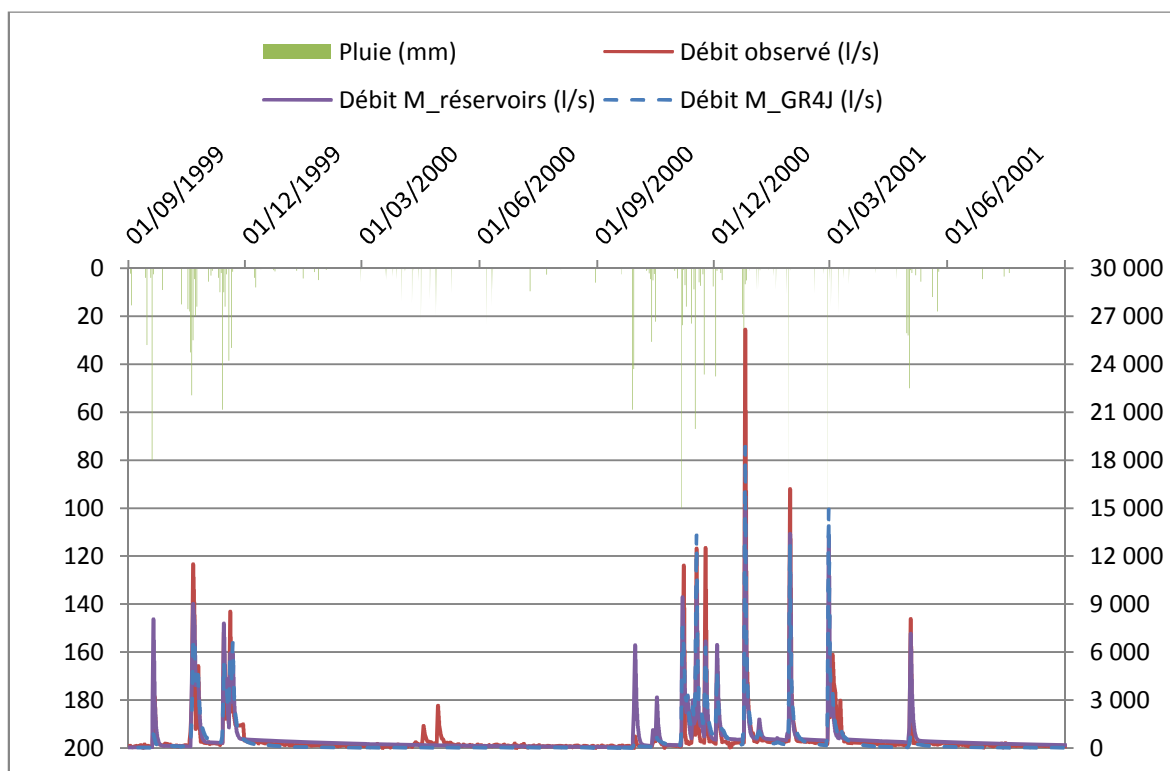
Barrage de Dardenne

Etude du débit plancher en aval du barrage

CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE ET DEFINITION DU DEBIT PLANCHER

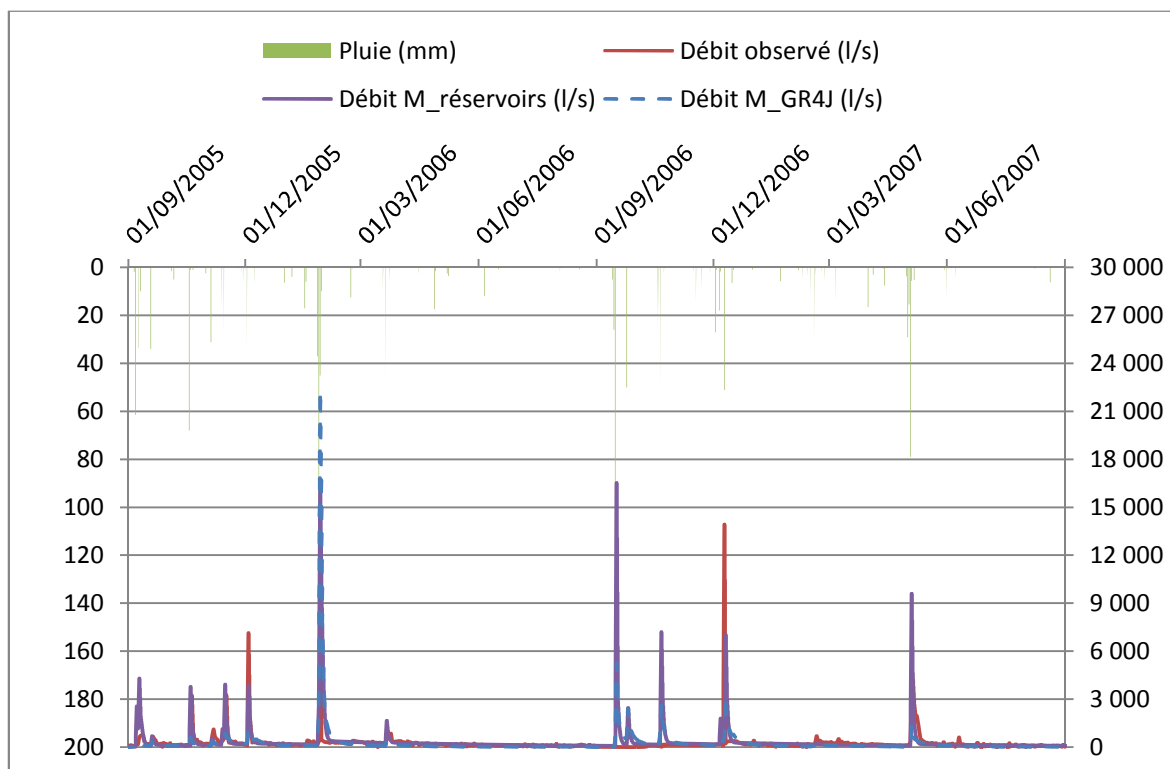
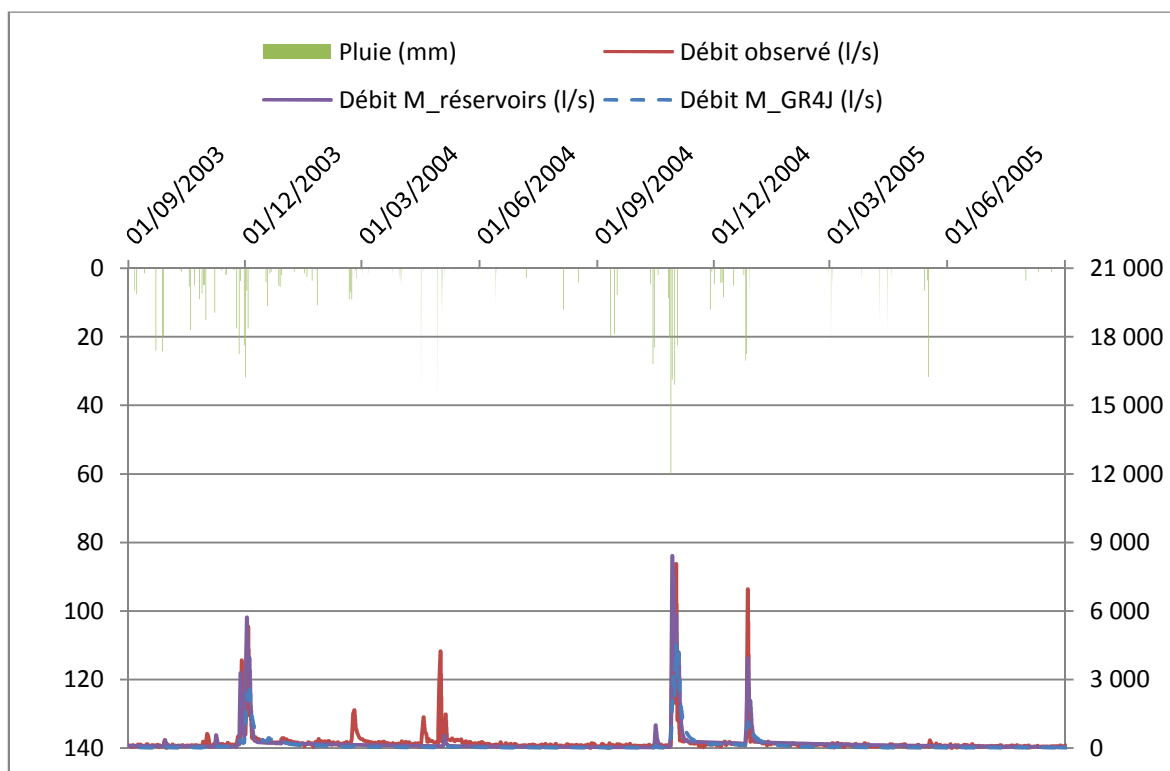
Barrage de Dardenne

Etude du débit plancher en aval du barrage

CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE ET DEFINITION DU DEBIT PLANCHER

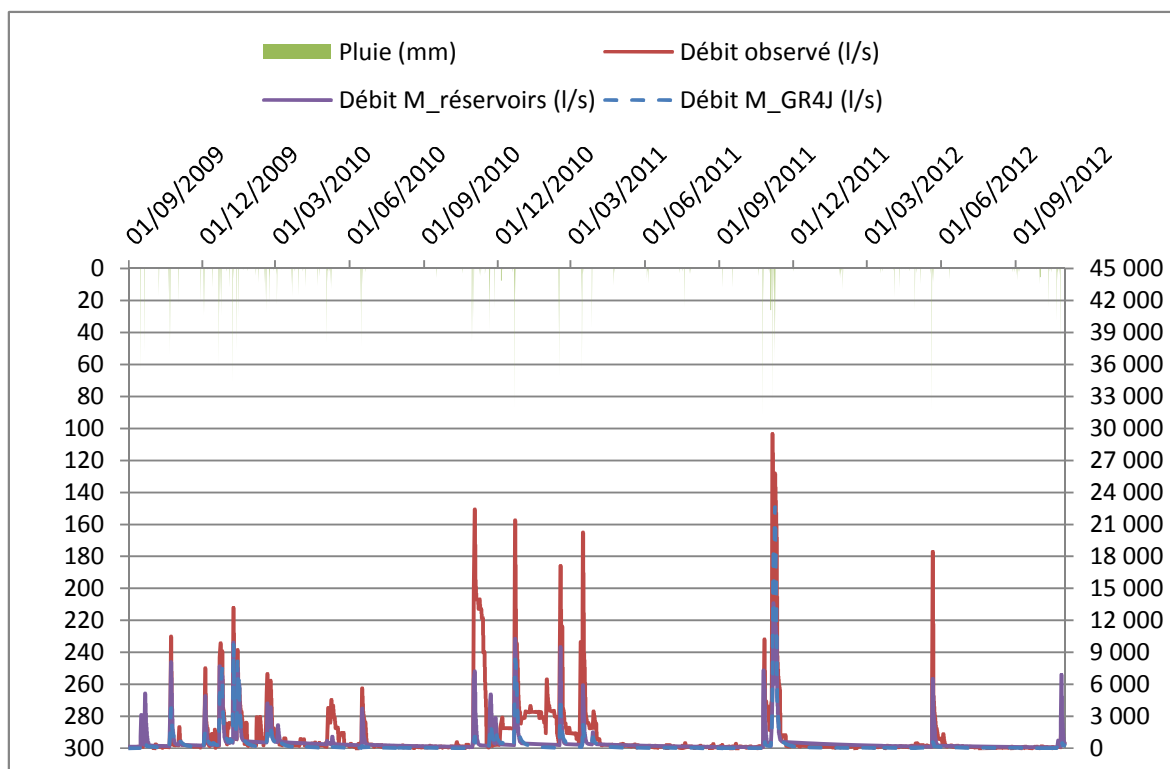
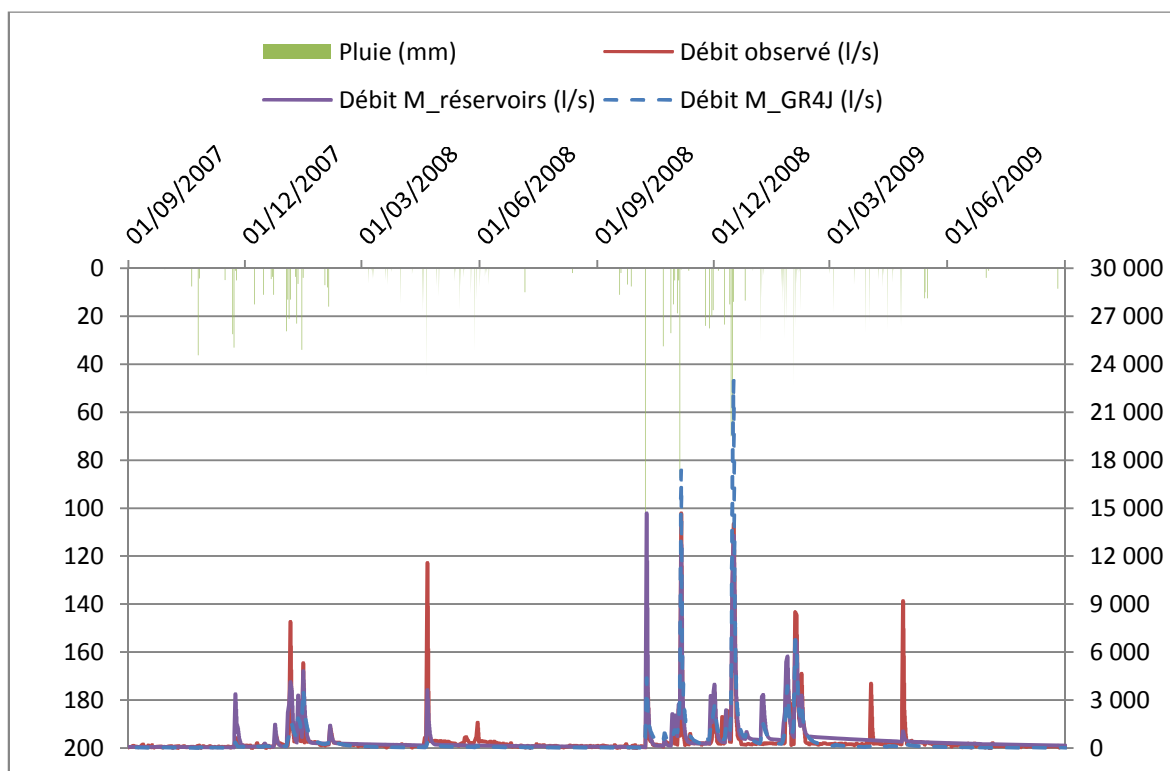
Barrage de Dardenne

Etude du débit plancher en aval du barrage

CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE ET DEFINITION DU DEBIT PLANCHER

Barrage de Dardenne

Etude du débit plancher en aval du barrage

CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE ET DEFINITION DU DEBIT PLANCHER

ANNEXE 2 FONCTIONNEMENT DU MODELE GR4J

Le modèle GR4J (modèle du Génie Rural à 4 paramètres Journalier) est un **modèle pluie-débit global à réservoirs**.

Le modèle a quatre paramètres optimisables :

X1 : capacité du réservoir de production (mm)

X2 : coefficient d'échanges souterrains (mm)

X3 : capacité à un jour du réservoir de routage (mm)

X4 : temps de base de l'hydrogramme unitaire HU1 (j)

On désigne par **P (mm)** la hauteur de pluie et par **E (mm)** l'évapotranspiration potentielle (ETP).

P est une estimation de la pluie de bassin et **E** peut être issue d'une courbe d'ETP moyenne interannuelle. Les équations suivantes correspondent aux équations intégrées sur un pas de temps.

La première opération est la neutralisation de **P** par **E** pour déterminer une pluie nette **Pn** et une évapotranspiration nette **En** calculée par :

Si $P > E$, alors $Pn = P - E$ et $En = 0$

Si $P < E$, alors $Pn = 0$ et $En = E - P$

Dans le cas où **Pn** est différente de zéro, une partie **Ps** de **Pn** alimente le réservoir de production et est calculée par :

$$Ps = \frac{X1 \left(1 - \left(\frac{S}{X1} \right)^2 \right) \tanh \left(\frac{Pn}{X1} \right)}{1 + \frac{S}{X1} \tanh \left(\frac{Pn}{X1} \right)}$$

Où **X1** (mm) et **S** sont respectivement la capacité maximum et le niveau du réservoir de production.

Dans le cas contraire, lorsque **En** est différent de zéro, une quantité d'évaporation **Es** est retirée du réservoir de production. Elle est donnée par :

$$Es = \frac{S \left(2 - \frac{S}{X1} \right) \tanh \left(\frac{En}{X1} \right)}{1 + \left(1 - \frac{S}{X1} \right) \tanh \left(\frac{En}{X1} \right)}$$

Le contenu du réservoir est mis à jour par :

$$S = S - Es + Ps$$

Une percolation **Perc** issue du réservoir de production est alors calculée :

$$Perc = S \cdot \left[1 - \left[1 + \left(\frac{4}{9} \frac{S}{X1} \right)^4 \right]^{-\frac{1}{4}} \right]$$

Le contenu du réservoir est de nouveau mis à jour par :

$$S = S - Perc$$

La quantité d'eau Pr qui atteint finalement la partie routage du modèle est :

$$Pr = Perc + (Pn - Ps)$$

Pr est divisée en deux composantes d'écoulement, 90 % étant routés par un hydrogramme unitaire $HU1$ et un réservoir de routage et 10 % par un unique hydrogramme unitaire $HU2$.

$HU1$ et $HU2$ dépendent du même paramètre $X4$, temps de base de $HU1$ exprimé en jours.

Les ordonnées des hydrogrammes sont calculées à partir des courbes en S (cumul de la proportion de la pluie unitaire traitée par l'hydrogramme en fonction du temps) notées respectivement $SH1$ et $SH2$.

$SH1$ est définie en fonction du temps par :

Pour $t = 0$

$$SH1(t) = 0$$

Pour $0 < t < X4$

$$SH1(t) = \left(\frac{t}{X4} \right)^{\frac{5}{2}}$$

Pour $t > X4$

$$SH1(t) = 1$$

$SH2$ est définie en fonction du temps par:

Pour $t = 0$

$$SH2(t) = 0$$

Pour $0 < t < X4$

$$SH2(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{t}{X4} \right)^{\frac{5}{2}}$$

Pour $X4 < t < 2X4$

$$SH2(t) = 1 - \frac{1}{2} \left(2 - \frac{t}{X4} \right)^{\frac{5}{2}}$$

Pour $t > 2X4$

$$SH2(t) = 1$$

Les ordonnées de $HU1$ et $HU2$ sont alors calculées par :

$$UH1(j) = SH1(j) - SH1(j-1)$$

$$UH2(j) = SH2(j) - SH2(j-1)$$

où j est un entier.

A chaque pas de temps i , les sorties $Q9$ et $Q1$ des deux hydrogrammes sont calculées par :

$$Q9(i) = 0,9 \cdot \sum_{k=1}^l UH1(k) \cdot \Pr(i-k+1)$$

$$Q1(i) = 0,1 \cdot \sum_{k=1}^m UH2(k) \cdot \Pr(i-k+1)$$

où $l = \text{int}(X4)+1$ et $m = \text{int}(2.X4)+1$, avec $\text{int}(\cdot)$ désignant la partie entière.

Un échange souterrain en eau (perte ou gain) est calculé par :

$$F = X2 \left(\frac{R}{X3} \right)^{7/2}$$

où R est le niveau dans le réservoir, [X3](#) la capacité à un jour du réservoir et [X2](#) le coefficient d'échange en eau qui peut être positif dans le cas d'apports, négatif dans le cas de pertes vers des nappes profondes ou nul.

Le niveau dans le réservoir de routage est mis à jour en ajoutant la sortie $Q9$ de l'hydrogramme $HU1$ et F :

$$R = \max(0 ; R + Q9 + F)$$

Il se vidange ensuite en une sortie Qr donnée par :

$$Qr = R \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{R}{X3} \right)^4 \right]^{-\frac{1}{4}} \right\}$$

Le niveau dans le réservoir devient : $R = R - Qr$

La sortie $Q1$ de l'hydrogramme $HU2$ est soumise au même échanges pour donner la composante d'écoulement Qd :

$$Qd = \max (0 ; Q1+F)$$

Le débit total Q est alors donné par : $Q = Qr + Qd$

ANNEXE 3 FONCTIONNEMENT DU MODELE A RESERVOIRS

IV.2.1.1. La fonction de production

Le réservoir sol

Il permet de calculer l'infiltration qui va alimenter les réservoirs de routage à partir des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Le réservoir sol est caractérisé par une hauteur d'eau qui varie selon les entrées et les sorties du réservoir (Figure 23). Au temps t_1 , cette hauteur est égale à la hauteur au pas de temps précédent (t_0) à laquelle on ajoute la hauteur des précipitations et on soustrait l'ETP ainsi que l'infiltration (mm/j), selon la formule suivante :

$$(H_{\text{réservoir sol}})_{t1} = (H_{\text{réservoir sol}})_{t0} + \text{Précipitations} - \text{ETP} - \text{Infiltration}$$

Toutes les variables sont des hauteurs d'eau en mm/j et $H_{\text{réservoir sol}}$, la hauteur d'eau dans le réservoir sol.

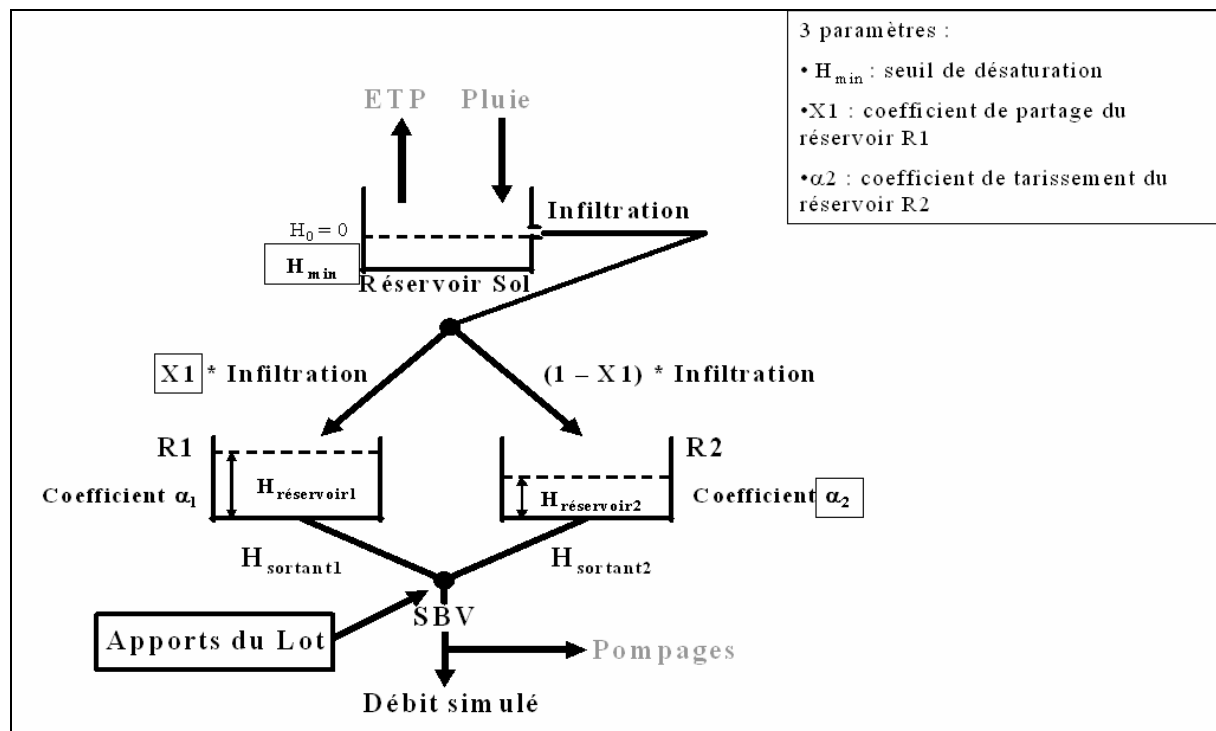


Figure 23 : Structure du modèle de Fleury (2005) appliqué au système des Chartreux : 3 réservoirs, 3 paramètres, 3 variables

Notons que les hauteurs d'eau dans ce réservoir peuvent être positives ($>H_0$) ou négatives ($<H_0$). Les valeurs négatives correspondent à un état de désaturation du réservoir. Le réservoir sol ne fournira de l'eau aux réservoirs de routage que si la hauteur d'eau dans le réservoir est positive, autrement dit si le réservoir est suffisamment rechargé par les précipitations.

Afin de permettre au réservoir sol de retrouver un état de désaturation plus rapidement, une solution consiste à ajouter un seuil de désaturation ($H_{\min}$). Le réservoir sol ne peut pas descendre en dessous de cette valeur, donc l'ETP journalière n'a plus d'incidence dans la modélisation quand la hauteur dans le réservoir est égale à $H_{\min}$. La valeur de $H_{\min}$ est normalement calée par rapport à la première précipitation qui génère une augmentation du débit après un étiage long, de sorte que le réservoir sol crée bien une infiltration à cet instant.

IV.2.1.2. La fonction de transfert

- Equations

Cette fonction est constituée de deux réservoirs de routage (ou de transfert) :

- un réservoir à vidange lente, il reproduit le tarissement et les débits d'étiages,
- un réservoir à vidange rapide, il permet de router les écoulements rapides et reproduit les crues.

La hauteur d'eau infiltrée est divisée en deux parties selon les coefficients de partage X_1 et $1-X_1$, affectés à chacun des réservoirs. X_1 est obtenu par calage sur les tarissements de sorte que les étiages soient bien représentés, en sachant que : $0 < X_1 < 1$.

Ensuite, le fonctionnement des deux réservoirs est identique, seule la constante de vidange change, permettant d'avoir une branche d'écoulement rapide et une branche lente.

Les entrées dans les réservoirs de routage sont les hauteurs d'eau infiltrées converties en m, provenant de la fonction de production. La hauteur d'eau dans le réservoir de routage au temps t s'écrit :

$$(H_{\text{réservoir}})_{t1} = (H_{\text{réservoir}})_{t0} + X * \text{Infiltration} * 10^{-3} - (H_{\text{sortant}})_{t1}$$

Avec $(H_{\text{réservoir}})_{t1}$, la hauteur d'eau (m) dans le réservoir au temps t_1 ; $(H_{\text{réservoir}})_{t0}$, la hauteur d'eau (m) dans le réservoir au temps t_0 ; X , le coefficient de partage du réservoir (X_1 ou $1-X_1$ selon le réservoir) ; Infiltration, la lame d'eau infiltrée (mm) provenant de la fonction de production ; $(H_{\text{sortant}})_{t1}$, la hauteur d'eau (m) sortant du réservoir au temps t_1 .

La quantité d'eau sortant d'un tel réservoir est proportionnelle à la hauteur de l'eau dans le réservoir. La vidange se fait selon la Loi de Maillet. La variation de la quantité d'eau sortante (transformée en hauteur) s'écrit alors :

$$(H_{\text{réservoir}})_{t1} = (H_{\text{réservoir}})_{t0} \cdot e^{-\alpha t}$$

Avec $(H_{\text{réservoir}})_{t1}$, la hauteur d'eau (m/j) sortant du réservoir au temps t_1 ; $(H_{\text{réservoir}})_{t0}$, la hauteur d'eau (m/j) sortant au temps $t = 0$; α , le coefficient de vidange journalière du réservoir (j^{-1}).

Pour chaque jour, la lame d'eau quittant le réservoir est déterminée à partir de la formule suivante :

$$\int_t^{t+1} H_{\text{réservoir}} = \alpha * H_{\text{réservoir}}(t)$$

Avec H_{sortant} , la hauteur d'eau quittant le réservoir (m/j) ; $H_{\text{réservoir}}$, la hauteur d'eau dans le réservoir (m) ; α , le coefficient de vidange journalière (j^{-1}).

Le coefficient de vidange α_2 est issu du calage et correspond au pourcentage d'eau qui sort chaque jour du réservoir. En revanche, le coefficient de vidange α_1 du réservoir à vidange lente est déterminé à partir de l'analyse hydrodynamique de la récession.

Les hauteurs d'eau sortant de chacun des réservoirs sont intégrées sur l'étendue du bassin d'alimentation. Les débits issus des deux réservoirs donnent le débit de la source.

On ajoute un débit supplémentaire qui correspond à la contribution des eaux du Lot au débit de la Fontaine des Chartreux : « Apports du Lot », à un débit constant pour le moment.



**DETERMINATION D'UN DEBIT BIOLOGIQUE
EN AVAL DU BARRAGE DE DARDENNES
RIVIERE LE LAS**



Mars 2013

Sommaire

INTRODUCTION	3
1 DEFINITION DES ENJEUX ECOLOGIQUES.....	3
1.1 GENERALITES	3
1.2 LA MORPHOLOGIE DU BASSIN VERSANT DU LAS	4
1.3 LES OBJECTIFS DE LA DIRECTIVE CADRE EUROPEENNE SUR L'EAU	8
1.4 LES ENJEUX LIES A LA BIOLOGIE.....	11
↳ <i>Le peuplement piscicole.....</i>	<i>11</i>
↳ <i>Le peuplement astacicole</i>	<i>13</i>
↳ <i>La faune de macro-invertébrés benthiques</i>	<i>13</i>
↳ <i>La gestion piscicole et statut</i>	<i>14</i>
1.5 SYNTHESE DES ENJEUX	14
2 DETERMINATION DU DEBIT BIOLOGIQUE	15
2.1 GENERALITES SUR LA METHODE	15
2.2 CHOIX DE LA STATION.....	17
2.3 L'ANALYSE MICROHABITAT.....	19
• <i>Evolution des surfaces mouillées</i>	<i>20</i>
• <i>Valeur d'habitat par stade.....</i>	<i>21</i>
• <i>Surface Pondérée Utile pour 100 mètres linéaires.....</i>	<i>22</i>
CONCLUSION	23

Introduction

Dans le cadre de l'étude d'évaluation du débit réservé en aval du barrage de Dardennes, la Maison Régionale de l'Eau est en charge de l'estimation du débit biologique.

Cette étude comprend une analyse du contexte environnemental (hydrobiologie du cours d'eau, qualité de l'eau, morphologie du cours d'eau), du contexte réglementaire à travers les différents documents d'orientation tel que le SDAGE RM¹, le PDPG 83² et une étude « microhabitat » afin d'évaluer une plage de débit préférentielle pour les espèces présentes dans le cours d'eau.

1 Définition des enjeux écologiques

1.1 Généralités

Les eaux du Las proviennent essentiellement des sources karstiques du Ragas (exutoire du massif du Siou-blanc) et des cours d'eau superficiels des massifs nord Toulonnais (le Coudon, le Faron, le Grand-Cap, le Baou,...). Les sources du Ragas alimentent directement la retenue du barrage de Dardennes. Le barrage est destiné à l'alimentation en eau potable de l'aire Toulonnaise. D'après l'ouvrage « le Las : une rivière dans la ville » : « *en période d'étiage, les sources du Ragas ne débitent que 110 à 130 l.s⁻¹, le débit annuel des sources du Ragas varie en fonction de la pluviométrie. Le débit des sources est en moyenne de 500 l.s⁻¹ sur l'année et environ de 50 m³.s⁻¹ en période de grosse crue* (Val d'As, 2008). D'autres sources alimentent également le Las comme le Baume de Dardennes et Saint-Antoine.

Son bassin versant est situé sur la partie ouest de Toulon et est délimité par les massifs du Baou des Quatro Ouros, du Mont Caume, du Grand Cap et du Faron. Il draine 6000 hectares. Ce cours d'eau méditerranéen présente des périodes de hautes eaux (crues) et de basses eaux (étiage sévère allant jusqu'à l'assèchement du lit en période estivale).

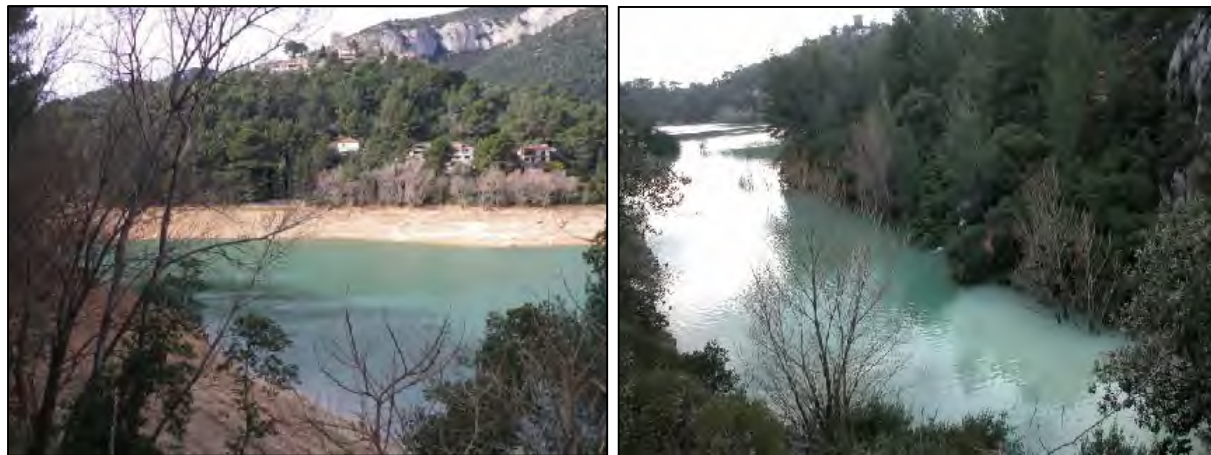
¹ SDAGE RM : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux Rhône Méditerranée

² PDPG 83 : Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles du département du Var

1.2 La morphologie du bassin versant du Las

Le Las, **petit fleuve côtier péri-urbain de type méditerranéen**, prend sa source dans la retenue de Dardennes (édifié en 1912) sur la commune du Revest-les-Eaux, alimentée par les sources du Ragas et utilisée pour la distribution d'eau potable et pour l'irrigation. Le barrage de Dardennes a modifié complètement le cours naturel du Las, autrefois régulier.

Le barrage de Dardennes forme une retenue de 200 à 300 mètres de largeur et sur plus de 600 mètres de longueur avec une capacité totale de 1 100 000 m³.



Photographie 1 : La retenue de Dardennes (à gauche) et la queue de retenue (à droite)



Photographie 2 : Le barrage de Dardennes (à gauche) et l'usine de potabilisation vue du Las (à droite)



Photographie 3 : L'évacuateur de crue du barrage de Dardennes

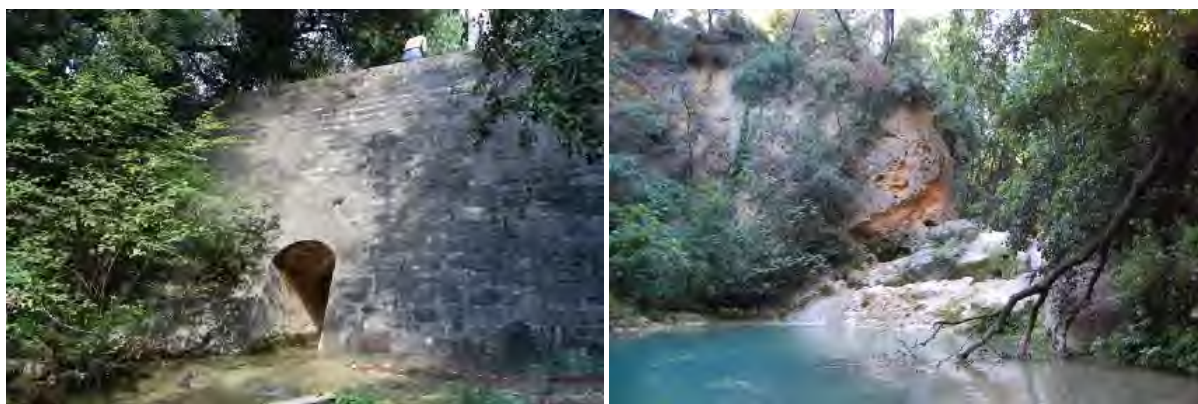
Cette rivière, longue d'environ 7 kilomètres, suit son cours naturel jusqu'au quartier du Jonquet. Vauban a détourné le cours naturel aval du lit afin que son exutoire se situe en dehors du port. Aujourd'hui, ce cours artificiel est recouvert par une voie rapide.

Le cours de la rivière peut être séquencé en quatre zones distinctes:

- **le cours amont, secteur du barrage jusqu'au hameau de Dardennes.** Il se caractérise par la présence du barrage, par une pente peu forte et par un faible débit des eaux superficielles en régime hydraulique normal. L'écoulement est quasi permanent jusqu'à Dardennes, alimenté par des résurgences en période de sécheresse intense. Sur ces 500 premiers mètres, le lit du cours d'eau est dominé par des pierres et cailloux recouverts de limon. Le lit du cours d'eau est alors colmaté par des matières fines. L'eau est très turbide le jour de notre reconnaissance. La largeur du lit varie de 3 à 5 mètres, la ripisylve y est dense et permet le maintien des berges. A partir du barrage des Trois Martelières, le Las retrouve son aspect naturel. Le fleuve s'écoule dans un système de petite gorge, aux berges abruptes présentant une ripisylve dense et naturelle. Les faciès d'écoulement dominants sont de type cascades/ vasques. Ce tronçon se termine en amont de la confluence du vallon de la Ripelle.



Photographie 4 : Trou d'eau en aval direct du barrage de Dardennes (à gauche) et forte turbidité observée



Photographie 5 : Le barrage des trois martelières (à gauche) et la salle verte (à droite)

- **Le cours moyen du Las, du hameau de Dardennes au Jonquet**, est non pérenne, en période d'étiage estival et hivernal. Selon les saisons, l'eau est entièrement captée par la prise du Béal et les eaux ont tendances à s'infiltrer, de par sa nature géologique (affleurements calcaires favorisant les infiltrations). Le Las est alimenté selon les saisons par les pertes du Béal et en période hivernale par le vallon de Fontanieu en rive droite.



Photographie 6 : La prise d'eau du Béal

La rivière redevient pérenne grâce aux apports de la source de la Baume. Le Las reçoit les eaux des ravins de Mal Vallon, de Fontanieu et du Val d'Aigues-Pardiguier en rive droite. Sur ce secteur, la pente diminue, la rivière s'élargit, puis le lit se rétrécit peu après le pont de Saint Pierre. Le lit du cours moyen est formé de cailloux. Sur une importante partie du cours, les riverains de ce cours d'eau non domanial ont consolidé les berges, en construisant des murs de pierres à la façon des " restanques " pour lutter contre l'érosion des berges.

- **Le cours aval** comprend également deux parties :
 - **La Rivière Neuve** : du Jonquet jusqu'à la pyrotechnie à l'ouest de Toulon. Cette partie est un détournement du cours naturel du Las. **La partie souterraine de la rivière Neuve** (« rivière couverte »), du Jonquet (photographie 7) au Pont Neuf, a été couverte dans les années 70-80 afin de faciliter la circulation routière. Elle présente uniquement un intérêt pour la circulation des espèces. Seul le vallon de Forgentier débouche dans la rivière couverte sous forme de pluvial. **Entre le pont Neuf et le pont des Gaux**, l'eau s'écoule sur du béton, puis jusqu'à la Pyrotechnie Maritime sur un socle calcaire et présente une ripisylve plus variée. Le Las et la rivière Neuve trouvent leur exutoire dans la Rade de Toulon.
 - **Le Las « naturel »** : du Jonquet à la darse de Castignieu. L'ancien lit du Las existe encore aujourd'hui et draine les eaux superficielles des quartiers du Jonquet et de Rodeilhac. Puis, il est canalisé, busé et traverse en souterrain le Pont du Las et l'arsenal pour déboucher dans la mer près de darse de Castignieu.



Photographie 7 : Le Las au niveau du pont du Jonquet avant de passer en souterrain



Photographie 8 : Le Las au quartier Bon Rencontre avant de redevenir souterrain

1.3 Les objectifs de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau

- Les masses d'eau du bassin de Las

Le Las est découpé en deux masses d'eau :

- FRDR116a : « Amont du Las » est une masse d'eau dite naturelle,
- FRDR116b : « Aval du Las » est considéré comme une masse d'eau fortement modifiée



Carte 1 : Les masses d'eau du bassin versant du Las

- **L'état écologique des masses d'eau d'après les points de suivi RCO**

Le Réseau de Contrôles Opérationnels (RCO) de l'Agence de l'Eau compte deux stations sur la rivière Las. Seule la station du **Las à Toulon au lieu-dit « Le Jonquet »** (code station : 06710300) a fait l'objet d'analyses physico-chimiques, au cours de ces dernières années. **L'état écologique** est considéré comme **moyen** à cette station **une année sur deux depuis 2008** (2009 et 2011) et en **bon état** en 2008 et 2010. Le Las présente un taux de saturation et des concentrations en oxygène médiocres en période d'étiage estival avec par exemple une valeur de 45,9% pour la saturation et de 4,47 mg.l⁻¹ d'O₂, à la mi-septembre 2011. Les notes de l'IBGN de 2010 (16/20) et 2011 (16/20) indiquent que la qualité biologique du Las à cette station est bonne.

Le Las à Toulon au lieu-dit « Bon rencontre » (code station : 06710400) est suivie depuis 2008 uniquement d'un point de vue biologique. A cette station, les dernières valeurs de l'indice diatomées indiquent un très bon état avec une note de 19,6 en 2010 et de 20 en 2011. Les valeurs d'IBGN correspondent à un état moyen avec une valeur de 10 en 2010 et de 13 en 2011. Toutefois le potentiel écologique est considéré comme médiocre car à l'heure actuelle, aucun indice biologique ne semble être adapté pour évaluer le potentiel écologique sur les masses d'eau fortement modifiées.

- **Les objectifs de qualité**

Les objectifs de qualité fixés dans le cadre de la Directive Cadre Européenne pour 2015 devraient être atteints sur l'ensemble des masses d'eau du bassin versant du Las.

	État écologique		Etat chimique	
	2009	Obj. BE	2009	Obj. BE
FRDR116a : Amont du Las	Moyen	2015	indéterminé	2015
FRDR116b : Aval du Las	Mediocre	2015	Très bon	2015

Les données utilisées pour établir l'état initial des masses d'eau du SDAGE RM (2009) sont issues du programme de surveillance établi dans le cadre de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau (réseaux de contrôle de surveillance et de contrôle opérationnel) et des réseaux de référence, mais aussi d'autres réseaux dont les sites de suivi sont représentatifs de l'état d'une masse d'eau et dont les protocoles de prélèvements sont conformes à ceux prescrits pour la Directive. Les chroniques utilisées sont les années 2006 et 2007.

Cet état des lieux est réalisé à partir des données existantes, antérieures à 2009. Elle repose sur des acquisitions réalisées au niveau du Jonquet par l'intermédiaire d'une station du réseau de suivi qui est une station de contrôle opérationnelle : LAS A TOULON - LE JONQUET (code station : 06710300).

Les résultats des différents suivis sur cette station sont les suivants :

État des eaux de la station

Années (1)	Bilan de l'oxygène	Température	Nutriments	Acidification	Salinité	Polluants spécifiques	Invertébrés benthiques	Diatomées	Poissons (2)	Hydromorphologie	Pressions hydromorphologiques	ÉTAT ÉCOLOGIQUE	POTENTIEL ÉCOLOGIQUE	ÉTAT CHIMIQUE
2011	MED ①	NC	BE	TBE	Ind	BE	TBE	TBE				MOY		MAUV ①
2010	BE	NC	BE	TBE	Ind	BE	MOY	TBE				MOY		MAUV ①
2009	MOY ①	NC	BE	TBE	Ind	BE	MOY	BE	Ind			MOY		MAUV ①
2008	BE	NC	BE	TBE	Ind		TBE	TBE	Ind			BE		

(1) Année la plus récente de la période considérée pour l'évaluation de l'état.

(2) Voir Nota concernant l'élément de qualité "Poissons" à la rubrique évaluation de l'état.

Légende

État écologique

TBE	Très bon état
BE	Bon état
MOY	État moyen
MED	État médiocre
MAUV	État mauvais
Ind	État indéterminé : absence actuelle de limites de classes pour le paramètre considéré, ou absence actuelle de référence pour le type considéré (biologie), ou données insuffisantes pour déterminer un état (physicochimie). Pour les diatomées, la classe d'état affichée sera "indéterminé" si l'indice est calculé avec une version de la norme différente de celle de 2007 (Norme AFNOR NF T 90-354)
NC	Non Concerné
	Absence de données

État chimique

BE	Bon état
MAUV	Non atteinte du bon état
Ind	Information insuffisante pour attribuer un état
	Absence de données

En 2009, l'état écologique moyen est établi suite aux valeurs déclassantes d'oxygène dissous dans l'eau et du taux de saturation mais aussi des indices biologiques basés sur les invertébrés benthiques.

Cette situation semble se prolonger en 2010 et 2011 au moins pour l'un des deux paramètres évoqués plus haut. Signalons aussi le mauvais état chimique initié par des valeurs élevées en cadmium et en 2009, pour quelques hydrocarbures.

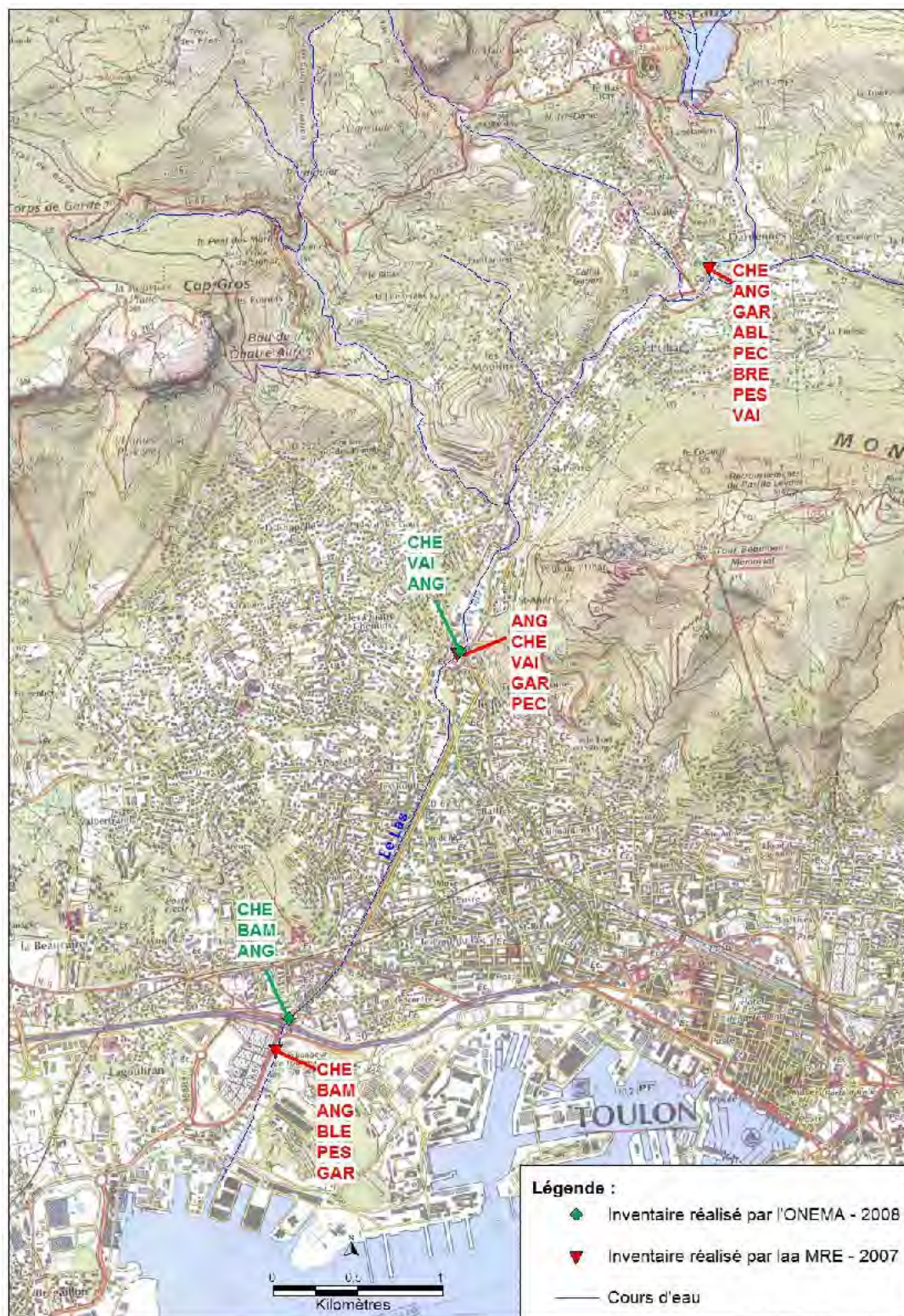
1.4 Les enjeux liés à la biologie

Le peuplement piscicole

Lors de la vidange décennale de la retenue de Dardennes, un bilan environnemental a été réalisé avant, pendant et après vidange (TREBAOL, 2007). Avant la vidange de la retenue, des pêches ont été réalisées en octobre 2006 afin de récupérer les poissons. Elles indiquent que le peuplement piscicole de la retenue était composé d'ablette, de gardon, brème, chevaine, carpe commune, perche commune, **anguille** et de brochet. L'anguille avait déjà été observée en 1976 dans la retenue. Trois espèces indésirables ont été également recensées puis éliminées : la perche soleil, la tortue de floride et l'écrevisse américaine. Après la vidange, en janvier 2007 la retenue a été rempoissonnée avec des gardons, rotengle, carpe commune, perche commune et brochet.

En mars 2007, des inventaires piscicoles ont été réalisés la Maison Régionale de l'Eau, en aval du barrage de Dardennes, au lieu-dit « Jonquet » et au lieu-dit « Lagourdan » (cf. Carte 2). Deux espèces à forte valeur patrimoniale ont été recensées dans les stations aval : le **barbeau méridional** et la **blennie fluviatile**. Le barbeau méridional aurait dû être recensé plus en amont mais sa présence peut être limitée par l'assèchement régulier de plusieurs secteurs de cours d'eau. Les **anguilles** constituent la troisième espèce à fort intérêt car elle est considérée comme vulnérable. Le peuplement repère est constitué par le chevesne, le barbeau méridional et l'anguille, peuplement type des cours d'eau côtiers à l'Est du Rhône. La présence de la blennie n'est pas exceptionnelle mais constitue probablement un reliquat d'une population altérée et fragmentée. Cette espèce et son habitat doivent être préservés. Cette étude a montré que la vidange de la retenue de Dardennes a eu un impact sur le peuplement piscicole avec un dévalement : des espèces allochtones, plutôt affiliées aux retenues, se retrouvant dans le peuplement du cours d'eau, avec des densités décroissantes vers l'aval (gardons, les ablettes, les perches, la brème ou perche soleil).

L'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) a réalisé en juin 2008 des inventaires piscicoles au lieu-dit « le Jonquet » et au niveau du pont de l'A50 (cf. Carte 2). A la station du Jonquet, trois espèces ont été recensées : chevaine, vairon et anguille. Au niveau du pont de l'A50, trois espèces sont également inventoriées : le chevaine, le barbeau méridional et l'anguille.



Carte 2 : Répartition des espèces piscicoles sur le bassin versant du Las

Rappel des codes poissons : ABL : Ablette ; ANG : anguille ; BAM : barbeau méridional ; BLE : Blennie fluviatile ; BRE : brème ; CHE : Chevaie ; GAR : gardon ; PEC : perche commune ; PES : perche soleil ; VAI : Vairon

↳ Le peuplement astacicole

Aucune donnée n'est disponible, à ce jour, sur les espèces patrimoniales d'écrevisses. Seule l'écrevisse américaine a été recensée en 2006 lors de la vidange du barrage de Dardennes (TREBAOL, 2007).

↳ La faune de macro-invertébrés benthiques

En avril 2003, une analyse hydrobiologique a été réalisée sur quatre stations entre le barrage de Dardennes et le village de Dardenne (Charlier, 2003). Les notes IBGN attestent d'une **qualité biologique relativement bonne** sur l'ensemble du tronçon étudié. Toutefois, la présence d'un important colmatage, en aval du barrage, limite le développement de cette macrofaune. En novembre 2006, sept stations, de l'aval immédiat du barrage à l'embouchure avec la mer, ont fait l'objet de prélèvements d'invertébrés benthiques. Les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant :

	B01	B016	B018	PC012	PC020	PB009	PB014
Campagne 1	Date	15/04/2003	15/04/2003	15/04/2003			
	Richesse taxonomique	18	28	29			
	Densité (ind/m²)	7558	3093	3303			
	Taxon indicateur (GI)	Philopotamidae (8)	Philopotamidae (8)	Leuctridae (7)			
	Taxon dominant (%)	Chironomidae (52%)	Chironomidae (61%)	Chironomidae (63%)			
	IBGN	13	15	15			
Campagne 2	Date	30/11/2006	30/11/2006	30/11/2006	30/11/2006	30/11/2006	30/11/2006
	Richesse taxonomique	7	10	10	24	23	20
	Densité (ind/m²)	47,5	85	315	4238	3528	4310
	Taxon indicateur (GI)	Non	Sericostomatidae (7)	Sericostomatidae (7)	Hydroptilidae (5)	Philopotamidae (8)	Psychomyiidae (4)
	Taxon dominant (%)		Hydropsychidae (23%)	Gammaridae (59%)	Baetidae (33%)	Hydrobiidae (34%)	Caenidae (34%)
							Oligochètes (53%)
	IBGN	0	9	9	11	14	9

Cette étude a mis en évidence l'impact du délimonage de la retenue, dans un contexte hydrologique défavorable (crue survenue quelques jours après le délimonage), sur le peuplement de macro-invertébrés. Les augmentations de débit dues au délimonage et à la crue ont donc provoqué une dérive importante de la faune. Il apparait que les dépôts de limons, suite au délimonage complet de la retenue, empêchent tout retour à l'état initial. Les conséquences du délimonage sur le peuplement invertébrés sont surtout visibles dans la partie amont du Las. En aval, la distance avec le barrage et les seuils limitent les apports de limons. L'impact de la vidange sur le peuplement est donc peu visible pour les stations localisées **en aval de Dardennes**. Les **invertébrés récoltés sont banaux** et témoignent d'une **qualité passable**, légèrement dégradée par les effluents urbains dans les stations les plus en aval. Ces résultats sont en cohérence avec le diagnostic de la Directive cadre Européenne de 2009.

Une seule station présente une **bonne qualité biologique, située en aval d'apport de sources**, qui contribuent à améliorer la qualité du milieu. Ces apports permettent tout particulièrement le développement d'un Trichoptère polluo-sensible vivant dans les eaux fraîches (Philopotamidae, genre Wormaldia).

La gestion piscicole et statut

Le Las est classé en **deuxième catégorie piscicole** (à vocation cyprinicole). C'est un cours d'eau non domanial, le droit de pêche appartient aux propriétaires riverains et la gestion est assurée par l'Association de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique (AAPPMA) du « Gardon de Toulon et de ses environs ».

Le Plan Départemental pour la Protection du Milieu Aquatique et la Gestion des Ressources Piscicoles (**PDPG**) du Var classe le Las dans un **contexte intermédiaire perturbé**. Le peuplement piscicole est dominé par les cyprinidés d'eau vive (espèce repère). Il est constitué de barbeaux méridionaux, de chevaines et de vairons. Les facteurs limitants identifiés dans ce contexte sont un débit d'étiage sévère, le débit réservé et des pollutions diffuses.

1.5 Synthèse des enjeux

- **Amont du Las** considéré comme une **masse d'eau naturelle** avec un **état écologique** variant **de bon à moyen**,
- **Aval du Las** considéré comme une **masse d'eau fortement modifiée** avec un **potentiel écologique médiocre**
- Trois espèces piscicoles à forte valeur patrimoniale présentes : **anguille, barbeau méridional, blennie fluviatile**
- **Contexte piscicole intermédiaire perturbé**

2 Détermination du débit biologique

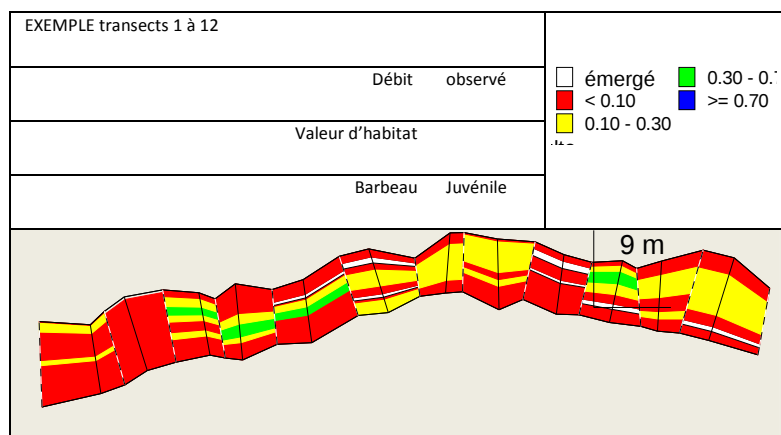
2.1 Généralités sur la méthode

L'analyse microhabitats a été réalisée avec la méthode EVHA développée par le Cemagref de Lyon. Le modèle EVHA développé par le Laboratoire d'Hydrologie Quantitative du Cemagref de Lyon a été mis en place pour argumenter des propositions en termes de débits biologiques.

La méthode EVHA est basée sur le principe que l'habitat piscicole peut être apprécié à partir de trois composantes principales : la vitesse de courant, la hauteur d'eau, le substrat.

La méthode fournit une quantification des capacités d'accueil potentielles pour le poisson, en fonction du débit. Dans ces principes, elle consiste à déterminer, sur une portion de cours d'eau, la surface d'habitat favorable à une espèce, s'appuyant sur des courbes de préférence établies par espèce piscicole.

La méthode consiste ensuite à modéliser le cours d'eau par une succession de transects perpendiculaire au cours d'eau et intégrant les berges, selon trois variables principales : les hauteurs d'eau, les vitesses d'écoulement et le substrat.



Il s'agit d'une modélisation hydraulique qui est couplée à un modèle biologique pré défini.

Sur ces bases, la méthode met en œuvre :

- Un **modèle hydraulique** d'étiage qui permet, à partir de relevés de terrain, de modéliser les variations des trois grandeurs (hauteur, vitesse, substrat) selon le débit.
- Des **courbes de préférences** propres à chaque poisson qui sont issues de résultats statistiques de pêches par ambiance. Ces courbes sont éditées par le Cemagref de Lyon. À ce jour, les courbes de préférence disponibles pour les bassins versants méditerranéens sont les suivantes :

Espèces	Courbe de préférences disponibles			
Truite fario	Adulte	Juvénile	Alevin	Frai
Anguille	Adulte			
Barbeau fluviatile	Adulte	Juvénile	Alevin	
Blageon	Adulte	Juvénile		
Chabot	Adulte			
Chevesne	Adulte	Juvénile	Alevin	
Gardon	Adulte	Juvénile	Alevin	
Goujon	Adulte			
Loche franche	Adulte	Juvénile		
Perche commune	Adulte			
Perche soleil	Adulte	Juvénile		
Vairon	Adulte	Juvénile		

- Un logiciel (EVHA 2.02) qui permet de rapprocher la modélisation de terrain et la réponse biologique apportée par les courbes de préférence.

La méthode possède un certain domaine d'application donnée par la pente du cours d'eau ou sa granulométrie.

Les données sont analysées avec le logiciel EVHA en calant le modèle sur le débit observé.

A partir de là sont calculées les valeurs d'habitat au débit observé de chacun des faciès à chacun des débits ainsi que les surfaces mouillées de chacun des faciès à chacun des débits. La valeur d'habitat et la surface mouillée permettent de calculer les Surfaces Pondérées Utiles (SPU).

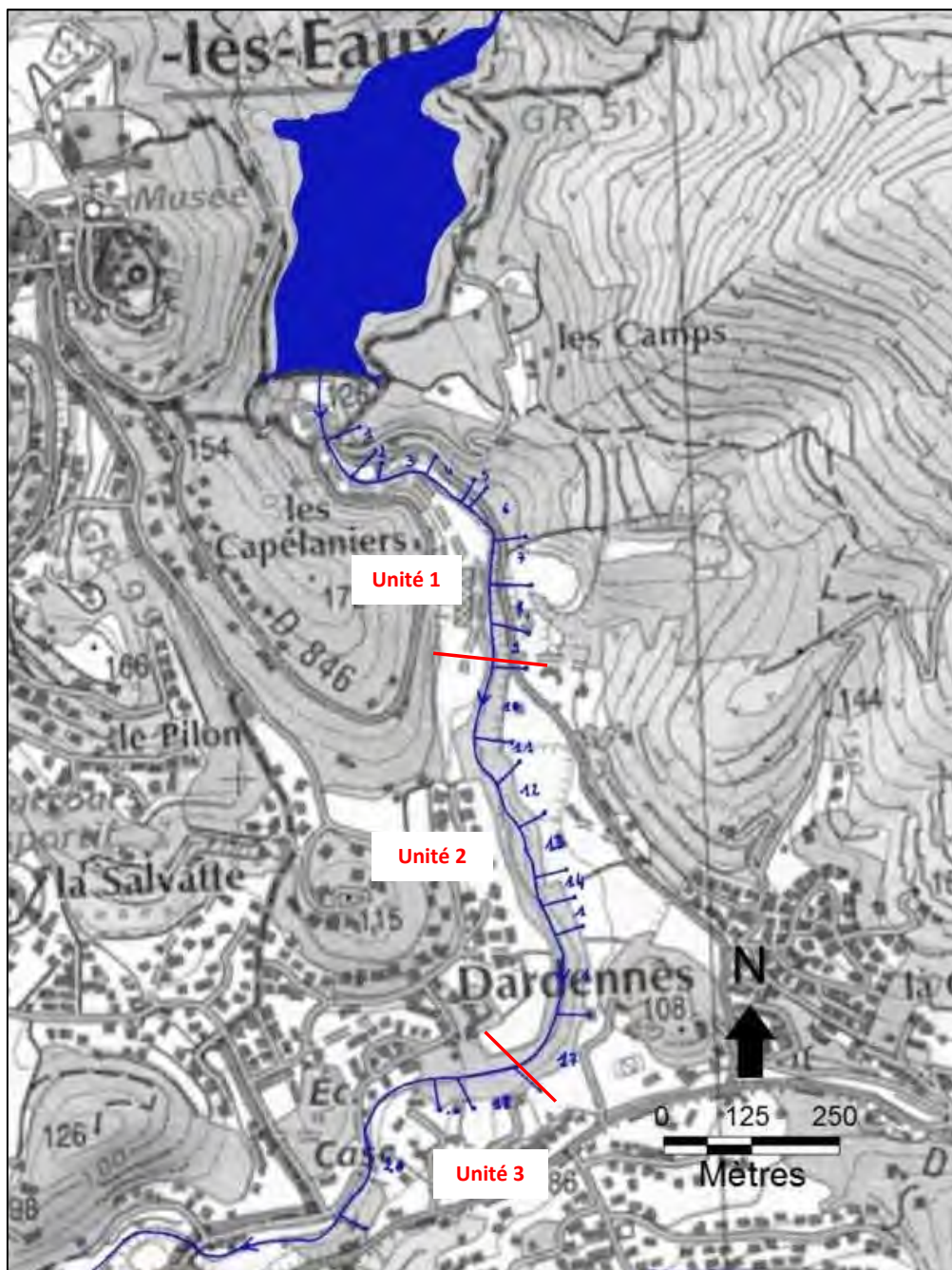
L'interprétation des courbes d'évolution des surfaces pondérées utiles couplées à la connaissance des sites et de leur environnement permet de mettre en évidence un débit biologique ou de voir les évolutions de la capacité d'accueil du cours d'eau par rapport au futur débit réservé.

2.2 Choix de la station

Zoom sur le secteur amont du Las

En avril 2003, la Maison Régionale de l'Eau a réalisé une reconnaissance de l'ensemble du linéaire du secteur amont du Las. Le cours du Las a été découpé en vingt tronçons (carte 1). Sur chacun, il a été décrit les paramètres physiques tels que les faciès d'écoulement, la largeur du cours d'eau, le substrat, le colmatage, les berges et la ripisylve.

L'analyse de cette sectorisation a mis en évidence trois unités sur ce secteur amont (carte 1).



Carte 3 : Localisation des différents tronçons étudiés sur le secteur amont du Las et localisation des trois unités de ce secteur(2003)

L'unité 1, située en aval du barrage de Dardennes, présente, en fonction de l'hydrologie, un colmatage plus ou moins important par les matières fines provenant des bassins de décantation de l'usine situés juste en amont. Le substrat, essentiellement composé de pierres – cailloux, est alors recouvert de limons. Les faciès d'écoulement (cf. annexe 1) dominant sont de type radier, plat courant et chenal lotique. Le Las, large d'environ 3 à 5 mètres, présente une ripisylve assez dense sur ce tronçon.

Dans **l'unité 2**, les berges deviennent plus abruptes. La granulométrie est marquée par l'affleurement de la roche mère calcaire et la présence de quelques blocs dans le lit. Dans ce tronçon, les chenaux lenticques, lotiques et les plats lenticques dominent les faciès d'écoulement.

L'unité 3 située en aval de la salle verte, présente deux barrages, le premier détourne la quasi-totalité des eaux du Las (prise du Béal) et l'autre à l'abandon semble infranchissable pour les espèces piscicoles. A partir de ce premier barrage, le Las est essentiellement alimenté par les fuites du canal en période d'étiage. Les faciès d'écoulement sont diversifiés avec une dominance de chenaux lenticques, radiers, plat courants et chenaux lotiques.

La station d'étude a été positionnée en fonction de la nature du substrat et des faciès d'écoulement dans l'unité 1.

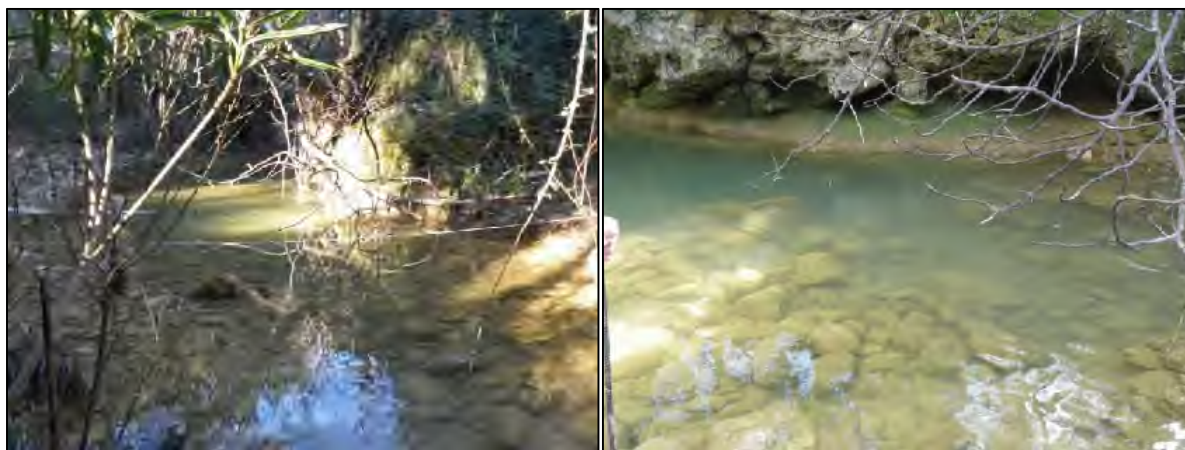
2.3 L'analyse microhabitat

L'analyse microhabitat a été entreprise à environ 300 mètres en aval du barrage de Dardennes, le 19 février 2013. L'objectif est d'estimer le débit biologique.

L'analyse a porté sur les faciès d'écoulement représentatifs du cours d'eau : plat courant, radier, mouille et chenal lentique.

La position exacte de la station choisie est donnée par les coordonnées Lambert II suivante :

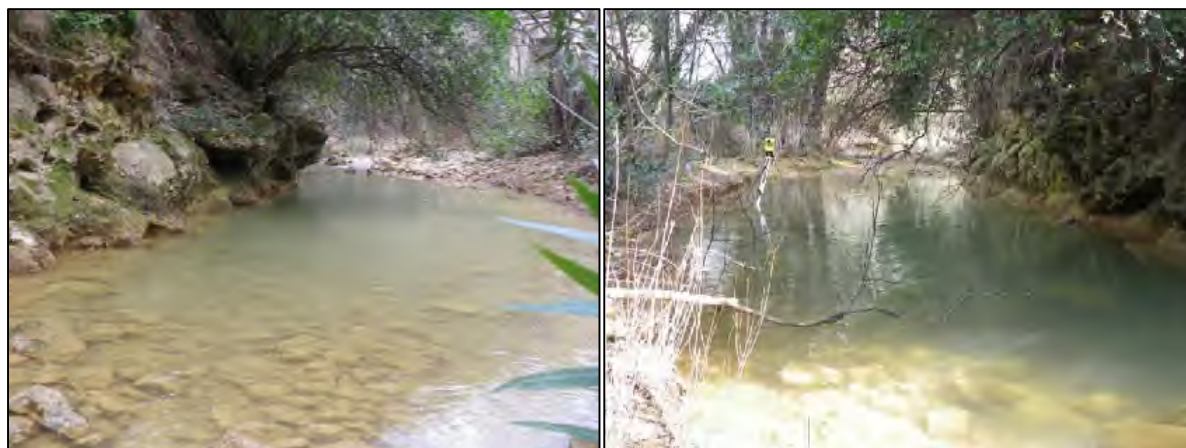
	Coordonnées X	Coordonnées Y
LAS1	892 812,1	1 803 428,6



Photographie 9 : Faciès de type plat courant (à gauche) et chenal lentique (à droite) modélisés sur la station microhabitat



Photographie 10 : Faciès de type radier modélisé sur la station microhabitat

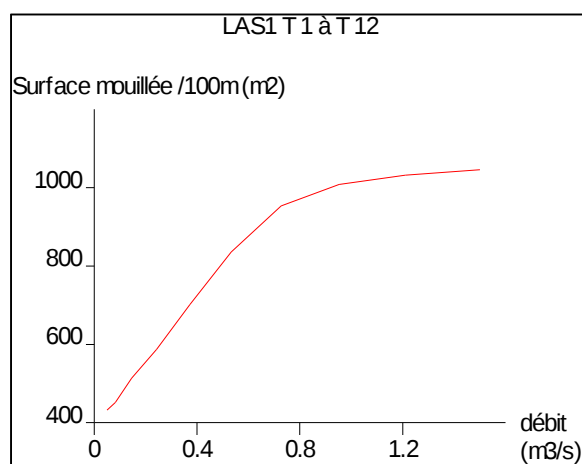


Photographie 11 : Faciès de type mouille modélisé sur la station microhabitat

Les principaux éléments utilisés pour l'analyse sont les suivants :

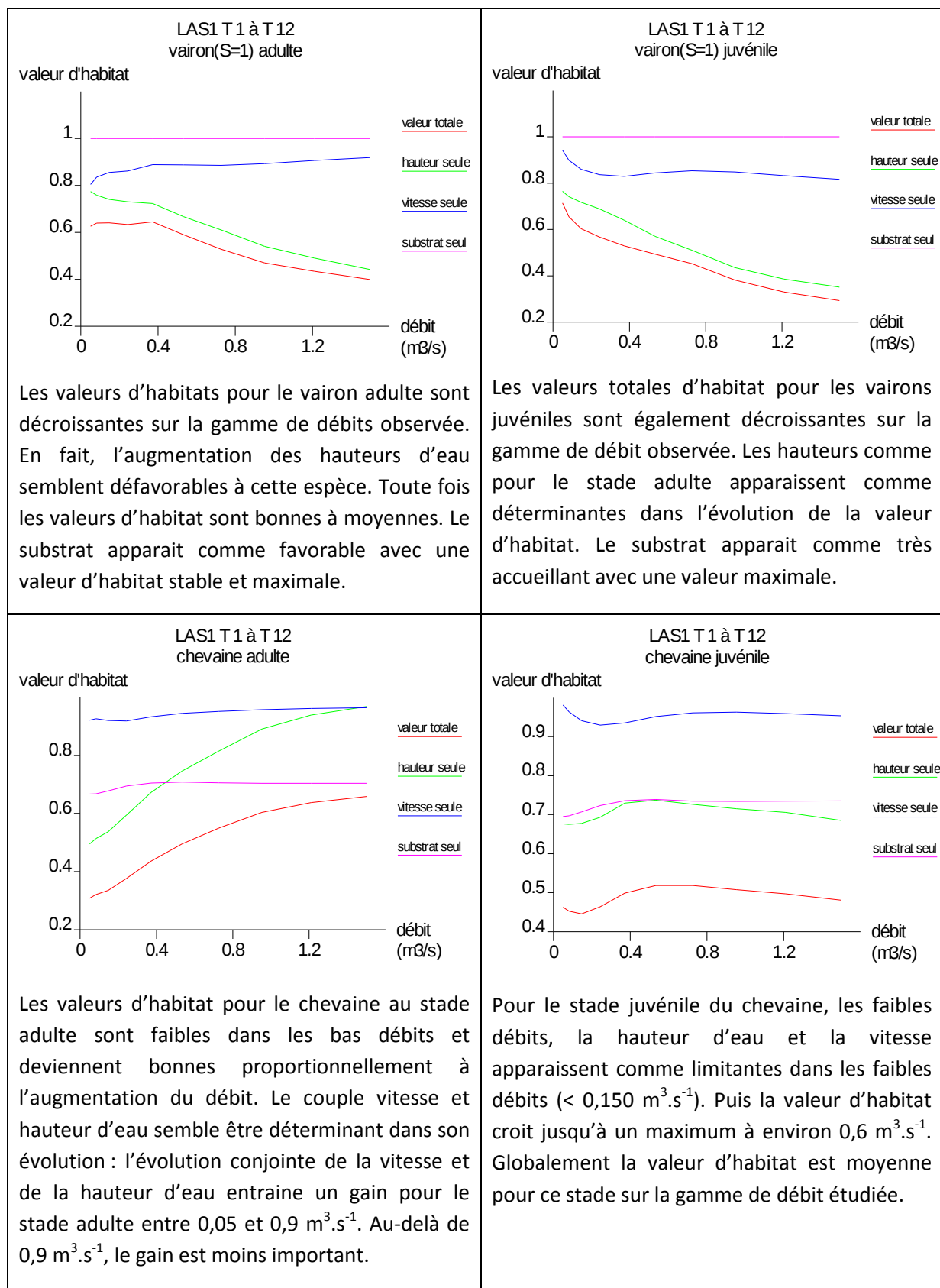
Station	Nombre de transects	Débit de calage	Gamme de débit	
			Mini	Maxi
LAS1	12	$0,083 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

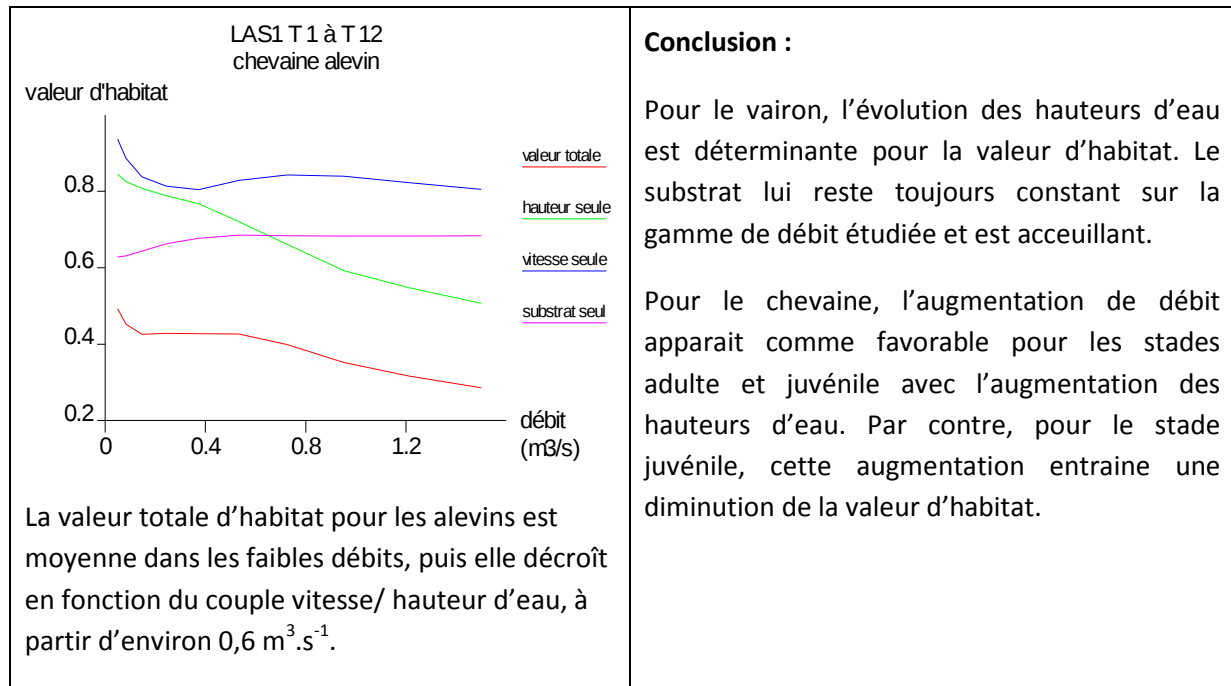
- **Evolution des surfaces mouillées**



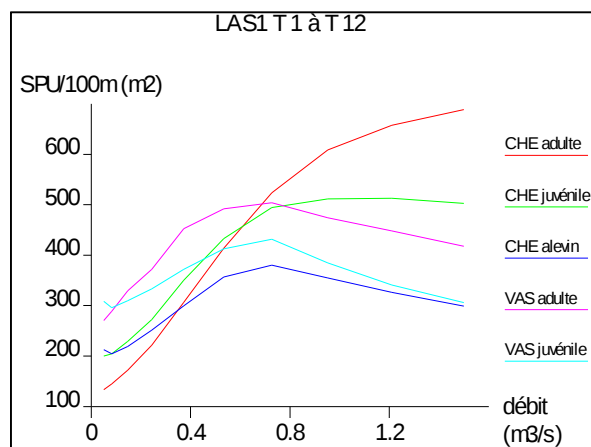
La surface mouillée de la station augmente sensiblement entre 0 et $0,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Au-delà de cette valeur, les gains sont beaucoup moins importants.

- **Valeur d'habitat par stade**





- **Surface Pondérée Utile pour 100 mètres linéaires**



Les surfaces pondérées utiles pour 100 mètres (SPU/100m) augmentent fortement entre **0 et 0,4 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$** pour les stades adultes et juvénile du blageon et pour le stade alevin du chevaine, pour atteindre un maximum à environ $0,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Au-delà de cette valeur, les SPU pour 100 mètres linéaire commencent à décroître. Pour le chevaine adulte, les valeurs de SPU pour 100 mètres linéaires augmentent sur la gamme de débits observés. Pour le chevaine juvénile, le gain maximal de SPU pour 100 mètres apparaît entre 0 et $0,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

L'analyse microhabitat réalisée dans la présente étude fixe **une plage de débit biologique en aval du barrage de Dardennes aux alentours de $0,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$** .

Conclusion

Le Las, cours d'eau naturel dans sa partie amont et artificialisé dans sa partie basse, héberge un peuplement piscicole typique des contextes intermédiaires (cyprinidés d'eaux vives) avec la présence de trois espèces patrimoniales : l'anguille, le barbeau méridional et la blennie fluviatile.

Suite à l'étude des microhabitats réalisée à l'aide du logiciel EVHA, dans la partie amont du Las, le **débit biologique** pour ce cours d'eau a été estimé aux alentours de **400 l.s⁻¹**. Cette valeur est assez élevée et correspond à peu près au module du cours d'eau. Elle montre de fortes contraintes imposées aux poissons à certaines périodes de l'année, même en régime naturel. Cette situation est souvent retrouvée sur les cours d'eau méditerranéen qui présentent un module comparable aux autres cours d'eau mais des amplitudes de débit plus fortes (fortes crues et étiages prononcés). Dans ce cas, les évaluations hydrologiques et la règle du 1/10ème du module sont probablement plus fiables.

Une grande partie du las est confrontée à l'affleurement de la roche mère et à un fort colmatage du substrat lié en partie à la géologie (eau calcaire) mais également des apports anormaux de matières en suspension. C'est une contrainte très forte pour les milieux aquatiques en termes de perte d'habitat piscicole et de moindre qualité hydrobiologique. Il est alors important dans un premier d'essayer d'améliorer la fonctionnalité du biotope, en mettant en place un système limitant les déversements de matières fines directement dans le milieu aquatique et notamment en période d'étiage.

Les enjeux pourraient donc être beaucoup plus d'ordre qualitatif que quantitatif et s'articuler autour de **quatre axes** :

- La **garantie** toute l'année et dans la limite des entrants **du débit réservé** qui apporterait aussi de la fraîcheur au cours d'eau (température toujours inférieures à 18°C).
- Une amélioration de la qualité de l'eau par **réduction des apports de matières** en suspension dans le cours d'eau.
- Une **diminution des variations brusques** du débit en tamponnant les restitutions.
- Des **modalités de vidange** améliorées.

Le débit réservé pourrait donc améliorer de manière significative la fonctionnalité de ce cours d'eau fortement anthropisé mais qui continue à abriter des espèces aquatiques à forte valeur patrimoniale (anguille, barbeau méridional et blennie fluviatile), tout en gardant une valeur proche du 1/10^{ème} du module du cours d'eau.

D'un point de vue quantitatif, les marges de manœuvre sont très étroites. Deux scénarii peuvent toutefois être envisagés :

- Un débit réservé égal au 1/10ème du module toute l'année soit 45 l.s⁻¹.
- Un débit modulé pendant les trois mois d'été à 20 l.s⁻¹ correspondant environ à l'étiage de la source et un débit plus élevé le reste de l'année soit 60 l.s⁻¹. Le gain en SPU représenterait alors environ 2 à 3%.

Ces débits étant extrêmement bas, les gains estimés sont très théoriques. Leur délivrance et les mesures de débit associé sont très difficiles à mettre en application.

A titre indicatif, nous pouvons estimer plusieurs gains au-delà de 60 l.s⁻¹:

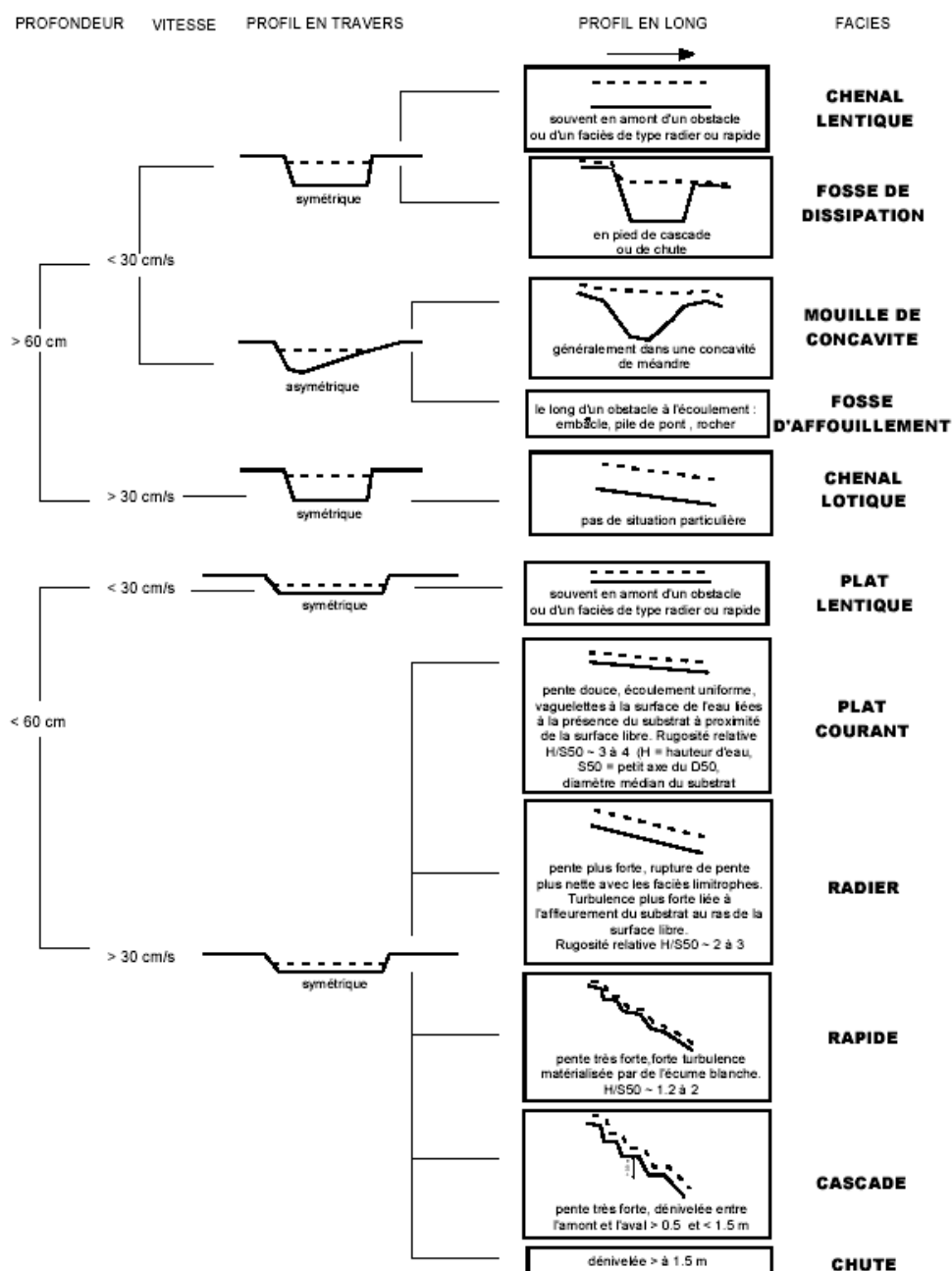
augmentation du débit	Gains (l.s-1)	% de gain de SPU/100m	
		che adu	vai adu
de 0,05 à 0,06 m3/s	10	3,0	2,0
de 0,06 à 0,07 m3/s	10	2,8	2,2
de 0,05 et 0,07 m3/s	20	5,6	4,2
de 0,07 et 0,13 m3/s	60	16,5	12,9
de 0,06 et 0,13 m3/s	70	18,8	14,8
de 0,05 et 0,13 m3/s	80	21,2	16,5
de 0,05 à 0,15 m3/s	100	26,8	20,7

Le gain commence à devenir significatif avec une augmentation d'environ 60 l.s⁻¹.

ANNEXE 1 :

Clé de détermination des faciès d'écoulement

(Malavoi & Souchon, 2001)



ANNEXE 2 :

Résultats des IBGN réalisés sur la Las en 2009

	B01	B016	B018	PC012	PC020	PB009	PB014
Campagne 1	Date	15/04/2003	15/04/2003	15/04/2003			
	Richesse taxonomique	18	28	29			
	Densité (ind/m²)	7558	3093	3303			
	Taxon indicateur (GI)	Philopotamidae (8)	Philopotamidae (8)	Leuctridae (7)			
	Taxon dominant (%)	Chironomidae (52%)	Chironomidae (61%)	Chironomidae (63%)			
	IBGN	13	15	15			
Campagne 2	Date	30/11/2006	30/11/2006	30/11/2006	30/11/2006	30/11/2006	30/11/2006
	Richesse taxonomique	7	10	10	24	23	21
	Densité (ind/m²)	47,5	85	315	4238	3528	4310
	Taxon indicateur (GI)	Non	Sericostomatidae (7)	Sericostomatidae (7)	Hydroptilidae (5)	Philopotamidae (8)	Psychomiidae (4)
	Taxon dominant (%)		Hydropsychidae (23%)	Gammaridae (59%)	Baetidae (33%)	Hydrobiidae (34%)	Caenidae (34%)
	IBGN	0	9	9	11	14	9
							11

Bibliographie

Agence de l'Eau RM, 2009, Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), comité de bassin Rhône Méditerranée

BCEOM, Direction Contrat de baie, 2002, Contrat de baie de la rade de Toulon, Dossier préalable au contrat de baie, Syndicat Intercommunal de l'Aire de Toulon (S.I.A.T).

BCEOM, Direction Contrat de baie, 2002, Contrat de baie de la rade de Toulon, dossier définitif, Syndicat Intercommunal de l'Aire de Toulon (S.I.A.T).

Bonnefous O., 2002, Plan Départemental pour la Protection du Milieu Aquatique et la Gestion des Ressources Piscicoles (PDPG), Fédération du Var pour la pêche et la protection du milieu aquatique

Charlier E., 2003, Contribution à la connaissance hydrobiologique d'un cours d'eau : Le Las, rapport de stage de DUT Génie Biologique à la Maison Régionale de l'Eau.

Mouvement d'Actions pour la Rade de Toulon et le littoral varois « MART », 2001, Projet pour des actions sur le bassin versant du Las et de la rivière Neuve dans le cadre du Contrat de Baie des Rades de Toulon, Observateurs de la Rade de Toulon et des Bassins Versants, Fédération MART et Fédération des CIL de l'Ouest Toulonnais.

Trebaol L., 2007, Rapport 10 076 RP 28 : Vidange du barrage de Dardennes pour l'inspection réglementaire décennale : Bilan environnemental, Ville de Toulon

Val d'As, 2008, Le Las : Une rivière dans la ville, Synthèse sur l'environnement aquatique du Las et de la Vallée de Dardennes.

Suivi qualité RCS : <http://sierm.eaurmc.fr/eaux-superficielles/index.php>

Point de suivi ONEMA : <http://www.image.eaufrance.fr/poisson/cours/p-ce.htm>