

SAVOIRS DU PARC NATUREL RÉGIONAL DU VERDON



COURRIER SCIENTIFIQUE

L'EAU PRÉCIEUSE DU VERDON

UN ÉCOSYSTÈME UNE RESSOURCE UN PATRIMOINE

COURRIER SCIENTIFIQUE

N°4 JUILLET 2018





PUBLICATIONS PRÉCÉDENTES

Numéros du *Courrier scientifique*

- 2006, 1^{er} numéro du *Courrier scientifique*
- 2011, 2^e numéro du *Courrier scientifique*
- 2015, 3^e numéro du *Courrier scientifique*

Numéros hors-série

- 2008, L'Outarde canepetière, espèce remarquable du Parc naturel régional du Verdon
 - 2010, Riez, de la cité antique au diocèse médiéval
 - 2011, 1851, Un soulèvement pour la République
 - 2015, Trajectoires de migrants et transhumants du Verdon
 - 2017, Draguignan-Verdon, liens d'histoires, liens de cœur
-



L'EAU PRÉCIEUSE DU VERDON
UN ÉCOSYSTÈME, UNE RESSOURCE,
UN PATRIMOINE
COURRIER SCIENTIFIQUE

—
N°4 JUILLET 2018

ÉDITO



L'eau ! Magnifique sujet pour un édito. Me voilà plongé depuis quelques années dans sa complexité, ses méandres, sa globalité. Sans elle, aucune vie, nul espoir possible. Même les points les plus désertiques de la terre ont besoin de ces deux atomes d'hydrogène et celui d'oxygène. Nous lui devons tout, surtout notre existence. L'Homme depuis la nuit des temps a concentré sa vie autour des milieux aquatiques, que ce soit le long des rivages maritimes, celui des rivières et des fleuves, à leurs confluences, et sur les routes, avec pour objectif les points d'eau. Dans un premier temps pour répondre à ses besoins vitaux et, plus tard, comme ressource vivrière. L'Homme, au fil des siècles, a découvert ses multi-usages, l'agriculture, l'amélioration de ses conditions de vie, puis l'énergie, et enfin l'usage ludique dans ses activités touristiques. Tous ces usages ont multiplié de façon exponentielle la consommation de l'eau sans que celle-ci n'ait vu son volume augmenter sur notre planète. Le XIX^e et le XX^e siècle ont vu naître l'industrialisation de l'économie, le XXI^e est en train de le confirmer. Dans toute cette évolution, l'eau et surtout sa qualité ont été sacrifiées. Les grandes masses d'eau sur notre planète sont en grand danger. J'en veux pour preuve la pollution de nos océans, de notre mer Méditerranée asphyxiée par les déchets plastiques, la pollution de nos rivières et la disparition de nos zones humides. Sommes-nous vraiment conscients de l'ampleur du drame que nous sommes en train de mettre en œuvre ? Les grands enjeux géopolitiques du XXI^e siècle seront liés à l'approvisionnement en eau potable utilisable. Faisons preuve d'intelligence collective, et surtout de solidarité face à ce long combat qui nous reste à mener.

Jacques Espitalier

Vice-président du Parc en charge de l'eau et des milieux aquatiques
Président de la commission locale de l'eau du Verdon



Le Parc naturel régional du Verdon anime le **schéma d'aménagement et de gestion des eaux du Verdon (SAGE)**. Ce document, qui définit la politique de gestion de l'eau et des milieux aquatiques, élaboré pendant une dizaine d'années avec de nombreux partenaires, a été validé par arrêté inter préfectoral le 13 octobre 2014.

Les nombreuses actions, essentielles au maintien de la qualité et de la quantité d'eau dans les rivières, au bon fonctionnement des milieux aquatiques, et nécessaires au maintien de nombreuses activités dans le Verdon, sont inscrites dans les **contrats de rivière**. Dans le Verdon, le premier contrat de rivière a été mis en place entre 2008 et 2014. Il regroupait 235 opérations visant l'amélioration de la qualité de l'eau, l'entretien et la restauration des milieux aquatiques, le partage de la ressource en eau, la sensibilisation aux bonnes pratiques, la prévention des inondations. Fort de cette réussite, un second contrat de rivière Verdon a été signé le 28 juin 2017.

En complément, le Parc naturel régional du Verdon anime la **démarche Natura 2000**, dont l'objectif est de préserver une faune, une flore et des habitats remarquables à l'échelle européenne. Les rivières du bassin versant du Verdon sont riches d'une biodiversité originale sous influences méditerranéo-montagnardes. Ainsi L'Apron du Rhône, le Toxostome, le Chabot, le Barbeau méridional, le Blageon, l'Ecrevisse à pattes blanches mais également les rares zones humides et les nombreuses ripisylves bordant le Verdon font l'objet d'une attention particulière.



Quelle qualité des eaux superficielles sur le bassin versant du Verdon ?

par Corinne Guin page 8

Le bassin Durance-Verdon et ses aménagements à l'épreuve du changement global

par Eric Sauquet page 20

Relèvement des débits réservés en 2011 : Démarche, méthode de suivi mise en place et objectifs attendus, premiers constats

par Christophe Garrone et Olivier Savoye page 30

Le peuplement piscicole du Verdon, de sa source à sa confluence

par Christian Peugeot et Rémi Chappaz page 38

L'apron du Rhône (*Zingel asper* L.), un poisson emblématique : répartition, prospection et dynamique de la population du Verdon

par Rémi Chappaz et Vincent Dubut page 54

Étude du régime alimentaire de l'Apron du Rhône dans le Verdon

par Gaït Archambaud, Emmanuel Corse et Vincent Dubut page 66

La "mangrove" des berges lacustres de Moustiers-Sainte-Marie

par Laurence Foucaut page 88

Etude de l'impact du piétinement humain engendré par les loisirs aquatiques dans la zone du Moyen-Verdon

par Christophe Garrone page 100

Caractérisation de la vulnérabilité des milieux aquatiques et milieux humides de Provence-Alpes-Côte d'Azur aux changements climatiques

par Christophe Garrone page 114

LE BASSIN VERSANT DU VERDON

Le bassin versant du Verdon* couvre 2 289 km² et concerne 69 communes réparties sur quatre départements (Alpes-de-Haute-Provence, Alpes-Maritimes, Bouches-du-Rhône, Var).

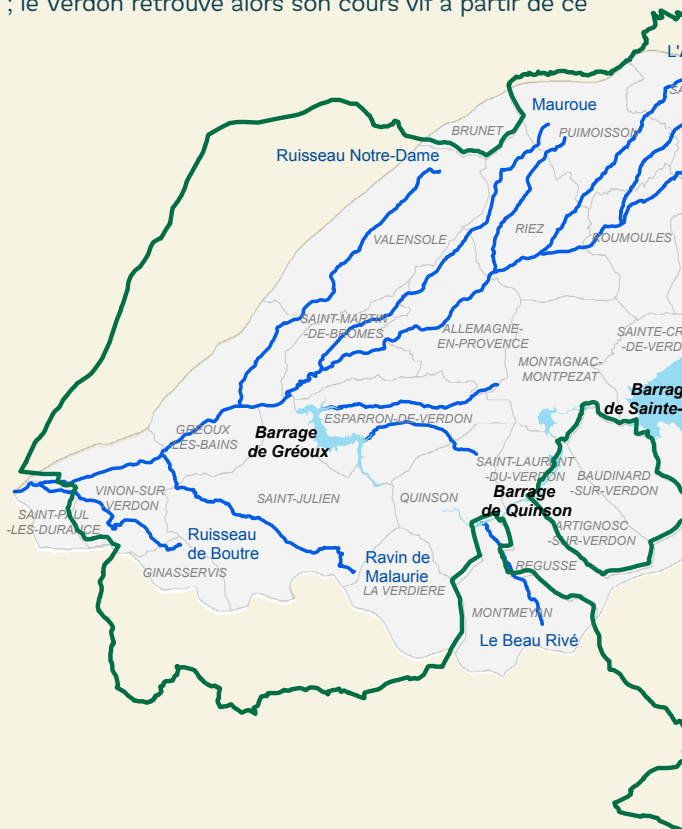
Le Verdon, affluent en rive gauche de la Durance, prend sa source à 2325 m d'altitude sur les pentes de la Sestrière dans le massif des Trois Evêchés sur la commune d'Allos. La confluence avec la Durance s'effectue dans la retenue de Cadarache à 237 m d'altitude sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance.

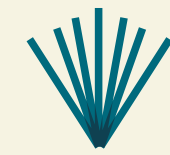
Le Verdon parcourt 165 km entre sa source et sa confluence et présente une pente moyenne de 12,9 ‰.

Le cours du Verdon a commencé à être aménagé dans la seconde moitié du 19^e siècle, puis à partir de 1947, dans le cadre d'une loi de 1923, à des fins de production hydroélectrique et de réserve en eau. Le cours d'eau est marqué par la présence de cinq barrages hydroélectriques : Castillon (1947), Chaudanne (1952), Ste-Croix (1973-1975), Quinson (1974), Gréoux-Esparron (1967).

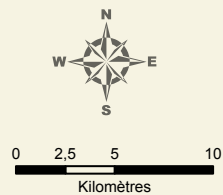
Les grandes variations de reliefs, de la pluviométrie et l'éloignement de la Méditerranée ont conduit les géographes à scinder le cours du Verdon en trois zones distinctes :

- **Le haut Verdon**, zone typique de montagne, de la source à St-André-les Alpes ;
- **Le moyen Verdon** entre le village de St-André-les-Alpes, marqué par deux retenues hydroélectriques, Castillon et Chaudanne, et dans sa partie aval le célèbre grand canyon ;
- **Le bas Verdon**, depuis Moustiers-Ste-Marie logé au pied du massif du Montdenier, jusqu'à la confluence avec la Durance. Cette dernière partie est marquée par trois retenues : Ste Croix, Quinson et Esparron-Gréoux ; le Verdon retrouve alors son cours vif à partir de ce dernier barrage.





Un bassin versant est un territoire délimité par les lignes de partage des eaux, dont les eaux de ruissellement sont drainées vers un même exutoire : Le Verdon.



Sources : ©IGN / PFAR 2007-2017
Réalisation : PNR du Verdon, N. PETIT

— limites du Parc naturel régional du Verdon



QUELLE QUALITÉ DES EAUX SUPERFICIELLES SUR LE BASSIN VERSANT DU VERDON ?



Auteur de l'article :

Corinne Guin, animatrice du schéma d'aménagement et de gestion des eaux du Verdon (SAGE) au Parc naturel régional du Verdon.

Le Verdon alimente en eau potable certaines communes du territoire du Verdon, ainsi que des communes des Bouches-du-Rhône et du Var par les transferts de la Société du canal de Provence. L'eau est captée dans la retenue d'Esparron, à la prise de Boutre. Les Alpes-de-Haute-Provence sont alimentées via la prise des Pradelles en tête de la retenue de Sainte-Croix. De très bonne qualité, elle peut être utilisée telle quelle pour l'irrigation, l'arrosage des jardins, et pour certaines industries. En revanche, comme la quasi-totalité des eaux naturelles, elle n'est pas potable en l'état. Pour être utilisée comme « eau destinée à la consommation humaine », elle doit subir un traitement adapté.

La Société du canal de Provence réalise tous les mois des prélèvements et des analyses systématiques des paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux. Ce suivi montre qu'il n'y a pas de contamination par des métaux lourds dans les eaux exportées du Verdon. Aucune trace de plomb n'est détectée. Tous les autres métaux sont en très faible quantité, ils sont pour la plupart indécélabes. On observe en moyenne moins de 2 mg/l de nitrates (la réglementation prévoit une limite à 50 pour la production d'eau potable). La présence de pesticides est très rare, même à l'état de trace. La concentration en germes bactériologiques de l'eau du Verdon est très faible pour une eau de surface.

Le Verdon est donc réputé au niveau régional pour la bonne qualité de ses eaux. La couleur, la limpidité et la transparence des eaux du Verdon confortent cette image de très bonne qualité des eaux : des transparences exceptionnelles, atteignant plus de 15 m, ont été mesurées dans les gorges de Baudinard. À partir des résultats des suivis réalisés sur le bassin versant, que peut-on dire de façon plus détaillée sur la qualité des eaux du bassin versant du Verdon ?

1. TOUT D'ABORD, QU'APPELLE-T-ON « ÉTAT DES EAUX » ?

Pour les eaux de surface, l'état s'évalue sur la base de deux ensembles d'éléments différents : les caractéristiques chimiques d'une part, et d'un autre côté, le fonctionnement écologique. Une masse d'eau est dite en bon état si elle est à la fois en bon état chimique et en bon état écologique.

L'état chimique est évalué par rapport à des seuils de concentration pour **41 substances visées** par la directive cadre européenne sur l'eau (pesticides, hydrocarbures, solvants, certains métaux...). Deux classes sont définies : **bon ou mauvais**. Les seuils sont identiques pour tous les cours d'eau.

L'état écologique correspond au respect de valeurs de référence pour des paramètres biologiques (espèces végétales et animales), hydromorphologiques, et des paramètres physico-chimiques qui ont un impact sur la biologie. L'état écologique résulte de l'appréciation de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques associés à la masse d'eau.

Concernant la biologie, on s'intéresse aux organismes aquatiques présents dans la masse d'eau considérée : **algues, invertébrés (insectes, mollusques, crustacés...) et poissons**.

Pour la physico-chimie, les paramètres pris en compte sont notamment **l'acidité de l'eau, la quantité d'oxygène dissous, la salinité et la concentration en nutriments (azote et phosphore)**.

Contrairement à l'état chimique, l'état écologique s'apprécie en fonction du type de masse d'eau considéré, les valeurs seuils pour les paramètres biologiques notamment varient d'un type de cours d'eau à un autre (petit cours d'eau de montagne, lac peu profond de plaine...). Ainsi, lorsqu'on parle d'écologie, les valeurs du bon état ne sont pas les mêmes pour un fleuve de plaine ou pour un torrent de montagne. Pour chaque type de masse d'eau, des sites de référence qu'on considère de bonne qualité ont été identifiés et servent d'étalons pour définir les seuils du bon état. L'état écologique est qualifié de **très bon, bon, moyen, médiocre, mauvais**.



Développement d'algues dans le Verdon, en aval d'une zone de rejet - auteur : Guillaume Ruiz



LE CAS DES MASSES D'EAU FORTEMENT MODIFIÉES

Les masses d'eau qui ont subi de très importantes modifications du fait de leur utilisation par l'homme, et sur lesquelles le bon état écologique, qui serait celui de la masse d'eau si elle n'avait pas été transformée, ne peut pas être atteint, sont qualifiées de masses d'eau fortement modifiées.

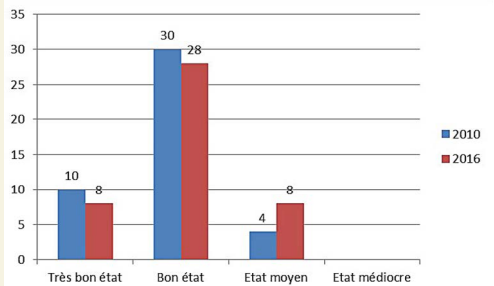
Pour ces masses d'eau, les valeurs de références biologiques sont adaptées pour tenir compte des modifications physiques du milieu et on parle alors d'objectif de bon potentiel écologique, et non de bon état. **Sur le bassin versant du Verdon, on trouve 8 masses d'eau fortement modifiées, liées à la présence des ouvrages hydroélectriques** : le Verdon du barrage de Chaudanne au pont de Carajuan, le Verdon du barrage de Gréoux à la confluence avec la Durance (2 masses d'eau), et les 5 grandes retenues artificielles du Verdon (Castillon, Chaudanne, Sainte-Croix, Quinson, Gréoux-Esparron).

2. L'ÉTAT ÉCOLOGIQUE SUR LE BASSIN VERSANT DU VERDON

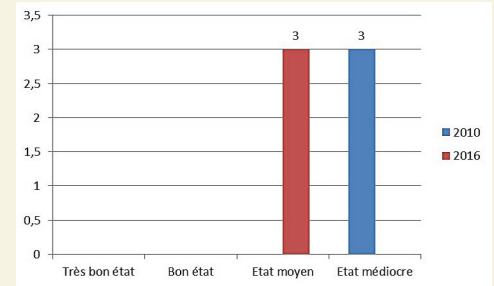
Les grandes orientations et les objectifs de la politique de l'eau sur le bassin Rhône-Méditerranée sont fixés dans le SDAGE : schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux du bassin Rhône-Méditerranée. Tous les 6 ans, pour élaborer le SDAGE, un état des lieux est réalisé par bassin versant. Pour le bassin du Verdon, l'état écologique des masses d'eau naturelles est moins bon dans l'état des lieux de 2016 que dans celui de 2010 (plus de masses d'eau en état moyen, moins de masses d'eau en bon ou très bon état). La tendance est la même pour les masses d'eau fortement modifiées (passage de moyen à médiocre). Par contre, le lac d'Allos est passé du bon au très bon état.

Plus qu'une réelle dégradation de l'état des masses d'eau, cela est certainement dû à une amélioration des connaissances au cours du SDAGE 2010-2015 : prise en compte des résultats des suivis réalisés, alors que l'état des lieux 2010 était plus « à dire d'expert ».

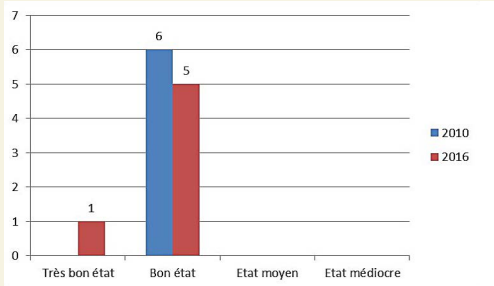
Sur le bassin du Verdon, 79 % des masses d'eau sont donc déjà en bon ou très bon état écologique d'après l'état des lieux du SDAGE 2016-2021.



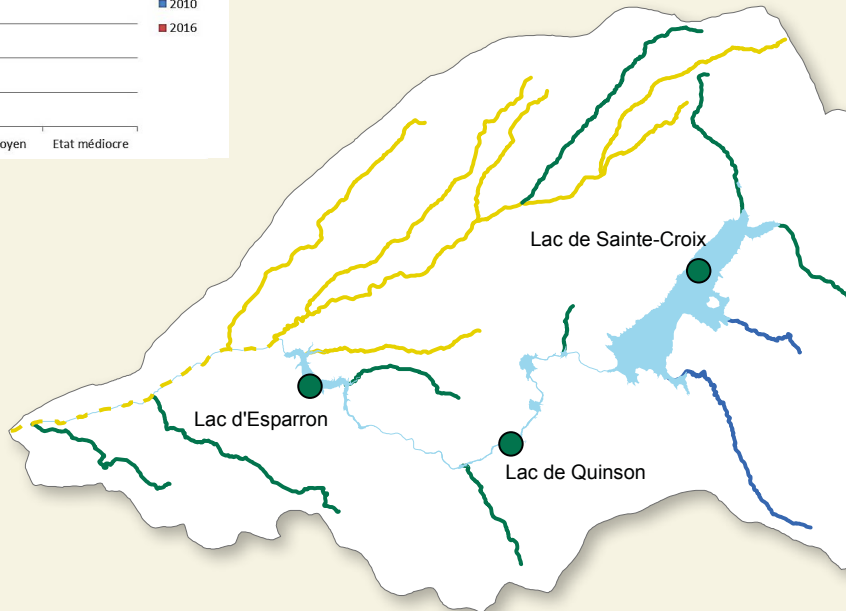
État écologique des masses d'eau naturelles



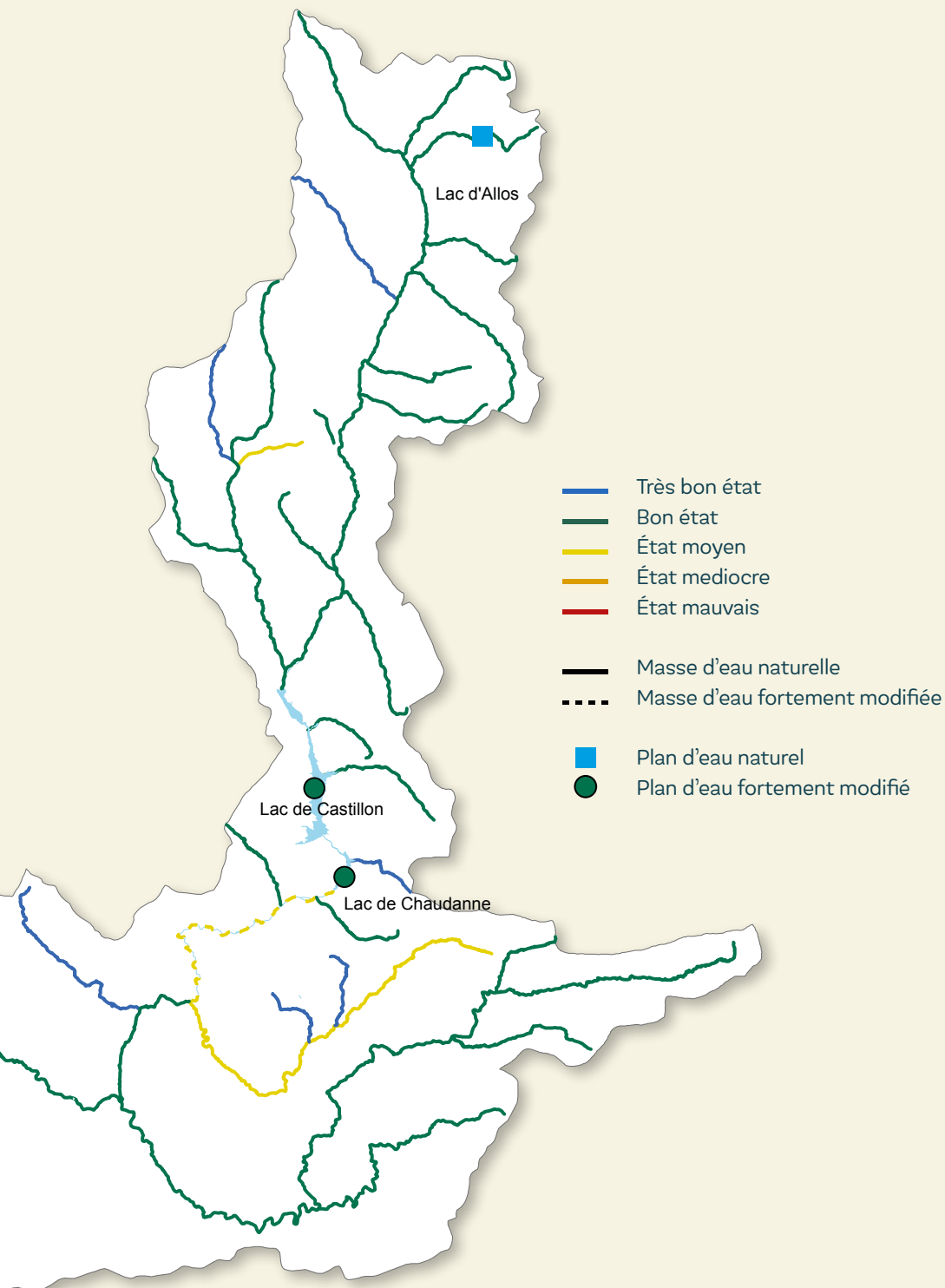
État écologique des masses d'eau fortement modifiées



État écologique des lacs



Plus précisément, l'état écologique des masses d'eau du bassin versant du Verdon, selon l'état des lieux du SDAGE 2016-2021, est le suivant :



Sur le bassin versant du Verdon, les dégradations sont principalement liées à la morphologie des cours d'eau et aux continuités écologiques (cours d'eau impactés par des aménagements : rectification, recalibrage, curage, seuils et barrages...). Les dégradations d'ordre hydro-morphologique concernent le Verdon en aval du barrage de Gréoux, le Colostre et certains de ses affluents, le Verdon en aval du barrage de Chaudanne. Les dégradations liées aux continuités écologiques concernent le Verdon en aval du barrage de Chaudanne, le Colostre, le Verdon en aval du barrage de Gréoux. Quelques cours d'eau sont déclassés pour des aspects qualité physico-chimique des eaux (matières oxydables pour le Jabron et le Colostre, pesticides pour le Colostre, nitrates pour des affluents du Colostre (Aigues-Bonnes et Notre-Dame)).

La directive cadre sur l'eau de 2000 fixe un objectif d'atteinte du bon état pour toutes les masses d'eau.



Barbeau fluviatile attrapé dans le cadre d'une pêche de suivi réalisée par l'AFB et la Fédération pour la pêche et les milieux aquatiques - auteur : Guillaume Ruiz

Dans le cadre de la mise en œuvre de cette directive, un programme de surveillance basé notamment sur deux réseaux de suivi de l'état des milieux aquatiques est mis en œuvre : RCO (réseau de contrôle opérationnel) et RCS (réseau de contrôle de surveillances). Les résultats des suivis sur le bassin versant du Verdon sont les suivants pour les années 2011 à 2017 :

HAUT VERDON

	Etat écologique							Azote							Phosphore							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
1 - Allos 1 – 1.3 km source				BE	BE	BE		TBE	TBE		TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE						
2 - Allos 2 – Amont Le Déroit				MOY	MOY	MOY		BE	BE		BE	BE	BE	BE	TBE	TBE		MAU	MAU	MAU	TBE	
3 – Colmars – Pont de la Buisserie	MOY	MOY	MOY	MOY	MOY	MOY	MOY	BE	BE	BE	BE	BE	BE	BE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE
4 - Thorame-Haute – Aval pont d'Ondres				MOY	MOY	MOY		TBE	TBE		TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE		TBE	TBE	TBE	TBE	TBE
5 - Saint-André – Amont station épuration	MOY	MOY	MAU	BE	BE	BE	BE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE

AFFLUENTS HAUT VERDON

	Etat écologique							Azote							Phosphore							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
6 – Encure à Lambruisse – Chemin forestier lieu dit La Pinée	BE	BE						TBE	TBE						TBE	TBE						
7 – Issole à Thorame-Basse 1 – Aval La Valette				BE	BE	BE		TBE	TBE		TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE		BE	BE	BE	TBE	
8 – Issole à Thorame-Basse 2 – Aval La Bâtie				BE	BE	BE		BE	BE		TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE		BE	BE	BE	TBE	
9 – Issole à Saint-André – Pont de la D955				BE	BE	BE		TBE	TBE		TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE		TBE	TBE	TBE	TBE	

MOYEN VERDON

	Etat écologique							Azote							Phosphore							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
10 – Castellane 3 – Amont station d'épuration								TBE	TBE		TBE	BE	BE	BE	BE	BE		TBE	TBE	TBE	TBE	
11 – Castellane 4 – Aval station d'épuration											MOY	MOY	MOY	TBE				BE	BE	BE	TBE	
12 – Castellane 2 – Pont de Soleils	MOY	MOY	MOY	MOY	MOY	MOY	MOY	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE
13 – Rougon – Pont Carajuan	BE	BE	BE	BE	BE	BE	BE															
14 – La Palud – La Maline				BE	BE	BE					TBE	TBE	TBE	TBE				TBE	TBE	TBE	TBE	

Résultats 2001-2017, des suivis RCO et RCS sur le bassin versant du Verdon

AFFLUENTS MOYEN VERDON

	Etat écologique							Azote							Phosphore						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
15 - Jabron à Comps – Pont de Jabron	MED	MED	MOY	MOY	BE	BE	BE	BE	BE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE
16 - Lane à Andon – Déversoir lac Thorenc						BE	BE														BE
17 - Lane à Valderouire 1 – Amont station d'épuration						TBE	BE														BE
18 - Lane à Valderouire 2 – Aval station d'épuration						MED	MOY						MAU	MAU						MAU	MAU
19 - Baou à La Palud – Pont D952					BE	MOY	MOY					BE	BE	BE				TBE	TBE	TBE	TBE
20 - Maire à Moustiers – Amont lac Ste-Croix					BE	BE	BE					TBE	TBE	TBE				BE	BE	BE	BE

BAS VERDON

	Etat écologique							Azote							Phosphore						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
21 - Gréoux 1 – Aval confluence Colostre								TBE	TBE			BE	BE	BE	TBE	TBE			TBE	TBE	TBE
22 - Gréoux 2 – Aval station épuration								MOY NH4	MOY NH4			BE	BE	BE	TBE	BE			TBE	TBE	TBE
23 - Vinon 2 – Amont restitution EDF	MOY	MOY	MOY	MOY	MOY	MOY	MOY	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	BE	BE		TBE	TBE	TBE
24 - Vinon 4 – ZA Pas de Menc amont STEP				MOY	MOY	MOY															
25 - Vinon 3 – Aval station épuration								TBE	TBE			TBE	BE	BE	BE	TBE	TBE		TBE	TBE	TBE

AFFLUENTS BAS VERDON

	Etat écologique							Azote							Phosphore						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
26 - Colostre à Riez 1 – Pont D6					BE	BE	BE					BE	BE	BE						TBE	TBE
27 - Colostre à Riez – Colonnes romaines								BE	BE						BE	BE					
28 - Colostre à Allemagne 1 – Aval station épuration					BE	BE	BE					BE	BE	BE					BE	BE	TBE
29 - Colostre à Saint-Martin 1 – Terrain sport	MED	MED	MED	MED	MED	MED		BE	BE	BE	BE	BE	BE	BE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE	TBE
30 - Colostre à Saint-Martin 2 – Amont confluence Verdon					MOY	MOY	MOY	BE	BE			BE	BE	BE	TBE	TBE			TBE	TBE	TBE
31 - Ruisseau Notre Dame à Gréoux – pont D8						BE	MOY						BE	BE						TBE	TBE

Etat écologique, azote, phosphore

Très bon état	TBE
Bon état	BE
État moyen	MOY
État médiocre	MED
Mauvais état	MAU



Station d'épuration sur lit de roseaux des Salles sur Verdon - auteur : Jean Carmille



Sur le bassin versant du Verdon, il n'y a pas de rejets industriels. Les principales sources de pollution restent les rejets ponctuels liés à l'assainissement, et localement sur certains secteurs, les rejets diffus liés aux activités agricoles ou à la fréquentation des sites.

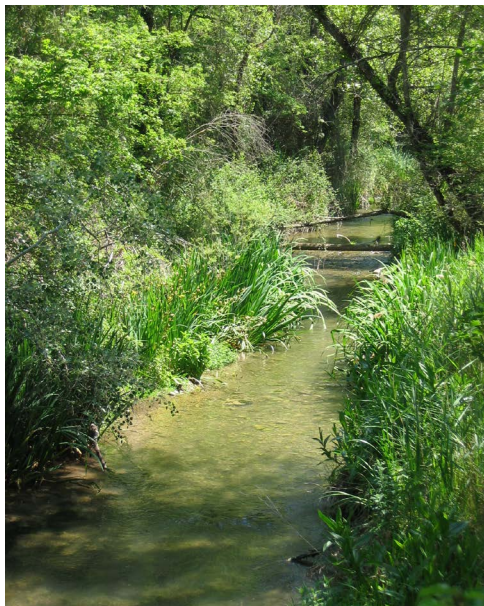
Sur le haut Verdon, l'état écologique est dégradé à partir de l'aval de la station d'épuration d'Allos. Pour l'azote et le phosphore, le haut Verdon est en bon à très bon état écologique, hormis un mauvais état pour le phosphore de 2014 à 2016 à l'aval de la station d'épuration d'Allos. Une nouvelle station d'épuration vient d'être mise en route sur cette commune, avec traitement du phosphore, conformément aux objectifs fixés par le SAGE Verdon. Les affluents du haut Verdon sont tous en bon à très bon état écologique, ainsi que sur l'azote et le phosphore.

Pour le moyen Verdon, l'état écologique est moyen à Pont de Soleils. L'impact de la station d'épuration de Castellane est visible sur l'azote jusqu'en 2016, il y a aussi une dégradation sur le phosphore mais on reste en bon état. Un projet de renouvellement de la station d'épuration est en cours. Le Verdon a une bonne capacité d'autoépuration : malgré un secteur concentrant plusieurs rejets (stations d'épuration communale et des campings), on retrouve un bon état écologique et un très bon état sur l'azote et le phosphore à la Maline. Sur les affluents, on remarque l'état écologique médiocre (mauvais état sur l'azote et le phosphore) sur la Lane à l'aval de la station d'épuration de Valderoure ; et l'état écologique moyen du Baou en 2015 et 2016.

Sur le bas Verdon, on constate un bon à très bon état pour l'azote et le phosphore, hormis en aval de la station d'épuration de Gréoux-les-Bains pour l'azote (NH₄) en 2011 et 2012. L'état écologique est par contre moyen à Vinon-sur-Verdon. Les affluents sont en bon à très bon état pour azote et phosphore, par contre le Colostre est dégradé : état écologique médiocre à Saint-Martin-de-Brômes et moyen à la confluence avec le Verdon. Un ambitieux projet de restauration hydromorphologique est en cours sur cet affluent important du bas Verdon, qui devrait améliorer son état écologique en favorisant le développement d'un écosystème fonctionnel et complexe, l'actuel étant très simplifié.

Le Verdon est marqué par la forte saisonnalité des activités et donc des rejets. Le haut bassin a plutôt un pic hivernal, avec une population qui augmente fortement (loisirs et sports de montagne), notamment pendant les vacances scolaires, et des stations de traitement qui peuvent avoir du mal à répondre à ce brusque afflux, d'autant plus avec les faibles températures qui peuvent limiter l'efficacité des traitements. Dans le moyen et bas Verdon, l'afflux est surtout estival. Les stations d'épuration doivent monter rapidement en charge pour traiter les effluents d'une population qui peut être multipliée par 5 à 10...

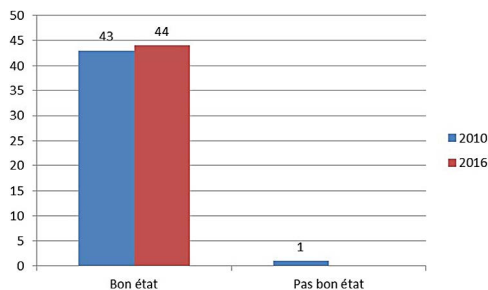
Pour tous les lacs du bassin versant (5 lacs artificiels + lac d'Allos), les suivis montrent un bon état écologique.



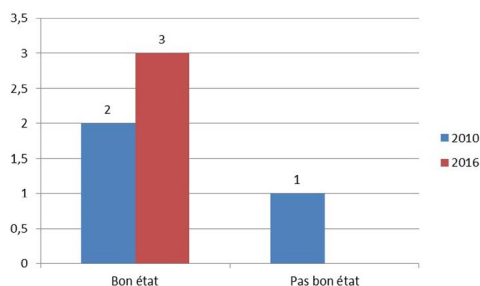
Le Colostre à Saint-Martin-de-Brôme- auteur : Annie Robert

3. L'ÉTAT CHIMIQUE SUR LE BASSIN VERSANT DU VERDON

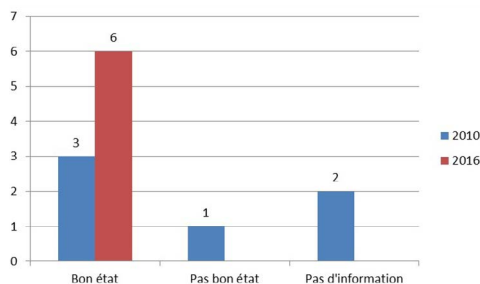
Pour l'état chimique, par rapport aux états des lieux du SDAGE, entre 2010 et 2016, une masse d'eau naturelle classée dégradée en 2009 est repassée en bon état (le Colostre). Une masse d'eau fortement modifiée dégradée en 2009 est repassée en bon état (le Verdon du barrage de Chaudanne au Jabron). La connaissance s'est améliorée sur les lacs.



État chimique des masses d'eau naturelles



État chimique des masses d'eau fortement modifiées



État chimique des lacs

Les réseaux de suivi dans le cadre de la directive cadre montrent un bon état chimique :

- sur le Verdon à Saint-André-les-Alpes ;
- sur le Verdon à Pont de Soleils, hormis en 2011 (mauvais). La cause du déclassement est la présence de HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques, polluants persistants mutagènes et cancérogènes, issus de la combustion de végétaux par exemple, de gaz d'échappement...)
- sur le Jabron au pont de Jabron ;
- sur le Colostre à Saint-Martin-de-Brômes, hormis en 2011 et en 2017 (mauvais). La cause du déclassement est également la présence de HAP ;
- sur le Verdon à Vinon-sur-Verdon (amont restitution EDF).

Le lac d'Allos est un lac glaciaire d'altitude, situé en amont de toute activité ou rejet anthropique. Pourtant, la campagne de mesures réalisée en 2013 montre la présence d'un certain nombre de polluants... Des micropolluants minéraux ont été détectés dans l'eau lors de toutes les campagnes (baryum, uranium) ou ponctuellement (chrome, cobalt, cuivre, zinc, arsenic) à des concentrations faibles. Les sédiments sont riches en aluminium, fer, manganèse et titane. Parmi les métaux lourds, les concentrations mesurées en chrome, cuivre, nickel sont supérieures aux teneurs habituellement rencontrées dans les plans d'eau du bassin Rhône-Méditerranée et Corse. Quelques HAP et micropolluants organiques sont également quantifiés dans les sédiments [4 HAP, 3 autres micropolluants organiques : benzène, toluène, crésol-para (famille des phénols)]. Ces polluants sont transportés par voie atmosphérique depuis les zones d'émission...

4. LA QUALITÉ DES EAUX DE BAINNADE

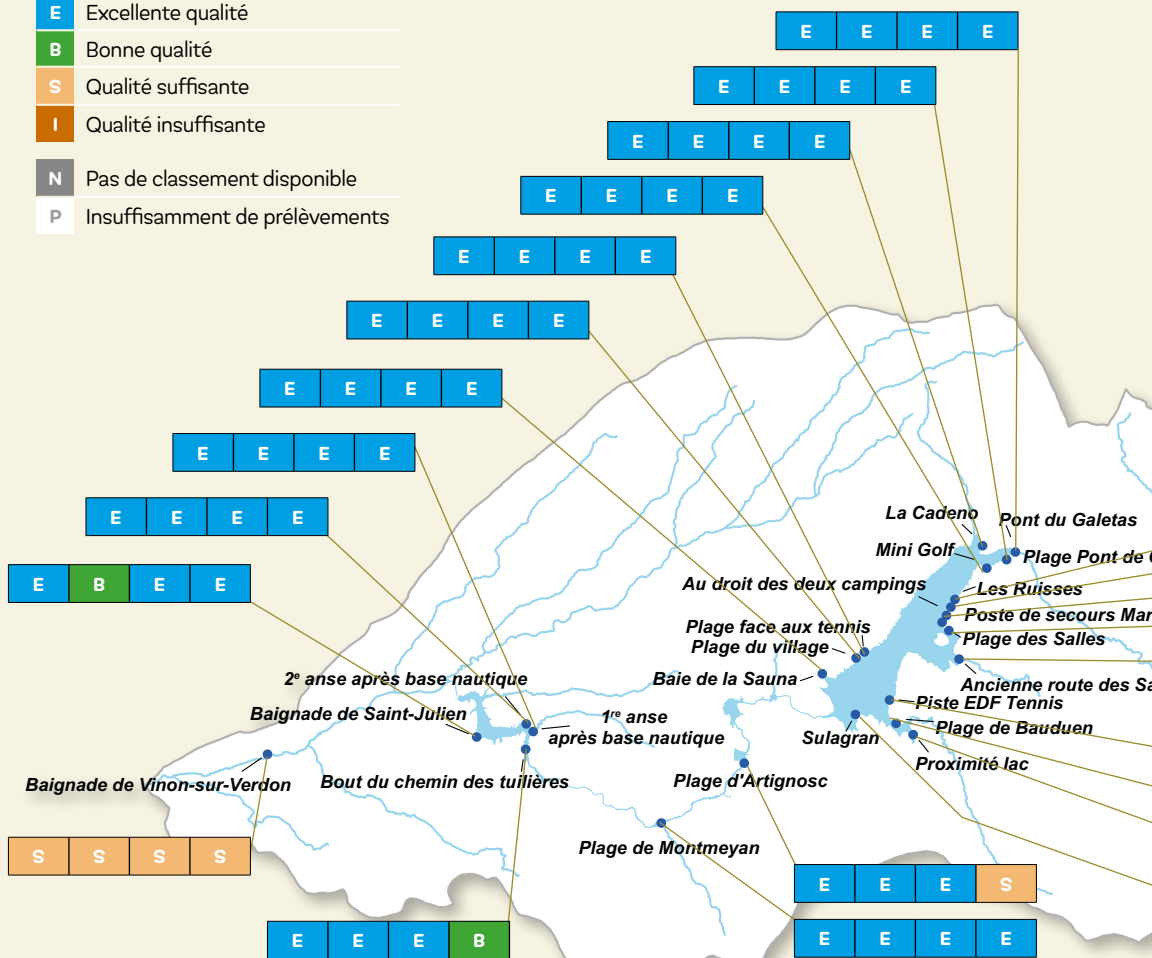
Chaque usage de l'eau (eau d'irrigation, eau de process industriel, eau potable, eau de baignade) nécessite une qualité spécifique. Sur le bassin du Verdon, très touristique, les activités aquatiques sont importantes. La qualité des eaux de baignade fait l'objet d'un suivi par l'ARS (agence régionale de santé).

La qualité des eaux de baignade est évaluée au moyen d'indicateurs microbiologiques (bactéries) : les analyses microbiologiques effectuées concernent la mesure des germes (bactéries), témoins de contamination fécale. Ces micro-organismes sont normalement présents dans la flore intestinale des mammifères, et de l'homme en particulier. Leur présence dans l'eau témoigne de la contamination fécale des zones de baignade. Ils constituent ainsi un indicateur du niveau de pollution par des eaux usées et traduisent la probabilité de présence de germes pathogènes. Plus ces germes sont présents en quantité importante, plus le risque sanitaire augmente.

Une dégradation de la qualité sanitaire présente donc un risque pour la santé humaine, mais ne pose pas forcément problème pour l'état des milieux aquatiques (ce n'est pas le cas d'autres éléments présents dans les eaux usées, qui dégradent la qualité des milieux aquatiques : matières organiques, azote, phosphore...) : cette pollution bactérienne sera naturellement éliminée.

Années	2014	2015	2016	2017
--------	------	------	------	------

- E** Excellente qualité
- B** Bonne qualité
- S** Qualité suffisante
- I** Qualité insuffisante
- N** Pas de classement disponible
- P** Insuffisamment de prélèvements



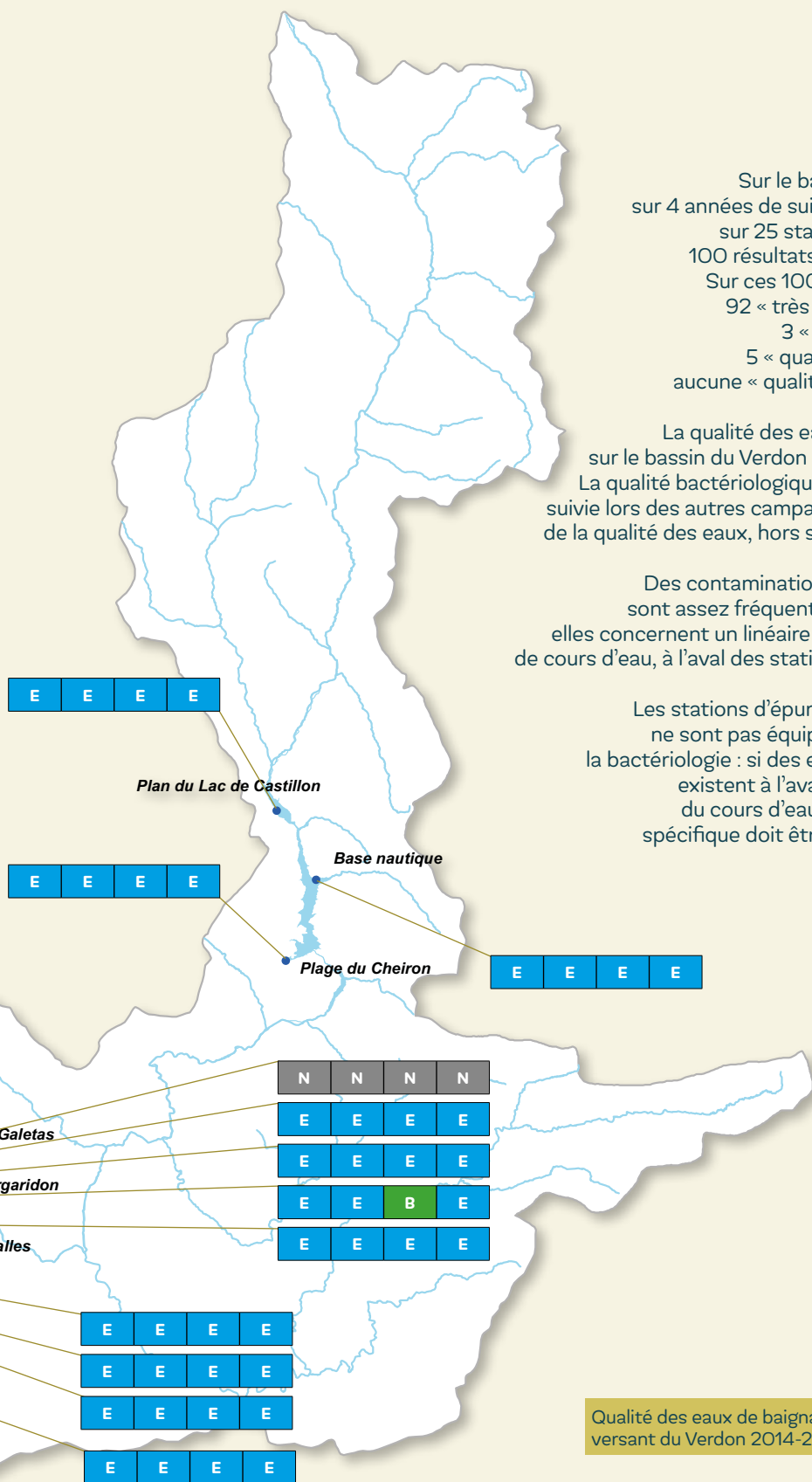
Sur le bassin du Verdon, sur 4 années de suivi (2014 à 2017) sur 25 stations, on a donc 100 résultats de classement. Sur ces 100 résultats on a :

- 92 « très bonne qualité »,
- 3 « bonne qualité »,
- 5 « qualité suffisante »,
- aucune « qualité insuffisante ».

La qualité des eaux de baignade sur le bassin du Verdon est donc bonne. La qualité bactériologique est également suivie lors des autres campagnes de mesure de la qualité des eaux, hors suivis baignades.

Des contaminations bactériennes sont assez fréquentes sur le bassin, elles concernent un linéaire non négligeable de cours d'eau, à l'aval des stations d'épuration.

Les stations d'épuration classiques ne sont pas équipées pour traiter la bactériologie : si des enjeux sanitaires existent à l'aval (fréquentation du cours d'eau), un traitement spécifique doit être mis en œuvre.



Qualité des eaux de baignade sur le bassin versant du Verdon 2014-2017

5. L'EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les milieux aquatiques seront directement affectés par les effets du changement climatique. Beaucoup d'incertitudes subsistent, mais les différents modèles de prédiction s'accordent sur de grandes tendances : diminution de la ressource disponible, réduction des débits d'étiage estivaux. Ces effets peuvent se superposer avec l'impact de certains polluants : la diminution des débits, notamment en période estivale lorsque les rejets sont les plus importants, entraînera une diminution des capacités de dilution. Les risques d'eutrophisation seront accrus (moins de dilution, augmentation de la température).

Les milieux aquatiques en bon état seront certainement plus résilients : rôle de la ripisylve pour limiter l'augmentation de la température, rôle du bon fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau sur les capacités d'autoépuration... Il est donc important, pour la préservation de la qualité des eaux, de poursuivre les efforts en termes d'épuration, mais aussi de restauration des cours d'eau...



Le Lignan sur la Réserve naturelle de Saint-Maurin - auteur : Dominique Chavy

Cet article porte sur la qualité des eaux superficielles. Les suivis réalisés montrent que, globalement, sur le bassin du Verdon, la qualité est bonne, avec des problèmes ponctuels qui devraient être traités par la mise en œuvre des projets en cours (restauration de milieux, amélioration de l'assainissement). Les eaux souterraines ne sont pas traitées ici, une importante pollution existe sur le bassin pour la masse d'eau souterraine du plateau de Valensole, contaminée par une molécule de dégradation d'un herbicide historiquement utilisé sur le lavandin, ainsi que par les nitrates. D'importants programmes sont en cours pour préserver cette ressource de nouvelles contaminations.

Le bon état actuel des eaux sur le bassin versant fait que, dans le cadre du SAGE Verdon, les acteurs ont pu fixer des objectifs de qualité relativement ambitieux : le SAGE demande un très bon état écologique sur deux paramètres liés au rejet d'assainissement, la matière organique (DBO5) et l'azote (NH4), et va donc au-delà de la réglementation nationale qui demande le bon état. Il demande aussi le traitement du phosphore sur certaines stations d'épuration, et fixe des objectifs sanitaires sur certains tronçons. Cette ambition se justifie au regard de l'importance de la qualité des eaux du Verdon pour toute la région, ainsi que de l'image du Verdon en terme touristique.

La préservation ou l'amélioration de la qualité des eaux passe par l'amélioration de l'assainissement : de nombreux projets ont vu le jour pendant le premier contrat rivière Verdon 2008-2014 (17 stations d'épuration réalisées ou réhabilitées), et un important programme est encore inscrit au contrat rivière 2017-2022 (28 stations). Ces projets sont lourds, car les communes du Verdon doivent investir dans des stations de grande capacité par rapport à la population permanente, du fait des grosses variations saisonnières. Lors de ces projets de renouvellement de stations d'épuration, les collectivités choisissent des filières adaptées aux contraintes du territoire (communes rurales, grosses et brutales variations de charge) : les stations rustiques de type lits plantés de roseaux se sont beaucoup développées, elles permettent d'éviter les dysfonctionnements lors des rapides montées en charge. Le contrat rivière permet aussi de financer l'installation de toilettes sèches sur les sites fréquentés isolés, afin de limiter les pollutions diffuses. Grâce aux grands aménagements du Verdon, une solidarité amont-aval permet le développement d'une grande partie de la région et a mis de nombreux territoires à l'abri des pénuries : 200 millions de m³ d'eau du Verdon sont exportées chaque année pour alimenter les populations (environ 2 millions d'habitants, 165 communes), 1700 entreprises, 6000 exploitations agricoles.

L'eau est notre patrimoine et sa bonne qualité fait la renommée de notre territoire. Il est donc important de la préserver. Grâce au Parc, une **convention de solidarité aval-amont** a été conclue avec la Société du canal de Provence, qui distribue l'eau du Verdon aux usagers du Var et des Bouches-du-Rhône. Cette convention permet notamment à la SCP d'apporter des moyens financiers : participation à l'autofinancement des stations d'épuration, à hauteur de 350 000 €/an. Il s'agit de la concrétisation d'une solidarité entre les utilisateurs de l'eau exportée hors du bassin versant du Verdon, et les collectivités qui œuvrent pour sa gestion et la préservation de sa qualité.

L'amélioration de la qualité des milieux aquatiques passe aussi par la restauration ou la préservation du bon fonctionnement des cours d'eau, qui permettra de limiter les impacts du changement climatique : maintien d'une ripisylve en bon état et préservation des zones humides (le SAGE Verdon demande leur préservation dans les documents d'urbanisme), restauration hydromorphologique des cours d'eau dégradés, comme par exemple le projet de restauration hydromorphologique du Colostre.



SITOGRAPHIE

- Résultats du suivi de l'état des eaux : sierm.eaurmc.fr/surveillane/eaux-superficielles
- Résultats du suivi de la qualité des eaux de baignade : baignades.sante.gouv.fr



LE BASSIN DURANCE-VERDON ET SES AMÉNAGEMENTS À L'ÉPREUVE DU CHANGEMENT GLOBAL



Auteur de l'article :

- Eric Sauquet, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (Irstea), UR RiverLy, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua CS 20244, 69625 Villeurbanne, France

Le projet national de recherche « Risque, Ressource en eau et gestion Durable de la Durance en 2050 » (R²D² 2050) s'est engagé dans une démarche couplant la modélisation de la ressource naturelle en eau, des besoins et des modes de gestion, et l'élaboration de scénarios prospectifs associant acteurs locaux et experts.

L'objectif visé est de quantifier les déséquilibres potentiels futurs entre offre et demande en eau sur les secteurs alimentés par la Durance et le Verdon. Ceci doit permettre d'initier une réflexion sur les politiques possibles de gestion de l'eau en réponse aux enjeux de développement et d'aménagement tout en préservant le capital naturel du territoire.

MOTS CLÉS : DURANCE, GESTION DE L'EAU, CHANGEMENT CLIMATIQUE, PROSPECTIVE TERRITORIALE, INCERTITUDES, ADAPTATION

Photo : Vallée de la Durance depuis Ganagobie - auteur : Tailleux Catherine

CONTEXTE

La Durance et son principal affluent, le Verdon, sont les châteaux d'eau de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Le cours de la Durance est aménagé de longue date. Des concessions autorisent le détournement des eaux pour l'entraînement des moulins à farine dès le XII^e siècle. Un droit d'usage pour l'arrosage des cultures durant certaines périodes est accordé aux agriculteurs. Au XVI^e siècle, le transfert d'eau de la Durance au-delà des limites de son bassin versant, vers les secteurs déficitaires du bas-Rhône et du littoral, est initié pour l'irrigation des cultures et l'approvisionnement en eau potable des grandes villes (Marseille). À la fin du XIX^e siècle, l'exploitation de la puissance hydraulique des cours d'eau pour alimenter en électricité une partie des villes débute. Au début du XX^e siècle, les conflits entre titulaires de dotations et associations d'usagers se multiplient lors des années de grande sécheresse. Le capital hydraulique naturel du bassin ne permet plus de faire face à la croissance de l'activité agricole et des besoins régionaux. Les oppositions d'intérêts sont telles que les départements du Var, des Bouches-du-Rhône et du Vaucluse, ne parviennent pas à un partage de la ressource, contraignant ainsi le législateur à intervenir. La loi du 11 juillet 1907 crée la Commission exécutive de la Durance en charge de définir les besoins stricts des canaux et de restreindre les prélèvements lors des pénuries d'eau. La « loi d'aménagement de Serre-Ponçon et de la basse Durance » du 5 janvier 1955 marque le début de l'aménagement hydro-électrique de la Durance, depuis le barrage de Serre-Ponçon jusqu'à l'étang de Berre, ainsi que du Verdon. Les conventions de novembre 1953 et de mai 1962, qui prévoient la constitution de réserves destinées à garantir l'alimentation en eau des canaux, 200 Mm³ sur la Durance (barrage de Serre-Ponçon) et 250 Mm³ sur le Verdon (85 Mm³ dans le barrage de Castillon, 140 Mm³ dans la retenue de Sainte-Croix et 25 Mm³ dans le barrage de Bimont), affirment la vocation du système Durance-Verdon à servir des usages multiples de l'eau pour la région.



Les grands aménagements du système Durance-Verdon et leur gestion opérationnelle sont les pierres angulaires de la maîtrise de l'eau, élément essentiel du développement économique provençal. Néanmoins, les récentes sécheresses montrent que l'équilibre entre les ressources disponibles et les besoins en eau exprimés par les usages – qu'ils soient historiques (alimentation en eau potable (AEP), énergie, irrigation) ou plus récents (services écologiques, tourisme) – pourrait être remis en cause. Les incertitudes relatives à l'impact réel du changement climatique sur les ressources hydriques et aux évolutions futures des pressions anthropiques nécessitent que l'on s'interroge dès à présent sur la pérennité du système actuel et les modalités d'adaptation durable susceptibles d'être mise en œuvre.

Cette interrogation a été la préoccupation principale du projet R2D2 2050 « Risque, Ressource en eau et gestion Durable de la Durance en 2050 », cofinancé par le programme GICC du MEEM et par l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée (Sauquet et al., 2015, 2016 ; Andrews et Sauquet, 2017 ; Samie et al., 2017). Une étude prospective, à l'horizon 2050, a été engagée afin d'étudier la vulnérabilité de l'équilibre offre / demande en eau et identifier les enjeux de gestion à venir pour différents scénarios climatiques et territoriaux.

DÉMARCHE GÉNÉRALE

La démarche utilisée est une approche intégratrice qui combine une modélisation du fonctionnement du système Durance-Verdon et une démarche de prospective territoriale. Le territoire examiné est celui décrit en figure 1. Les points indiqués en rouge sont des stations de contrôle (la Durance à Serre-Ponçon, à l'Escale, à Cadarache et à Mallemort, le Buëch à Serres et le Verdon à Sainte-Croix et à Castillon) où des observations de débits existent et où la performance des modélisations pourra être examinée.

La modélisation du fonctionnement du bassin versant inclut, d'une part, les représentations du climat, de la ressource naturelle et des prélèvements pour les usages de l'eau (irrigation, AEP, énergie, industrie et loisirs) et le maintien de la qualité des milieux, et, d'autre part, le fonctionnement des réservoirs principaux de Serre-Ponçon, Sainte-Croix et Castillon sous contrainte de respect des débits réservés, de la cote touristique dans les retenues et des lâchers d'eau nécessaires aux usages en aval. Une approche multi-modèle et multi-scénario a été adoptée pour analyser les principales sources d'incertitude sur le devenir de la ressource et des besoins en eau. Une chaîne de modélisation numérique a été développée et mise en place sur le territoire.

Elle comporte :

- **six modèles hydrologiques de structures différentes pour simuler la ressource naturelle ;**
- **trois modèles de complexité variée pour estimer les besoins en irrigation appliqués des cultures emblématiques du territoire ; parmi eux, un seul a pu être adapté et généralisé à l'ensemble du territoire et pouvant intégrer des « choix techniques » qui reflètent le comportement des irrigants (ex. seuil de déclenchement pour le mode non gravitaire et fréquence d'apports pour le mode gravitaire...)** ;
- **un modèle statistique sur la base de la fonction économétrique pour représenter la demande en eau potable unitaire (consommation journalière moyenne par ménage) pour chaque commune desservie. Les projections de la demande future sont une combinaison des évolutions démographiques (nombre d'habitants), de l'évolution de la demande par ménage et du rendement des réseaux ;**
- **un modèle spécialement développé pour reproduire les opérations de barrage des trois principaux réservoirs polyvalents (Serre-Ponçon, Castillon et Sainte-Croix). Il simule les rejets d'eau des réservoirs sous les contraintes imposées par les débits réservés et les niveaux d'eau en été à des fins récréatives.**

Un protocole commun de test de ces modèles a été mis en place afin d'évaluer leur capacité à reproduire correctement leur performance dans les conditions naturelles actuelles au travers de critères de performance numériques. Les modèles de besoin en eau ont été appliqués aux secteurs connectés à la ressource Durance.

Tous les modèles ont été forcés par un sous-ensemble de 330 projections climatiques régionales obtenues à partir de 11 séries de quatre modèles de circulation générale (GCM) ENSEMBLES STREAM2 élaborés sous scénario médian d'émission de gaz à effet de serre (A1B).



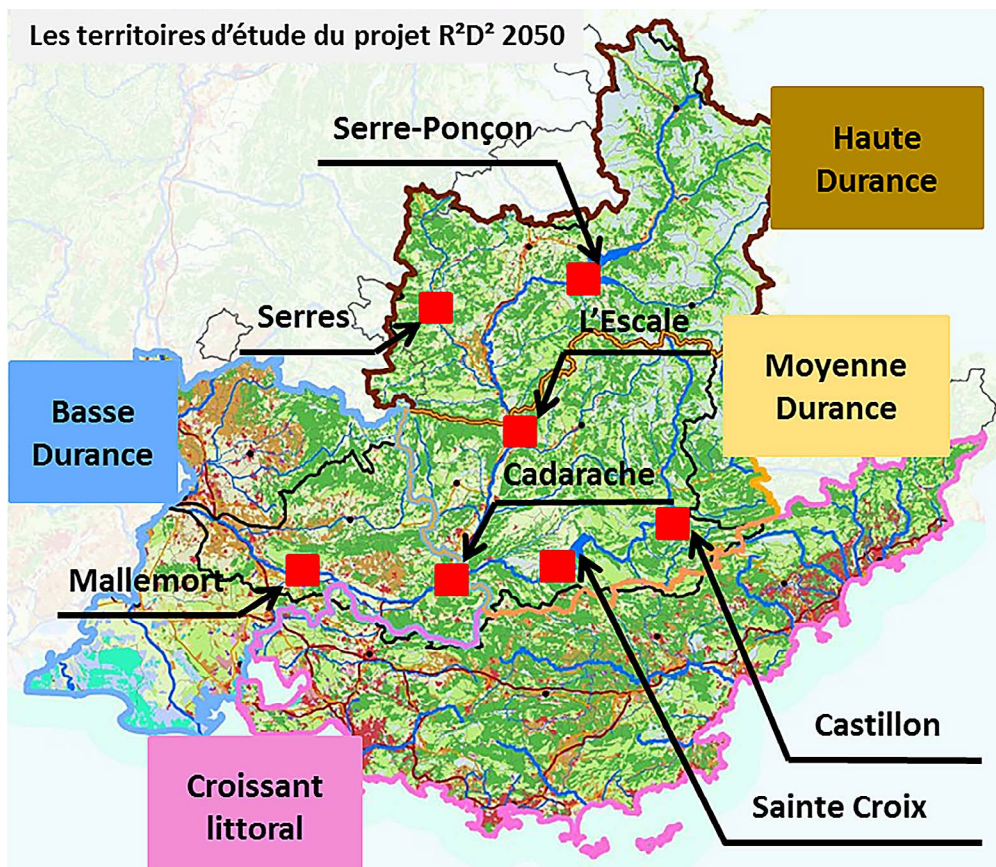


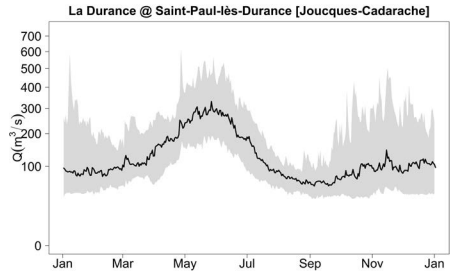
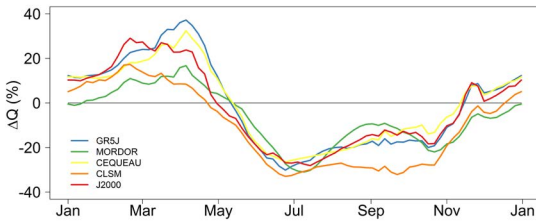
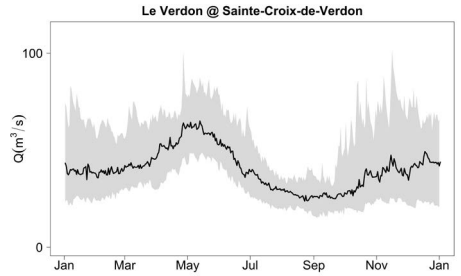
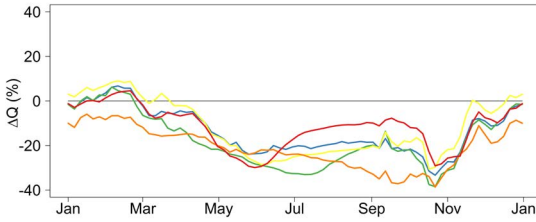
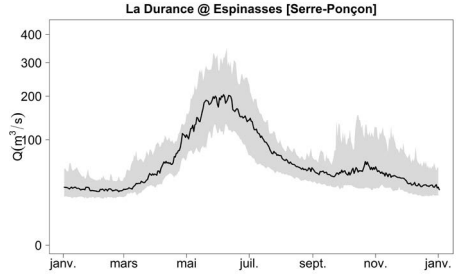
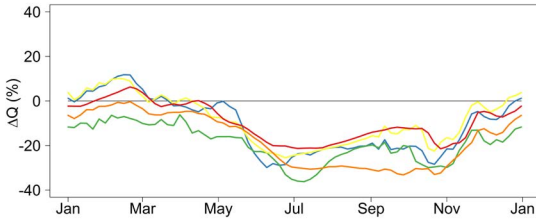
Figure 1 : Les territoires d'étude du projet R²D² 2050. Territoires d'étude, aménagements hydrauliques, occupation du sol et points d'analyse de l'équilibre offre/demande.

APPLICATION

A. MODÉLISATION DE LA RESSOURCE EN EAU :

Sans surprise, les projections climatiques régionales suggèrent une augmentation de la température de l'air dans le bassin de la Durance.

Le bassin de la rivière Durance connaîtra probablement un climat plus chaud d'ici les années 2050. Les changements par rapport à la période 1980-2009 sont uniformes sur le territoire (en moyenne + 1,6° C). Les changements sont plus prononcés en été (~ + 2,1°C) qu'en hiver (~ + 1,3°C). D'autre part, les projections climatiques régionales suggèrent que l'évolution des précipitations est incertaine. Les changements de température de l'air ont une incidence considérable sur les processus liés à la neige dans les régions montagneuses, avec une diminution probable des chutes de neige, une tendance à la réduction du manteau en hiver et une fonte des neiges avancée.

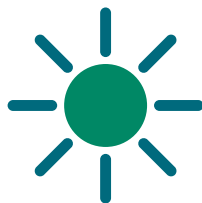


Figures 2 : Devenir de la ressource naturelle décrit par les débits moyens sur cinq jours. Pour les trois points de modélisation :

le graphique supérieur présente le régime interannuel de référence (courbe noire) et l'enveloppe qui contient 80 % des valeurs (en zone grisée) ;

le graphique inférieur est l'écart moyen par rapport à la période actuelle 1980-2009 projeté par les cinq modèles hydrologiques GR5J, MORDOR, CEQUEAU, CLSM et J2000 (courbe de couleurs) selon les 330 futurs climatiques à l'horizon 2050.





La figure 2 montre les changements relatifs des débits moyens sur cinq jours en 2050 par rapport à la période 1980-2009 pour trois bassins (la Durance à Serre-Ponçon et le Verdon à Sainte-Croix caractérisent les apports naturels aux barrages et la Durance à Saint-Paul-lès-Durance est représentatif des modifications possibles intégrées à l'échelle du bassin versant). Les statistiques sont calculées sur les 330 projections hydrologiques obtenues à partir de l'ensemble des 330 projections climatiques régionales.

En utilisant la moyenne des 330 projections climatiques, le bassin de la Durance connaîtra un réchauffement d'ici 2050 et tous les modèles prévoient une baisse significative des ressources annuelles et estivales. Cependant, chaque modèle a sa propre sensibilité et sa propre manière de représenter les processus physiques ; ils annoncent donc des résultats plus ou moins pessimistes. Le signe et l'ampleur des changements dépendent du régime hydrologique actuel de la rivière.

Une augmentation substantielle des débits est identifiée de la fin de l'hiver au milieu du printemps pour les bassins en montagne (ex. : plus de 20 % pour la Durance à Serre-Ponçon), résultant d'une fonte plus précoce des neiges, en raison de l'augmentation de la température moyenne de l'air. D'autres, plus en aval, pourraient être confrontés à des changements conséquents en été (par exemple, autour de - 20 % pour le Verdon à Sainte-Croix-de-Verdon) **avec des étiages plus sévères que ceux observés dans un passé récent**. Les ressources estivales seront moindres pendant une période où les demandes sont nombreuses. Aucun changement notable sur l'ampleur des crues n'a été identifié.

B. MODÉLISATION DE LA TRAJECTOIRE SOCIO-ÉCONOMIQUE :

Une manière d'appréhender l'incertitude de l'avenir socio-économique est de s'appuyer sur un faisceau de scénarios plausibles contrastés. Le choix a été fait d'élaborer six scénarios socio-économiques territoriaux et quatre d'entre eux avec le concours d'acteurs locaux conçus dans le cadre d'ateliers. La participation des acteurs locaux a favorisé le partage des connaissances, la cohérence interne (ex. compétition entre usages) imposée à l'heure actuelle, ou émergente, la co-construction de futurs possibles pour le territoire et à terme l'identification de leviers à mobiliser pour une stratégie d'adaptation efficace.

Facteurs	TF2010	Tendanciel	Spécialisation	Investissement	Crise	Écologie
Population résidentielle	=	+	+	+	-	+
Population touristique	=	+	+	+	-	+
Demande unitaire AEP	=	-	=	+	-	-
Utilisation ressources locales	=	=	-	-	+	+
Rendement réseaux AEP	=	+	+	+	-	+
Surfaces irriguées	=	-	+	-	-	+
Arrosage	=	+	=	+	+	=
Rendements canaux	=	+	+	+	=	+
Irrigation aspersion	=	=	+	=	=	+

Tableau 1 : Évolution des déterminants de la demande en eau par rapport à 2010 (les signes +, - et = renseignent le sens des changements).

Le résultat est un ensemble de quatre scénarios contrastés permettant « d'encadrer » l'espace des futurs possibles (**Investissement, Spécialisation, Écologie, Crise**). S'y ajoutent : un scénario dit Tendanciel conditionné par les tendances perceptibles dans le système actuel et un scénario business-as-usual baptisé TF2010, calqué sur une photographie du territoire en 2010 et qui permet d'évaluer l'impact du changement climatique indépendamment de toute autre évolution d'origine anthropique. Le tableau 1 présente, pour chacun de ces scénarios, l'évolution des principaux facteurs explicatifs des besoins en eau des différents usages et la figure 3 les caractéristiques vis-à-vis des sources mobilisées pour les prélèvements et l'importance relative des volumes totaux prélevés.



Par exemple, dans le scénario Investissement, le monde de 2050 est celui où l'énergie est bon marché.

Cela garantit une croissance économique soutenue et forte. Le bassin de la Durance et ses zones avoisinantes présentent un développement optimal. Les intérêts économiques locaux concernant les activités industrielles et touristiques prendront le pas sur les questions environnementales et les intérêts agricoles. La renaissance du secteur industriel induira une augmentation de la demande énergétique, qui sera principalement assurée par les centrales hydroélectriques de la Durance et de la vallée du Verdon. De nouvelles activités touristiques (ex. parcs aquatiques, stations de ski dotées de canons à neige, etc.) attireront une population saisonnière croissante. Le territoire sera économiquement attractif ; d'où une hausse de la démographie avec de nouveaux venus installés préférentiellement le long de la côte sud. En l'absence de gestion de l'occupation des sols, une grande partie des terres actuellement irrigables seront urbanisées.

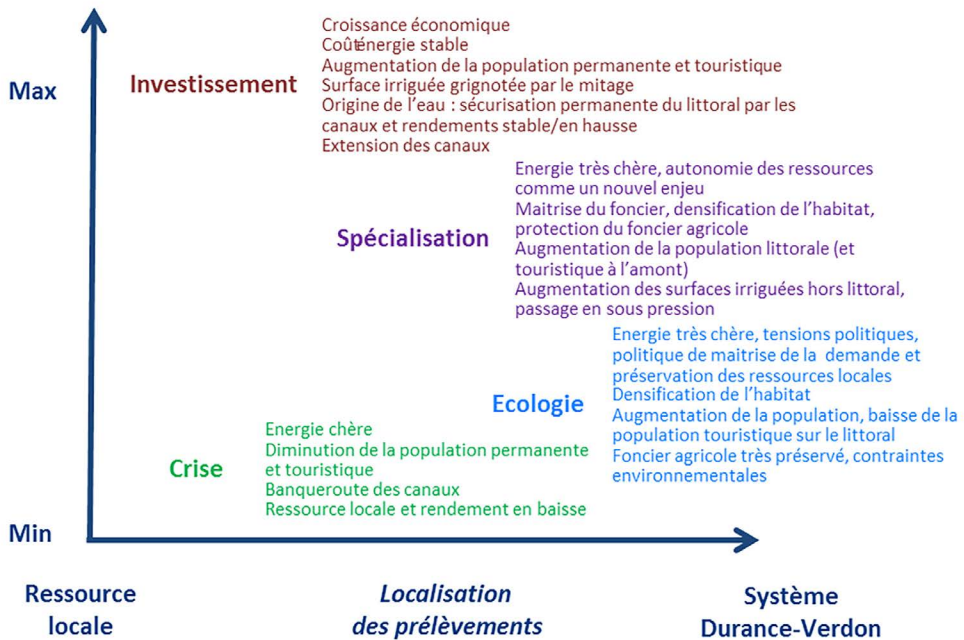
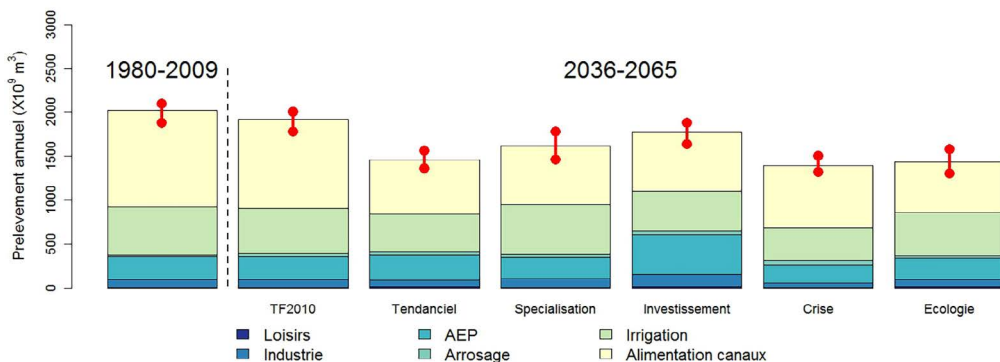


Figure 3 : Principales caractéristiques des quatre scénarios prospectifs issus des ateliers avec les acteurs

C. MODÉLISATION DES BESOINS EN EAU :

Les éléments issus d'un processus de discussion et de validation des scénarios ont été utilisés pour simuler les besoins en eau d'irrigation et en eau potable pour les six futurs socio-économiques du territoire (figure 4).



Légende figure 4 : Évolution des prélèvements sur le système Durance-Verdon par scénario et par usage. Les segments en rouge représentent la dispersion induite par les projections climatiques.

Les résultats montrent une demande en eau d'irrigation qui évolue entre - 30 % et + 4 %. Cette demande est globalement à la baisse mais varie d'un scénario à l'autre.

Les différences relèvent principalement des évolutions socio-agro-économiques (assolements et mode d'irrigation) et, dans une moindre mesure, de l'incidence du changement climatique. Les projections de la demande future pour l'AEP montrent peu d'évolution pour l'ensemble des scénarios, hormis le scénario Investissement, du fait d'une forte croissance de la population, une amélioration modérée du rendement des réseaux et une demande unitaire en hausse (effet conjugué de la baisse du prix de l'eau et de l'augmentation de l'habitat individuel et de la fréquentation touristique).

Au final, la quantification des hypothèses de demande en eau des scénarios R2D2 2050 conduit à une diminution significative des prélèvements en eau pour tous les scénarios sauf un - le scénario TF10 du statu quo. Le changement moyen sur les cinq scénarios socio-économiques et dix projections climatiques est d'environ - 400 Mm³ an, par rapport à la période de référence 1980-2009. Les parts relatives des prélèvements de

chaque usage varient modérément avec les scénarios socio-économiques. Cependant, les pertes liées à l'adduction d'eau jusqu'au lieu de consommation sont de loin les plus gourmandes en eau pour tous les scénarios (entre 38 % et 55 %). Pour un scénario socio-économique donné, les volumes prélevés déduits des dix projections climatiques régionales ne diffèrent que marginalement. Cette constatation met en évidence ici la plus forte dépendance des prélèvements aux hypothèses des scénarios socio-économiques qu'aux conditions climatiques futures. La faible sensibilité aux conditions climatiques peut s'expliquer en partie par les hypothèses au cœur des modèles d'usage de l'eau.

La diminution des prélèvements annuels est ici principalement due à la mise en œuvre de mesures de conservation de l'eau dans tous les scénarios. Les rendements hydrauliques pour les systèmes d'irrigation sont supposés rester constants ou s'améliorer. Cette hypothèse est conforme à l'une des priorités affichées par les Agences de l'eau, à savoir lutter contre le gaspillage d'eau et réaliser ainsi des économies d'eau significatives, et n'a pas été objectivement remise en cause par les parties prenantes lors de l'approche participative.

D. IMPLICATION POUR LA GESTION DES RÉSERVES :

Le fonctionnement des principales réserves (Serre-Ponçon, Castillon et Sainte-Croix) a été simulé à l'horizon 2050 en conservant les modes de gestion actuelle. Une hiérarchie des usages de l'eau a été établie (priorité au respect des débits environnementaux en été). La confrontation ressource-besoin montre que les réserves en eau de la Durance et du Verdon restent suffisantes à l'horizon considéré pour satisfaire aux demandes en eau de la part des usages, même si des incertitudes demeurent. Toutefois, certaines années, l'équilibre est assuré au détriment de la production d'énergie en hiver et du maintien des cotes touristiques sur les retenues en été. L'intensité et la fréquence des déséquilibres ne sont pas identiques sur tous les secteurs d'étude (solicitations des aménagements de la Durance stables ou en baisse quel que soit le scénario, à l'inverse de celles concernant les ouvrages du Verdon). Grâce aux efforts d'économies d'eau réalisés sur les systèmes d'irrigation gravitaires, le système Durance verrait sa situation s'améliorer, alors que le système Verdon actuellement mieux optimisé verrait sa vulnérabilité s'accroître légèrement. La situation la plus critique est finalement obtenue avec le scénario business-as-usual et le volume de 200 Mm³ stocké dans le réservoir de Serre-Ponçon et dédié à l'agriculture n'est pas suffisant pour répondre aux besoins d'irrigation en 2050 tous les ans.



CONCLUSION

Le projet R²D² 2050 a élaboré une vision prospective de la gestion de l'eau du bassin de la Durance et des territoires alimentés par ses eaux à l'horizon 2050, appuyée par une chaîne de modèles incluant des représentations de la ressource naturelle, des demandes en eau et du fonctionnement des grands ouvrages hydrauliques (Serre-Ponçon, Castillon et Sainte-Croix). Cet ensemble, validé en temps présent, a été alimenté par des projections climatiques et paramétré pour intégrer les évolutions du territoire décrites par des scénarios socio-économiques sous hypothèse de conservation des règles de gestion actuelles.

À l'horizon 2050, la hausse de la température moyenne de l'air va modifier l'hydrologie en montagne avec notamment une réduction des stocks de neige et une fonte avancée dans l'année qui induisent une réduction des débits au printemps. La diminution de la ressource en eau en période estivale est hautement probable. Les scénarios socio-économiques proposent majoritairement une diminution de la demande globale en eau à l'échelle du territoire, qui dépend fortement du maintien d'une politique d'économie d'eau.

Les demandes en eau issues de ces scénarios, confrontées à la ressource disponible sous climat modifié, permettent de « mettre à l'épreuve » des changements globaux le mode de gestion actuel des réserves.

Même si les réserves physiques en eau semblent suffisantes à l'horizon 2050, même si des incertitudes demeurent à tous les niveaux de modélisation, les résultats montrent que les évolutions du climat et, principalement, des pressions anthropiques vont modifier sensiblement la capacité future des ressources à satisfaire les demandes des différents usages, tant sur la Durance que sur le Verdon. Le système Durance-Verdon bénéficie d'un historique fort de gestion globale de l'eau qui permet d'être optimiste. Néanmoins, des tendances fortes émergent en période d'étiage. Elles doivent interroger dès à présent les territoires concernés sur des modalités alternatives et novatrices de gestion de la ressource, en complément des actions d'économie d'eau déjà engagées.

REMERCIEMENTS

Le projet R²D² 2050 est le fruit d'une collaboration scientifique et technique qui a associé principalement F. Branger, I. Braud, T. Cipriani, T. Datry, F. Tilmant et J.-P. Vidal d'Irstea (Lyon), Y. Arama, H. Bouscasse, F. Krowicki, A. Rossi et P. Strosser d'ACTeon (Grenoble et Colmar), A. Ducharne et C. Magand de Sorbonne Université (ex. UPMC, Paris), F. Hendrickx, C. Monteil, P. Poulhe et R. Samie d'EDF R&D (Chatou), B. Hingray de l'IGE (ex. LTHE, Grenoble), E. Blanc-Coutagne, J.-F. Brun, Y. Chérel, I. Le Goff et F. Malerbe de la Société du Canal de Provence (Le Tholonet), M. Le Lay et T. Mathevet d'EDF DTG (Grenoble), C. Perrin et G. Thirel d'Irstea (Antony), sous la coordination d'E. Sauquet (Irstea, Lyon). Les partenaires du projet R²D² 2050 remercient le programme GICC du MEEM (Gestion et Impacts du changement Climatique) et l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, pour leur soutien financier et l'ensemble des acteurs mobilisés au cours de ce projet, notamment au cours des ateliers.

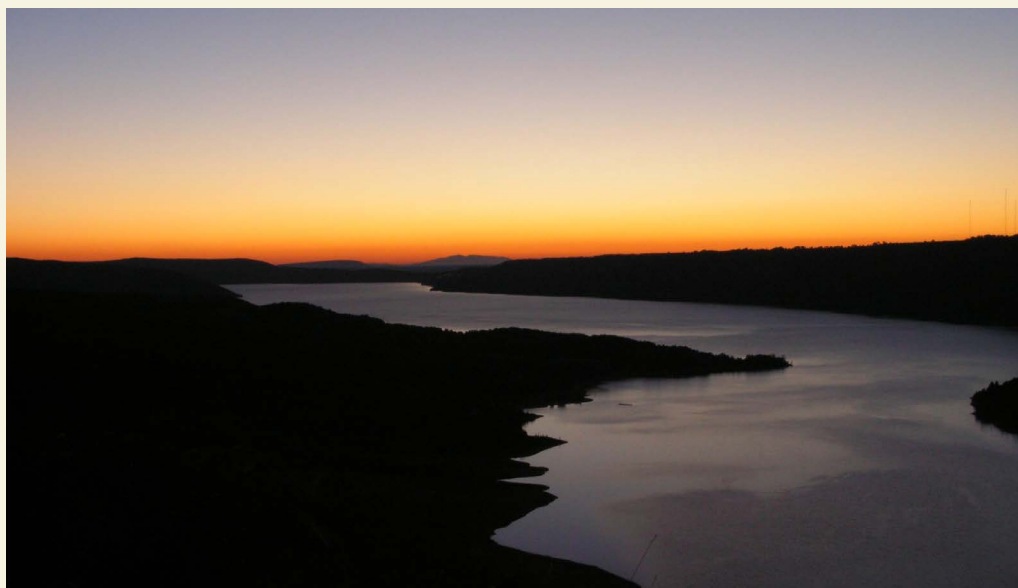
RÉFÉRENCES

Andrew J.T., Sauquet É., (2017). « Climate Change Impacts and Water Management Adaptation in Two Mediterranean-Climate Watersheds : Learning from the Durance and Sacramento Rivers ». *Water* 9. 126 p. doi : 10.3390/w9020126.

Samie R., Bouscasse H., Arama Y., Sauquet É., Brun J.-F., Strosser P., Roux D., (2017). « Anticiper et quantifier les futurs possibles de la gestion en eau sur le bassin Durance-Verdon ». *Sciences Eaux & Territoires* 22. 42-47 pp.

Sauquet É., Arama Y., Blanc-Coutagne E., Bouscasse H., Branger F., Braud I., Brun J.-F., Chérel Y., Cipriani T., Datry T., Ducharne A., Hendrickx F., Hingray B., Krowicki F., Le Goff I., Le Lay M., Magand C., Malerbe F., Mathevet T., Monteil C., Perrin C., Poulhe P., Rossi A., Samie R., Strosser P., Thirel G., Tilmant F., Vidal J.-P., (2015). « Projet R²D² 2050 – Risque, Ressource en eau et gestion durable de la Durance en 2050 », *MEDDE. Rapport final, convention 10-GCMOT-GICC-3-CVS-102*. <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00044634>

Sauquet É., Arama Y., Blanc-Coutagne E., Bouscasse H., Branger F., Braud I., Brun J.-F., Chérel Y., Cipriani T., Datry T., Ducharne A., Hendrickx F., Hingray B., Krowicki F., Le Goff I., Le Lay M., Magand C., Malerbe F., Mathevet T., Mezghani A., Monteil C., Perrin C., Poulhe P., Rossi A., Samie R., Strosser P., Thirel G., Tilmant F., Vidal J.-P., (2016). « Le partage de la ressource en eau sur la Durance en 2050 : vers une évolution du mode de gestion des grands ouvrages duranciens ? » *La Houille Blanche* 5 : 1-6 pp. <http://dx.doi.org/10.1051/lhb/2016046>



Lac de Sainte-Croix - auteur : Luc Courtil



RELÈVEMENT DES DÉBITS RÉSERVÉS SUR LE VERDON EN 2011

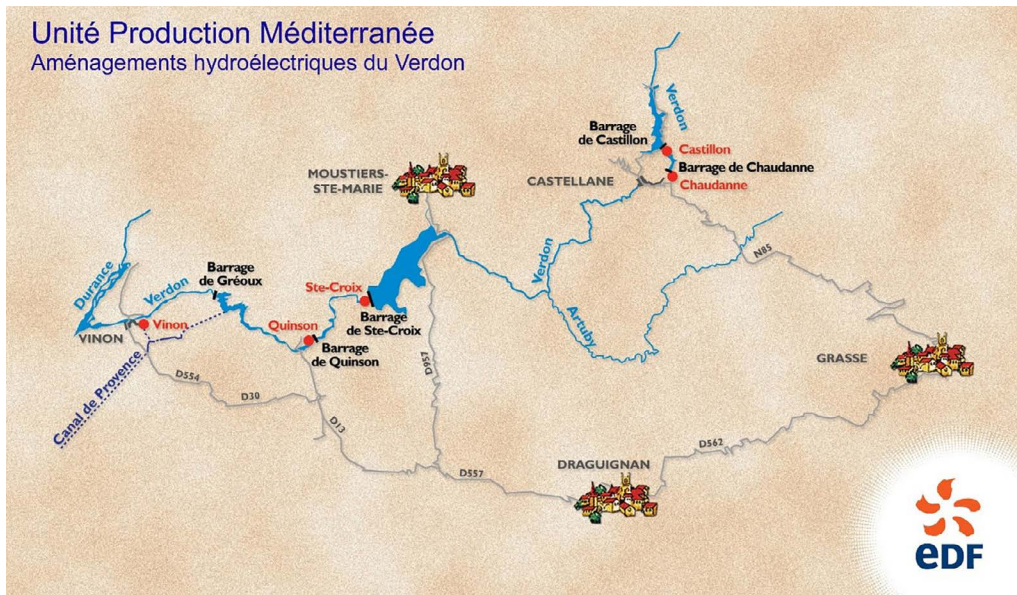
DÉMARCHE, MÉTHODE DE SUIVI MISE EN PLACE ET OBJECTIFS ATTENDUS, PREMIERS CONSTATS.

Auteurs de l'article :

- **Christophe Garrone - Ingénieur d'études à la Maison régionale de l'eau. Bd Grisolle BP 50 008 – 83670 BARJOLS**
- **Olivier Savoye - Electricité de France - Direction Production Ingénierie Hydraulique. Chemin du Thor - 04220 SAINTE TULLE**

1. LES AMÉNAGEMENTS HYDROÉLECTRIQUES DU VERDON

Le Verdon est équipé de cinq aménagements hydroélectriques : Castillon et Chaudanne sur le haut Verdon et les aménagements enchaînés de Sainte-Croix, Quinson et Esparron / Vinon sur le bas Verdon. Chaque aménagement est constitué d'un barrage et d'une centrale hydroélectrique turbinant l'eau stockée en amont du barrage.



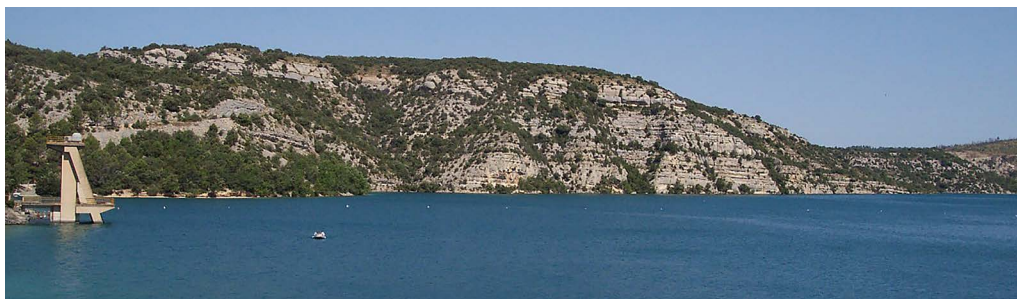
Localisation des aménagements hydroélectriques du Verdon.
Les points rouges correspondent aux centrales hydroélectriques.

L'ensemble de ces centrales hydroélectriques représente une puissance installée de 280 MW. En moyenne, ces centrales hydroélectriques produisent chaque année 460 GWh par an, soit environ l'équivalent de la consommation électrique de la ville d'Aix-en-Provence.

La chaîne hydroélectrique du Verdon couplée avec la chaîne hydroélectrique de la Durance joue un rôle déterminant dans la sécurisation du réseau électrique régional. En effet, l'équilibre production / consommation d'électricité devant être maintenu en permanence, la chaîne Durance-Verdon peut être mobilisée en quelques minutes et permet ainsi d'injecter une puissance globale de 2 000 MW sur le réseau électrique.

Outre la production d'énergie renouvelable, la gestion intégrée de la ressource en eau réalisée par EDF sur ces aménagements permet également de multiples autres usages comme le tourisme, l'irrigation, ou encore la fourniture en eau potable. Une réserve en eau est ainsi disponible chaque année dans les retenues du Verdon afin de garantir l'alimentation en eau du canal de Provence, desservi depuis la retenue EDF d'Esparron-Gréoux. Cette eau est ensuite utilisée pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation des terres agricoles, ainsi que pour l'alimentation de certaines industries, pour la Provence orientale et côtière.

À la maille régionale, la chaîne Durance-Verdon sécurise l'alimentation en eau potable de 3 millions de clients, l'alimentation en eau industrielle de 440 entreprises, ainsi que l'irrigation de 120 000 ha de surfaces agricoles.



Prise d'eau sur la retenue d'Esparron, à Saint-Julien-le-Montagnier - auteur : PNRV

L'exploitation des aménagements hydroélectriques s'effectue selon un cahier des charges défini par l'État et approuvé par un décret de concession. Ce cahier des charges définit notamment les règles d'exploitation du barrage et de la centrale hydroélectrique (cote maximale de la retenue, débit maximal turbinable...).

Les valeurs historiques des débits réservés¹ fixées par ces cahiers des charges sur le Verdon sont ainsi de 500 l/s à l'aval du barrage de Chaudanne ; et de 1 000 l/s à l'aval du seuil de Gréoux du 1^{er} juin au 30 septembre, et puis de 200 l/s du 1^{er} octobre au 31 mai. Aucun débit réservé n'a été fixé à l'aval des barrages de Castillon, Sainte-Croix et Quinson puisque ces barrages sont situés en queue de retenue de l'aménagement situé à l'aval (respectivement Chaudanne, Quinson et Gréoux).

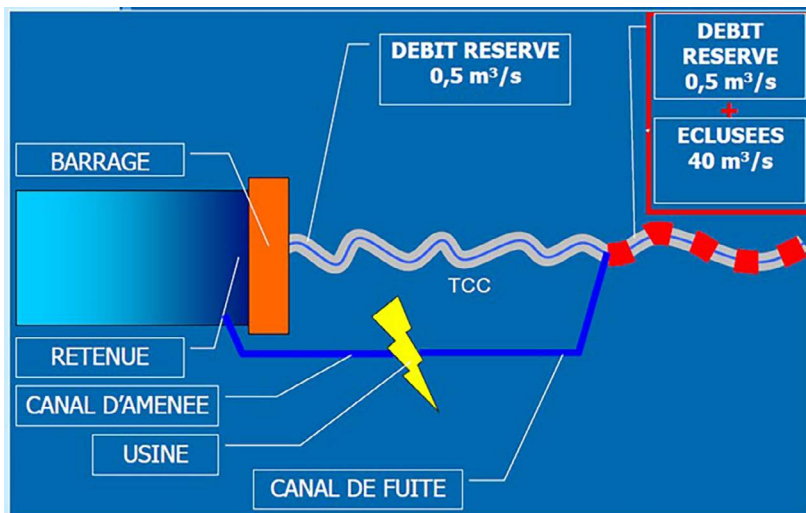


Schéma de fonctionnement d'un aménagement hydroélectrique, présentant le tronçon court-circuité (TCC), où seul le débit réservé s'écoule, et le tronçon de rivière à l'aval de la centrale hydroélectrique influencé par le débit turbiné (régime d'éclusées). Attention : les valeurs de débit présentées ne sont pas significatives du Verdon.

Face à la diversité des enjeux liés à la ressource en eau sur le bassin versant du Verdon, et parfois leur antagonisme, le Parc naturel régional du Verdon a initié, dès sa création en 1997, des démarches de concertation entre les différents utilisateurs.

Pendant presque 10 ans, l'ensemble des acteurs du bassin du Verdon concernés par la gestion de l'eau (État, collectivités, EDF, SCP, agriculteurs, pêcheurs, acteurs du tourisme...) se sont réunis pour définir ensemble des objectifs et des mesures de gestion adaptés aux enjeux et problématiques locaux : amélioration du fonctionnement des aménagements hydroélectriques, partage de la ressource en eau, démarches d'économies d'eau, préservation de la qualité des eaux...

Ce travail a permis d'aboutir le 13 septembre 2012 à la validation par la commission locale de l'eau (CLE) du projet de SAGE (schéma d'aménagement et de gestion des eaux) sur le bassin du Verdon.



1. Débit minimal éventuellement augmenté des prélèvements autorisés sur le tronçon influencé. Il est exprimé notamment dans les cahiers des charges et les règlements d'eau. Souvent utilisé à tort à la place de débit minimal (d'après ministère chargé de l'Écologie - www.glossaire.eaufrance.fr/)

2. VERS LE RELÈVEMENT DES DÉBITS RÉSERVÉS DANS LE VERDON

Entre 2000 et 2003, dans le cadre du projet de mise en place du SAGE Verdon, des études ont permis de définir les débits « optimum biologiques » dans le Verdon. Ces débits théoriques pour un fonctionnement optimal des milieux ont été définis par la Maison régionale de l'eau (MRE) grâce à plusieurs campagnes de mesure.

La commission locale de l'eau (CLE), regroupant les différentes collectivités locales et usagers de la ressource en eau du Verdon, a été mise en place en 2003. Dès lors, la CLE a travaillé sur la rédaction des objectifs du futur SAGE Verdon. Il a été ainsi proposé de définir un objectif visant à « augmenter les valeurs des débits restitués à l'aval des aménagements hydroélectriques pour concilier restauration des fonctionnalités biologiques des milieux et satisfaction des usages, avec un impact minimal sur la production hydroélectrique ».

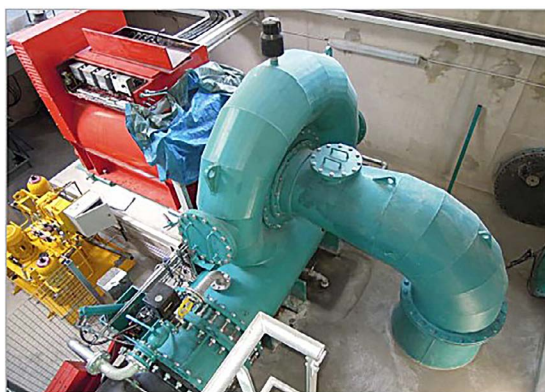
Pour ce faire, sur la base « les débits optimum biologiques » définis par la MRE, différents scénarios ont été étudiés afin de les rendre acceptables pour les différents usages et faisables d'un point de vue technique et économique.

Il s'agissait de pouvoir concilier et veiller à la sécurité pour les principaux usages présents :

- production d'hydroélectricité à partir des aménagements présents,
- alimentation en eau potable et satisfaction des droits d'eau de la SCP,
- maintien d'une cote touristique estivale sur les lacs de Castillon et de Sainte-Croix permettant le déroulement d'activités nautiques et touristiques sur ces lacs,
- réalisation de lâchers pour les sports d'eau vive à l'aval de Chaudanne pendant la période estivale,
- fréquentation des gorges du Verdon à l'aval de Chaudanne pour un usage touristique, sportif (canoë-kayak, randonnée aquatique...) ou de loisir (pêche).

À l'issue de ce travail, la CLE du 14 février 2008 a validé le scénario d'un relèvement des débits réservés du Verdon, anticipant le relèvement obligatoire au 1^{er} janvier 2014 au titre de la nouvelle loi sur l'Eau (passage du 1/40^e au 1/10^e du module² du cours d'eau, voire au 20^e par décret pour certains ouvrages) :

Aménagement	Ancien débit réservé	Débit réservé demandé par la loi sur l'eau au 1 ^{er} janvier 2014	Nouveau débit réservé demandé par le SAGE
Chaudanne	0,5 m ³ /s	0.7 m ³ /s	3 m ³ /s (1,5 m ³ /s du 1 ^{er} juillet au 15 septembre)
Gréoux	1 m ³ /s	1.7 m ³ /s	2,2 m ³ .s-1



Afin de limiter les pertes de production depuis les centrales hydroélectriques suite à ces relèvements, des micro-centrales seront installées par EDF aux barrages de Chaudanne et de Gréoux permettant de turbiner ces nouveaux débits.

Vue d'ensemble du groupe de restitution du débit réservé de Gréoux

2. Le module d'un cours d'eau est le débit moyen interannuel enregistré sur une période de 5 ans.

Ce scénario ambitieux (multiplication par 6 du débit réservé à l'aval de Chaudanne, au-delà des valeurs réglementaires définies) a pu être mis en œuvre grâce aux actions de concertation mises en place mais également grâce au soutien financier de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse.

Les débits réservés ont été relevés :

- à partir du 15 avril 2011 à l'aval du barrage de Gréoux,
- à partir du 1^{er} juin 2011 en aval du barrage de Chaudanne portant le débit à 1,5 m³/s et à 3 m³/s à partir du 16 septembre 2011.

Cette action concertée répond ainsi à plusieurs enjeux du S.A.G.E. du Verdon :

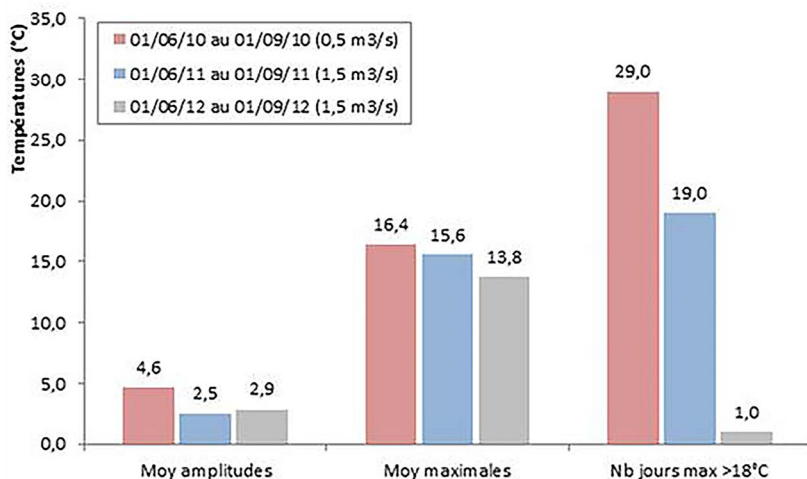
- rechercher un fonctionnement hydraulique et biologique permettant la satisfaction des différents usages, la préservation des milieux naturels et la gestion du risque,
- Préserver et valoriser le patrimoine naturel, exceptionnel mais fragile et soumis à de nombreuses contraintes,
- aller vers une gestion solidaire de la ressource,
- assurer une qualité de l'eau permettant la satisfaction des différents usages et préservant les potentialités biologiques,
- concilier les activités touristiques liées à l'eau avec les autres usages et la préservation des milieux.

3. SUIVI DU RELÈVEMENT DES DÉBITS RÉSERVÉS SUR LE VERDON

Un suivi environnemental a été mis en place, dès 2009, pour observer les effets de l'augmentation des débits réservés sur les milieux et les peuplements piscicoles. Chaque année, plusieurs compartiments physiques et biologiques sont décrits : morphologie du cours d'eau, invertébrés benthiques (qui vivent au fond de l'eau), poissons, reproduction de la Truite fario. **Un premier bilan a été produit en 2013. Le suivi se prolonge actuellement jusqu'à fin 2018 et fera l'objet d'un bilan complet.** Pour l'instant et sans traitement des données recueillies, il est difficile de donner d'ores et déjà des résultats partagés et validés sur le suivi de la période 2014-2018. Quelques observations faites en 2014, 3 ans après le relevé, peuvent toutefois être évoquées.

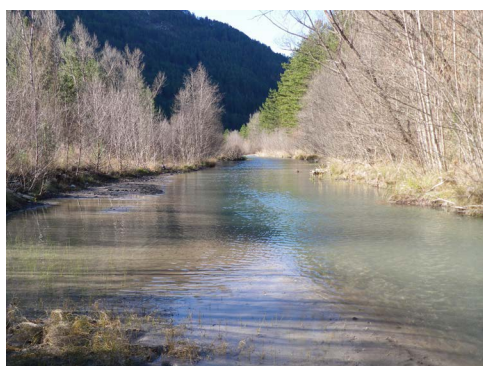
D'un point de vue thermique et notamment dans le moyen Verdon, on note déjà une légère diminution des températures moyennes et maximales ainsi que des amplitudes journalières. Les évolutions sont surtout significatives sur le nombre de jours où la température dépasse 18°C. Les espèces sténothermes d'eau froide, c'est-à-dire ne supportant que de faibles variations de la température de l'eau, devraient en tirer profit. En effet, des espèces comme la truite ou le Chabot, déjà présents dans le Verdon ou ses affluents, sont deux espèces qui supportent assez mal les températures supérieures à 18-20°C.



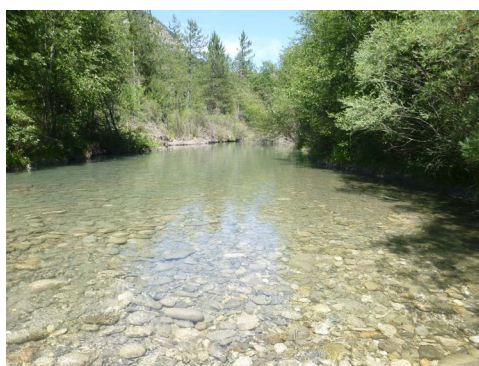


Moyennes des amplitudes journalières, moyennes des températures maximales et nombre de jours durant lesquels les températures maximales dépassent 18°C, au cours de l'été 2010, 2011 et 2012 (station MV1 dans le tronçon court-circuité de Chaudanne)

L'augmentation du débit réservé entraîne une augmentation sensible des vitesses d'écoulement et, dans une moindre mesure, des hauteurs d'eau. Il semblerait que la masse d'eau se déplace plus vite vers l'aval et donc se réchauffe un peu moins vite. Depuis 2009, plusieurs crues significatives sont intervenues quasiment chaque année (mai 2010, mai 2011, novembre 2011, mai 2013, novembre 2016 et décembre 2017), alors que les années antérieures à 2009 ont été plutôt calmes. Ces crues successives ont surtout permis de remobiliser les limons accumulés, notamment dans le tronçon court-circuité de Chaudanne. L'augmentation générale des vitesses du courant par l'augmentation du débit réservé pourrait avoir une action positive et limiter le colmatage excessif de ce tronçon.



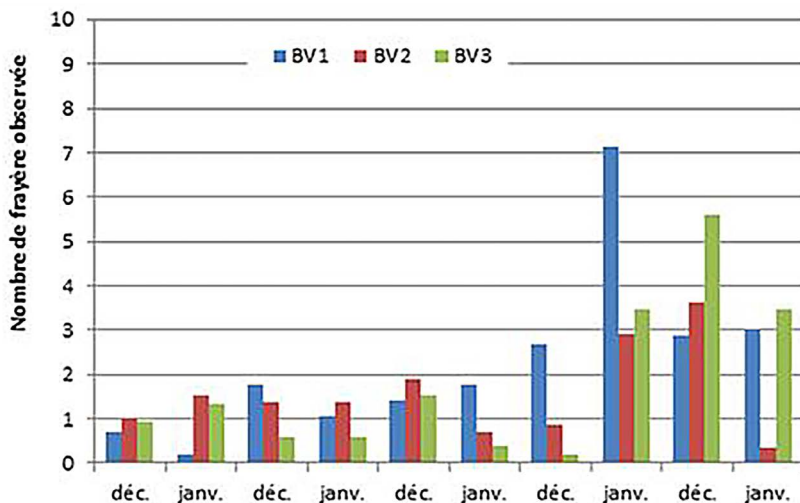
Le Verdon en amont de Castellane en 2009



Le Verdon en amont de Castellane en 2017

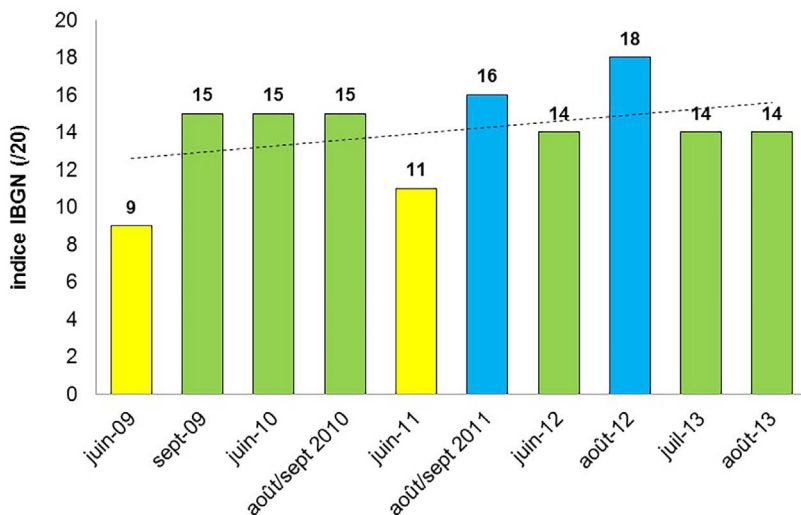


Il semblerait aussi que l'activité de fraie, après rehaussement des débits réservés, soit plus forte en moyenne avec plus de frayères observées et de plus grande surface totale, probablement en lien avec l'augmentation des zones favorables en termes de vitesse d'écoulement. Comme le montre le graphique suivant, le nombre de frayères comptabilisées après 2011 est en moyenne plus important en surface et en nombre, peut-être en relation avec les augmentations de débit, mais cette tendance reste à confirmer.



Nombre de frayères observées sur les stations BV1 à BV3 de 2009 à 2013 (Bas Verdon)

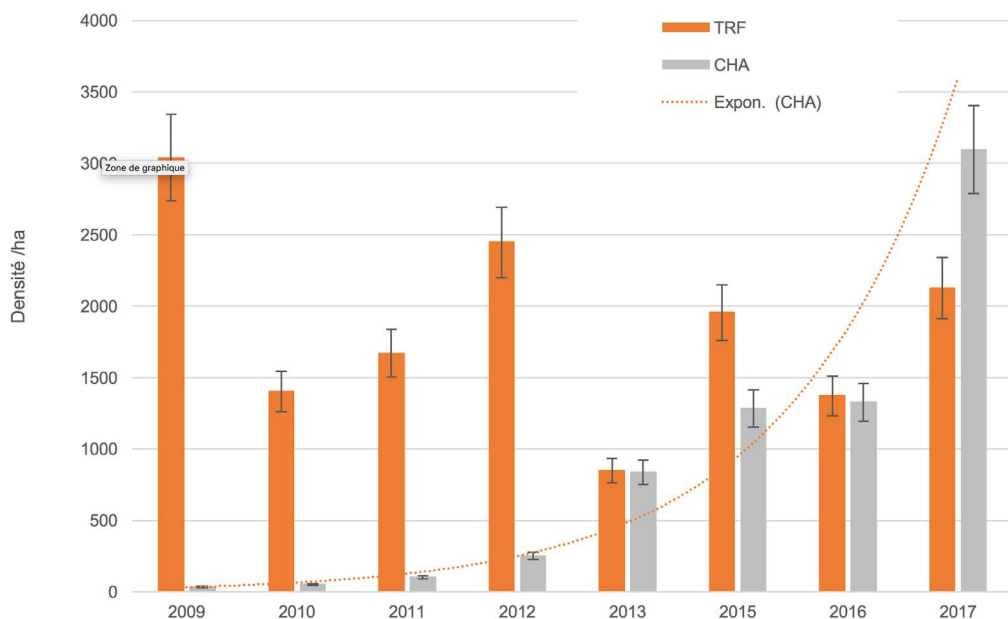
Pour l'instant, les évolutions les plus marquantes sont constatées sur la qualité biologique du tronçon court-circuité de Gréoux, influencé uniquement par le débit réservé. L'indice utilisé pour caractériser la qualité de l'eau est une note attribuée sur 20. Il se base sur la variété et la polluo-sensibilité des invertébrés présents, dont une large part constituée par des larves d'insectes. La qualité s'est améliorée depuis 2009 grâce à l'augmentation des richesses faunistiques. Les résultats montrent que la qualité du secteur s'est consolidée, menant à une classe bonne, voire très bonne obtenue systématiquement depuis 2012.



Évolution de l'indice biologique en aval de Gréoux-les-Bains

Les évolutions sont aussi très significatives d'un point de vue piscicole et au moins pour deux secteurs : l'aval de la restitution EDF à Castellane (moyen Verdon) et l'aval du barrage de Gréoux-Esparron (bas Verdon). Néanmoins, de multiples facteurs d'influence interviennent et sont difficiles à maîtriser et à séparer : alevinages, crues, pressions halieutiques, succès de la fraie, impact de la baignade et des activités touristiques, évolutions de pratiques...

Ces évolutions concernent le Chabot, petit poisson périalpin qui vit au fond du cours d'eau et inscrit en annexe II de la Directive Habitat Faune Flore. Le poisson semble s'être bien implanté au moins sur quatre stations sur les 6 suivies, avec un lien très probable avec l'augmentation du débit réservé.



Évolution des densités estimées de truites et de chabots en aval de la restitution EDF de Castellane sur le Verdon

Ces tendances devront donc être confirmées lors de la finalisation du suivi environnemental. Le bilan final des suivis permettra à la CLE de prendre des décisions sur les suites à donner.





LE PEUPELEMENT PISCICOLE DU VERDON, DE SA SOURCE À SA CONFLUENCE.

Auteurs de l'article :

- **Christian Peugeot** est inspecteur à l'Agence Française de la Biodiversité (AFB), il a passé une grande partie de sa carrière dans le Service Départemental des Alpes de Haute en poste sur le Verdon.
- **Rémi Chappaz** est professeur à l'Université Aix Marseille, il a soutenu une thèse sur les peuplements piscicoles de la retenue de Ste-Croix en 1986, toujours en lien avec le Verdon, il est membre du Conseil Scientifique du PNR du Verdon.



Parler des peuplements piscicoles du Verdon n'est pas chose aisée ; un cours de 165 km qui s'écoule avec de grandes variations de reliefs et de pluviométrie, un éloignement de la méditerranée et de son influence thermique plus ou moins marquée ; une pente de la rivière variable et enfin une gestion des retenues qui influencent l'oxygène dissous et le débit. Tous ces facteurs peuvent avoir une influence sur les peuplements piscicoles.

De plus, la construction de retenues, Castillon (1948), Chaudanne (1953) puis Ste Croix (1974), Quinson (1975) et Gréoux (1967) et plus en aval encore, le seuil de Gréoux (1967) et au niveau de la confluence, la retenue de Cadarache (1959) va également avoir une influence sur les peuplements originaux du Verdon.

1. HISTORIQUE DES CONNAISSANCES SUR LES POISSONS DU VERDON

De nombreuses études historiques sur les peuplements aquatiques de France existent, les données sont souvent disparates, liées à la proximité d'un laboratoire d'études. Georges Carrel (2015) fait une analyse très détaillée des cartes piscicoles réalisées sur le bassin du Rhône par Messieurs Dorier, Léger et Krietmann pendant plusieurs années. Malheureusement nous n'avons aucune information sur le Verdon – trop loin peut être.

Il faudra attendre les lois de protection de l'environnement de 1976 pour que l'on s'intéresse aux populations piscicoles du Verdon. Les premières études seront portées par le Centre technique du génie rural et des eaux et des forêts (CTGREF) et l'université Aix-Marseille pour le compte d'Électricité de France : il s'agit d'études sur des retenues, seuil de Gréoux par Alain Grégoire et collaborateurs, la vidange de la retenue de Chaudanne (Grégoire 1975), le schéma piscicole du Verdon avec les travaux de B. Rivier et B. Dumont (CTGREF, 1975), l'inventaire de la retenue de Ste-Croix (CTGREF, 1977) et les études réalisées sur l'ensemble des retenues dans le cadre de la thèse d'Alain Grégoire (1981). A. Kiener fera une synthèse de toutes les études CTGREF, en 1985, dans un ouvrage intitulé Au fil de l'eau.

Un peu plus tard, l'université Aix-Marseille déplace ses thèmes de recherche depuis Serre-Ponçon vers la retenue de Ste-Croix et plusieurs thèses seront réalisées sur la retenue : Chimie (El Halfa, 1988), Phytoplancton (D. Amrani, 1988 ; Bin Molé, 1987), Zooplancton (Bressac, 1985), peuplements piscicoles (Grégoire, 1981, Chappaz, 1986), et de nombreuses études sur la modélisation du fonctionnement lacustre, dans le cadre d'un programme du Centre national de la recherche scientifique (CNRS), le « Greco-lacs ». Aujourd'hui encore la thèse d'Alain Grégoire qui nous apporte des informations sur les peuplements hydrobiologiques de l'ensemble des retenues du Verdon et l'article d'Antoine Champeau et collaborateurs (1982) sur les conséquences du marnage font toujours référence dans le domaine de l'écologie lacustre.

Plusieurs espèces présentes historiquement peuvent retenir notre attention, l'Anguille, le Hotu, la Truite fario, le Chabot ainsi qu'une espèce ayant profité des plans d'eau, la Carpe commune.



L'Anguille, aujourd'hui absente du Verdon, est d'ailleurs très rarement rencontrée en Durance en amont du barrage de Mallemort. Kiener (1985) rapporte pourtant sa limite supérieure de répartition au niveau de Thorame-Haute vers 950 m, puis la présence de quelques individus isolés dans les retenues de Castillon et Chaudanne après la construction des barrages. Il souligne que l'espèce devrait disparaître suite à la construction des retenues.

Le Hotu est une espèce originaire des fleuves de l'Est, Rhin et Danube notamment. Il a colonisé le Rhône par le biais des canaux de navigation mis en eau dès le début de l'ère industrielle : il est mentionné à Lyon dès les années 1850, plus tard, il colonisera Durance et Verdon (Nelva, 1985). Ses fortes troupes inquiètent et génèrent des accusations mensongères, il serait consommateur de la fraie de nombreux poissons.

Très vite, un journaliste va se charger de faire mauvaise réputation à cet envahisseur : A. Andrieux tient une chronique hebdomadaire dans Rustica (voir n° 24 de juin 1937). Des pêches de destruction de l'espèce seront effectuées, y compris dans le bas Verdon, jusque dans les années 1980. Kiener (1985) rapporte que 9 tonnes en 1981 et 12 tonnes en 1982 seront détruites sur un linéaire de 12 km dans le bas Verdon.

Il est fort probable qu'en ces occasions, de nombreux toxostomes, espèce endémique et protégée, aient fait aussi l'objet de destructions car les juvéniles des deux espèces sont souvent difficiles à différencier. Par la suite, l'espèce a été rencontrée jusqu'à la retenue de Ste-Croix où un individu adulte a été capturé aux filets en octobre 1983, mais elle s'est raréfiée et semble ne pas s'être maintenue en amont de Gréoux comme l'attestent les pêches réalisées pendant l'été 2016 par la Maison régionale de l'eau (MRE) et l'Agence française pour la biodiversité (AFB).

La Truite fario, est une espèce hautement emblématique du Verdon puisque présente de l'amont jusqu'à la confluence avec la Durance !

Espèce très recherchée et protégée, elle a toujours fait l'objet de beaucoup d'attentions par les pêcheurs et gestionnaires : de nombreux alevinages ont été réalisés avec les connaissances de l'époque.

Depuis plusieurs années, ils ne sont plus systématiques, on s'intéresse aux milieux et aux moyens de les améliorer et s'il y a introductions, on s'intéresse à l'origine des truites introduites ; de même beaucoup de parcours se développent en no kill.

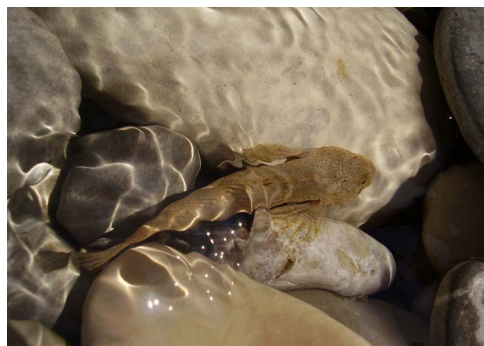
Une synthèse des études génétiques sur la truite réalisée à la demande des structures de gestion de la pêche est en cours. Les premiers résultats montrent une partition en trois « entités » différentes, la truite du haut Verdon jusqu'à la rive droite de la retenue de Ste-Croix, la truite de l'Est qui prend en compte les affluents rive gauche jusqu'à la retenue de Ste-Croix et la truite de l'Ouest, également présente sur le Colostre (Berrebi et Schikorski, 2017).

Sur la partie amont du Verdon, dénuée de discontinuité anthropique, une étude génétique spécifique sur la truite montre que, malgré les multiples repeuplements réalisés historiquement sur ces secteurs, sa population est caractérisée par un très faible taux d'introgression, elle est génétiquement très diversifiée, gage d'une bonne adaptabilité aux changements anthropiques et climatiques, avec le soupçon de deux lignées naturelles. Sur l'Issole, une de ces lignées constitue la grande majorité de la population de truites. Ces études récentes confortent les pêcheurs et gestionnaires à agir maintenant plutôt sur la préservation du milieu que sur le soutien halieutique des populations (Étude génétique du bassin du Verdon, Berrebi, 2013).



Le Chabot a vu son aire de répartition augmenter, sur le Verdon en aval de Castellane et dernièrement dans le Pesquier. Dans l'Issole, la limite de son aire remonte en altitude depuis les années 1985 où l'espèce était cantonnée à St-André-les-Alpes ; elle est rencontrée aujourd'hui à Thorame-Basse. Par contre cette espèce présente historiquement sur le Colostre a disparu depuis la fin du siècle dernier (Diagnose écologique du Colostre et de ses principaux affluents - TELEOS mars 2012).

L'espèce a été rencontrée avec de très grands effectifs lors de la vidange de Quinson en 1998, elle est encore présente dans cette retenue, plus spécialement au niveau des gorges de Baudinard : il ne s'agit pourtant pas d'une espèce caractéristique des milieux lacustres et cette adaptation à un milieu profond mériterait de s'y intéresser. **L'augmentation des débits réservés à la suite de la Directive cadre européenne a profité aux populations de Chabot sur le Verdon et en Durance.**



Chabot - auteur : Olivier Oller



Barbeau Fluvialite – auteur : Christian Peugot



Blageon – auteur : Christian Peugot



Truite fario - auteur : Guillaume Ruiz

La Carpe commune, rarement échantillonnée par les pêches au filet, est un cas particulier. Elle fut pêchée la dernière fois en 1999 sur Castillon, où elle fait l'objet d'une réglementation spécifique pour sa pêche de nuit depuis 2000. La présence de cette espèce est confirmée par les contrôles des pêcheurs sur les lacs de Castillon, Chaudanne et Ste-Croix (AFB et Fédération de pêche O4). **Elle semble avoir disparu des lacs de Quinson et d'Esparron, où les dernières observations par les inventaires piscicoles datent des années 1990.** La carpe du Verdon suscite néanmoins un attrait beaucoup plus faible pour les « carpistes » du fait de la forte représentation de l'espèce sur la retenue de St Cassien.

2. FRAGMENTATION D'HABITATS, PERTE DE CONNECTIVITÉ, LE VERDON EST UN EXEMPLE !

Aujourd'hui le Grenelle 2 a développé la « Trame verte et la Trame bleue ». Il s'agit de conduire une politique d'aménagement du territoire qui permette d'augmenter la circulation (connectivité) entre milieux de caractéristiques voisines, entre populations séparées, pour rétablir un échange d'individus, et donc un « échange de gènes » favorable à la biodiversité génétique. Le Parc, bien entendu, s'est engagé dans la démarche.

Le Verdon est fractionné par plusieurs grands barrages hydroélectriques. Sur certains de ses affluents ce sont les seuils des moulins, puis plus tard les prises d'eau agricoles qui fragmentèrent les cours d'eau. Citons le barrage de Quinson, actuellement construit en aval d'un barrage plus ancien, plus petit mais infranchissable, destiné à prélever de l'eau pour la ville d'Aix-en-Provence. Ce premier barrage de 1866 est visible lors des vidanges décennales de la retenue ; il le sera encore une fois en septembre 2018 pour la prochaine vidange. Il y a donc 150 ans que le Verdon est fragmenté.

L'Homme, conscient que barrages et seuils peuvent être infranchissables, a développé, autant que possible, les passes à poissons. Toutefois sur le Verdon de grands ouvrages encaissés n'ont pas permis l'implantation de passes à poissons à coûts raisonnables.

Parler des peuplements piscicoles nous invite à une présentation par milieux, qui tient compte d'une zonation amont-aval, mais aussi des efforts réalisés par les Fédérations départementales de pêche et protection des milieux aquatiques (FDPPMA) en termes de soutien à ces peuplements ou introductions. Ce n'est pas un exercice facile tant le Verdon est grand et les habitats et les pressions diversifiées. Nous choisirons de présenter les retenues puis le cours vif et les affluents principaux ».



Equipe de pêche électrique de l'ONEMA et de la Fédération de pêche, au Pont de Soleils auteur : PNRV

3. RETENUES DU VERDON, DE L'AMONT VERS L'AVAL

A. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE CES RETENUES

Plusieurs intérêts sont à l'origine de la création de ces grandes retenues : En premier lieu, le besoin en électricité mais également le besoin en eau potable. Cette ressource en eau représente aussi aujourd'hui un important soutien à l'agriculture et au tourisme.

En fonction des besoins pour ces différents usages, le niveau des retenues vari au cours de l'année : ces lacs réservoirs se remplissent au printemps avec la pluie et surtout la fonte des neiges puis sont progressivement vidés en hiver, avec les besoins importants en électricité. La différence entre le niveau maximal de la retenue et son niveau minimal constitue le marnage. Il peut être très différent d'une retenue à l'autre, 35 m à Castillon, 16 m à Ste Croix, 14 m à Chaudanne, 5 m à Quinson et 1,5 m à Gréoux.

Au niveau des berges, ces alternances eau/assec conduisent à une faible représentativité ou encore à une absence totale de végétation aquatique. Or en lac naturel, cette végétation aquatique favorise la reproduction des poissons (support de ponte et protection des juvéniles) et favorise plus généralement leur alimentation du fait de la présence de nombreuses proies (insectes, mollusques, vers) rencontrées dans les zones de bordure. Ainsi dans les retenues artificielles, l'alimentation, les zones refuge et les zones de pontes sont plus limitées, ce qui peut entraîner des problèmes de reproduction chez de nombreuses espèces (Champeau et al ; 1982).

Sur les lacs de barrage du Verdon, les prises d'eau se font par le fond ; du fait de leur mode de gestion, le temps de séjour de l'eau est faible, compris entre 7 jours (Quinson) et 280 jours (Ste-Croix) : dans ces retenues, les eaux sont en général oxygénées jusqu'au fond, même en période estivale ; une oxygénation qui favorisera le développement de nombreuses espèces de poissons sur la colonne d'eau. Les profondeurs maximales sont importantes, comprises entre 95 m (Castillon) et 50 m (Quinson) et permettent, en général, le développement d'une stratification thermique estivale : Une couche d'eau chaude en surface flotte sur une couche plus froide, plus lourde au fond ; les eaux de surface peuvent atteindre alors 26°C dans les retenues en aval des grandes gorges. Ce temps de séjour court est un avantage par rapport à un lac naturel ; quand ils existent, une partie des polluants sont évacués par l'aval et ce sont des eaux les plus fraîches qui alimentent la rivière en aval.

B. QUELS SONT AUJOURD'HUI LES PEUPELEMENTS PISCICOLES DES RETENUES ?

À la mise en eau des retenues, les espèces indigènes ont trouvé un espace vital inattendu, des réserves alimentaires et une faible concurrence pour l'espace et la nourriture : leur croissance et leur fécondité ont été rapides, la croissance numérique des populations importante et les captures par les pêcheurs nombreuses. Quelques années plus tard, l'équilibre a été modifié par l'introduction d'espèces d'eaux stagnantes, gardons, ablettes, brèmes, perches, tanches, carpes et brochets – on ne connaît d'ailleurs pas toujours précisément les dates de leurs introductions, certaines même semblent avoir été le fait d'introductions à la suite de pêches de sauvetage : quelques dizaines de kilogrammes d'ablettes en 1975-76 sur Ste-Croix (Belkior, Conseil supérieur de la pêche-Var, com. pers.). On peut noter la création de la commission interdépartementale de gestion des lacs du Verdon (arrêté du 23 septembre 1988), puis, en 2005, la réduction du nombre de captures à 6 salmonidés par jour et par pêcheur.

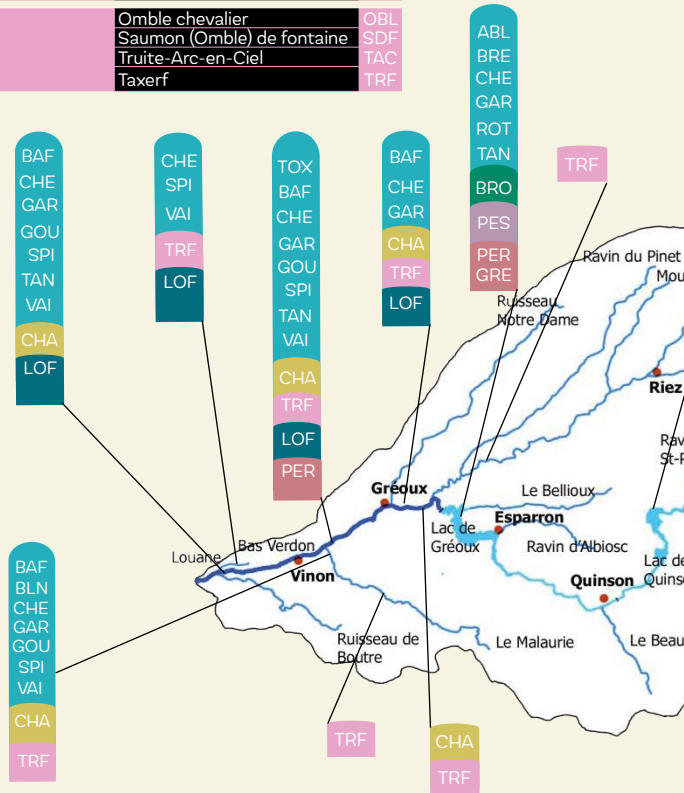
Sur les retenues, nous disposons aujourd'hui de deux types de sources permettant de suivre l'évolution du peuplement piscicole

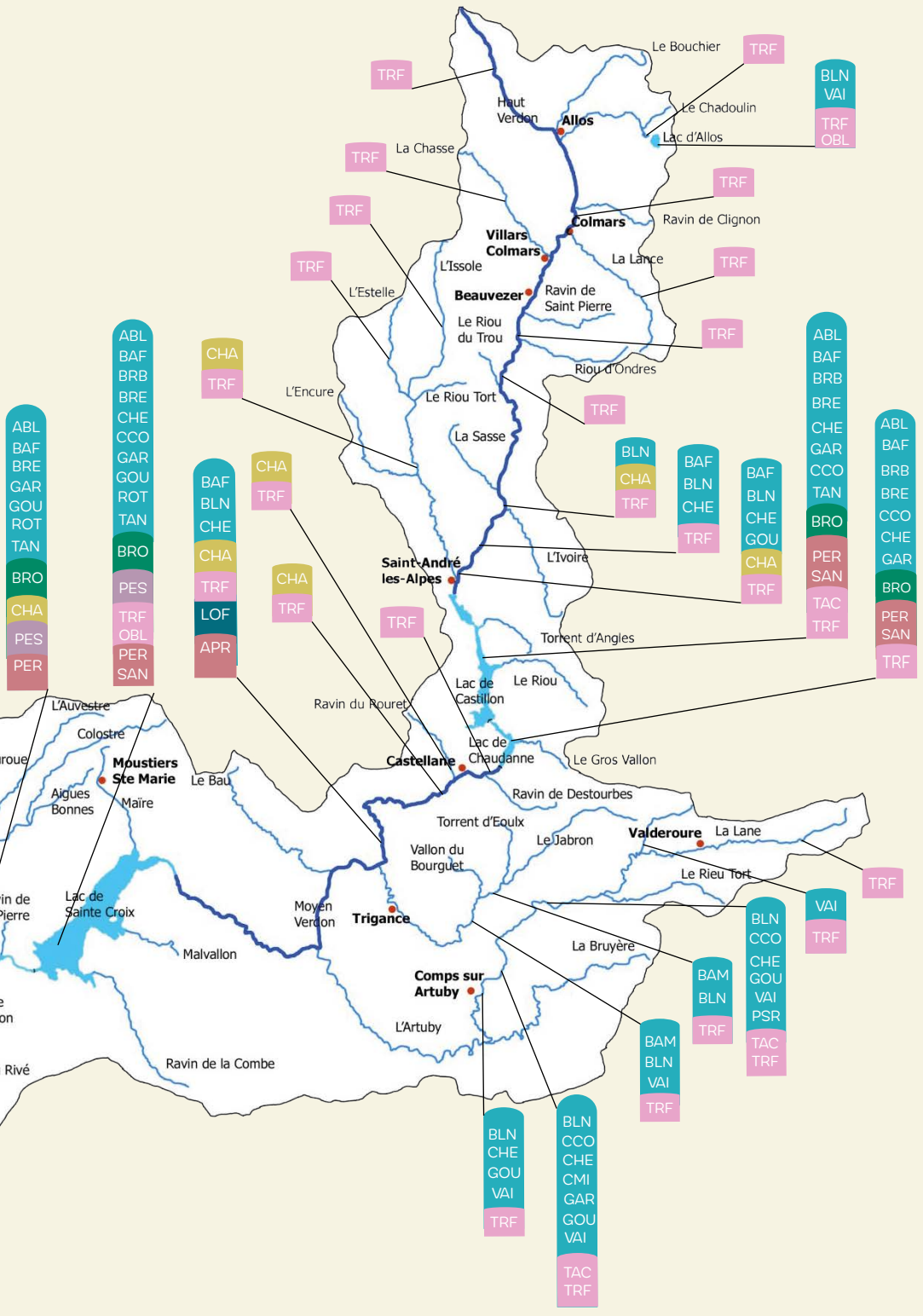
- **Les carnets de pêche aux engins**, analysés par l'AFB puis la FDPPMA du Var, puisque la pêche à la traîne a été rendue possible sur les lacs de Ste-Croix, Quinson et Esparron dès 1988 par arrêté ministériel du 5 mai 1986 (Dereuder & Blanc, 1999). Sur l'ensemble des lacs, on a totalisé jusqu'à 350 carnets de pêche par an. Bien évidemment, ils ne représentent qu'une partie des prélèvements puisqu'ils ne prennent pas en compte la pêche depuis le bord ;
- **Les pêches aux filets réalisées tous les 5-6 ans** par l'AFB sur les retenues dans le cadre du suivi de la Directive cadre sur l'eau (DCE).



Figure 1 - Répartition des espèces piscicoles sur le bassin versant du Verdon autour Christian Peugot

Famille	Espèce	Nom vernaculaire	Code
Centrarchidae	<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche-soleil	PES
Cottidae	<i>Cottus gobio</i>	Chabot	CHA
Cyprinidae	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF
	<i>Barbus meridionalis</i>	Barbeau méridional	BAM
	<i>Leuciscus (Telestes) soufia</i>	Blageon	BLN
	<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB
	<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE
	<i>Carassius carassius</i>	Carassin commun	CAS
	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO
	<i>Cyprinus carpio</i>	carpe "cuir"	CCU
	<i>Cyprinus carpio</i>	carpe "miroir"	CMI
	<i>Leuciscus (Squalius) cephalus</i>	Chevaine (selon taxref)	CHE
	<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU
	<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT
	<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR
	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	ROT
	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirin	SPI
	<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN
<i>Chondrostoma (Parachondrostoma) toxostoma</i>	Toxostome (Sofie)	TOX	
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI	
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	VAN	
Esocidae	<i>Esox lucius</i>	Brochet	BRO
Nemacheilidae	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF
Percidae	<i>Zingel asper</i>	Apron du Rhône	APR
	<i>Gymnocephalus cernua (cernuus)</i>	Grémille	GRE
	<i>Perca fluviatilis</i>	Perche	PER
	<i>Stizostedion (Sander) lucioperca</i>	Sandre	SAN
Salmonidae	<i>Salvelinus alpinus (umbla)</i>	Omble chevalier	OBL
	<i>Salvelinus fontinalis</i>	Saumon (Omble) de fontaine	SDF
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite-Arc-en-Ciel	TAC
	<i>Salmo trutta fario</i>	Taxerf	TRF





• **La retenue de Castillon (surface : 450 ha, altitude : 879 m, profondeur max. : 95 m, marnage : 35 m) :**

On note l'introduction du **Black-bass** après la vidange du lac en 1971. L'espèce n'a jamais été capturée dans les pêches aux filets maillants ni au cours des études du CEMAGREF en 1992, ni par l'ONEMA en 2010 et 2015.

La première introduction de **sandres** a été réalisée par le président de l'AAPPMA de Castellane, quelques individus en 1976 et 1977 (com. pers.) ; un carnassier qui représente aujourd'hui 4 % des captures réalisées dans les études.

L'introduction du **Goujon** est due aux pêches de transfert depuis le lac de Ste-Croix à la confluence de la Maire, en 1989 et 1990 par la Fédération Départementale des AAPPMA O4. Il représente aujourd'hui 3 % des captures réalisées.

Le peuplement est actuellement dominé par l'Ablette, le Gardon et la Brème qui représentent 86 % des individus capturés aux filets maillants par l'ONEMA en 2010.



Retenue de Castillon - auteur : F. Giletta

• **La retenue de Chaudanne (surface : 70 ha, altitude : 790 m, profondeur max.: 69 m, marnage : 14 m) :**

On se souvient de la vidange complète du lac de Castillon dans celui de Chaudanne en 1971, puis de la vidange complète du lac de Chaudanne en octobre 1974 : presque tous les poissons de la retenue ont été emportés en fin de vidange au moment où l'eau était la plus chargée en matières en suspension. Dans la nuit du 10 au 11 octobre, rapporte Grégoire (1981), « des milliers de gardons ont été retrouvés accrochés au branches des arbustes sur plus de 3 km dans le Verdon. De nombreux poissons seront retrouvés morts dans une vasque totalement désoxygénée, au pied du barrage (1 tonne de perches, gardons, chevaines et barbeaux) ». Le repeuplement de Chaudanne sera fait à partir de Castillon et par alevinages.

L'introduction de l'**Omble chevalier** (FDPPMA O4 en 1989) - sans succès -

L'introduction du **Goujon** par pêches de transfert depuis le lac de Ste-Croix - confluence Maire, (FDPPMA O4 en 1989 et 1990). L'espèce représente 11 % des captures réalisées par l'ONEMA en 2012.

Gardon, Ablette et Goujon sont les espèces dominantes, elles représentent 81 % des captures, la Perche 6 % et le Sandre 1 %.



• **La retenue de Ste-Croix**
(surface : 2200 ha, altitude : 477 m, profondeur max. : 83 m, marnage : 16 m) :

Suite à la proposition de la commission de gestion, la retenue est reclassée en 2^e catégorie piscicole le 30 octobre 1989.

Un élevage de **truites fario** (issues de la pisciculture de Brassac - Tarn) a été réalisé en cages flottantes pendant une période de deux mois par G. Olivari ; ces truites qui mesuraient entre 80 et 95 mm ont été introduites en aval du pont du Galetas le 3 octobre 1988 après ablation de la nageoire adipeuse. Deux d'entre-elles seront reprises, l'une le 7 avril 1990 par P. Corona (560 mm pour 1,3 kg) et la seconde le 15 avril 1990 par M. Gautier (570 mm, 1,7 kg) confirmant une forte croissance dans la retenue (Com. J-P Dereuder).

Par la suite, les alevinages sont devenus pérennes avec un soutien annuel des populations de truites fario en de truitelles d'automne à partir de 1987 : 60 000 truitelles, dont un lot de 20 000 sont mises en pré-grossissement dans le plan d'eau sur la Maire, sont introduites chaque année dans la retenue. La pêche à la truite se fait essentiellement de mars à mai. Par la suite, les eaux sont trop chaudes.

On note l'apparition du Brochet à la suite de la vidange de Chaudanne et des opérations de repeuplement de l'AAPPMA de Moustiers (1978, 1991 et 1998). La capture du brochet par la pêche aux engins décollera en 1997 avec une soixantaine d'individus pour atteindre près de 500 individus par an en 2002.

L'Omble chevalier fera l'objet d'introduction en 1989 puis de 1992 à 1995 ; les captures par pêche à la traîne de cette espèce décollent à partir de 1997 pour atteindre un pic en 1998 avec plus de 800 individus capturés. Aujourd'hui les captures sont moins nombreuses et les pêcheurs rapportent en 2014, à la commission de gestion, que les tailles de captures sont plus petites. A. Loisel, (doctorante à l'IRSTEA) s'intéresse aux modifications de température et à ses conséquences sur la reproduction de l'omble dans la retenue.

On note aussi, l'apparition du **sandre** dans les années 2012-2013 ; depuis 2015, les carnets de pêche à la traîne mentionnent des captures. L'origine de cette espèce peut être due à une introduction "sauvage" ou au transfert depuis le barrage de Chaudanne lors des déversés par l'évacuateur de crue.

Aujourd'hui le peuplement est dominé par le Gardon, puis l'Ablette, la Perche fluviatile, la Brème bordelière et le Goujon (pêches scientifiques de l'ONEMA du 16 au 19 septembre 2013).

Il faut mentionner que la retenue a fait l'objet de deux campagnes d'écho-sondage-écho intégration nocturnes (Aix-Marseille Université et INRA de Thonon-les-Bains) le 14 avril 1987 et le 14 juin 1988 dont les résultats ont été publiés (Guillard et al. 1989).
Ninveroxim auderareora te contius; nimovid iciemus consultum ut factuis



Retenue de Sainte-Croix - auteur : PNRV

• **La retenue de Quinson**
(surface : 190 ha, altitude : 404 m, profondeur max : 50 m, marnage : 5 m) :

Une retenue un peu particulière qui est en fait un bassin de compensation de la retenue de Ste-Croix. Les turbinages réguliers modifient sans cesse la température : de ce fait, la stratification thermique est peu marquée mais l'oxygène abondant (> 5mg.L-1).

Suite à la proposition de la commission de gestion, la retenue est classée en 2^e catégorie piscicole le 22 décembre 1993.

La retenue subit par ailleurs des vidanges décennales en 1988, 1998, 2008 et septembre 2018, et même si la vidange n'est pas totale, le peuplement où domine le gardon (52 %) et l'ablette (21 %) - étude ONEMA 2011 - a du mal à se reconstituer entre les vidanges. Les pêches de sauvetage réalisées au moment des vidanges montrent un peuplement un peu différent des pêches aux filets : les perchettes et jeunes brochets représentent respectivement 10 % et 70 % des poissons qui font l'objet des sauvetages. Lors du sauvetage de la vidange 2008 conduit par la FD AAPPMA 83, c'est 14 845 poissons, qui feront l'objet d'un sauvetage.

On note deux introductions particulières sans effet majeur puisque les deux espèces sont absentes des dernières études :

- **Introduction de l'Omble chevalier** de 1987 à 1989, de rares individus seront capturés aux engins en 1993, 1996 et 1997.
- **Introduction de truites arc en ciel** puis de truites hybrides (Coho x Arc en ciel) avec de fortes captures aux engins en 1995 (180 individus/an). Par la suite, la Truite arc en ciel sera introduite en individus sur-densitaires - en 2001 par exemple 474 « arc » seront capturées aux engins pour un poids de 498 kg. Puis, les introductions seront poursuivies pour la pêche de loisir.

• **La retenue d'Esparron**
(surface : 355 ha, altitude : 365 m, profondeur max : 50 m, marnage : 1,5 m) :

Introduction de brochets de 1985 à 1989. L'étude de l'université (Brun et al.1990) atteste alors de l'importance du brochet dans la retenue. Les captures à la traîne vont cependant s'effondrer à partir de 1993 pour ne reprendre qu'à partir de 2001 avec le retour des alevinages faisant suite aux demandes formulées, en commission interdépartementale de gestion, par le représentant des pêcheurs à la traîne (décembre 2000). En 2003, 250 brochets seront capturés à la traîne, c'est-à-dire un nombre très voisin des captures réalisées en 1991.

Introduction de sandres de 1986 à 1989 puis de 1994 à 1999, très peu d'individus pourtant seront capturés aux engins (maxi 10 en 1998).

Le peuplement est aujourd'hui représenté par 11 espèces dont trois espèces carnivores, avec, par ordre d'abondance, la Perche, le Brochet et l'Omble chevalier ; le Gardon domine le peuplement, il représente 74 % du peuplement lors de l'étude 2010 et l'on note la présence d'une espèce invasive, **la Perche soleil**.



4. LA RIVIÈRE VERDON

Avec l'importance des aménagements hydroélectriques réalisés, une question se pose : « mais que représente encore la rivière ? ». Actuellement, les 5 retenues représentent 52 km du cours vif, soit presque un tiers du Verdon, il s'agit de valeurs très importantes pour un cours d'eau.

Le Verdon est une rivière aux eaux fraîches avec une transparence importante, la qualité des eaux est en général bonne avec de légères modifications lors des afflux touristiques. Plusieurs thermomètres, gérés par le Parc naturel régional du Verdon, enregistrent des valeurs horaires de température sur le cours du Verdon. Dans les grandes gorges, au niveau de la passerelle de l'Estellier, la température annuelle varie entre 5 et 19°C, plus rarement 20°C, nous sommes typiquement dans la zone à truite (classification selon Huet). La température est plus basse en amont des grandes gorges, tandis qu'elle est plus élevée en aval de Gréoux : **la présence des truites sur la totalité des eaux vives du Verdon confirme la possibilité pour l'espèce de réaliser son cycle vital.**

Avec l'établissement d'un contrat rivière en 2008 puis d'un SAGE approuvé en 2014, sur les parties du cours d'eau impactées par la gestion hydraulique des retenues, le Verdon a fait l'objet d'une augmentation significative des débits réservés depuis 2011 (aval Chaudanne de 0,5 à 3m³s⁻¹ et 1,5 m³s⁻¹ du 01/07 au 15/09 - Aval Gréoux de 1,0 à 2,2 m³s⁻¹ toute l'année). Un suivi de l'augmentation des débits réservés par EDF est encore en cours et l'état actuel des populations en tient compte (cf. figure 1 : - Répartition des espèces piscicoles sur le bassin versant du Verdon).



Le Verdon vu du ciel - auteur : F. Gerin-Jean

L'évolution des populations piscicoles par secteur tant sur leur diversité que sur la biomasse pourrait être corrélée localement avec les modifications progressives des milieux (crue 1994, politique de travaux lourds de confortement de berges, absence de transport solide sur les tronçons aménagés) qui se cumulent avec des facteurs plus généraux comme le réchauffement climatique et les nouveaux intrants chimiques (perturbateurs endocriniens, nouvelles substances médicamenteuses persistantes, nanoparticules) ayant des effets supposés sur la chaîne alimentaire.

Actuellement, les pratiques d'intervention des gestionnaires de la pêche évoluent en faveur du milieu avec des opérations de réhabilitation des frayères, du rétablissement des continuités, la gestion patrimoniale se propage avec l'arrêt des alevinages systématiques, les parcours no-kill et l'augmentation des tailles de capture deviennent des moyens de préservation des populations.



Les peuplements de rivière sont très différents des peuplements ichtyologiques rencontrés dans les lacs, certaines espèces peuvent fréquenter alternativement les deux milieux et d'autres seront plus spécifiques à un milieu donné, rivière ou retenue.

Dans le cours vif du Verdon, nous disposons des données issues des pêches électriques réalisées par AFB dans le cadre du Réseau hydrobiologique et piscicole (RHP), des pêches de suivi de la Directive cadre européenne sur l'eau (DCE), ainsi que des pêches réalisées dans le cadre d'études plus spécifiques sur certaines espèces, notamment l'apron. L'apron ne sera pas évoqué ici dans la mesure où un article lui est consacré.



Chabot - auteur : Philippe Baffie



Vairon - auteur : Christian Peugot



Carpe - auteur : Olivier Oller



Omble chevalier - auteur : Olivier Oller



Le haut-Verdon en crue vu du ciel - auteur : F. Gerin-Jean

Le Verdon est aussi connu pour ses affluents, certains sont temporaires en phase estivale, ou s'assèchent complètement. **Il faut citer les affluents aux eaux fraîches où la Truite fario domine, parfois accompagnée du Chabot : l'Estelle, la Chasse, la Lance, le Chadoulin, le Bouchier, l'Issole, et des affluents plus importants qui présentent un peuplement plus diversifié, la Maïre, l'Artuby, le Jabron, le Colostre et le Malaurie. Dans ces derniers affluents, la truite est accompagnées de Cyprinidés d'eau vive, Barbeau fluviatile, Blageon, Vairon, Chevaine et parfois Barbeau méridional.** À noter dans l'un de ces affluents, la présence du Pseudorasbora (pêche d'inventaire, FDPPMA du Var le 25 août 2011 à La Martre dans l'Artuby), une espèce invasive introduite par des alevinages ou comme vif par des pêcheurs. Dans les années 1990, une nouvelle espèce a également été recensée dans l'Artuby, quelques articles lui seront consacrés dans les quotidiens régionaux, il s'agit du Pachychilon (*Pachychilon pictum*) ou Gardon d'Albanie introduit par l'association de pêche du camp de Canjuers avec un lot de goujons des Balkans : entre mai et juin 1996, une quarantaine d'individus seront capturés, de taille comprise entre 80 et 160 mm. L'espèce semble avoir disparu aujourd'hui.

Le Colostre, affluent rive droite du bas Verdon, est un cours d'eau dont le lit a été profondément modifié depuis le XIX^e siècle. Il est équipé de 89 seuils dont plus d'une dizaine sont infranchissables et 90 % du linéaire étudié est caractérisé « dégradé » (Bonviller et al. 2013). Le lit a été rectifié, il est souvent ceinturé de merlons et de ronciers et la ripisylve s'est appauvrie ; après la traversée de trois villages, la qualité de l'eau est médiocre. Le Parc naturel régional du Verdon développe une démarche de réhabilitation du lit dont on ne verra les résultats que dans quelques années. Son peuplement actuel n'est plus constitué que de la Truite Fario.

L'Artuby, principal affluent rive gauche du Verdon, coule pour sa plus grande partie dans le Var, son affluent principal, la Lane, est situé dans les Alpes-Maritimes. Des pertes karstiques sur son cours alimentent le réseau souterrain de Canjuers dont la résurgence principale est Fontaine l'Evêque, aujourd'hui noyée dans le lac de Sainte-Croix. Ces pertes sont la cause de son assèchement partiel en période estivale au niveau du hameau de Chardan. Il traverse en outre le camp militaire de Canjuers dont l'accès est réglementé. De ce fait, la partie basale de ce cours d'eau est peu anthropisée, il débouche dans le Verdon au niveau des grandes gorges : au moment des crues, le niveau peut monter très rapidement. Les espèces présentes sont par ordre d'abondance croissante : la truite, le vairon, le chevaine, le blageon et le goujon.

Le Jabron, en amont du hameau de Jabron, abrite le Barbeau méridional, la Truite Fario, le Vairon et le Blageon. En aval de Trigance, il s'assèche l'été vers sa confluence.

La Maïre est une petite rivière qui traverse Moustiers-Ste-Marie et qui débouche en queue de retenue du lac de Ste-Croix. Un petit barrage en travers de son lit, établi par EDF pour la commune au temps de la construction du barrage de Ste-Croix, forme un petit lac. Ce dernier constitue un obstacle à la continuité écologique entre les populations piscicoles aval et amont de la Maïre. En amont, on ne trouve que la Truite Fario et le Chabot. En aval, des espèces provenant du lac de Ste-Croix peuvent remonter le cours d'eau une partie de l'année, comme le Chevaine, le Barbeau fluviatile, la Perche, le Goujon, en accompagnement de la Truite fario et du Blageon, présents naturellement.

CONCLUSION

Que voilà un sujet complexe, traité avec plus ou moins de réussite en quelques pages. Beaucoup pointeront du doigt des oublis ou des erreurs, ils auront raison, le sujet est bien vaste. Une rivière qui s'écoule sur plus de 2000 m d'altitude décline des habitats bien différents. L'homme a une influence plus ou moins directe sur ces habitats, par le biais de ses activités hydroélectriques, agricoles, pastorales ou touristiques.

Toutefois, il faut noter l'absence d'industrie polluante sur le cours du Verdon. Dans l'ensemble, les eaux sont de bonne qualité, les retenues du Verdon servent pour l'eau potable, l'électricité, l'agriculture, le tourisme, et même dans la lutte contre les incendies - il faut savoir gérer avec soin cette richesse.

Les poissons dans tout ça, c'est quand même le thème de l'article ? **Une vingtaine d'espèces de poisson peuple le Verdon :**

- Des espèces autochtones comme l'Apron du Rhône, le Chabot, la Truite Fario, le Chevaine, le Barbeau méridional, le Barbeau fluviatile, le Vairon ou encore le Toxostome, dont certains méritent une attention particulières d'après les directives européennes ;
- Des espèces introduites, qui ont bien réussi comme le Gardon, l'Ablette, le Goujon, la Perche et le Brochet ;
- Des espèces introduites non adaptées et qui nécessitent encore un soutien important comme la Truite arc-en-ciel.



Barbeau méridional – auteur : Christian Peugot

En près de 40 ans, nous avons connu cette évolution des mentalités autour de la gestion des poissons ; la rivière, la retenue ne sont plus des réservoirs que l'on vide par la pêche et qu'il faut remplir par les alevinages. De même, à chaque milieu, à chaque retenue, correspondent des espèces mieux adaptées que d'autres : les introductions peu justifiées sont abandonnées, les régimes alimentaires sont étudiés pour éviter les concurrences entre espèces. Avec la progression de la connaissance, le Parc du Verdon, Électricité de France, l'Agence de l'eau, l'Agence française de la biodiversité et les gestionnaires de la pêche participent à cette transformation avec le souci du respect des équilibres existants. Cependant, l'introduction volontaire d'espèces invasives devient un sujet très préoccupant, le gobie à taches noires et le black bass, par exemple, ont été récemment signalés sur la retenue de Ste-Croix ; leur développement peut entraîner à court terme la disparition d'espèces endémiques à haute valeur patrimoniale



BIBLIOGRAPHIE

- Argiller C. et al., (2000). « Étude ichtyologique et diagnose rapide de la retenue de Castillon ». *Rapport CEMAGREF*, 25 p.
- Gilles A., Costedoat C., B. Barascud, Voisin A., Banarescu P., Bianco P.G., Economidis P.S., Marić D., & Chappaz R., (2010). « Speciation pattern of Telestes souffia complex (Teleostei, Cyprinidae) in Europe using morphological and molecular markers ». *Zoologica Scripta*, 39 : 225-242 pp.
- Brun G., Chappaz R. & Olivari G., (1990). « Modifications in habitats use and trophic interrelationships in the fish fauna of an oligotrophic artificial lake : Sainte-Croix ». *Hydrobiologia*. 207: 197-207 pp.
- Dereuder Jean-Paul et Blanc Jean-Marie, (1999). « Analyses des données piscicoles fournies par les carnets de pêche à la traîne de 1988 à 1997 ». *Rapports de la BD O4 du Conseil Supérieur de la Pêche*. 9 p.
- Pont D., Chappaz R., Brun G. & Champeau A., (1989). « Interactions zooplancton-poissons dans une retenue oligotrophe de mise en eau récente ». *Revue Internationale des Sciences de l'Eau*, 2 : 777-792 pp.
- Chappaz R., Brun G. & Olivari G., (1990). « Les facteurs de développement du gardon *Rutilus rutilus* (L.) introduit dans une retenue récente: analyse des paramètres mésologiques et biologiques ». *Comptes rendus Académie des Sciences, Paris*, t. 309 Série III : 27-33 pp.
- Grégoire A., (1981). « Contribution à l'étude hydrobiologique d'une rivière aménagée le Verdon ». 213 p + *fascicule spécial figures & tableaux. Thèse d'État. Aix-Mille I* : 172 p
- BRESSAC Yvonne, (1984). « Le zooplancton des lacs de barrage. Les retenues du Sud-Est de la France. Influence des arrivées d'eau et de la qualité du seston sur la structure spatiale du peuplement ». 1984. 144 p.
- Champeau A., Gregoire A. & Brun G. « Le peuplement piscicole des lacs artificiels du Verdon ». *Annls. Limnol.* (1979). 14 (3) 245-271 pp.
- Millieroux G., Gregoire A. & Champeau A., (1981). « Les populations de diatomées d'une rivière à débit régulé: le Verdon ». *Annls Limnol.* 17 (1): 63-77 pp.
- Champeau A. and al., (1982). « Les retenues hydro-électriques du Verdon : Impact sur la rivière, Conséquences du marnage ». *Bull. Ecol.*, 13 : 203-239 pp.
- Chappaz Rémi, Brun Guy & Olivari Georges, (1990). « Contribution à l'étude du régime alimentaire, de la croissance et de la fécondité de la Perche *Perca fluviatilis* dans un lac oligotrophe de région tempérée ». *Revue des Sciences de l'eau*, 2, X : 95-107 pp.
- Chappaz Rémi, Brun Guy & Olivari Georges, (1989). « Données nouvelles sur la biologie et l'écologie d'un poisson Cyprinidé peu étudié, *Chondrostoma toxostoma* (Vallot, 1836). Comparaison avec *Chondrostoma nasus* (L. 1766) ». *Comptes rendus Académie des Sciences, Paris*, t. 309, Série III. 181-186 pp.
- Vaquer A. & Champeau A., (1991). « Spatial distribution of aquatic macrophytes in the recent reservoir of Ste Croix ». *Hydroécol. Appl.* 1: 127-145 pp.
- Guillard Jean, Gerdeaux Daniel, Brun Guy & Chappaz Rémi., (1992). « The use of géostatistics to analyse data from an echo-integration of fish stock in Lake Sainte-Croix ». *Fisheries Research*, 13: 395-406 pp.
- Kiener A., (1985) « Au fil de l'eau... en pays méditerranéens ». *Aubanel éd. 1985*. 307 p.
- CTGREF, (1979). « Aspects piscicoles du Verdon et problèmes d'aménagement et suggestions ». *Rapport au Ministère de l'Agriculture. Étude n°16 3 fasc.* Groupement Aix-Marseille 65 p + photographies.
- Bonviller A., (2013). « Étude de définition d'un programme d'aménagement pour le rétablissement des continuités piscicoles et sédimentaires du Colostre ». *Rapport ISL Ingénierie au PNRV N° RA 12.F-014* : 46 p + annexes.
- CTGREF, (1977). « Inventaire piscicole de la retenue de Ste-Croix ». *Rapport au Ministère de l'Agriculture*. Groupement Aix Marseille.
- Gregoire A., (1975). « Effet de la vidange décennale de la retenue de Chaudanne sur les biocénoses du Verdon ». *Revue Biol ; Ecol. Med.* 2 (2) : 15-26 pp.
- Grégoire A., Rivier B., Rondon J., (1975). « Étude écologique d'une petite retenue : le seuil de Gréoux ». *Rev. Biol. Ecol. Médit.* 2 (3) : 19-34 pp.



L'APRON DU RHÔNE (*ZINGEL ASPER*), UN POISSON EMBLÉMATIQUE

RÉPARTITION, PROSPECTION ET DYNAMIQUE DE LA POPULATION DU VERDON.

Auteurs de l'article :

- Rémi CHAPPAZ, professeur d'écologie, membre du conseil scientifique du Parc naturel régional du Verdon. Aix Marseille Univ, Irstea, UMR RECOVER, Marseille
- Vincent DUBUT, ingénieur de recherche en biologie de la conservation Aix Marseille Univ, Avignon Univ, CNRS, IRD, UMR IMBE, Marseille

L'apron, espèce emblématique, est responsable dans le Verdon de bien des réunions, parfois tendues, entre les différents usagers et les partenaires de la gestion et de la protection des milieux. Il faut dire que le Verdon est un milieu hautement symbolique : ses grandes Gorges qui attirent de nombreux visiteurs, une structure géologique façonnée par la rivière. Une rivière autrefois plus puissante qui a mangé les roches pour s'enfoncer profondément et qui s'écoule entre les blocs tout en bas. Un débit perturbé par des aménagements anthropiques (la retenue de Chaudanne en amont et celle de Sainte-Croix en aval), des panneaux d'information qui rappellent à tous les dangers de s'aventurer dans une rivière à débit régulé. Dans l'eau, des espèces de poissons endémiques qui bénéficient de protection au niveau français et européen. L'apron fait partie de ces espèces et nous allons tenter de faire une petite synthèse des informations disponibles sur l'espèce dans le Verdon.

1. INTRODUCTION

L'apron du Rhône (*Zingel asper* L.) est un poisson de la famille des Percidés, endémique du bassin du Rhône (photo 1). Jusque dans le premier tiers du XX^e siècle, l'apron était présent sur l'ensemble du bassin du Rhône, incluant le cours principal du fleuve et la majorité de ses affluents (Boutitie, 1984 ; Olivier et al., 2009). Aussi, en 1938, un maître cuisinier décrivant sa chair comme « fort succulente » pouvait encore écrire : « [l'apron] abonde dans le Rhône et tous ses affluents » (Montagné, 1938 ; p. 88). À partir de la première moitié du XX^e siècle, l'apron va perdre presque 90 % de son aire de répartition historique. Cette diminution drastique est liée à une pression toujours croissante des activités humaines en lien principalement avec l'aménagement et l'exploitation des cours d'eau. Fragmentation de l'habitat par des barrages et des seuils, perturbation de l'hydraulique et de la géomorphologie naturelles des cours d'eau

et uniformisation des habitats de rivière (Mari et al., 2002). Cette espèce est aujourd'hui restreinte à quelques groupes de populations qui ne sont pas en connexion biologique (Georget et al., 2009), c'est-à-dire qui ne peuvent pas échanger de migrants. (i) dans le sous-bassin de l'Ardèche, (ii) sur la Loue dans le sous-bassin du Doubs, (iii) dans la Durance, le Buëch, l'Asse et la Bléone, (iv) sur le cours de Doubs suisse, et (iv) dans les Grandes Gorges du Verdon.



Apron des grandes Gorges du Verdon
Auteur : Rémi Chappaz

La chute de ses effectifs et la diminution drastique de son aire de répartition ont justifié que l'apron soit aujourd'hui :

- protégé au niveau national,
- classé « en danger critique d'extinction » sur la liste rouge des espèces menacées en France (en tête de liste tous taxons confondus ; Savoré-Soubelet, 2015),
- considéré comme « en danger d'extinction » dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse,
- inscrit aux annexes II et IV de la Directive européenne « Habitats-Faune-Flore »,
- inscrit à l'annexe II de la Convention de Berne,
- considéré comme « gravement menacé d'extinction » au niveau mondial (IUCN 2013).

Cette espèce a bénéficié de deux programmes LIFE (LIFE Apron I et LIFE Apron II) lesquels ont été pilotés par Réserve naturelle de France (1998-2001) et le Conservatoire d'espaces naturels Rhône-Alpes (CEN RA ; 2004-2010), ainsi que d'un Plan national d'action (PNA ; 2011-2016) piloté par la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes et coordonné par le CEN RA. La plupart des résultats présentés ici sont issus de travaux réalisés dans le cadre d'actions inscrites au PNA Apron du Rhône.

2. L'APRON DANS LE VERDON

• 2.1 RÉPARTITION HISTORIQUE

Retracer la répartition historique d'une espèce n'est pas chose facile. Les informations nécessaires sont en effet disséminées dans la bibliographie scientifique (quand elle existe), mais aussi les dires des pêcheurs et des naturalistes (il faut alors faire confiance à la mémoire et à la capacité à déterminer les espèces). En milieu aquatique, la turbidité, la profondeur, une mobilité très variable des espèces sont autant d'éléments qui vont compliquer la détermination et description d'une espèce.

Historiquement, l'apron était présent dans le Verdon au moins entre le Grand Canyon et la confluence Durance-Verdon (Boutitie, 1984). S'il est probable que l'espèce ait occupé ce linéaire autrefois, il est difficile de s'appuyer sur des données fiables de répartition : le premier barrage de Quinson de 1866 (Bordes, 2005), par exemple, constituait déjà un ouvrage infranchissable et depuis, plusieurs barrages sont venus fragmenter et modifier le milieu. Néanmoins, l'apron n'a plus été observé dans le Verdon depuis 1977 (captures lors d'échantillonnages dans la retenue de Quinson) puis 1979 (présence dans les gorges de Baudinard et la partie inférieure du Grand Canyon) (Ctgreg, 1979 ; Beadou & Langon 2004). Kiener (1986) fait état de la présence de

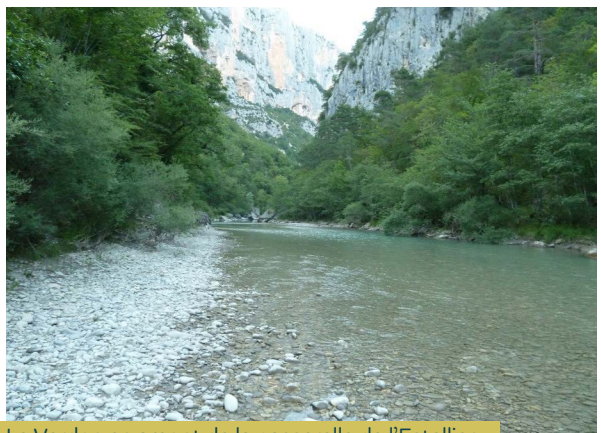
l'apron dans la zone aval du grand canyon et dans les gorges de Baudinard, tout en annonçant sa prochaine disparition du fait de la mise en eau de la retenue de Quinson.

Jusqu'en 2000, l'espèce était donnée pour disparue du Verdon lorsqu'un groupe de randonneurs « éclairés » découvre l'espèce pendant un moment de repos entre deux blocs à la fin du mois de juillet 2001. En effet, M. Niveau, D. Pedretti, S. Charretier, M. Carrer et L. Mayer, en randonnée familiale, redécouvrent alors l'espèce de façon fortuite dans les grandes gorges. Il faut noter que cette partie du Verdon ne faisait pas l'objet de prospections systématiques du fait de la difficulté à acheminer du matériel de pêche électrique dans les gorges (Roche & Niveau 2006).

• 2.2 RÉPARTITION ACTUELLE

Depuis 2006, des recensements de ce poisson sont effectués à l'initiative des brigades départementales de l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) sur différents tronçons des grandes gorges du Verdon afin de mieux caractériser son aire de répartition et les effectifs de sa population. Ces recensements incluent principalement des prospections nocturnes avec lampe frontale. Ce type de prospection nécessite un minimum de matériel et de conditions : une bonne lampe frontale (min. 100 lumens), des cuissardes ou une combinaison en néoprène de type waders (les eaux sont assez froides dans le Verdon), puis il s'agit d'attendre la nuit. La rétine de l'apron, comme celle des chats, est entourée d'une membrane réfléchissant la lumière. Lorsque le faisceau de la lampe frontale croise les yeux de l'apron, ces derniers renvoient une lumière blanc-vert qui permet de le repérer assez facilement. Les prospecteurs se mettent en ligne perpendiculairement à la rivière de façon à couvrir toute la largeur du lit et la parcourent de l'aval vers l'amont, le faisceau de la lampe en direction de l'eau. Les anciens expliquant aux nouveaux venus les astuces pour marcher en rivière de nuit et comment se positionner pour optimiser leurs chances de localiser un apron. L'efficacité de cette méthode de prospection est assez importante, mais elle dépend largement des conditions de débit et de turbidité : elle nécessite un débit faible, des eaux limpides et une surface de l'eau peu perturbée par le souffle du vent. Même dans de très bonnes conditions, les aprons de petite taille (notamment les jeunes de l'année), ceux évoluant dans de trop grandes profondeurs ou au niveau des ruptures de pentes (qui distordent les faisceaux lumineux) restent difficiles à repérer. Les prospections de nuit nécessitent au moins six personnes qui soient capables de marcher la nuit en rivière, dont une partie au moins rompue au repérage des aprons.

Après plusieurs nuits de prospections depuis la queue du lac de Sainte-Croix jusqu'à lieu-dit « Pont de Soleils » et grâce à l'investissement des agents de l'ONEMA, la répartition de l'apron dans le Verdon a pu être précisée. Jusqu'en 2011, sa présence est connue sur 18 km de cours d'eau dans le Moyen Verdon, entre les lieux-dits « Couloir Samson » (Rougon) et « Maireste » (La Palud-sur-Verdon). Par la suite, différentes opérations de suivi réalisées par l'ONEMA confirmeront que l'espèce a disparu depuis la retenue de Cadarache jusqu'à la retenue de Sainte-Croix. En outre, deux stations d'études seront identifiées pour effectuer des suivis réguliers de la population, la zone de l'Estellier (Figure 2) en amont de la passerelle et une zone à l'aval du Couloir Samson.



Le Verdon en amont de la passerelle de l'Estellier
Auteur : Rémi Chappaz

Puis, le 1^{er} septembre 2011 lors d'une pêche d'inventaire, un apon est capturé par l'ONEMA à l'amont de son aire de répartition jusque-là avérée, au lieu-dit Pont de Soleils. Cependant, plusieurs suivis réalisés par la suite dans ce secteur par l'ONEMA se montrent infructueux. En 2016 et 2017, sous maîtrise d'ouvrage du CEN RA puis de l'Agence française pour la biodiversité (AFB), une nouvelle technique basée sur la détection d'ADN dans le milieu, a été appliquée à ce secteur du Verdon (SPYGEN, 2016). Cette méthode dite de l'ADN environnemental, consiste à faire passer une grande quantité d'eau sur un filtre qui va retenir l'ADN libéré par les poissons dans l'environnement. Cet ADN pourra ensuite être détecté au laboratoire par des techniques de biologie moléculaire (ex : Civade et al., 2012). Cette méthode a été appliquée pour détecter l'ADN d'apon au niveau de 8 points d'échantillonnage répartis de l'amont immédiat du couloir Samson à l'amont de Castellane. Cette étude a permis de confirmer la présence de l'apon et d'identifier un secteur dans lequel les apons sont probablement plus nombreux (voir Figure 1). En outre, le 5 juillet 2017, l'AFB a conduit une prospection nocturne dans ce secteur, sur la portion « Clue de Chasteuil » à « Porte de Saint-Jean ». Cette opération qui a mobilisé 16 personnes réparties en 3 groupes a permis la capture de 12 individus. La densité de la population d'aprons détectée à l'amont du Couloir Samson reste cependant très faible (12 individus sur environ 5 km de linéaire prospecté). Ce qui soulève la question de la vulnérabilité démographique de cette population, notamment face aux pressions anthropiques. La combinaison de l'approche ADN environnemental et de prospections nocturnes a néanmoins permis d'accroître sensiblement l'aire de répartition connue de l'apon sur le Verdon (Figure 1).

Répartition de l'apon :

- █ connue avant 2011
- █ supplémentaire (2011-2017)

Résultats ADN environnemental :

- positifs
- négatifs

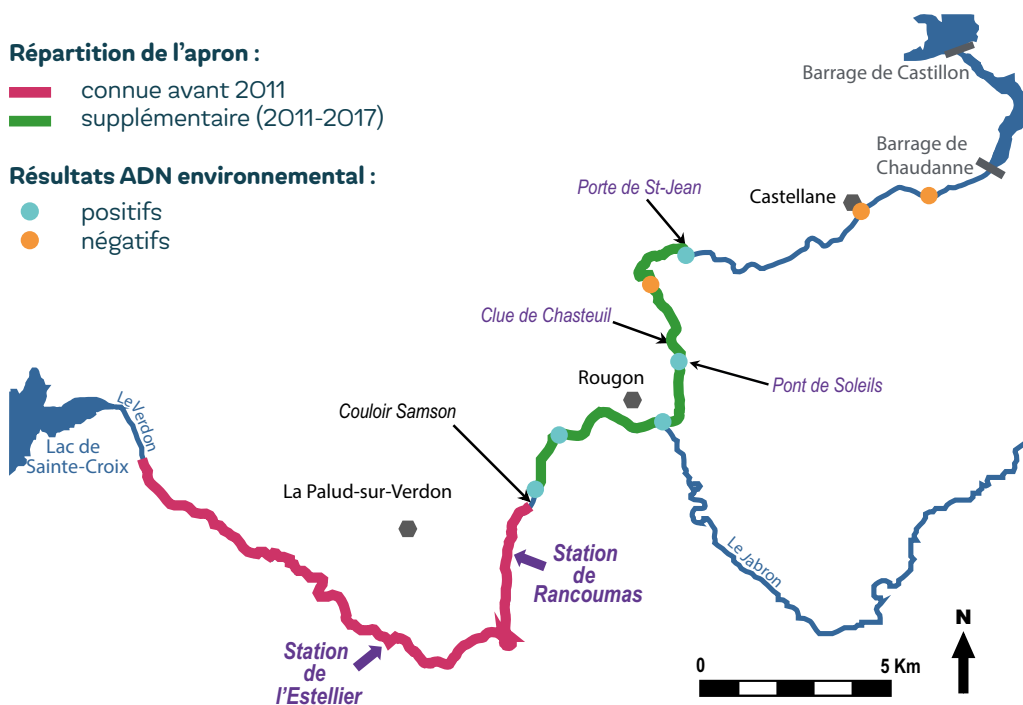


Figure 1 - Aire de répartition actuelle de l'apon dans le Verdon

3. SUIVIS DÉMOGRAPHIQUES ET GÉNÉTIQUES

• 3.1 SUIVIS RÉGULIERS ET REMARQUES SUR LA DENSITÉ DE LA POPULATION

Sous ses différentes appellations successives, le Conseil supérieur de la pêche, puis l'ONEMA (à partir 2007, et depuis 2016, l'Agence Française pour la Biodiversité a très rapidement entrepris des campagnes nocturnes de recensement après la re-découverte de l'apron dans le Verdon. La méthode, souple d'utilisation, consiste à prospecter de nuit la rivière (comme décrit ci-dessus) afin de dénombrer les individus sur un linéaire déterminé et d'estimer leur taille depuis la surface (sans capture). Le nombre d'individus repérés et les classes de tailles estimées peuvent alors être utilisés comme base de suivi démographique de la population, et notamment estimer la densité de la population d'aprons.

Évaluer la densité d'une population n'est pas chose aisée, et beaucoup de méthodes ont été développées sur les modèles animaux pour estimer la densité d'une espèce. Dans le cas de l'apron, il faut connaître précisément la surface mouillée de la rivière (longueur et largeurs). C'est une cartographie longue mais techniquement assez aisée, il faut cependant s'assurer qu'il n'y a pas de variations de débit entre le moment de la cartographie et celui de la prospection. En outre, les prospections nocturnes ne permettent pas de réaliser un inventaire de toute la rivière : les zones trop profondes sont souvent exclues, et dans les zones d'eau vive, le courant et les bulles parasitent la vision du prospecteur. Il peut être tentant de comparer sur une même station les effectifs dénombrés en différentes années, mais il faudra alors considérer avec prudence les conditions de prospection (ex : débit, turbidité) qui affectent fortement la capacité des prospecteurs à repérer les aprons.

• 3.2 CAPTURE DES APRONS, BIOMÉTRIE ET PRÉLÈVEMENTS

Lorsque des études nécessitent d'effectuer des mesures plus précises et des prélèvements biologiques sur les aprons, le repérage à la lampe est suivi d'une capture grâce à un matériel électrique à batterie de type DEKA. À chaque fois qu'un apron est repéré par un prospecteur, ce dernier le signale au porteur de matériel électrique qui vient alors positionner son filet-électrode quelques centimètres en aval du poisson et appuie sur le bouton pression de l'appareil. L'apron, en narcose, bascule sur le côté, et le courant de la rivière l'entraîne dans l'épuisette. Dès le poisson capturé, il est mis en stabulation quelques minutes dans un seau. Par la suite, il sera de mesurer (au millimètre) et peser (au gramme). Les études de la croissance nécessitent le prélèvement 3 à 5 écailles, stockées dans une enveloppe mentionnant le poids, la taille, le jour et le lieu de capture. Les analyses génétiques quant à elles nécessitent le prélèvement d'un fragment de la seconde nageoire dorsale (qui se régénère rapidement), stockée immédiatement dans un tube contenant de l'éthanol à 96 %. Les analyses ultérieures se feront au laboratoire. Il s'agit de réaliser les mesures biométriques et les prélèvements biologiques le plus rapidement possible et sans brusquerie afin de minimiser le stress engendré pour l'apron par ces manipulations. Les aprons sont ensuite remis à l'eau à proximité du lieu de capture et à l'aval de la zone restant à prospecter.



• 3.3 STRUCTURE DÉMOGRAPHIQUE DE LA POPULATION

À partir des données acquises sur le terrain, il est possible de construire un histogramme tel que celui présenté en figure 2.

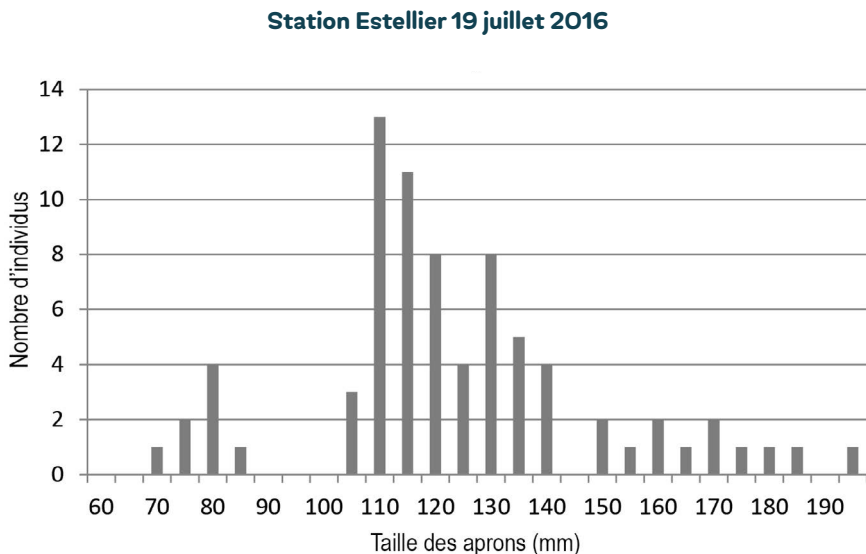


Figure 2 - Histogramme des captures d'appons

Sur ce type de graphique, il est facile de voir apparaître des groupes d'appons de tailles voisines, qu'il est possible d'assimiler à des classes d'âges. Une classe d'âge regroupe les individus nés au même moment, pour l'appon, entre mars et avril d'une même année. À la date anniversaire, un poisson a 1 an, 2 ans... en fonction de son année de naissance, et si un individu qui a plus d'un an et moins de 2 ans est capturé, on dira qu'il s'agit d'un individu 1+ (Figure 3)

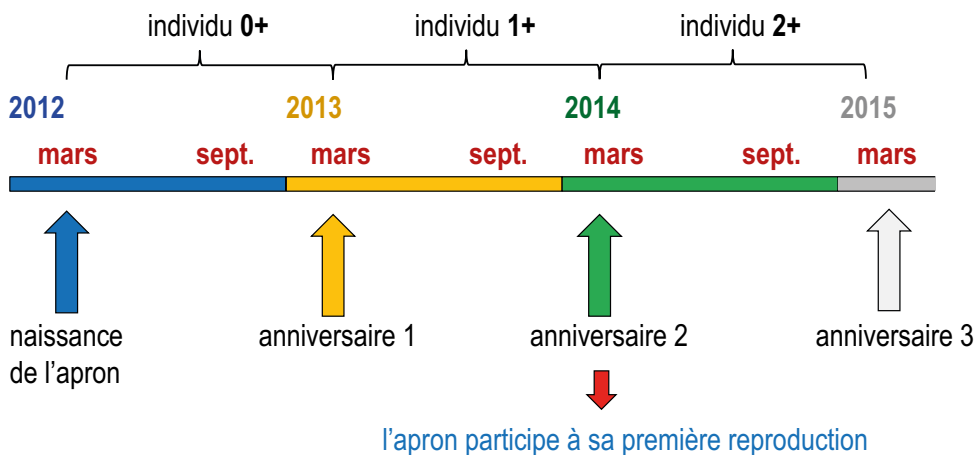


Figure 3 - Classes d'âge pour l'appon

Ainsi, un individu né en mars 2012 restera O+ jusqu'en mars 2013. De ce fait, un apron O+ pourra avoir une taille très différente s'il est capturé en juin, en septembre ou en novembre de la même année. Pour établir des comparaisons, il nous faudra, autant que possible, intervenir pendant les mêmes périodes de l'année. Une étude réalisée en Durance a montré que l'apron atteint 90 % de sa croissance annuelle en septembre (Cavalli et al., 2003). Ainsi, autant que possible, les campagnes d'inventaires doivent avoir lieu à la même période (dans notre cas, fin août-début septembre).

La figure 2 présente les résultats des captures d'aprons à la station de l'Estellier, le 19 juillet 2016. Ces résultats sont très comparables aux histogrammes qui ont pu être établis pour les années précédentes. Plusieurs classes de taille peuvent y être repérées : la première concerne des aprons mesurant entre 70 et 85 mm, la seconde des aprons entre 105 et 125 mm, puis une troisième incluant des aprons de 125-140 mm, et enfin quelques individus de plus grande taille mais qui ne semblent pas former un groupe bien distinct.

Le premier groupe forme des aprons de 1+, c'est-à-dire nés en mars-avril 2015, le second des individus 2+, c'est-à-dire nés en mars-avril 2014, puis le troisième groupe forme des individus 3+, nés en mars-avril 2013. Au-delà, il est difficile de donner un âge à ces individus isolés sur la figure, ils seront 4+, 5+ ou encore 6+ ou 7+. Cette approche ne nous permettant pas de nous prononcer, il faudra utiliser une méthode plus précise, la scalimétrie (voir ci-dessous).

Néanmoins, on peut voir que les aprons les plus grands, et donc les plus âgés, sont moins représentés que ceux appartenant à des classes d'âge moins élevées.

Le lecteur attentif remarquera l'absence d'individus O+ (aprons nés en mars-avril 2016). C'est un petit défaut de notre méthode d'inventaire : avant d'avoir atteint la taille de 50-60 mm, les aprons sont difficilement repérables de nuit. Néanmoins, s'il y a eu reproduction en 2016, on pourra facilement repérer des aprons 1+ en septembre 2017.

Rencontrer plusieurs classes d'âges, est-ce important ?

La réussite d'une bonne reproduction demande beaucoup de choses, mais trois d'entre elles seront déterminantes :

- la présence de mâles et de femelles... cela semble évident mais l'apron ne présente pas de dimorphisme sexuel, impossible de déterminer son sexe, sauf en période de reproduction où une pression sur la cavité générale du poisson entraîne la sortie d'ovules ou de sperme via la papille urogénitale. Et en mars-avril, pas d'interventions en rivière pour éviter toutes perturbations ;
- la présence d'individus matures, en général plus vieux, 2 ou mieux, 3 ans ou plus encore ; ils seront plus féconds ;
- l'absence de crues morphogènes (des coups d'eau qui vont remanier le substratum) : surtout au printemps quand les juvéniles sont de petites tailles, ce type de crue peut entraîner une forte mortalité.

L'histogramme présenté (Figure 2) nous montre qu'il y a eu reproduction en 2015, 2014, 2013 et au-delà encore. Plus généralement, les études démographiques réalisées depuis 2009 ont montré une reproduction de l'apron tous les ans dans le Verdon. Cependant, les aprons nés en mars-avril 2008 n'ont pas été retrouvés dans nos prélèvements. Un coup d'eau violent au printemps a entraîné la disparition des juvéniles, qui seront absents de nos inventaires en tant que 1+ en septembre 2009, 2+ en septembre 2010, 3+ en septembre 2011.



• 3.3 LA CROISSANCE DE L'APRON

Il est possible d'estimer l'âge d'un poisson en étudiant ses structures osseuses. Plusieurs structures osseuses peuvent être étudiées, vertèbres, otolithes, pièces operculaires, mais elles nécessitent l'euthanasie de l'animal. Les écailles, en revanche, se régénèrent rapidement, elles sont parfaitement lisibles dans la mesure où la durée de vie de l'apron est courte (moins de 8 ans). Le protocole est simple : en laboratoire, les écailles sorties de l'enveloppe sont nettoyées puis posées entre deux lames pour une observation sous loupe binoculaire par deux observateurs (Cavalli et al., 2003). L'observation consiste à identifier les annulii, couches de croissance annuelles qui apparaissent sur les écailles en fin de période de croissance annuelle. S'il y a un désaccord entre les deux observateurs sur un âge donné, une nouvelle analyse sera alors réalisée. Si le désaccord persiste, l'écaille sera écartée des analyses.

L'étude de la croissance par scalimétrie de l'apron sur le Verdon a été réalisée à trois reprises en 2012, 2013 et 2015. Les deux premières études, à la demande du Parc naturel régional du Verdon, apportaient des informations jusqu'alors inconnues sur la croissance de l'apron.

Tableau I. Calcul de la taille moyenne à la capture de l'apron du Verdon (Chappaz et al., 2014).

Âge	Longueurs à la fourche calculées (mm)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Tailles moyennes 2012	54	94	128	125	164	172	185
Nb. individus	78	71	55	21	20	6	2
Tailles moyennes 2013	57	93	130	150	173	181	
Nb. individus	73	58	46	52	4	4	

Le tableau I nous donne les valeurs moyennes calculées. Par exemple, les écailles de 78 aprons d'un an, sur les captures 2012, nous ont permis de calculer une taille moyenne de 54 mm lors du premier anniversaire et de 172 mm à 6 ans. Les captures 2013 quant à elles ont permis de calculer une taille moyenne de 57 mm à l'anniversaire et de 181 mm à 6 ans. À partir de 4 ans, on observe des différences plus marquées entre les deux années d'échantillonnage (environ 5 %) qui résultent peut-être d'une proportion de femelles plus (ou moins) importante dans notre échantillon – il est connu que, à âge égal, les femelles atteignent des tailles plus importantes que les mâles (Mickaël Béjean, com. pers.). On s'aperçoit qu'un apron ne grandit pas vite (128-130 mm à trois ans) ; au même âge, un autre carnassier, la truite, dépasse facilement les 200 mm dans le Verdon.

La troisième étude scalimétrique, a été réalisée en 2015 dans le cadre de l'analyse du régime alimentaire de l'apron (voir dans ce volume : Archambaud et al., 2018). Dans ce cas, l'étude de la croissance de l'apron a aussi été réalisée sur les bassins de la Durance, de l'Ardèche (rivière Beaume) et du Doubs (rivière Loue). La comparaison entre les valeurs de croissance obtenues sur différents bassins versants permet de voir que la croissance de l'apron est plus faible la première année sur le Verdon (Figure 6). Cette caractéristique peut être mise en lien avec la température du Verdon, qui est bien plus fraîche que celle des autres rivières étudiées, mais aussi avec les faibles densités de Chironomidés (Archambaud et al. 2018), qui semble constituer la majeure partie du régime alimentaire des O+. Néanmoins, l'apron du Verdon rattrape son retard dès la deuxième année, et c'est aussi sur le Verdon que l'on rencontre les individus les plus âgés.

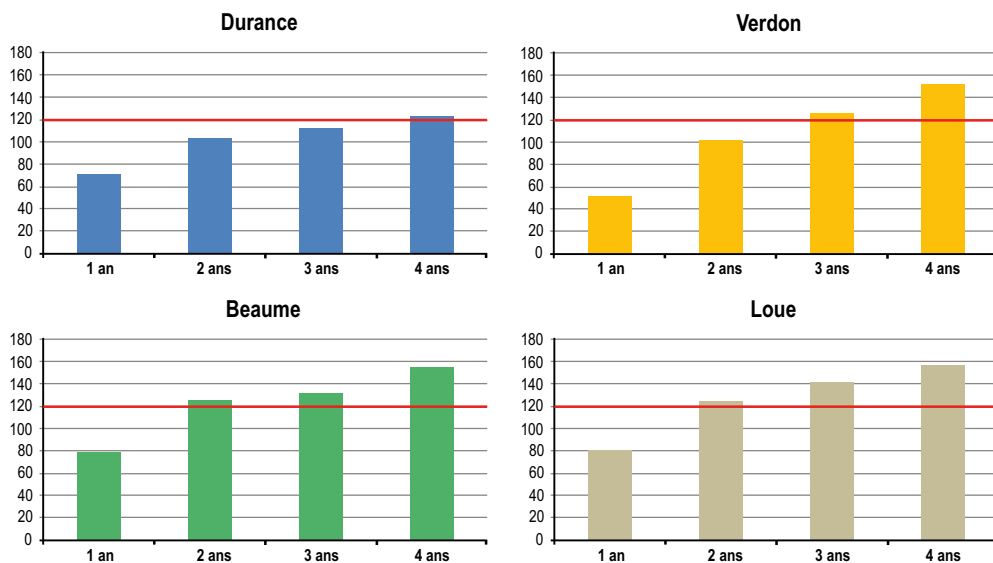


Figure 4 - Croissance de l'apron sur quatre stations du bassin du Rhône

• 3.5 STRUCTURE ET DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE DE L'APRON DU VERDON

En 2009 ont été effectués des prélèvements en vue d'analyses génétiques afin d'établir un état des lieux de la diversité génétique de la population d'apron des grandes gorges (Dubut et al., 2011). Deux stations avaient été échantillonnées : l'Estellier (19 individus) et l'aval du Couloir Samson à la hauteur du lieu-dit Rancoumas (47 individus) et 59 marqueurs génétiques (58 microsatellites et une portion de l'ADN mitochondrial (ADNmt) (Cf. Figure 1) avaient été analysés (Dubut et al., 2010).

Cette étude génétique avait premièrement permis de mettre en évidence l'homogénéité génétique de la population sur le linéaire étudié. D'autre part, elle indiquait que la population du Verdon et celle de la Durance étaient autrefois interconnectées. Parallèlement, cette étude avait détecté un goulot d'étranglement récent et montrait clairement une chute drastique de la diversité génétique de la population d'aprons du Verdon. Cette chute de diversité génétique a été mise en lien avec les aménagements de la Durance et du Verdon. La connectivité de cette population avec les populations Duranciennes a été interrompue dès 1866, avec la construction d'un barrage sur l'emplacement de l'actuel barrage de Quinson (Bordes, 2005). D'autres barrages, mis en service en 1967 (barrage de Gréoux), 1974 (barrage de Quinson) et 1973 (barrage de Sainte-Croix) noyant une grande partie des habitats de rivière, ont ensuite contribué à modifier fortement et à détruire la plupart des habitats favorables à l'apron en aval des grandes gorges du Verdon. Ne pouvant plus faire appel à la migration pour maintenir sa diversité génétique, et ayant été confinée à l'étroit linéaire des grandes gorges du Verdon, la population d'apron a donc subi une forte dérive génétique et une chute de son effectif efficace (lié au nombre de reproducteurs). La population d'aprons des grandes gorges du Verdon a été ainsi fortement fragilisée. Elle est désormais plus sensible aux variations de son environnement que ses homologues duranciennes. Ce statut critique de conservation a notamment justifié la mise en place d'un monitoring génétique de cette population dans le cadre du PNA en faveur de l'Apron.

En 2013, une première étape de ce monitoring génétique a été réalisée sous maîtrise d'ouvrage de la DREAL PACA (Dubut et al., 2014). Un échantillonnage génétique de la population d'apron (30 individus) des grandes gorges du Verdon avait été effectué au niveau de la station de l'Estellier. En 2016, le Parc naturel régional du Verdon a soutenu une troisième étude génétique (Dubut & Chappaz, 2017) se basant sur une campagne d'échantillonnage au niveau de l'Estellier (35 individus) et de Rancoumas (35 individus). En ce qui concerne les microsatellites, la diversité des individus collectés en 2016 est très similaire à celle de ceux collectés en 2009 et 2013 (Tableau II).

Tableau II. Indices de diversité génétique pour les populations d'apron du Verdon.

Indices de diversité génétique	2009	2013	2016
Nb de loci monomorphes	8	7	8
He	0,38	0,39	0,39
Ar	2,59	2,64	2,62
Ap	0,14	0,19	0,18

Il n'y a donc pas eu de chute de diversité génétique sensible dans la période 2009-2016, ce qui suggère que le crash démographique diagnostiqué sur la base des résultats de l'étude de 2009 semble ne pas se poursuivre et que la démographie de la population du Verdon est stabilisée. Il faut néanmoins rappeler que tant au niveau de l'ADNmt que des microsatellites, l'apron présente un niveau de diversité très faible dans le Verdon comparativement à toutes les autres populations du bassin du Rhône (Dubut et al., 2011). La diversité génétique de l'ADNmt dans le Verdon reste nulle : un seul allèle mitochondrial avait été détecté en 2009, et c'est ce même allèle que partagent l'ensemble des individus échantillonnés en 2013 et 2016 à l'aval du Couloir Samson et à l'Estellier. Cet allèle est aussi retrouvé en Durance et en Ardèche, mais associé à d'autres allèles.

En revanche, un apron avait été capturé et prélevé en vue d'analyses génétiques par les Services de l'ONEMA à l'amont du Couloir Samson au lieu-dit Pont de Soleils à l'occasion d'une pêche d'inventaire. Cet apron, alors qu'il ne peut être différencié sur la base des marqueurs microsatellites, présente un allèle mitochondrial différent des individus échantillonnés à l'aval du Couloir Samson (Dubut et al., 2014). Cet allèle se retrouve aussi dans la Durance et l'Ardèche (en association avec d'autres allèles). Avant le goulot d'étranglement subi par la population du Verdon, cet allèle était vraisemblablement présent (avec d'autres) sur le linéaire compris entre le Couloir Samson en amont et le lac de Sainte-Croix en aval. Il a certainement été perdu suite à la dérive génétique très forte qu'a subie la population présente sur ce linéaire consécutivement aux aménagements hydroélectriques. Sa présence en amont du Couloir Samson suggère qu'il a été retenu au sein de la population d'apron de ce secteur, population qui n'a pas encore pu être clairement caractérisée génétiquement.



4. CONCLUSIONS

Depuis sa re-découverte en 2001 et le début des opérations de suivi qui ont été menées, dans le secteur des Grandes Gorges du Verdon, l'apron semble maintenir ses effectifs et sa (faible) diversité génétique. Ceci malgré des conditions de débit souvent difficiles : un fonctionnement « en éclusée » de l'usine hydroélectrique en amont qui entraîne des variations de débits et de températures, des augmentations de débits bihebdomadaires en période estivale pour permettre la pratique des sports d'eaux vives embarqués, et enfin des crues qui prennent vite de l'importance du fait de l'encaissement de la rivière.

Néanmoins, la vigilance reste de mise : de part son isolement et sa faible diversité génétique, la population d'apron du Verdon reste fragile, d'autant que sa ressource trophique est limitée comparativement à celle des autres populations de la Durance, de la Beaume et de la Loue (voir dans ce volume : Archambaud et al., 2018).

Des mesures de protection de l'espèce ont été développées dans le Verdon par l'établissement d'un Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope : baignade interdite, sports d'eau vive règlementés, avec des zones de mise à l'eau et des zones de sortie, des débits minimum pour la pratique. Aujourd'hui il semblerait qu'une population viable existe à l'amont du Couloir Samson (vraisemblablement délimitée à l'amont par le barrage de Chaudanne), et donc à l'amont de l'aire géographique développée dans l'Arrêté. Une évaluation des mesures de gestion et de conservation spécifiques à ce secteur devra être menée, l'amont du Couloir Samson étant très fréquenté par les pratiquants de sports d'eau vive. Cette évaluation permettra de pouvoir concilier usages et biodiversité, afin de permettre la fréquentation du Verdon qui présente l'attrait touristique que chacun connaît tout en préservant la richesse de son patrimoine naturel.



REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent chaleureusement remercier tous ceux qui ont participé aux prospections et captures qui ont permis de réaliser ce travail : les agents de l'Agence française pour la biodiversité des services départementaux du Var et des Alpes de Haute-Provence, particulièrement Michel Niveau, Christian Peugeot et Daniel Pedretti, ainsi que les personnels du Parc naturel régional du Verdon, spécialement Anne Ferment, et de la Maison régionale de l'eau, notamment Georges Olivari.

Les auteurs remercient aussi Laurent Cavalli et Gauthier Monnet pour leur participation aux études scalimétriques, ainsi que Rémi Grenier pour son aide précieuse lors de l'acquisition des données génétiques.



BIBLIOGRAPHIE

- Archambaud G., Corse E., Dubut V., (2018). « Etude du régime alimentaire de l'apron du Rhône dans le Verdon ». *Courrier Scientifique du Parc Naturel Régional du Verdon* n°4.
- Beaudou D., Langon M., (2004). « Synthèse et valorisation des connaissances sur la présence de l'apron (*Zingel asper*) en Provence-Alpes-Côte d'Azur ». *Rapport CSP DR8 - DIREN PACA*, 61 p.
- Bordes J.L., (2005). « Les barrages-réservoirs: Du milieu du XVIIIe siècle au début du XXe siècle en France ». *Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées*, Paris, 448 p.
- Boutitie F., (1984). « L'apron, *Zingel asper* L. (Percidae), poisson rare menacé de disparition (biologie, répartition, habitat) ». *Rapport de DEA Écologie des Eaux Continentales, Université Lyon I*, 27 pp.
- Cavalli L., Pech N., Chappaz R., (2003). « Diet and growth of an endangered fish species, *Zingel asper* (L.) in the Durance river (France, S-E) ». *Journal of Fish Biology* 63 : 460-471.
- Chappaz R., Cavalli L., Olivari G., Dubut V., (2014). « Croissance de l'apron dans les grandes gorges du Verdon ». *Rapport IMBE - PNR Verdon*. 20 p + biblio
- Civade R, Dejean T, Valentini A, Roset N, Raymond JC, Bonin A, Taberlet P, Pont D. (2016) « Spatial representativeness of environmental DNA metabarcoding signal for fish biodiversity assessment in a natural freshwater system ». *PLoS ONE* 11: e0157366.
- Ctgreg (1979) « Aspects piscicoles du Verdon: Problèmes d'aménagement et suggestions ». *Section QEPP, Aix en Provence. Etude n°16, 3 Fascicules*, 65 p + annexes et photographies.
- Dubut V., Grenier R., Meglécz E., Chappaz R., Costedoat C., Danancher D., Descloux S., Malausa T., Martin J.F., Pech N., Gilles A., (2010). « Isolation and characterisation of 55 novel polymorphic microsatellite loci for the critically endangered *Zingel asper* L. (Actinopterygii: Perciformes: Percidae) ». *European Journal of Wildlife Research* 56 : pp 931-938.
- Dubut V., Gilles A., Chappaz R., (2011). « Diversité génétique de l'apron du Rhône (*Zingel asper* L.) dans le Verdon : Intérêt pour sa conservation ». *Courrier Scientifique du Parc Naturel Régional du Verdon* 2 : pp 23-40.
- Dubut V., Gilles A., Chappaz R., (2014). « Monitoring génétique de la population d'apron du Rhône (*Zingel asper* L.) des Grandes Gorges du Verdon ». *Rapport de fin de travaux IMBE - DREAL PACA*. 10 p.
- Dubut V., Chappaz R., (2017). « Monitoring génétique de la population d'apron du Rhône (*Zingel asper* L.) des Grandes Gorges du Verdon 2009-2016 ». *Rapport de fin de travaux IMBE - PNR Verdon*. 10 p.
- Georget M., Roche P., Langon M., (2009). « Bilan de l'état des populations d'apron du Rhône ». *Rapport Life apron II, CREN, ONEMA*. 55 p.
- Kiener A., (1986). « Au fil de l'eau en pays méditerranéen : Milieux aquatiques, poissons et pêche, gestion ». *Aubanel, Avignon*. 307 p.
- Mari S., Labonne J., Gaudin P., (2002). « A conservation strategy for *Zingel asper*, a threatened endemic percid of the Rhône basin ». In: *Collares-Pereira MJ, Cowx IG, Coelho MM (eds) Conservation of freshwater fishes : Options for the future. Fishing News Books, Oxford*, 149-156 pp.
- Montagné P., (1938). « Larousse gastronomique ». *Librairies Larousse, Paris*. 1087 p.
- Olivier J.M., Carrel G., Lamouroux N., Dole-Olivier M.J., Malard F., Bravard J.P., Amoros C., (2009). « The Rhône River Basin ». In: *Tockner K, Uehlinger U, Robinson CT (eds) Rivers of Europe. Academic Press, Amsterdam*. 247-295 pp.
- Roche P., Niveau M., (2006). « Connaissance des populations d'apron du Rhône (*Zingel asper*) : Situation de l'espèce dans le Verdon ». *Rapport CSP, Life apron II*. 27 p.
- Savouré-Soubelet A., (2015). « Liste hiérarchisée d'espèces pour la conservation en France : Espèces prioritaires pour l'action publique V1.1. » *Rapport SPN / MNHN*. 23 p.
- SPYGEN, (2016). « Etude de faisabilité pour la détection de l'Apron du Rhône grâce à l'ADN environnemental (Phase 5) ». *Rapport SPYGEN - CEN RA, PNA apron*. 6 p.

SITOGRAPHIE

Le site du Plan national d'action en faveur de l'apron qui fait la synthèse de nombreuses études www.apronduhone.fr/

Le site du Parc naturel régional du Verdon : <http://parcduverdon.fr/fr/biodiversite/natura-2000>



ÉTUDE DU RÉGIME ALIMENTAIRE DE L'APRON DU RHÔNE DANS LE VERDON.

Auteurs de l'article :

- Gaït ARCHAMBAUD, Ingénieure d'études en hydrobiologie, Irstea, Aix Marseille Univ, UMR RECOVER, Aix-en-Provence
- Emmanuel CORSE, postdoctorant en écologie et génomique environnementale, Aix Marseille Univ, CNRS, IRD, UMR IMBE, Marseille
- Vincent DUBUT, ingénieur de recherche en biologie de la conservation Aix Marseille Univ, Avignon Univ, CNRS, IRD, UMR IMBE, Marseille

De 2012 à 2016, l'apron a fait l'objet d'un Plan national d'action (PNA) visant à coordonner les efforts de conservation pour cette espèce à l'échelle nationale. Le PNA en faveur de l'apron a été coordonné par la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes et dirigé par le conservatoire d'espaces naturels Rhône-Alpes (CEN-RA). Une partie des actions inscrites au PNA visait à améliorer les connaissances écologiques de l'espèce dans le but de mieux orienter les politiques de gestion et de conservation.

C'est dans le cadre de l'action n°8 du PNA, intitulée « Régime alimentaire et utilisation des habitats » que l'étude présentée ici a été menée. L'Action 8 avait plusieurs objectifs : I) définir la plasticité trophique de l'apron (ex : ensemble des proies ingérées, variation temporelle et spatiale des proies) ; II) déterminer les proies et les habitats d'alimentation privilégiés de l'apron ; III) déterminer l'état de spécialisation trophique des populations d'apron ; IV) évaluer l'impact des facteurs affectant les communautés de proies qui ont un effet sur le comportement alimentaire de l'apron (ex : diversité des habitats, colmatage du substrat...). L'action 8 visait ainsi à élargir les connaissances écologiques concernant l'apron et à identifier certains facteurs pouvant limiter la démographie des populations. Les résultats attendus pour l'action 8, visant à définir les exigences trophiques de l'apron en termes de proies et d'habitats, se voulaient un premier pas vers un outil d'aide à la gestion des populations d'apron.

1. INTRODUCTION

Les études de régime alimentaire sont essentielles pour comprendre les interactions entre espèces ainsi que la structure et la dynamique des réseaux trophiques (Nielsen et al., 2018).

Elles ont été employées pour répondre à un large spectre de questions en écologie et en conservation, comme les interactions prédateur/proies et l'utilisation de l'habitat (Corse et al., 2010 ; Sánchez-Hernández, 2014), la séparation des niches trophiques entre espèces (Kartzinel et al., 2015, Arrizabalaga-Escudero et al., 2018), ou la détermination des exigences en termes d'habitat trophique pour guider la conservation des espèces (Quéméré et al., 2013), leur gestion (Chivers et al., 2013) et la restauration d'habitat (Motte & Libois, 2002). Durant l'étude que nous avons menée, les proies ingérées par les aprons ont été identifiées sur la base d'analyses de l'ADN contenu dans les fèces d'apron.

Cette approche permet d'obtenir une identification taxonomique très fine des proies (le plus souvent à l'espèce ; Corse et al. 2017), tout en étant non destructrice pour l'apron. Le protocole moléculaire a nécessité une importante phase de développement ainsi que la construction d'une banque ADN de référence pour les proies potentielles de l'apron (Corse et al., 2017).

Le comportement alimentaire de l'apron a été étudié en analysant la nature des proies ingérées par les aprons au regard de la disponibilité potentielle des proies dans le milieu. Ce travail a donc nécessité une étude détaillée des communautés de macroinvertébrés, qui constituent la nourriture principale de l'apron (Cavalli et al., 2003). Les résultats permettent de dresser un portrait des contraintes trophiques de l'apron dans le Verdon et de pointer certains points critiques pour sa gestion et sa conservation.

2. ZONE D'ÉTUDE ET ÉCHANTILLONNAGE

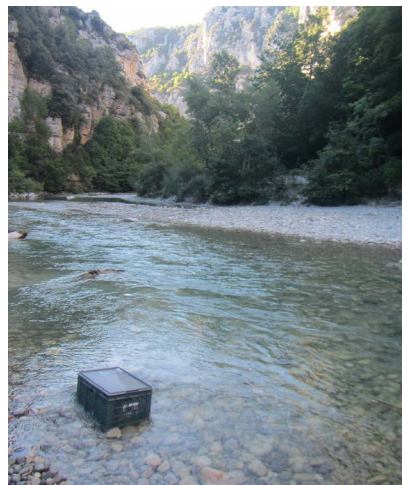
2.1 LA STATION DE L'ESTELLIER

L'étude est réalisée sur la station dite « de l'Estellier », située dans les grandes gorges du Verdon à l'amont de la passerelle de l'Estellier, à la limite des communes de La Palud-sur-Verdon (04) et d'Aiguines (83). Cette station (Figure 1) a fait l'objet de trois campagnes d'échantillonnage durant l'été 2015 : début et fin juillet puis début septembre . Le linéaire de rivière concerné pour la capture des aprons et l'échantillonnage des macro-invertébrés est d'environ 1300 m et comprend des successions de faciès de type radier, plat courant et chenal lotique.



Station d'étude à l'Estellier (vue des Cavaliers) – le courant coule de la droite vers la gauche – la partie amont de la station est cachée par la falaise en rive gauche - auteur : Anne Ferment, Parc naturel régional du Verdon

Les contraintes d'exploitation hydroélectriques et d'usages récréatifs $1.5\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ dans le cours d'eau régulé qu'est le Verdon doivent être prises en compte pour la planification des campagnes de terrain. En effet en période estivale, caractérisée par un débit réservé de $3\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, des éclusées ($10\text{-}13\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) sont programmées 2 fois par semaine (le mardi et le vendredi généralement) pour la pratique du rafting. Ces éclusées perturbent le système et ne permettent pas d'intervenir dans des conditions stables et comparables à celles rencontrées dans d'autres stations où l'apron est présent (ex : la Loue, la Beaume ou même la Durance). En outre, les éclusées ne permettent que des fenêtres d'intervention très réduites.



Pêche de nuit, aprons capturés, mesures biométriques et prélèvements des excréments des aprons, stabulation dans la station – auteur : Gaït Archambaud, Irstea

2.2 CAPTURE DES APRONS ET ÉCHANTILLONNAGE DES FÈCES

Entre 2 h et 6 h du matin, le repérage des aprons est réalisé à pied à l'aide d'une lampe frontale et leur capture grâce à un matériel électrique à batterie (pour plus de détails, voir dans ce volume : Chappaz & Dubut, 2018). Les aprons capturés sont mis en stabulation dans un vivier (caisse plastique ajourée) jusqu'au moment des mesures biométriques et des prélèvements biologiques (entre 8 h et 12 h).

Pour chaque apron sont réalisés :

- 1 : une mesure de la longueur à la fourche,
- 2 : une mesure du poids,
- 3 : un prélèvement d'écaillés,
- 4 : un prélèvement des excréments par massage abdominal.

Les excréments collectés sont immédiatement stockés dans un tube de 1,5 ml contenant de l'éthanol à 96 %. Les aprons sont ensuite libérés dans la rivière en quatre à cinq points sur le linéaire de capture.

2.3 ÉCHANTILLONNAGE DES INVERTÉBRÉS BENTHIQUES

Les objectifs sont d'évaluer la disponibilité des proies pour l'apron en termes de qualité (nature des proies), diversité, abondances, localisations et distributions dans les habitats à partir du jeu de données constitué lors des campagnes effectuées durant l'été 2015.

• 2.3.1 Sur le terrain

Afin d'atteindre au mieux ces objectifs, un échantillonnage considérable et quantitatif des invertébrés a été réalisé. En prenant en compte la diversité des habitats de la station, 61 points de prélèvements à la première campagne et 90 points de prélèvements aux deux campagnes suivantes ont ainsi été obtenus à l'aide d'un filet de type surber, d'une surface unitaire de 0.05 m² et de taille de maille de 250 µm.



Les prélèvements comprenant les invertébrés, les débris végétaux et parfois les substrats minéraux (sable, limon) ont été conservés directement dans une solution d'éthanol à 90 % dans des piluliers. L'usage de l'éthanol est privilégié car cela autorise une éventuelle analyse de l'ADN des invertébrés pour la banque ADN de proies.

L'échantillonnage des habitats a été réalisé de l'aval vers l'amont de la station, en progressant par transect d'une rive à l'autre, avec un nombre variable de points de prélèvements par transect selon la largeur du lit mouillé (de 1 à 7 points par transect). Les échantillons d'invertébrés sont effectués de façon à être représentatifs des faciès et des habitats de la station. Il faut cependant noter que les habitats associés à une hauteur d'eau supérieure à 65 cm et ceux associés à une vitesse de courant supérieure à 2 m.s⁻¹ n'ont pas pu être échantillonnés.

Pour caractériser physiquement les habitats, de nombreux paramètres sont décrits ou mesurés comme la localisation dans les faciès, la granulométrie des substrats, le niveau de colmatage, la présence de végétation aquatique, de biofilm, la hauteur d'eau, les vitesses du courant...

Ces mesures comprennent notamment 17 variables quantitatives utilisées pour la mise en relation des habitats, des communautés d'invertébrés et du régime alimentaire de l'apron.



Prélèvements d'invertébrés au filet surber dans un plat courant de la station Estellier

• 2.3.2 Au laboratoire

Les échantillons quantitatifs sont rincés à l'eau sur une colonne de tamis de vide de maille de 2 mm, 1 mm et 0,5 mm, afin de séparer les débris minéraux et végétaux, et permettre un tri plus rapide. Les invertébrés sont tous identifiés et comptés, et la longueur totale de certains insectes est mesurée et distribuée en classes de tailles. Tous les invertébrés extraits de la phase de tri sont conservés dans l'éthanol à 90 % dans des contenants étiquetés à + 4°C afin de compléter la banque ADN si besoin.



• 2.3.3 Lors des analyses

Les abondances (ou effectifs bruts) des invertébrés peuvent être ramenées à une unité de surface pour être exprimées en densités : nombre d'individus par m². Les données globales par station sont constituées de la somme des 61 ou 90 échantillons, soit une surface totale prélevée de 3,05 m² (61 x 0,05 m²) ou 4,50 m² (90 x 0,05 m²).



On utilisera le terme taxon pour désigner un invertébré identifié à un niveau systématique donné ; ce peut être au niveau de l'espèce (le plus précis), ou le plus souvent au niveau du genre ou de la famille ou quelquefois à un rang taxonomique plus haut tel que la classe ou l'embranchement. Afin de pouvoir comparer les trois campagnes d'échantillonnage sans biais d'identification, une liste standardisée des niveaux taxonomiques a été constituée. Cette liste comprend un total de 78 taxons définis en prenant en compte à la fois les limites d'identification morphologique des invertébrés au laboratoire, et les limites d'identification des proies de l'apron sur la base des séquences ADN contenues dans leurs fèces. Par exemple, certains regroupements ont été réalisés comme le taxon « *Heptageniidae* » qui comprend les deux genres *Ecdyonurus* et *Heptagenia*, dont les petites larves sont difficiles à distinguer. Pour *Chironomidae*, seule la sous-famille *Orthoclaadiinae* est comptée à part puisque les autres sous-familles ou tribus de *Chironomidae* ne peuvent être que rarement discriminées sur la base de leur séquence ADN.



2.4 BILAN DES CAMPAGNES ET DES DONNÉES

En 2015, trois campagnes (2 juillet, 29 juillet et 1^{er} septembre) ont été conduites de nuit sur la station de l'Estellier : 228 aprons ont été capturés et 76 excréments (Exc.) ont été collectés (Tableau I).

Les prélèvements d'invertébrés ont été effectués le deuxième jour après les pêches de nuit des aprons afin de privilégier des conditions similaires de prélèvement et d'éviter les aléas hydrologiques ou météorologiques. Les trois campagnes d'échantillonnage des invertébrés ont été réalisées les 3 juillet, 29 juillet et 2 septembre 2015. Au total, 241 habitats ont ainsi été échantillonnés et décrits (Tableau I).

Zones d'échantillonnage	Dates	Apron (Exc.)	Ech. Proies
Verdon Estellier A (15VERA) aprons invertébrés	02/07/2015 (nuit) 03/07/2015	82 (20)	61
Verdon Estellier B (15VERB) aprons invertébrés	28/07/2015 (nuit) 29/07/2015	95 (25)	90
Verdon Estellier C (15VERC) aprons invertébrés	01/09/2015 (nuit) 02/09/2015	51 (31)	90
Total	9 jours	228 (76)	241

Tableau I : Bilan des campagnes d'échantillonnages des aprons, du nombre d'excréments (Exc.) et des échantillons de proies en 2015. Pour la station Estellier, les campagnes sont codées 15VERA, 15VERB et 15VERC

3. LA COMMUNAUTÉ DE MACROINVERTÉBRÉS À L'ESTELLIER

Grâce à ce protocole intense d'échantillonnage des proies potentielles tout au long de la station, à trois reprises au cours de l'été, la ressource trophique de l'apron a pu être caractérisée. Une première comparaison globale des communautés d'invertébrés a été réalisée en regroupant les invertébrés identifiés en groupes faunistiques. Puis les comparaisons des proies potentielles de l'apron utilisent une liste faunistique taxonomique identique à celle des proies identifiées dans les excréments d'apron. La composition et la structure globale des peuplements d'invertébrés au cours de l'été 2015 sont analysées en cumulant l'ensemble des échantillons d'une même campagne.

3.1 Représentativité de l'échantillonnage

Dans un premier temps, afin d'évaluer la capacité de notre plan d'échantillonnage à estimer correctement la structure des communautés d'invertébrés dans la rivière, des analyses de raréfaction ont été menées. En procédant à un tirage aléatoire avec remise des points d'échantillonnage réalisés sur le terrain (= surber), on estime le nombre moyen de taxons détectés pour chacune des valeurs du nombre d'échantillons. Cette procédure prend en compte à la fois l'occurrence des taxons et leur fréquence relative au sein de chaque point d'échantillonnage. Les analyses de raréfaction permettent ainsi d'estimer a posteriori le nombre d'échantillons minimum à prélever pour pouvoir être représentatif de la communauté d'invertébrés présente sur le linéaire de rivière étudié.

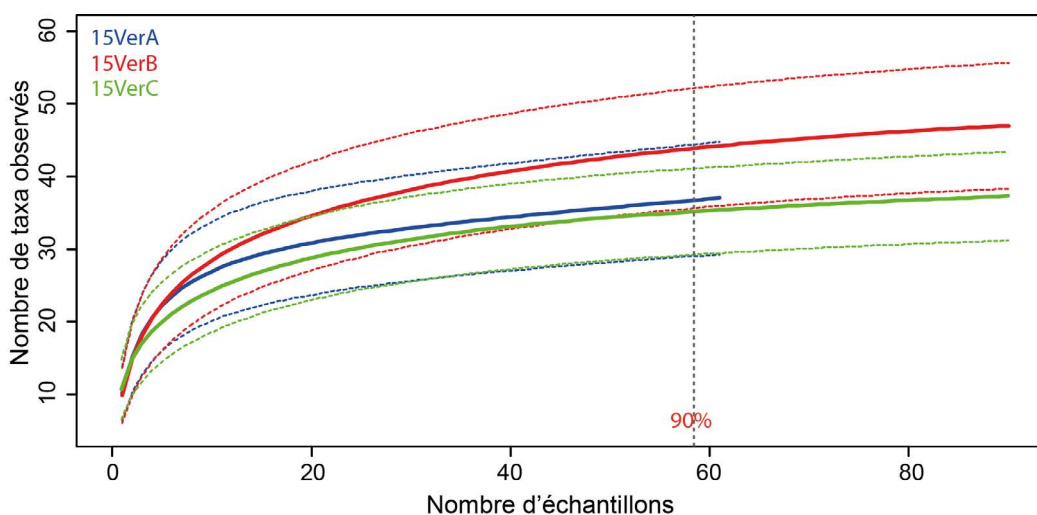


Figure 1 - Courbes de raréfaction de la diversité d'invertébrés en fonction de l'effort d'échantillonnage par campagne du Verdon. En ordonnée, la diversité taxonomique observée (indice de Mao-Tau ; Colwell et al., 2012), rapportée à l'effort d'échantillonnage (en abscisse). Les courbes en pointillés représentent un intervalle à 95 % de la diversité estimée à partir de 1 000 tirages aléatoires avec remise. La ligne verticale en pointillés, trace l'effort d'échantillonnage moyen nécessaire pour capturer 90 % de la diversité structurelle estimée.

Les courbes de la Figure 1 montrent une saturation différente entre campagnes. En effet, la deuxième campagne (15VERB) sature moins rapidement que les deux autres campagnes, ce qui suggère une structuration moins homogène de la communauté d'invertébrés en milieu d'été comparativement aux autres campagnes.



En outre, un minimum de 58 points d'échantillonnage est nécessaire pour capturer 90 % de la diversité structurelle estimée de la communauté d'invertébrés (Figure 1). Pour chacune des campagnes, notre échantillonnage était supérieur à ce minimum (61 points durant la première campagne, et 90 durant les deux suivantes). Nous pouvons donc considérer que notre jeu de données restitue correctement la structure de la communauté d'invertébrés présente sur la station de l'Estellier.



3.2 COMPOSITION GLOBALE DE LA COMMUNAUTÉ D'INVERTÉBRÉS

• 3.2.1 Bilan des densités et richesses globales

Les données globales obtenues pour la station de l'Estellier sont présentées dans le Tableau II. La densité des invertébrés récoltés par campagne est comprise entre 1 000 et 1 500 individus/m² pour une richesse taxonomique qui varie de 41 à 48 taxons..

	15VERA	15VERB	15VERC
Date échantillonnage	03/07/2015	29/07/2015	02/09/2015
Total effectifs (nombre individus)	4 527	4 698	6 427
Richesse Groupes faunistiques	9	12	10
Richesse "Familles"	32	34	34
Richesse Taxons	41	48	44
Nombre échantillons	61	90	90
surface prélevée m²	3,05	4,50	4,50
Total densité (ind/m²)	1 484	1 044	1 428

Tableau II : Bilan des trois campagnes d'échantillonnages des proies en 2015.

Ces densités sont peu élevées comparées à celles d'autres cours d'eau : nous avons mesuré sur la Durance (station Les Henris) des densités comprises entre 4 500 et 5 500 ind/m² (Corse et al., 2015), sur la Loue (station Port-Lesney) des densités comprises entre 5 000 et 9 000 ind/m², et sur la Beaume au printemps (station Les Platanes) des densités proches de 7 000 ind/m² (Corse et al., 2016). **Il faut noter que les densités observées sur le Verdon à l'Estellier sont cependant comparables à celles mesurées sur la Beaume deux semaines après deux crues successives de type cévenol (1 148 ind/m²).**

• 3.2.2 Des insectes majoritaires chez les groupes faunistiques

La communauté d'invertébrés de l'Estellier est très largement composée d'insectes : 12 groupes faunistiques sont présents, dont 7 ordres d'insectes qui représentent 95 % des effectifs (Tableau III).

	15VERA 03/07/2015		15VERB 29/07/2015		15VERC 02/09/2015	
	densité	%	densité	%	densité	%
Ephéméroptères	371	25,0	366	35,1	806	56,4
Plécoptères	478	32,2	281	26,9	260	18,2
Diptères	402	27,1	142	13,6	102	7,1
Coléoptères	126	8,5	112	10,7	112	7,8
Trichoptères	66	4,4	72	6,9	50	3,5
Oligochètes	31	2,1	56	5,4	85	5,9

Tableau III : Densités (ind/m²) des six groupes faunistiques de macroinvertébrés les plus abondants.

Cinq ordres d'insectes (Figure 2) composent la majorité de la communauté d'invertébrés (93 % à 97 % des effectifs selon la date). Les trois groupes d'insectes Éphéméroptères, Plécoptères et Diptères représentent pour chaque campagne plus de 75 % des invertébrés capturés dans cette station, avec le 3 juillet (15VERA) des densités similaires entre les trois groupes, le 29 juillet (15VERB) une réduction des Plécoptères et une très forte réduction des Diptères, et le 3 septembre (15VERC) une très forte augmentation des Éphéméroptères.

Les Coléoptères présents durant l'été ont des densités assez stables, supérieures à 110 ind/m², avec une proportion variable liée aux densités variables des autres groupes : 8 % des densités à deux campagnes ou 11 % fin juillet (15VERB). Les Trichoptères ont leur maximum d'effectifs fin juillet (15VERB ; 72 ind/m² soit 7 %) puis montrent une diminution de leur densité début septembre (50 ind/m² soit 3,5 %). Les autres insectes, notamment Odonates et Hétéroptères, sont assez rares et quasiment absents de la première campagne.



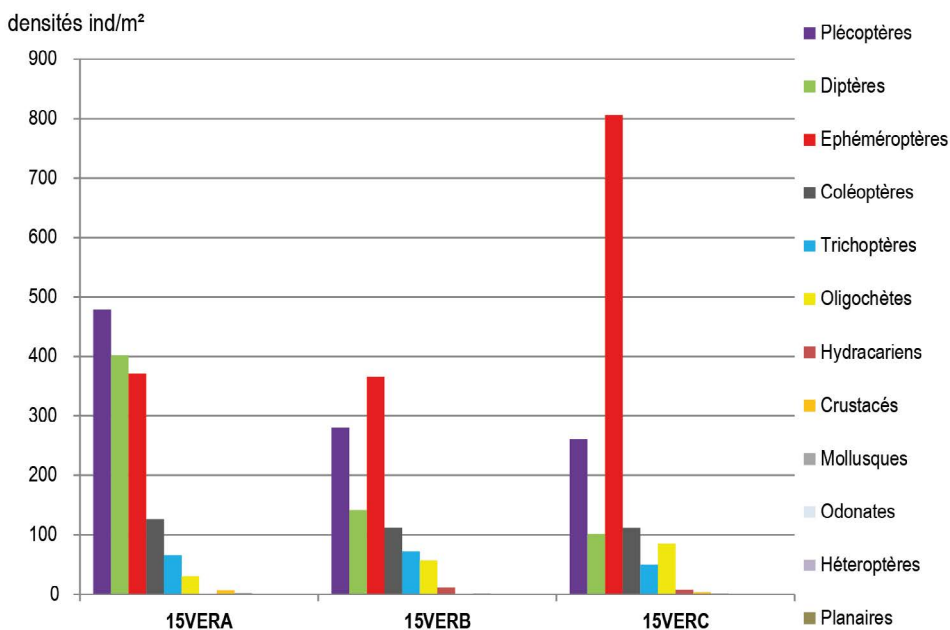


Figure 2 : Densités absolues (individus/m²) des groupes faunistiques de la station l'Estellier dans le Verdon pour les trois campagnes de 2015

La réduction globale des densités lors de la campagne B est donc liée à la forte diminution des effectifs de Plécoptères et plus encore des Diptères. De plus, si les densités globales sont du même ordre entre les campagnes A et C, en réalité la communauté d'invertébrés a beaucoup changé dans l'abondance de certains insectes : forte augmentation des Éphéméroptères compensée par une grande réduction des Diptères et des Plécoptères observée dès la campagne B.

• 3.2.3 Seize familles importantes au cours de l'été

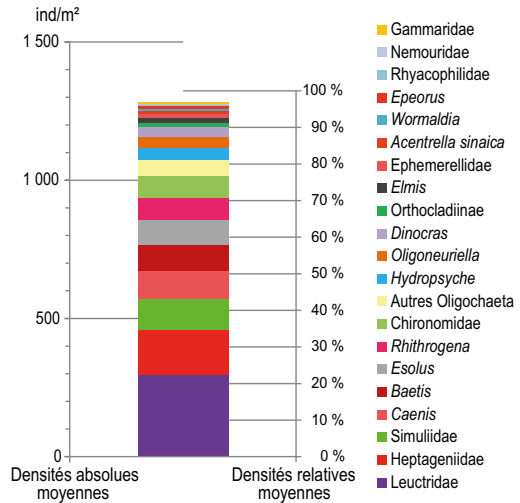
Les familles d'invertébrés constituent le niveau de détermination habituellement utilisé pour la plupart des études utilisant l'IBGN. La richesse taxonomique observée varie peu de 32 à 34 familles par campagne, pour un total de 48 familles présentes à l'été 2015 : ce total supérieur indique un changement de familles entre les campagnes. Les insectes sont les plus représentés : 3 familles de Plécoptères, 6 d'Éphéméroptères et 6 de Trichoptères, 3 de Coléoptères, 7 de Diptères, 1 d'Odonates et 1 d'Hétéroptères.

• 3.2.4 Une diversité de taxons

Sur le total des campagnes, 57 taxons sont présents à l'Estellier, avec un maximum de 48 taxons pour la campagne de fin juillet (15VERB) et un minimum de 41 taxons pour la campagne de début juillet (15VERA). Début septembre (15VERC), 44 taxons sont présents. Les 8 taxons les plus abondants sont des insectes : chacun de ces taxons représente plus de 5 % des densités (soit plus de 78 ind/m² sur la moyenne des 3 campagnes), et plus de 75 % de tous les invertébrés récoltés (Figure 3). Ce sont les Plécoptères Leuctridae (297 ind/m²), deux fois plus abondants que les Éphéméroptères Heptageniidae (164 ind/m²).

Puis viennent des taxons du même niveau d'abondance : Simuliidae, les genres *Caenis*, *Baetis* (94 ind/m²), *Esolus*, *Rhithrogena* (80 ind/m²) et la famille Chironomidae (80 ind/m²). Chez les non-insectes, seuls les Oligochètes dépassent 1 % des densités totales, avec une augmentation de leurs densités au cours de l'été (31 ind/m² début juillet à 85 ind/m² début septembre). Les autres groupes comme les Hydracariens, Crustacés, Mollusques et Planaires sont représentés par un nombre très réduit d'individus.

Figure 3 : Densités moyennes absolues et relatives des 21 taxons invertébrés les plus abondants (> 3 ind/m²) sur la station de l'Estellier lors de l'été 2015



• 3.2.5 Occurrence des taxons abondants

La Figure 4 permet de comparer les abondances (ou densité) des invertébrés à leur occurrence dans les habitats échantillonnés. Globalement, les taxons les plus abondants sont aussi les plus occurrents, mais avec quelques exceptions. Trois taxons sur les 57 récoltés ont été échantillonnés dans plus de 75 % (et jusqu'à 92 %) des points d'échantillonnage.

Il s'agit de taxons abondants : les Plécoptères Leuctridae (genres *Leuctra* et *Euleuctra*), les Éphéméroptères Heptageniidae (genres *Ecdyonurus* le plus abondant et *Heptagenia*) et les Coléoptères du genre *Esolus* (famille des Elmidae).

En revanche, les Diptères Simuliidae, spécialistes des habitats à vitesse de courant forte à très forte, sont abondants (8 % des densités) mais peu occurrents (22 % des points d'échantillonnage). Trois autres invertébrés abondants sont très occurrents : les Éphéméroptères des genres *Baetis* et *Caenis* (71 % et 69 %) et les Diptères Chironomidae (69 %), qui comprennent les tribus Chironomini et Tanytarsini ainsi que la sous-famille des Tanytopodinae.

La sous-famille Orthoclaadiinae est présente dans 38 % des habitats et ne représente que 1,3 % des densités totales. Quatre autres taxons sont présents dans au moins la moitié des habitats et caractérisent la communauté par leur présence : les Plécoptères du genre *Dinocras* (59 %), les Trichoptères du genre *Hydropsyche* (54 %), les Oligochètes (53 %) autres que Naïdidae et Lumbricidae, et les Éphéméroptères Heptageniidae du genre *Rhithrogena* (50 %). Quelques taxons, comme *Oligoneuriella*, Orthoclaadiinae, *Elmis*, Ephemerellidae, *Acentrella* et *Wormaldia* sont peu abondants (<3 %) et peu occurrents (<20 %), mais peuvent compter pour une part non négligeable dans la composition de la communauté de macroinvertébrés.

Ces résultats globaux permettent de constater que la communauté d'invertébrés à l'Estellier est diversifiée, notamment en insectes. Néanmoins, cette forte diversité est associée à des densités faibles (< 1 500 invertébrés/m²) comparativement à d'autres secteurs où l'apron est présent (ex : les rivières Durance, Beaume et Loue).

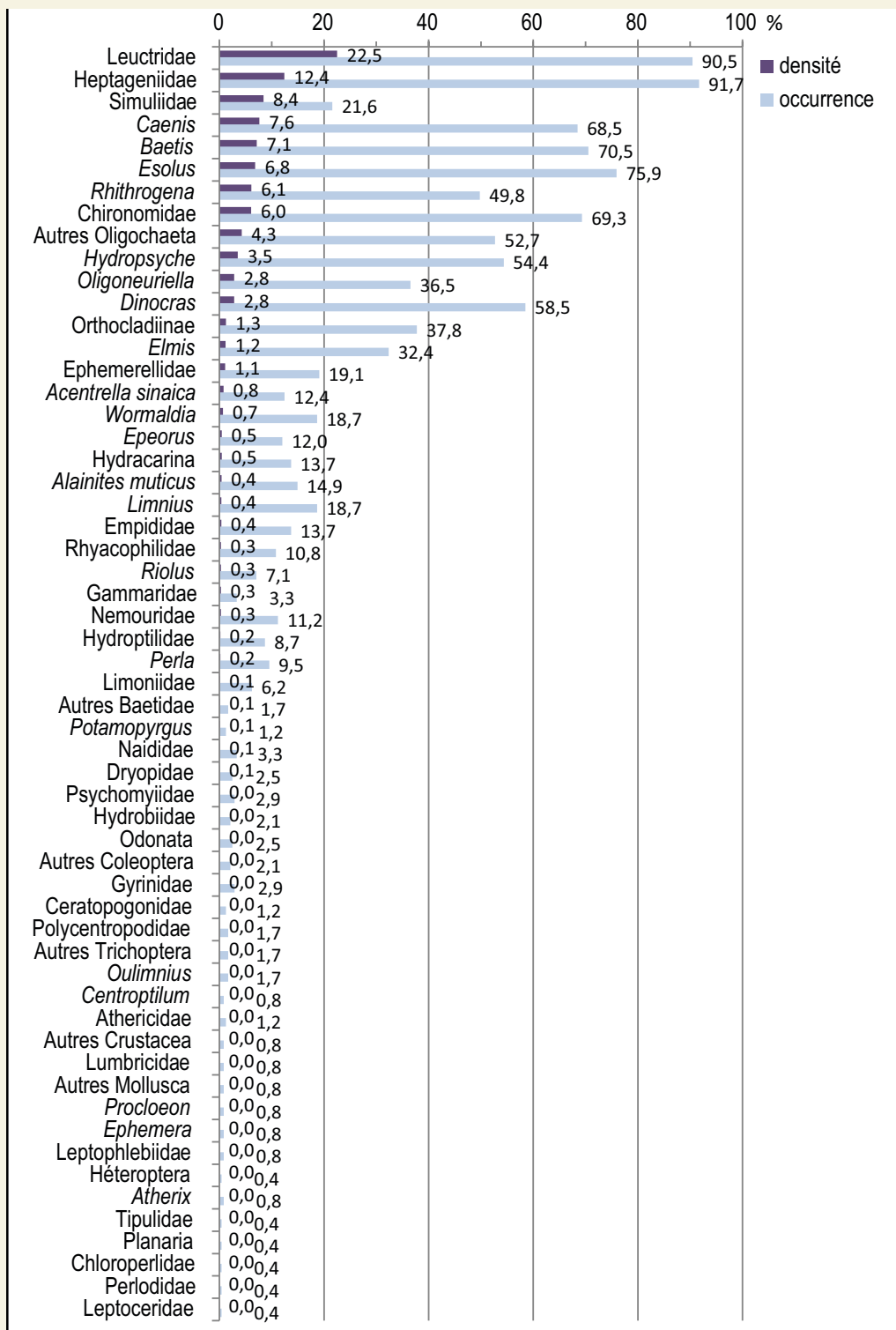


Figure 4 : Pourcentages des densités (en violet) et des occurrences (en bleu) des 57 taxons d'invertébrés de la station de l'Estellier pour l'ensemble des 3 campagnes de 2015 (241 habitats échantillonnés).

3.3 ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA COMMUNAUTÉ DES PROIES POTENTIELLES

Des changements d'abondance des taxons dans la communauté d'invertébrés sont observés au fil des trois campagnes de prélèvements (Figure 5). En début d'été (15VERA), le peuplement est diversifié en insectes, avec une très forte dominance des Plécoptères Leuctridae et des Diptères Simuliidae. Les Éphémères de la famille Heptageniidae et des genres *Oligoneuriella* et *Baetis* sont bien présentes. Les Diptères Chironomidae et les Coléoptères Elmidae du genre *Esolus* sont abondants avec au moins 100 ind/m². Chez les Trichoptères, le genre *Hydropsyche* est le plus abondant (41 ind/m² soit 3 % des densités).

Fin juillet (15VERB), la communauté est très largement dominée par Leuctridae et les Éphéméroptères Heptageniidae, *Caenis* et *Baetis*. Les densités ont toutefois baissé pour *Leuctridae* et ont augmenté pour *Caenis*. Les Diptères Chironomidae et les Coléoptères *Esolus* sont stables en termes de densités, et restent parmi les taxons les plus abondants. En revanche, Simuliidae diminue fortement en densité. Les autres taxons abondants gardent des densités similaires à celles du début du mois ou présentent une tendance à la diminution.

Début septembre (15VERC), quatre Éphémères augmentent en densité et dominent la communauté avec plus de 150 ind/m² chacune (soit 10 %) : les Heptageniidae (*Ecdyonurus* et *Heptagenia*), et les genres *Caenis*, *Baetis* et *Rhithrogena* (un autre Heptageniidae). Les Plécoptères Leuctridae restent abondants mais présentent une baisse de leur densité, tandis qu'*Esolus* reste stable et toujours important. Les Oligochètes ont une tendance à l'augmentation, ainsi que les Plécoptères du genre *Dinocras* (64 ind/m² soit 4 %). À l'inverse, les Diptères Chironomidae sont moins abondants, ainsi que d'autres taxons dont le cycle de développement explique leur absence en fin d'été : *Oligoneuriella*, Ephemerellidae, *Acentrella sinaïca* et les Plécoptères Nemouridae. Les autres invertébrés restent assez stables entre les campagnes 15VERB et 15VERC.

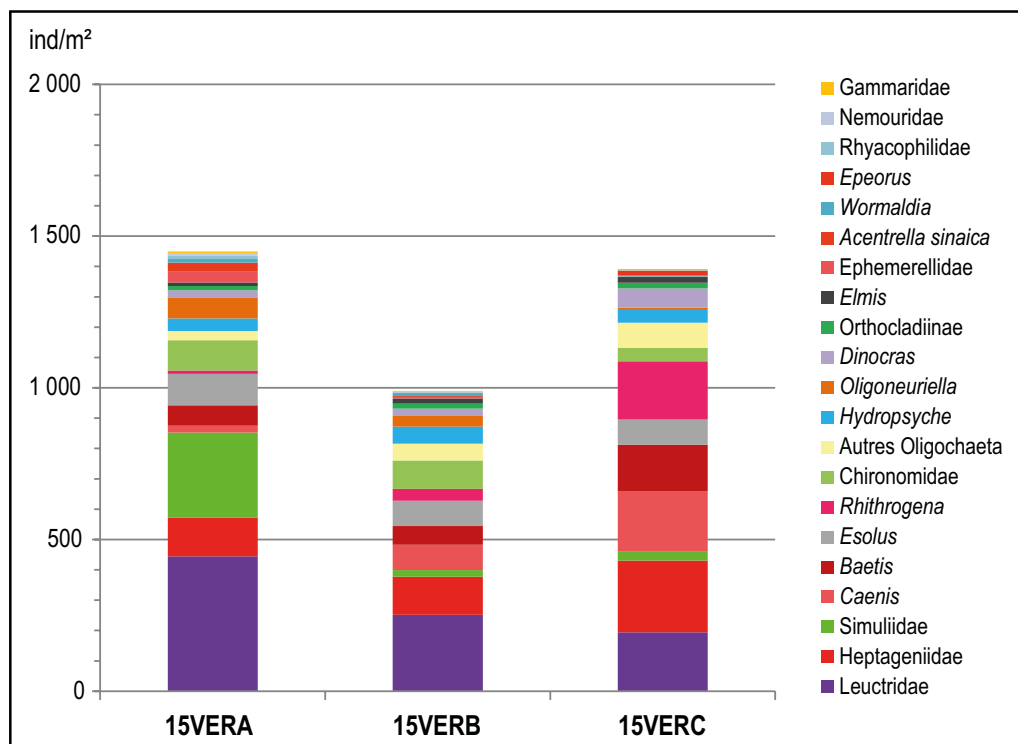


Figure 5 : Évolution temporelle des densités absolues de 21 invertébrés abondants (> 3 ind/m² en moyenne) dans la station Estellier, été 2015.

Ainsi, au cours de l'été, la communauté de proies potentielles évolue vers davantage d'Éphéméroptères (*Heptageniidae*, *Caenis*, *Baetis*, *Rhithrogena* et *Epeorus*), avec un changement de taxons par une diminution d'*Oligoneuriella*, Ephemerellidae et *Acentrella*. Parallèlement, les densités augmentent au cours du temps pour les Plécoptères du genre *Dinocras* et les Oligochètes, et diminuent fortement pour *Leuctridae*, Simuliidae et Chironomidae.

4. ANALYSES DU RÉGIME ALIMENTAIRE

4.1 UNE MÉTHODE INNOVANTE : LE METABARCODING

Le régime alimentaire des aprons a été étudié par metabarcoding des excréments prélevés durant les campagnes d'échantillonnage de 2015. Le principe de cette approche est d'analyser l'ADN des proies présent dans les excréments du prédateur via une approche de séquençage haut débit. Dans cette étude, les fragments ADN ciblés correspondent au gène de la Cytochrome c Oxydase I (COI) des proies.

La robustesse de la méthodologie que nous avons développée (Corse et al., 2017) permet d'obtenir un jeu de données fiable et robuste sur la base duquel une information semi-quantitative de l'abondance des différentes proies peut être estimée. En effet, pour chaque excrément, un nombre minimal d'individus (NMI ; White, 1953) par taxon-proie a pu être calculé en évaluant le nombre de séquences ADN distinctes par taxon. Ces données semi-quantitatives ont été analysées conjointement avec les données de la disponibilité des proies dans le milieu et les données habitats acquises durant les trois campagnes d'échantillonnages.

4.2 LES PROIES DE L'APRON

La majorité des séquences détectées dans les excréments correspondent à des macroinvertébrés (Figure). En effet, peu de séquences de microorganismes (principalement algues et rotifères) sont détectées comparativement à d'autres populations d'autres secteurs comme dans la Loue ou la Beume (Corse et al., 2016). Ces résultats sont vraisemblablement dus à la situation encaissée dans les grandes gorges de la station de l'Estellier, qui limite en partie la production primaire et, en conséquence, la productivité du cours d'eau. Le développement du périphyton est notamment plus faible que celui observé dans les autres stations étudiées sur la Durance, la Beume et la Loue.

La comparaison du régime alimentaire avec la disponibilité des invertébrés dans le milieu est synthétisée par la Figure 6B 9B. Ces histogrammes révèlent que la structure du régime alimentaire de l'apron est très différente de celle de la communauté d'invertébrés identifiée sur la station. Contrairement à la communauté d'invertébrés présents dans le milieu, les Éphéméroptères (en rouge) représentent la majorité des proies consommées par l'apron, et ce durant les trois campagnes de 2015 (Figure). Plus particulièrement les espèces d'Éphéméroptères privilégiées par l'apron appartiennent aux Heptageniidae et au genre *Baetis* (Baetidae). On observe également que l'apron exploite des Plécoptères sur les trois campagnes, mais que ces derniers ne représentent que ~10 % des proies en moyenne, alors qu'ils sont fortement représentés dans la communauté d'invertébrés (entre 20 % et 30 %).

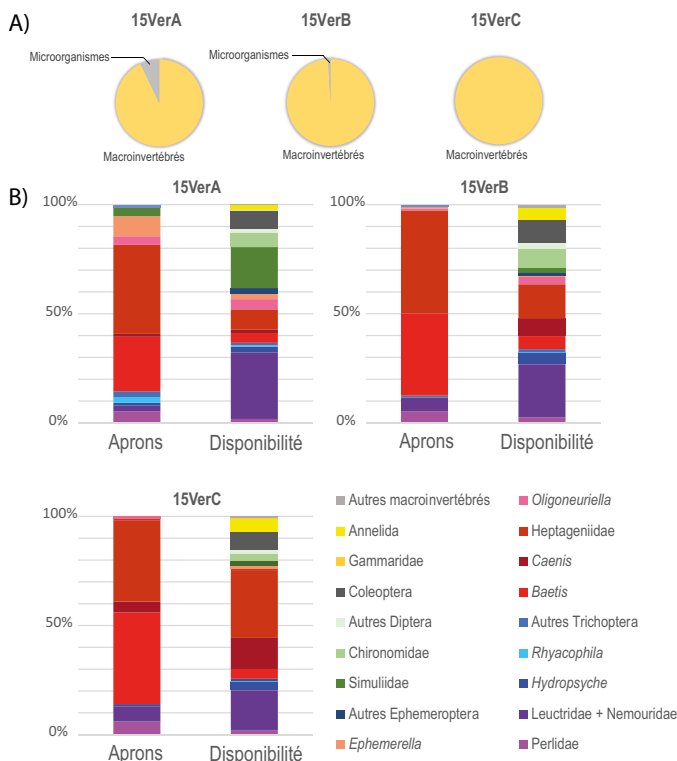


Figure 6 : Analyse des proies de l'apron. En A) la proportion des proies de macroinvertébrés et celles des microorganismes durant les trois campagnes du Verdon. En B) les histogrammes « Aprons » et « Disponibilité » représentent respectivement l'abondance relative des différentes proies dans le régime alimentaire de l'apron puis l'abondance relative des invertébrés dans le milieu au cours des trois campagnes

Une analyse en composante principale a été conduite à partir des abondances relatives par individu de chaque proie (Figure 7). Cette analyse permet de confirmer que **Heptageniidae et le genre Baetis sont les proies dominantes de l'apron. Par ailleurs, Perlidae (Dinocras surtout, mais aussi Perla) et Leuctridae apparaissent comme des proies secondaires.** Les autres proies consommées sont plus rarement détectées dans les excréments.

On observe une variabilité temporelle significative du régime alimentaire de l'apron (MANOVA, $X^2 = 0,344$, $P = 0,002$) entre les différentes campagnes. Cette évolution temporelle est caractérisée par une évolution de l'abondance relative des deux proies principales (Figure 7). Durant la première campagne (15VERA), Heptageniidae représente 41 % des proies contre 25 % pour *Baetis*, et les proies secondaires (notamment *Dinocras*) ou rares représentent une part importante du régime alimentaire de l'apron (34 %). Durant la deuxième campagne (15VERB), l'abondance des deux proies principales augmente conjointement, mais de manière plus importante pour Heptageniidae passant respectivement à 48 % et 38 % pour *Baetis*. Enfin durant la 3^e campagne (15VERC), *Baetis* devient la proie la plus importante avec 43 % des proies contre 38 % pour Heptageniidae.



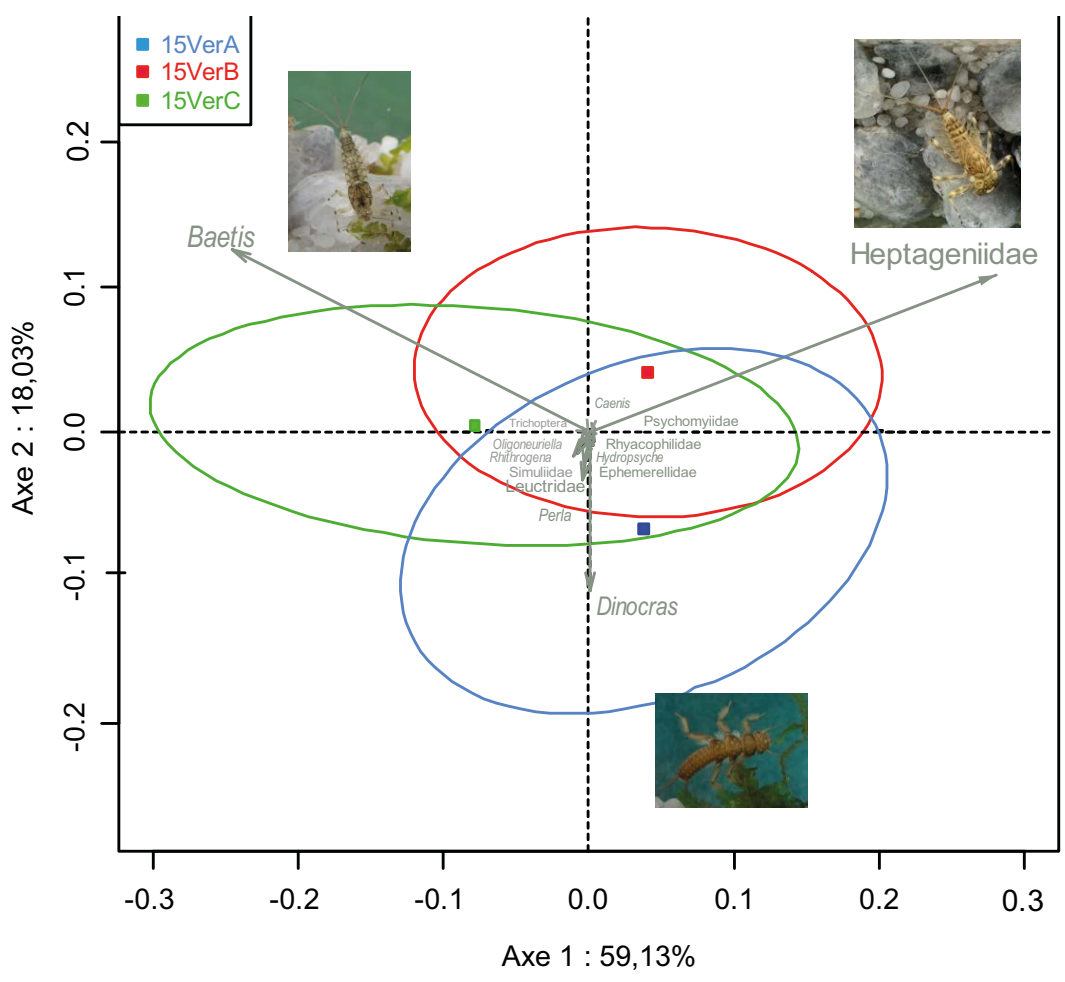
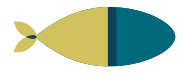


Figure 7 : Analyse en Composante Principale réalisée sur les proportions des proies par individu (auteur : Jean-Pierre Balmain, Irstea)

4.3 L'APRON SÉLECTIONNE SES PROIES

Les différences de structure entre communauté de proies du régime alimentaire et communauté d'invertébrés disponible dans le milieu (Figure) suggèrent que d'autres paramètres que l'abondance des proies dans le milieu influence le choix des proies de l'apron. Afin de tester cette hypothèse, un test du chi-deux a été réalisé. Sous l'hypothèse nulle (H0), l'apron sélectionne ses proies en fonction de leur abondance. Sous cette hypothèse, l'abondance relative des proies ingérées ne devrait pas être significativement différente de leur abondance relative dans le milieu. Ce test est rejeté pour chacune des campagnes (Figure 8).



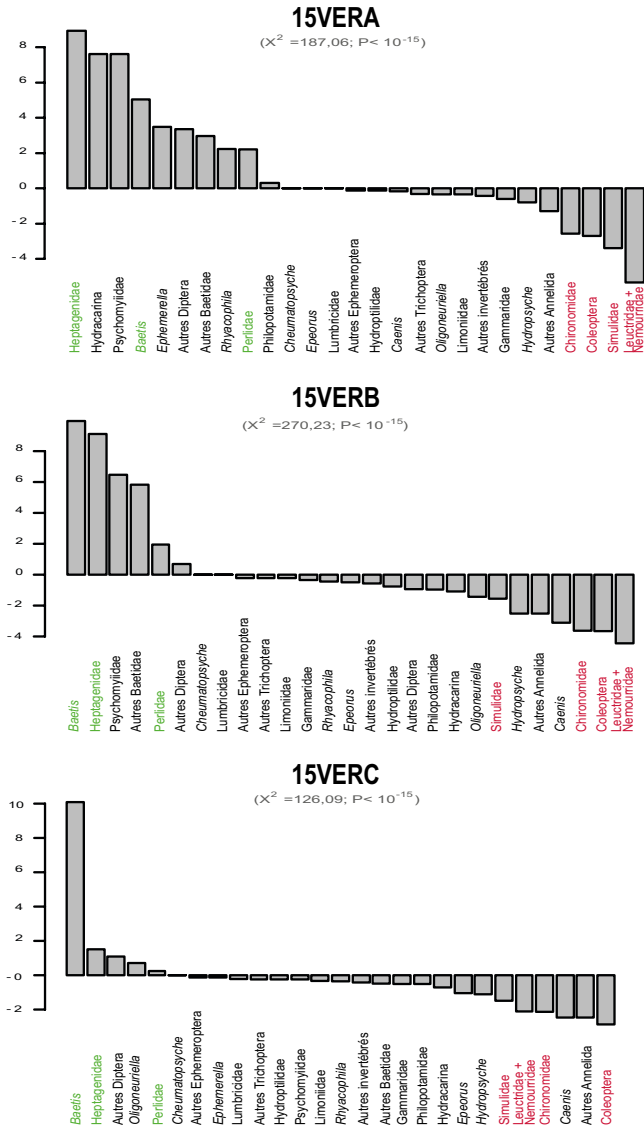


Figure 8 - Sélection des proies par l'apron

La distribution par proie des résidus du test Figure 8 rend compte de la sélection différentielle des invertébrés. Les invertébrés présentant des valeurs positives sont sur-sélectionnés par rapport aux prédictions d'HO, et inversement, ceux qui présentent des valeurs négatives sont sous-sélectionnés par l'apron. Par exemple, l'abondance relative du genre *Baetis* dans le régime alimentaire est plus importante que son abondance relative dans le milieu. Également, bien que Leuctridae et Nemouridae, soient exploités de manière récurrente et stable dans le Verdon par l'apron (Figure) l'apron ne les consomme pas autant qu'ils sont abondants dans le milieu.

Les proies dominantes du régime alimentaire de l'apron (Heptageniidae et Baetis) ainsi que les proies secondaires (Perliidae) sont sélectionnées positivement par l'apron, et ce, au cours des trois campagnes. Bien que moins importante, on observe également une sélection positiverécurrentesur Psychomyiidae (Trichoptères). À l'inverse, certains invertébrés qui sont abondants dans le milieu sont très peu exploités par l'apron comme Chironomidae, les Coléoptères, Simuliidae et les Plécoptères Leuctridae et Nemouridae. À l'exception de Leuctridae et Nemouridae, ces invertébrés n'ont pas été (occurrence nulle) ou très peu exploités par l'apron (ex : abondance relative de 0,04 % pour Simuliidae).



4.4 UTILISATION DE L'HABITAT L'APRON

Afin de déterminer les habitats exploités par l'apron pour son alimentation, l'association des invertébrés avec 17 variables quantitatives caractérisant les habitats échantillonnés a été étudiée. Nous avons choisi des variables mesurables permettant de rendre compte de la variabilité des habitats dans le Verdon en termes physiques (ex : granulométrie, colmatage, vitesse) mais aussi biologiques (ex : développement du périlithon). À l'aide d'une Analyse en Composante Principale, les 17 variables ont été réduites à 10 variables synthétiques, permettant d'éviter d'avoir des variables explicatives trop corrélées entre elles.

• 4.4.1 Caractérisation des habitats

L'Analyse en Composante Principale des 10 variables synthétiques est présentée à la Figure 12. On observe une évolution significative de la structure des habitats au cours des trois campagnes (MANOVA : $X^2 = 0,431$; $P < 10^{-15}$). La première campagne réalisée début juillet (15VERA) est caractérisée par des substrats plus fins ainsi qu'un développement moins important du périlithon (développement biologique) et de la biomasse végétale par rapport aux deux autres campagnes.

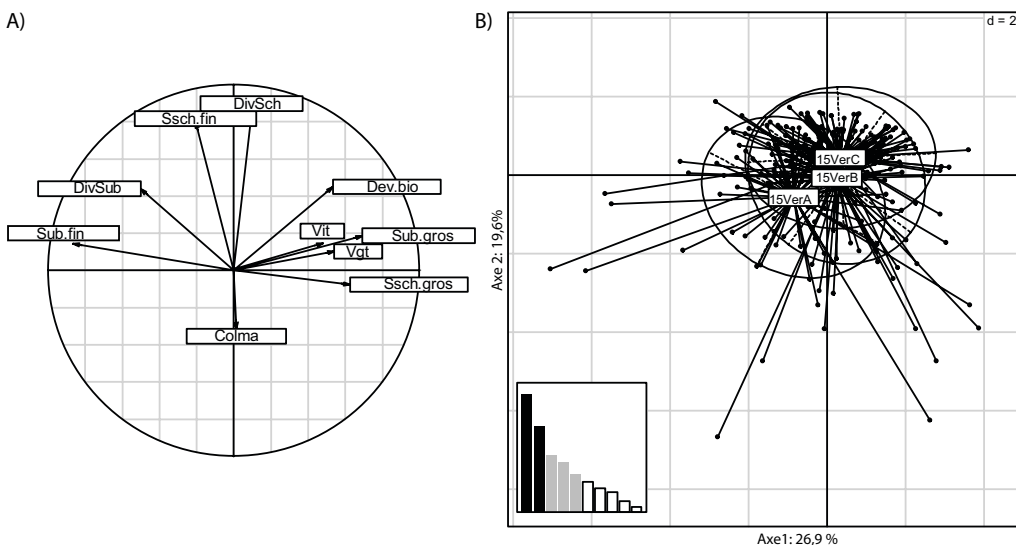


Figure 9 - Analyse en Composante Principale des données habitats. Sub.gros = Substrat le plus gros ; Sub.fin = Substrat le plus fin ; DivSub = diversité du substrat ; Ssch.gros = sous couche le plus gros ; Ssch.fin = sous-couche le plus fin ; DivSsch = diversité de la sous couche ; Veg = développement végétal ; Colma = niveau de colmatage ; Dev.bio = développement biologique ; Vit = vitesse du courant.

Cette évolution temporelle du substrat suggère un transport solide actif dans le Verdon, qui pourrait être lié aux éclusées opérées deux fois par semaine pour les activités de rafting en juillet-août. Bien que les éclusées estivales du moyen-Verdon à $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ne soient en général pas morphogènes, contrairement aux éclusées printanières plus importantes, le substrat de la station d'étude a bien été remanié entre début juillet (15VERA) et fin juillet (15VERB).



• 4.4.2 Analyse de la niche trophique de l'apron

À partir de l'analyse précédente, une analyse de co-inertie, dite analyse de niche (Dolédec et al., 2000), a été effectuée entre les données d'abondance des invertébrés et les variables habitats associées à chaque point d'échantillonnage. L'analyse de niche permet de rendre compte de l'association entre les abondances d'invertébrés et les variables habitats.

L'espace créé par les deux premières composantes de l'analyse de co-inertie (Figure 10A) a permis de caractériser :

1. des invertébrés associés à des habitats avec des vitesses de courant importantes qui pourraient appartenir à des faciès de type radiers (ex : *Wormaldia*, Simuliidae) ;
2. des invertébrés associés à une diversité du substrat importante et un courant modéré (ex : *Elmis*, *Hydropsyche*, *Baetis*, Hydroptilidae). Ces habitats pourraient appartenir à des faciès de type plats courants ;
3. des invertébrés qui ne sont pas ou peu associés à une variable particulière, suggérant une assez grande ubiquité à l'échelle de la station. Parmi ces invertébrés, il y a ceux qui sont les plus abondants dans le milieu (ex : Heptageniidae et Leuctridae). Ce manque de résolution de l'analyse est probablement à mettre en relation avec la faible diversité des habitats disponibles dans ce secteur du Verdon.

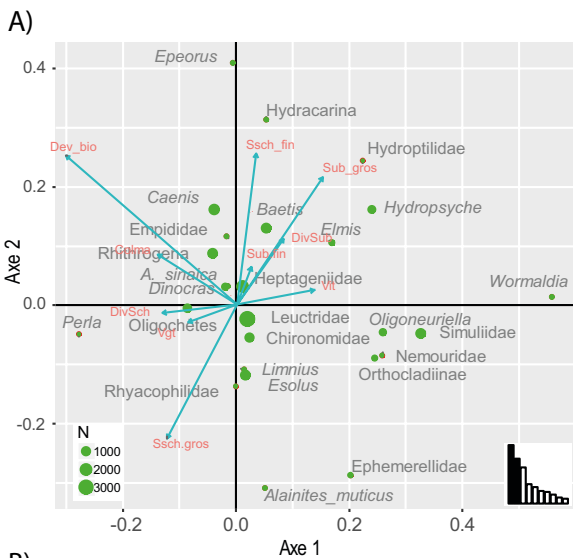
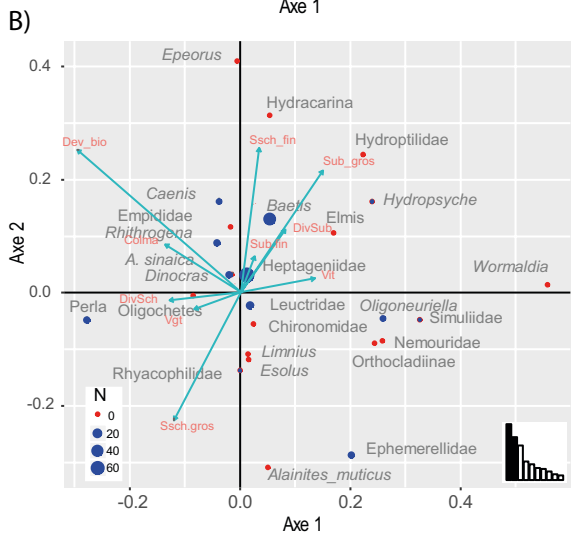


Figure 10 - Analyse de niche des invertébrés et des proies de l'apron. En A) et B) est figurée la position des différents invertébrés dans l'espace bidimensionnel créé. La taille des points est corrélée à leur abondance dans le milieu (A), ou à leur abondance dans le régime alimentaire de l'apron (B). Les vecteurs des variables habitats dans les deux premiers axes produits par l'analyse de co-inertie sont figurés par des flèches bleues



5. QUELQUES ÉLÉMENTS POUR LA CONSERVATION ET LA GESTION DE L'APRON DANS LE VERDON

L'analyse de la communauté d'invertébrés disponibles dans le milieu a révélé des densités faibles au cours des trois campagnes d'échantillonnages effectuées en été 2015 (inférieures à 1 500 ind/m²). Les analyses du régime alimentaire montrent que dans ce contexte, l'apron se nourrit principalement d'Éphéméroptères (Heptageniidae et *Baetis*), ces derniers ayant vu leur importance augmenter au cours des campagnes.

L'ensemble des résultats obtenus dans le Verdon peut être mis en relation avec les données obtenues sur les autres stations de références étudiées dans le cadre du Plan national d'action. Dans les autres secteurs, *Baetis* constitue la proie principale de l'apron, alors que Heptageniidae constitue plutôt une proie secondaire.

La singularité observée dans le Verdon, où le ratio Heptageniidae/*Baetis* est en faveur de Heptageniidae dans le régime alimentaire, est probablement due à la faible densité des invertébrés en général (oscillant entre 1 000 et 1 400 ind/m²), et plus particulièrement de celle des *Baetis*. Les larves de *Baetis* présentent des densités très faibles, allant de 63 et 67 ind/m², pour les deux premières campagnes, alors que par exemple la densité minimale observée sur la Durance à la station les Henris est de 340 ind/m².

En corollaire, lorsque la densité de *Baetis* augmente durant la 3^e campagne de l'Estellier (153 ind/m²), ce taxon redevient la proie la plus exploitée par l'apron. Ainsi, à l'Estellier, l'apron semble compenser la faible abondance de *Baetis*, qui apparaît comme sa proie optimale sur les autres secteurs, en reportant sa consommation sur Heptageniidae.

Par ailleurs, la comparaison des coefficients de condition des aprons sur les quatre rivières montre que la population du Verdon a un coefficient de condition faible (ANOVA : $F = 9,85$; $P = 0,001$; voir Figure 14). En outre, le coefficient de vacuité (proportion d'individus n'ayant pas d'excrément), est supérieur dans le Verdon ($V_{\text{moyen}} = 63\%$) à la moyenne de l'ensemble des stations ($V_{\text{moyen}} = 33\%$). Ces résultats suggèrent que la disponibilité de proies, caractérisée par une faible densité d'invertébrés et notamment de *Baetis*, pourrait être un facteur limitant pour l'apron. Dans ce contexte, nos résultats suggèrent que les conditions environnementales du Verdon sont sub-optimales pour l'apron.

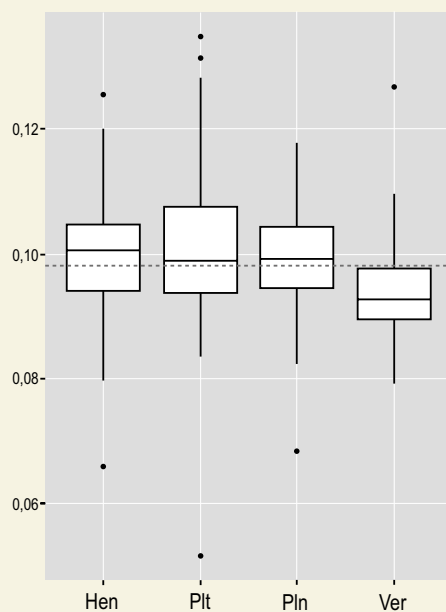


Figure 11 - Distribution des coefficients de conditions des différentes stations de référence. Hen = stations des Les Henris (Durance) ; Plt = station Platanes (Beaume) ; Pln = station de Port-Lesney (Loue) ; Ver = Verdon

Les causes de cette faible densité d'invertébrés sont en partie naturelles. En effet, le Verdon dans les grandes gorges est une rivière peu productive, ce qui est d'ailleurs confirmé par les données du régime alimentaire de l'apron, où très peu de microorganismes ont été détectés. Par ailleurs, le régime artificiel d'écluse est connu pour avoir des effets négatifs sur la densité des invertébrés. (Moog, 1993 ; Cereghino et al., 2002), avec des conséquences atténuées lorsque l'écart entre le débit plancher et le débit d'écluse est peu élevé (Valentin, 1997). La diminution d'abondance de la plupart des insectes est fortement liée à la mortalité de leurs œufs, pondus en hautes eaux et asséchés lors de la baisse des débits (Kennedy et al, 2016).

La population d'aprons du Verdon apparaît au travers de ce travail comme en situation sub-optimale dans les grandes gorges du Verdon. Dans ce contexte, cette population sera particulièrement impactée par des stress supplémentaires sur son habitat et sa ressource trophique. Une bonne gestion des différents usages de la rivière doit prendre en compte cet élément afin de préserver la population d'apron du Verdon et favoriser une dynamique populationnelle positive.



Baetis rhodani – auteur JP Balmain



Ecdyonurus – auteur JP Balmain



Dinocras – auteur JP Balmain

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont participé aux campagnes de terrain ayant permis la réalisation de cette étude : Rémi Chappaz, Anne Ferment, Guillaume Ruiz, François Chappaz, Pierre Favriou et Rémi Grenier. Particulièrement, nous voulons remercier Daniel Pedretti, du service départemental (SD 83) de l'Agence française pour la biodiversité, pour son aide précieuse dans l'organisation et la conduite des opérations de terrain, mais aussi pour sa bonne humeur et les très bons moments passés sur le terrain.

Nous remercions aussi Jean-Pierre Balmain et Mathilde Bertrand qui ont assuré la plus grande partie du tri et identification des invertébrés au laboratoire. Un grand merci à Emese Méglec pour la filtration des données de séquençage haut-débit. Ce travail a été financé en partie par le Parc naturel régional du Verdon et la DREAL PACA. Emmanuel Corse a été soutenu par une bourse post-doctorale d'Électricité de France et de l'Agence française pour la biodiversité.

BIBLIOGRAPHIE

- Arrizabalaga-Escudero A., Clare E.L., Salsamendi E., Alberdi A., Garin I., Aihartza J., & Goiti U., (2018). « Assessing niche partitioning of co-occurring sibling bat species by DNA metabarcoding ». *Molecular Ecology*, 27 : 1273-1283 pp.
- Cavalli L., Pech N., & Chappaz R., (2003). « Diet and growth of the endangered Zingel asper in the Durance River ». *Journal of Fish Biology*, 63 : 460-471 pp.
- Céréghino R., Cugny P. & Lavandier P., (2002). « Influence of intermittent hydropeaking on the longitudinal zonation patterns of benthic invertebrates in a mountain stream ». *International review of Hydrobiology*, 87 : 47-60 pp.
- Chappaz R., & Dubut V., (2018). « L'apron du Rhône (*Zingel asper* L.), un poisson endémique emblématique : répartition, prospection et dynamique de la population du Verdon ». *Courrier Scientifique du Parc Naturel Régional du Verdon* n°4.
- Chivers L. S., Lundy M. G., Colhoun K., Newton S.F., Houghton J.D., & Reid N., (2013). « Identifying optimal feeding habitat and proposed Marine Protected Areas (pMPAs) for the black-legged kittiwake (*Rissa tridactyla*) suggests a need for complementary management approaches ». *Biological Conservation*, 164 : 73-81 pp.
- Colwell R.K., Chao A., Gotelli N.J., Lin S.-Y., Mao C.X., Chazdon R.L., & Longino J.T., (2012). « Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation, and comparison of assemblages ». *Journal of Plant Ecology*, 5 : 3-21 pp.
- Corse E., Costedoat C., Chappaz R., Pech N., Martin J.-F., & Gilles A., (2010). « A PCR-based method for diet analysis in freshwater organisms using 18S rDNA barcoding on faeces ». *Molecular Ecology Resources*, 10 : 96-108 pp.
- Corse E., Archambaud-Suard G., Méglecz E., Chappaz R. & Dubut V., (2015). « Etude du comportement alimentaire de l'Apron du Rhône (*Zingel asper* L.), Secteur Durance - Bilan 2013-2015 ». *Rapport IMBE / Irstea - EDF/SMAYD*. 37 p.
- Corse E., Archambaud-Suard G., Méglecz E., Chappaz R. & Dubut V., (2016). « Etude du comportement alimentaire de l'Apron du Rhône (*Zingel asper* L.) : Secteurs Ardèche et Loue ». *Rapport IMBE / Irstea - CEN RA*. 24 pp.
- Corse E., Méglecz E., Archambaud G., Ardisson M., Martin J.-F., Tougard C., Chappaz R., & Dubut, V., (2017). « A from-benchtop-to-desktop workflow for validating HTS data and for taxonomic identification in diet metabarcoding studies ». *Molecular Ecology Resources*, 17 : e146-e159 pp.
- Dolédec S., Chessel D., & Gimaret-Carpentier C., (2000). « Niche separation in community analysis ». *A new method. Ecology*, 81 : 2914-2927 pp.
- Kartzinel T.R., Chen P.A., Coverdale T.C., Erickson D.L., Kress W.J., Kuzmina M.L., Rubenstein D.I., Wang W. & Pringle R.M., (2015). « DNA metabarcoding illuminates dietary niche partitioning by African large herbivores ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 112 : 8019-8024 pp.
- Kennedy T.A., Muehlbauer J.D., Yackulic C.B., Lytle D.A., Miller S.W., Dibble K.L., Kortenhoeven E.W., Metcalfe A.N. & Baxter C.V., (2016). « Flow management for hydropower extirpates aquatic insects, undermining river food webs ». *BioScience*, 66 : 561-575 pp.
- Moog O., (1993). « Quantification of daily peak hydropower effects on aquatic fauna and management to minimize environmental impacts ». *Regulated Rivers : Research and Management*, 8 : 5-14 pp.
- Motte, G., & Libois, R., (2002). « Conservation of the lesser horseshoe bat (*Rhinolophus hipposideros*, Bechstein, 1800) (Mammalia : Chiroptera) in Belgium. A case study of feeding habitat requirements ». *Belgian Journal of Zoology*, 132 : 47-52 pp.
- Nielsen J.M., Clare E.L., Hayden B., Brett M.T., & Kratina P., (2017). « Diet tracing in ecology: Method comparison and selection ». *Methods in Ecology and Evolution*, 9 : 278-291 pp.
- Quéméré, E., Hibert, F., Miquel, C., Lhuillier, E., Rasolondraibe, E., Champeau, J., Rabarivola C., Nusbaumer L., Chatelain C., Gautier L., Ranirison L., Crouau-Roy B., Taberlet P., & Chikhi, L., (2013). « A DNA metabarcoding study of a primate dietary diversity and plasticity across its entire fragmented range ». *PLoS ONE*, 8 : e58971 pp.
- Sánchez-Hernández J., (2014). « Age-related differences in prey-handling efficiency and feeding habitat utilization of *Squalius carolitertii* (Cyprinidae) according to prey trait analysis ». *Biología*, 69: 696-704 pp.
- White, T.E., (1953). « A method of calculating the dietary percentage of various food animals utilized by Aboriginal peoples ». *American Antiquity*, 18 : 396-398 pp.
- Valentin, S., (1995). « Variabilité artificielle des conditions d'habitat et conséquences sur les peuplements aquatiques : effets écologiques des éclusées hydroélectriques en rivière : études de cas (Ance du Nord et Fontaulière) et approches expérimentales ». *Thèse Université Claude Bernard Lyon I*. 272 p + annexes.



LA "MANGROVE" DES BERGES LACUSTRES DE MOUSTIERS-SAINTE-MARIE

Auteur de l'article :

- **Laurence FOUCAUT**, botaniste et phytosociologue, présidente de l'association "des amis du Parc naturel régional du Verdon" et membre du conseil scientifique du Parc.



Vue des berges de Sainte-Croix
en basses eaux - auteur :
Michel Oberlinkels

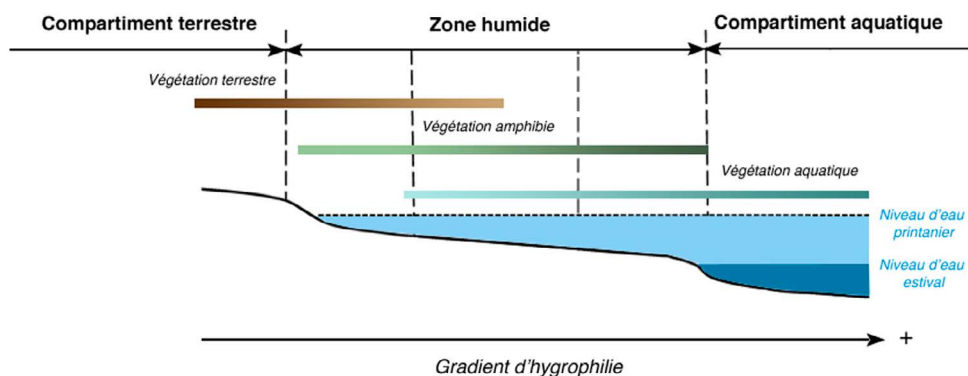
Depuis la mise en eau du lac de Sainte-Croix, une végétation aquatique, amphibie et terrestre a colonisé peu à peu les berges du lac de Moustiers-Sainte-Marie jusqu'à former un écosystème alluvial d'un grand intérêt biologique. Ce lac artificiel subit un marnage de 16 m en moyenne. En période de hautes eaux, généralement à la fin du printemps, on y observe une forêt de saules dont seuls dépassent les troncs et les feuillages tandis que le bas des troncs et les racines baignent dans l'eau. En basses eaux, lorsque ces saules sont émergés, les racines découvertes forment des sortes d'échasses haubanant les troncs tandis que la base est entourée d'un chevelu racinaire très dense. Si ces images tendent à nous évoquer la mangrove, celle-ci constitue avant tout une forêt côtière qui apparaît dans la zone de balancement des marées des régions tropicales à subtropicales. Et en bordure de Sainte-Croix, on y cherchera en vain les fameux palétuviers, arbres-rois de la mangrove, adaptés à la vie dans la vase et à une submersion temporaire et répétée par des eaux salées. Mais vivre à la frontière entre la terre et l'eau n'est pas une mince affaire et tend à initier des convergences de forme.

Les plans d'eau artificiels, nombreux dans notre région, comportent souvent des berges raides soumises à des baisses et hausses de niveau, rapides et irrégulières qui ne favorisent guère la végétation. La zone de marnage dénudée, qui les entoure, témoigne de l'hostilité de ces conditions. Tel n'est pas le cas à l'embouchure de la Maïre et du lac de Sainte-Croix, où les rives en pente douce ont permis le développement de formations végétales aquatiques, amphibies et terrestres diversifiées, disposées en ceintures concentriques.

Entre l'eau libre et les berges, deux compartiments se succèdent :

- un compartiment aquatique toujours en eau,
- un compartiment terrestre situé hors des zones d'inondation.

Entre les deux, apparaît un domaine humide subissant des périodes d'inondation plus ou moins prolongées. Ce dernier compartiment, plus difficile à délimiter, correspond à une zone de transition entre les systèmes terrestres et aquatiques. Les paramètres écologiques qui le régissent sont la hauteur d'eau au-dessus du sol, la fréquence, la durée et l'intensité des submersions, le niveau et la durée de saturation en eau du sol, autant de caractéristiques qui définissent l'hydropériode de la zone humide. Celle-ci traduit donc l'évolution au cours de la saison du niveau d'eau de la zone humide, paramètre déterminant pour la végétation, notamment pour les communautés amphibies (cf. figure 1).



d'après Bonis A. (2014)

Figure 1

LES DIFFÉRENTS TYPES DE COMMUNAUTÉS VÉGÉTALES CONTRIBUTANT À LA BIODIVERSITÉ DES BERGES DU LAC

Il existe plusieurs degrés d'adaptation morphologique à la vie dans l'eau, impliquant aussi bien l'appareil végétatif que la reproduction, qui vont conditionner la nature des espèces et leur position dans l'eau ou au sein des berges.

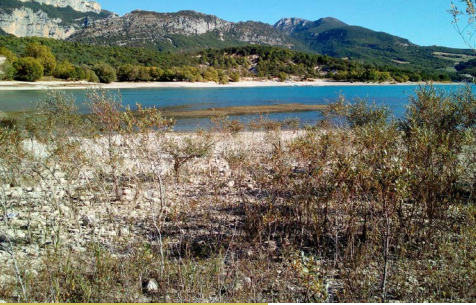
Le compartiment aquatique est investi par des hydrophytes, plantes aquatiques qui passent la saison défavorable sous l'eau. Ces espèces constituent différents types d'herbiers :

- **des végétations non enracinées flottant librement, soit à la surface, soit dans la lame d'eau.**
Dans le lac de Sainte-Croix, ce type de végétation est absent. On observe par contre deux autres types de groupements :
- **des végétations enracinées immergées,**
- **et des végétations enracinées flottantes.**



Les herbiers enracinés immergés sont dominés par le **Myriophylle en épi** (*Myriophyllum spicatum*), une plante à feuilles submergées, finement découpées le long de très longues tiges flottantes. Il est accompagné du **Potamot pectiné** (*Stuckenia pectinata*), à tiges longues, filiformes et à feuilles étroitement linéaires. Le **Renoncule à feuilles capillaires** (*Ranunculus trichophyllum* subsp. *trichophyllum*), à fleurs blanches à onglet jaune, est présente également mais de façon nettement moins abondante. Cette espèce vivace à tiges creuses peut atteindre 1 m et présente des feuilles découpées en lanières capillaires, toutes submergées et étalées en forme d'éventail.

Les herbiers enracinés flottants, quant à eux, sont marqués par la présence du **Potamot nouveau** (*Potamogeton nodosus*). Cet hydrophyte possède deux types de feuilles : des feuilles submergées, translucides, fragiles, à 2 faces hydrophiles et des feuilles flottantes opaques, coriaces. Ces dernières, au pétiole plus ou moins long, flottent grâce à un parenchyme aérifère bien développé à la face inférieure et à face supérieure pourvue d'une cuticule hydrofuge.



Herbiers à Potamot nouveau
auteur : Laurence Foucaut



Potamot nouveau (*Potamogeton nodosus* Poir).
auteur : Laurence Foucaut

La reproduction sexuée des plantes à fleurs exige le transport du pollen d'une fleur à l'autre, ce qui peut être problématique lorsque les fleurs sont immergées. Toutefois pour les espèces citées, la vie aquatique n'entraîne pas de contraintes particulières car ces plantes fleurissent à l'air libre. Myriophylles et Potamots produisent des petites fleurs blanches groupées sur des épis dressés qui émergent à la surface de l'eau. De même, la renoncule développe de belles petites fleurs blanches à onglet jaune qui s'épanouissent à l'air libre.

Myriophylles et potamots passent la mauvaise saison sous forme de bourgeons particuliers que l'on nomme hibernacles. À l'automne, l'extrémité de chaque rameau développe un bourgeon compact très dense qui finit par se détacher et se déposer sur les fonds tandis que le reste de l'appareil végétatif se décompose. Au printemps, l'hibernacle reprend sa croissance et est à l'origine d'un nouvel individu.



Le compartiment humide montre la coexistence de trois principaux types de végétation :

- **des communautés végétales aquatiques**, annuelles du fait du caractère temporaire de l'inondation ;
- **des communautés amphibies** qui tolèrent l'ensemble des conditions environnementales de l'hydropériode ;
- **des communautés terrestres** qui produiront leur croissance essentiellement pendant la phase d'exondation de la zone humide.

À Sainte-Croix, la **Naiade intermédiaire** (*Najas marina subsp. intermedia*), forme des herbiers qui se renouvellent chaque année. Cette espèce, dite annuelle, puisqu'elle ne vit qu'une saison, est entièrement submergée. Touffes rigides, d'un vert translucide, sa tige cylindrique est ramifiée de façon dichotomique (comme le fait celle du gui) et porte des feuilles opposées ou paraissant verticillées, linéaires et hérissées de dents. Les fleurs mâles et fleurs femelles sont portées par des pieds différents. Très peu visibles, réduites aux organes sexués, elles sont fixées à l'aisselle des feuilles et s'épanouissent sous l'eau. La pollinisation s'effectue alors grâce aux mouvements engendrés par les vagues.

Sur les berges, les héliophytes, à partie supérieure aérienne enracinée dans l'eau et à partie inférieure et bourgeons hivernaux sous l'eau, remplacent les hydrophytes.

Le premier groupement amphibie rencontré est constitué par le **Scirpe épingle** (*Eleocharis acicularis*), une espèce aux tiges capillaires simples et dressées et à épillet minuscule.

Cette petite Cypéacée forme un gazon vivace mesurant de quelques centimètres à une dizaine de centimètres. L'espèce aux longs stolons filiformes tend à monopoliser rapidement l'espace disponible et empêche l'installation des autres espèces qui sont généralement très éparées et représentées par peu d'individus. Cette formation démarre son cycle de végétation en conditions immergées, se présentant alors sous l'aspect d'un gazon fin recouvert d'une nappe d'eau d'une dizaine de cm puis fructifie ensuite lors des assecs estivaux.

En arrière, en situation légèrement surélevée, une autre formation cypéroïde basse, dominée par le Scirpe des marais (*Eleocharis palustris*), prend le relais. Cette plante, comme l'espèce précédente, ne possède qu'un unique épi floral terminant la tige. Elle pousse en petites touffes et forme souvent de larges plaques de gazon mais qui laisse apparaître le substrat en de nombreux endroits. Ce qui permet à d'autres héliophytes souvent plus robustes et à des annuelles des grèves exondées d'occuper l'espace.

Citons aux côtés du Scirpe des marais, le Plantain d'eau (*Alisma plantago-aquatica*), le Fluteau lancéolé (*Alisma lanceolata*), la Laïche verdâtre, (*Carex viridula*), la Prêle des rivières (*Equisetum fluviatile*), la Prêle des marais (*Equisetum palustre*), le Jonc articulé (*Juncus articulatus*), le Jonc diffus (*Juncus effusus*), le Lycopode d'Europe (*Lycopus europaeus*), la Lysimaque commune (*Lysimachia vulgaris*), la Salicaire (*Lythrum salicaria*), la Menthe aquatique (*Mentha aquatica*), la Menthe des cerfs (*Mentha cervina*)...

Cette formation amphibie basse subit des variations modérées du niveau hydrique et un dessèchement estival peu accentué. Elle colonise les stations sur sol argilo-limoneux à émergence estivale plus ou moins prononcée.



Le Scirpe en épingle (*Eleocharis acicularis* (L.) Roem. & Schult) – auteur : Christophe Bonnet



Gazon à Scirpe des marais (*Eleocharis palustris* (L.) Roem. & Schult.) – auteur : Laurence Foucaut

Sur les berges supérieures, se développe une végétation herbacée terrestre pionnière. De structure hétérogène, elle associe des touffes hautes atteignant 1 m, souvent discontinues, et des plages clairsemées de gazon plus ras, laissant apparaître par place la grève limono-sableuse. Elle se caractérise surtout par des plantes annuelles à développement conséquent et rapide, en raison de la richesse en matières nutritives du sol et de son taux d'humidité important qui se maintient durant la majeure partie de la saison de la végétation. Son optimum de développement se produit durant la deuxième partie de l'été jusqu'au début de l'automne. Le **Bident trifoliolé** (*Bidens tripartita*) en est l'une des espèces les plus représentatives.

On y rencontre de nombreuses espèces associée à cette dernière, comme : *Agrostis stolonifera*, *Bidens frondosa*, *Bolboschoenus maritimus*, *Chenopodium album*, *Crepis sancta*, *Diploaxis erucoides*, *Echinochloa crus-galli*, *Epilobium hirsutum*, *Juncus compressus*, *Lycopus europaeus*, *Lythrum salicaria*, *Mentha aquatica*, *Mentha cervina*, *Panicum capillare*, *Polygonum aviculare*, *Persicaria lapathifolia*, *Portulaca oleracea*, *Potentilla reptans*, *Pulicaria dysenterica*, *Setaria viridis*, *Symphytichum subulatum*, *Sysimbrella aspera*, *Verbena officinalis*, *Xanthium oientale* subsp. *italicum*, *Xanthium strumarium*...



Formations à Bidens à floraison en fin d'été. À gauche, le cours d'eau de la Maire et en arrière-plan, les saulaies à Saule blanc – auteur : Laurence Foucaut



Les formations amphibies à terrestres sont colonisées en partie par des groupements arbustifs dominés majoritairement par le Saule pourpre (*Salix purpurea*) et le Saule blanc (*Salix alba*) mais les inondations récurrentes freinent leur évolution.

En arrière, apparaissent des groupements arborescents beaucoup plus matures à Saule blanc (*Salix alba*). Ces boisements subissent de longues périodes d'inondations au printemps. Face aux fluctuations de l'humidité du sol, aux variations en oxygène dissous, aux changements de compacité du substrat, les plantes ont élaboré des stratégies leur permettant de survivre dans ces conditions difficiles.

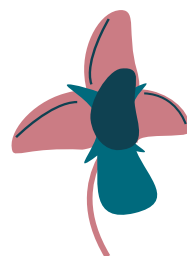


Formations arbustives à Saule pourpre et à Saule blanc; au premier plan, la Menthe des cerfs (*Mentha cervina*) qui colonise abondamment les plages d'alluvions- auteur : M. Oberlinkels

En zone inondable, la survie des ligneux ne peut avoir lieu que si les espèces disposent d'organes particuliers leur permettant de s'affranchir de ces contraintes environnementales. Le système racinaire servant d'interface entre le végétal et le substrat, il constitue donc l'organe-clef d'adaptation au milieu alluvial.

Sur les berges de Sainte-Croix, les saules au contact de l'eau ont développé une véritable armature racinaire. Certaines racines de diamètre important et ligneuses semblent haubaner les troncs et servent d'ancrage puissant. D'autres non ligneuses et très fines forment un chevelu racinaire très dense à la base des troncs ou au niveau des basses branches. Il s'agit de racines adventives, c'est à dire de racines ou radicelles apparaissant directement sur les tiges ou les branches. Ces racines peuvent « respirer comme les poissons » en absorbant l'oxygène de l'eau.

Ainsi, pour revenir à notre image première de la mangrove en zone tropicale, les palétuviers développent des racines échasses qui ancrent l'arbre dans le substrat peu stable tandis que leurs pneumatophores constituent des excroissances aériennes des racines qui ont pour fonction les échanges gazeux quand ils sont impossibles.



En région tempérée, le développement chez les saules de racines adventives est moins connu mais constitue une adaptation tout aussi performante. Si, dans un premier temps, ces racines possèdent uniquement un rôle de fixation, elles contribuent progressivement à la capacité d'absorption de la plante et exercent l'ensemble des fonctions racinaires. Ce sont des modifications hormonales qui assurent cette plasticité phénotypique de la plante (Piégay H. et al. 2003).



Saule blanc et son chevelu racinaire
auteur : Michel Oberlinkels

Ces saulaies sont installées sur des sols neufs peu évolués car la matière organique se décompose rapidement en période de basses eaux et qui sont régulièrement rajeunis par la montée des eaux. La variabilité du sous-bois est liée à la position topographique.

En fonction de la durée d'immersion par les crues et l'alimentation hydrique par la nappe phréatique, on observe une variante humide à *Carex elata*, *Carex viridula*, *Juncus compressus*, *Molinia caerulea* subsp. *arundinacea*, *Pulicaria dysenterica*...

Tandis que la variante à tendance sèche des niveaux topographiques légèrement plus élevés montre la présence de *Brachypodium rupestre*, *Equisetum ramosissimum*, *Plantago major*, *Poa compressa*, *Potentilla reptans*, *Scirpoides holoschoenus*, *Symphyotricum subulatum* et l'apparition d'arbustes des forêts de Chênes blancs comme *Crataegus monogyna*, *Rubus caesius*, *Rosa canina*. Dans ces derniers secteurs, le Peuplier noir (*Populus nigra*) infiltre le Saule blanc (*Salix alba*) et sur les bourrelets plus éloignés de la nappe phréatique devient majoritaire. Car les peupliers, à la différence des saules, ne supportent que temporairement un ennoiment total.



La Menthe des cerfs (*Mentha cervina* L.) – auteur : Laurence Foucaut



Le Fluteau lancéolé (*Alisma lanceolatum* With.) – auteur : Christophe Bonnet

DES ESPÈCES REMARQUABLES POUR LE DÉPARTEMENT

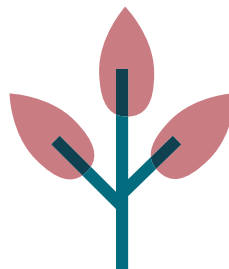
Plusieurs espèces végétales, d'intérêt patrimonial, se sont installées dans l'eau ou sur les berges du lac de Sainte-Croix.

- **la Naïade intermédiaire** (*Najas marina subsp. intermedia*), espèce très rare au niveau national n'offre que quelques stations en Languedoc et en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Dans le département, son unique station est celle des bords du lac de Sainte-Croix.
- **la Menthe des cerfs** (*Mentha cervina* L.), protégée au niveau régional, inscrite au *Livre rouge national* Tome I., est une espèce dont les stations en France se concentrent dans le sud. Dans le département, elle n'est connue que sur les berges de Moustiers-Sainte-Marie où elle forme de véritables petites "prairies" au sein des grèves.
- **le Scirpe épingle** (*Eleocharis acicularis* (L.) Roem. & Schult.) est bien représenté sur le territoire national mais est très rare au niveau régional et départemental. Ses uniques stations se situent sur les bords du lac à Moustiers-Sainte-Marie.
- **le Fluteau lancéolé** (*Alisma lanceolatum* With.) est une espèce bien présente sur le territoire national et bien représenté au niveau régional, notamment en bordure du littoral. Il est beaucoup plus rare au niveau départemental puisqu'on ne décompte qu'une vingtaine de stations.
- **le Gaillet des marais** (*Galium palustre* L.) est commun sur le territoire mais beaucoup moins fréquent au niveau départemental.

LA CONFLUENCE, UNE ZONE D'ARRIVÉE DES ESPÈCES INVASIVES

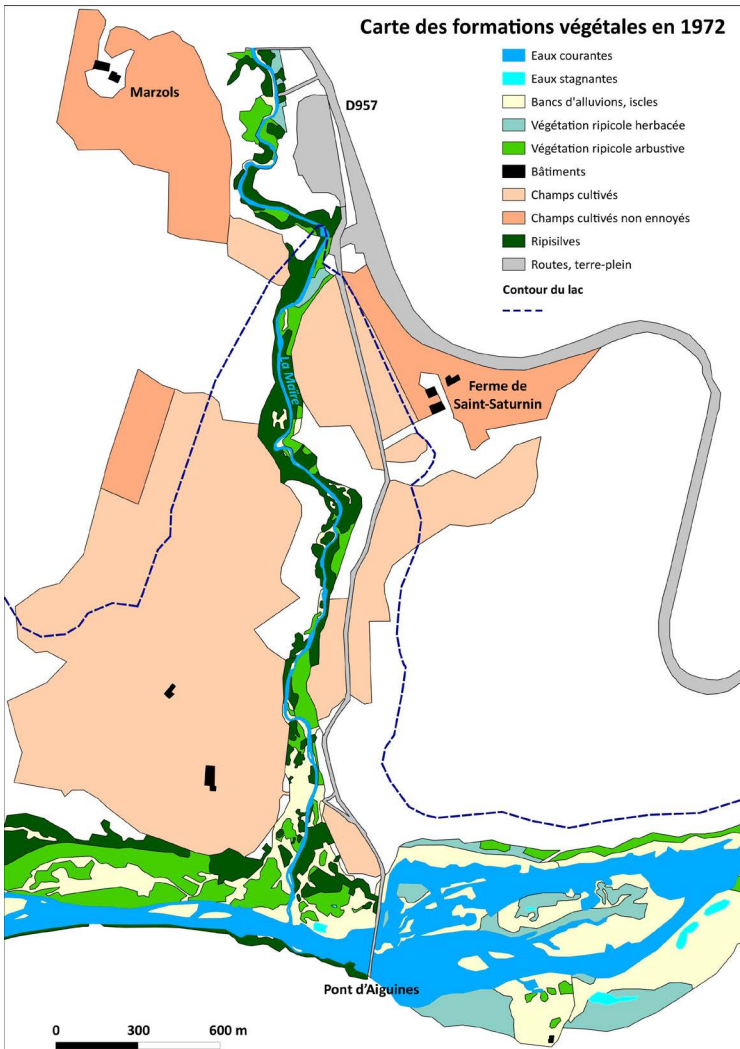
Depuis le Néolithique, l'homme, en raison de ses activités agricoles et des échanges avec les autres peuples, est à l'origine de la diffusion de nombreuses espèces végétales hors de leurs territoires naturels. Des plantes en provenance d'Asie, du bassin méditerranéen et d'Afrique du Nord ont été introduites en Europe et cultivées à des fins alimentaires ou transportées accidentellement. Puis, la découverte du continent américain à la fin du XV^e siècle a conduit à une hausse du taux d'introduction en Europe de nouvelles espèces végétales.

Ce phénomène s'est intensifié depuis le début du XX^e siècle en raison du développement des échanges à l'échelle mondiale. Si ces espèces végétales, introduites en Europe et en France depuis la fin du XV^e siècle, sont rares à s'acclimater et à se naturaliser, il en existe quelques-unes qui ont une capacité de reproduction très élevée et de propagation sur de larges zones. Ces espèces sont alors qualifiées d'« invasives » et ce terme est synonyme de celui d'« exotiques envahissantes » en France (Diadema et al., 2014).



Les milieux rivulaires font partie des biotopes les plus impactés par les espèces végétales exotiques envahissantes. La diffusion de ces dernières est facilitée par la forme linéaire de ces habitats souvent contigus et ramifiés tandis que la dispersion des graines est accrue par le transport par l'eau. De plus, ce sont des milieux où les ressources en eau et nutriments sont abondantes tandis que la compétition s'avère faible au sein des alluvions, du fait de l'instabilité liée aux inondations ou aux crues (Stohlgren et al., 1998).

La zone d'embouchure de la Maire ne fait pas exception et l'on dénombre la présence de plusieurs espèces exotiques bien établies. Ailante (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle), Arbre aux papillons (*Buddleja davidii* Franch.), Balsamine de Balfour (*Impatiens balfouri* Hook.f.), Buisson ardent (*Pyracantha coccinea* M.Roem.), Robinier faux-accacia (*Robinia pseudoacacia* L.), Solidage tardif (*Solidago gigantea* Aiton) sont présents le long de la rivière. Aster écaillé (*Symphotrichum subulatum* (Michx.) M.Nesom), Bidens à fruits noirs (*Bidens frondosa* L.), Millet capillaire (*Panicum capillare* L.) et Lampourde d'Italie (*Xanthium orientale* L. subsp. *italicum*) colonisent, quant à eux, les grèves lacustres. Si la plupart de ces espèces restent encore plutôt circonscrites, quelques-unes cependant sont particulièrement abondantes comme le robinier le long de la Maire ou comme l'Aster écaillé sur les berges de Sainte-Croix.



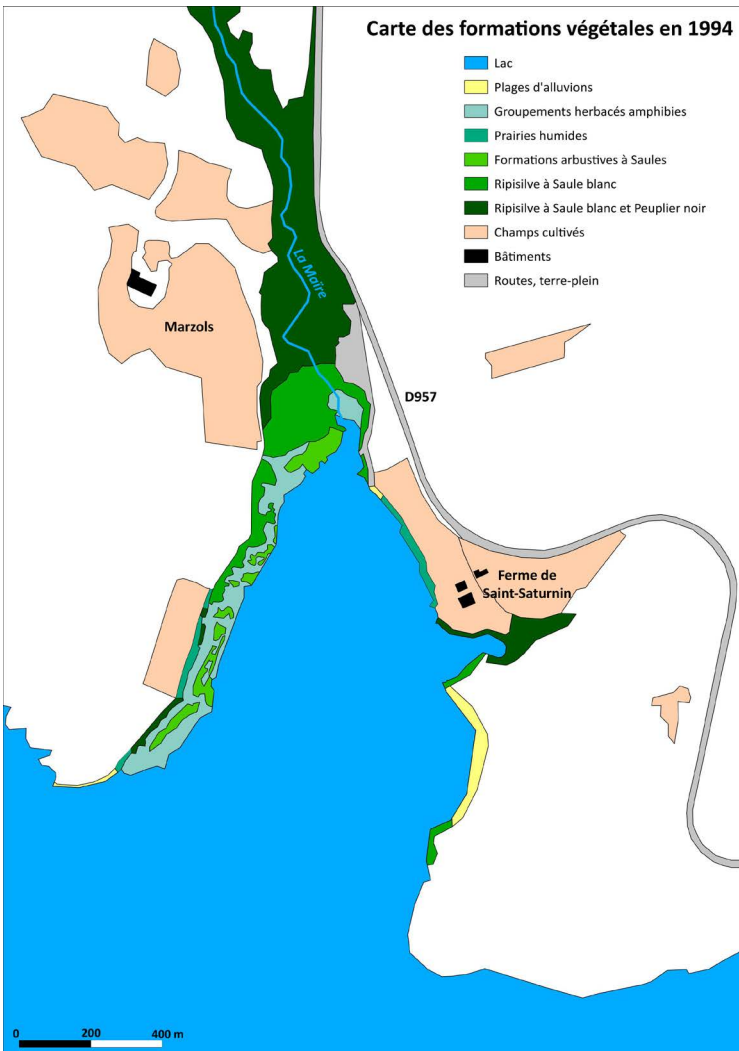
carte 1 -Formations végétales présentes en 1972 – auteur : Laurence Foucaut

UNE DYNAMIQUE VÉGÉTALE ACTIVE

Avant la création du lac, le Verdon s'écoulait dans la vaste plaine des Salles-sur-Verdon qui s'étendait entre grandes gorges et basses gorges. Une végétation alluviale bordait les nombreux méandres, iscles et bras morts de la rivière tumultueuse, qui évoluaient au gré des crues. La Maire déposait aussi ses plages d'alluvions à l'embouchure avec le Verdon.

Avec la mise en eau du barrage durant l'hiver 1973-1974, la vallée du Verdon change de visage et un nouveau paysage se dessine. L'eau épouse les épaulements des collines tandis que des criques et des plages émergent de cette transformation. Les berges d'alluvions de la Maire disparaissent sous les eaux, remplacées par des plages qui encadrent l'embouchure. Peu à peu, ces grèves à pente douce, à l'écart des activités touristiques, sont colonisées par les plantes d'eau et de nouveaux écosystèmes s'installent.

Les photographies aériennes anciennes permettent de retracer l'évolution paysagère due à ce bouleversement écologique.



carte 2 -Formations végétales présentes en 1994 – auteur : Laurence Foucaut

En 1974, la zone de confluence entre Verdon et Maire se caractérise par de larges alluvions plus ou moins colonisées et bordées par une ripisilve discontinue et étroite.

En 1982, la ripisilve à Saule blanc ne forme encore qu'un maigre liseré en arrière des plages tandis que les formations arbustives commencent à piquer les plages d'alluvions.

En 1994, la ripisilve à Saule est bien installée de même que les formations arbustives à saules qui émergent des zones d'alluvions submergées. Il est plus difficile de repérer les herbiers aquatiques et de préciser leur date d'implantation.



En une vingtaine d'année, l'écocomplexe des berges de Moustiers-Sainte-Marie s'est installé durablement. Le vent, mais plus probablement les oiseaux d'eau, ont favorisé l'apport des hydrophytes qui ont constitué peu à peu des herbiers. Au cours des décennies suivantes, la saulaie à Saule blanc comme la forêt mixte à Peuplier noir ont fortement gagné en maturité. Les saulaies arbustives se sont densifiées moins rapidement cependant, car freinées par le rythme des inondations, lesquelles ont contribué à la pérennité des formations amphibies.

Cet espace biologique de grand intérêt représente en quelque sorte un petit condensé des formations végétales qui peuplaient les berges, iscles et bras morts du Verdon quand celui-ci s'écoulait dans la plaine des Salles. Musée à ciel ouvert d'une végétation passée, il est le témoignage vivant d'une nature qui résiste et qui revient. Oiseaux nicheurs, migrants, poissons, batraciens, reptiles et toute la faune entomologique ont investi peu à peu ce haut lieu pour y vivre, se reproduire, ou y passer un moment de leur existence.



Balsamine de Balfour (*Impatiens balfourii* Hook.f.), une espèce invasive observée sur le lac de Sainte-Croix – auteur : Christophe Bonnet

Nom latin	Nom vernaculaire
<i>Agrostis stolonifera</i>	Agrostis stolonifère
<i>Ailanthus altissima</i>	Ailante
<i>Alisma lanceolatum</i>	Fluteau lancéolé
<i>Bidens frondosa</i>	Bident à fruits noirs
<i>Bidens tripartita</i>	Bident trifoliolé
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	Scirpe maritime
<i>Brachypodium rupestre</i>	Brachypode rupestre
<i>Buddleja davidii</i>	Arbre aux papillons
<i>Carex elata</i>	Laiche dorée
<i>Carex viridula</i>	Laiche tardive
<i>Chenopodium album</i>	Chénopode blanc
<i>Crataegus monogyna</i>	Aubépine monogyne
<i>Crepis sancta</i>	Crépis de Nîmes
<i>Diploaxis erucoides</i>	Roquette sauvage
<i>Echinochloa crus-galli</i>	Panic pied-de-coq
<i>Eleocharis acicularis</i>	Scirpe épingle
<i>Eleocharis palustris</i>	Scirpe des marais
<i>Epilobium hirsutum</i>	Epilobe hirsute
<i>Equisetum fluviatile</i>	Prêle des rivières
<i>Equisetum palustre</i>	Prêle des marais
<i>Equisetum ramosissimum</i>	Prêle rameuse
<i>Galium palustre</i>	Gaillet des marais
<i>Impatiens balfouri</i>	Balsamine de Balfour
<i>Juncus articulatus</i>	Jonc articulé
<i>Juncus compressus</i>	Jonc à tige comprimée
<i>Juncus effusus</i>	Jonc diffus
<i>Lycopus europaeus</i>	Lycophe d'Europe
<i>Lysimachia vulgaris</i>	Lysimaque commune
<i>Lythrum salicaria</i>	Salicaire
<i>Mentha aquatica</i>	Menthe aquatique
<i>Mentha cervina</i>	Menthe des cerfs
<i>Molinia caerulea subsp. Arundinacea</i>	Molinie élevée

Liste des espèces végétales citées dans cet article

Nom latin	Nom vernaculaire
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Myriophylle en épi
<i>Najas marina subsp. intermedia</i>	Naïade intermédiaire
<i>Panicum capillare</i>	Millet capillaire
<i>Persicaria lapathifolia</i>	Renouée à feuilles d'oseille
<i>Plantago major</i>	Grand plantain
<i>Plantago-aquatica</i>	Plantain d'eau Alisma
<i>Poa compressa</i>	Pâturin comprimé
<i>Polygonum aviculare</i>	Renouée des oiseaux
<i>Populus nigra</i>	Peuplier noir
<i>Portulaca oleracea</i>	Pourpier
<i>Potamogeton nodosus</i>	Potamot noueux
<i>Potentilla reptans</i>	Potentille rampante
<i>Pulicaria dysenterica</i>	Pulicaire
<i>Pyraecantha coccinea</i>	Buisson ardent
<i>Ranunculus trichophyllus subsp. trichophyllus</i>	Renoncule à feuilles capillaires
<i>Robinia pseudoacacia L.</i>	Robinier faux-accacia
<i>Rosa canina</i>	Eglantier des chiens
<i>Rubus caesius</i>	Ronce
<i>Salix alba</i>	Saule blanc
<i>Salix purpurea</i>	Saule pourpre
<i>Scirpoides holoschoenus</i>	Scirpe-jonc
<i>Setaria viridis</i>	Sétaire verte
<i>Solidago gigantea Aiton</i>	Solidage tardif
<i>Stuckenia pectinata</i>	Potamot pectiné
<i>Symphytotrichum subulatum</i>	Aster écailléux
<i>Sysimbrella aspera</i>	Cresson de Boissier
<i>Verbena officinalis</i>	Verveine
<i>Xanthium oientale subsp. Italicum</i>	Lampourde d'Italie
<i>Xanthium strumarium</i>	Lampourde glouteron

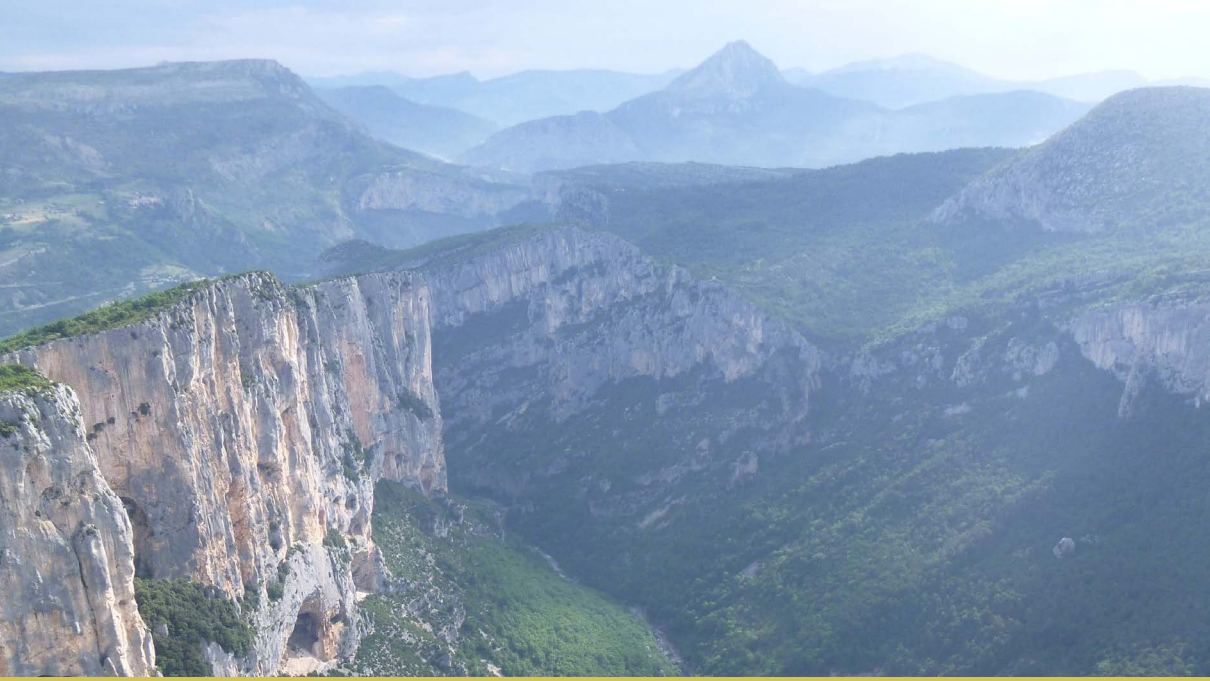
BIBLIOGRAPHIE

Bonis A., (2014). « L'hydropériode des zones humides : un déterminant écologique fondamental de la dynamique de la biodiversité ». pp. 102-151. In *Ecologie des zones humides*, Aidoud A., Bonis A., Clément N., Hubert-Moy L., Paillisson J.-M. & Bouzillé J.-B. (eds), Lavoisiercoll. Tec. & Doc.

Stohlgren, T. J., Bull, K. A., Otsuki, Y., Villa, C. A., & Lee, M., (1998). « Riparian zones as havens for exotic plant species in the central grasslands ». *Plant Ecology*, 138 (1). 113-125 pp.

Piégay H., Pautou G., Ruffinoni C., (2003). « Les forêts riveraines des cours d'eau ». *Institut pour le développement forestier*.

Terrin E., Diadema K., Fort N., (2014). « Stratégie régionale relative aux espèces végétales exotiques envahissantes en Provence-Alpes-Côte d'Azur ». *Conservatoire botanique national alpin & Conservatoire botanique national méditerranéen de Porquerolles*.



ÉTUDE DE L'IMPACT DU PIÉTINEMENT HUMAIN ENGENDRÉ PAR LES LOISIRS AQUATIQUES DANS LE MOYEN-VERDON

Auteur de l'article :

- **Christophe GARRONE**, ingénieur d'études à la Maison régionale de l'eau
Bd Grisolle BP 50 008 – 83670 Barjols

Les activités de sports et de loisirs aquatiques se sont développées sur le territoire du Verdon lors des dernières décennies et avec l'essor du tourisme. De nombreuses activités estivales sont proposées sur un territoire qui a toujours été très attractif, notamment pour son paysage grandiose. Le climat méditerranéen apporte, en plus, des températures relativement clémentes et un fort ensoleillement qui incitent à ces pratiques, d'autant que la qualité de la rivière est très bonne.

Autrefois redoutée, depuis « maîtrisée » suite à l'implantation des grands barrages hydroélectriques, la rivière Verdon et ses affluents se prêtent à différents types d'activités : canyonisme, randonnée aquatique, baignade, canoë kayak, raft, pêche, sorties naturalistes, nage en eau vive...

Dans le moyen Verdon (de Castellane au lac de Sainte-Croix), **le raft se pratique entre Castellane et Rougon**, principalement en été. Cette pratique nécessite toutefois un débit élevé nécessaire à la flottaison. En été, les pratiquants profitent des restitutions d'eau faites à partir de l'usine hydroélectrique. Dans la mesure du possible, EDF assure un minimum de jours de lâcher d'eau pour pratiquer cette activité.

Photo : le Couloir Samson dans le grand canyon du Verdon, vu depuis le belvédère de Trescaire sur la route des crêtes – auteur : Christophe Garrone

Le canoë kayak est utilisé par un public plus confirmé et notamment en hautes eaux. Certains secteurs des grandes gorges sont considérés comme très difficiles et s'adressent à des pratiquants expérimentés. L'activité est beaucoup plus développée sur les lacs du Verdon et notamment celui de Sainte-Croix. Il s'agit là plutôt d'une promenade. Du pont du Galetas, les kayaks remontent le Verdon et descendent fréquemment des embarcations pour se baigner, pique-niquer ou faire une pause, bien que ce soit interdit .

La nage en eau vive ou hydrospeed consiste à descendre les cours d'eau (souvent des torrents) équipé d'un matériel adapté (palme et flotteur en particulier). Elle se pratique sur le Verdon et notamment dans les grandes gorges. Très sportive, elle nécessite des arrêts fréquents dans l'eau.



Pratique du canyoning
– auteur : Christophe Garrone

Le canyonisme se pratique essentiellement sur les affluents, par groupe indépendant ou accompagné, et avec un équipement spécial. Il s'agit de descendre le cours d'eau à pied, à la nage ou en rappel dans des secteurs souvent très encaissés : canyon de la Ferné, ravin de Balène, canyon de la Clue, le Baou, le Val d'Angouire.



Pratique de la randonnée aquatique
– auteur : Christophe Garrone

La randonnée aquatique est dérivée du canyonisme mais ne nécessite pas forcément de matériel. Il s'agit de descendre le cours d'eau en nageant ou en marchant dans l'eau. Elle s'est fortement développée dans le moyen Verdon et notamment dans le couloir Samson, du Point Sublime jusqu'au belvédère de Trescaire, mais aussi dans les grandes gorges. C'est une activité accompagnée qui permet de faire découvrir les gorges à un public très large. Elle se pratique à faible débit.

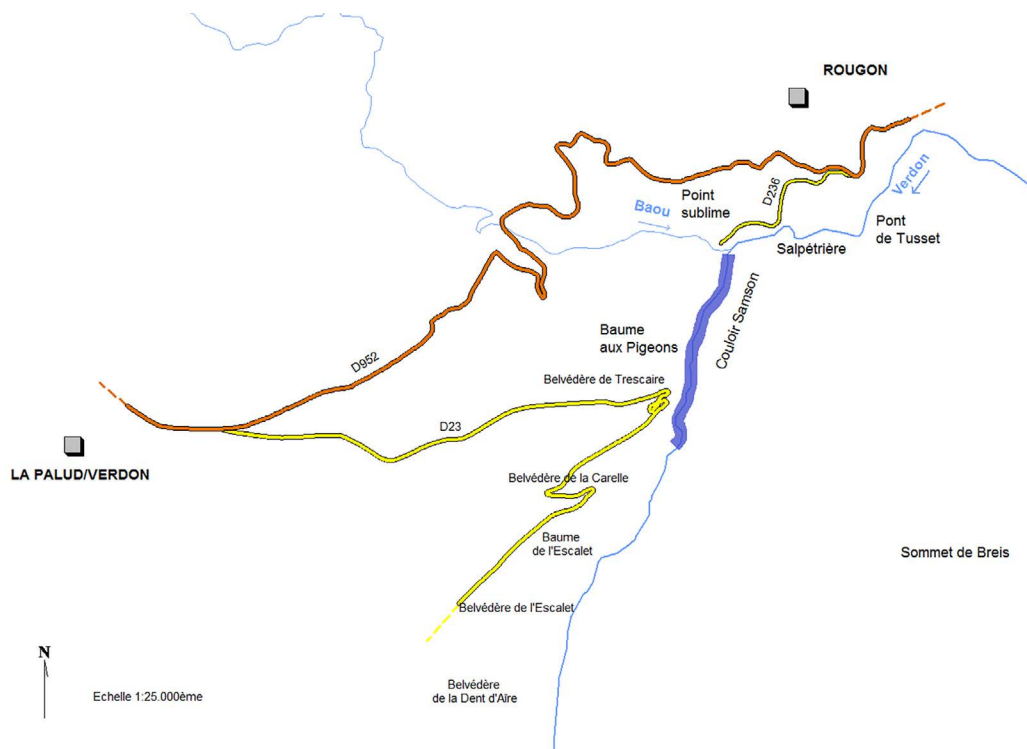


Figure 1 - localisation du secteur d'étude. En bleu le couloir Samson, secteur le plus pratiqué pour la randonnée aquatique – auteur : Christophe Garrone

Ces sports et loisirs aquatiques ne sont pas les seules activités à générer du piétinement sur les berges ou dans l'eau. Il y a aussi :

- **La randonnée pédestre** et quelques traversées de cours d'eau à pied ou des arrêts fréquents au bord de l'eau et notamment le long du sentier le plus connu, le sentier Martel.
- **La pêche** est une activité qui peut se pratiquer sur les berges ou dans l'eau, équipé de bottes étanches. Le pêcheur à la truite parcourt parfois plusieurs kilomètres le long ou dans le cours d'eau.
- Plusieurs secteurs sont très fréquentés en été pour s'y baigner ou se rafraîchir d'autant que la route D952 est très touristique. De nombreux campings bordent le Verdon et offrent des **zones de baignade** régulièrement fréquentées (bien que la baignade soit interdite sur le moyen-Verdon) : Pont de Taloire, Pont de Soleils, Carajuan ou le Point Sublime sont des sites très fréquentés.

LES ENJEUX DE PRÉSERVATION SUR LE TERRITOIRE DU VERDON

Le développement de ces activités pose la question du maintien de l'équilibre de la rivière et de son environnement proche. Cette réflexion, partagée entre différents acteurs du territoire, a initié une étude de l'impact du piétinement sur les milieux aquatiques réalisée entre 2014 et 2016 et inscrite dans le contrat de rivière ou maîtrise d'ouvrage du Parc naturel régional du Verdon (PNRV). Cette opération s'inscrit également dans la démarche Natura 2000. Plusieurs enjeux liés au territoire méritent d'être signalés :

- Le site des grandes gorges est inscrit à l'inventaire des sites par arrêté ministériel du 3 avril 1951 et fait l'objet d'une opération Grand Site visant à concilier le développement des activités humaines et la sauvegarde du patrimoine naturel et culturel. L'État et les collectivités territoriales ont renforcé cette protection par un classement au titre des sites par décret du 26 avril 1990, sur environ 7600 ha.
- Le grand canyon du Verdon fait partie du réseau Natura 2000. Ce site héberge plusieurs poissons patrimoniaux dont la seule population du Verdon d'un poisson appelé Apron du Rhône et qui est en danger critique d'extinction. Ce poisson, endémique du Rhône, fait également l'objet d'un Plan national d'actions pour sa sauvegarde.
- La Directive cadre européenne sur l'eau du 23 octobre 2000 fixe des objectifs obligatoires d'atteinte du bon état écologique et chimique des eaux superficielles et souterraines à horizon 2021. Si la masse d'eau est en bon état, l'objectif est bien sûr de le préserver.
- Le Parc naturel régional du Verdon porte un contrat de rivière depuis 2008, lequel doit permettre la mise en œuvre des opérations permettant l'atteinte des objectifs de bon état fixé par le SAGE Verdon.

Parmi les outils réglementaires déjà en place :

- Les Grandes Gorges sont classées en arrêté de protection de biotope (APPB) pour l'Apron du Rhône depuis le 15 novembre 2012. L'objectif de cet arrêté est de limiter le piétinement du biotope de l'Apron en réglementant les activités d'eau vive.
- L'arrêté préfectoral n°2013-1807 réglemente l'activité de randonnée aquatique dans le couloir Samson et sur le Verdon.
- L'arrêté préfectoral n°96-1399 réglemente la pratique de la descente de canyons sur de nombreux sites des Alpes de Haute Provence. La pratique est autorisée du 1er Mai au 30 Novembre, et de 10 h jusqu'à 18h. L'accès à certains canyons est interdit.

NIVEAU D'IMPACT ET FRÉQUENTATION HUMAINE

Afin de bien aborder la question de son impact, il est nécessaire de bien comprendre où, quand et comment se manifeste le piétinement. Il n'y a pas une activité qui génère plus d'impact qu'une autre. Tout dépend à la fois de la façon de pratiquer et du lieu de pratique. Il est impératif dans un premier temps, de se poser la question des secteurs vulnérables, c'est-à-dire à la fois sensibles (notamment d'un point de vue environnemental) et exposés (dépendant de l'activité).

Le niveau de l'impact est aussi et bien sûr dépendant du niveau de fréquentation. À l'heure actuelle, les données relatives à la fréquentation touristique (périodes fréquentées, nombre de personnes par sites, évolutions) sont malheureusement peu nombreuses ou sujettes à polémiques.

En 2007, une étude sur les aspects organisationnels, socio-économiques et techniques a été réalisée à l'échelle régionale en sélectionnant cinq sites représentatifs. Le Verdon a été choisi pour la randonnée aquatique. À l'époque, on comptait une trentaine de structures et 45 guides associés proposant de la randonnée aquatique. Aujourd'hui, de plus en plus de compagnies extérieures au bassin proposent cette activité sur le Verdon. Elle attire principalement une clientèle familiale et individuelle, souvent à la demi-journée. La fréquentation totale, toutes activités confondues, a été estimée entre 1.000 et 1.400 personnes par jour dans le couloir Samson.

Les comptages réalisés par le Parc naturel régional du Verdon dénombrent en moyenne 500 personnes par jour (moyenne journalière s'appliquant seulement sur la période du 20 juillet au 15 août). Toujours dans le couloir Samson, le suivi de la fréquentation et des comportements mené en 2014, même s'il est partiel et réalisé pour des périodes et des durées variables, estime à environ 260 le nombre de personnes par jour et en pleine saison.

- Les grandes gorges sont classées en arrêté de protection de biotope (APPB) pour l'Apron du Rhône depuis le 15 novembre 2012. L'objectif de cet arrêté est de limiter le piétinement du biotope de l'Apron en règlementant les activités d'eau vive.
- L'arrêté préfectoral n°2013-1807 régleme l'activité de randonnée aquatique dans le couloir Samson et sur le Verdon.
- L'arrêté préfectoral n°96-1399 régleme la pratique de la descente de canyons sur de nombreux sites des Alpes-de-Haute-Provence. La pratique est autorisée du 1^{er} Mai au 30 novembre, et de 10 h jusqu'à 18 h. L'accès à certains canyons est interdit.

De nombreux facteurs peuvent jouer sur la fréquentation, parfois de manière inattendue :

- De bonnes conditions météorologiques ne s'accompagnent pas toujours d'une forte fréquentation. L'activité est très dépendante des locations à la semaine. Les réservations (mobil-home et camping en grande majorité) sont souvent maintenues quelles que soient les conditions météorologiques. L'activité se réserve quelques jours avant, si bien qu'elle a lieu même si les conditions ne sont pas optimales ce qui n'est pas forcément le cas pour la baignade.
- Les week-ends ne sont pas forcément les jours de plus forte affluence. La fréquentation peut se réduire de plus de 20 % le dimanche. Les locations se font généralement du samedi au samedi et le dimanche est consacré à l'installation et au repérage. Il faut visiblement un à deux jours avant de déclencher une réservation si bien que les jours de fortes affluences sont généralement les mercredis et jeudis.
- Des variations sont aussi relevées dans la journée. Deux pics de fréquentation sont observés, en milieu de matinée et en milieu d'après-midi, ce qui crée parfois des complications à certaines heures et notamment d'un point de vue de la circulation.



Le couloir Samson vu depuis le haut de la Baume aux pigeons (station d'étude pratiquée) - auteur : Léa Meilleurat

QUELS SONT LES ENDROITS OU PÉRIODES EXPOSÉS ?

Nous retrouvons un certain nombre d'actions dans chacune des activités de loisirs énumérées plus haut, à plus ou moins forte importance :

- Le contact avec le fond du cours d'eau (marche dans l'eau, frottement) déstructure les fonds et chasse les espèces qui s'y trouvent. Il est probablement l'action la plus impactante.
- La marche hors d'eau sur les berges ou les atterrissements est tout aussi impactante notamment si les berges sont instables ou si la zone alluviale contient des zones humides de bas-fond.
- La nage ou la flottaison d'une embarcation peut ponctuellement engendrer des contacts avec le fond de la rivière si la profondeur (et donc le débit) n'est pas suffisante. Sinon, le principal impact est le dérangement.
- Les sauts dans l'eau peuvent se terminer par un contact avec le fond mais initient surtout du dérangement.
- Certaines activités génèrent leur propre impact. Une des actions de canyonisme consiste à se laisser glisser dans une goulotte, érodant toute forme de vie. Pour le raft, le bois mort déposé et les embâcles constituent un danger. Pour les poissons notamment, c'est un habitat extrêmement important qui leur procurent abri et alimentation.
- Toutes activités confondues, la fréquentation humaine génère des impacts indirects : déchets, déjections, problèmes de circulation et de stationnement, animaux domestiques errants...



Groupe de randonneurs aquatiques à l'arrêt, en contact avec le fond du cours d'eau - auteur : Christophe Garrone

La surface investie dans le cours d'eau est ensuite déterminante dans le niveau d'exposition. Elle est parfois en lien avec le nombre de personnes fréquentant un site. Les zones les plus exposées sont souvent les tronçons de cours d'eau proposés par les compagnies ou les zones facilement accessibles en voiture. Les zones d'embarquement et de débarquement sont aussi des zones qui génèrent beaucoup de piétinement.

QUELS SONT LES HABITATS, ESPÈCES OU PÉRIODES SENSIBLES ?

- **Les tronçons de cours d'eau abritant des espèces à très forte valeur patrimoniale**, comme le Chabot, le Blageon ou l'Apron du Rhône. Le fond du cours d'eau, entre pierres et galets, constitue la principale zone d'accueil pour la faune du cours d'eau. Quand on parle de faune aquatique, on pense en premier lieu aux poissons et on les imagine vivant dans la veine d'eau. Néanmoins, de nombreuses espèces discrètes vivent au fond du cours d'eau, entre les galets. C'est le cas de l'Apron du Rhône ou du Chabot lesquels comptent sur leurs camouflages et ne s'enfuient donc pas à l'approche d'un prédateur ou d'une personne. Il y a aussi de nombreux invertébrés qui jouent un rôle très important dans l'écosystème et qui constituent un compartiment très dense et diversifié. Dans le Verdon, on peut compter jusqu'à 5000 invertébrés aquatiques par mètre carré !
- **Les habitats fragiles comme les tufs et travertins**, les zones de dépôts de bois morts et d'éléments fins ou les herbiers aquatiques. C'est par exemple le cas des cascades de Saint Maurin qui ont dû être fermées au public après avoir constaté de nombreuses dégradations. Les herbiers aquatiques sont à la base de la chaîne alimentaire et constituent des abris importants. Ce ne sont pas toujours des plantes supérieures et des herbiers impressionnants. Sur le Verdon, ce sont les mousses aquatiques (bryophytes) qui dominent à la surface des rochers et des grosses pierres.
- **La période de reproduction des espèces est une période très sensible**. La plupart des espèces aquatiques ont une stratégie basée sur la production d'une descendance très nombreuse pour que, quelques années plus tard, il subsiste un nombre suffisant de reproducteurs. Cette stratégie est souvent de règle dans les écosystèmes à forte contrainte et à très fort dynamisme. Les crues, le réchauffement de l'eau, la prédation sont autant de facteurs engendrant de régulières mortalités, notamment chez les jeunes. Détruire des zones de reproduction en les piétinant porte atteinte directement au peuplement.
- **Les espèces n'ont pas toutes les mêmes réactions face à l'être humain**. Certaines sont plus sensibles au dérangement que d'autres comme par exemple la Truite fario. Il est difficile en l'état actuel des connaissances, d'appréhender, de manière précise, la sensibilité des espèces à la fréquentation humaine. Par analogie avec certains groupes observés comme les rapaces par exemple, il est possible que les individus s'accommodent d'un passage s'ils ne l'associent pas à un danger. Cependant, tout élément nouveau sera interprété comme un danger. Par exemple, il est assez courant d'observer un rapace au bord de la route, posé sur un fil électrique. Le passage des voitures ne le dérange pas. En revanche, il s'éloignera si une voiture s'arrête et le conducteur sort.

L'ÉTUDE DE L'IMPACT DU PIÉTINEMENT

Au cours des étés 2014 à 2016, un suivi de la rivière a été mis en œuvre par la Maison régionale de l'eau et le Parc naturel régional du Verdon. L'objectif principal de cette étude était de mieux caractériser et détecter les effets du piétinement humain sur la rivière et évaluer la sensibilité des habitats aquatiques. Les éléments recueillis permettront d'améliorer la gestion des activités aquatiques de pleine nature dans la zone du moyen Verdon.

L'étude s'est focalisée sur un secteur très attractif et particulièrement fréquenté en été : le couloir Samson. Il concentre plusieurs activités avec en amont des zones de baignade et de débarquements pour les rafts et dans sa globalité, la randonnée aquatique, la pêche et le canoë-kayak.

Afin d'aborder l'impact du piétinement, nous nous sommes focalisés sur la randonnée aquatique qui produit des passages réguliers sur un cheminement proposé en début de saison et respecté en majorité par les prestataires. Malgré ce choix, il s'agit bien d'évaluer les effets

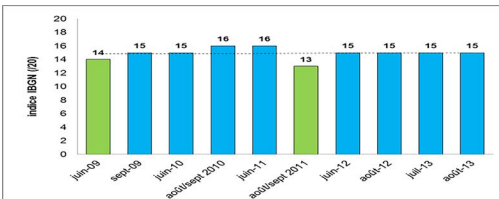
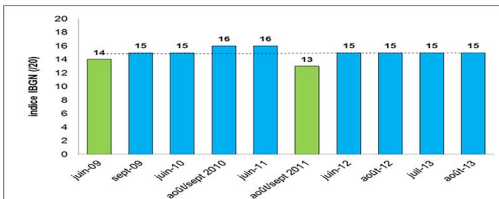
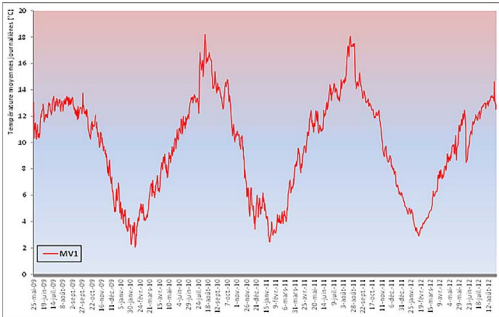
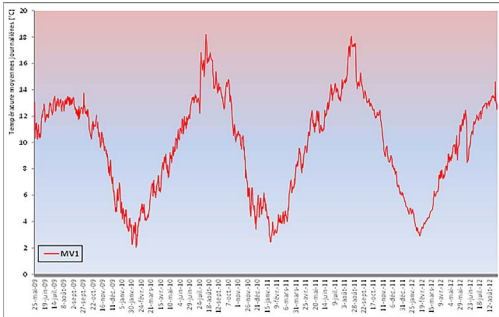
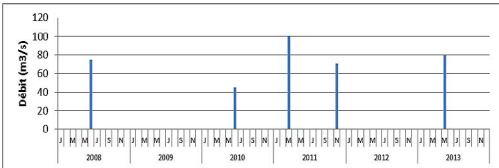
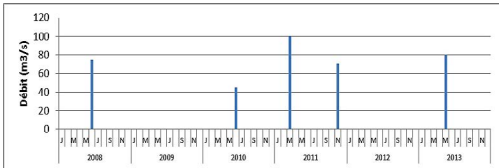
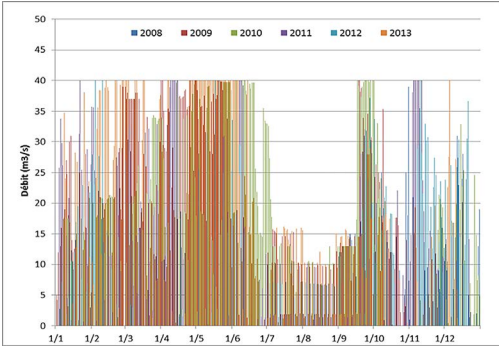
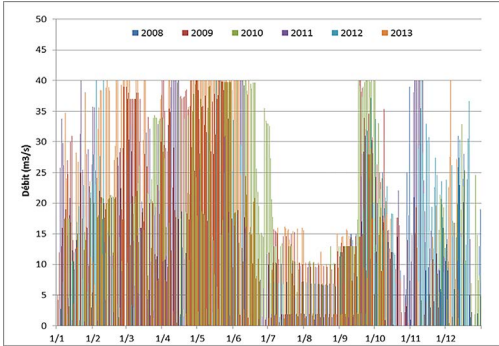
du piétinement sur l'écosystème de la rivière, les effets étant identiques quel que soit l'utilisateur : baigneurs, promeneurs, pêcheurs, pratiquants d'un sport d'eau vive, naturalistes.

La méthode est basée sur une comparaison de stations et d'habitats avec des niveaux de fréquentation humaine variables : un secteur témoin peu ou pas fréquenté (pas évident à trouver de nos jours dans le Verdon) et un secteur parmi les plus fréquentés et où un certain nombre d'éléments est connu et maîtrisé : cheminement, actions menées ou absence d'autres usages. La station témoin se situe entre le pont de Tusset et la confluence avec le Baou. La station pratiquée se situe dans le couloir Samson. L'accès se fait en corde par le tunnel du sentier Martel.

La méthode consiste aussi à montrer que les deux stations subissent les mêmes événements (crues, montées des eaux, niveaux de pollution, influences thermiques, etc.). Au final, seul le niveau de fréquentation diffère.

Station « témoin »

Station « pratiquée »



Comparaison des chroniques de restitutions, des crues significatives, des variations thermiques et de la qualité de l'eau, sur la station « témoin » et sur la station « pratiquée » - auteur : Christophe Garrone

La méthode fait aussi largement appel au compartiment des invertébrés aquatiques. De petites tailles, ils vivent pour la plupart au fond de la rivière et exploitent des habitats et des sources de nourriture différentes. Ils peuvent être utilisés comme indicateur de la bonne santé des milieux. Parmi eux, de nombreux insectes, des vers, des crustacés ou des gastéropodes. Au cours des trois années d'étude, plusieurs travaux ont porté :

- sur la morphologie du cours d'eau et les habitats de la rivière (faciès d'écoulement, habitats aquatiques, granulométrie des fonds, flore aquatique, vitesses d'écoulement...),
- sur des prélèvements d'invertébrés aquatiques dans les différents habitats du cours d'eau,
- sur certains paramètres physiques comme la température de l'eau, les débits, les crues et les restitutions de l'usine hydroélectrique de Chaudanne,
- sur le niveau et la nature du piétinement humain et l'identification des habitats les plus exposés, leur typologie (fragiles, peu exposés, non exposés).



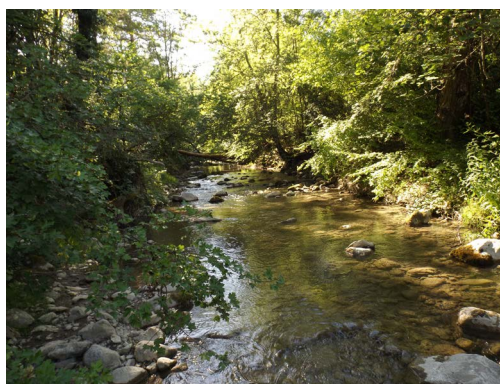
Prélèvement des invertébrés benthiques au filet « surber », lequel est placé au fond, face au courant. Le cadre de surface 1/20° de mètre carré est nettoyé et la faune dérive dans le filet – auteur : Christophe Garrone



Larve d'*Ecdyonurus* - auteur : Christophe Garrone



Invertébré aquatique - auteur : Christophe Garrone



Le Baou, affluent se jettant dans le Verdon juste à l'amont du couloir Samson - auteur : Anne Ferment

LES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE

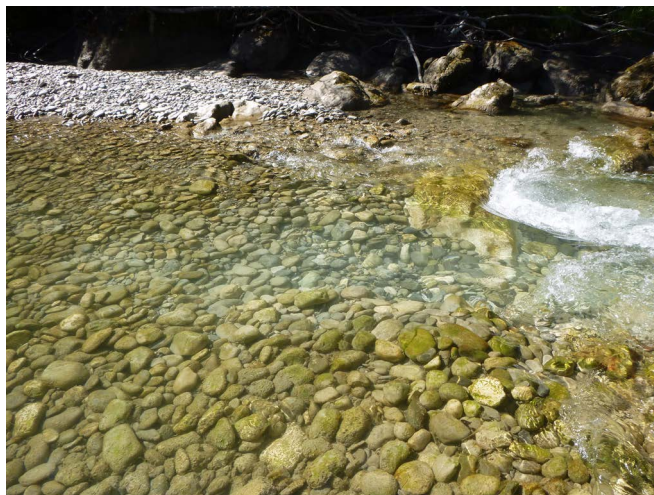
Les premiers travaux ont consisté à mieux définir, au travers de la bibliographie, les niveaux de densité (nombre d'individus en moyenne par unité de surface et sur l'ensemble du moyen Verdon (Castellane - lac de Ste Croix)) et de richesse faunistique (nombre moyen d'espèces observées et écarts-type) que l'on peut observer dans le Verdon en temps normal.

La densité est une métrique dont les variations interannuelles ou inter-saisonnières sont assez importantes. Les études déjà réalisées dans le moyen Verdon montrent que les densités en invertébrés oscillent entre 2000 à 5000 individus par m².

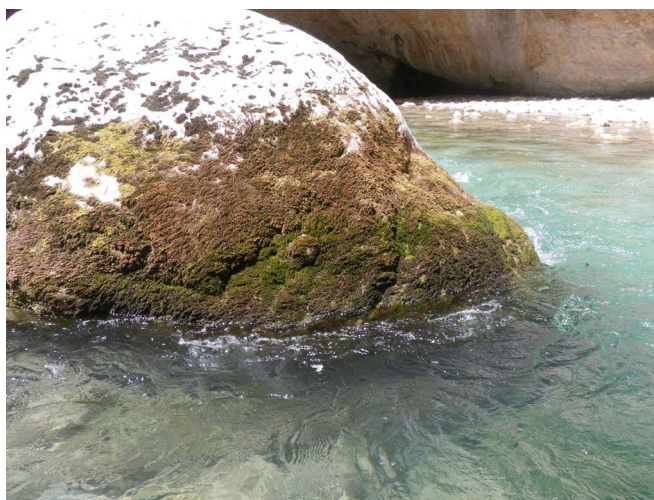
Les crues ont souvent des effets marqués en abaissant les densités comme c'est le cas entre 2010 et 2013. La richesse faunistique peut être considérée comme globalement moyenne à forte et comprise entre 20 et 25 taxons.

Trois types d'habitats ont été choisis pour les prélèvements et en fonction :

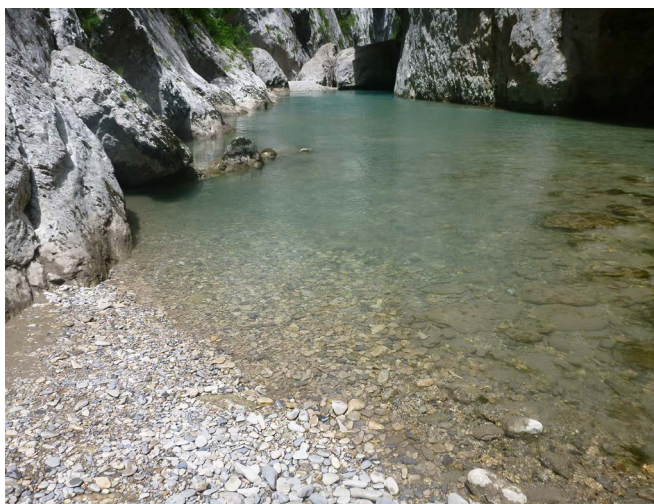
- de leur représentativité, les pierres et les galets dominant la surface des deux stations ;
- de leur capacité d'accueil comme la végétation aquatique ;
- de leur probabilité d'être piétinés.



Parfois accompagnées de quelques blocs, **les cailloux et pierres grossières** sont rarement couverts par de la végétation sauf quelques algues vertes filamenteuses et une couche épaisse de diatomées à leur surface.



Parfois accompagnées de quelques algues vertes filamenteuses, **les mousses aquatiques ou bryophytes** poussent à la surface des blocs et des dalles et forment parfois une couche épaisse et dense dans laquelle s'accumulent des limons par piégeage.

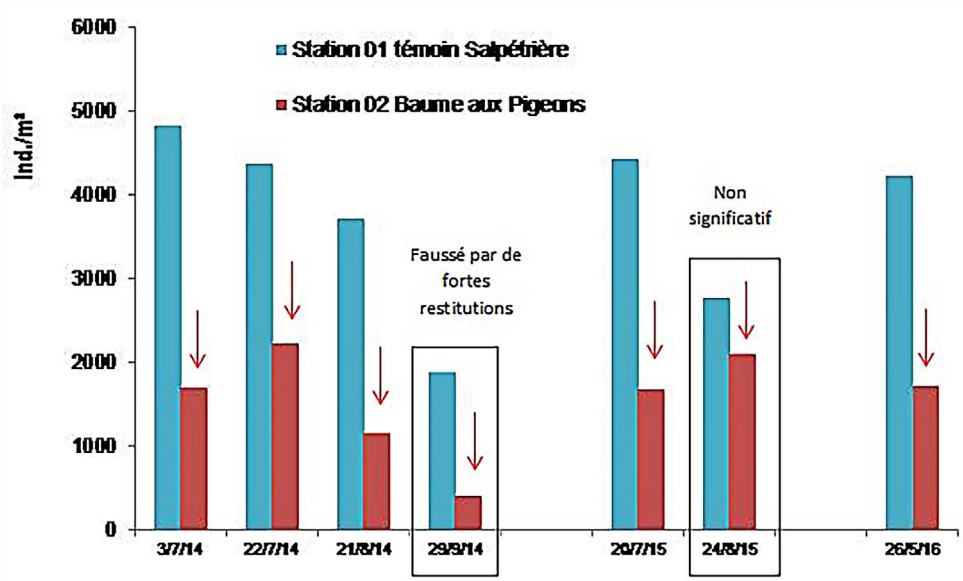


Parfois accompagnés de pierres grossières, **les graviers et cailloux fins** sont présents dans des zones à écoulement plus lent et sont souvent plus instables. Les végétaux sont quasi-absents et la couche de diatomées assez mince.



les 3 habitats du cours d'eau choisis pour les prélèvements d'invertébrés
auteur : Christophe Garrone

L'impact du piétinement s'exprime d'abord par des baisses de densité faunistique importante et dès les premiers passages des randonneurs aquatiques. Les invertébrés ne sont pas forcément écrasés et morts mais dérivent vers l'aval.



Les différences de densités sont systématiquement significatives (test non paramétrique de Mann Whitney et Wilcoxon), sauf la campagne d'août 2015 où la pratique de la randonnée aquatique sur la station témoin s'est malheureusement intensifiée.

Figure 3. Densités en invertébrés relevées sur chaque station pour toutes les campagnes de suivi des habitats (6 prélèvements par stations et par campagnes) – auteur : Christophe Garrone

Elle n'est pas non plus significative en septembre 2014 car la campagne a été réalisée après une longue période de restitution qui affecte l'ensemble des deux stations. D'un point de vue des richesses faunistiques, les différences sont globalement moins significatives. La richesse est affectée quand le niveau de densité est extrêmement faible. Il ne semble donc pas y avoir d'espèces plus sensibles que d'autres, les dérives sont provoquées au hasard.

Outre les différences de densité d'invertébrés révélées entre les deux stations, l'analyse habitat par habitat montre que les cailloux de petite taille sont très instables et supportent moins le piétinement. **La végétation aquatique est faiblement enracinée à son support. Elle supporte aussi assez mal les impacts. Elle constitue pourtant de véritables réservoirs biologiques dans un cours d'eau dominé par les éléments minéraux.**

Il ne semble pas y avoir de véritable et franche évolution en cours de saison. Les données liées à la fréquentation ne mettent pas non plus en évidence de variations significatives au cours de l'été (juillet et août). **Les prélèvements réalisés au printemps montrent que l'impact s'exprime rapidement et dès le début de saison, même quand la fréquentation est encore faible.**

Le piétinement ne semble pas non plus porter atteinte à la qualité biologique globale des secteurs empruntés. L'Indice Biologique Global adapté à la Directive cadre européenne se base sur les invertébrés benthiques pour attribuer une note sur 20 au cours d'eau. Cet indice est utilisé pour évaluer l'état écologique des masses d'eau. La question ici est de savoir si l'impact mesuré en été perdure dans l'année. Les prélèvements ont été réalisés à l'aveugle, pour ne pas orienter l'échantillonnage vers des zones régulièrement piétinées. En 2015 et 2016, les notes obtenues classent le cours d'eau en très bonne qualité. Elles sont conformes aux indices obtenus sur d'autres secteurs.

Comme déjà dit plus haut, la surface investie dans le cours d'eau est déterminante dans le niveau d'impact. Parmi les actions réalisées sur le parcours du couloir Samson, la nage est dominante et représente 44 % de la surface mouillée investie (surface recouverte par l'eau). La marche dans l'eau est minoritaire (8 % de la surface mouillée investie du couloir Samson) par rapport à la marche hors d'eau (19 %).

Rappelons que le travail de sensibilisation réalisé avec les professionnels chaque année et la mise en place d'un cheminement unique limitent fortement la marche dans l'eau. Les arrêts occupent une surface importante (29 %) et notamment en comptant les arrêts involontaires soit près de 20 % de la surface mouillée investie. Toutes les activités qui ont un contact avec le fond (marche dans l'eau et arrêts) occupent 37 % de la surface mouillée investie.

La prise en compte de la baignade augmenterait sensiblement de 8 à 40 % la surface piétinée (confluence Baou – Verdon et sortie de la randonnée aquatique). La pratique de la baignade est plus localisée mais investit une surface plus importante que le simple passage et notamment parce que les pratiquants ne nagent pas forcément. Ils initient, en plus, des impacts indirects comme la création de barrages de galets : dérangement de la faune, modification de l'habitat, ralentissement de l'écoulement et réchauffement de l'eau...

Le peuplement actuel du Verdon est marqué par la présence d'espèces ubiquistes et banales capables de résister à de fortes variations des composantes de leur milieu. Galvin, en 1989, conclut à une altération de la composition et de la structure des peuplements du moyen Verdon liée aux modifications du régime hydrologique. Les affluents du Verdon comme le Baou ou Bau par exemple ont gardé leur intérêt faunistique. Cinq espèces importantes ou rares ont été trouvées sur cet affluent et au cours de cette étude :

- Les Trichoptères *Metalype fragilis* et *Tinodes maclachlani* ne sont recensés que dans quelques départements du Sud-Est et n'avaient pas encore été recensés dans les Alpes-de-Haute-Provence.
- Le Trichoptère *Potamophylax cingulatus alpinus*, endémique des Alpes et présent en France que dans quelques départements alpins, est cité pour la première fois dans le département des Alpes-de-Haute-Provence.
- L'Éphéméroptère *Baetis pasquetorum*, espèce relativement récente dans la faune française, était recensé uniquement dans les Alpes-Maritimes. Il s'agit, encore une fois, de la première citation dans les Alpes-de-Haute-Provence.
- Le Diptère *Simulium galloprovinciale*, espèce très rare en France et recensée dans quelques petits cours d'eau calcaires de la région méditerranéenne, a été trouvée dans le Baou. Il est déjà cité dans des travaux antérieurs (Guidicelli, 1984 ; Galvin, 1989).

Cette approche qualitative met en évidence le rôle fondamental des affluents et des milieux annexes au Verdon (sources, ruisselets...) dans la biodiversité du territoire. Ils sont encore à peu près préservés mais pourraient, à terme, être de plus en plus fréquentés.

Sur le Verdon et grâce à la largeur du lit mouillé, l'impact est très localisé dans le temps et l'espace et ne porte pas atteinte à l'ensemble du cours d'eau. Ce milieu subit déjà de très fortes pressions anthropiques. L'étude montre aussi qu'il est indispensable de préserver la végétation aquatique mais aussi les dépôts de bois morts ou de feuilles qui sont des habitats très accueillants pour la faune. Il est indispensable de préserver des zones d'un même habitat exemptes de tout piétinement.



BIBLIOGRAPHIE

Maison Régionale de l'Eau, (2009 à 2013). « Suivi environnemental du Verdon en aval des barrages de Chaudanne et Gréoux-Esparron dans le cadre de l'augmentation des débits réservés - EDF, Agence de l'Eau, Conseil Départemental des Alpes-de-Haute-Provence, Parc Naturel Régional du Verdon.

DREAL PACA, (2006 à 2014). « Suivi du réseau de surveillance des cours d'eau de la région PACA ».

Hardiman & S. Burgin, (2010). « Effets du piétinement lié à l'activité de canyoning sur les communautés benthiques de la Grande Région des montagnes Bleues (patrimoine mondial Nigél) » - Pringer Science & Business Media B.V.

<http://www.opie-benthos.fr>

<https://www.infoclimat.fr>

JED et Maison Régionale de l'Eau, (2007). « Méthodologie d'évaluation de l'impact des activités sportives et de loisirs sur les cours d'eau de la région Provence Alpes Côte d'Azur - Phases 1 à 3 » - Agence de l'Eau.

Maison Régionale de l'Eau, (2005 et 2010). « Suivi de la qualité des eaux du Verdon » - Conseil Départemental des Alpes de Haute Provence.



Randonneurs aquatiques sortant de l'eau pour cheminer en berges, afin d'éviter de piétiner une zone sensible pour l'Apron du Rhône - auteur : Anne Ferment



CARACTÉRISATION DE LA VULNÉRABILITÉ DES MILIEUX AQUATIQUES ET MILIEUX HUMIDES DE PROVENCE-ALPES-CÔTE-D'AZUR AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES



Auteur de l'article :

- **Christophe GARRONE**, ingénieur d'études à la Maison régionale de l'eau
Bd Grisolles BP 50 008 – 83670 Barjols

LES ÉCOSYSTÈMES AQUATIQUES DE PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

Strayer et Dudgeon (2010) considèrent, à l'échelle mondiale, que les écosystèmes aquatiques renferment les plus fortes richesses faunistiques mais sont aussi parmi les écosystèmes les plus menacés au monde et particulièrement pour certains groupes faunistiques.

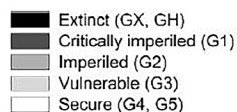
Les écosystèmes aquatiques (cours d'eau et zones humides) de Provence-Alpes-Côte d'Azur sont très diversifiés (rivières, torrents, fleuves, lacs, marais, tourbières, etc.) et incluent aussi des milieux créés par l'homme (retenues, rizières, canaux d'irrigation, etc.). Ils abritent une biodiversité exceptionnelle issue de l'influence croisée du relief, du climat et de la géologie de la région.

Exposés sous climat méditerranéen à un déficit hydrique et de grosses chaleurs estivales, ces milieux pourraient être très sensibles aux variations saisonnières de la température et des précipitations. Avec une tendance au réchauffement de l'air, à l'assèchement et à la diminution des débits, ces écosystèmes, fragiles pour la plupart, et déjà soumis à une forte pression anthropique (artificialisation, prélèvements, pollution, etc.), seront très probablement affectés par les changements climatiques. Mais ils pourront également jouer un rôle d'atténuation

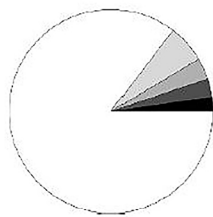
(puits à carbone pour les zones humides, effet tampon des ripisylves...). Dans quelle mesure ces milieux et les espèces s'y trouvant tout ou partie de leur cycle de vie, sont-ils menacés par le changement climatique ?

La Maison régionale de l'eau et la Tour du Valat, aidées par la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée, se sont associées en 2016-2017 afin d'essayer de répondre à cette question fondamentale.

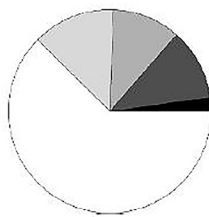
Niveau de menaces par type d'écosystème
(selon Strayer et Dudgeon, 2010)



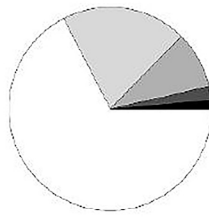
A. Birds and mammals
(n = 1182)



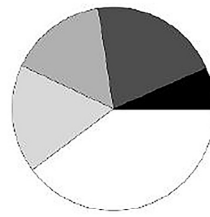
B. Freshwater fish
(n = 798)



C. Freshwater insects
(n = 1046)



D. Crayfish and mussel
(n = 609)



Les objectifs de cette étude sont multiples et s'articulent autour de trois axes :

- Caractériser la vulnérabilité des milieux aquatiques et des zones humides du territoire régional Provence-Alpes-Côte d'Azur et les hiérarchiser.
- Identifier les paramètres contribuant à la résistance ou à l'adaptation des écosystèmes à ces changements, ainsi que les facteurs de fragilité (pressions).
- Proposer des actions ciblées permettant de garantir le maintien des facteurs de résistance et adaptation et la diminution des facteurs de fragilité (actions préventives et curatives).

Ce travail a été réalisé à l'échelle des masses d'eau naturelles ou modifiées de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (au sens de la Directive cadre européenne sur l'eau) et des zones humides actuellement inventoriées et cartographiées (inventaires départementaux). Les systèmes artificiels comme les canaux ou les retenues, les cours d'eau non identifiés dans le référentiel masses d'eau ou les zones humides de petite surface n'ont pas été pris en compte. Cette étude constitue ainsi une première approche très probablement incomplète et qui repose uniquement sur des données et variables à disposition.

Répondre à une question si complexe impose des choix arbitraires focalisant la réflexion sur des éléments essentiels. Que les sujets non traités ici n'en soient pas pour autant considérés comme dénués d'intérêt mais éclairent plutôt les besoins à venir.

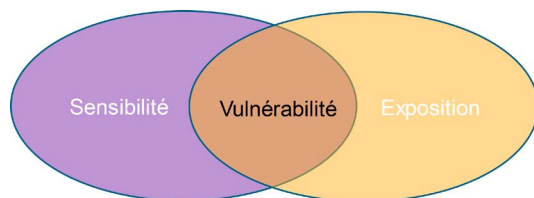
Quelques définitions s'imposent :

Masse d'eau : « Portion de cours d'eau, canal, aquifère, plan d'eau ou zone côtière homogène. Il s'agit d'un découpage élémentaire des milieux aquatiques destiné à être l'unité d'évaluation de la Directive cadre sur l'eau 2000/60/CE. Une masse d'eau de surface est une partie distincte et significative des eaux de surface, telles qu'un lac, un réservoir, une rivière, un fleuve ou un canal, une partie de rivière, de fleuve ou de canal, une eau de transition ou une portion d'eaux côtières. Pour les cours d'eau, la délimitation des masses d'eau est basée principalement sur la taille du cours d'eau et la notion d'hydro-écocorégion. Les masses d'eau sont regroupées en types homogènes qui servent de base à la définition de la notion de bon état. », d'après ministère chargé de l'Environnement et AFB (<http://www.glossaire.eaufrance.fr/>)

Zone humide : Réglementairement et d'après l'article L211-1 du Code de l'environnement, « on entend par zone humide les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année ».

Vulnérable : « Qui est exposé à recevoir des blessures, des coups, qui est exposé aux atteintes d'une maladie, servir de cible facile aux attaques d'un ennemi, par ses insuffisances, ses imperfections, donner prise à des attaques. » (Définition du Larousse : <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais>). Désigne une blessure (du latin *vulnerare* = blesser), à la fois le dommage subi par un système et sa nouvelle trajectoire faisant suite au dommage.

En résumé, être vulnérable c'est être à la fois sensible et exposé :



CE QUE L'ON SAIT DE L'EFFET DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET DE LEURS INCIDENCES SUR LES MILIEUX AQUATIQUES

Sur les zones humides, les effets des changements climatiques pourraient se manifester par une augmentation de la durée de la sécheresse estivale, par l'augmentation des températures estivales et hivernales et par l'augmentation de la fréquence et de l'ampleur des événements extrêmes (tempêtes, sécheresses, inondations...). Sur le littoral, l'élévation du niveau de la mer est un mécanisme supplémentaire impactant.

Les effets de ces changements sont diversifiés en fonction des types de zone humide, de l'altitude, mais aussi fonction des aménagements réalisés pouvant, selon les cas, les aggraver ou les réduire. Ces modifications affecteront les espèces mais les conséquences seront fonction de leur capacité d'adaptation à ces nouvelles conditions et de leur capacité à migrer (vers le nord ou en altitude) pour rejoindre (rester dans) des conditions plus favorables.

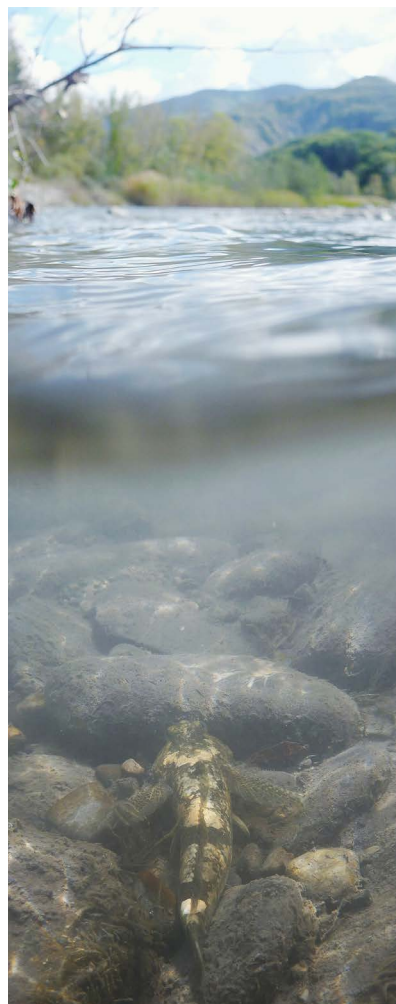
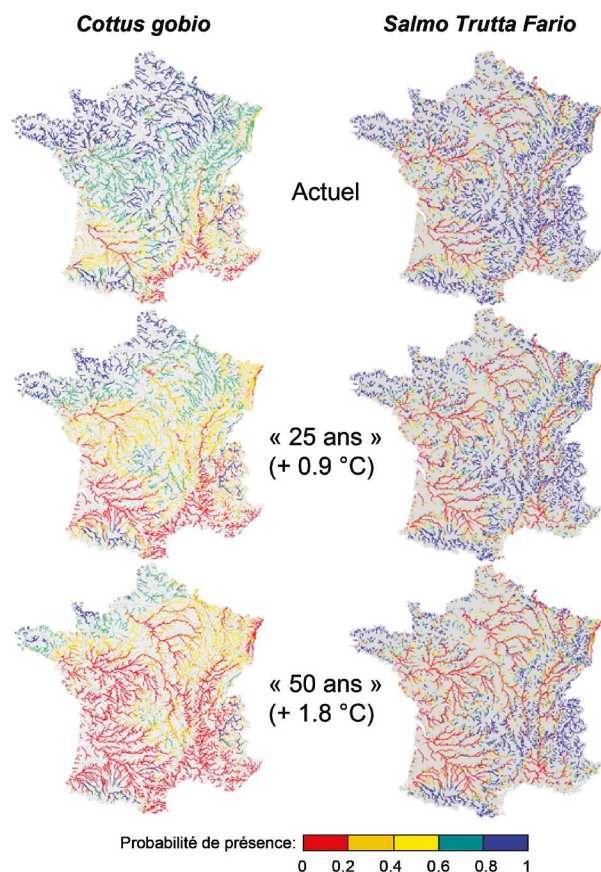


D'un point de vue des eaux courantes, les travaux, suivis et constats de changements se multiplient. Nous savons que les écosystèmes d'eau courante et la faune associée sont fortement influencés par la température, le débit et l'hydrodynamisme. Il manque toutefois encore beaucoup d'informations sur ces variables, d'autant que les changements ont probablement commencé depuis de nombreuses années.

Les modèles de prédiction s'accordent, pour l'instant, sur :

- une diminution de la ressource disponible,
- une réduction des débits d'étiage estivaux,
- une réduction significative du manteau neigeux,
- des décalages dans les hautes eaux printanières pour les influences nivales.

Les phases d'assecs des cours d'eau devraient augmenter du fait de l'assèchement des sols plus important. D'un point de vue biologique, les modèles affectés aux poissons prédisent une réduction potentielle de l'occurrence des espèces cryophiles (littéralement : espèces attirées par le froid) dont la Truite fario ou le Chabot. Au contraire, de nombreuses espèces de cyprinidés seraient positivement affectées : Chevaine, Ablette, Perche, Hotu, Barbeau commun et Barbeau méridional.

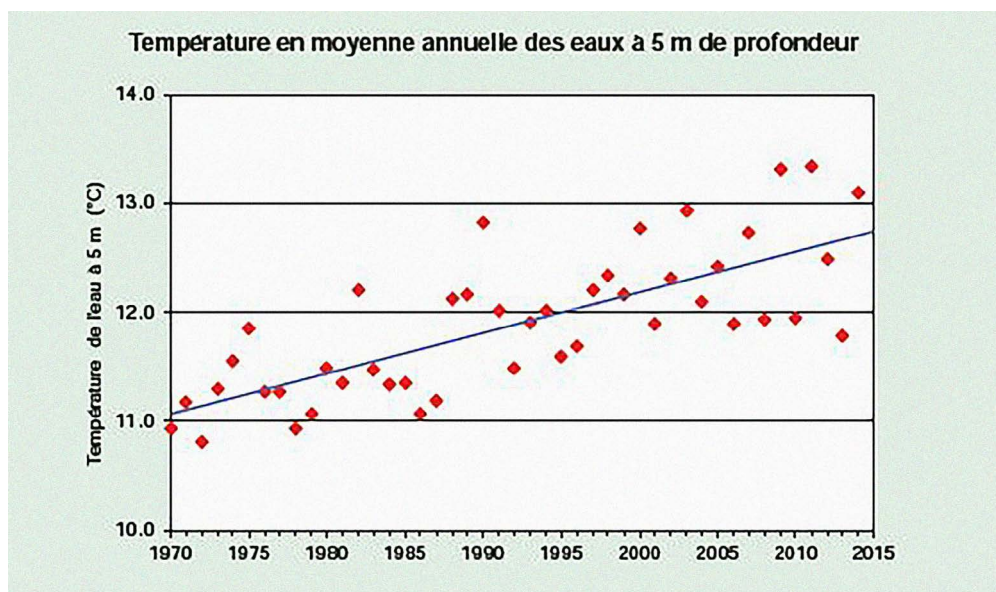


Chabot dans la Durance à Monetièrs (04)
auteur : Pierre Milesi, Maison Régionale
de l'Eau

Probabilités d'occurrence du chabot et de la truite dans les conditions environnementales actuelles et selon deux scénarios de réchauffement (Pont et al., 2006)

Les évolutions du climat sont très difficiles à prévoir et les modèles comportent de nombreuses incertitudes. Ces incertitudes sont encore plus fortes sur les évolutions de la pluviométrie et l'influence qu'elles auront sur les débits. Il en va de même semble-t-il pour le climat méditerranéen où le croisement de multiples influences complique les prévisions et augmente les incertitudes. Comme le souligne J. Fabre (2012), peu de chroniques de long terme associant des températures et des données biologiques sont disponibles, ce qui limite les connaissances sur la réponse des populations aux évolutions hydroclimatiques.

Poirel et al. (2009) donnent les évolutions de la température du Rhône sur une trentaine d'années. Ils constatent d'importantes augmentations (+ 1 à + 2°C) sur les moyennes annuelles. Ces augmentations sont plus élevées sur le Rhône aval et sur les affluents dits chauds. L'effet est plus marqué au printemps et en été, excepté sur les stations soumises à un régime hydrologique nivo-glaciaire. L'augmentation de la température de l'eau du Léman est aussi constatée sur 30 années de suivi (CIPEL, 2015) :



Évolution de la température de l'eau du lac Léman à 5 m de profondeur entre 1970 et 2015

Le réchauffement des eaux modifierait profondément la distribution longitudinale des espèces, celles d'eau chaude colonisant progressivement l'amont des fleuves au détriment des espèces d'eau froide (Gerdeaux et Pont, 2011). Ce phénomène est déjà observé sur le Rhône pour les Crustacés (Dessaix et Fruget, 2008), les Mollusques (Mouthon, 2006) et les peuplements d'invertébrés en général (Daufresne, 2004). Il semble qu'il y ait un effet graduel des changements mais également des ruptures déclenchées par des événements climatiques extrêmes comme la vague de chaleur de 2003 (Mouthon et Daufresne, 2006). D'après ces auteurs, la répétition de tels phénomènes pourrait faire disparaître plus de la moitié des espèces de mollusques dans les secteurs étudiés. Le réchauffement des eaux entraîne aussi, et pour la plupart des organismes aquatiques, des changements dans leur métabolisme (Gerdeaux et Pont, 2011). La température est un facteur clé pour tous les organismes qui ne régulent pas leur température interne (espèces poïkilothermes).



Les communautés d'invertébrés aquatiques les plus menacées sont probablement aussi celles des têtes de bassins et en particulier, les espèces de sources qui n'ont pas de possibilité de migrer vers l'amont. **Les espèces endémiques sont parmi les plus sensibles car elles occupent une aire géographique restreinte** (Domisch et al, 2013 ; Conti et al, 2015). Or, ce taux d'endémisme élevé est justement une des caractéristiques du sud-est de la France et plus largement des zones méditerranéennes.

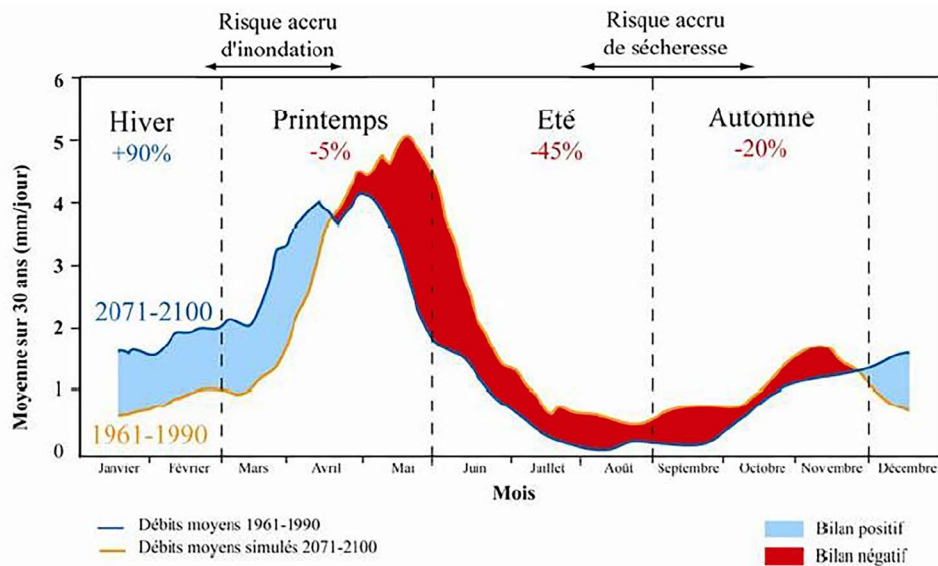


Agapetus cravensis et *Silo nigricornis*, invertébrés aquatiques endémiques du sud-est de la France et/ou typiques des zones de sources, exigeant pour leur développement des eaux à températures fraîches et stables
auteur : Gwenolé Le Guellec, Maison Régionale de l'Eau

Les impacts liés aux baisses de débits sont beaucoup moins faciles à identifier malgré leurs conséquences fortes et très probables sur les espèces. Les principaux travaux sont des modélisations. Le programme R2D2 (2015) porte sur l'évolution hydro-climatologique du bassin de la Durance à l'horizon 2050 et ses effets sur la ressource. Les principales conclusions sont les suivantes :

- Pour le climat, une augmentation des températures d'au moins 1°C, et pouvant aller jusqu'à 3°C, plus importante l'été et une évolution très incertaine des précipitations ;
- Pour l'hydrologie naturelle, une convergence qui semble aller vers une diminution de la ressource disponible.
- Une réduction des débits d'étiage estivaux, autour de -20 m³.s⁻¹ sur le débit moyen d'août à Cadarache ;
- Une réduction significative du manteau neigeux, modification portant sur la dynamique du stock de neige projetée en amont de Serre-Ponçon et se propageant vers l'aval ;
- Une évolution de la ressource en eau annuelle proche de -20 m³. s⁻¹ à Cadarache ;
- Des évolutions incertaines des débits hivernaux, du fait notamment de la forte variabilité dans les projections sur les pluies.

L'observatoire savoyard du changement climatique (2011) a comparé l'évolution des débits de deux cours d'eau à régime non influencé, avec l'évolution des paramètres climatiques observés depuis 1960. Il met en évidence une baisse des débits corrélée à la baisse des précipitations depuis 10 ans et la montée des températures depuis 30 ans. Cette baisse peut atteindre, sur la dernière décennie, 35 % pour certains mois, principalement en fin de printemps et début d'été. Il observe surtout un décalage du débit mensuel maximal dans cette même période comme le montre le graphique suivant :

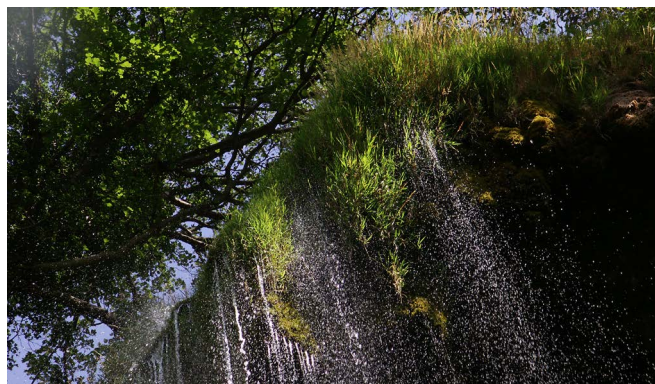


Évolution des écoulements des eaux de surface dans les Alpes et projection (d'après M. Béniston, Université de Fribourg, *Livre blanc du climat en Savoie*)

CARACTÉRISER LA VULNÉRABILITÉ DES TERRITOIRES FACE AUX INCIDENCES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

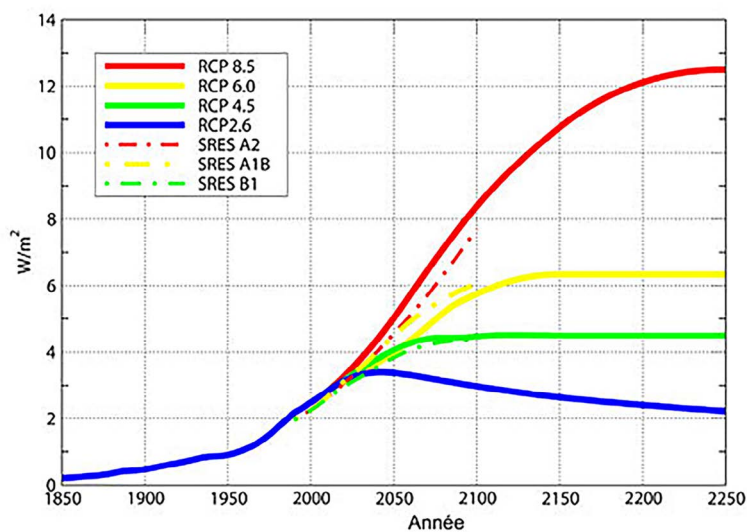
D'après le Plan de bassin d'adaptation au changement climatique (PBACC), l'exposition correspond aux variations climatiques que le système subit. La sensibilité représente les caractéristiques d'un territoire donné qui le rendent plus ou moins fragile vis-à-vis d'une exposition donnée. La vulnérabilité est le croisement entre l'exposition et la sensibilité.

Alors que la méthode liée aux zones humides s'est appuyée sur les espèces présentes et leur sensibilité, celle utilisée pour les cours d'eau est plus fonctionnelle. Cette différence met déjà en évidence des approches différentes dans les données acquises sur les cours d'eau et les zones humides. Nous manquons, à l'heure actuelle et pour les zones humides, d'une approche fonctionnelle. Au contraire et face aux enjeux liés à l'atteinte du bon état des masses d'eau et aux poids des indices biologiques, la connaissance de la biodiversité des cours d'eau est devenue lacunaire, voire obsolète.



Cascade de la zone humide de Saint-Maurin à La Palud-sur-Verdon - auteur : Fabien Gervais

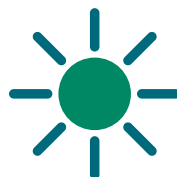
Le modèle Aladin-Climat, développé à Météo-France, fournit des prévisions de plus en plus régionalisées (résolution horizontale comprise entre 12 et 20 km) (www.drias.fr, Simulation CNRM, 2014). Classiquement, ce modèle se base sur trois scénarios d'évolution socio-économique dit RCP (Representative Concentration Pathways) ou profils représentatifs d'évolution de concentration de GES. Néanmoins et à horizon proche (H1, 2021 – 2050), les scénarii ne sont pas assez discriminants et la réflexion a uniquement porté sur le scénario médian (RCP 4.5).

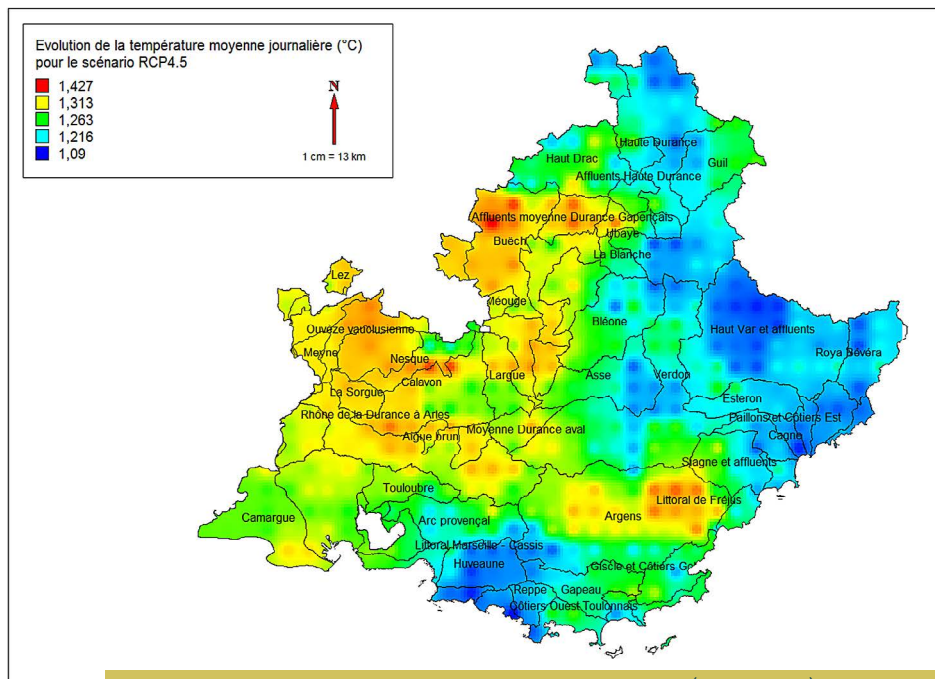


Scénarii d'évolution climatique selon le modèle - Aladin-Climat – Prévision de l'évolution du flux d'énergie émis par le rayonnement solaire à horizon lointain (météo-France, 2014)

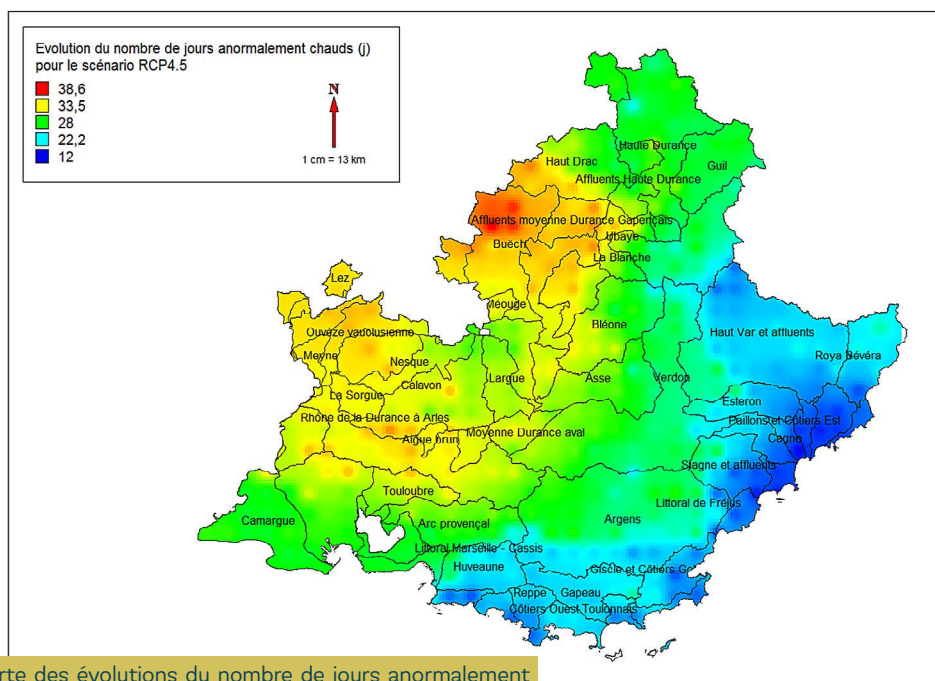
Les variations de températures moyennes journalières sont comprises entre +1 et +1,5°C à horizon proche (2021–2050). La carte montre surtout le rôle important des plaines et vallées alluviales ouvertes sur la Méditerranée comme l'axe Rhône-Durance ou la plaine de Fréjus portant son influence jusque dans le centre et haut Var. Le réchauffement pénètre par la vallée de la Durance jusqu'en haute et moyenne et jusqu'aux bassins situés en altitude, préalpins et alpins : Buëch, affluents moyenne Durance, Gapençais.

Les augmentations pourraient paraître assez faibles mais rappelez ici que ce sont des moyennes journalières et qu'une faible augmentation peut avoir de fortes conséquences à long terme sur les espèces présentes et notamment les espèces sténoèces. Comme le dit Dumont, Pont & Carrel en 2007 : « Au niveau des taxons, une augmentation de courte durée des maxima va générer des extinctions rapides et ciblées sur des cohortes d'individus en limite supérieure de tolérance. Ce processus peut initier l'évolution du système vers une nervosité fonctionnelle préjudiciable aux équilibres du peuplement restant ».





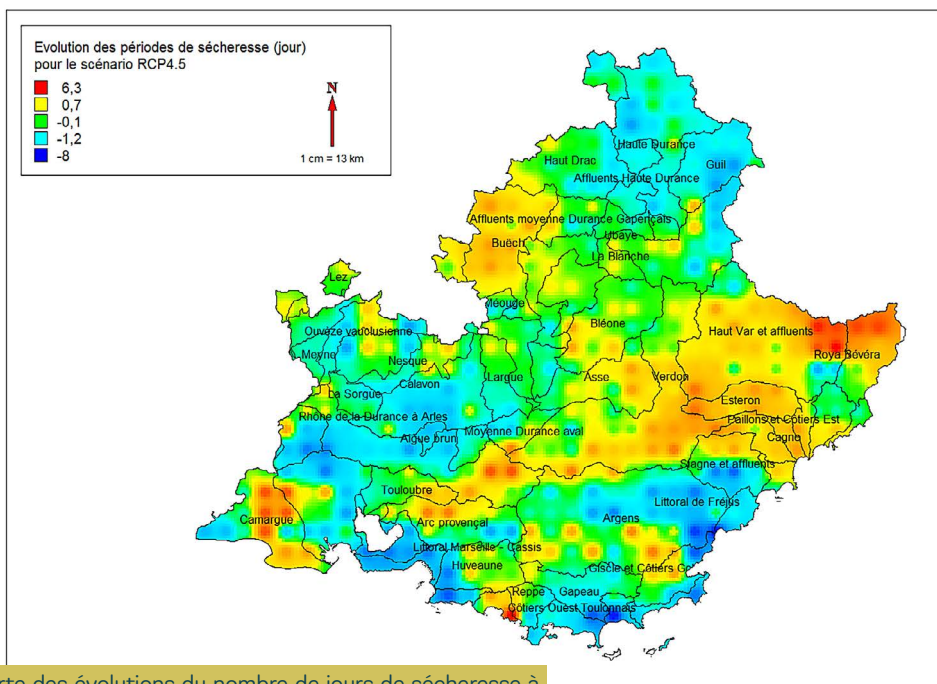
Carte des évolutions de température à horizon proche (2021-2050) - Attention, la couleur bleue représente une augmentation moins importante mais une augmentation quand même et surtout pas un refroidissement.



Carte des évolutions du nombre de jours anormalement chauds à horizon proche (2021-2050)

La partie orientale et alpine de la région (Alpes-Maritimes, Ubaye) semblerait moins affectée par les élévations de température. C'est le cas du bassin du Verdon qui ne semble pas spécialement affecté par les augmentations de température moyenne journalière sauf dans la basse partie du bassin. Le bassin du Verdon, au moins pour le moyen et bas Verdon, et du point de vue des températures, serait principalement affecté par de plus fortes amplitudes thermiques journalières.

La partie orientale de la région et notamment les Alpes-Maritimes et une large part du bassin versant du Verdon pourraient plutôt être affectées par l'augmentation du nombre de jours de sécheresse (de 1 à 4 jours supplémentaires dans l'année), comme le montre la carte précédente. Les résultats liés à la pluviométrie ont été jugés trop incertains pour être exploités à horizon proche.

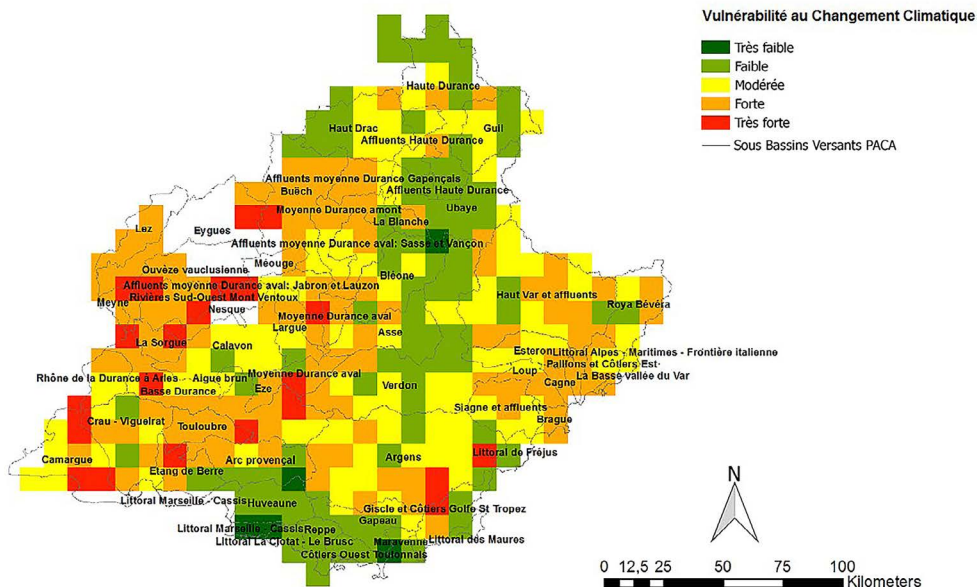


Carte des évolutions du nombre de jours de sécheresse à horizon proche (2021-2050)

QUELLES VULNÉRABILITÉS POUR LES ZONES HUMIDES ?

La vulnérabilité des zones humides au changement climatique a été évaluée en croisant l'exposition à l'augmentation de température et de sécheresse estivale avec la sensibilité des espèces rencontrées sur chaque zone humide (données SILENE et FAUNE-PACA). Des indices de sensibilité pour chaque espèce (plantes, odonates, amphibiens et oiseaux nicheurs) à l'élévation de température et l'augmentation de la sécheresse ont été établis à dire d'experts et agrégés par zone humide, puis par maille de 10 x 10 km.





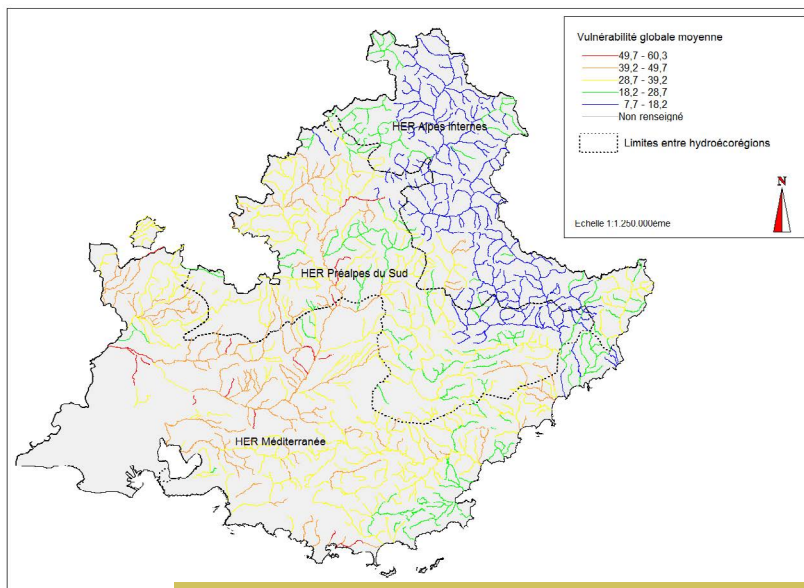
Carte de vulnérabilité des zones humides de PACA au changement climatique. La représentation en mosaïque permet de s'affranchir des effets liés à l'hétérogénéité des surfaces des zones humides considérées.

Les zones humides les plus vulnérables au changement climatique sont la Camargue (élévation du niveau de la mer et température surtout), l'ensemble de la moyenne Durance (température) et les bassins versants des Sorgues-Ouvèze-Lez (température), soit surtout dans l'ouest de la région. Dans la partie est de la région, des vulnérabilités fortes et très fortes sont diagnostiquées mais de façon plus diffuse : bassins versants de l'Argens, le littoral des Maures et Fréjus, de la Roya - Bévéra, surtout vulnérables à l'augmentation de la température.

Les Bouches-du-Rhône (avec les sous bassins de Camargue, étang de Berre), le Vaucluse (avec la Sorgue et la basse Durance), et les Hautes-Alpes (pour les sous bassins du Buèch, moyenne Durance amont et affluents moyenne Durance Gapençais) sont les départements les plus concernés par cette forte vulnérabilité. Les zones humides de bordures de cours d'eau, et les zones humides artificielles (avec 21 zones humides) sont les deux types de zones humides les plus vulnérables.

QUELLES VULNÉRABILITÉS POUR LES MASSES D'EAU ?

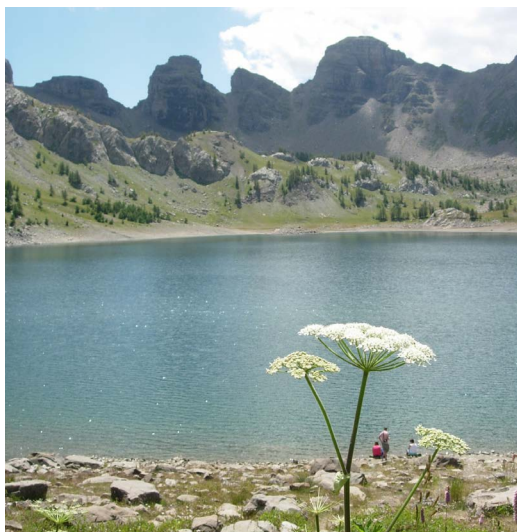
La vulnérabilité des cours d'eau a aussi été évaluée en croisant l'exposition à l'augmentation de la température et de la sécheresse estivale et les facteurs de sensibilité d'un cours d'eau (tendances au réchauffement, sévérité des étiages, dynamisme, altérations morphologiques, fragmentation...). L'analyse repose sur plusieurs critères qui permettent de caractériser un thème et plusieurs sous-thèmes : risque de variation de la température de l'eau, risque d'échauffement estival, sévérité des étiages, hydrodynamisme fort, possibilités de déplacement des espèces, présence de zones refuges. L'analyse a été produite sur 658 masses d'eau toutes incluses dans la région administrative PACA Provence-Alpes-Côte d'Azur et regroupant trois hydroécocorégions : Méditerranée, Préalpes du Sud et Alpes internes.



Carte de vulnérabilité des masses d'eau de PACA au changement climatique

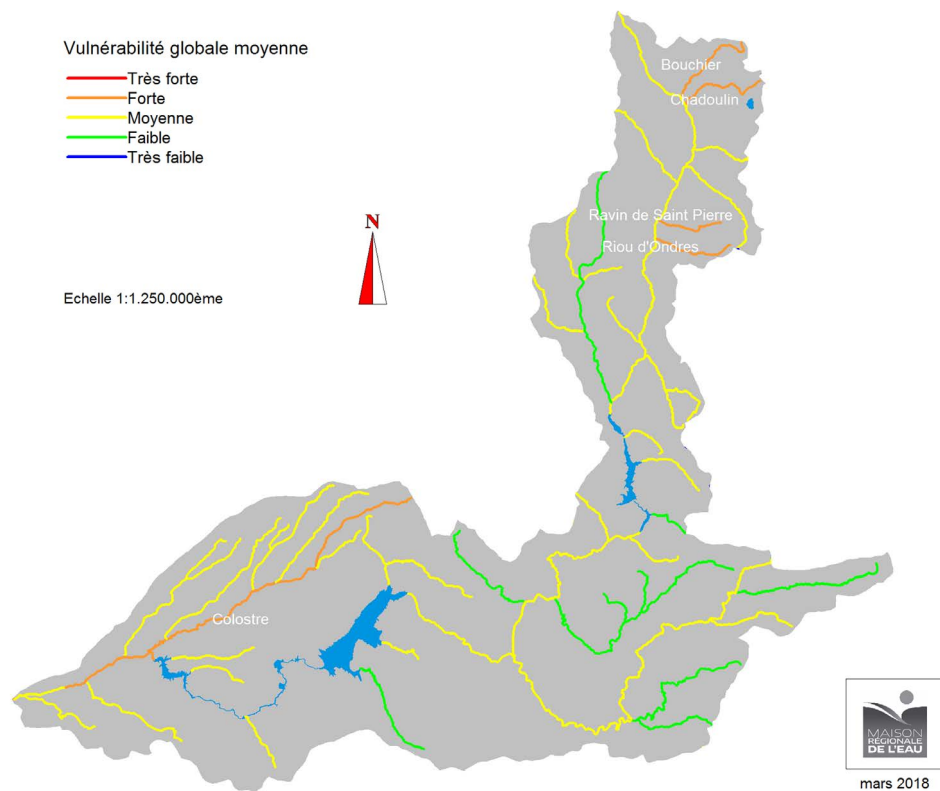
16 masses d'eau possèdent une vulnérabilité globale pouvant être considérée comme forte à très forte. Sur ces 16 masses d'eau, 12 d'entre elles possèdent une vulnérabilité forte traduisant leurs faibles capacités à s'adapter face aux changements climatiques du fait de l'isolement de leur bassin, de leur fragmentation et/ou de fortes pressions morphologiques déjà existantes. Les bassins de la moyenne et basse Durance et notamment les affluents de la rive droite (Buëch, Largue, Calavon), ainsi que le nord Ventoux et les Sorgues sont des cours d'eau susceptibles à la fois d'être exposés au changement et sensibles aux températures.

Dans les Alpes internes et les territoires de haute montagne, les niveaux de vulnérabilité sont plus faibles sauf les bassins de la Roya et du haut Verdon. Néanmoins, ces masses d'eau pourraient être affectées par des changements de régime hydrologique (influence nivale) qu'il est difficile ici de caractériser. Il est intéressant aussi de signaler que la plupart des masses d'eau identifiées comme très vulnérables le sont surtout à cause de leur vulnérabilité à pouvoir s'adapter ou se déplacer.



Lac d'Allos - auteur : Corinne Guin

Un zoom peut être produit à l'échelle des masses d'eau du bassin du Verdon montrant une vulnérabilité globale plutôt moyenne. Elle peut être considérée comme forte dans le haut du bassin et dans un contexte alpin déjà marqué par des contraintes telles que le relief ou la géologie. Cinq masses d'eau auraient une forte vulnérabilité, dont le Colostre, notamment à cause de sa sensibilité à la température. Le moyen et bas Verdon sont aussi sensibles à ce paramètre.



Vulnérabilité au changement climatique des masses d'eau du bassin versant du Verdon

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le nouveau programme du SDAGE Rhône-Méditerranée 2016-2021 renforce l'intégration des enjeux du changement climatique et un plan de bassin d'adaptation au changement climatique (PBACC) vise à établir une stratégie à l'échelle du bassin Rhône-Méditerranée. Les effets du changement climatique sur les espèces et les milieux restent difficiles à décrire par la complexité des chaînes de conséquences sur leur physiologie et les différentes dimensions de leur niche écologique. Les seuils de sensibilité varient entre espèces et entre groupes avec leur plasticité écologique, leur dépendance à l'eau et leur mobilité, tendances aggravées par les activités humaines potentiellement croissantes.

On se rend compte ici de l'importance de certains programmes en cours comme le rétablissement des continuités écologiques et sédimentaires ou la restauration morphologique. Les poches d'eau froide telles que les exurgences et résurgences, les connexions nappe - rivière ou le rôle fondamental des ripisylves voient ici tous leurs intérêts. En ce sens, les actions engagées pour atteindre le bon état des milieux aquatiques sont nécessaires et méritent, pour les secteurs les plus vulnérables, un degré d'effort supplémentaire.



REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous les contributeurs de ce numéro. Chercheurs et professionnels de la gestion de l'eau, des milieux et de la faune aquatiques, sans oublier les associations et les bureaux d'études qui nous accompagnent sur cette thématique depuis plusieurs années. Tous nous permettent d'améliorer les connaissances sur cet écosystème complexe qu'est la rivière, de les partager et de prendre les décisions de gestion en conséquence.

Publication du Parc naturel régional du Verdon réalisée dans le cadre du Contrat de rivière du Verdon, avec le soutien de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse.

N° ISSN : 2109-327X

Directeur de Publication : Bernard Clap

Coordination : Anne Ferment

Suivi et corrections : Annie Robert, Corinne Guin, Corinne Gautier, Marlène Économidès, Baptiste Roulet, Guillaume Ruiz

Mise en page et graphisme : Autrement Dit communication

Imprimé en France en juillet 2018 par Imprimerie jf Impression
Nous avons choisi une entreprise soucieuse de réduire son impact sur l'environnement pour imprimer ce document sur papier recyclé.

Ce numéro du courrier scientifique du Parc naturel régional du Verdon valorise une partie des connaissances acquises ces dix dernières années grâce aux études ou aux suivis réalisés sur le Verdon et ses retenues d'eau.

L'amélioration des connaissances est essentielle aux démarches en cours sur le bassin du Verdon que ce soit pour le schéma d'aménagement et de gestion des eaux, pour le contrat de rivière ou pour Natura 2000, afin de définir et de mettre en œuvre les mesures de gestion adéquates.

Les études présentées dans cette publication, ont été réalisées pour mieux appréhender les enjeux actuels et à venir vis-à-vis de cette ressource tant convoitée, et portent notamment sur les impacts de la fréquentation humaine ou du changement climatique, les effets du relèvement des débits réservés à l'aval des barrages de Chaudanne et de Gréoux en 2011, les peuplements piscicoles et notamment l'Apron du Rhône, la qualité des eaux...

PARC NATUREL RÉGIONAL DU VERDON

Domaine de Valx

04360 Moustiers-Sainte-Marie

Tél. 04 92 74 68 00 · Fax. 04 92 74 68 01

www.parcduverdon.fr

info@parcduverdon.fr



UNE PUBLICATION DU CONSEIL SCIENTIFIQUE DU PARC NATUREL RÉGIONAL DU VERDON