



CANTON DU VALAIS  
KANTON WALLIS



Etude et bilan réalisés à la demande du  
Service de la protection de l'environnement

# Borgne-Dixence

Campagne 2011

**Observation  
de la qualité  
des eaux de  
surface**

**Rapport et  
annexes**

**ETEC Sàrl**  
Ecologie aquatique,  
Rue de Lausanne 39  
CH 1950 Sion  
tél. : +41 27 203 40 00  
e-mail : [info@etec-vs.ch](mailto:info@etec-vs.ch)

**PhycoEco**  
Laboratoire d'algologie  
Rue des XXII – Cantons 39  
CH 2300 La Chaux-de-Fonds  
tél. : +41 79 321 23 24  
e-mail : [fstraub@phycoeco.ch](mailto:fstraub@phycoeco.ch)

**Décembre 2012**





## TABLE DES MATIERES

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>2. PRESENTATION DU CONTEXTE .....</b>	<b>1</b>
2.1. BASSIN VERSANT .....	1
2.2. RESEAU HYDROGRAPHIQUE .....	3
2.3. INTERVENTIONS HUMAINES .....	4
2.3.1. <i>Exploitation des forces hydrauliques, modification du débit, purges et vidanges .....</i>	4
2.3.2. <i>Prises d'eau potable et de bisses.....</i>	5
2.3.3. <i>Assainissement des eaux usées .....</i>	6
2.3.4. <i>Extraction de graviers.....</i>	6
2.3.5. <i>Aménagement du lit .....</i>	7
2.3.6. <i>Valeurs naturelles.....</i>	7
2.4. ÉVÉNEMENTS HYDROLOGIQUES PARTICULIERS .....	7
<b>3. METHODOLOGIE .....</b>	<b>9</b>
3.1. PRINCIPES ET INTERVENANTS .....	9
3.2. LOCALISATION DES STATIONS, CAMPAGNES, METHODES UTILISEES .....	9
3.2.1. <i>Choix des stations et principe de codification.....</i>	9
3.2.2. <i>Dates des campagnes et conditions météorologiques .....</i>	17
3.2.3. <i>Hydrologie et physico-chimie.....</i>	18
3.2.4. <i>Etudes des diatomées .....</i>	19
3.2.5. <i>Prélèvements et analyses biologiques : les macroinvertébrés .....</i>	19
<b>4. QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE DES EAUX.....</b>	<b>20</b>
4.1. RESULTATS.....	20
4.2. INTERPRETATION.....	20
4.2.1. <i>Débits .....</i>	20
4.2.2. <i>Température.....</i>	21
4.2.3. <i>pH.....</i>	22
4.2.4. <i>Conductivité.....</i>	22
4.2.5. <i>Matières en suspension (MES) .....</i>	23
4.2.6. <i>Matière organique (DOC, TOC).....</i>	24
4.2.7. <i>Formes azotées (<math>NH_4^+</math>, <math>NO_2^-</math>, <math>NO_3^-</math>).....</i>	24
4.2.8. <i>Phosphore (<math>PO_4^{3-}</math>, <math>P_{tot}</math>).....</i>	26
4.2.9. <i>Bactériologie.....</i>	27
4.2.10. <i>Conclusion sur les résultats physico-chimiques et bactériologiques .....</i>	29
<b>5. ÉTUDE DES DIATOMEES ET QUALITE BIOLOGIQUE DES EAUX.....</b>	<b>34</b>
5.1. RESULTATS BRUTS.....	34
5.2. ETAT DES COMMUNAUTES DE DIATOMEES.....	34
5.2.1. <i>Présentation des résultats quantitatifs.....</i>	34
5.2.2. <i>Densité des peuplements .....</i>	34
5.2.3. <i>Fragmentation .....</i>	35
5.2.4. <i>Tématologie .....</i>	36
5.2.5. <i>Diversité floristique et valeur patrimoniale de la flore .....</i>	37
5.2.6. <i>Diversité structurale des communautés.....</i>	40
5.2.7. <i>Conclusion sur l'état des peuplements de diatomées.....</i>	41

5.3. AUTRES ALGUES.....	41
5.4. DIATOMEES ET QUALITES BIOLOGIQUES DES EAUX.....	46
5.4.1. <i>Mise en garde</i> .....	46
5.4.2. <i>État de santé global (légal)</i> .....	46
5.4.3. <i>Niveaux saprobique et trophique</i> .....	47
5.4.4. <i>Conclusion sur la qualité biologique des eaux</i> .....	50
5.5. SYNTHESE PAR STATION.....	50
<b>6. ETUDE DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES ET QUALITE BIOLOGIQUE DU COURS D'EAU.....</b>	<b>61</b>
6.1. SUBSTRATS .....	61
6.2. FAUNE BENTHIQUE ECHANTILLONNEE.....	62
6.3. RESULTATS LIES A L'INDICE BIOLOGIQUE SUISSE (IBCH).....	67
6.3.1. <i>Résultats par stations</i> .....	72
6.3.2. <i>Conclusion</i> .....	76
<b>7. CONFRONTATION DE L'ENSEMBLE DES RESULTATS.....</b>	<b>81</b>
<b>8. COMPARAISON AVEC LES RESULTATS BIOLOGIQUES ANTERIEURS.....</b>	<b>82</b>
<b>9. RESUME - CONCLUSION .....</b>	<b>84</b>
 <b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	 <b>86</b>
 <b>ANNEXES .....</b>	 <b>91</b>

## OBSERVATION DE LA QUALITE DES EAUX DE SURFACE DU CANTON DU VALAIS

### ÉTUDE 2011 : LES BORGNES ET LA DIXENCE

#### 1. INTRODUCTION

Depuis 1990, le Service de la Protection de l'Environnement du Canton du Valais (SPE) effectue un programme annuel d'observation de la qualité des eaux de surface (cf. rapports 1991 à 2010). Ces études s'inscrivent également dans le cadre des plans d'action de la CIPEL, notamment celui de la période 2001-2010 « Pour que vivent le Léman et ses rivières », ainsi que dans le produit e-DICS 1301 des objectifs du SPE. Cette approche vise à apprécier la qualité globale des cours d'eau ; elle se base sur des analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux, sur l'étude des diatomées, ainsi que celle de la faune benthique (méthode biologique IBCH). En 2011, le choix du SPE s'est porté sur les **Borgnes (Borgne d'Arolla et de Ferpècle)** et son affluent principal **la Dixence**. Ce mandat a été attribué aux bureaux ETEC Sàrl à Sion et PhycoEco (Dr François Straub) pour la partie « diatomées ».

Le présent rapport établit la synthèse des résultats d'analyses, tant physico-chimiques que biologiques, les interprète, les confronte aux données déjà obtenues en Valais et propose s'il y a lieu des mesures de gestion visant à améliorer la qualité actuelle de ce cours d'eau. Les anciens résultats sont comparés à ceux obtenus dans le cadre de ces nouvelles campagnes et permettent de préciser l'évolution de la qualité des différents cours d'eau.

#### 2. PRÉSENTATION DU CONTEXTE

##### 2.1. Bassin versant

Le bassin versant des Borgnes (selon l'Atlas hydrologique : n° 50-190 pour les Borgnes d'Arolla et de Ferpècle et n° 50-210 pour la Borgne), ainsi que celui de la Dixence (n° 50-200) se situent en rive gauche du Rhône. L'embouchure de la Borgne dans le Rhône se localise à la hauteur de Bramois. Le bassin versant s'étend sur plusieurs communes ; ses caractéristiques figurent dans le Tableau 1.

Critères	Caractéristiques selon l'Atlas hydrologique suisse			
<b>Borgnes d'Arolla et de Ferpècle</b>				
<b>Bassin versant</b>	50-190 (159 km <sup>2</sup> ), dont 4 sous bassins			
<b>Sous bassins</b>	Borgne d'Arolla 50-191	Borgne de Ferpècle 50-192	50-193	50-194
<b>Superficie</b>	35.6 km <sup>2</sup>	53.3 km <sup>2</sup>	45.2 km <sup>2</sup>	25.2 km <sup>2</sup>
<b>Altitude moyenne</b>	2'934 m	2'586 m	3'022 m	2'430 m
<b>Pente moyenne</b>	23.6°	24.5°	22.7°	25.9°
<b>Contexte géologique général</b>	Partie amont des bassins versants composée de gneiss comprenant des zones de gneiss oeillé. Zone de roches basiques au niveau des sources de la Borgne d'Arolla. Partie aval des bassins versants constituée de calcschistes avec zones de roches basiques surtout le long de la Borgne d'Arolla et au niveau de la confluence des rivières.			
<b>Surface glaciaire</b>	45.1 %	10.6 %	59.5 %	2.4 %
<b>Surface boisée</b>	0.7 %	6.0 %	0.1%	10.4 %
<b>Surfaces rendues étanches</b>	0.0 %	0.2 %	0.0 %	0.7 %

Critères	Caractéristiques selon l'Atlas hydrologique suisse		
Communes concernées	Commune d'Évolène		
Dixence			
Bassin versant	50-200 (105.9 km <sup>2</sup> ), dont 2 sous bassins		
Sous bassins	50-201	50-202	
Superficie	46.5 km <sup>2</sup>	59.4 km <sup>2</sup>	
Altitude moyenne	2'896 m	2'178 m	
Pente moyenne	21.1°	23.7°	
Contexte géologique général	Partie amont du bassin versant (amont barrage Grande Dixence) constituée de calcschistes. Partie aval formée de schistes à dominance quartzitique avec veine de gneiss contenant du gneisse oeillé en amont confluence Borgne		
Surface glaciaire	23.5 %	2.8 %	
Surface boisée	0.0 %	19.0 %	
Surfaces rendues étanches	0.0 %	0.2 %	
Communes concernées	Commune d'Évolène, Hérémence et Vex.		
Borgnes			
Bassin versant	50-210 (122.3 km <sup>2</sup> ), dont 2 sous bassins		
Sous bassins	50-211	50-212	
Superficie	63.1 km <sup>2</sup>	59.2 km <sup>2</sup>	
Altitude moyenne	2'200 m	1'556 m	
Pente moyenne	23.5°	22.3°	
Contexte géologique général	Partie du bassin versant, en amont confluence avec Dixence principalement constituée de calcschiste, de schiste à dominance quartzitique et de gneiss contenant du gneiss oeillé. Veine de quartzites et de calcaires et dolomies marmorisés traversant la vallée à hauteur d'Évolène. Depuis confluence avec Dixence, bassin versant constitué de quartzites et de calcaire à dolomies peu métamorphosés.		
Surface glaciaire	3.0 %	0.0 %	
Surface boisée	19.8 %	35.6 %	
Surfaces rendues étanches	0.6 %	1.1 %	
Communes concernées	Commune d'Évolène, St-Martin, Hérémence, Mase, Vex, Vernamiège, Nax et Sion.		

Tableau 1 : Synthèse des caractéristiques du bassin versant des Borgnes d'Arolla et de Ferpècle, de la Dixence et de la Borgne.

## 2.2. Réseau hydrographique

### La Borgne d'Arolla

Selon l'Atlas Hydrologique, l'embranchement de la Borgne d'Arolla (code GEWISS 110) prend sa source à plus de 2'000 m, sous le glacier d'Arolla. Elle collecte de nombreux torrents (4 en rive gauche et 2 en rive droite) dont les plus importants sont d'amont en aval : le torrent d'Arolla/des Fontanesses (4.7 km) en amont d'Arolla, le torrent des Aiguilles Rouges (3.1 km) à la hauteur de Satarma ainsi que le torrent de la Maresse (3.1 km) et la Bornetta (3 km) en amont des Haudères. La longueur de la Borgne d'Arolla atteint 10.5 km et sa pente moyenne est d'env. 6.5%.

La Borgne d'Arolla est caractérisée par un régime hydrologique de type a-glaciaire en tête de bassin versant, jusqu'au torrent d'Arolla, puis de type b-glaciaire.

### La Borgne de Ferrière

La Borgne de Ferrière (code GEWISS 111) prend sa source à 2'120 m d'altitude, au pied du glacier de Ferrière. Un bassin d'accumulation se trouve à 1'900 m d'altitude. La Borgne de Ferrière collecte les eaux de 7 torrents en rive droite dont les plus importants sont d'amont en aval : le Grand Torrent (3.5 km) à la hauteur de Pra Floric et le torrent du Tsaté (4.1 km) en amont des Haudères. Elle rejoint la Borgne d'Arolla en amont des Haudères. La Borgne de Ferrière a une longueur de 6.3 km et sa pente moyenne dépasse les 9%.

La Borgne de Ferrière est caractérisée par un régime hydrologique de type a-glaciaire.

### La Dixence

La Dixence (code GEWISS 134) prend sa source à 2'030 m d'altitude, sous le Lac des Dix, bassin d'accumulation formé par le barrage de la Grande Dixence (GD). Elle collecte les eaux de plusieurs torrents dont les principaux sont, d'amont en aval : en rive droite et en aval du barrage de GD le torrent de Chenna (2.9 km) qui provient du lac d'Allèves, celui du Mayen (2.4 km) en amont de Mâche et le torrent de l'A (2.6 km) en aval de Mâche, drainant tous les deux les Gouilles. La Dixence possède une longueur de 12.1 km et sa pente moyenne est proche de 11%.

Le régime hydrologique de la Dixence est de type a-glacio-nival, depuis le barrage de GD jusqu'à sa confluence avec la Borgne.

### La Borgne

Depuis la confluence entre les Borgnes d'Arolla et de Ferrière, aux Haudères, jusqu'à son embouchure dans le Rhône, la Borgne (code GEWISS 109) collecte les eaux de plusieurs torrents dont les plus importants sont, d'amont en aval : les torrents de la Sage (3 km) et des Maures/Pétérey (3.2 km) en amont d'Évolène, en rive gauche le Merdesson (5.4 km) en aval d'Évolène, en rive droite le Grand Torrent (4.2 km) en amont de Praz-Jean et la Manna (5.4 km) en aval de la confluence avec la Dixence. La Borgne a une longueur de 21.5 km et une pente moyenne de l'ordre de 4%.

La Borgne est caractérisée par un régime hydrologique de type b-glaciaire depuis les Borgnes d'Arolla et de Ferrière jusqu'à sa confluence avec la Dixence, puis du type a-glacio-nival jusqu'à son embouchure dans le Rhône (ASCHWANDEN & WEINGARTNER, 1986).

Toutes les cours d'eau analysés dans ce rapport sont des rivières de montagne, appartenant, selon ILLIES (1963), au rhithron. Sur le plan piscicole, la zonation établie par HUET (1949) les situe dans la zone à Salmonidés dominants.

## 2.3. Interventions humaines

### 2.3.1. Exploitation des forces hydrauliques, modification du débit, purges et vidanges

Données tirées de la carte des débits résiduels en Suisse, de la base de données BDInvent et des documents sur les autorisations de purges ainsi que sur les captages et concessions hydroélectriques.

Les eaux du bassin versant sont utilisées pour les besoins hydroélectriques. On dénombre 19 prises sur la commune d'Évolène, 6 sur la commune d'Hérémence, 1 sur la commune de St-Martin et 1 sur celle de Vex (cf. Tableau 2) exploitées par quatre producteurs hydroélectriques : Grande Dixence SA, Alpiq Suisse SA, Forces Motrices de la Borgne et Léteygeon SA.

Concession	Captages (prise d'eau) Nom du captage	Cours d'eau ou milieu concerné
Grande Dixence SA	<b>Haut d'Arolla</b>	Glacier Arolla
Grande Dixence SA	<b>Vuibe</b>	Glacier de Vuibe
Grande Dixence SA	<b>Bertol inférieur</b>	Borgne d'Arolla
Grande Dixence SA	<b>Bertol supérieur</b>	Torrent de Bertol
Grande Dixence SA	<b>Douves Blanches</b>	Torrent des Douves Blanches
Grande Dixence SA	<b>Pièce</b>	Glacier de Pièce
Grande Dixence SA	<b>Tsidjiore Nouve</b>	Tsidjiore Nouve
Grande Dixence SA	<b>Fontanesse</b>	Torrent des Fontanesses
Grande Dixence SA	<b>Pas de Chèvre</b>	Torrent du Pas de Chèvre
Grande Dixence SA	<b>Ignes + Aiguilles Rouges</b>	Torrent des Aiguilles Rouges
Grande Dixence SA	<b>Aiguilles Rouges</b>	Torrent de la Chapelle
Grande Dixence SA	<b>Ferpècle</b>	Borgne de Ferpècle
Grande Dixence SA	<b>Manzettes</b>	Torrent de Darbonneire
Grande Dixence SA	<b>Rocs Rouges</b>	Sources
Grande Dixence SA	<b>Dent Blanche</b>	Torrent du Cornier
Grande Dixence SA	<b>Bricola</b>	Torrent de Bricola
Grande Dixence SA	<b>Les Rosses</b>	Torrent des Rosses
Grande Dixence SA	<b>Mourtî</b>	Torrent de Mourtî
Grande Dixence SA	<b>Vouasson</b>	Merdesson
Alpiq Suisse SA	<b>Dixence</b>	Lac des Dix
Alpiq Suisse SA	<b>Chennaz supérieur</b>	Torrent de Chennaz
Alpiq Suisse SA	<b>Chennaz inférieur</b>	Torrent de Chennaz
Forces Motrices de la Borgne	<b>Dixence Sauterot</b>	La Dixence
Forces Motrices de la Borgne	<b>Borgne à la Luette</b>	Borgne
Forces Motrices de la Borgne	<b>Groupe 7</b>	Borgne
Léteygeon SA	<b>Prolin 1+2</b>	Prolins
Léteygeon SA	<b>Dixence Leteygeon</b>	Dixence

Tableau 2 : Liste des prises d'eau recensées dans les bassins versants de la Borgne et de la Dixence.

Les prises d'eau des sous-bassins versants des Borgnes d'Arolla et de Ferpècle, acheminent les eaux dans le Lac des Dix (partie amont). Tous ces captages font partie de la concession Grande Dixence SA qui est en vigueur jusqu'en 2045. Aucun débit de dotation n'est octroyé. Les eaux sont ensuite gérées et turbinées par Grande Dixence SA, dans la centrale de Fionnay puis celle de Nendaz.

Les prises d'eau du sous-bassin d'Arolla sont soumises à des purges manuelles réalisées lorsque nécessaires (suite à des orages ou des grosses chaleurs, ...). Celles de Bertol inférieur et de Tsidjiore Nouve sont réalisées automatiquement plusieurs fois par jours. Quant au sous-bassin de la Borgne de Ferpècle, les prises d'eau sont majoritairement soumises à des purges automatiques, seules les prises de la Dent Blanche et de Mourtzi sont soumises à des purges manuelles.

La société Alpiq Suisse SA s'occupe des prises d'eau du Torrent de Chennaz ainsi que d'une partie des eaux du Lac des Dix, qui sont turbinées à la centrale de Chandoline. Une autre partie de ces eaux est turbinée à la centrale de Biedron (aménagement de Cleuson-Dixence conjointement réalisé avec Grande Dixence SA). Le retour de concession pour la société Alpiq Suisse SA est en 2031. Il est à noter que des travaux ont été réalisés dans la retenue de la Grande Dixence et que des lâchers d'eau exceptionnels ont eu lieu dans la Dixence fin 2010 et début 2011.

Les Forces Motrices de la Borgne SA gèrent la prise d'eau sur la Borgne à la Luette qui achemine les eaux à la centrale aval de Sauterot où les eaux de la Dixence sont aussi captées. Un débit de dotation est octroyé dans la Dixence et une galerie conduit le reste des eaux dans le bassin de compensation de Vex. Une conduite forcée amène ensuite les eaux à la centrale de Bramois, puis au Groupe 7. Les restitutions de ces deux centrales se font dans la Borgne aux cotes m.s.M respectives de 525.88 et 515.54. Il est à noter que le déversoir du bassin de compensation de Vex arrive dans la Borgne en amont du dépotoir (alt. 540 m). L'approbation de la nouvelle concession de l'aménagement des FMB par le Conseil d'Etat (décision du 19.05.2010, autorisation notifiée le 27.05.2010) impose des débits de dotation en aval des deux captages : sur la Borgne à la Luette (**565 l/s**) et sur la Dixence au Sauterot (**315 l/s**). La concession pour cette société a été accordée jusqu'en 2085.

Parmi toutes les prises d'eau pour les forces hydrauliques, seuls les captages à la Luette et au Sauterot octroient un débit de dotation. Les autres captages prélevent plus de 50% du débit  $Q_{347}$ .

Les bassins de compensation de Ferpècle (Grande Dixence SA) et de Vex (Forces Motrices de la Borgne SA) sont au bénéfice d'une autorisation de purge et vidange annuelle. En 2011, elles ont été pratiquées (selon autorisations officielles de purges indiquées dans les rapports d'Hydro Exploitation) aux dates suivantes (cf. récapitulatif complet des événements dans le Tableau 6) :

- Bassin de compensation de Ferpècle, avec crue de rinçage réalisée le 4 août 2011 ;
- Bassin de compensation de Vex, purges réalisées le 6 juin et le 5 septembre 2011, avec « petit » rinçage.

Enfin, la société Léteygeon SA gère la prise d'eau sur la Dixence (1'530 m) en aval du barrage de la Grande Dixence ainsi que les prises d'eau des torrents de Prolin. Les eaux captées sont ensuite turbinées à la centrale amont de Sauterot. Le retour de concession est fixé pour 2045.

### **2.3.2. Prises d'eau potable et de bisses**

L'ensemble des captages (extrait de la base de données BD-Invent) sont représentés sur la Figure 1.

Sur le bassin versant de la Borgne, 41 captages sont destinés à l'alimentation en eau potable, 10 à l'irrigation, 1 à l'enneigement artificiel et 2 mentionnés sous « autres ».

Sur le bassin versant de la Dixence (principalement commune d'Hérémence), 6 captages sont destinés à l'alimentation en eau potable et 7 sont utilisés pour l'irrigation.

### 2.3.3. Assainissement des eaux usées

Les eaux usées des bassins versants sont traitées dans 5 STEP. Le Tableau 3 résume les caractéristiques de ces installations. A savoir que le secteur d'Ossona (St-Martin) épure ses eaux dans une mini STEP de 100 Eq Hab.

La STEP d'Évolène est en fonction depuis le début de 2011, la nitrification ne se fait pas de manière optimale du fait d'une trop grande proportion d'eaux claires parasites (78 % ECP selon données SPE) et des températures d'eau trop basses en entrée (cf. Bilan de fonctionnement des STEP du Val d'Hérens, SPE 2011). Relevons aussi, un arrêt de la STEP du 12 au 26 septembre 2011, entraînant un déversement d'eaux non traitées.

Au regard des débits dans les cours d'eau à l'étiage ( $Q_{347}$ ), les rejets des STEP sont largement inférieurs et les facteurs de dilution plus que satisfaisants. On admet qu'un facteur de 20 est déjà très bon. Ce facteur est toutefois valable en fonctionnement normal, avec une épuration qui correspond aux normes demandées par la législation et ne préjuge pas de l'impact des rejets en cas de dysfonctionnement ou épuration insuffisante qui ne respecterait pas les normes de rejet.

STEP	Dimensionnement (Eq.Hab)	Capacité hydraulique m <sup>3</sup> /j (l/s)	Coordonnées	Mise en service	Milieu Récepteur	$Q_{347}$ (l/s)	Facteur dilution
Évolène	6'000	1'800 (20)	604'076/106'880	2010	Borgne	1'420	68
St-Martin	2'400	660 (7)	599'815/113'895	1979	Borgne via T.Botsa	565	74
Hérémence	3'333	2'000 (23)	598'375/114'400	1996	Borgne	880	38
Mase	867	280 (3)	599'340/115'625	1980	Borgne via La Manna	880	272
Gde Dixence	250	50 (0.6)	597'300/103'700	1994	Dixence	390	674

Tableau 3 : Caractéristiques des différentes STEP du Val d'Hérens-Dixence amont/aval (SPE, 2011).

### 2.3.4. Extraction de graviers

Quatre gravières exploitent les matériaux de la Borgne. La gravière sur la Borgne en aval de Bramois n'est par contre plus exploitée.

Numéro	Nom	Coordonnées	Exploitant	Remarque
709	Gravière de la Lé, Haudères	605'100/103'500	Beytrison Sàrl	En exploitation
702	Gravière de la Villette	602'100/109'800	Gravière Val d'Hérens SA	En exploitation
704	Gravière du Pont-Noir, la Luette	600'600/111'800	Gravière Val d'Hérens SA	Gravière hors d'eau
808	Gravière Embouchure de la Borgne	596'000/121'000	Georges Gauye	Arrêt exploitation

Tableau 4 : Gravières présentes d'amont en aval sur le bassin versant de la Borgne (SPE, 2011).

### **2.3.5. Aménagement du lit**

Ces données sont issues de visions locales effectuées lors des campagnes de terrain, ne correspondant pas à un parcours intégral des rivières.

En amont, les Borgnes de Ferpècle (BOF 04.2) et d'Arolla (BOA 06.9) montrent sur l'ensemble de leur linéaire une morphologie proche d'un état naturel. À la hauteur du village des Haudères, les berges de la Borgne de Ferpècle (BOF 00.6) sont stabilisées par des enrochements. Sur la station de la Borgne d'Arolla (BOA 00.5), un seuil bétonné est présent et des enrochements stabilisent la rive gauche en aval du pont de la route cantonale.

La Dixence présente une morphologie naturelle sur l'ensemble des stations observées.

La Borgne est surtout aménagée dans sa partie aval depuis la centrale de Bramois jusqu'à son embouchure au Rhône. Le lit est rectiligne, contraint en rive droite et gauche par un mur en pierres jointoyées.

### **2.3.6. Valeurs naturelles**

Plusieurs zones alluviales sont présentes sur les bassins versants de la Borgne et de la Dixence et sont mentionnées dans l'Inventaire fédéral des zones alluviales d'importance nationale (cf. Tableau 5). Parmi les six zones inventoriées, une se situe dans le bassin versant de la Dixence en amont du lac des Dix, deux se trouvent sur la Borgne d'Arolla, deux sur la Borgne de Ferpècle, une sur la Borgne.

Bassin versant	Nom	N°	Surface (ha)	Rivière / localisation
Borgne d'Arolla	La Borgne en amont d'Arolla	129	28.1	Borgne d'Arolla en amont d'Arolla
Borgne d'Arolla	Pramousse-Satarma	128	12.2	Borgne d'Arolla entre Pramousse et Satarma
Borgne de Ferpècle	Ferpècle	131	17.5	Borgne de Ferpècle en aval des glaciers du Mont Miné et de Ferpècle
Borgne de Ferpècle	Salay	130	14.1	Borgne de Ferpècle à la hauteur de Salay
Borgne	Lotrey	127	23.6	La Borgne entre la Tour et Évolène
Dixence	Glacier de Cheilon	1170	140	Secteur compris entre le glacier de Cheilon et le lac des Dix

Tableau 5 : Liste des Zones Alluviales d'Importances Nationales (ZAIN), présentes dans les bassins versants des Borgnes et de la Dixence.

## **2.4. Événements hydrologiques particuliers**

Plusieurs événements naturels ou artificiels, pouvant influencer la qualité des eaux de la Borgne ou de la Dixence et celle des substrats, ont eu lieu durant l'année 2011 (cf. synthèse chronologique dans le Tableau 6, ceux de l'année 2010 étant donnés à titre indicatif) :

- Travaux techniques, nécessitant la vidange du barrage de la Grande Dixence (entre automne 2010 et avril 2011) ;
- Chute du sérac du Mt Collon (2 juillet 2011), augmentation de la fonte et de la turbidité dans la Borgne d'Arolla et la Borgne ;
- Crues les 26-27 août, avec un débit estimé à 55 m<sup>3</sup>/s (Q<sub>2</sub> avec purge de la prise de la Luette) ;
- Purges autorisées des bassins de Ferpècle (4 août) et de Vex (6 juin et 5 septembre).

Lors de la campagne d'analyses physico-chimique du 17.08.2011, dans la Borgne de Ferpècle, une augmentation notable de débit a été enregistrée entre la station aval (BOF 00.6) et amont (BOF 04.2) qui laisse supposer qu'une purge s'est effectuée lors du déplacement entre les 2 stations.

Un nettoyage de la prise d'eau et de son dessableur a été également réalisé le jour de la 3<sup>ème</sup> campagne physico-chimique, soit le 17 octobre 2011.

Rappelons, un arrêt de la STEP qui s'est déroulé du 12 au 26 septembre 2011, entraînant un déversement d'eaux non traitées.

Evénement	Date	Remarque
<b>Année 2010</b>		
<i>Curage du dépotoir et adaptation du mur du dépotoir</i>	<i>26 mars 2010</i>	<i>Excavation env. 10'000 m<sup>3</sup></i>
<i>Purge bassin de Vex</i>	<i>07 juin 2010</i>	
<i>Crue</i>	<i>17 juillet 2010</i>	
<i>Crue</i>	<i>23 juillet 2010</i>	
<i>Curage intermédiaire du dépotoir</i>	<i>28 juillet 2010</i>	<i>Lit non touché (dégagement orifices)</i>
<i>Crue</i>	<i>27 août 2010</i>	
<i>Purge bassin de Vex</i>	<i>06 septembre 2010</i>	
<b>Vidange Grande Dixence</b>	A partir automne 2010	Lâchers de MES ?
<b>Année 2011</b>		
<b>Vidange Grande Dixence</b>	Jusqu'en avril 2011	Lâchers de MES ?
<b>Prélèvements</b>	<b>11-14 mars 2011</b>	
Purge bassin de Vex	06 juin 2011	
Chute sérac	02 juillet 2011	Sérap du Mt-Collon
Purge bassin de Ferpècle	04 août 2011	
<b>Prélèvements physico-chimiques</b>	<b>17 août 2011</b>	
Crue + purge prise Lurette	Nuit du 26-27 août 2011	Crue : pointe à 55 m <sup>3</sup> /s
Purge bassin de Vex	05 septembre 2011	
Curage intermédiaire du dépotoir	06 septembre 2011	Dégagement orifices
Arrêt STEP Evolène	12-26 septembre 2011	
<b>Prélèvements biologiques</b>	<b>13-15 octobre 2011</b>	
Dessablage prise Sauterot	17 octobre 2011	Nettoyage dessableur prise Sauterot
<b>Prélèvements physico-chimiques</b>	<b>17 octobre 2011</b>	

Tableau 6 : Récapitulatif chronologique des événements enregistrés sur les Borgnes et la Dixence en 2010-2011. *A titre indicatif, en italique, les événements de 2010 et en bleu les données qui n'ont pu être vérifiées.*

## 3. METHODOLOGIE

### 3.1. Principes et Intervenants

Le but de cette étude est de connaître la qualité de la rivière en différents points, répartis sur l'ensemble du bassin versant. Plusieurs approches sont utilisées ; les informations récoltées sont complémentaires et permettent une interprétation plus précise de la qualité des eaux et du milieu. Les différents aspects de cette étude ont été traités par les intervenants suivants :

- **mandant et coordinateur** : Service de la Protection de l'Environnement (SPE) ;
- mesures des **débits et prélevements** d'échantillons d'eau pour analyses physico-chimiques et bactériologiques : bureaux ETEC et PhycoEco pour les campagnes de mars, août et octobre 2011 ;
- examen de la **qualité physico-chimique** de l'eau à l'aide de sondes portables : bureau ETEC ; analyses des échantillons d'eau : laboratoire du SPE ; analyses **bactériologiques** : laboratoire cantonal ;
- étude biologique des **diatomées** fixées sur le substrat comme indicatrices de la qualité des eaux (prélevements des échantillons, détermination et interprétation des résultats) : Dr François Straub, avec constitution d'une collection de référence qui sera déposée au Musée de la Nature en Valais ;
- étude **biologique** à l'aide d'une méthode basée sur la faune benthique (prélevements des échantillons, détermination et interprétation) : bureau ETEC ;
- **confrontation et interprétation** de l'ensemble des résultats, **rédaction** du rapport de synthèse : bureaux ETEC et PhycoEco (Dr François Straub).

### 3.2. Localisation des stations, Campagnes, Méthodes utilisées

#### 3.2.1. Choix des stations et principe de codification

**Au total, 14 stations** ont été retenues en fonction de l'altitude, des caractéristiques de l'environnement et des aménagements (cf. Figure 1 pour localisation sur le bassin versant et photos pages suivantes).

Le principe de **codification** des stations en Valais est le suivant : les 3 lettres sont les premières lettres capitales du nom du cours d'eau (« BOA » pour la Borgne d'Arolla, « BOF » pour la Borgne de Ferpècle, « BOR » pour la Borgne et « DIX » pour la Dixence). Les chiffres qui leur font suite représentent la distance kilométrique de la station par rapport à la confluence avec le milieu récepteur (soit la Borgne pour les Borgnes d'Arolla et de Ferpècle ainsi que la Dixence, et le Rhône pour la Borgne, conformément aux codes GEWISS attribués par la Confédération). Ainsi, « BOR 08.8 » indique la station de la Borgne sise à 8.8 km de l'embouchure du Rhône.

D'amont en aval, les coordonnées des stations sont les suivantes (avec renvoi aux photos) :

- |  |   |
|--|---|
| ➤ BOF 04.2 : 608'051 / 101'395 (cf. Photo 1) ; | ➤ BOR 08.8 : 598'480 / 114'320 (cf. Photo 8) ;  |
| ➤ BOF 00.6 : 605'639 / 103'251 (cf. Photo 2) ; | ➤ BOR 08.1 : 598'320 / 114'920 (cf. Photo 9)    |
| ➤ BOA 06.9 : 603'640 / 97'370 (cf. Photo 3) ;  | ➤ BOR 03.4 : 597'731 / 118'894 (cf. Photo 10) ; |
| ➤ BOA 00.5 : 605'080 / 103'000 (cf. Photo 4) ; | ➤ BOR 01.8 : 596'780 / 120'040 (cf. Photo 11) ; |
| ➤ BOR 19.2 : 604'300 / 106'500 (cf. Photo 5) ; | ➤ DIX 08.7 : 596'760 / 106'720 (cf. Photo 12) ; |
| ➤ BOR 12.6 : 600'700 / 111'560 (cf. Photo 6) ; | ➤ DIX 01.6 : 597'520 / 113'130 (cf. Photo 13) ; |
| ➤ BOR 09.0 : 598'625 / 114'200 (cf. Photo 7) ; | ➤ DIX 00.2 : 598'410 / 114'120 (cf. Photo 14).  |

Par rapport au cahier des charges, certaines stations ont parfois été déplacées pour que les prélèvements IBCH et diatomées soient représentatifs des conditions locales ou moins influencés par des atteintes ponctuelles, sachant que le contexte physico-chimique reste toujours identique.

Les stations Borgne de Ferpècle « Haudères amont » et Borgne « amont dépotoir » ont été déplacées respectivement de 100 m vers l'amont (BOF 00.6) et 300 m vers l'aval (BOR 03.4) par rapport aux stations initiales du SPE. La station BOA 00.5 prélevée en mars 2011 a dû être légèrement déplacée vers l'aval en octobre 2011 (BOA 00.4), du fait de travaux dans le lit suite aux crues.

Les caractéristiques du milieu et interventions humaines susceptibles d'influencer les stations étudiées, apparaissent dans le Tableau 7.

Stations	Code	Altitude (en m)	Pente	Caractéristiques morphologiques	Interventions humaines
<b>Borgne Ferpècle</b>					
Salay	BOF 04.2	1'740	7%	Morphologie naturelle	Dessablage des prises d'eau, purges du bassin de Ferpècle
Haudères amont	BOF 00.6	1'440	5%	Enrochements RD et RG	Purges du bassin de Ferpècle
<b>Borgne Arolla et Borgne aval</b>					
Arolla	BOA 06.9	1'900	5%	Morphologie naturelle	Dessablage des prises d'eau
Haudères amont	BOA 00.5 (BOA 00.4)	1'447	4%	Enrochements RG	-
Évolène zone alluviale	BOR 19.2	1'346	2%	Morphologie naturelle	-
Pont Noir amont gravière	BOR 12.6	980	4%	Morphologie naturelle	STEP Évolène (6'000 Eq.Hab.) et gravière Villette
Euseigne amont confluence	BOR 09.0	755	-	Morphologie naturelle	Prise d'eau Luette (dotation 565 l/s, purge retenue) ; gravière Pont Noir ; STEP St-Martin (2'400 Eq.Hab.)
Combioula amont STEP (aval Dixence)	BOR 08.8	705	3%	Morphologie naturelle	-
Combioula aval STEP	BOR 08.1	680	2%	Morphologie naturelle	STEP Hérémence (3'333 Eq.Hab.)
Amont dépotoir	BOR 03.4	540	-	Morphologie naturelle	Sources chaudes de Combioula ; STEP Mase (867 Eq.Hab.) ; purge bassin de Vex
Bramois Berthod	BOR 01.8	504	-	Cours rectiligne (murs RD + RG)	Restitution centrale Bramois
<b>Dixence</b>					
Pralong	DIX 08.7	1'608	4%	Cours rectiligne (enrochements RD + RG)	STEP Grande Dixence (250 Eq.Hab.)
Amont Sauterot	DIX 01.6	930	11%	Morphologie naturelle	Prise d'eau Leteygeon
Amont confluence	DIX 00.2	720	7%	Morphologie naturelle	Prise d'eau Sauterot (dotation 315 l/s)

RG : rive gauche – RD : rive droite

Tableau 7 : Caractéristiques des stations étudiées sur les Borgnes et la Dixence (année 2011).

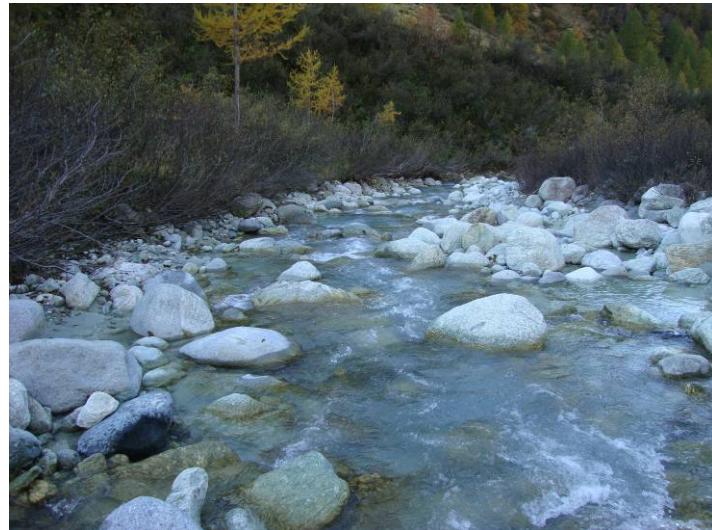


Photo 1 : BOF 04.2, « Salay » (octobre 2011).

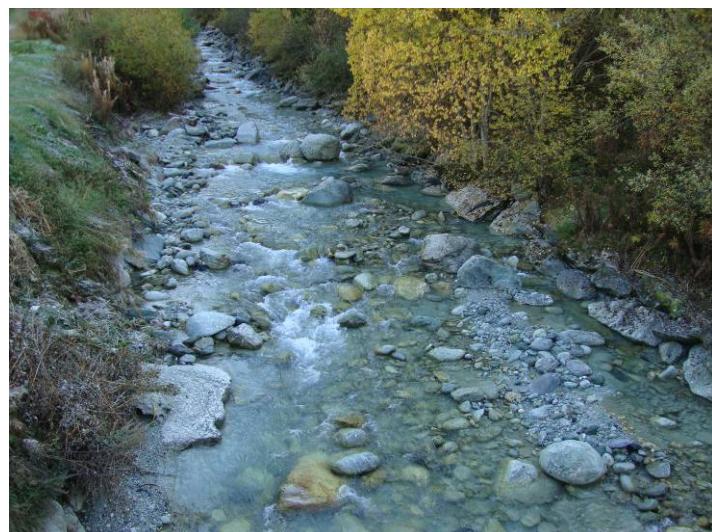


Photo 2 : BOF 00.6, « Haudères amont » (octobre, 2011).

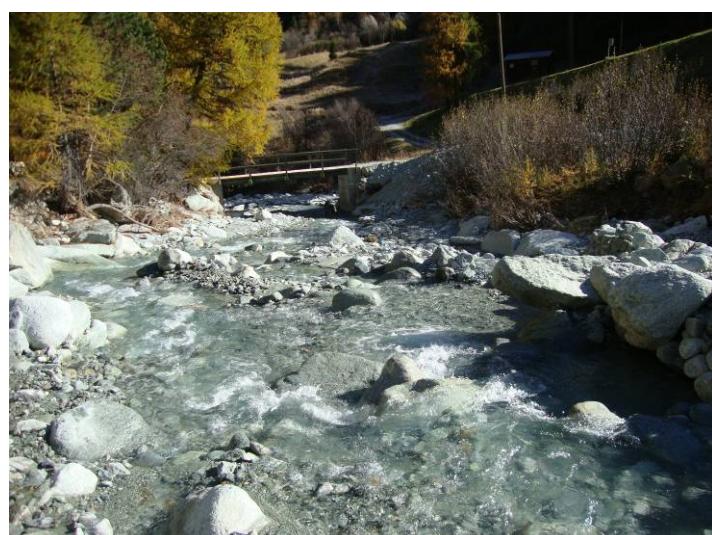


Photo 3 : BOA 06.9, « Arolla » (octobre, 2011).



Photo 4 : BOA 00.5, « Haudères amont » (mars, 2011).



Photo 5 : BOR 19.2, « Évolène, zone alluviale » (mars, 2011).



Photo 6 : BOR 12.6, « La Luette, amont gravière» (mars, 2011).



Photo 7 : BOR 09.0, « Euseigne, amont confluence Dixence » (octobre, 2011).



Photo 8 : BOR 08.8, « Combioula, amont STEP» (octobre, 2011).

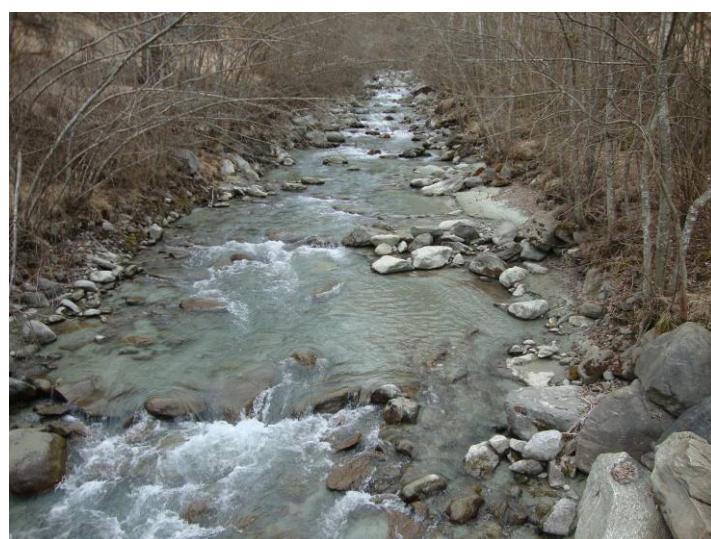


Photo 9 : BOR 08.1, « Combioula, aval STEP» (mars, 2011).



Photo 10 : BOR 03.4, « Amont dépotoir » (octobre, 2011).



Photo 11 : BOR 01.8, « Bramois, Berthod» (mars, 2011).



Photo 12 : DIX 08.7, « Pralong » (octobre, 2011).



Photo 13 : DIX 01.6, « Sauterot amont » (octobre, 2011).

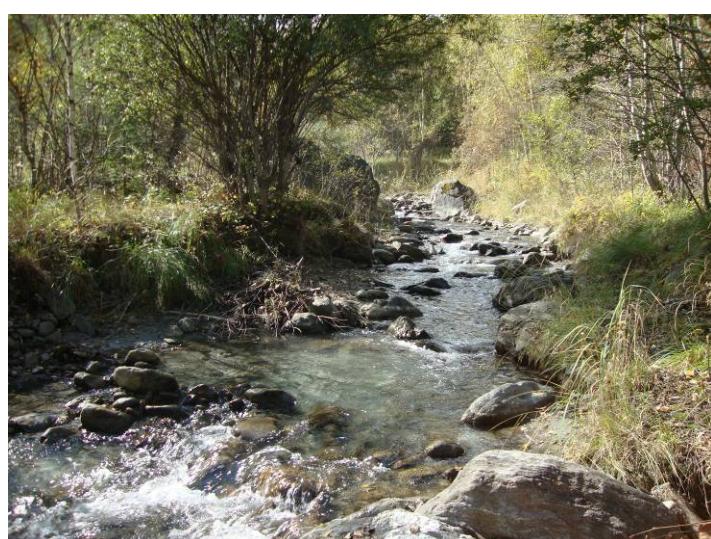


Photo 14 : DIX 00.2, « Amont confluence » (octobre, 2011).

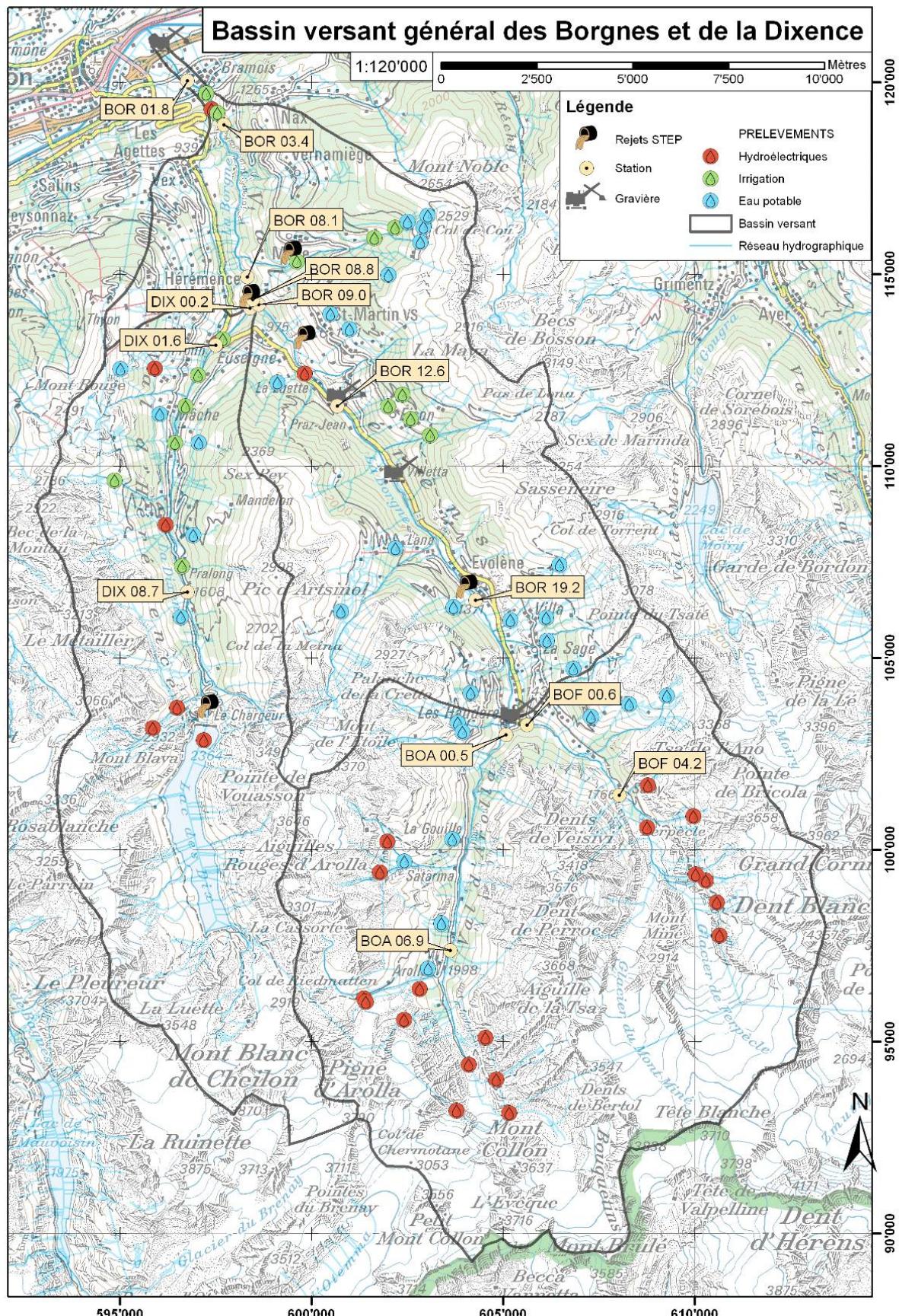


Figure 1: Contexte du bassin versant des Borgnes et de la Dixence avec localisation des stations d'échantillonnage (2011).

### 3.2.2. Dates des campagnes et conditions météorologiques

Trois campagnes physico-chimiques ont été réalisées sur les stations (mars, août et octobre 2011). Deux campagnes « diatomées » et « faune benthique » (d'après la méthode de l'IBCH, cf. paragraphe 3.2.5) ont été menées en mars et octobre 2011. Le Tableau 8 récapitule les dates des diverses campagnes et indique les conditions météorologiques.

Date	Condit. météo*	Type analyse	BOA 06.9	BOA 00.5	BOF 04.2	BOF 00.6	DIX 08.7	DIX 01.6	DIX 00.2	BOR 19.2	BOR 12.6	BOR 09.0	BOR 08.8	BOR 08.1	BOR 03.4	BOR 01.8
11.03.11	<b>Soleil</b> (0 mm)	Diatomées. IBCH		+		+	+	+		+	+					
12.03.11	<b>Couvert</b> (0 mm)	Diatomées, IBCH								+			+	+	+	+
14.03.11	<b>Soleil</b> (0 mm)	Débit, Physico-chim, Bactério.		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
17.08.11	<b>Soleil</b> (2.2 mm, le 15.08.11)	Physico-chim, Bactério.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
13.10.11	<b>Soleil</b> (11.4 mm, le 10.10.11)	Diatomées, IBCH						+	+							+
14.10.11	<b>Soleil</b> (0 mm)	Diatomées, IBCH								+	+	+	+	+	+	
15.10.11	<b>Soleil</b> (0 mm)	Diatomées, IBCH	+	+	+	+										
17.10.11	<b>Soleil</b> (0 mm)	Physico-chim, Bactério.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

\*Hauteur de pluie totale en mm ou l/m<sup>2</sup>; données de la station d'Uvrier.

Tableau 8 : Protocole d'étude des Borgnes et de la Dixence en 2011.

Dans les cours d'eau alpins, l'étiage (débit le plus faible à l'état naturel) se produit en hiver. Durant ces périodes, les apports polluants sont souvent plus importants (tourisme hivernal) et peu dilués ; ils confèrent aux cours d'eau leur état chimique le plus critique. Les campagnes hivernales révèlent habituellement les moins bonnes qualités d'eaux.

- Fenêtre d'échantillonnage utilisée pour l'IBCH**

Les stations à échantillonner sur le bassin versant sont situées à des altitudes comprises entre 500 m et 1'900 m d'altitude. La méthode IBCH de l'OFEV recommande pour les cours d'eau non soumis aux hautes eaux des fontes nivales et glacières un échantillonnage de mars (basse altitude) à juin (haute altitude) et un deuxième passage facultatif entre les périodes de mi-mai à mi-octobre. La Borgne et la Dixence étant des cours d'eau à régime hydrologique glacière et glacio-nival, en accord et sur recommandation du SPE, les campagnes d'échantillonnage ont été fixées mi-mars avant la fonte nival et glacière et mi-octobre après les crues de la fin d'été.

### 3.2.3. Hydrologie et physico-chimie

- **Prélèvements physico-chimiques et bactériologiques**

À la demande du SPE, les prélèvements d'eau ont été **ponctuels**. Pour la bactériologie, ils ont été effectués dans des bouteilles stériles. Tous les échantillons d'eau ont été conservés en glacière avant d'être transmis le soir même aux laboratoires (laboratoire cantonal pour la bactériologie et laboratoire du SPE pour la physico-chimie).

- **Mesures de débit**

Les débits ont été mesurés à l'aide d'un jaugeage chimique par intégration (salinométrie). Ces mesures instantanées ne sont toutefois qu'indicatives. Sur certaines stations, elles peuvent s'avérer peu fiables si le faciès de la rivière se prête mal à ce type de jaugeage (écoulement qui se divise en plusieurs bras, présence de mouilles qui ralentissent l'écoulement des eaux et donc le transport du sel).

- **Analyses physico-chimiques**

Seuls les principaux paramètres caractéristiques de la pollution organique des eaux (carbone organique, azotes et phosphores) ont été analysés. Les résultats bruts des analyses physico-chimiques et bactériologiques figurent en Annexe 1. L'unité des valeurs est précisée dans le tableau. Des relevés de température de l'eau, conductivité, pH, oxygène dissous ont également été effectués sur le terrain avec une sonde portable. Ces valeurs ont été introduites dans ce tableau général. Le fichier informatisé des analyses physico-chimiques, repris dans les fiches de synthèse, exprime les concentrations du carbone, de l'azote et du phosphore en mg ou µg de C, N ou P par litre. Compte tenu du degré d'imprécision des mesures de débit et du caractère ponctuel de l'approche (prélèvement instantané), le calcul des charges n'a pas été réalisé.

- **Références pour la qualité physico-chimique des eaux**

Les exigences relatives à la qualité des eaux figurent dans l'Annexe 2 de l'Ordonnance fédérale sur la protection des eaux. Le module « Analyse physico-chimique » niveau R du système modulaire gradué se base sur cette annexe et fournit des informations sur l'interprétation des résultats en proposant une échelle de valeur à 5 niveaux (de très bon à mauvais, cf. Tableau 9).

Appréciation de la qualité	COD (mg C/l)	Nitrates (mg N/l) NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrites (mg N/l) NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> pour cl<10 mg/l	Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg N/l)		Ortho-P (mg P/l) PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Ptotal (mg P/l) Ptot
				T > 10°C	T < 10°C		
Très bonne	<2.0	<1.5	<0.01	<0.04	<0.08	<0.02	<0.04
Bonne	2.0 <4.0	1.5 <5.6	0.01 <0.02	0.04 <0.2	0.08 <0.4	0.02 <0.04	0.04 <0.07
Moyenne	4.0 <6.0	5.6 <8.4	0.02 <0.03	0.2 <0.3	0.4 <0.6	0.04 <0.06	0.07 <0.1
Médiocre	6.0 <8.0	8.4 <11.2	0.03 <0.04	0.3 <0.4	0.6 <0.8	0.06 <0.08	0.1 <0.14
Mauvaise	≥8.0	≥11.2	≥0.04	≥0.4	≥0.8	≥0.08	≥0.14

Tableau 9 : Classes de qualité des principaux paramètres chimiques des eaux (OFEV 2010).

- **Références pour la qualité bactériologique des eaux**

L'interprétation du nombre de germes totaux s'est faite selon les classes utilisées par le plan MAPOS. En Suisse, il n'existe par contre pas de norme bactériologique pour les eaux courantes vis-à-vis des *Escherichia coli* et des Entérocoques. En France, les Agences de l'Eau (1999) ont introduit des « classes d'aptitude » dans le SEQ-Eau pour définir la qualité de l'eau en vue d'une production d'eau potable (cf. Tableau 10).

Paramètres	Unités	Classe de qualité				
		Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
Germes totaux	n/ml	< 500	501-1000	1001-25000	-	> 25000
Escherichia coli	n/100 ml	≤ 20	21-200	201-2000	2001-20000	> 20000
Entérocoque	n/100 ml	≤ 20	21-200	201-1000	1001-10000	> 10000

- Seulement 4 classes pour la Suisse, au lieu de 5 pour la France.

Tableau 10 : Interprétation des résultats bactériologiques pour les eaux courantes d'après les classes utilisées par le plan MAPOS et le SEQ-Eau - Agences de l'Eau françaises.

### 3.2.4. Etudes des diatomées

Les détails de la méthodologie utilisée pour les prélèvements et l'analyse des diatomées figurent en Annexe 2. Les échantillons et préparations de référence sont déposés au Musée d'Histoire naturelle de La Chaux-de-Fonds (coll. F. Straub). Des doubles des préparations microscopiques seront transmis au Musée de la Nature à Sion, dans la collection de référence des diatomées valaisannes.

Les notes obtenues (indice diatomées) correspondent à un des 8 groupes de qualité d'eau (cf. Tableau 11). Pour faciliter les comparaisons entre les modules, les 8 groupes de départ sont ramenés aux 5 classes du « système modulaire gradué R ». Les stations sont alors réparties en deux catégories :

- celles obtenant un indice de 1 à 4.49 (couleur bleue et verte) respectent les objectifs écologiques fixés par l'OFEFP ;
- celles ayant un indice de 4.5 à 8 (couleur jaune, orange et rouge) n'atteignent pas les objectifs écologiques.

Indice diatomique DI-CH	1	2	3	4	5	6	7	8
Limites des classes	1.0-1.49	1.5-2.49	2.5-3.49	3.5-4.49	4.5-5.49	5.5-6.49	6.5-7.49	7.5-8.0
Classes d'état selon système modulaire gradué	Très bon		Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais		

Tableau 11 : Grille de diagnostic pour l'interprétation de l'indice suisse DI-CH basé sur les diatomées.

Les autres indices utilisés dans le cadre de cette étude à savoir, les niveaux saprobique et trophique, sont développé dans le paragraphe 5.4.3.

### 3.2.5. Prélèvements et analyses biologiques : les macroinvertébrés

#### • L'IBCH (dérivé de la norme française d'Indice Biologique Global Normalisé)

- La méthode retenue pour l'analyse de la qualité biologique est celle de l'**IBCH**, détaillée dans la partie Macrozoobenthos de la méthode d'appréciation des cours d'eau, niveau R (Stucki, 2010).

Elle prend en compte toute la problématique des **mosaïques d'habitats** (combinaison des substrats et des vitesses), paramètres prépondérant pour les cours d'eau. En effet, la nature et la qualité des substrats du fond déterminent la diversité et l'abondance des macro-invertébrés benthiques ; ceux-ci dépendent très fortement de la capacité « biogénique »<sup>1</sup> de ces substrats. La **structure et l'état des fonds** ont été relevés lors des prélèvements de faune benthique.

Sur chaque station, l'échantillonnage se compose de 8 prélèvements dans tous les types de substrat représentés (bryophytes, litières, galets, graviers, vases, dalles, etc.) et de vitesse (soit 5 classes entre

<sup>1</sup> Aptitude à héberger une faune abondante et diversifiée.

moins de 5 cm/s et plus de 150 cm/s). Le protocole directeur de la méthode doit parfois être adapté aux conditions propres de chaque station.

Les organismes échantillonnés sont conservés dans de l'éthanol (alcool à 99.9%), triés et déterminés en général jusqu'à la famille, qui constitue la limite de détermination pour cette méthode. Pour chacune des stations est établie une liste faunistique des macro-invertébrés benthiques, principalement des larves d'insectes pétricoles (qui vit sur les pierres) ou fouisseuses, appartenant aux ordres des Plécoptères, Ephéméroptères, Trichoptères, Diptères, caractéristiques des cours d'eau de montagne.

Le calcul de l'IBCH se fonde :

- ⇒ sur le **Groupe Indicateur (GI)** ; les taxons sont organisés en 9 classes selon leur sensibilité aux différents paramètres de qualité d'un cours d'eau (eau et lit); la classe 9, la plus élevée, est constituée des taxons les plus exigeants, à savoir les taxons les plus sensibles à la qualité du milieu;
- ⇒ et sur la **diversité taxonomique** (nombre de taxons) comptabilisée dans la liste faunistique.

La note ainsi obtenue, comprise entre 1 et 20 (minimum et maximum), donne une appréciation de la qualité biologique globale de la station (cf. Tableau 12). Elle intègre les paramètres abiotiques (diversité des substrats, vitesse du courant, physico-chimie des eaux, débit, etc.) et biotiques (faune benthique, niveau trophique, etc.). La méthode IBCH permet d'obtenir une note rapide de qualité du milieu aquatique qui fait office de valeur de référence dans le temps. Une interprétation plus poussée des listes faunistiques est toutefois nécessaire pour cerner les atteintes éventuelles.

Tous les résultats et relevés ont été introduits dans la base de données du canton, « **BD-Hydrobio** ».

IBCH selon norme de base	$\geq 17$	16-13	12-9	8-5	$\leq 4$
Qualité biologique globale	Bonne	Satisfaisante	Moyenne	Mauvaise	Polluée

Tableau 12 : Note IBCH et interprétation de la qualité biologique globale.

## 4. QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE DES EAUX

### 4.1. Résultats

Les résultats physico-chimiques et bactériologiques bruts figurent dans le tableau général en Annexe 1. La représentation cartographique (cf. Figure 2, Figure 3, Figure 4 et Figure 5), en couleur, indiquent, pour les stations étudiées, la qualité des eaux à l'aide des quatre paramètres retenus (DOC, N-NH<sub>4</sub>, P-PO<sub>4</sub> et Ptot) et les résultats bactériologiques en mars, août et octobre 2011 (période de plus basses eaux, supposée la plus critique).

Les prélèvements physico-chimiques du mois d'août n'ont cependant pas été conservés dans les conditions optimales (pannes des frigos du SPE), pouvant biaiser les résultats des analyses. Il en sera tenu compte dans les interprétations.

### 4.2. Interprétation

#### 4.2.1. Débits

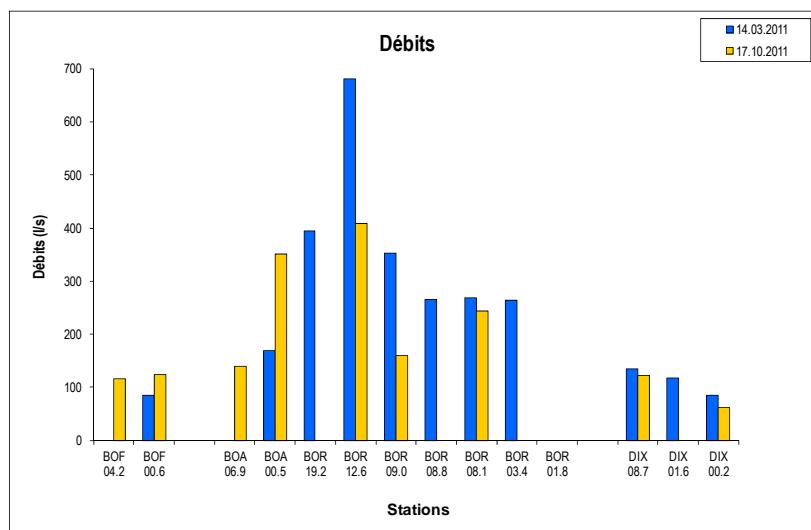
La morphologie très accidentée de nombreuses stations, présentant des faciès en mouilles et petites cascades, ainsi que la présence de bras secondaire (BOR 08.8), rendent les jaugeages au sel extrêmement difficiles et peu fiables. Il n'a pas été p. ex. possible d'effectuer les mesures de débit dans la station BOR 01.8 pour des raisons de morphologie, le risque de manque de fiabilité étant trop élevé. De même, aucune mesure n'a été réalisée en hautes eaux (mi août 2011). Outre ces difficultés, les mesures sur DIX 01.6 et BOR 03.4 en octobre 2011 ont été perturbées par un lâcher d'eau depuis l'amont. Pour cette raison, seuls

les résultats qui paraissaient corrects ont été repris dans le Tableau 13 et Graphique 1. Au vu de ces données, plusieurs commentaires se dégagent :

- La plupart des stations présente un débit plus élevé en mars, alors qu'il devrait s'agir de l'étiage ; la fonte des neiges était déjà effective au moment des prélèvements, à la mi-mars ; la station BOR 12.6 montre le débit le plus élevé (681 l/s) en mars 2011 ; par contre, les débits des Borgnes d'Arolla et de Ferpècle sont plus importants en octobre, sans doute liés aux précipitations qui ont eu lieu dans la première quinzaine du mois ;
- L'influence des prises d'eau se voit clairement : diminution du débit sur les stations DIX 01.6 (prise d'eau Leteygeon) et DIX 00.2 (prise du Sauterot) et sur BOR 09.0 (barrage de la Luette), avec débit quasi constant sur les stations aval (débit de dotation).

Débits (l/s)														
Stations Période	BOF 04.2	BOF 00.6	BOA 06.9	BOA 00.5	BOR 19.2	BOR 12.6	BOR 09.0	BOR 08.8	BOR 08.1	BOR 03.4	BOR 01.8	DIX 08.7	DIX 01.6	DIX 00.2
Mars	-	84	-	169	394	681	352	265	269	264	-	135	118	84
Octobre	116	124	139	351	-	409	160	-	243	-	-	123	-	61

Tableau 13: Débits mesurés sur les Borgnes et la Dixence en 2011.

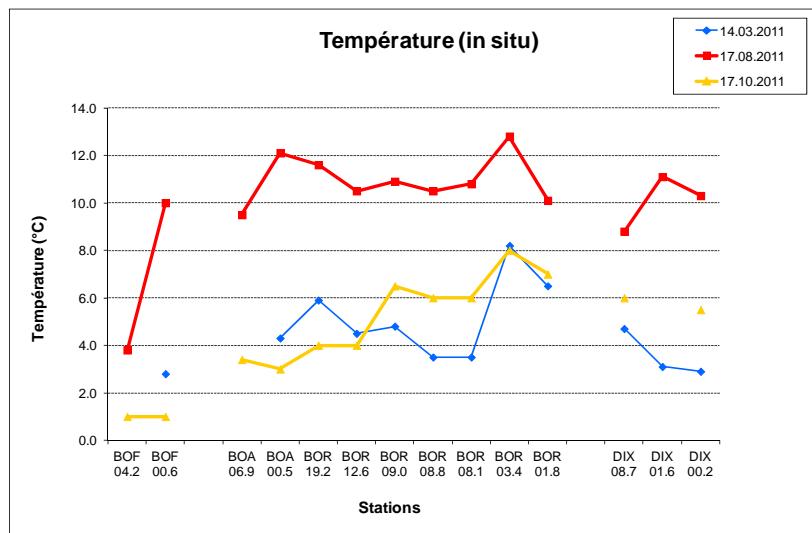


Graphique 1 : Débits mesurés sur le bassin versant des Borgnes et de la Dixence en 2011.

Notons que les débits mesurés en aval des captages de la Luette (BOR 09.0) et du Sauterot (DIX 00.2) sont inférieurs aux débits résiduels fixés (respectivement 565 l/s et 315 l/s), alors que les apports sur les stations en amont de ces prises (BOR 12.6 et DIX 01.6) auraient permis d'augmenter le débit de dotation.

#### 4.2.2. Température

Les températures les plus élevées s'observent en août ; elles sont généralement supérieures à 10°C (maximum de 12.8 °C sur BOR 03.4). Elles sont plus froides en mars (température entre 2.8°C et 8.2°C) et en octobre (température entre 1.0°C et 8.0°C), en lien avec les températures extérieures qui influencent directement celle de l'eau, et ce d'autant plus lorsque la hauteur d'eau est faible. Il est à noter que la température de la station « amont dépotoir » (BOR 03.4) est toujours la plus élevée, en été comme en période d'étiage (8.0-8.2°C), du fait de l'influence des sources chaudes de Combioula.



Graphique 2 : Températures mesurées sur le bassin versant des Borgnes et de la Dixence en 2011.

#### 4.2.3. pH

Deux mesures de pH sont disponibles : celle réalisée in situ et celle en laboratoire. Compte tenu d'un ou deux résultats surprenants, ce sont ceux du laboratoire qui ont été retenus. Sur l'ensemble des campagnes, le pH fluctue entre 7.2 et 8.5, montrant des eaux proche de la neutralité à légèrement alcalines.

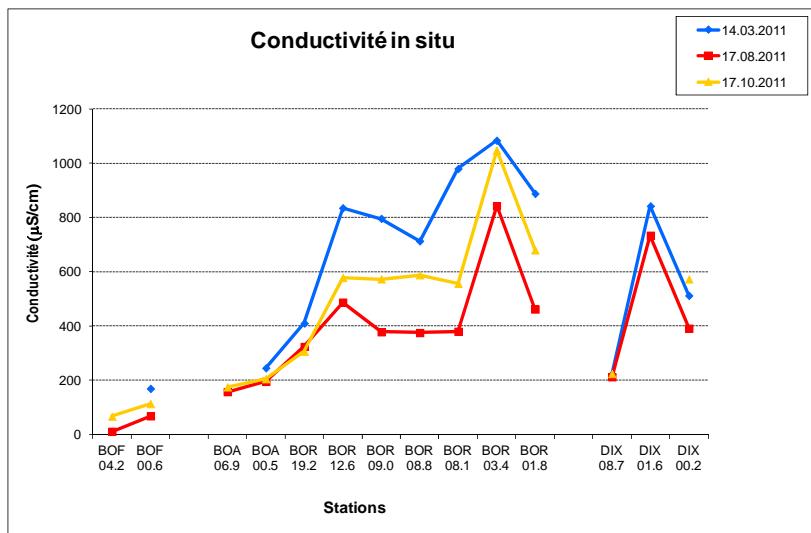
#### 4.2.4. Conductivité

La conductivité dépend de la composition chimique des eaux. En tête de réseau hydrographique, elle résulte de la nature géologique du bassin versant et des apports d'eau (ruisselement des eaux de pluie, fonte des neiges et des glaciers). Elle augmente progressivement d'amont vers l'aval.

Les mesures obtenues in situ avec les sondes de terrain (cf. Tableau 14) présentent des résultats relativement similaires à ceux obtenus en laboratoire. Ce sont donc les mesures relevées sur le terrain qui sont indiquées dans le Tableau 14 et le Graphique 3.

Conductivité in situ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )															
Stations Période	BOF 04.2	BOF 00.6	BOA 06.9	BOA 00.5	BOR 19.2	BOR 12.6	BOR 09.0	BOR 08.8	BOR 08.1	BOR 03.4	BOR 01.8	DIX 08.7	DIX 01.6	DIX 00.2	
Mars	-	169	-	245	410	835	796	713	980	108 4	888	222	842	512	
Août	11	68	157	195	324	487	378	375	380	843	462	212	734	391	
Octobre	67	113	175	205	306	578	573	588	557	104 8	680	224	-	573	

Tableau 14 : Conductivités mesurées in situ dans les stations du bassin versant des Borgnes et de la Dixence en 2011.



Graphique 3 : Conductivités mesurées sur le bassin versant des Borgnes et de la Dixence en 2011.

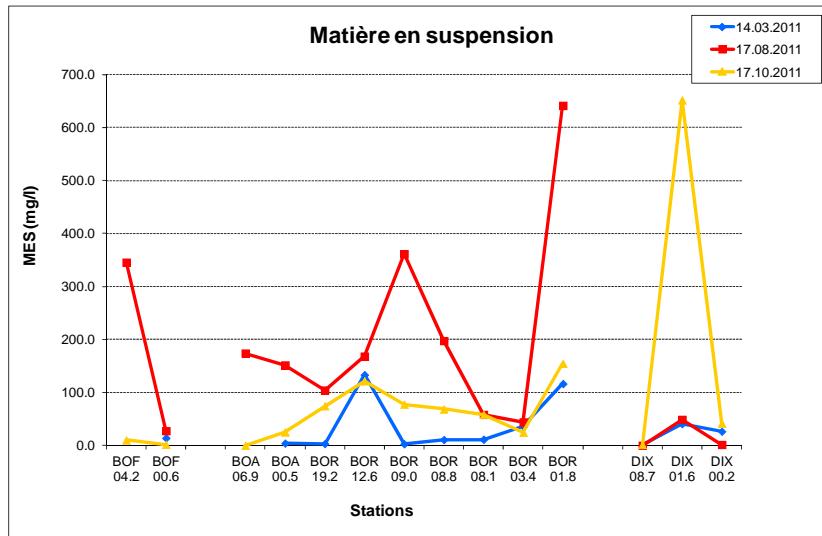
La conductivité fluctue en fonction de la saison et des stations (influence de rejets/sources), mais conserve une courbe similaire entre les campagnes. Les valeurs les plus élevées sont mesurées sur les stations : BOR 12.6 (située en aval de la STEP d'Évolène), BOR 03.4 (localisée en aval des sources chaudes de Combioula) et DIX 01.6. Les valeurs entre 800 et 1'000 µS/cm indiquent des eaux excessivement minéralisées. Les conductivités les plus basses sont enregistrées en août, lors de la période estivale qui correspond aux débits les plus élevés avec apports d'eaux moins minéralisées (fonte glaciaire). Sans pouvoir l'expliquer de manière probante, les valeurs les plus hautes se remarquent en mars (étiage), alors que les débits étaient légèrement supérieurs à la campagne d'octobre.

#### 4.2.5. Matières en suspension (MES)

Lors des visites de terrain, deux purges ont été observées. Elles correspondent aux pointes de concentrations qui s'observent sur le Graphique 4. La première se voit au mois d'août 2011 dans la Borgne de Ferrière (BOF 04.2, 354.6 mg/l) et la seconde en octobre 2011 dans la Dixence (DIX 01.6, 652 mg/l). A relever également la valeur élevée enregistrée en août 2011 sur la Borgne aval (BOR 01.8, 642 mg/l) en aval de la restitution de l'usine de Bramois. D'une manière général, les concentrations de MES dans les Borgne sont plus élevés en août 2011. Outre la fonte glaciaire, elles sont aussi la conséquence de la chute et la fonte de séracs du Mont-Collon (juillet 2011). Le pic de MES observé en mars sur la station BOR 12.6, est soit lié à l'activité de la gravière de Villette (observée aussi les 11 et 14 mars), soit dû à l'exploitation des matériaux de la Borgne (trax sorti de l'eau avant la pause de midi). L'augmentation systématique du taux de MES sur la station BOR 01.8 s'explique par la restitution des eaux de l'usine de Bramois (eaux captées à la Luette et au Sauterot).

MES (mg/l)														
Stations Période	BOF 04.2	BOF 00.6	BOA 06.9	BOA 00.5	BOR 19.2	BOR 12.6	BOR 09.0	BOR 08.8	BOR 08.1	BOR 03.4	BOR 01.8	DIX 08.7	DIX 01.6	DIX 00.2
Mars	-	14	-	4	3	133	3	11	11	36	116	0.4	41	26
Août	346	28	174	152	104	168	362	198	58	44	642	0.1	49	1.5
Octobre	10	2	0	25	75	122	78	69	58	25	155	1.5	652	42

Tableau 15 : Concentrations en MES mesurés sur les Borgnes et de la Dixence en 2011.



Graphique 4 : Concentration en MES mesurés sur les Borgnes et la Dixence en 2011.

#### 4.2.6. Matière organique (DOC, TOC)

- **DOC ou COD** (Carbone Organique Dissous) ; *représentation cartographique aux Figure 2, Figure 3, Figure 4 et Figure 5 ; résultats en Annexe 1*

Dans tous les cas, la qualité de l'eau est considérée comme **très bonne**.

Les valeurs ne dépassent pas 0.9 mg/l (concentration mesurée sur la Dixence DIX 00.2 au mois d'octobre, en amont de sa confluence avec la Borgne), ce qui correspond à des eaux faiblement chargées en matière organique. Les concentrations restent stables sur les différentes stations et n'augmente guère entre l'amont et l'aval.

- **TOC ou COT** (Carbone Organique Total) ; *résultats en Annexe 1*

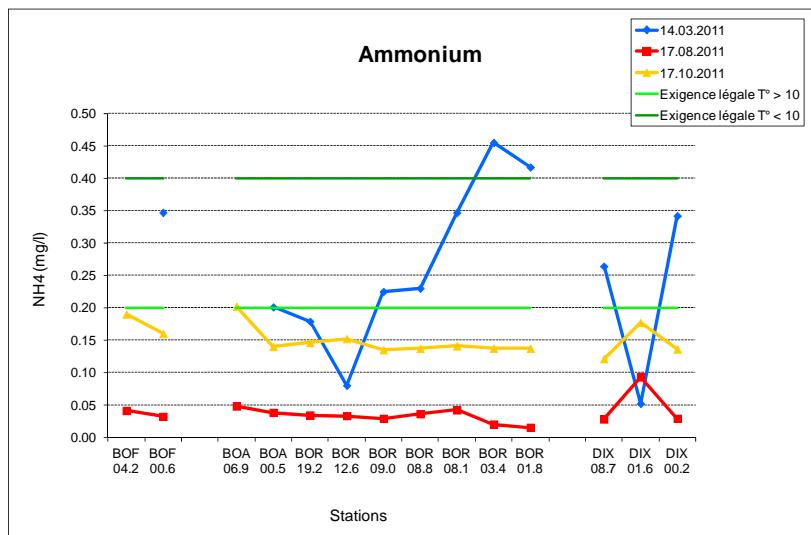
Les concentrations en TOC sont proches de celles du DOC, avec un écart de l'ordre de 0.3 mg/l. La qualité de l'eau est aussi considérée comme **très bonne**.

#### 4.2.7. Formes azotées ( $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ )

- **NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** (ammonium) ; *représentation cartographique aux Figure 2, Figure 3, Figure 4 et Figure 5 ; résultats détaillés en Annexe 1*

En août et octobre 2011, la qualité de l'eau est considérée comme **très bonne à bonne** sur toutes les stations, avec des valeurs allant de 0.015 mg N/l (BOR 01.8) à 0.093 mg N/l (DIX 01.6) en août, et de 0.121 mg N/l (DIX 08.7) à 0.202 mg N/l (BOA 06.9) en octobre. En mars, alors que dans les autres stations les valeurs sont en catégorie **bonnes**, variant de 0.08 mg N/l (BOR 12.6) à 0.347 mg N/l (BOF 00.6 et BOR 08.1), les stations aval de la Borgne, BOR 03.4 et BOR 01.8, montrent une qualité **moyenne**, dépassant les normes légales, avec respectivement des valeurs de 0.455 et 0.417 mg N/l. Cette présence d'ions ammonium pourrait être due au rejet de la STEP d'Hérémence à Combioula se cumulant à celui de la STEP de Mase.

Pour le Graphique 5 et les résultats indiqués en Annexe 1, la règle  $T^\circ > 10^\circ \text{C}$  s'applique uniquement aux résultats d'analyses des échantillons du 17.08.2013. Ils restent toutefois bien inférieurs aux exigences des 0.2 mg N/l.



Graphique 5 : Concentrations en ions ammonium mesurées sur les Borgnes et de la Dixence en 2011.

- **NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (nitrites)**

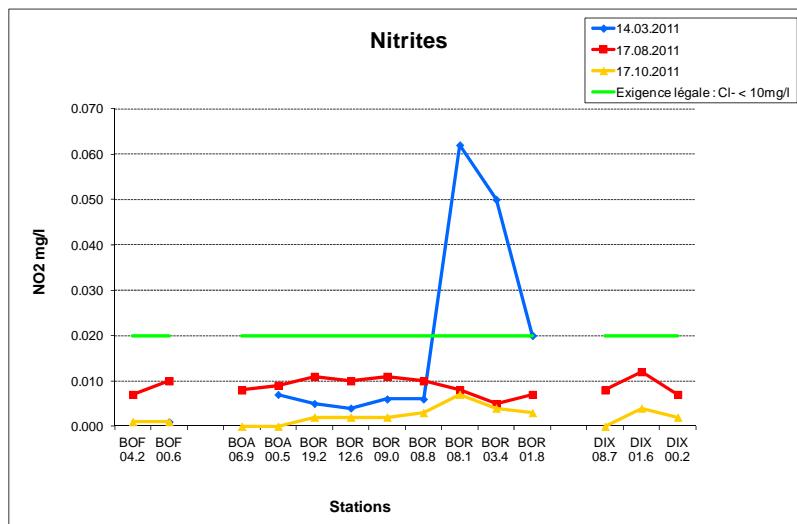
Les nitrites sont la forme intermédiaire de l'oxydation des NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. L'EAWAG (1991) détermine pour les eaux courantes des valeurs limites en nitrites en tenant compte de la concentration en chlorures (Cl<sup>-</sup>), car la toxicité des nitrites diminue en présence de chlorures.

Le module chimie propose donc d'adapter les classes de qualité en fonction de la teneur en chlorures :

- pour Cl<sup>-</sup> < 10 mg/l, classement décalé d'une classe vers le haut (moins bonne qualité, car toxicité un peu plus élevée) ;
- pour Cl<sup>-</sup> entre 10-20 mg/l ou Cl<sup>-</sup> non connu, application des classes telles que proposées ;
- pour Cl<sup>-</sup> > 20 mg/l, classement décalé d'une classe vers le bas (meilleure qualité, toxicité plus faible en présence de Cl<sup>-</sup>).

Compte tenu de la très faible teneur en chlorures sur presque toute des stations, la première règle a été appliquée. Toutefois, sur la station BOR 03.4 (amont dépotoir), les concentrations Cl<sup>-</sup> sont supérieures à 20 mg/l, provenant des sources chaudes de Combioula. Les teneurs plus élevées Cl<sup>-</sup> diminuent la toxicité des nitrites qui de ce fait passe en qualité **très bonne** dans cette station et la suivante (BOR 01.8).

Lors des trois campagnes, les concentrations en nitrites indiquent une qualité d'eau **très bonne à bonne** sur la majeure partie des stations. Seules les stations en aval de la STEP de Combioula (BOR 08.1, BOR 03.4 et BOR 01.8), échantillonnées en mars, dépassent les exigences légales et se classent en **qualité mauvaise** pour les deux premières et **moyenne** pour celle en aval.



Graphique 6 : Concentrations en nitrites mesurées sur les Borgnes et de la Dixence en 2011.

- $\text{NO}_3^-$  (nitrates)

Les nitrates sont la forme finale de l'oxydation de l'ammoniac. La qualité de l'eau vis-à-vis de ce paramètre est systématiquement **très bonne** pour toutes les campagnes (concentration inférieure à 1 mg N/l). La concentration maximale nitrates s'observe en mars sur BOR 03.4 (amont Dépotoir), avec 0.99 mg N/l. A noter que les concentrations augmentent légèrement en aval de la STEP de Combioula (BOR 08.1).

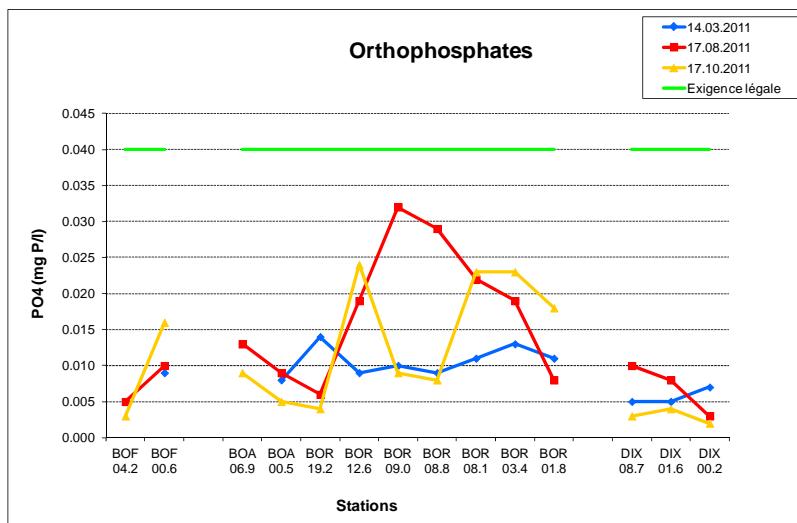
- **Bilan azoté**

Les différentes formes d'azote cumulées montrent une charge faible. Toutefois en mars (période touristique avec températures dépassant rarement 5°C), on relève la présence de nitrites et d'ammonium en aval de la STEP de Combioula (BOR 08.1, BOR 03.4 et BOR 01.8) qui nitrifiait mal les eaux.

#### 4.2.8. Phosphore ( $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{P}_{\text{tot}}$ )

- $\text{PO}_4^{3-}$  (orthophosphates) ; *carto aux Figure 2, Figure 3, Figure 4 et Figure 5 ; résultats en Annexe 1*

Les concentrations en orthophosphates (phosphore d'origine anthropique, directement assimilable par les plantes) sont en catégories **bonne** ou **très bonne** qualité. Les concentrations sont toujours inférieures aux objectifs de qualité des eaux (0.04 mg P/l). La valeur maximale relevée est de 0.032 mg P/l en août 2011, en amont de la confluence de la Borgne et de la Dixence (BOR 09.0).



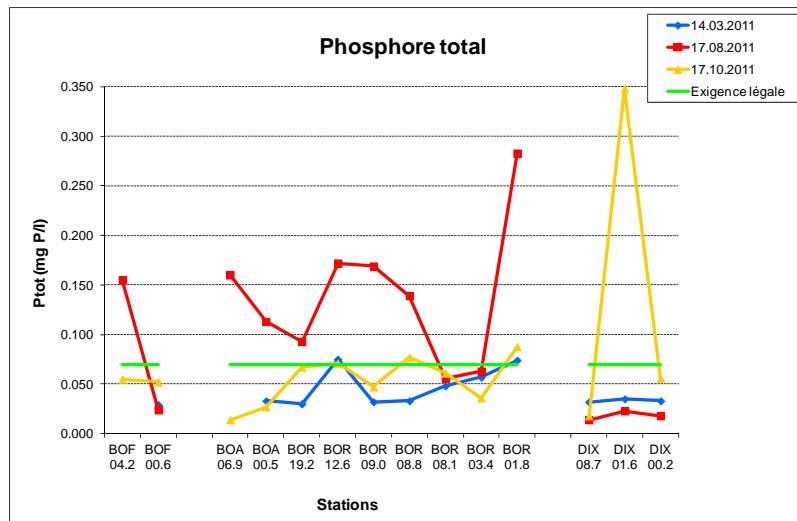
Graphique 7 : Orthophosphates mesurées sur les Borgnes et de la Dixence en 2011.

- **Ptot** (phosphore total) ; *représentation cartographique aux Figure 2, Figure 3, Figure 4 et Figure 5 ; résultats détaillés en Annexe 1*

Principalement en août 2011, mais aussi en mars et octobre, certaines stations montrent des concentrations en Phosphore total qui dépassent le seuil de bonne qualité, et qui classent les stations en qualité **moyenne, médiocre**, voire **mauvaise**. Or les orthophosphates, comme vu précédemment (cf. paragraphe ci-dessus), sont toujours en bonne ou très bonne qualité. En comparant les teneurs de Ptot aux concentrations en MES (cf. Tableau 16), elles sont systématiquement corrélées à un taux élevé de MES. Le phosphore total mesuré est donc lié aux MES, et n'est pas d'origine anthropique. De plus, il n'est pas directement assimilable par les végétaux.

<b>Ptot (mg P/l) avec MES (mg/l)</b>														
Stations Période	BOF 04.2	BOF 00.6	BOA 06.9	BOA 00.5	BOR 19.2	BOR 12.6	BOR 09.0	BOR 08.8	BOR 08.1	BOR 03.4	BOR 01.8	DIX 08.7	DIX 01.6	DIX 00.2
Mars	-	0.029	-	0.033	0.030	<b>0.075</b>	0.032	0.033	0.048	0.057	<b>0.074</b>	0.032	0.035	0.033
MES mars	-	<b>14</b>	-	4	3	<b>133</b>	23	11	11	36	<b>116</b>	0.4	41	26
Août	<b>0.155</b>	0.024	<b>0.160</b>	<b>0.113</b>	<b>0.093</b>	<b>0.172</b>	<b>0.169</b>	<b>0.139</b>	0.056	0.063	<b>0.283</b>	0.014	0.023	0.018
MES août	<b>346</b>	28	<b>174</b>	<b>152</b>	<b>104</b>	<b>168</b>	<b>361</b>	<b>198</b>	58	44	<b>642</b>	0.1	49	1.5
Octobre	0.055	0.052	0.014	0.027	0.067	<b>0.071</b>	0.047	<b>0.077</b>	0.061	0.036	0.088	0.018	<b>0.348</b>	0.056
MES octobre	10	2	0	25	75	<b>122</b>	78	69	58	24.8	155	1.5	<b>652</b>	42

Tableau 16 : Concentrations en Phosphore total mesurées sur les Borgnes et de la Dixence en 2011 ; **en gras** valeurs dépassant le seuil de bonne qualité, en lien avec un taux élevé de MES.



Graphique 8 : Courbes du phosphore total mesuré sur les Borgnes et de la Dixence en 2011.

#### 4.2.9. Bactériologie

Les couleurs reportées dans le Tableau 17, qui se basent sur la grille d'interprétation retenue (cf. paragraphe 3.2.3), mettent en évidence d'éventuelles contaminations. Il est à préciser que les échantillons de la campagne d'août n'ont pas été correctement conservés (panne de frigo au SPE) ; l'interprétation de cette campagne doit se faire **avec une certaine prudence**.

- **Germes totaux** (cf. Tableau 17 et résultats en Annexe 1)

Les germes totaux sont décelés en mars dans la Borgne à partir de l'aval de la STEP d'Hérémence (BOR 08.1), ainsi que dans la Dixence au Sauterot (DIX 01.6).

En août, ils sont présents dans la Borgne d'Arolla (BOA 06.9), dans la Borgne en aval du rejet de la STEP de St-Martin (BOR 09.0) et dans la station aval (BOR 01.8), ainsi que dans la Dixence (DIX 01.6).

En octobre, deux stations de la Borgne (BOR 19.2 et BOR 01.8) ainsi que deux stations de la Dixence (DIX 01.6 et DIX 00.2) présentaient des germes totaux. Toutes ces stations sont classées en catégorie moyenne et les autres en catégorie **bonne à très bonne**.

- *Escherichia coli* (bactéries indicatrices d'une contamination fécale récente, cf. Tableau 17 et résultats en Annexe 1)

Des contaminations par *E. coli* sont visibles dans de nombreuses stations. En mars, elles sont le plus élevées en aval de la STEP de Combioula (qualité **médiocre**, puis **moyenne**). En août, seules deux stations sont classées en catégorie **très bonne** (BOF 00.6) et **bonne** (DIX 08.7). La plupart des autres stations sont en qualité **moyenne**, sauf deux stations classées en catégorie **médiocre** (BOR 09.0, en aval du rejet de la STEP de St-Martin) et **mauvaise** (BOA 06.9). En octobre, la qualité est souvent **moyenne**, avec un maximum atteint en aval de la STEP de Combioula. La STEP de Combioula est le facteur de contamination le plus élevé en mars. La STEP d'Évolène influence la station aval (BOR 12.6) en induisant une qualité **moyenne** lors de toutes les campagnes.

Lors des relevés de terrain d'octobre, des **déchets d'eaux usées** (résidus de papiers toilette) ont été trouvés dans les deux stations de la Borgne d'Arolla (BOA 06.9 et BOA 00.5).

- **Entérocoques** (cf. Tableau 17 et résultats en Annexe 1)

D'une manière générale, les dénombrements concordent avec ceux des *Escherichia Coli*. Les résultats sont **bons à très bons** dans la Borgne de Ferpècle, ainsi que dans la station amont de la Dixence (DIX 08.7). Lors des trois campagnes, les stations BOR 09.0, BOR 08.1, BOR 01.8 ainsi que DIX 01.6 présentent une quantité d'Entérocoques indiquant une qualité **moyenne à médiocre**. La campagne d'août montre la moins bonne qualité, avec un maximum atteint dans la station amont de la Borgne d'Arolla (BOA 06.9) classée en catégorie **médiocre**. En mars, les stations en aval des STEP d'Évolène et de Combioula (BOR 12.6 et BOR 08.1) sont également classées en catégorie **médiocre**.

Germes	Germes totaux /ml			<i>Escherichia coli</i> /100 ml			Entérocoque /100 ml		
	Mois	Mars	Août	Octobre	Mars	Août	Octobre	Mars	Août
BOF 04.2	-	66	42	-	2'000	1	-	8	9
BOF 00.6	400	30	93	4	3	9	5	20	22
BOA 06.9	-	1'2000	600	-	30'000	146	-	7'400	56
BOA 00.5	900	800	160	35	480	190	120	450	75
BOR 19.2	750	250	2'000	3	600	150	15	330	150
BOR 12.6	950	420	600	500	1'500	800	1'200	200	260
BOR 09.0	230	1'600	830	65	10'000	650	410	1'000	320
BOR 08.8	280	510	640	80	2'000	620	80	600	430
BOR 08.1	9'600	800	920	3'000	540	1'140	1'600	320	580
BOR 03.4	600	800	900	1'000	630	60	1'000	250	180
BOR 01.8	3'000	4'500	1'210	1'000	1'000	600	600	1'500	450
DIX 08.7	108	48	91	0	63	13	0	37	1
DIX 01.6	1'250	1'800	2'280	480	1'300	200	1'400	1'800	900
DIX 00.2	350	350	3'040	170	270	610	250	60	550

Légende

	Très bon		Bon		Moyen
	Médiocre		Mauvais		

Tableau 17 : Bactériologie obtenue sur le bassin versant des Borgnes et de la Dixence en 2011.

- **Bilan global**

Les résultats sont cohérents et ils permettent de dresser un bilan. Des contaminations par les rejets des STEP d'Évolène (BOR 12.6), de St-Martin (BOR 09.0) et de Combioula (BOR 08.1) sont nettement visibles et classent les stations en aval en qualité moyenne, voire médiocre. La STEP de Grande-Dixence ne se marque pas contre pas. Les contaminations sont observées en aval de Parlond où des rejets d'eaux usées (ou déversements du réseau d'assainissement) peuvent être suspectés. Sur la Borgne de Ferpècle, la qualité bactériologique apparaît comme bonne ou très bonne, sauf en août dans la station amont pour *E. coli* (contamination par l'alpage ou les activités touristiques ?). Une contamination sur la Borgne d'Arolla dès l'amont est observée en août, pouvant correspondre à la rupture d'une canalisation ou à une saturation d'un système d'assainissement individuel. Notons que la zone d'Arolla n'est pas équipée de STEP. Des déchets d'eaux usées en suspension dans l'eau (résidus de papiers toilette) ont d'ailleurs été indiqués en octobre.

#### 4.2.10. Conclusion sur les résultats physico-chimiques et bactériologiques

Les différentes campagnes d'analyses physico-chimiques mettent en évidence une qualité des eaux généralement **bonne à très bonne** sur l'ensemble du bassin versant (sachant que les concentrations élevées en Phosphore total sont liées aux MES).

Quelques dépassements et contaminations bactériologiques sont toutefois observés :

- A l'aval de la STEP de Combioula (Hérémence), en mars la contamination est associée à des rejets de nitrites observés sur les résultats des autocontrôles de la STEP ; ce rejet est sans doute dû à une nitrification partielle des eaux usées sur la STEP, provoquée par de fortes charges en entrée de STEP conjuguées à une température des eaux usées basse ;
- Contaminations bactériologiques induites par les STEP d'Évolène, de St-Martin et de Combioula ;
- Forte contamination bactériologique sur la station BOA 06.9, surtout en août, par les rejets d'eaux usées non épurés d'Arolla qui ne procède pas de STEP ; toutefois, elle ne se traduit pas sur les paramètres physico-chimiques.

L'impact des rejets de STEP se marque de manière relativement discrète. Ces données restent toutefois des **clichés ponctuels** avec seulement 3 campagnes basées sur des prélèvements instantanés.

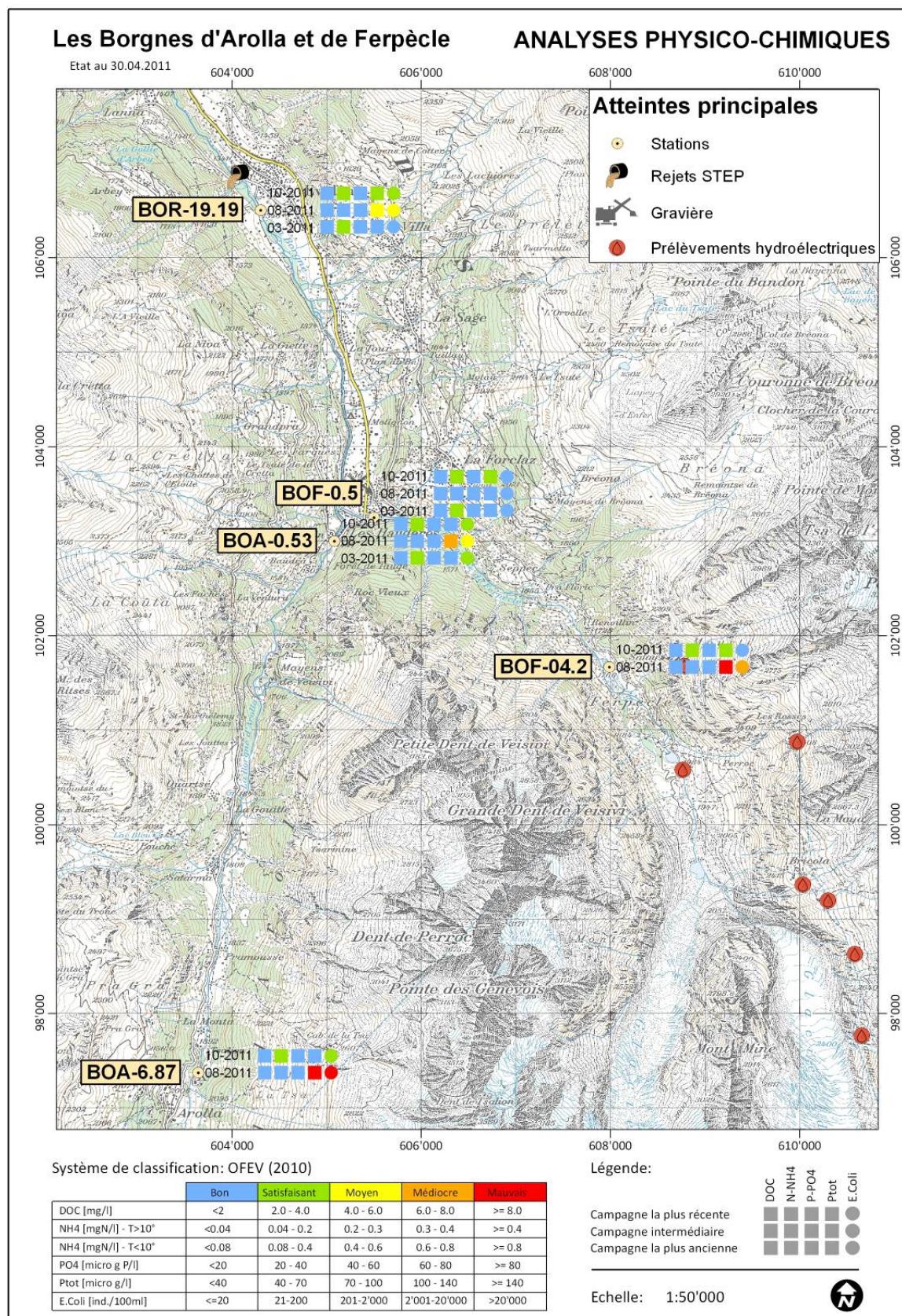


Figure 2 : Résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques dans les Borgnes d'Arolla et de Ferpècle (2011).

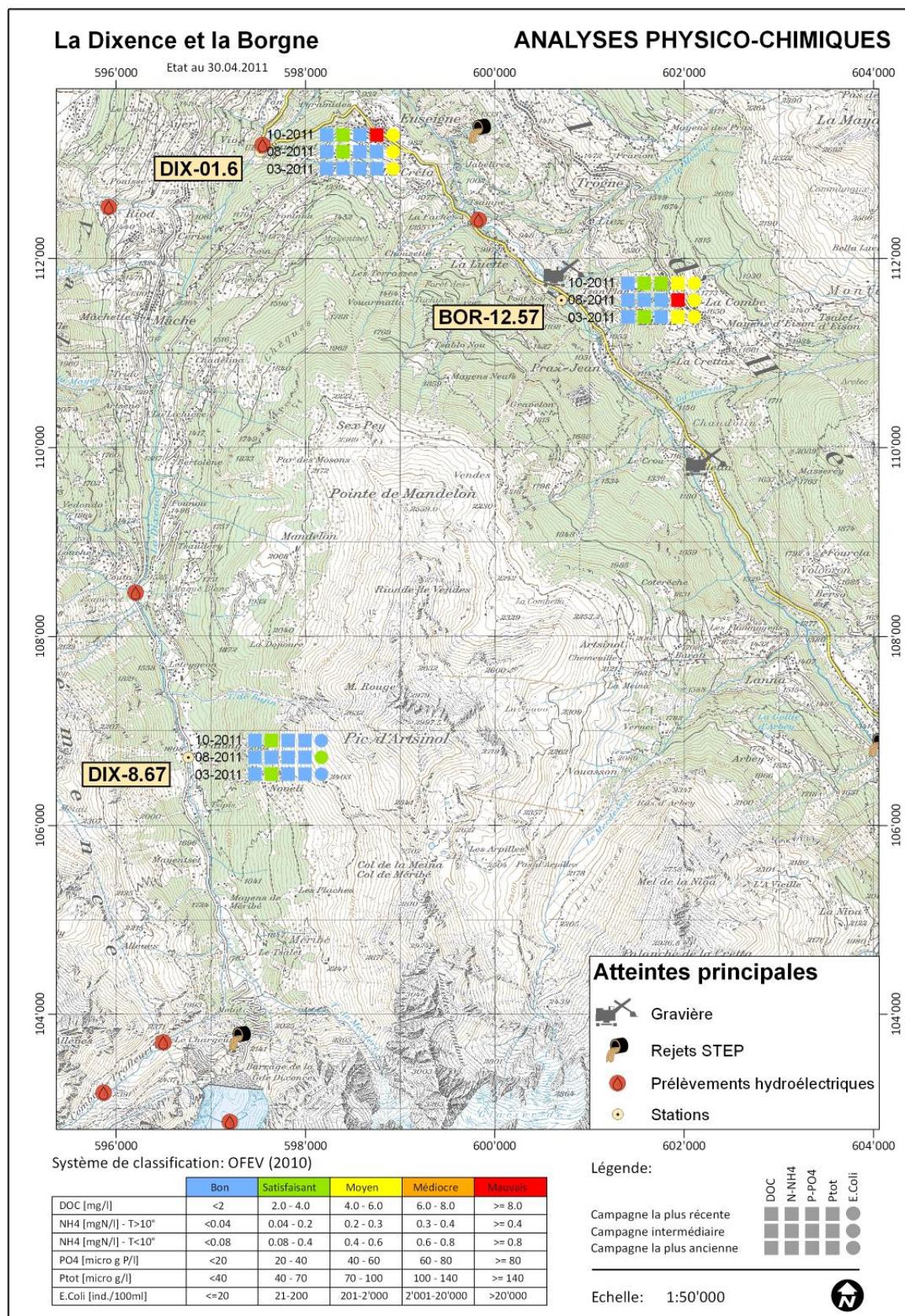


Figure 3 : Résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques dans la Borgne en aval d'Évolène et dans la Dixence en amont du Sauterot (2011).

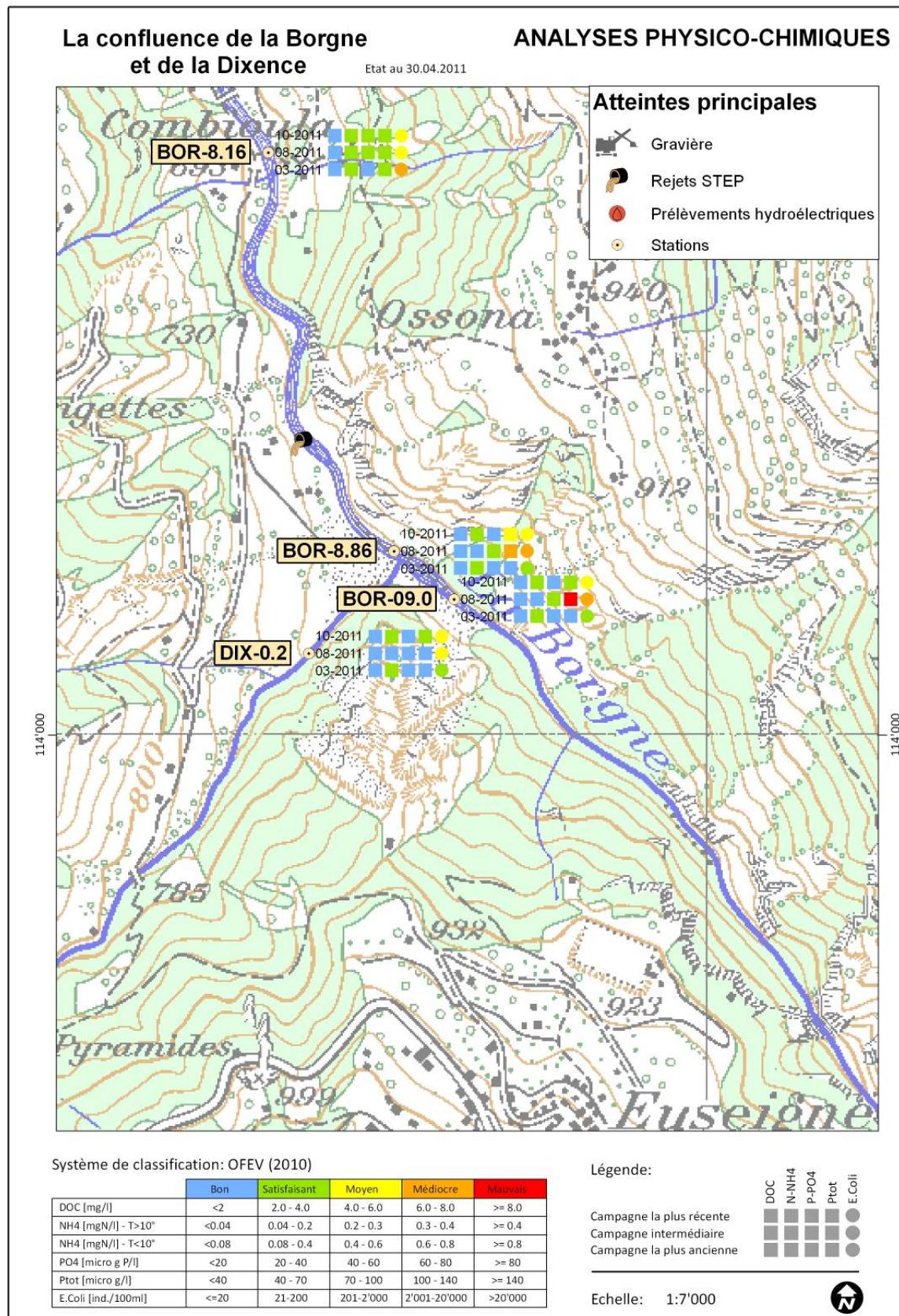


Figure 4 : Résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques dans la Borgne et la Dixence autour de leur confluence (2011).

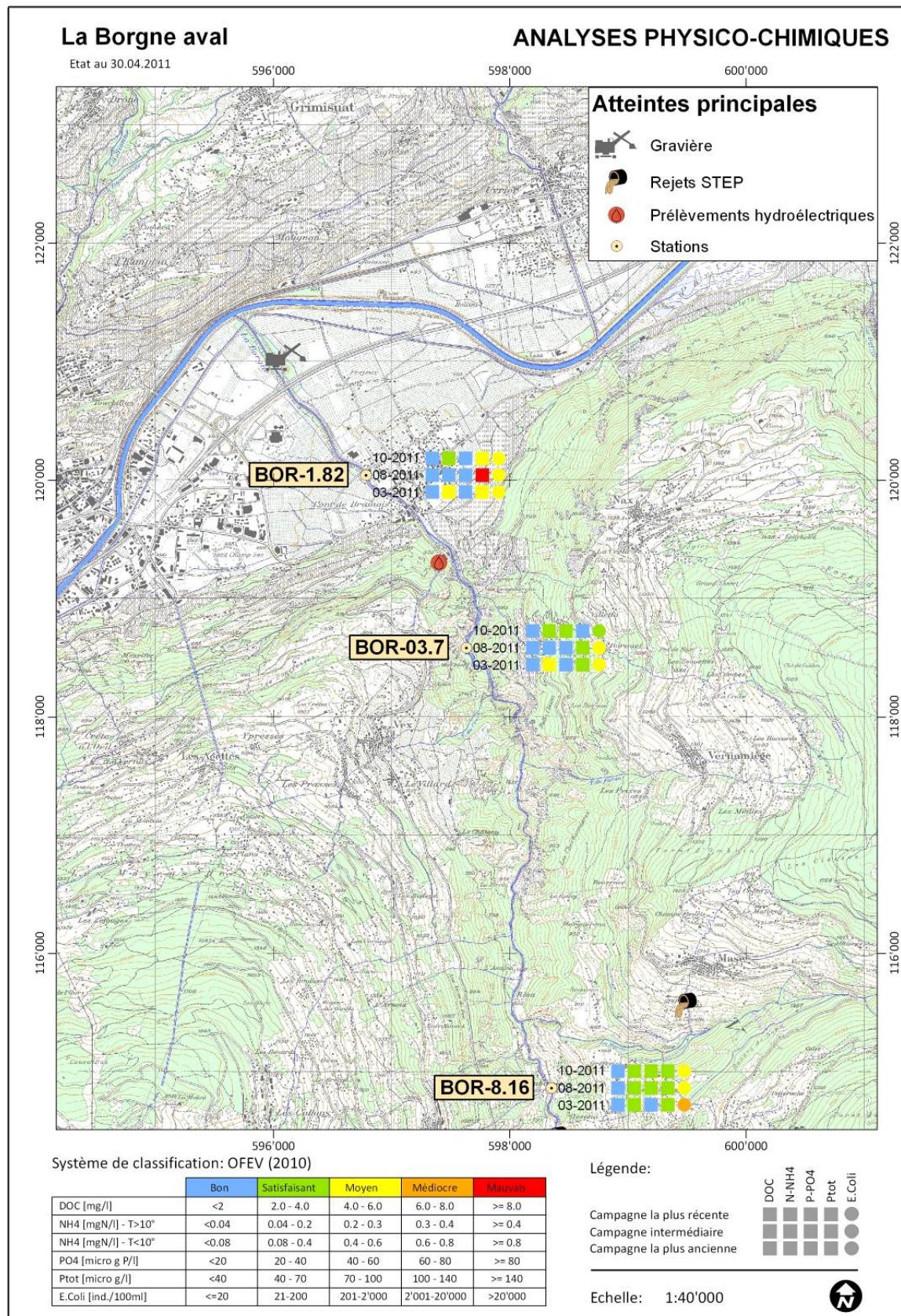


Figure 5 : Résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques dans le secteur aval de la Borgne (2011).

## 5. ÉTUDE DES DIATOMEES ET QUALITE BIOLOGIQUE DES EAUX

### 5.1. Résultats bruts

Les résultats bruts de l'analyse des communautés de diatomées prélevées dans les rivières des Val d'Hérens et Val d'Hérémence, se trouvent dans le tableau de l'annexe 3. Dans la première colonne de ce tableau figurent les espèces et variétés de diatomées classées en fonction de leur résistance saprobique (colonne B). Dans les colonnes C à H apparaissent respectivement les valeurs indicatrices et les valeurs de pondération des indices DI-CH2002, DI-CH2006 et trophique selon SCHMEDTJE & al. 1988. Les valeurs de l'ancien indice DI-CH2002 sont données pour faciliter la comparaison avec les études précédentes des rivières valaisannes. La colonne I signale la présence de formes monstrueuses de diatomées (téralogie). Dans les colonnes J à T figurent pour chaque espèce, les données de la liste rouge des diatomées d'Europe centrale (LANGE-BERTALOT 1996). Ces indications servent à juger de la valeur patrimoniale des peuplements de diatomées. Dans les colonnes suivantes, on trouve les fréquences relatives des diatomées formant les communautés à chaque station pour les deux campagnes annuelles de prélèvements. Au bas des colonnes se trouvent les sommes des catégories d'espèces et les valeurs des différents indices qui servent aux diagnostics de qualité d'eau.

### 5.2. Etat des communautés de diatomées

#### 5.2.1. Présentation des résultats quantitatifs

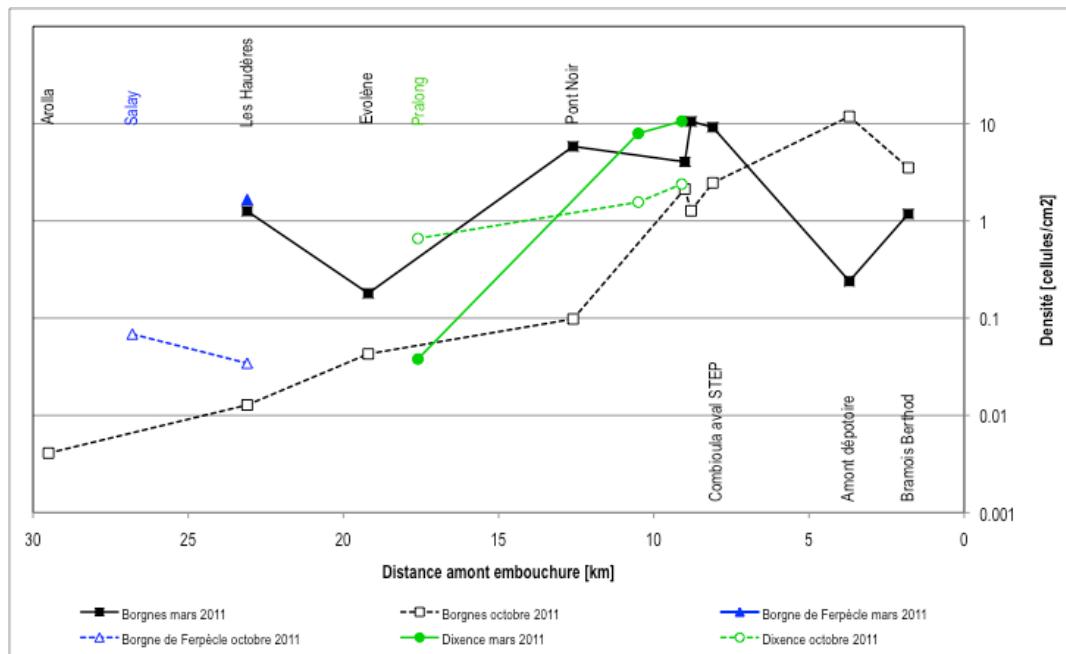
Les résultats quantitatifs (densité, fragmentation, taux de formes téralogiques) sont toujours présentés en fonction des distances des points de prélèvements par rapport à l'embouchure de la Borgne dans le Rhône. Pour mieux voir la répartition de ces valeurs dans l'ensemble du bassin versant, les distances des points sur la Borgne de Ferpècle et de la Dixence ont aussi été mesurées à partir de l'embouchure de la Borgne dans le Rhône. Par ailleurs, les valeurs trouvées dans la Borgne d'Arolla ont été associées en amont, à celles de la Borgne sous le nom des « Borgnes ».

#### 5.2.2. Densité des peuplements

Les densités de diatomées épilithiques vivant dans le courant sont distribuées d'amont en aval des rivières sur le Graphique 10 (attention, l'échelle des densités est logarithmique !).

Comme tendance générale, la densité augmente progressivement d'amont en aval comme nous l'avons déjà montré dans d'autres rivières latérales du Rhône. Ce phénomène est souvent lié à deux paramètres : la réduction progressive de l'agitation et l'augmentation du niveau trophique des eaux. Ici cette tendance se marque particulièrement dans les Borgnes en octobre 2011 (les variations autour de Combioula et à Bramois ne sont pas significatives) et dans la Dixence. La variation de valeurs trouvées dans la Borgne de Ferpècle en mars 2011 n'est pas significative, mais en valeurs absolues, les densités sont du même ordre de grandeur que dans les Borgnes autour des Haudères et d'Evolène. Dans les Borgnes en mars 2011 la tendance est moins marquée à cause de perturbations locales. A Evolène, la densité est 10 fois moindre qu'aux Haudères. Cela est signe d'une perturbation qui n'a pas été élucidée. Des travaux de remodelage de la rivière à la station « Amont dépotoir » (BOR 03.4), avec déplacement des dépôts de galets et libération de sédiments fins ont fortement érodé le peuplement de diatomées, d'où la faible densité mesurée (pourtant lors du prélèvement la turbidité n'était pas spécialement forte). Cette perturbation se marque aussi à Bramois, où théoriquement on devrait trouver autour de 10 millions de cellules par cm<sup>2</sup>, plutôt qu'un million. Le plus spectaculaire dans ces résultats, est l'effet de la crue du 26-27 août en amont du bassin versant. L'érosion provoquée par la libération de sédiments fins a réduit de près de 100 fois la densité des peuplements. Cette perturbation se marque surtout à Arolla (perturbation encore accentuée par la fonte du sérac du Mont Collon) et aux Haudères (également dans la Borgne de Ferpècle). L'effet de la crue s'amaïnise vers l'aval avec la réduction progressive de l'agressivité des cours d'eau. Dans la Dixence, l'effet de la crue s'est fait moins ressentir, d'autant plus qu'à Pralong, en mars, une autre perturbation (vidange du barrage de la Grande Dixence) avait déjà réduit la taille du peuplement. A part à Bramois, où les faibles densités de diatomées sont sans doute liées aux charges de particules fines présentes toute l'année, aux autres endroits, il n'y a pas de corrélation directe entre les charges de MES et la taille des peuplements.

Cela est sans doute lié au fait, que les mesures de MES ont été réalisées après les perturbations majeures et que les prélèvements d'algues ont été faits avant que les peuplements puissent se reconstituer.



Graphique 9 : Répartition des densités de diatomées épilithiques d'amont en aval des Borgnes, de la Borgne de Ferpècle et de la Dixence (mars 2011 et octobre 2011). Valeurs hivernales en traits pleins, valeurs automnales en pointillés.

### 5.2.3. Fragmentation

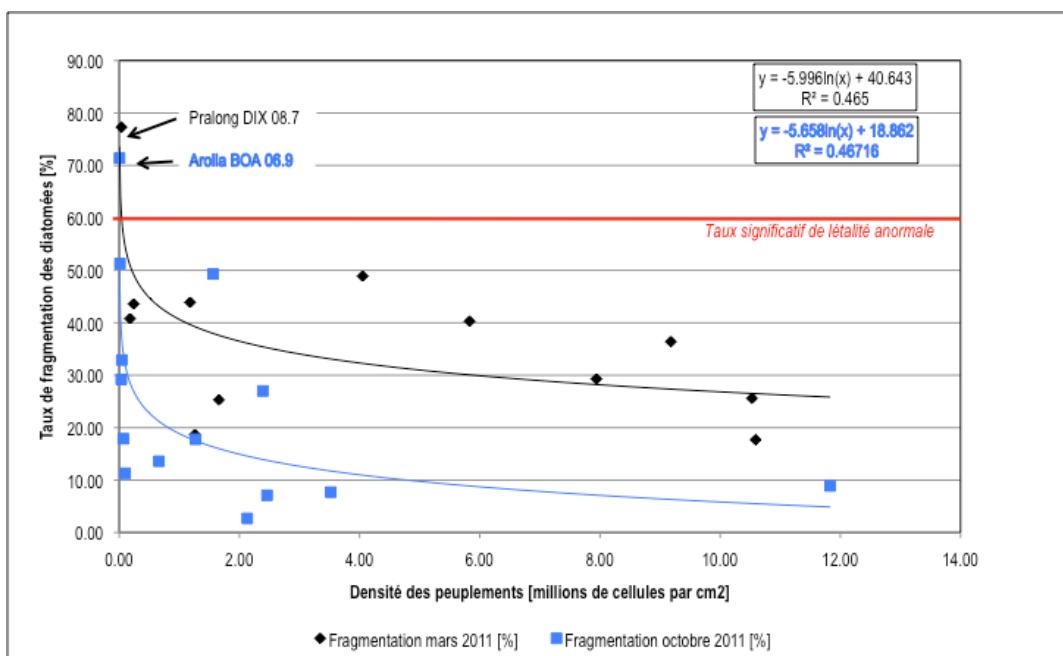
En général, les taux de fragmentation des diatomées sont inférieurs à 50%, donc théoriquement non significatifs de mortalité anormale (Graphique 10).

Dans deux échantillons, prélevés dans des peuplements très réduits à Pralong (mars 2011) et à Arolla (octobre 2011), les taux sont significatifs de létalité. A Arolla, la cause de l'impact est vraisemblablement la crue du 26-27 août. A Pralong, la létalité causée par la vidange du barrage a aussi entraîné une réduction du peuplement.

Dans tous les cas, même si ces taux ne sont pas significatifs, il est intéressant de voir sur le Graphique 10, que la taille des peuplements est en bonne partie liée au taux de fragmentation des diatomées, c'est-à-dire à un des signes de létalité. Ainsi, des forts taux de fragmentation ont été observés dans les peuplements clairsemés, tandis que dans les peuplements plus fournis, les taux de fragmentations sont plus faibles. Deux distributions ressortent de la répartition graphique des résultats : une pour chaque période de prélèvement. Les distributions vont dans le même sens (avec des taux de corrélation de près de 68% dans les deux cas). Les taux de fragmentation sont cependant plus élevés en mars, bien qu'en moyenne les peuplements soient plus denses. En octobre, les taux de fragmentation sont plus faibles malgré la crue. Deux raisons peuvent expliquer ce phénomène :

- avec la crue, bon nombre de fragments auraient été emportés ;
- les peuplements échantillonnés après la crue seraient pionniers, donc plutôt en bon état.

Ces taux de fragmentation ne sont ni corrélés avec les vitesses, ni avec les taux de MES mesurés à l'époque des prélèvements. Ce sont donc les événements précédents qui ont déterminé l'état des peuplements.

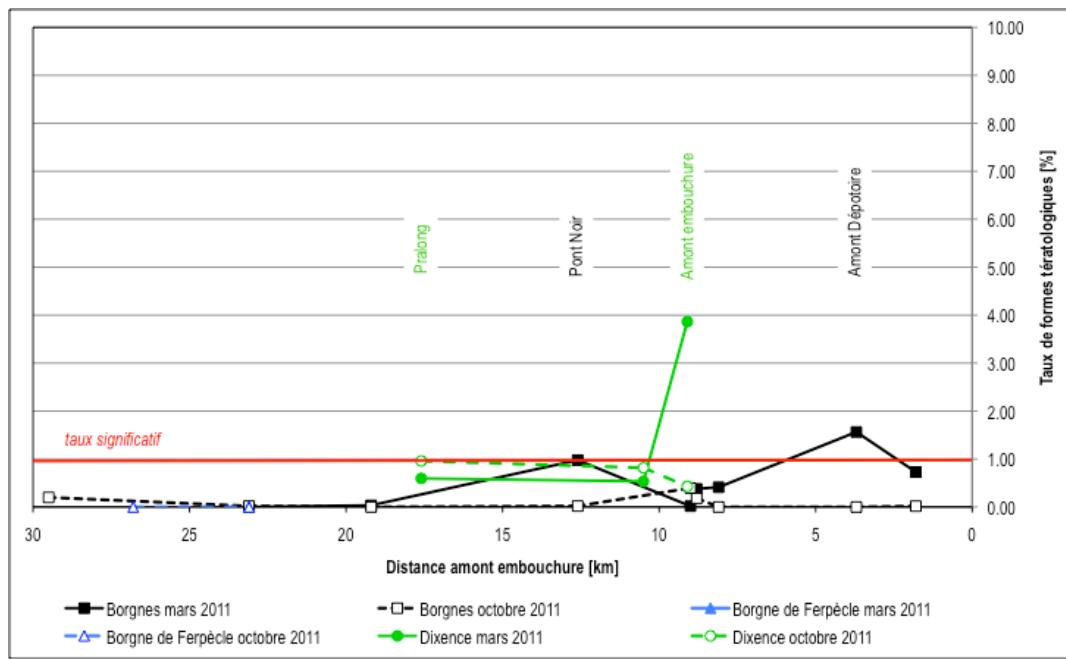


Graphique 10 : Distribution des densités de diatomées épilithiques en fonction des taux de fragmentation mesurés dans les rivières des Val d'Hérens et Val d'Hérémence.

#### 5.2.4. Tématologie

Les proportions trouvées de formes tématologiques sont distribuées d'amont en aval des rivières sur le Graphique 11. Dans la Borgne de Ferpècle aucune monstruosité n'a été observée tant en mars qu'en octobre. Dans les Borgnes en amont, les taux sont significatifs d'une toxicité anormale en mars au Pont Noir et à Amont Dépotoir, tandis qu'en octobre, malgré la crue (et la dégradation de la qualité des eaux, voir chapitre 4 et Annexe 1) les taux sont relativement faibles, à part en aval de l'embouchure de la Dixence. Le long de ce secteur, jusqu'à Amont Dépotoir, les formes tématologiques pourraient également être liées à la présence de nitrites et aux apports d'eaux chaudes sulfatées des sources thermales de Combioula (valeur proche des 400 mg/l de SO<sub>4</sub> en hiver dans la Borgne en aval des sources). Au Pont Noir le phénomène touche les espèces coloniales très sensibles (*Diatoma ehrenbergii*) et sensibles (*Achnanthidium minutissimum*) et qui souffrent souvent de déformations à cause de leur mode de croissance. Mais la présence également de monstruosité chez *Nitzschia fonticola*, assez résistante, laisse supposer une certaine toxicité de l'eau dont la cause n'a pas été décelée. Par contre à Amont Dépotoire les monstruosités ne touchent que les espèces coloniales sensibles *Achnanthidium minutissimum* et *Diatoma moniliformis*. Ces cas de formes tématologiques ne sont pas obligatoirement signe de toxicité, mais sont sans doute liés aux perturbations dans le lit de la rivière, qui ont causé la chute de la densité du peuplement et l'augmentation de la fragmentation.

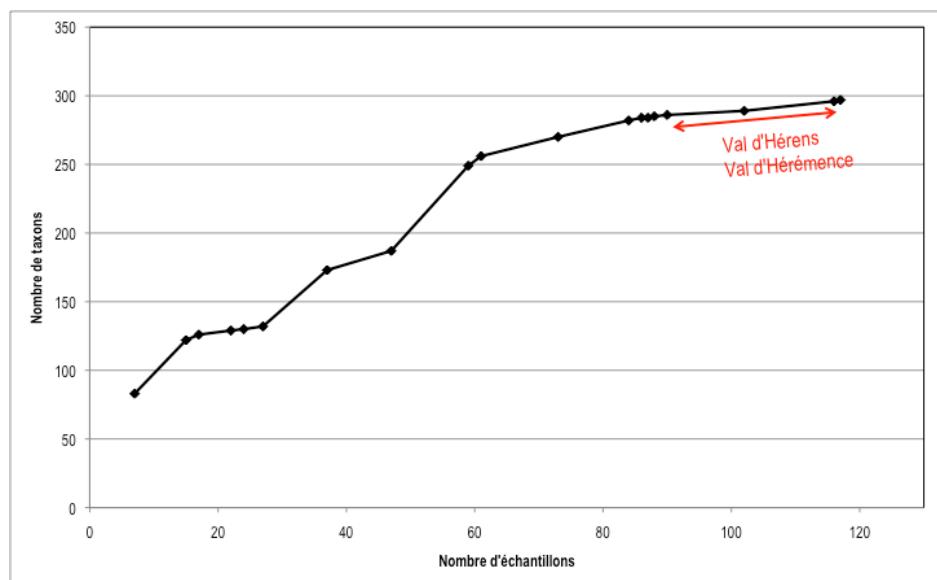
Dans la Dixence par contre, les taux de monstruosités sont plus élevés, souvent significatifs aux deux saisons, mais en particulier en mars 2011 à Amont Embouchure, où le taux atteint une valeur peu commune de près de 4%. Ces taux sont significatifs, d'une toxicité qui peut avoir plusieurs origines. Pour la plupart ces monstruosités affectent des espèces très sensibles ou sensibles vivant en colonies comme *Achnanthidium pyrenaicum*, *A. minutissimum*, *Diatoma ehrenbergii* ou *Fragilaria austriaca*. Dans ces cas, les monstruosités peuvent être mises au compte de la promiscuité et ne sont pas signe de toxicité. Cependant, dans plusieurs peuplements (à Pralong et à Amont Embouchure), des espèces plus résistantes sont aussi touchées, dont *Diatoma vulgaris* et surtout *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*. Ces cas nous font suspecter une toxicité qui peut avoir sa source, soit dans les rejets d'épuration, soit dans les exploitations forestières par l'usage de produits de conservation des bois.



Graphique 11 : Distribution des taux de formes téralogiques d'amont en aval des rivières des Val d'Hérens et Val d'Hérémence. Valeurs hivernales en traits pleins, valeurs automnales en pointillés.

### 5.2.5. Diversité floristique et valeur patrimoniale de la flore

Dans les 24 échantillons prélevés, 149 taxons de diatomées ont été trouvés (nombre très proche de celui trouvé en 2009-2010 dans le Val d'Anniviers, BERNARD & STRAUB 2010). Ce nombre représente le 50% de la flore rhéophile valaisanne répertoriée actuellement dans la banque de données (en tout 297 taxons pour 117 échantillons de la Salentse, la Sionne, la Gamsa, la Navisence, la Gougra, le ruisseau de Fang, la Vispa, la Dranse, les Borgnes, la Dixence et du Rhône, y compris 2 échantillons historiques du début du 20e siècle prélevés dans le fleuve). C'est dire, encore une fois, l'importance de la biodiversité des vallées latérales du Rhône pour la flore du canton. Avec ces derniers prélèvements, 10 nouveaux taxons pour la flore des rivières valaisannes ont été trouvés. Ci-dessous figure la progression irrégulière des découvertes floristiques dans les rivières valaisannes, réalisées par PhycoEco (Graphique 12).



Graphique 12 : Progression des mentions floristiques de diatomées en rivières valaisannes au cours des études menées par PhycoEco.

La base floristique trouvée est de même nature que celles trouvées dans les autres vallées latérales du Rhône, c'est-à-dire une flore alpine formée par des taxons très sensibles et sensibles (en mars 2011), mais dégradée dans les Borgnes, par la prolifération de taxons tolérants à très tolérants à la suite de la forte crue du 26-27 août 2011. La plupart de ces taxons sont illustrés dans le manuel du DI-CH (HÜRLIMANN & NIEDEHAUSER 2006). Un taxon méconnu présent dans la Borgne de Ferpècle mérite d'être illustré : il s'agit d'une diatomée à qui nous donnons le nom provisoire d'*Achnanthidium jackii* sensu DI-CH pro parte, car elle a la même écologie que le taxon *jackii* de la littérature (eaux oligotrophes et oligosaprobes carbonatées de l'arc alpin), mais a une forme plus effilée et des stries nettement fines (Figure 6/1-4). Elle se différencie de la *var. minutissimum*, très commune en eaux mésotrophes à eutrophes (comme en aval du bassin versant), qui elle est plus massive, à terminaison plus nettement étirées (Figure 6/5-6). Il est probable que ce taxon au nom provisoire devrait être décrit comme espèce nouvelle. On trouve encore en moindre abondance dans les stations amont un taxon peu cité, mais aussi typique des eaux oligotrophes et oligosaprobes. Il s'agit d'*Achnanthidium linearis*, qui a des valves presque linéaires à terminaisons non étirées, mais arrondies étroitement (Figure 6/7-8).

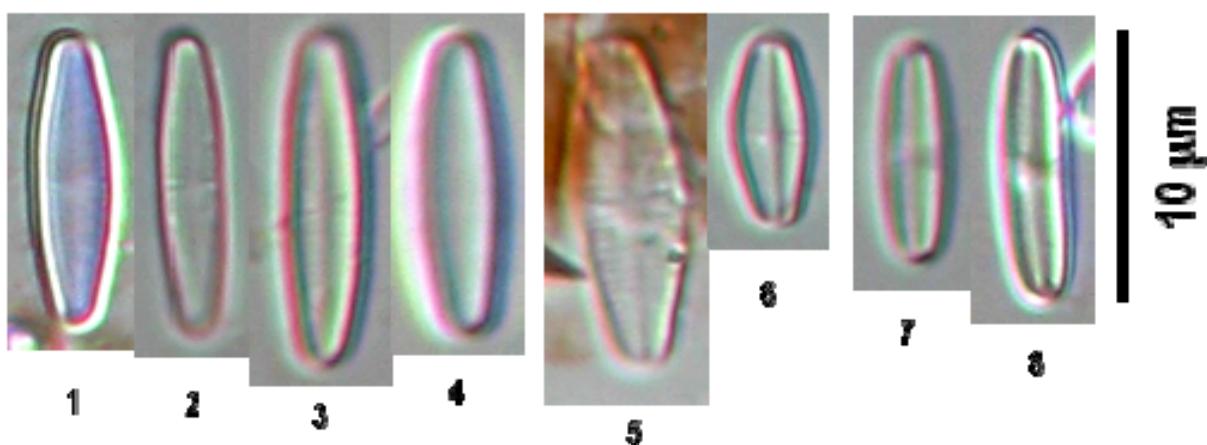


Figure 6 : Les *Achnanthidium* particuliers et difficiles à différencier de la Borgne de Ferpècle. 1-4 : *Achanthidium jackii* sensu DI-CH pro parte; 5-6 : *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* Kütz., 7-8 : *Achnanthidium linearis* W. Smith. Les ornements de ces trois taxons ne ressortent pas bien en photographie, car elles sont à la limite du pouvoir séparateur de la microscopie optique et leurs valves sont bombées.

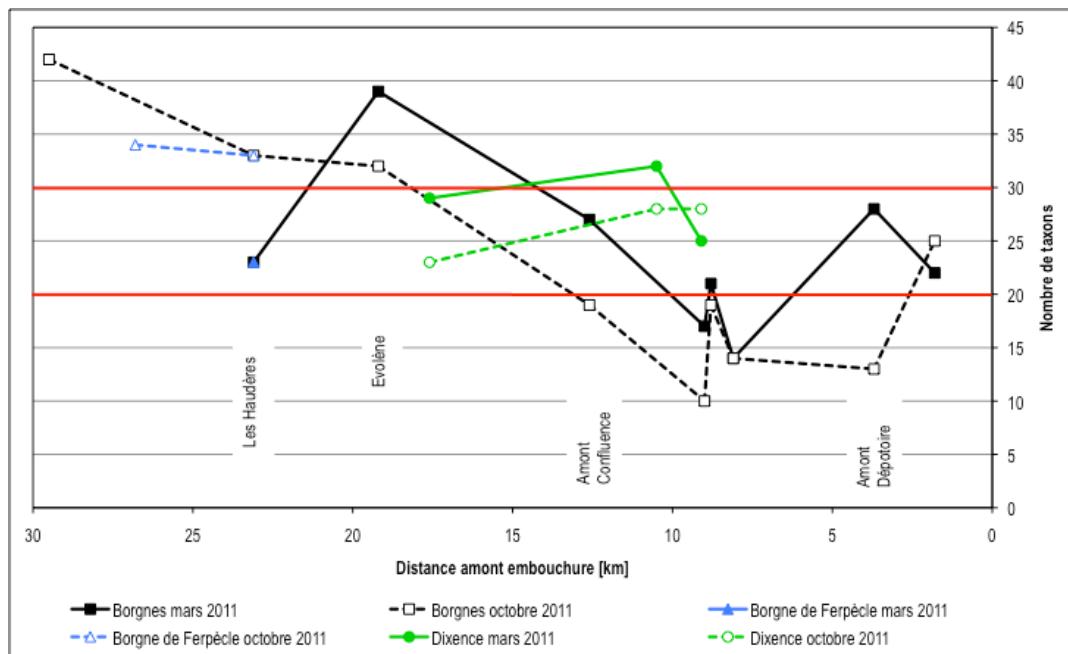
La flore dominante (obtenue après dénombrement de 500 individus) est répartie pour chaque station d'amont en aval sur le Graphique 13.

Dans l'ensemble, la diversité floristique est plus élevée dans les peuplements réduits ou résiduels, que dans les peuplements bien développés. C'est un constat fréquent, mais qui ressort spécialement bien dans la série présentée ici. En général dans les peuplements peu développés, la concurrence interspécifique est moindre, si bien qu'un nombre plus élevé d'espèces peuvent y vivre. Dans les peuplements plus denses, deux ou trois espèces trouvent leurs conditions optimales de croissance et envahissent la communauté en limitant le développement des autres. Ce phénomène ne semble ici pas lié obligatoirement à la qualité des eaux (alors que souvent dans les eaux dégradées la diversité floristique est moindre), mais uniquement déterminé par le degré de stabilité physique des différents milieux.

Dans la Borgne de Ferpècle et dans la Dixence, la variété floristique est normale par rapport à la moyenne des rivières suisses, voire nettement meilleure. Dans les Borgnes, la variété floristique est très élevée en amont, puis diminue progressivement pour être très faible autour de Combioula, quelque soit la saison. Plus en aval, à Amont Dépotoire, la diversité floristique enregistre aussi la perturbation signalée en mars 2011 et une forte spécialisation lorsque le peuplement est de nouveau rétabli en octobre 2011. À Bramois, par contre, la biodiversité floristique est plus stable, dans la moyenne suisse.

Cette flore totale a été soumise à l'examen de la liste rouge des diatomées, valable pour les régions de plaines et collinéennes d'Europe centrale (LANGE-BERTALOT 1996). Cette liste rouge classe les espèces

en différentes catégories de raréfaction entre les très rares, en danger et celles qui ont disparues. Cette liste donne aussi les espèces en régression et elle met en évidence celles qui sont actuellement hors de danger de disparition. Enfin une série de taxons, décrits récemment et pour lesquels il manque des données, est également citée.



Graphique 13 : Distribution de la flore dominante des diatomées d'amont en aval des rivières. **En rouge**, le nombre moyen de taxons trouvés dans la majorité des stations situées sur les rivières suisses (en général eutrophisées mais en bon état) et qui y forment le 99 % des peuplements. Valeurs hivernales en traits pleins, valeurs automnales en pointillés.

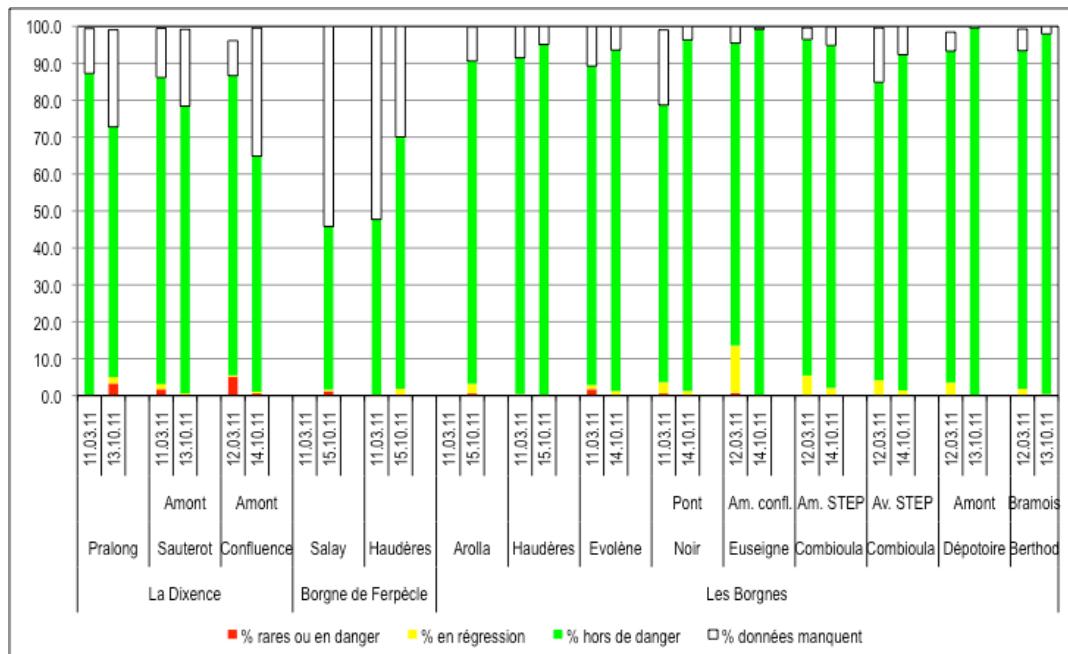
Le Graphique 14 présente les taux de représentation de ces catégories au sein des communautés trouvées à chaque station en mars 2011 et en octobre 2011.

Dans la Dixence, les diatomées hors de danger (en vert clair) forment en général 63.8 à 87.3 % de la biomasse des communautés. Une bonne part des peuplements est formée par des espèces peu banales mais dont on ne connaît pas la répartition (en blanc). Cette part est essentiellement formée par des variétés très sensibles d'*Achnanthidium* (dont le variant de *jackii* présentés ci dessus) accompagnées par un peu de *Gomphonema* variés très sensibles du groupe des pumiloides et par la diatomée sensible *Achnanthidium atomoides* comme partout en Valais. Ce groupe est mieux représenté en octobre 2011 qu'en mars 2011. En outre, 0.4 à 5.5% des communautés sont aussi formées par des espèces en danger ou en régression. L'abondance de ces deux groupes confère aux peuplements de la Dixence une bonne valeur patrimoniale.

Dans la Borgne de Ferpècle, les diatomées hors de danger n'occupent que 44.2 - 68.2% du peuplement. Par contre, les espèces peu connues sont fortement représentées, essentiellement le variant atypique très sensible d'*Achnanthidium jackii* qui forme à lui seul 26 à 47% des communautés. Ajouté à cela les petits pourcentages d'espèces en danger ou en régression, on peut qualifier d'exceptionnelle (pour une rivière), la valeur patrimoniale des peuplements.

Dans les Borgnes par contre, les communautés sont formées essentiellement (de 81.9 à 99.9%) par des espèces communes. Le groupe des espèces peu connues est plus réduit que dans les deux autres rivières (23 à 0.1% des peuplements). Il est aussi formé par les taxons ci-dessus, mais avec de plus fortes proportions du sensible *Achnanthidium atomoides*. Le long de ce cours d'eau, on trouve en abondances variables des espèces de la liste rouge, en particulier des espèces en régression (jaune). C'est autour d'Euseigne et de Combioula que ces espèces sont le mieux représentées. Il s'agit de 5 à 6 taxons selon les lieux, mais principalement d'*Achnanthidium subatomus*, taxon plus sensible qu'*Achnanthidium*

*atomoides*. On peut voir presque partout, que ces deux groupes patrimoniaux ont régressé en octobre à la suite de la crue. Globalement, la valeur patrimoniale des peuplements de cette rivière est faible voire nulle.

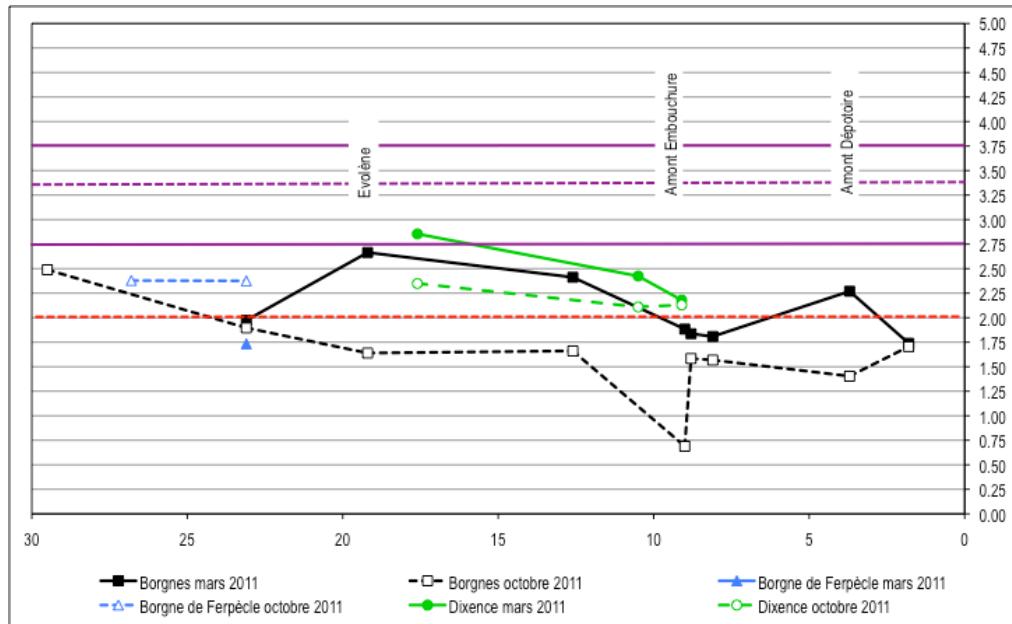


Graphique 14 : Taux de représentation (en % de cellules) des catégories de raréfaction selon la liste rouge des diatomées d'Europe centrale (LANGE-BERTALOT 1996) dans les communautés de mars et d'octobre 2011 à chaque station des rivières des Val d'Hérémence et Val d'Hérens : ce graphique donne une idée de la variabilité de la valeur patrimoniale des peuplements et fait ressortir particulièrement ceux qui méritent d'être protégés.

### 5.2.6. Diversité structurale des communautés

La diversité structurale des peuplements indique leur degré de spécialisation, c'est à dire, en terme floristique, le degré de dominance de peu de taxons sur les autres (faible diversité structurale) ou à contrario le partage de l'espace par une plus grande diversité de taxons (haute diversité structurale). Cette dimension des communautés est exprimée par l'indice de Shannon, exprimé ici en logarithme népérien pour comparaison avec la base de données suisses. Les valeurs trouvées de diversité structurale sont distribuées d'amont en aval sur le Graphique 15.

Malgré la forte biodiversité spécifique, les valeurs de cet indice sont dans l'ensemble basses, voire très basses, en comparaison des autres rivières suisses, mais ce phénomène est habituel dans les cours d'eau soumis à l'érosion causée par les matières en suspension. Les résultats les plus spectaculaires sont ceux des Borgnes, en particulier sur certains tronçons, où en octobre 2011, après la crue d'août, les peuplements sont extrêmement spécialisés autour de l'espèce *Fistulifera saprophila*, espèce indicatrice d'eaux usées. On peut relever aussi qu'à certains endroits de cette rivière, le degré de spécialisation est stable (les Haudères, autour de Combioula). Dans la Dixence, bien qu'un peu excessifs, les degrés de spécialisation sont relativement stables.



Graphique 15 : Distribution des valeurs de l'indice de Shannon d'amont en aval des rivières des Val d'Hérens et Val d'Hérémence ; pour comparaison, la grande majorité des communautés étudiées sur les rivières suisses livrent des indices entre 2.75 et 3.75, avec une médiane située à 3.35 (pour 3'694 échantillons, HÜRLIMANN et NIEDERHAUSER 2006, intervalle mauve) ; dans ce lot, les indices ≤ 2.0 sont révélateurs de peuplements exceptionnellement spécialisés (pointillé rouge).

### 5.2.7. Conclusion sur l'état des peuplements de diatomées

A certains points de vue, l'état des peuplements est bon : biodiversité floristique bonne, voire élevée, faible taux de fragmentation. Par contre, les peuplements sont parfois très réduits et dans l'ensemble très spécialisés. De ce fait, le diagnostic écologique de qualité d'eau ne peut être déterminé que par un nombre limité d'espèces fortement représentées. Les résultats présentés dans le chapitre 5.4 sont à prendre parfois avec réserve, en particulier ceux qui s'éloignent des tendances générales.

### 5.3. Autres algues

A cours des prélèvements, des algues macroscopiques ont été observées et récoltées pour identification. Leur présence est indiquée dans le Tableau 18.

En tendance générale, en amont du bassin versant jusqu'à Evolène, une seule algue macroscopique n'est présente qu'en mars 2011, mais en abondance. Il s'agit de l'algue jaune doré *Hydrurus foetidus*, espèce d'eau froide qui indique une légère eutrophisation (élevage). En octobre ces peuplements ont disparu, sans doute sous l'effet de la crue. Plus bas le long de la Borgne, on retrouve l'espèce mais en moindre abondance. Elle est aussi présente en octobre, mais invisible à l'œil nu. Dès le Pont Noir, on voit apparaître des algues vertes du genre *Ulothrix* surtout en bordure du cours d'eau, qui sont remplacées plus bas par des peuplements moyennement dense de l'algue verte *Cladophora glomerata* et de l'algue rouge *Bangia arthropurpurea* toutes deux typiques d'eaux eutrophes. On remarque qu'aux deux stations de l'aval, on trouve autant d'algues macroscopiques en mars 2011 qu'en octobre, ce qui indique que l'impact érosif de la crue était limité à ces endroits, ce qui confirme ce qui a été dit sur l'abondance des diatomées.

Dans la Dixence, il n'y a pas de tendance générale. A Pralong, des algues macroscopiques ne sont présentes qu'en octobre (principalement *Hydrurus foetidus*), ce qui confirme qu'un événement érosif a dû avoir lieu à cet endroit en mars. Au Sauterot, le peuplement est composé par des algues vertes et l'espèce d'algue rouge *Bangia arthropurpurea*, tant en mars qu'en hiver. A Euseigne par contre, il n'y a quasiment pas d'algues macroscopiques si ce n'est quelques touffes d'*Hydrurus foetidus* en octobre 2011.

Ces observations montrent que la crue du mois d'août a eu un fort impact en amont des Borgnes, mais que la Dixence a été épargnée par ce phénomène.

		<i>Phormidium sp. 1</i> (Cyanophyceae)	<i>Hydrurus foetidus</i> (Chrysophyceae)	<i>Chrysonebula holmesii</i> (Chrysophyceae)	<i>Microspora sp.</i> (Chlorophyceae)	<i>Ulothrix zonata</i> (Chlorophyceae)	<i>Ulothrix sp. (fin)</i> (Chlorophyceae)	<i>Cladophora glomerata</i> (Chlorophyceae)	<i>Bangia arthropurpurea</i> (Rhodophyceae)							
Code station	Nom	Dates	Mars 2011	Oct 2011	Mars 2011	Oct 2011	Mars 2011	Oct 2011	Mars 2011	Oct 2011	Mars 2011	Oct 2011	Mars 2011	Oct 2011	Mars 2011	Oct 2011
<b>Borgne de Ferpècle</b>																
BOF-04.2	Salay	///		///	(+)	///		///		///		///		///		///
BOF-00.5	Haudères amont			+++												
<b>Borgne d'Arolla</b>																
BOA-06.9	Arolla	///		///		///		///		///		///		///		(+)
BOA-00.5	Haudères amont			+++												
<b>Stations Borgne</b>																
BOR-19.2	Evolène, zone all.			+++												
BOR-12.6	Pont Noir, am. Grav.	(+)									+					
BOR-09.0	Euseigne, am. confl.			+	(+)						+	+		+		
BOR-08.9	Combioula am. STEP			++	(+)											+
BOR-08.1	Combioula av. STEP	(+)		+							+					+
BOR-03.7	Am. dépotoire												+	+	+	++
BOR-01.8	Bramois Berthod	(+)											++	+	++	++
<b>Stations Dixence</b>																
DIX-08.7	Pralong				++		+		+				+			
DIX-01.6	Am. Sauterot								(+)		+			+	+	(+)
DIX-00.2	Euseigne, am. confl.				+											

Tableau 18 : Occurrences d'algues macroscopiques dans les stations étudiées. (+) vues qu'au microscope, + présentes, ++ abondantes, +++ très abondantes. En hachuré /// : stations non visitées en mars 2011.

En

## 5.4. Diatomées et qualités biologiques des eaux

### 5.4.1. Mise en garde

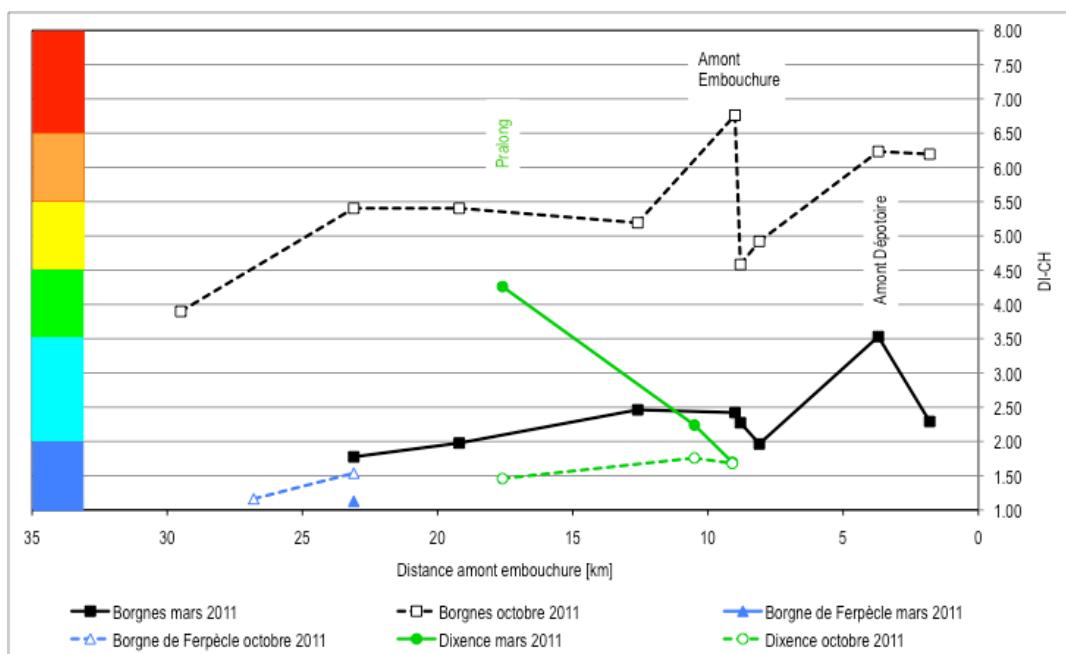
Les indications de qualité biologique des eaux ne sont valables que par rapport aux paramètres qui ont servi à l'étalonnage des méthodes classiques de mesure. Ces paramètres sont ceux de pollutions habituelles d'origine domestique et agricole, c'est à dire liées aux taux de matières organiques et aux taux d'engrais (phosphates, nitrates). La qualité des eaux ne se borne pas à ces paramètres, mais doit être complétée par d'autres aspects, comme l'analyse présentée au paragraphe 5.2 tend à le montrer, en particulier par rapport aux variations de biomasse, de taux de fragmentation des diatomées et des taux de formes tératologiques.

### 5.4.2. État de santé global (légal)

Les valeurs de l'indice DI-CH2006 (HÜRLIMANN et NIEDERHÄUSER 2006) calculées à partir de la composition des communautés de diatomées sont réparties d'amont en aval sur le Graphique 16.

Dans la Borgne de Ferpècle, les eaux peuvent être qualifiées d'excellentes (un adjectif qui n'existe pas dans le Système modulaire intégré de la Confédération, mais qui mériterait d'être introduit pour certaines eaux de l'arc alpin), cela pendant les deux périodes de prélèvement. On remarque une très légère dégradation aux Haudères à la suite de la crue.

Dans la Dixence, l'état de l'eau à Pralong en mars 2011 paraît sensiblement dégradé par rapport aux autres mesures faites dans la rivière. Cette relative dégradation (mais qui est encore dans la gamme des bonnes eaux) est liée sans doute aux vidanges effectuées au barrage de la Dixence depuis l'automne 2010 et encore juste avant les prélèvements. Cet impact se ressent encore à Sauterot, pour être neutralisé complètement à Amont Confluence, où les eaux sont aussi d'excellente qualité. Cette qualité exceptionnelle des eaux se retrouve le long de tout le cours en octobre 2011 : cette rivière n'a pas subi les méfaits de la crue du 26-27 août 2011.



Graphique 16 : Variations des valeurs de l'indice de pollution intégré DI-CH2006 (Système modulaire gradué suisse) d'amont en aval des rivières des Val d'Hérens et Val d'Hérémence. Selon l'acception de la loi suisse, le bleu est l'indication des eaux de très bonne qualité, le vert de bonne qualité, le jaune de qualité moyenne ne correspondant déjà plus aux objectifs écologiques légaux. L'orange et le rouge indiquent respectivement des eaux fortement à excessivement polluées.

Par contre dans les Borgnes, les résultats sont plus contrastés. En mars 2011, les eaux sont d'excellente qualité en amont, se dégradent très légèrement jusqu'à Amont Confluence (sont encore de très bonne qualité), pour s'améliorer brusquement jusqu'à l'aval de la STEP de Combioula. Cette amélioration provient probablement de la dilution provoquée par les eaux d'excellente qualité de la Dixence. Plus en aval par contre, les perturbations dans le lit de la rivière ont provoqué une dégradation à Amont Dépotoire : les eaux ne sont plus que de bonne qualité. Leur qualité s'améliore de nouveau plus en aval. En octobre 2011, les eaux de l'ensemble du cours sont nettement dégradées, même à Arolla (eaux bonnes), passent au niveau du moyen à médiocre plus en aval pour atteindre le niveau des eaux mauvaises à Amont Confluence sous l'impact marqué de la STEP de St. Martin. En aval de la confluence, comme en hiver, la qualité des eaux s'améliore brusquement (eaux de qualité moyenne) sous l'effet de la dilution par la Dixence, puis reprennent leur charge de qualité médiocre dans les deux stations aval. Cette dégradation générale, marquée dans les peuplements par la surabondance de taxons d'eaux d'égouts, est la conséquence de la crue du 26-27 août 2011. Sous l'effet d'abondantes précipitations, la capacité des STEP est insuffisante, si bien que les eaux en cours d'épuration débordent des installations (M. Bernard, com. orale). Il faut noter cependant, que les émissions de la STEP de Combioula ne se marquent pas du tout en mars et à peine en octobre. Ces résultats montrent qu'en période de forte crue, la qualité des eaux ne correspond plus aux objectifs écologiques légaux.

#### 5.4.3. Niveaux saprobique et trophique

Le Tableau 19 résume les qualités saprobiques et trophiques calculées à partir des assemblages de diatomées, en séparant les deux périodes de prélèvement pour mieux mettre en évidence les différences observées.

	Saprobie	Trophie	Saprobie	Trophie
Stations	Mars 2011	Mars 2011	Octobre 2011	Octobre 2011
<b>La Borgne de Ferrière</b>				
BOF 04.2 – Salay			I-II	1.14
BOF 0.05 – Les Haudères amont	I-II	1.15	(I)-II	1.26
<b>La Borgne d'Arolla</b>				
BOA 06.9 – Arolla			II-III	2.26
BOA 0.05 – Les Haudères amont	(I)-II	1.53	II-III	2.65
<b>La Borgne</b>				
BOR 19.2 – Evolène	II	1.71	III-IV	2.71
BOR 12.6 – Pont Noir	(II)	1.67	III-IV	2.57
BOR 09.0 – Amont Confluence	II	1.65	IV	3.30
BOR 08.8 – Combioula am. STEP	II	1.58	II-(III)	2.32
BOR 08.1 – Combioula av. STEP	II	1.48	II	2.55
BOR 03.7 – Amont Dépotoire	(II)	2.02	II-III	2.92
BOR 01.8 – Bramois Berthod	II	1.62	III	2.98
<b>La Dixence</b>				
DIX 08.7 – Pralong	II-III	2.54	(I)-II	1.37
DIX 01.7 – Amont Sauterot	II	1.74	(I)-II	1.68
DIX 00.2 – Amont Confluence	(I)-II	1.54	(I)-II	1.68

Tableau 19 : Indications de niveau saprobique et d'indice trophique des eaux des Val d'Hérens et Val d'Hérémence.

Le taux d'activité de décomposition (proportionnel au taux de matières oxydables – matières organiques et matières minérales réduites) est évalué par la méthode du diagnostic saprobique selon LANGE-BERTALOT. La quantité d'engrais présente dans les eaux est estimée à partir des peuplements de diatomées par le calcul de l'indice trophique de SCHMEDTJE *et al.* 1998. Ces estimations permettent de préci-

ser l'origine des variations globales de qualité des eaux et sont en général plus sensibles que les indices à vocation normative (DI-CH). Dans l'ensemble les indications saprobiques sont proportionnelles aux valeurs de niveaux trophiques. Cette proportionnalité indique que les charges sont essentiellement liées à des rejets domestiques et agricoles. Il ressort de ces valeurs, la stabilité de la qualité des eaux de la Borge de Ferpècle, la dégradation marquée de la qualité des eaux dans les Borgnes après la crue et au contraire, l'amélioration de qualité dans la Dixence. Afin de mieux visualiser les petites différences de charge saprobiique entre les stations, la composition des communautés de diatomées est présentée sur le Graphique 17 par groupes de résistance envers les matières oxydables.

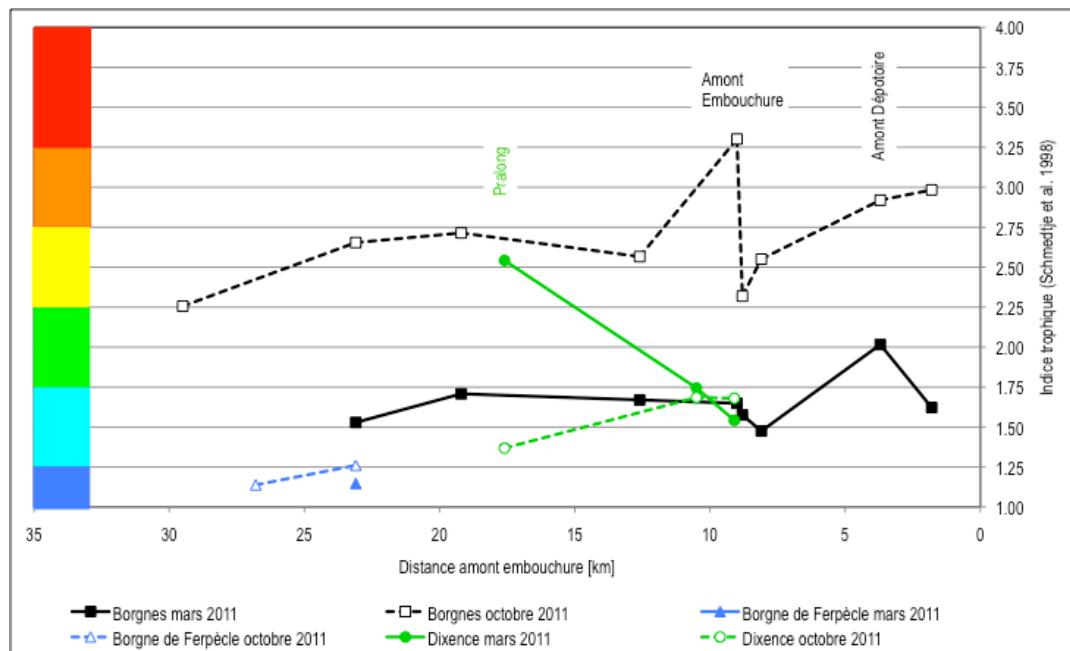


Graphique 17 : Compositions des communautés de diatomées par groupes de résistance envers les matières oxydables d'amont en aval des rivières des Val d'Hérémence et Val d'Hérens. En haut, les communautés du mois de mars. En bas, les communautés du mois d'octobre. Chiffres romains : classes de qualités saprobiques selon la notation de LIEBMANN 1958.

Dans la Dixence l'eau a habituellement une très légère charge  $\beta$ -mésosaprobe de classe (I)-II. La vidange du barrage de la Dixence, déjà avant mars 2011, semble n'avoir pas seulement relâché des particules fines minérales, mais aussi une grande quantité de matières organiques (ou est-ce l'impact de la STEP située au pied de l'ouvrage?). Celles-ci se marquent sur la communauté de diatomées prélevées à Pralong, par une surabondance peu habituelle de taxons tolérants, dont principalement plusieurs formes autour de *Fragilaria capucina* var. *capitellata* et var. *vaucheriae*, ainsi que de *Navicula gregaria*. Ces taxons ne sont pas des indicateurs d'eau d'égouts, mais indicateurs de matières organiques à courtes chaînes, c'est à dire déjà passablement oxydées. Cette charge dégradante, bien visible à Pralong, est métabolisée par la Dixence, si bien qu'à Sauterot elle diminue considérablement, pour être complètement effacée à Amont Confluence.

Dans la Borgne de Ferpècle, les communautés dominées par des espèces très sensibles montrent que les eaux sont oligo à  $\beta$ -mésosaprobes. Après la crue du 26-27 août, la communauté d'Amont Les Haudères est à peine trop riche en taxons très tolérants, ce qui montre que la charge organique est un peu plus élevée à cet endroit.

Dans les Borgnes, les conditions sont très différentes entre les deux périodes de prélèvement. En mars 2011, aux Haudères Amont, l'eau est à peine plus chargée que celle de la Borgne de Ferpècle. Plus en aval, au point de vue des indices saprobiques, l'eau semble stable ( $\beta$ -mésosaprobie de classe II). Cette stabilité n'est qu'apparente. Dans le détail, on remarque tout d'abord une diminution régulière des taxons très sensibles d'amont en aval, ce qui indique une banalisation des communautés, liée à une augmentation progressive de la charge en matières organiques. Par ailleurs, on voit des augmentations ponctuelles de la proportion de diatomées très tolérantes. Cela se marque particulièrement au Pont Noir et à Amont Dépotoire (travaux de gravière et travaux dans le lit de la rivière, avec mise en suspension probable de sédiments anoxiques). En octobre, suite à la crue, les communautés, sont envahies à des degrés divers par les indicateurs d'eaux usées, principalement par *Fistulifera saprophila* et *Mayamaea atomus* var. *permittis*. De telles proportions n'ont que rarement été relevées en montagne en Valais. Les situations les pires ont été relevées entre Evolène et Euseigne, en amont de la confluence avec la Dixence. Ce constat est à mettre en relation avec la mise hors service de la STEP d'Evolène du 12 au 26 septembre 2011. Les communautés relevées en octobre ont sans aucun doute été influencées par cette pollution d'eaux usées domestique à partir du km 12.4.



Graphique 18 : Distribution des indices trophiques d'amont en aval des rivières des Val d'Hérens et Val d'Hérémence. En regard : correspondance approximative avec les plages de couleur du Système modulaire intégré de la Confédération.

Il est surprenant que ces différences considérables d'indications saprobiques n'aient pas été enregistrées (ou très modestement dans la Dixence) entre mars et octobre par les analyses chimiques (taux de COD et de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

Les valeurs de l'indice trophique, présentées dans le Tableau 19, sont réparties d'amont en aval sur le Graphique 18.

A quelques petits détails près, les variations des niveaux trophiques sont identiques à celles du DI-CH (Graphique 16). Cela n'est pas étonnant, car dans l'étalonnage de l'indice intégré suisse, les paramètres trophiques jouent un grand rôle. En principe, il semble qu'en temps normal, les rivières sont oligotrophes (Borgne de Ferpècle) ou mésotrophes (Dixence et Borgnes). Même le long des Borgnes en mars, le niveau trophique a tendance à être d'amont en aval du cours d'eau. Toutes les perturbations qui ont eu lieu soit en mars, soit en octobre (tant les travaux dans le lit de la Borgne au Dépotoir, que la vidange du barrage de la Dixence ou encore la crue et les débordements des STEP) se marquent par des variations conséquentes de l'indice trophique. Il faut noter cependant, que cette surcharge trophique apparente d'octobre 2011, n'est pas enregistrée par les analyses chimiques effectuées deux jours après les prélèvements de diatomées. Même pour certains paramètres (NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), les teneurs sont pires en mars. Il faut aussi relever qu'en août, des dépassements considérables ont affecté les taux de phosphore total même dans la Borgne de Ferpècle.

#### 5.4.4. Conclusion sur la qualité biologique des eaux

En temps normal, il semblerait que les eaux des deux vallées, soient d'excellente à très bonne qualité. Lors de la fonte nivale certaines STEP sont en surcharge hydraulique si bien, qu'une partie des eaux non épurées, sont rejetées dans la Borgne. On peut penser que ce cas de figure n'affecte pas seulement le Val d'Hérens, mais aussi d'autres cours d'eau latéraux du Valais, mais que nous n'avons pas mis en évidence, car nous n'avons pas eu l'opportunité de prélever tout de suite après un événement météorologique aussi violent que celui du 26-27 août 2011. Par ailleurs, notre étude montre aussi que les vidanges de barrage, n'affectent pas seulement les communautés d'algues du point de vue quantitatif (usure due à l'érosion), mais aussi la qualité classique des eaux (taux d'engrais et taux de matières organiques). Par contre, du point de vue floristique, la crue ne semble pas avoir affecté la biodiversité des peuplements de diatomées, bien au contraire. Il semblerait que la flore pionnière typique de la qualité normale des eaux se réimplante assez rapidement. Il faut particulièrement signaler l'excellent état de la Borgne de Ferpècle et la valeur patrimoniale de son peuplement de diatomées. Cette rivière mérite d'être mise sous protection dans le cadre des programmes cantonaux.

Enfin, nous avons relevé la discordance entre les diagnostics biologiques de qualité d'eau, avec les résultats des analyses chimiques. Ce constat est à mettre en relation avec la mise hors service de la STEP d'Evolène du 12 au 26 septembre 2011. Les communautés présentes ou qui se sont développées après la crue du 27 août ont largement été influencées par les apports d'eaux usées d'Evolène. En octobre lors des prélèvements, la qualité physicochimique des eaux était rétablie mais les communautés de diatomées n'avaient pas retrouvé leur équilibre sur les stations d'échantillonnage situées plus en amont.

### 5.5. Synthèse par station

#### Borgne de Ferpècle

- BOF 04.2 - Salay

Les observations et analyses n'ont été réalisées qu'en octobre à cette station.

Une turbidité modérée et une quantité moyenne de sédiment sablo-limoneux sont les seuls aspects généraux relevés. Aucune macroalgue autre que des diatomées filamenteuses n'a été observée.

Le peuplement de diatomées, bien que bien développé, est relativement modeste avec 70'000 cellules par cm<sup>2</sup>, mais en très bon état (faible fragmentation, aucune forme tératologique).

La communauté est assez spécialisée (indice de Shannon de 2.38) sur diverses espèces colonisatrices très sensibles du genre *Achnanthidium*, dont deux variants encore mal définis autour d'*Achnanthidium jac-kii* (41.2%), comme à la station aval en mars 2011. Sinon la majorité des espèces sont très sensibles aux polluants. Du point de vue patrimonial, il s'agit sans doute d'une communauté rare en Europe, mais dont

on ne connaît pas encore la répartition à cause de problèmes quasi insolubles de taxonomie autour de cette espèce *jackii*.

La qualité des eaux à cet endroit est excellente avec les indications suivantes : DI-CH = 1.16, oligotrophie et oligo à β-mésosaprobie.

- **BOF 00.5 - Les Haudères**

En mars 2011, l'aspect général de l'eau est bon. Le périphyton brun caramel est caractéristique de la dominance des diatomées des eaux de faible niveau trophique. Un fort recouvrement d'*Hydrurus foetidus* est observé.

Le peuplement est normalement développé avec 1.66 millions de cellules/cm<sup>2</sup> et en bon état (taux de fragmentation non significatif, pas de formes tératologiques).

La communauté est largement dominée par le taxon rarement signalé *Achnanthidium jackii* (45.3%), typique des eaux oligotrophes et par *Achnanthidium pyrenaicum* (30.1%), taxons sensible de faible β-mésosaprobie. Ces deux taxons pionniers dominent donc le 75% de la communauté. Cette spécialisation (faible biodiversité structurale avec un indice de Shannon de 1.73) est fréquente dans les eaux oligotrophes. La biodiversité floristique est pourtant normale avec 23 taxons dominants et 21 accidentels. Parmi ces autres espèces, seul *Gomphonema olivaceum* occupe une certaine place avec 5.3% du peuplement. Ce taxon montre qu'une légère charge organique est tout de même présente à cet endroit.

D'après la liste rouge, seuls trois taxons très peu abondants doivent être signalés : l'un probablement en danger est *Fragilaria capucina* var. *austriaca* (0.02%), les autres, *Achnanthidium subatomus* (0.2%) et *Cymbella helvetica* (0.2%) sont en régression. Par contre, la communauté comprend 8 taxons pour lesquels des données biogéographiques manquent et qui forment le 51.7% du peuplement (dont *Achnanthidium jackii*). Deux ont été décrits récemment et les 5 autres sont aussi des espèces associées aux eaux de faible niveau trophique. C'est dire que tous ces taxons sont en fait rares, voire en danger, ce qui nous permet d'attribuer à ce peuplement une haute valeur patrimoniale.

Les valeurs des indices indiquent des eaux de très bonne voir excellente qualité biologique : indice légal DI-CH = 1.13, classe intermédiaire I-II entre l'oligo.- et la β-mésosaprobie, indice trophique de 1.15 (oligotrophie).

En octobre 2011, nous avons relevé une légère turbidité dans l'eau et une quantité moyenne de fines sur les bords du cours d'eau. Le périphyton est fin, brun vert. Plus aucune macroalgue n'est observée.

Le peuplement de diatomées est réduit avec seulement 34'400 cellules/cm<sup>2</sup> mais les cellules sont en bon état (taux de fragmentation non significatif, pas de formes tératologiques). Comme à Salay et comme en mars à cet endroit, la communauté est dominée par *Achnanthidium jackii* (24.7%). Par contre ici, cette espèce est accompagnée par l'espèce moins sensible *Achnanthidium minutissimum* var *minutissimum* (37.1%). Il y a pas mal d'autres espèces très sensibles et sensibles dans le peuplement, mais tout de même 5% de l'espèce *Cymbella sinuata* indicatrice de charge saprobique un peu élevée. Sinon la biodiversité est assez bonne avec 33 taxons dominants et une biodiversité structurale de 2.38 donnée par l'indice de Shannon. Au point de vue patrimonial, la valeur du peuplement est proche de celle qui a été relevée en mars, à peine un peu moins élevée.

La qualité de l'eau est à peine moins bonne qu'en mars : eau très bonne sur le plan légal (DI-CH = 1.54), mésotrophe, de faible charge β-mésosaprobe de classe (I)-II.

### Borgne d'Arolla

- **BOA 06.9 - Arolla**

Les observations et analyses n'ont été réalisées qu'en octobre sur cette station.

Du point de vue général, à part les traces impressionnantes de charriage des blocs et des galets, dues à la crue importante du 26-27 août, des flocons de papier de toilette étaient visibles dans l'eau. Le périphyton était très fin, incolore et aucune algue macroscopique n'a été observée à l'œil nu. Cela n'est pas étonnant vu l'état de perturbation de la station à la suite de la crue.

La communauté très réduite de diatomées (seulement 4100 cellules par cm<sup>2</sup>) et son taux élevé de fragmentation (71.4%) montre que le peuplement a souffert de la crue. La communauté est spécialisée (indice de Shannon de 2.49) autour de deux taxons dominants : l'espèce très résistante aux matières organiques *Fistulifera saprophila* (37.6%) et la diatomée sensible à large spectre écologique *Achnanthidium minutissimum var. minutissimum* (17.4%). D'autres traceurs de pollution sont présents, mais tout de même de bonnes proportions de diatomées très sensibles (14.4%) et sensibles (22.8%). Cette composition hétéroclite montre qu'une source de pollution existe en amont, tout près de la station de prélèvement et qu'à cet endroit les eaux ne sont pas encore totalement mélangées. Ce résultat correspond au préjudice visuel relevé ci-dessus.

Malgré les préjudices, la communauté est tout de même formée à 0.6% par des taxons en danger et à 2.6% par des taxons en régression.

En moyenne, l'eau a une charge saprobique critique de classe II-III, une charge trophique excessive de niveau eutrophe à polysaprobie. La valeur de l'indice DI-CH moyen de 3.9 indiquerait cependant une eau de bonne qualité. Cette valeur semble trop optimiste. Malgré cela il faut considérer qu'à cet endroit, les objectifs écologiques ne sont pas satisfaits.

- **BOA 00.5 - Les Haudères amont**

En mars 2011, à part un peu trop de sédiments fins, l'aspect général de l'eau est bon.

Le périphyton brun caramel est caractéristique de la dominance des diatomées des eaux de faible niveau trophique. Un fort recouvrement d'*Hydrurus foetidus* a été observé.

Le peuplement est normalement développé avec 1.26 millions de cellules/cm<sup>2</sup> et en bon état (taux de fragmentation non significatif, pas de formes tératologiques).

La communauté est dominée par 4 espèces : la très sensible *Fragilaria arcus* (11.8%) typiquement alpine, la sensible de très légère β-mésosaprobie *Achnanthidium pyrenaicum* (17.9%), les sensibles *Encyonema minutum* (40.9%) et *Diatoma moniliformis* (11.4%). La biodiversité est un peu faible (22 espèces dominantes, 9 accidentelles, indice de Shannon de 1.94). La représentation des espèces de la liste rouge est faible : 0.4% de l'espèce en régression *Achnanthidium subatomus*, 8.5% d'espèces d'*Achnanthidium* dont on ne connaît pas bien la répartition, des très sensibles et des sensibles.

Les valeurs des indices indiquent de très bonnes à bonnes conditions : DI-CH = 1.78, β-mésosaprobie de classe II et indice trophique de 1.54.

En octobre 2011 par contre, l'état du milieu, de la communauté de diatomées et des eaux, est passablement dégradé. Le périphyton est très fin, incolore. Aucune algue filamenteuse n'est présente.

Des déchets anthropiques en quantité moyenne sont bien visibles : métaux, papier, plastique, compost et papier WC dans l'eau. Beaucoup de dépôts de sédiments fins colmatent les berges de la rivière.

Le peuplement de diatomées est réduit à 12800 cellules/cm<sup>2</sup> sous l'effet de la crue, mais les taux de fragmentation et de formes tératologiques sont non significatifs.

La communauté est très spécialisée (indice de Shannon de 1.9) par la dominance de l'espèces typique d'eaux polluées *Fistulifera saprophila* (47.6%). Le peuplement contient tout de même encore 26% du taxon pionnier sensible à large spectre écologique *Achnanthidium minutissimum var. minutissimum*. La valeur patrimoniale de la communauté est quasiment nulle du point de vue de la liste rouge.

Les indications de qualité d'eau sont mauvaises : eau médiocre (indice DI-CH = 5.4), eau eutrophe à polytrophe (indice de SCHMEDTJE et al. 1998 = 2.7), niveau saprobique critique de classe II-III (β-mésosaprobie à α-mésosaprobie).

## La Borgne

### • BOR 19.2 - Evolène, zone alluviale

En mars 2011, des déchets anthropiques en quantité moyenne (métaux, plastiques et papiers), ainsi qu'une quantité moyenne de sédiments fins péjorent l'aspect général de la rivière.

Le périphyton brun caramel est caractéristique de la dominance des diatomées dans les eaux de faible niveau trophique. Un fort recouvrement d'*Hydrurus foetidus* est observé.

Avec 0.18 millions de cellules/cm<sup>2</sup> seulement, le développement du peuplement est limité par une pression écologique inconnue. Cependant les diatomées sont en bon état (taux de fragmentation non significatif) et ne présentent que très peu de formes tératologiques (0.03%).

La communauté assez banale est dominée par les pionnières sensibles *Achnanthidium pyrenaicum* (34.5%), *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* (12.8%) et *Achnanthidium atomoides* (5.0%). Les autres taxons relativement bien représentés sont le très sensible *Fragilaria arcus* (4.0%), l'espèce sensible *Diatoma moniliformis* (4.8%) et les deux espèces tolérantes *Nitzschia pusilla* (4.3%) et *Adlaia minuscula* var. *muralis* (4.3%). Une charge organique à peine trop élevée est donc présente. La communauté est cependant moins spécialisée qu'en amont avec une flore de 50 taxa (39 taxons dominants et 11 accidentels) et une biodiversité structurale de 2.66 donnée par un indice de Shannon.

La représentation des espèces de la liste rouge est moindre que dans la Borgne de Ferpècle aux Haudères : 1% de l'espèce en danger *Fragilaria capucina* var. *autriaca* (*morpha longue*), 0.7% de l'espèce très rare *Navicula catalanogermanica*, 1.1% des espèces en régression *Achnanthidium subatomus*, *Achnanthes biorettii*, *Cymbella amphicephala* et *Navicula splendicula*. Les espèces pour lesquelles les données manquent (citées à la station précédente) ne sont plus représentées qu'avec 9.3% du peuplement.

Les valeurs des indices indiquent des eaux encore de fort bonne qualité : indice légal DI-CH = 1.98 (très bonne qualité), β-mésosaprobie de classe II, indice trophique de 1.71, nettement mésotrophes.

En octobre 2011, les déchets anthropiques observés en mars, sont toujours présents. En plus, des bois flottés, des bancs de sédiments fins et une turbidité moyenne de l'eau péjorent l'état de la station. Aucune macroalgue n'est présente. Le périphyton est très fin, mais nettement brun jaune, indiquant que le niveau trophique de l'eau est plus élevé qu'en mars.

Le peuplement est encore plus réduit, avec 0.04 millions de cellules/cm<sup>2</sup>. L'état des diatomées est cependant bon (fragmentation faible et formes tératologiques absentes).

La communauté assez spécialisée est dominée par l'espèce très tolérante *Fistulifera saprophila* (65.2%), mais aussi par l'espèce sensible *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* (11.0%). La biodiversité floristique est normale avec 32 taxons dominants et 11 accidentels, mais la biodiversité structurelle est faible (indice de Shannon de 1.64). Du point de vue patrimonial, le peuplement a perdu tout son intérêt par rapport au mois de mars : de la liste rouge, ne subsiste que 1.2% de l'espèce en régression *Achnanthidium subatomus*.

Avec une valeur 5.4, l'indice DI-CH indique une eau de qualité moyenne, l'indice trophique de SCHMEDTJE *et al.* 1998 de 2.7 indique une eau eutrophe à polytrophe, l'indication saprobique est de classe III-IV (α-mésosaprobe à polytrophie), indication peut-être un peu exagérée. L'état de cette eau ne satisfait pas les objectifs écologiques suisses.

### • BOR 12.6 - Pont Noir, amont gravière

En mars 2011, une forte turbidité et des bancs importants de sédiments fins, ainsi que des déchets de coupes de bois (branches) péjorent l'aspect général de la rivière.

Le périphyton est plus développé qu'en amont, mais encore brun caramel, caractéristique de la dominance des diatomées d'eaux de faible niveau trophique. Aucune macroalgue n'a été observée à l'œil nu.

Le peuplement est bien développé avec 5.83 millions de cellules/cm<sup>2</sup> et en bon état (taux de fragmentation non significatif). Par contre, le taux de 1% de formes tératologiques (chez *Achnanthidium minutissimum* et *Nitzschia fonticola*) est significatif de conditions anormales.

La communauté de mars est un mélange à la fois d'espèces très sensibles ou sensibles, et d'espèces très tolérantes aux polluants réduits. Les espèces très sensibles et sensibles sont les pionnières *Achnanthidium jackii* (13.2%), *Achnanthidium pyrenaicum* (24.4%), *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* (8.1 %) et l'espèce bien implantée *Encyonema minutum* (9.0 %). Parmi les 4 espèces très tolérantes présentes, la mieux représentée est *Fistulifera saprophila* (20.5%). Ce cortège peu habituel d'espèces indique que l'eau de très bonne qualité, est souillée (pollution organique) juste en amont et que le mélange des eaux n'était pas encore complet à la station de prélèvements. Savoir si seuls les déchets de coupe de bois sont responsables de cette souillure (et de l'abondance des formes monstrueuses) ou si une autre source de pollution est présente en amont, nécessiterait une étude plus approfondie.

Le peuplement présente une diversité floristique normale avec 27 espèces dominantes et 16 espèces accidentelles, mais une biodiversité structurale un peu faible (indice de Shannon de 2.41). Par contre, du point de vue patrimonial, le peuplement est intéressant, avec la présence de l'espèce en danger *Nitzschia alpinobacillum*, des espèces probablement en danger *Nitzschia alpina* et *Fragilaria capucina* var. *austriaca*, de l'espèce en régression *Achnanthidium subatomus* (3 %) ainsi que la forte représentation (17.3%) d'espèces mal connues mais semblerait-il inféodées aux eaux oligotrophes : *Achnanthidium jackii*, *Achnanthidium linearis*, *Achnanthidium pfisteri* et plusieurs variétés de *Gomphonema pumilum*.

Interpréter ce genre d'assemblage mélangé (formé en fait de deux peuplements différents) uniquement avec le calcul d'indices est déconseillé, car ce genre de méthode numérique, ne tient pas compte de la dynamique de la rivière et de l'hétérogénéité des conditions écologiques locales. Dans ce cas, les valeurs des indices de qualité d'eau sont à prendre avec réserve vu le mélange incomplet d'eau d'excellente qualité et d'eau souillée. La meilleure image est celle qui montre la composition détaillée du peuplement dans le Graphique 17. En moyenne les valeurs sont : eau très bonne sur le plan légal (DI-CH = 2.5), mésotrophe (indice trophique = 1.7) et β-mésosaprobe de classe II.

En octobre 2011, les préjudices observés en mars sont toujours présents. En particulier les déchets de coupes de bois et le bois flottés se sont accumulés en une masse spectaculaire contre les rochers en aval du pont. En plus, des déchets anthropiques (papier, plastique et métaux) en quantité moyenne et une turbidité modérée de l'eau ont été observés. Aucune algue filamenteuse n'est présente dans le courant, par contre sur les rives, dans la zone d'embruns, une bordure de l'algue verte *Ulothrix zonata* est présente, indiquant une augmentation de niveau trophique. Le périphyton est très fin brun caramel.

Le peuplement est fortement réduit avec seulement 0.098 millions de cellules/cm<sup>2</sup> mais en bon état (taux de fragmentation et de formes tératologiques très faibles).

La communauté est dominée par l'espèce très tolérante *Fistulifera saprophila* (85.6%), mais aussi par l'espèce sensible *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* (25.5%) et accompagnée par l'autre espèce sensible *Achnanthidium pyrenaicum* (8.2%). Ces deux espèces d'*Achnanthidium* sont pionnières. De ce fait, la biodiversité floristique est faible (19 taxa dominants et 20 accidentels), la biodiversité structurelle aussi (indice de Shannon de 1.66). Du point de vue patrimonial, le peuplement a perdu tout son intérêt par rapport au mois de mars : de la liste rouge, ne subsiste que 1.2% de l'espèce en régression *Achnanthidium subatomus*.

En moyenne les appréciations de qualité d'eau donnent les valeurs suivantes : eau de qualité moyenne du point de vue légal (indice DI-CH = 5.2), eau eutrophe à polytrophe (indice de SCHMEDTJE *et al.* 1998 = 2.6), niveau saprobique de classe III-IV (α-mésosaprobe à polytrophie, indication peut-être un peu exagérée). L'état de ces eaux ne satisfait pas les objectifs écologiques suisses.

#### • BOR 09.0 - Euseigne, amont confluence

En mars 2011, une quantité moyenne de sédiments fins péjorent légèrement l'aspect général de la rivière. Plusieurs espèces d'algues macroscopiques sont présentes, mais peu abondantes.

Le périphyton aussi bien développé qu'en amont, mais encore brun caramel, est caractéristique de la dominance des diatomées des eaux de faible niveau trophique.

Comme en amont, le peuplement de mars est bien développé avec 4.05 millions de cellules/cm<sup>2</sup> et en bon état (taux de fragmentation non significatif). Le taux de formes tératologiques n'est ici que de 0.02%, ce qui n'est certainement pas significatif.

La composition floristique du peuplement est très proche de celui de la station précédente, mais avec une réduction à la fois des espèces très sensibles et très tolérantes au profit des espèces pionnières sensibles : *Achnanthidium pyrenaicum* (30.5%), *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* (30.9%), *Achnanthidium subatomus* (12.8%), dont le peuplement est complété par l'espèce sensible bien implantée *Encyonema minutum* (6.7 %) et l'espèce très tolérante *Fistulifera saprophila* (7.6%). Globalement la biodiversité du peuplement est très faible avec seulement 25 taxa (dont 17 dominants et 8 accidentels) et un indice de Shannon faible de 1,88. La représentation des espèces de la liste rouge est moins bonne qu'en amont, avec seulement l'espèce probablement en danger *Nitzschia alpina* (0.7%), celle en régression *Achnanthidium subatomus* (12.8%) et plus que 2.3% d'*Achnanthidium jackii*, ce taxon mal connu mais inféodé aux eaux oligotrophes.

Globalement on peut interpréter ce peuplement comme celui d'une nouvelle colonisation après un épisode de pollution situé en amont (STEP de St. Martin), c'est-à-dire ici avec une qualité d'eau un peu meilleure qu'en amont, des eaux mieux mélangées, différence de qualité qui cependant ne ressort presque pas des valeurs des indices puisque leurs valeurs sont : eau très bonne sur le plan légal (DI-CH = 2.4), mésotrophe (indice trophique = 1.6) et β-mésosaprobe de classe II. Ici aussi, l'utilisation uniquement des indices est insuffisante pour juger de l'état de la rivière.

En octobre 2011 l'aspect visuel est bien plus dégradé. Des déchets anthropiques en quantité moyenne sont présents (métaux, plastique, tuyaux de bétons et en matières synthétiques, pneus de voitures), ainsi que de nombreux branchages (coupes de bois et bois flotté). La turbidité de l'eau est moyenne. Aucune algue filamenteuse n'est présente dans le courant, par contre sur les rives, dans la zone d'embruns, subsiste une bordure de l'algue verte *Ulothrix zonata*.

Le peuplement de diatomées est bien développé avec 2.13 millions de cellules/cm<sup>2</sup> et en bon état (taux de fragmentation très faible). Bien que probablement non significatif le taux de forme tératologique est de 0.4% : il affecte les taxons *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* et *Nitzschia paleacea*. Comme cette seconde espèce est plutôt tolérante à la pollution, on peut penser que la présence d'individus monstrueux chez ce taxon indique tout de même une certaine toxicité de l'eau.

Cela est corrélé avec le fait que la communauté est extrêmement spécialisée (indice de Shannon de 0.69) autour de la dominance du taxon très tolérant *Fistulifera saprophila* (85.6%). Ce taxon indicateur de matières fécales était déjà présent en mars. La pollution évoquée en mars, mais certainement masquée par la dilution, est maintenant évidente. Le second taxon le plus abondant est *Mayamaea atomus* var. *permittis* (4.7%) : c'est également un indicateur de forte pollution. La biodiversité est très faible avec seulement 10 taxons qui forment le 99.9% du peuplement. Du point de vue patrimonial, cette communauté à une valeur nulle, étant formée à 98.8% par des taxons certainement hors de danger selon la liste rouge.

Le diagnostic de qualité d'eau est très mauvais. La valeur de l'indice DI-CH indique des eaux de mauvaise qualité, l'indice trophique de 3.3 indique une eau poly à hypertrope et le niveau saprobique de classe IV indique une polysaprobie dans laquelle une forte activité de décomposition est présente. L'état de ces eaux ne satisfait pas les objectifs écologiques suisses.

#### • BOR 08.8 - Combioula, amont STEP

En mars 2011, une légère turbidité de l'eau, une quantité moyenne de sédiments fins et un peu de déchets anthropiques (plastiques) péjorent l'aspect général de la rivière. Un recouvrement moyen d'*Hydrurus foetidus* est observé.

Le périphyton aussi bien développé qu'en amont, mais encore brun caramel, caractéristique de la dominance des diatomées des eaux de faible niveau trophique.

Ici, le peuplement de mars est encore plus développé qu'en amont avec 10.58 millions de cellules/cm<sup>2</sup> et en bon état (taux de fragmentation non significatif). Le taux de formes tératologiques est faible, de 0.4%. Ces monstruosités ne touchent que des espèces très sensibles et sensibles (faible toxicité).

La composition floristique du peuplement est quasiment identique à celui de la station précédente, avec encore une réduction de l'espèce très tolérante *Fistulifera saprophila* (3.3%) et une augmentation de l'espèce sensible *Encyonema minutum* (18.4%). Sinon les autres espèces dominantes sont toujours *Achnanthidium pyrenaicum* (33.4%), *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* (28.8%). La biodiversité floristique est un peu meilleure avec 21 taxa dominants et 16 accidentels, mais la biodiversité structurale

baisse encore avec un indice de Shannon de 1,84. Les espèces de la liste rouge reculent encore : l'espèce en régression *Achnanthidium subatomus* diminue à 5.4% et *Achnanthidium jackii*, ce taxon mal connu mais inféodé aux eaux oligotrophes, dominant aux Haudères n'est plus représenté qu'à 2.5%.

Les valeurs des indices restent stables : eau très bonne sur le plan légal (DI-CH = 2.3), mésotrophe (indice trophique = 1.6) et β-mésosaprobe de classe II.

En octobre 2011, la péjoration de l'aspect visuel est le même qu'en mars, si ce n'est une turbidité de l'eau un peu plus forte et des dépôts latéraux de sédiments fins plus importants. Dans le courant, des touffes éparses de l'algue rouge *Bangia arthropurpurea* et de l'algue verte *Ulothrix zonata* sont présentes.

Le peuplement de diatomées est encore bien développé avec 1.27 millions de cellules/cm<sup>2</sup>, mais est de fait 10 fois plus réduit qu'en mars. Les diatomées sont par contre en bon état (taux de fragmentation et de formes tératologiques faibles).

La composition du peuplement est assez spécialisée (indice de Shannon de 1.58) par dominance du taxon pionnier sensible à large spectre écologique *Achnanthidium minutissimum var. minutissimum* (42.4%) et du taxon très tolérant *Fistulifera saprophila* (36.9%). Le troisième taxon à avoir une certaine importance est l'espèce de niveau saprobique critique *Cymbella sinuata* (5.5%). Ce type de composition, formée par deux ou trois taxons de valeurs indicatrices très différentes, suggère qu'à cet endroit l'eau n'est pas totalement mélangée : l'eau polluée signalée en amont semble partiellement diluée par l'apport d'eau propre de la Dixence. La biodiversité floristique du peuplement est à la limite du normal (flore dominante de 19 taxons). La valeur patrimoniale de la communauté est faible, mais elle est tout de même composée par 7% d'espèces de la liste rouge ou par des espèces rares.

Les valeurs des indices sont des moyennes, vu le mélange de peuplements d'eaux propres et d'eaux polluées. Les indications nettement moins bonnes qu'en mars 2011 sont : eaux de qualité moyenne (DICH = 4.6), niveau eutrophe à polytrophe (indice de SCHMEDTJE *et al.* 1998 = 2.3), β-mésosaprobie très chargée de classe II-(III) proche du niveau critique. L'état de ces eaux ne satisfait pas les objectifs écologiques suisses.

- **BOR 08.1 - Combioula, aval STEP**

En mars 2011, une légère turbidité de l'eau, une quantité moyenne de déchets anthropiques (papiers, tissus, plastiques) péjorent l'aspect général de la rivière. L'odeur d'œufs pourris ne provient pas de la rivière, mais des sources sulfureuses situées à peine en aval de la station. Un léger recouvrement d'*Hydrurus foetidus* est observé.

Le périphyton fin brun caramel est caractéristique de la dominance des diatomées des eaux de faible niveau trophique.

Ici aussi le peuplement de diatomées est très dense avec 9.2 millions de cellules/cm<sup>2</sup>, en fort bon état puisque le taux de fragmentation de 36.4% est faible. Seuls quelques individus monstrueux, principalement chez l'espèce sensible *Achnanthidium pyrenaicum*, mais aussi chez les très sensibles *Fragilaria arcus* et *Diatoma ehrenbergii*, représentent 0.4% du peuplement.

L'assemblage est fortement dominé par les sensibles *Achnanthidium minutissimum* (50.3%) et *Achnanthidium pyrenaicum* (9.9%), ainsi que par un variant du taxon très sensible *Achnanthidium jackii* (9.3%). Tous ces taxons sont pionniers, ce qui montre que les conditions de développement sont perturbées en permanence. Le seul indicateur d'une certaine stabilité est l'espèce sensible *Encyonema minutum* représentée qu'à 8.6%. Les taxons liés aux eaux d'épuration sont présents mais peu abondants. Il s'agit de *Fistulifera saprophila* (3.6%) et de *Mayamaea atomus var. permitis* (2%).

Ainsi, tant la biodiversité spécifique (14 espèces principales et 18 accidentnelles) que structurelle (indice de Shannon de 1.81) sont faibles.

Une seule espèce de la liste rouge est présente. C'est l'espèce en régression *Achnanthidium subatomus* (4.1%). Mais de nouveau, une bonne proportion du taxon méconnu très sensible *Achnanthidium jackii* (9.3%) et 4.3% d'*Achnanthidium atomoides*, confèrent tout de même au peuplement une certaine valeur patrimoniale.

Les valeurs des indices sont encore meilleures qu'en amont de la STEP, ce qui est rare en général : eau très bonne sur le plan légal (DI-CH = 2.0), mésotrophe (indice trophique = 1.5) et β-mésosaprobe de classe II.

En octobre 2011 les déchets anthropiques sont toujours présents. En plus l'eau a une turbidité moyenne, un peu d'écume stable est présente et des bancs de sédiments fins occupent les bords du lit. Dans le courant, de touffes éparses de l'algue rouge *Bangia arthropurpurea* sont présentes et en zone d'embruns, une bordure de l'algue verte *Ulothrix zonata* colore les galets.

Le peuplement est formé par 2.46 millions de cellules/cm<sup>2</sup>, en fort bon état (taux de fragmentation et de formes tératologiques faibles ou nuls). La taille du peuplement est trois fois plus faible qu'en mars 2011.

La composition du peuplement est proche de celle relevée à la station précédente. Elle est aussi assez spécialisée (indice de Shannon de 1.57) par dominance du taxon pionnier sensible à large spectre écologique *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* (46.1%) et du taxon très tolérant *Fistulifera saprophila* (31.5%). Là encore, cette composition peu habituelle suggère que les eaux ne sont pas encore mélangées. La biodiversité floristique du peuplement est très faible (flore dominante de 14 taxons). La valeur patrimoniale de la communauté est faible, mais elle est tout de même composée par 6.8% d'espèces de la liste rouge ou par des espèces rares.

Les valeurs des indices sont des moyennes, vu le mélange de peuplements d'eaux propres et d'eaux polluées. Les indications nettement moins bonnes qu'en mars 2011 sont : eaux de qualité moyenne (DICH = 4.9), niveau eutrophe à polytrophe (indice de SCHMEDTJE *et al.* 1998 = 2.6), forte β-mésosaprobie mais encore de classe II. L'état de ces eaux ne satisfait pas les objectifs écologiques suisses en particulier du point de vue du niveau trophique.

#### • BOR 03.7 - Amont dépotoir

En mars 2011, une légère turbidité de l'eau, une quantité moyenne de sédiments fins, ainsi que quelques déchets de coupes de bois (branches) péjorent légèrement l'aspect général de la rivière.

Le périphyton est fin brun caramel, signe de la dominance des diatomées dans les eaux de faible niveau trophique. Quelques touffes de l'algue verte *Cladophora glomerata* et de l'algue rouge *Bangia arthropurpurea* sont présentes, indiquant une charge trophique un peu plus élevée qu'en amont.

Le peuplement ne compte que 0.24 millions de cellules/cm<sup>2</sup>. Chez *Diatoma ehrenbergii*, *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* et *Diatoma moniliformis* on trouve en tout 1.6% de formes tératologiques. Le taux de fragmentation en principe non significatif est tout de même de 43.6%. Ces indications montrent que la croissance des diatomées est perturbée, en particulier par un épisode toxique.

Les deux taxons pionniers sensibles habituels *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* (36.2%), *Achnanthidium pyrenaicum* (18.4%) dominent fortement le peuplement, ce qui confirme la perturbation. Par ailleurs, l'espèce *Fistulifera saprophila* (11.3%), très tolérante et indicatrice d'eau d'épuration, domine également ce qui laisse penser qu'un impact d'eau d'égout a lieu en amont et qu'à cette station les eaux ne sont pas totalement mélangées.

La biodiversité floristique est normale avec 40 taxa (dont 28 principaux et 12 secondaires), le peuplement est un peu moins spécialisé qu'en amont, avec un indice de Shannon de 2.3. Une seule espèce de la liste rouge est présente. C'est l'espèce en régression *Achnanthidium subatomus* (3.5%). Les 4.3% du peuplement formé par des espèces dont on ne connaît pas bien la répartition, sont essentiellement dus à *Achnanthidium atomoides* (répandu en Valais dans les eaux légèrement eutrophes) et l'espèce résistante *Fragilaria capucina* var *capitellata*. De ce fait, la valeur patrimoniale de ce peuplement est faible.

Globalement la qualité biologique de l'eau courante est un peu moins bonne qu'en amont : indice DI-CH de 3.5 (eaux bonnes), niveau trophique de 2.0 (eutrophe) et charge saprobique en moyenne β-mésosaprobe (mais de classe probablement un peu plus élevée à cause du % non négligeable de *Fistulifera saprophila*).

En octobre 2011 l'aspect visuel est le même qu'en mars, mais les déchets de bois ont disparus. Le périphyton est fin, brun caramel. Dans le courant, des touffes bien développées de l'algue rouge *Bangia arthropurpurea* sont présentes et en zone d'embruns, une bordure de l'algue verte *Cladophora glomerata* colore les galets.

Contrairement aux autres stations de la Borgne, ici le peuplement est nettement plus développé qu'en mars avec 11.8 millions de cellules/cm<sup>2</sup>. Le peuplement est en très bon état (faible fragmentation et aucune forme tératologique).

La biodiversité de la communauté est faible tant du point de vue floristique que structurel (13 espèces dominantes seulement, indice de Shannon = 1.4). La population de *Fistulifera saprophila*, espèce typique d'eaux usées a nettement progressé. Elle forme le 47.6% de la communauté, par ailleurs formée encore par le taxon très tolérant *Mayamaea atomus* var *permittis* (4.7%) et le taxon de charge organique critique *Nitzschia frustulum* var *inconspicua* (5.5%). Par contre, on trouve dans cette communauté tout de même 33.2% du taxon pionnier sensible à large spectre écologique *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum*. D'après la liste rouge la valeur patrimoniale de cette communauté est nulle.

Globalement l'eau est plus dégradée qu'en mars 2011 avec les indications suivantes : eau médiocre du point de vue légal (DI-CH=6.2), polytrophe (indice trophique de 2.9) et de charge saprobique critique ( $\beta$  à  $\alpha$ -mésosaprobie de classe II-III). L'état de ces eaux ne satisfait pas les objectifs écologiques suisses.

- **BOR 01.8 - Bramois Berthod**

En mars 2011, une turbidité moyenne de l'eau, beaucoup de dépôts de sédiments fins, un peu de déchets anthropiques (papiers, métaux), une quantité moyenne de déchets de coupes de bois (branches) et un peu de colonies d'hétérotrophes visibles à l'oeil nu péjorent nettement l'aspect général de la rivière. Le lit est occupé par un recouvrement moyen de l'algue verte *Cladophora glomerata* et de l'algue rouge *Bangia arthropurpurea*.

Le périphyton fin brun à vert olive est caractéristique d'un mélange de cyanobactéries et de diatomées, ce qui habituellement est lié à une certaine eutrophisation.

La densité du peuplement est de 1.2 millions de cellules/cm<sup>2</sup> ce qui est un peu faible pour une station aval. Pourtant le taux de fragmentation est non significatif (43.9%). Un taux non négligeable de 0.7% de formes tératologiques affecte une des deux espèces dominantes, la sensible *Achnanthidium pyrenaicum* (effet de promiscuité ?).

L'assemblage de diatomées est dominé par les pionnières sensibles *Achnanthidium pyrenaicum* (35.9%) et *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* (36.3%), mais contient tout de même *Encyonema minutum* (9.8%) en bonne proportion, qui elle est une espèce sensible, mais qui aime une certaine stabilité. La biodiversité floristique est normale (21 taxons dominants et 23 accidentels), mais la structure de l'assemblage est fortement spécialisé par l'abondance des deux taxons dominants (indice de Shannon de 1.74). Une seule espèce de la liste rouge est présente, il s'agit d'*Achnanthidium subatomus* (1.8%), taxon en régression. La proportion (5.9%) occupée par des espèces pour lesquelles les données biogéographiques manquent, n'est formée que par des espèces très sensibles ou sensibles, ce qui augmente un peu la valeur patrimoniale de ce peuplement.

Les valeurs des indices sont très bonnes à bonnes : eau très bonne sur le plan légal (DI-CH = 2.3), mésotrophe (indice trophique = 1.6) et  $\beta$ -mésosaprobe de classe II.

En octobre 2011 l'aspect visuel est le même qu'en mars, sauf que la turbidité de l'eau est forte et qu'en outre, plus de 30% de taches de sulfures de fer ont été relevées sous les galets. Le périphyton est de nouveau fin et brun caramel. Dans le courant, des touffes bien développées de l'algue rouge *Bangia arthropurpurea* sont présentes et en zone d'embruns, une bordure d'algues vertes (*Cladophora glomerata*) colore les galets.

La densité du peuplement est un peu plus élevée qu'en mars, avec 3.52 millions de cellules/cm<sup>2</sup>. Les diatomées sont en très bon état (taux de fragmentation très faible et taux de formes tératologiques nul). L'assemblage est maintenant largement dominé par l'espèce très résistante *Fistulifera saprophila* (55.9%) et par *Amphora pediculus* (10.6%), espèce de charge organique critique. Le peuplement est donc spécialisé sur une espèce principale (indice de Shannon de 1.7), mais comporte tout de même 25 taxa dominant et 17 accidentels ce qui représente une biodiversité normale. D'après la liste rouge, il ne s'agit cependant que de taxons communs, la valeur patrimoniale de ce peuplement est quasiment nulle.

Ainsi en octobre 2011, comme en amont la qualité des eaux est très dégradée : médiocre au plan légal (DI-CH = 6.2), de niveau polytrophe et de charge saprobique excessive de classe III-IV ( $\alpha$ -mésosaprobe à polysaprobe). L'état de ces eaux ne satisfait pas les objectifs écologiques suisses.

## La Dixence

### • DIX 08.7 - Pralong

L'aspect général de l'eau est bon toute l'année.

En mars 2011 aucune algue macroscopique n'est présente. Le périphyton très fin incolore est signe d'une limitation du développement des algues. Cette pauvreté végétale est liée à la vidange du barrage de la Dixence. Au dénombrement, il n'a été trouvé que 0.04 millions de cellules/cm<sup>2</sup>, avec un taux significatif de fragmentation de 77.3%. Par ailleurs, 0.6% des valves présentent des déformations tératologiques chez l'espèce tolérante *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*.

La communauté est dominée par trois variants de cette espèce tolérante *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (25.3%) et par l'espèce sensible *Diatoma moniliformis* (10.1%). Trois autres espèces résistantes sont bien implantées : la très tolérante *Fistulifera saprophila* (8.5%), la tolérante *Fragilaria capucina* var. *capitellata* (8.9%) et l'espèce de charge critique *Gomphonema olivaceum* (8.9%). C'est dire qu'à cet endroit, la charge polluante est trop élevée pour une rivière alpine. Malgré cela une petite proportion d'*Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* (7.4%) permet de pondérer le jugement. Sinon la diversité du peuplement est relativement normale avec 38 taxons (dont 28 dominants et 10 accidentels) et un indice de Shannon de 2,82. La liste rouge n'est représentée que par le taxon probablement en danger *Fragilaria capucina* var. *austriaca* (0.02%) et 2.8% d'un taxon sensible mais dont on ne connaît pas le degré de raréfaction : *Achnanthidium atomoides*. Ainsi la valeur patrimoniale du peuplement est faible.

Les valeurs des indices enregistrent plus ou moins l'état de dégradation de l'eau : indice légal DI-CH = 3.8 (eau encore bonne cependant), niveau saprobique β-mésosaprobe à α-mésosaprobe (classe critique II-III), indice trophique = 2.53 (polytrophie).

En octobre 2011, le périphyton a un développement moyen et est brun caramel, caractéristique des eaux de faible niveau trophique. Comme macroalgues, quelques touffes d'*Hydrurus foetidus*, sont présentes au bord, ainsi que quelques spots de l'autre Chrysophycée gélatineuse *Chrysonebula holmesii* ainsi que quelques algues vertes. Avec 0.66 millions de cellules/cm<sup>2</sup>, le peuplement de diatomées est plus développé qu'en mars et en bon état (fragmentation négligeable). Par contre, un taux relativement élevé de formes tératologiques (0.96%) a été trouvé chez les taxons très sensibles et sensibles : *Fragilaria capucina* var. *austriaca* et *Achnanthidium pyrenaicum*.

La communauté, un peu spécialisée (indice de Shannon de 2.35) montre une variété floristique normale de 38 taxons, mais plus faible qu'à d'autres endroits de la rivière avec 23 dominants et 15 accidentels. L'assemblage est largement dominé par les variants pionniers du genre *Achnanthidium* (*A. minutissimum* var. *minutissimum* (31.4%) et *A. pyrenaicum* (21.3%), mais contient tout de même une certaine proportion d'espèces bien implantées dont la très sensible *Fragilaria arcus* (7.3%). Cette communauté a une certaine valeur patrimoniale grâce à la présence d'une bonne proportion d'espèces en danger, en régression et peu connues.

Les indicateurs de qualité d'eau sont fort bons : indice légal DI-CH = 1.46 (eau excellente), niveau saprobique oligo à β-mésosaprobe de classe (I)-II, indice trophique = 1.37 (mésotrophie).

### • DIX 01.6 - Amont Sauterot

En mars 2011, une légère turbidité de l'eau, des sédiments fins en quantité moyenne au bord et des déchets de coupe (branches) péjorent légèrement l'aspect visuel de la rivière.

Le périphyton brun caramel est bien développé. Il est caractéristique de la dominance des diatomées des eaux de faible niveau trophique. Quelques modestes touffes d'algues vertes et de l'algue rouge *Bangia arthropurpurea* sont observées.

Le peuplement est très développé avec 7.94 millions de cellules/cm<sup>2</sup>, avec un taux de fragmentation non significatif. Par contre, 0.54% des cellules présentent des déformations tératologiques chez l'espèce très sensible *Fragilaria capucina* var. *austriaca*, ainsi que chez les espèces sensibles *Achnanthidium pyrenaicum* et *A. minutissimum* var. *minutissimum*.

Le peuplement est dominé par les taxons pionniers sensibles *Achnanthidium pyrenaicum* (26.1%) et *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* (25.6%). Ces espèces sont accompagnées par la sensible *Achnanthidium atomoides* (8.6%), par l'espèce de charge critique *Nitzschia fonticola* (7.1%) et par les trois variants tolérants de *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (5.1%). La charge polluante est donc moindre qu'à Pralong. La biodiversité floristique est stable depuis l'amont avec 39 taxa (25 dominants et 14 accidentels), mais la biodiversité structurale est moindre (indice de Shannon de 2.18), typique des communautés pionnières. La valeur patrimoniale est un peu meilleure qu'en amont avec 1.4 % de l'espèce probablement en danger *Fragilaria capucina* var. *austriaca*, 1.4% de l'espèce en régression *Achnanthidium subatomus* et plusieurs espèces dont on ne connaît pas les degrés de raréfaction : en particulier les très sensibles *Gomphonema angustivlava* et *Gomphonema* sp. pumiloïdes (1.7%), les sensibles *Achnanthidium atomoides* et *A. pfisterii* (8.9%). La valeur patrimoniale du peuplement est donc meilleure qu'à Pralong.

Les valeurs des indices enregistrent de meilleures conditions qu'en amont : indice légal DI-CH = 2.24 (eau très bonne), β-mésosaprobie (classe II) et indice trophique de 1.74 (eau presque eutrophe).

En octobre 2011, les préjudices visuels observés en mars ont totalement disparus. Quelques touffes d'algues vertes poussent dans le courant. Le périphyton est plus fin mais toujours brun caramel.

Le peuplement est un peu plus réduit avec 1.56 millions de cellules/cm<sup>2</sup> avec un taux de fragmentation non significatif, mais tout de même de près de 50%. Le taux de formes tératologiques est assez élevé (0.82%) mais ne touche que les espèces sensibles *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* et *Diatoma vulgaris*, taxons souvent malformés, ne serait-ce que par promiscuité. La présence de ces formes ne révèle par obligatoirement une toxicité des eaux.

Comme en mars, la communauté est dominée par *Achnanthidium pyrenaicum* (34.7%) et *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* (21.1%), mais encore par l'espèce très sensible *Achnanthidium linearis* (16.9%). Ainsi plus de 70% du peuplement est formé par des espèces pionnières. De ce fait, malgré une biodiversité normale (28 taxa dominants et 16 accidentels), la communauté est un peu trop spécialisée par rapport à la norme (indice de Shannon de 2.11). Du point de vue patrimonial, la communauté est moins intéressante qu'en mars.

Les valeurs des indices enregistrent des conditions encore meilleures qu'en mars : eau de très bonne qualité légale (DI-CH = 1.76), eau de très basse β-mésosaprobie de classe (I)-II) et mésotrophe (indice de SCHMEDTJE *et al.* 1968 de 1.68).

#### • DIX 00.2 - Amont confluence

En mars 2011, une légère turbidité de l'eau, des sédiments fins en quantité moyenne au bord et des déchets de coupe (branches) péjorent légèrement l'aspect visuel de la rivière.

Le périphyton est très épais, riche en diatomées filamenteuses. Cependant sa couleur brun-caramel est caractéristique de la dominance des diatomées des eaux de faible niveau trophique. Aucune algue macroscopique n'est observée.

Comme on pouvait s'y attendre au vu du développement considérable du périphyton, le dénombrement a livré 10.59 millions de cellules/cm<sup>2</sup> avec un taux faible de fragmentation. Par contre, 3.4% des cellules de l'espèce très sensible *Diatoma ehrenbergii* et 0.3% de celles du taxon sensible *Cocconeis placentula* var. *euglypta* sont marquées par des déformations tératologiques. Vu l'énorme développement du peuplement on peut penser que la cause de ces déformations est la promiscuité (cause relevée par Antoine & Benson-Evans 1984, cités par FALASCO *et al.* 2009) et non pas une éventuelle toxicité de l'eau.

La communauté assez spécialisée (indice de Shannon de 2.18) est dominée par l'espèce très sensible *Diatoma ehrenbergii* (26.3%), par la sensible pionnière *Achnanthidium minutissimum* var. *minutissimum* (33.9%). Les autres espèces du peuplement dont la biodiversité est normale (25 taxons dominants et 14 accidentels) ne sont représentées qu'à moins de 5%. La valeur patrimoniale du peuplement est encore meilleure qu'à Sauterot avec 5.2% de l'espèce probablement en danger *Fragilaria capucina* var. *austriaca* (2 morphotypes), 0.3% de l'espèce en régression *Achnanthidium subatomus* et parmi les taxons dont on ne connaît pas les degrés de raréfaction, les très sensibles *Achnanthidium jackii* (2 morphotypes, 5.2%), *Gomphonema* sp. pumiloïdes (0.3%), ainsi que le sensible *Achnanthidium atomoides* (0.3%).

Une nette amélioration de la qualité de l'eau (dilution et/ou autoépuration) par rapport à l'amont est enregistrée par les indices : indice légal DI-CH = 1.7 (eau très bonne), très légère β-mésosaprobie de classe intermédiaire (I)-II, indice trophique = 1.54 (mésotrophie).

En octobre 2011, les préjudices visuels observés en mars ont totalement disparus. Quelques touffes éparses d'*Hydrurus foetidus* sont présentes dans le courant. Le périphyton est fin, brun caramel, bien moins développé qu'en mars 2011.

Le peuplement de diatomées est réduit à 2.39 millions de cellules/cm<sup>2</sup> mais avec un taux faible de fragmentation. Le taux de formes téralogiques est plus faible en mars, les 0.43% relevés touchent principalement *Diatoma vulgaris*, accessoirement *Diatoma moniliformis* et *Fragilaria capucina* var *vaucheriae*, des diatomées chez lesquelles on trouve souvent des déformations, même dans les populations naturelles.

La communauté est assez diversifiée avec 55 taxons (dont 28 dominants et 27 accidentels), mais principalement formée par 8 taxons pionniers du genre *Achnanthidium* : la très sensible *A. linearis* (15.9%) et les sensibles *A. minutissima* var *minutissima* (39.1%), *A. pyrenaicum* (9.2%), *A. atomoides* (8.4%), *A. inconspicuum* (8.4%). En tout, les espèces pionnières forment le 85.9% du peuplement, c'est dire qu'à cet endroit, l'instabilité du milieu est très forte. Du point de vue structurel, la biodiversité est un peu basse par rapport à la norme (indice de Shannon de 2.13). Du point de vue patrimonial, la communauté est probablement intéressante, puisqu'elle contient une forte proportion d'une espèce peu connue (*A. linearis*) et une certaine proportion d'espèces de la liste rouge ou en régression.

Les indicateurs de qualité d'eau sont très bons : indice légal DI-CH = 1.7 (eau très bonne), très légère β-mésosaprobie de classe intermédiaire (I)-II, indice trophique = 1.68 (mésotrophie).

## 6. ETUDE DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES ET QUALITE BIOLOGIQUE DU COURS D'EAU

Les résultats d'analyses biologiques figurent dans la base de données du canton « **BD-hydrobio** ». Les fiches ne sont plus annexées au rapport qui décrit les caractéristiques de l'environnement, indique les couples « substrat-vitesse », donne les valeurs biologiques des échantillons (diversité, groupe indicateur, nombre d'individus, note IBCH) et dresse la liste des taxons inventoriés. La qualité des stations d'après les notes des IBCH trouvées en 2011 sont représentées dans la Figure 8, la Figure 9 et la Figure 10.

### 6.1. Substrats

Les substrats sont **moyennement** (4-5) à **bien diversifiés** (6-7). Sur les 10 types de substrats théoriques, les stations en possèdent 5 à 7. Les bryophytes n'ont été trouvées que dans les stations du Pont Noir amont gravière (BOR 12.6) et de Bramois (BOR 01.8). La plupart des fonds sont plus ou moins ensablés. Certains sont légèrement colmatés (BOF 04.2, BOR 12.6 et BOR 08.8 en octobre seulement) et d'autres plus fortement (BOR 08.1, BOR 01.8 et DIX 00.2). Toutefois, dans la station BOR 12.6 (en aval de la gravière de Villette), un colmatage important du fond du lit ainsi qu'une turbidité importante ont été observés lors des deux campagnes de prélèvement. Dans une bonne partie des stations de la Borgne (BOA 00.6, BOR 12.6, BOR 09.0, BOR 08.8, BOR 08.4 et BOR 01.8), les substrats « Vases » (sous forme de film) et « Bryophytes » observés lors de la campagne de mars n'ont plus été trouvés en octobre.

Sur l'ensemble des stations, les substrats sont quasi exclusivement minéraux (peu de vases et bryophytes), mais comportent tout de même des litières. Les algues sont traitées dans le chapitre « diatomées » sous le point 5.3.

Stations	Nombre de substrats		Mars substrats supplément.	Octobre substrats supplément.	Remarques
	Mars	Oct.			
BOF 04.2	-	6			Substrats bien diversifiés, dominés par les blocs, colmatés par du limon
BOF 00.6	6	6			Substrats bien diversifiés, dominés par les blocs, légèrement ensablés.
BOA 06.9	-	5			Substrats moyennement diversifiés, dominés par les blocs et galets, fonds ensablés.
BOA 00.5	6	6			Substrats bien diversifiés, dominés par les blocs en mars (eaux troubles en octobre), fonds ensablés.
BOR 19.2	6	6			Substrats bien diversifiés dominés par les blocs en mars (eaux troubles en octobre), fonds très ensablés en octobre.
BOR 12.6	7	6	Bryophyte, Film vase	Blocs mobiles	Substrats bien diversifiés en mars, moyennement en octobre dominés par les limons, fonds colmatés et ensablés.
BOR 09.0	7	5	Vase, Sable, limon		Substrats bien diversifié en mars, moyennement en octobre, dominés par les blocs, galets, graviers et sables.
BOR 08.8	7	6	Vase		Substrats bien diversifiés dominés par sable, blocs, galets et limons, fonds ensablés et légèrement colmatés en octobre.
BOR 08.1	7	6	Vase		Substrats bien diversifiés, dominés par les sables, blocs, graviers et limons. Fonds colmatés et très ensablés.
BOR 03.4	6	6			Substrats bien diversifiés dominés par les sables, blocs, galets, graviers, et limons, ensablés et légèrement colmatés.
BOR 01.8	7	6	Bryophyte		Substrats bien diversifiés, dominés par les limons, sables, blocs, galets, très colmatés en octobre.
DIX 08.7	6	6			Substrats bien diversifiés, dominés par les blocs et galets, légèrement ensablés
DIX 01.6	7	7			Substrats bien diversifiés, dominés par les blocs, très légèrement ensablés.
DIX 00.2	7	7			Substrats bien diversifiés, dominés par les blocs, galets, graviers et limons, fonds assez colmatés.

Tableau 20: Diversité et qualité des substrats trouvés dans les Borgnes et de la Dixence en 2011.

## 6.2. Faune benthique échantillonnée

### • Composition faunistique du peuplement benthique

Tous les taxons recensés ne se rencontrent pas systématiquement dans chacune des stations. Les répartitions sont liées à des variations spatiales ou saisonnières (cf. liste faunistique détaillée dans les Tableau 21 et Tableau 22).

Taxons ubiquistes, distribués dans la plupart des stations et généralement bien représentés en nombre d'individus

Leuctridae, Limnephilidae, Rhyacophilidae (à relever toutefois leur absence dans BOA 06.9 en octobre), Baetidae, Chironomidae et Simuliidae (absent de BOF 04.2 et BOA 06.9) : ces familles s'adaptent facilement aux variations des paramètres biotiques et abiotiques du milieu ; cette liste se retrouve sur la plupart des rivières valaisannes étudiées jusqu'à présent.

Taxons présents dans toutes les stations, mais en abondance plus faible

Nemouridae (en abondance faible à moyenne mais absent des stations BOR 03.4 et BOR 01.8 en octobre), Perlodidae (famille exigeante vis-à-vis de la qualité des eaux, absente de BOA 06.9, en abondance élevée dans les stations BOF 04.2 et DIX 08.7 en octobre), Taeniopterygidae (absent de BOA 06.9, BOR 09.0, BOR 03.4), Heptageniidae (absent de BOA 06.9, BOR 03.4 et BOR 01.8), Empididae et Limoniidae (tous deux absents de BOA 06.9), Oligochètes (absents de BOA 06.9, 1'604 ind. en octobre dans DIX 01.6).

#### Taxons présents dans au moins 50 % des stations

Planariidae, Psychodidae (absent de la Borgne de Ferpècle, de BOA 06.9 et BOR 08.8), Nemathelminthes (absents de BOF 04.2, de la Borgne d'Arolla et BOR 01.8) et Hydracariens.

#### Taxons peu fréquents, souvent peu abondants

Capniidae et Chloroperlidae uniquement dans les stations les plus en amont, dans la Borgne de Ferpècle (bonne abondance de Capniidae dans BOF 04.2, Chloroperlidae dans BOF 00.6) et dans la Dixence (DIX 08.7 et uniquement Chloroperlidae dans DIX 01.6).

#### Taxons rencontrés de façon exceptionnelle, présents dans une seule, voire 2 stations, avec moins de 3 individus, et même souvent 1 seul individu sur l'ensemble des campagnes

Perlidae, Hydropsychidae, Philopotamidae, Psychomyiidae, Dytiscidae, Elmidae, Hydraenidae, Athericidae et Ceratopogonidae (uniquement dans BOA 06.9), Dixidae (14 individus uniquement en octobre dans DIX 01.6), Rhagionidae, Tipulidae.

Certains individus peuvent provenir de la dérive, mais plusieurs taxons ne sont présents que sur 1 station à 1 saison ; leur abondance très limitée indique qu'ils n'arrivent pas à se développer dans les autres stations prospectées et que leur apparition est sans doute saisonnière ; ces taxons trouvent localement les paramètres abiotiques favorisant leur développement ou sont soumis en permanence à des atteintes.

- **Variations spatiales**

Une certaine répartition amont/aval des familles peut-être distinguée :

#### Taxons dont l'abondance est plus élevée ou sont seulement présents sur les stations amont

Les densités de certains taxons tels que les Nemouridae (abondance plus faible dès BOR 12.6 et DIX 01.6), Perlodidae (taxon sensible), Taeniopterygidae, Heptageniidae (abondances les plus élevées sur BOR 19.2 en mars et DIX 08.7 en octobre) et Empididae diminuent dans les stations aval.

#### Taxons dont l'abondance est plus élevée ou sont seulement présents sur les stations aval

Certains taxons ne sont véritablement présents que sur les stations aval, tels que les Perlidae (1 seul individu), Hydropsychidae, Dytiscidae (1 seul individu) et Gammaridae.

#### Taxons présents uniquement dans les Borgnes

Seul un individu des taxons suivants a été trouvé : Perlidae (BOR 01.8), Dytiscidae (BOR 08.1), Ceratopogonidae (BOA 06.9), Rhagionidae (BOR 19.2). Les Gammaridae étaient plus abondants et seulement dans les stations aval de la Borgne (BOR 03.4 et BOR 01.8).

#### Taxons présents uniquement dans la Dixence

Seuls quelques individus des taxons suivants ont été trouvés : Philopotamidae (DIX 00.2), Psychomyiidae (DIX 01.6), Athericidae (DIX 01.6 et DIX 00.2).

- **Variations temporelles :**

Une répartition saisonnière peut aussi être dégagée pour quelques taxons.

#### Taxons surtout présents en mars

Taxons dominant en mars : Leuctridae, Limnephilidae (sauf dans la Dixence), Baetidae (pas de différence sur les stations BOR 12.6, BOR 08.8 et BOR 08.1 ; augmentation sur Dixence), Chironomidae et Simuliidae (sauf sur Dixence aval), Limoniidae et Empididae (sauf dans la Dixence), Psychodidae (sauf DIX 01.6) et Chloroperlidae (sur BOF 00.6, DIX 08.7 dont 2 en octobre et DIX 01.6).

#### Taxons présents en octobre

L'abondance des Rhyacophilidae, absents en mars de la plupart des stations augmente à l'automne (sauf sur BOR 00.6, BOA 00.5, BOR 19.2). Les Capniidae ne sont trouvés qu'en octobre (BOF 04.2, DIX 08.7).

STATION Date	BOF 04.2	BOF 00.6		BOA 06.9	BOA 00.5		BOR 19.2	BOR 12.6		BOR 09.0		BOR 08.8		BOR 08.1		BOR 03.4		BOR 01.8			
	15.10.2011	11.03.2011	15.10.2011	15.10.2011	11.03.2011	15.10.2011	11.03.2011	14.10.2011	11.03.2011	14.10.2011	12.03.2011	14.10.2011	12.03.2011	14.10.2011	12.03.2011	14.10.2011	12.03.2011	13.10.2011	12.03.2011	13.10.2011	
<b>PLECOPTERES</b>																					
Capniidae	22																				
Chloroperlidae		1																			
Leuctridae	9	117	6		152	8	157		277	21	445	9	254	25	180	14	257	6	291	11	
Nemouridae	40	17	9	4	95	15	101	13	8	1	9	2	1	1	1	2	7		2		
Perlidae																					1
Perlodidae	66	5	21		19	9	9	5	3			1		1		1	2		5	4	
Taeniopterygidae	14	34	1			2	29	1	6				15	3		1			2	1	
<b>TRICOPTERES</b>																					
Hydropsychidae												1				2		2	1	1	
Limnephilidae	3	57	1		591	16	574	4	517	8	136	144	316	420	224	103	356	7	364	38	
Philopotamidae																					
Psychomyiidae																					
Rhyacophilidae	2	14	8		20	6	13	5	20	40	20	29	29	79	7	41	11	27	33	14	
<b>EPHEMEROPTERES</b>																					
Baetidae	698	426	46	6	124	106	249	27	58	63	290	104	164	174	139	131	395	90	286	105	
Heptageniidae	4	7	3		4	8	14		2	9	2	3	1	1	1	1					
<b>COLEOPTERES</b>																					
Dytiscidae																1					
Elmidae										1											
Hydraenidae	1						1					1				1			1		
<b>DIPTERES</b>																					
Athericidae																					
Ceratopogonidae				1																	
Chironomidae	124	499	262	17	494	6	295	56	28	93	441	115	299	196	186	56	61	301	131	275	
Dixidae																					
Empididae	17	9	12		10	1	24	1	2	1	6		4		6		1	1	5		

STATION Date	BOF 04.2	BOF 00.6		BOA 06.9	BOA 00.5		BOR 19.2		BOR 12.6		BOR 09.0		BOR 08.8		BOR 08.1		BOR 03.4		BOR 01.8			
	15.10.2011	11.03.2011	15.10.2011	15.10.2011	11.03.2011	15.10.2011	11.03.2011	14.10.2011	11.03.2011	14.10.2011	12.03.2011	14.10.2011	12.03.2011	14.10.2011	12.03.2011	14.10.2011	12.03.2011	13.10.2011	12.03.2011	13.10.2011		
Limoniidae	2	20	5		22	2	22	2	34	11	14	3	5	8	17	8	24	3	15	2		
Psychodidae					1	2	3				2		3	2	6				18			
Rhagionidae					1																	
Simuliidae		119			685	1	98	2	61	3	92	4	49	19	54	24	192	44	118	14		
Tipulidae					1	2	2				1	1										
<b>AUTRES TAXONS</b>																						
Gammaridae																			46	4	97	21
Planariidae		2	1																			1
Oligochetes	1	1	1		3		1	10	1	8	1	4	8	63	61	155	2	61	3			
Nemathelminthes		1	1			2	2	2		8		4		3	1							
Hydracariens		1	1							1		7	1	10	1				1	5		
Nbre total d'individus	1003	1330	378	28	2220	183	1592	120	1031	252	1476	418	1146	942	888	457	1517	486	1431	495		
Groupe indicateur - GI	9	9	9	6	9	9	9	9	9	7	7	7	9	9	7	7	7	9	9	9		
Taxon indicateur	Periodidae	Periodidae	Periodidae	Nemouridae	Periodidae	Periodidae	Periodidae	Periodidae	Periodidae	Leuctridae	Leuctridae	Leuctridae	Taeniopterygidae	Taeniopterygidae	Leuctridae	Leuctridae	Leuctridae	Leuctridae	Periodidae	Periodidae		
Diversité	14	17	15	4	13	14	16	13	15	12	16	14	14	13	16	16	16	16	11	17	14	
<b>Note IBCH</b>	13	14	13	7	13	13	13	13	13	10	11	11	13	13	11	11	11	11	10	14		
Qualité selon norme IBCH	Satisfaisante	Satisfaisante	Satisfaisante	Médiocre	Satisfaisante	Satisfaisante	Satisfaisante	Satisfaisante	Satisfaisante	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Satisfaisante	Satisfaisante	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Satisfaisante	Satisfaisante		

Tableau 21 : Faune benthique recensée dans les bassins versants des Borgnes, en mars et octobre 2011.

STATION Date	DIX 08.7		DIX 01.6		DIX 00.2	
	11.03.2011	13.10.2011	11.03.2011	13.10.2011	12.03.2011	14.10.2011
<b>PLECOPTERES</b>						
Capniidae		1				
Chloroperlidae	2	2	2			
Leuctridae	30	31	181	42	343	182
Nemouridae	12	101	6	9	11	8
Perlidae						
Perlodidae	14	151	1		3	
Taeniopterygidae	12	309	5	2	3	7
<b>TRICOPTERES</b>						
Hydropsychidae		2			2	1
Limnephilidae	37	61	313	2402	299	1731
Philopotamidae						2
Psychomyiidae				1		
Rhyacophilidae	13	77	62	167	63	159
<b>EPHEMEROPTERES</b>						
Baetidae	36	459	173	158	213	298
Heptageniidae	4	38	3	4	2	2
<b>COLEOPTERES</b>						
Dytiscidae						
Elmidae					1	2
Hydraenidae			2	1		
<b>DIPTERES</b>						
Athericidae				2	1	
Ceratopogonidae						
Chironomidae	45	116	181	353	108	99
Dixidae				14		
Empididae	1	10	10	6	2	
Limoniidae	17	26	29	22	50	4
Psychodidae		1	9	81	1	1
Rhagionidae						
Simuliidae	2	13	45	16	105	18
Tipulidae		4				
<b>AUTRES TAXONS</b>						
Gammaridae						
Planariidae	1	2	2	4	2	4
Oligochetes		1	3	1604	2	117
Nemathelminthes	2		1		2	
Hydracariens			1	8		7
Nbre total d'individus	228	1406	1029	4896	1213	2642
Groupe indicateur - GI	9	9	9	7	9	9
Taxon indicateur	Perlodidae	Perlodidae	Taeniopterygidae	Leuctridae	Perlodidae	Taeniopterygidae
Diversité	15	19	19	19	19	17
Note IBCH	13	14	14	12	14	14
Qualité selon norme IBCH	Satisfais.	Satisfais.	Satisfais.	Moyenne	Satisfais.	Satisfais.

Tableau 22 : Faune benthique recensée dans la Dixence, en mars et octobre 2011.

### **6.3. Résultats liés à l'Indice Biologique suisse (IBCH)**

- **Abondance totale**

Le nombre total d'individus (cf. Tableau 21, Tableau 22 et Graphique 19) varie entre 28 (BOA 06.9 en octobre 2011) et 4'896 (DIX 01.6 en octobre 2011). **L'abondance moyenne** sur l'ensemble des stations est d'env. **1'258** individus en mars (12 prélèvements) et **978** en octobre (14 prélèvements), soit env. **1'108 individus** sur les 2 campagnes. L'abondance moyenne sur la Borgne de Ferpècle est d'environ 904 ind. (1'330 en mars et 690 en octobre), sur la Borgne d'Arolla d'environ 810 ind. (2'220 en mars et 105 en octobre) et sur la Borgne d'environ 875 ind. (1'297 en mars et 453 en octobre). La Dixence quant à elle montre une abondance moyenne d'environ 1'902 ind. (823 en mars et 2'981 en octobre).

À titre comparatif, l'abondance moyenne des cours d'eau valaisans (toutes campagnes confondues) est de 1'200 ind. (BERNARD *et al.*, 1994). Les Borgnes montrent une abondance moyenne bien inférieure à celle de la Dixence. Il apparaît une importante fluctuation saisonnière, inversée entre les bassins versants : les abondances diminuent dans les Borgnes en octobre alors qu'elles augmentent sur la Dixence.

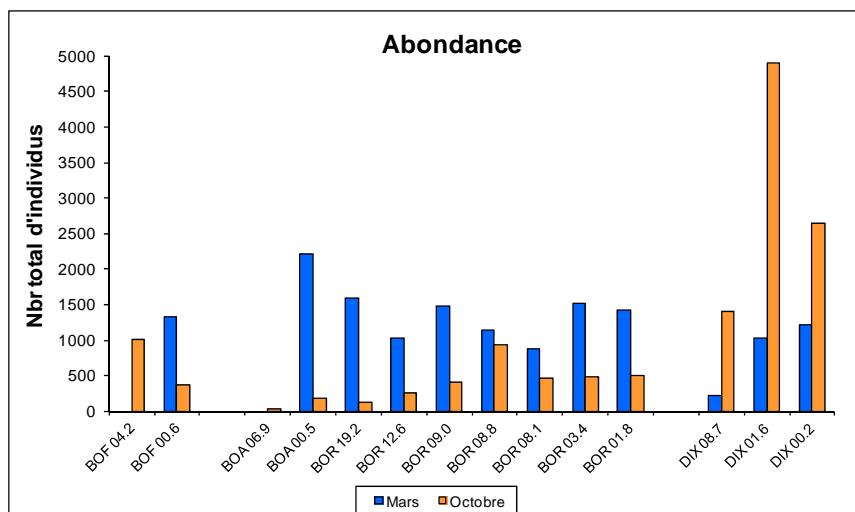
Les abondances trouvées dans les Borgnes et la Dixence sont plus faibles que celles rencontrées sur la plupart des rivières (Lièze moyenne de 2'327 individus, Rhône de Gamsen à Martigny 2'310 individus, Fare moyenne de 2'759 individus, Vièze moyenne de plus de 3'000 individus, Salentse 2'020 individus ou Sionne 1'460 individus et Navisence-Gougra 1'394 individus).

Sur le bassin versant des Borgnes et de la Dixence, les résultats montrent les caractéristiques suivantes :

- Sur les Borgnes, l'abondance est toujours supérieure en mars (maximum sur BOA 00.5), alors que la Dixence montre une abondance plus élevée en automne ;
- l'abondance est particulièrement basse pour BOA 06.9 ;
- En mars, l'abondance montre une tendance à une diminution amont/aval entre BOR 19.2 et BOR 08.1, alors qu'elle augmente d'amont/aval sur la Dixence ;
- L'abondance moyenne est plus élevée dans la Dixence que dans les Borgnes.

En octobre, l'abondance est très faible dès la Borgne d'Arolla (BOA 06.9 avec seulement 28 ind.) jusqu'à la confluence avec la Dixence qui possède un peuplement « bien représenté », et même une prolifération d'organismes (Limnephilidae et Oligochètes) dans la station DIX 01.6. Plus en aval, les abondances sont à nouveau faibles. En mars, l'abondance est faible dans DIX 08.7 avec 228 individus recensés.

Plusieurs crues et événements naturels se sont déroulés entre les mois de mars et d'octobre : la fonte du sérac du Mont Collon (turbidité affectant la Borgne d'Arolla et la Borgne), la crue du 27-28 août (induisant une purge du barrage de la Luette). A cela s'ajoute des purges soumises à autorisation cantonale (donc avec suivis) : le 4 août purge du bassin Ferpècle ; les 6 juin et 5 septembre, purges du bassin Vex.



Graphique 19 : Abondance de la faune benthique dans les Borgnes et de la Dixence en 2011.

STATION Date	BOF 04.2	BOF 00.6	BOA 06.9	BOA 00.5	BOR 19.2	BOR 12.6	BOR 09.0	BOR 08.8	BOR 08.1	BOR 03.4	BOR 01.8				
	15.10.2011	11.03.2011	15.10.2011	15.10.2011	11.03.2011	15.10.2011	11.03.2011	14.10.2011	12.03.2011	14.10.2011	12.03.2011	14.10.2011	12.03.2011	13.10.2011	12.03.2011
<b>PLECOPTERES</b>															
Capniidae	+														
Leuctridae		++			++	++	++	+	++	++	+	++	++		++
Nemouridae	+	+			++	++									
Perlodidae	++	+	++		++	++	++	+							+
Taeniopterygidae		+				+									
<b>TRICOPTERES</b>															
Limnephilidae					++	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+
Rhyacophilidae		++	+		++	+	++	+	++	++	++	+	++	++	++
<b>EPHEMEROPTERES</b>															
Baetidae	++	+			+	+	+		+	+	+	+	+	+	+
Heptageniidae															
<b>DIPTERES</b>															
Chironomidae	+	+	+		+	+			+	+	+	+	+	+	+
Empididae	++					++									
Limoniidae		++	+		++	++		++	++	++	+	++	+	++	++
Psychodidae															+
Simuliidae		++			++	++		+	++		+	+	+	++	++
<b>AMPHIPODES</b>															
Gammaridae															+
<b>AUTRES TAXONS</b>															
Oligochetes															
Nemathelminthes									+						

+ abondance élevée ;    ++ abondance très élevée ;

Aucune prolifération n'est constaté sur les Borgnes (&gt; 1'000 ind. considérés comme une prolifération).

Tableau 23 : Taxons les plus abondants dans les bassins versants des Borgnes en 2011 selon les critères de fréquences proposés par l'Agence de l'Eau (2000).

STATION Date	DIX 08.7		DIX 01.6		DIX 00.2	
	11.03.2011	13.10.2011	11.03.2011	13.10.2011	12.03.2011	14.10.2011
<b>PLECOPTERES</b>						
Capniidae						
Leuctridae	+	+	++	+	++	++
Nemouridae		++				
Perlodidae	++	++				
Taeniopterygidae		++				
<b>TRICOPTERES</b>						
Limnephilidae			+	++	+	++
Rhyacophilidae	++	++	++	++	++	++
<b>EPHEMEROPTERES</b>						
Baetidae		+	+	+	+	+
Heptageniidae		+				
<b>DIPTERES</b>						
Chironomidae		+	+	+	+	+
Empididae						
Limoniidae	++	++	++	++	++	
Psychodidae				++		
Simuliidae			+		++	+
<b>AMPHIPODES</b>						
Gammaridae						
<b>AUTRES TAXONS</b>						
Oligochetes				++		+
Nemathelminthes						

+ abondance élevée ;    ++ abondance très élevée ;

les cases en grisé indiquent des abondances extrêmement élevées (> 1'000 ind. considérés comme une prolifération).

Tableau 24 : Taxons les plus abondants dans le bassin versant de la Dixence en 2011 selon les critères de fréquences proposés par l'Agence de l'Eau (2000).

#### • Abondance par taxon

Afin d'intégrer la fréquence habituelle des taxons, la DIREN Rhône-Alpes en France a proposé une échelle d'abondance qui tient compte des **différences naturelles**<sup>2</sup>. (Agence de l'Eau, 2000). Le Tableau 23 et le Tableau 24 mettent en évidence les taxons aux abondances « élevées » et « très élevées » (classes 3 et 4). Plusieurs remarques peuvent être faites :

- Certains taxons sont très abondants dans la plupart des stations : Leuctridae, Rhyacophilidae, Limoniidae, Simuliidae (sauf sur la Dixence) et dans une moindre mesure Limnephilidae (sauf sur la Dixence), Baetidae, Chironomidae ;
- D'autres sont très abondants seulement ponctuellement : Nemouridae, Perlodidae, Taeniopterygidae (DIX 08.7 seulement), Empididae (taxon absent de la Dixence), Psychodidae et Oligochètes (DIX 01.6 seulement) ;
- Observation de proliférations uniquement en octobre : les Limnephilidae prolifèrent dans deux stations (DIX 01.6 avec 2'402 individus et DIX 00.2 avec 1'731 individus), ainsi que les Oligochètes dans DIX 01.6 avec 1'604 individus.

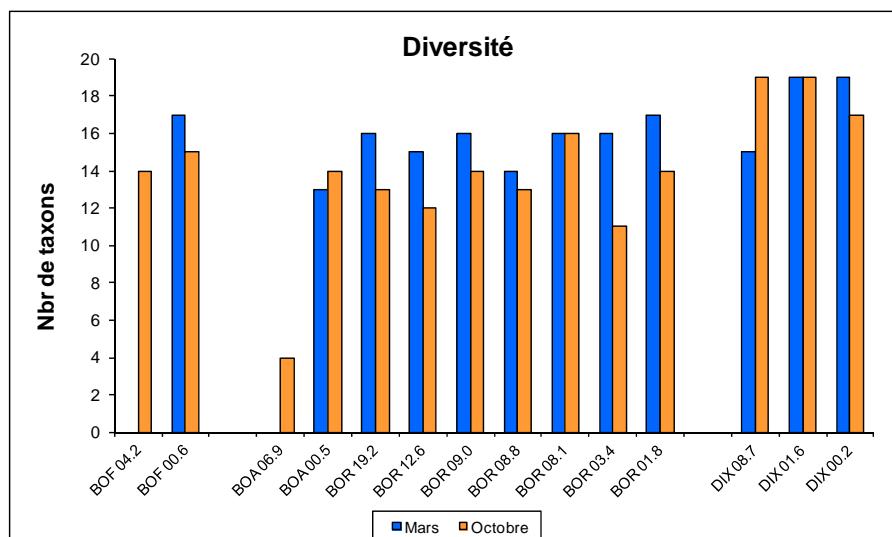
<sup>2</sup> Certains taxons étant toujours naturellement mieux représentés que d'autres, des classes spécifiques ont été établies ; p. ex. pour atteindre la **classe** maximale 4, il faudra 9 individus pour les Perlodidae ou Perlidae, 65 ind. pour les Taeniopterygidae ou Leuctridae et 513 individus pour les Baetidae et Chironomidae.

- **Diversité taxonomique (nombre de taxons) d'après la méthode utilisée (IBCH)**

Un total de **32 taxons** (19 sur la Borgne de Ferpècle, 16 sur la Borgne d'Arolla, 24 sur la Borgne et 27 sur la Dixence, familles pour la plupart) a été recensé dans le bassin versant des Borgnes et de la Dixence en 2011. Cette diversité est moins élevée que le maximum de taxons relevé dans l'article de BERNARD *et al* en 1994 (étude globale des données valaisannes), qui indiquait 45 taxons au total pour les affluents du Rhône. Elle est cependant proche de la Salentse ou du Rhône sur le linéaire de Gamsen à Martigny, étudié entre 2007 et 2009 (36 taxons pour ces 2 cours d'eau) ou encore de la Navisence-Gougra (37 taxons) et même supérieure à certains cours d'eau tels que la Dranse de Ferret étudiée en 2005-2006 qui présentait un total de 25 taxons ou la Salentse (1 seule campagne en octobre 2006) avec 27 taxons.

La diversité taxonomique des stations (cf. Tableau 21, Tableau 22 et Graphique 20) varie entre 4 (BOA 06.9 en octobre 2011) et 19 (sur la Dixence). La **diversité moyenne sur les bassins versants** est de **16.1** en mars et de **13.9** en octobre (alors que la tendance généralement rencontrée en Valais est un nombre de taxons supérieur à l'automne), soit environ **15 taxons** sur les 2 campagnes. Le Graphique 20 met en évidence que la diversité moyenne de la Borgne de Ferpècle et de la Dixence (respectivement 15 et 18 taxons) est plus élevée que celle de la Borgne d'Arolla et de la Borgne (respectivement 10 et 14 taxons). Aucune tendance n'est observée d'amont en aval. A noter la diversité extrêmement faible de la station BOA 06.9 avec seulement 4 taxons présents.

À titre comparatif, la diversité moyenne citée dans l'article BERNARD *et al* (1994) est de 13. La diversité obtenue pour les bassins versants des Borgnes et de la Dixence est comparable avec une diversité moyenne de 13.9, mais reste en-dessous de celle de la Vièze qui montrait une diversité moyenne en 2001 de 23 taxons (il était d'ailleurs proposé que ces stations fassent office de **référence**) ou de la Salentse et de la Sionne, avec une diversité moyenne respective d'environ 20 taxons et 21 taxons. Le Rhône (linéaire Gamsen à Martigny, 2007-2009) et le bassin versant de la Navisence-Gougra ont quant à eux une diversité identique, avec une moyenne de 15 taxons.



Graphique 20 : Diversité de la faune benthique dans Borgnes et de la Dixence en 2011.

- **Groupe indicateur (GI)**

Le groupe indicateur maximal (cf. Tableau 21, Tableau 22 et Graphique 21) de <sup>9</sup><sup>3</sup> (Perlodidae ou Taeniopterygidae) est observé dans 8 stations en mars et en octobre. Les stations BOR 09.0, BOR 08.1 et BOR 03.4 présentent un GI de 7 (Leuctridae) lors des campagnes de mars et d'octobre 2011. Le groupe indicateur des stations BOR 12.6 et DIX 01.6 a diminué entre les 2 campagnes, passant de 9 (respectivement Perlodidae et Taeniopterygidae) en mars à 7 (Leuctridae) en octobre. La station BOA 06.9, échantillonnée en octobre, présente le GI le plus bas avec une valeur de 6 (Nemouridae).

<sup>3</sup>

Pour qu'un taxon du GI 9 soit retenu, il faut qu'il soit représenté par au moins 3 individus.

- **Note IBCH**

Les notes **IBCH** obtenues sur le bassin versant des Borgnes et de la Dixence (total de 14 stations, dont 2 stations uniquement prélevées en octobre ; cf. Tableau 21 et Tableau 22) ont été qualifiées à l'aide des classes indiquées dans la méthode (Stucki 2010, cf. Tableau 12). La qualité des stations varient peu entre les campagnes de printemps et d'automne : dans 6 stations la qualité est restée identique, dans 5 stations la note IBCH a diminué en octobre et dans 1 station la note a augmenté en octobre (DIX 01.6).

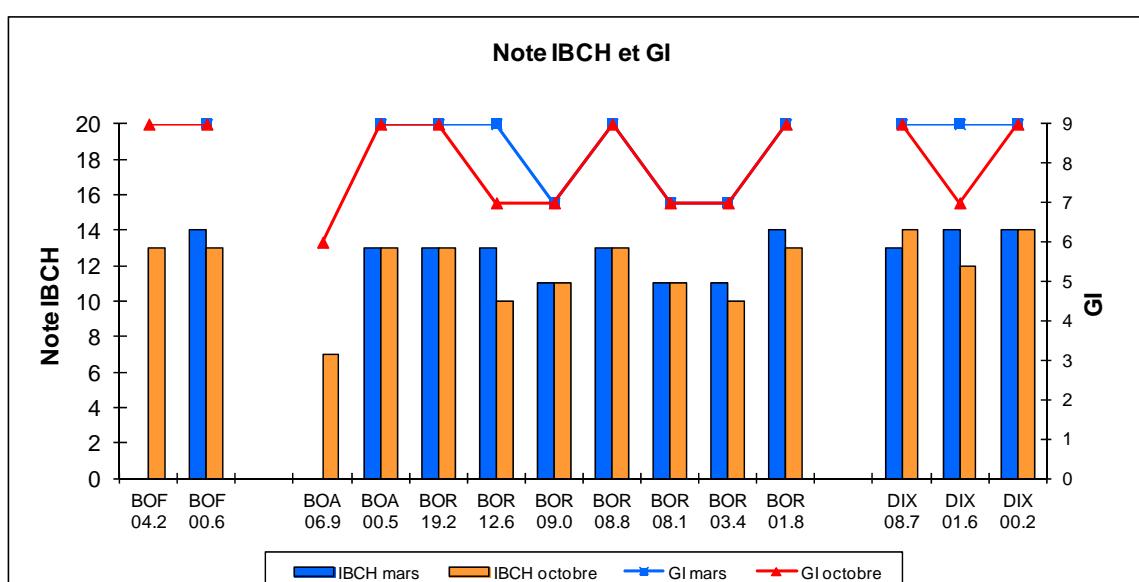
Le Graphique 21, le Tableau 21 et le Tableau 22 mettent en évidence les éléments suivants :

- 8 stations présentent une qualité **satisfaisante** pour les deux campagnes, avec des notes IBCH de 13 ou 14 suivant les stations ;
- 2 stations présentent une qualité **satisfaisante** en mars (BOR 12.6 et DIX 01.6 avec des notes IBCH respectivement de 13 et 14), mais une qualité **moyenne** en octobre (notes IBCH respectivement de 10 et 12) ;
- 3 stations, BOR 09.0, BOR 08.1 et BOR 03.4, sont toujours en qualité **moyenne** avec des notes IBCH de 10 ou 11 ;
- 1 station, BOA 06.9, présente une qualité **médiocre**, avec une note IBCH de 7 (1 seul prélèvement en octobre).

L'IBCH moyen (toutes stations et campagnes confondues) est proche de **12** (mars 12.8, octobre 11.9).

Les calculs réalisés par BERNARD *et al* (1994) donnaient un IBGN (méthode AFNOR utilisée jusqu'en 2009 comparable à l'IBCH) moyen inférieur à 10. Les résultats obtenus sur le bassin versant des Borgnes et de la Dixence sont donc meilleurs et correspondent à ceux obtenus pour le Rhône en 2007-2009 (IBGN moyen pour l'ensemble du linéaire de 12.6) ou la Navisence-Gougra (13). Ils restent cependant moins bons que ceux qui avaient été obtenus sur les Vièzes en 2001 (avec notamment des notes de 16 dans 4 stations, record en Valais, du fait d'une typologie et de conditions hydrologiques plus favorables).

Toutefois, les seules notes IBCH (IBGN) et diversités ne sont pas suffisantes pour une interprétation fine des résultats. Dans les stations BOR 08.8, DIX 01.6 et DIX 00.2, le GI 9 est donné par les Taeniopterygidae, taxon moins sensible à la qualité du milieu que les Perlodidae présents dans les autres stations. Dans ce cas, le guide technique de l'IBCH propose un calcul du test de robustesse des notes lorsque le GI est donné par les Taeniopterygidae. La note IBCH diminue de 2 points puisque le GI est donné par les Leuctridae.



Graphique 21 : Notes IBCH (histogrammes) et GI (courbes) obtenus dans les bassins versants des Borgnes et de la Dixence en mars et octobre 2011.

Les résultats biologiques mettent en évidence plusieurs constats :

- relative constance de la note en mars et en octobre dans la plupart des stations ;
- baisse de la qualité hydrobiologique dans les stations BOR 12.6 (en octobre), BOR 09.0, BOR 08.1 et BOR 03.4 ;
- amélioration de la note IBCH uniquement en octobre dans la station DIX 08.7.

#### • Conclusion

Les abondances trouvées dans les Borgnes et la Dixence sont plus faibles que celles rencontrées sur la plupart des rivières en Valais. Contrairement à la Dixence et aux bassins versants antérieurement étudiés, les Borgnes montrent une abondance et une diversité inférieure en automne, sans doute liée à la crue intervenue en août. La Dixence n'aurait pas subit les mêmes dommages. Relevons que la diversité moyenne de la Borgne de Ferpècle et de la Dixence (respectivement 15 et 18 taxons) est plus élevée que celle de la Borgne d'Arolla et de la Borgne (respectivement 10 et 14 taxons). A noter la diversité extrêmement faible de la station BOA 06.9 avec seulement 4 taxons présents.

Le GI fluctue entre 9 (Perlodidae ou Taeniopterygidae) et 7 (Leuctridae). Les notes IBCH oscillent entre 14 et 10, indiquant une qualité allant de « satisfaisante » à « moyenne ; fait exception la station BOA 06.9 en qualité médiocre (IBCH de 7).

#### 6.3.1. Résultats par stations

Les résultats pour chaque station sont détaillés dans les fiches de la base de données « BD-Hydrobio ». Un résumé est établi ci-après pour chacune des stations.

Les stations sont décrites de l'amont vers l'aval.

#### Borgne de Ferpècle

##### • BOF 04.2 – Salay

La station n'a été échantillonnée qu'en octobre 2011 (accès impossible en mars du fait de l'enneigement). Les substrats sont très minéraux, dominés par les blocs et les limons, avec un colmatage par les limons. La seule anthropisation de la station est l'influence des aménagements hydroélectrique : réduction des débits par les captages (Grande Dixence) et purges du bassin de Ferpècle (4 août et 17 août 2011).

L'abondance est « bien représentée ». Les Baetidae constituent plus de la moitié du peuplement (70%). Suivent les Chironomidae (12%), puis les Perlodidae (7%) qui représentent le GI 9. Avec 66 individus, cette abondance est considérée très élevée pour cette famille (cf. Tableau 23). La diversité taxonomique est assez bonne avec 14 taxons trouvés donnant avec le GI 9 une note IBCH **satisfaisante** de 13.

##### • BOF 00.6 – Haudères amont

Les substrats, dominés par les blocs, sont légèrement colmatés et ensablés. Sur cette station, la Borgne est contrainte par des enrochements en rive droite (village des Haudères).

Le peuplement est dominé par les Chironomidae (38% en mars, 69% en octobre), et les Baetidae (32% en mars, 12% en octobre). En mars, les Leuctridae et les Simuliidae représentent chacun 9% du peuplement. En octobre, les Leuctridae ne constituent plus que 2% du peuplement et les Simuliidae ont disparus. Par contre, le nombre de Perlodidae a augmenté, passant de 0.4% en mars à 6% en octobre, constituant le GI 9 pour les deux campagnes. De fait, l'abondance, la diversité et la note IBCH ont diminué entre mars et octobre. L'abondance, considérée comme « bien représentée » en mars, est faible en octobre avec environ 1'000 individus en moins. La diversité passe de 17 en mars à 15 en octobre. La note IBCH diminue ainsi de 14 à 13, restant dans une qualité hydrobiologique **satisfaisante**. Ces résultats pourraient être expliqués par la succession d'événements hydrologiques (purge du bassin de Ferpècle début août, crues naturelles à la fin août et au début du mois d'octobre) rendant difficile le maintien de la faune benthique.

## **Borgne d'Arolla**

- **BOA 06.9 – Arolla**

La station n'a été échantillonnée qu'en octobre 2011 (accès impossible en mars du fait de l'enneigement). Il s'agit de la station la plus en amont des bassins versants étudiés.

Les substrats étaient ensablés et dominés par les blocs. Seul 4 taxons ont été trouvés. Le peuplement est constitué de Chironomidae (61%), de Baetidae (21%), de Nemouridae (14%) et d'un individu Ceratopogonidae. L'abondance est extrêmement faible avec seulement 28 individus comptabilisés. Le GI 6 est donné par les Nemouridae et la note IBCH de 7 caractérise la qualité hydrobiologique de cette station comme **médiocre**. Outre l'effet de la crue de fin août qui visiblement a fortement « nettoyé les fonds » (sachant qu'ils se recolonisent difficilement dans cet environnement très minéral et à fond mobile), les résultats des analyses physico-chimiques réalisées en août mettent en évidence une contamination bactériologique (qualité moyenne pour les germes totaux et mauvaise pour *E. coli*). En octobre, des déchets d'eaux usées en suspension dans l'eau (résidus de papiers toilette) ont d'ailleurs été observés. De mauvais raccordements, une rupture de conduite ou un déversement d'un ouvrage du réseau d'assainissement doivent être suspectés, influençant la qualité biologique de la station.

- **BOA 00.5 – Haudères amont**

En mars cette station a été échantillonnée en amont du pont de la route cantonale alors qu'en octobre les prélèvements ont été réalisés 100 m plus en aval du fait des travaux (mesures urgentes suite à la crue). Les substrats étaient bien diversifiés, dominés par les blocs, uniquement ensablés en mars.

L'abondance de la faune benthique est assez élevé en mars (2'220 individus), mais faible en octobre (183 individus). En mars, le peuplement est dominé par les Simuliidae (31%), Limnephilidae (27%), Chironomidae (22%), alors qu'en octobre plus de la moitié du peuplement est constitué par les Baetidae (58%), puis les Limnephilidae (9%) et les Nemouridae (8%). Les Oligochètes ont disparu en octobre alors que les Taeniopterygidae et Psychodidae ne sont trouvés que lors de cette campagne. Malgré ces changements, le GI 9 est représenté par les Perlodidae qui représentent respectivement 1% et 5 % du peuplement. La diversité passe de 13 à 14 taxons en octobre et la note IBCH ne change pas d'une campagne à l'autre, indiquant une qualité hydrobiologique **satisfaisante**.

## **La Borgne**

- **BOR 19.2 – Évolène, zone alluviale**

Cette station se situe en aval de la confluence de la Borgne d'Arolla et de Ferpècle, dans la zone alluviale de Lotrey, inscrite dans l'inventaire fédéral des zones alluviales d'importance nationale (ZAIN). Les substrats sont bien diversifiés, dominés par les blocs et les graviers. Les fonds ont tendance à être ensablés en mars ; ils sont même très ensablés en octobre, résultats sans doute de la forte crue survenue fin août.

L'abondance est assez élevée en mars (1'592 individus) et faible en octobre (120 individus). Le peuplement de mars est dominé par les Limnephilidae (36%), Chironomidae (19%), Baetidae (16%), Leuctridae (10%). En octobre, les dominances changent avec les Chironomidae (47%), Baetidae (23%) et les Nemouridae (11%). Plusieurs taxons ne sont plus présents en octobre, les Leuctridae, Heptageniidae, Hydraenidae et Tipulidae. Le GI 9 pour les deux campagnes retient la famille des Perlodidae comme taxon indicateur et même si la diversité diminue de 16 taxons en mars à 13 en octobre, la note IBCH de 13 ne change pas, indiquant une qualité hydrobiologique **satisfaisante**.

- **BOR 12.6 – La Luette, amont gravière**

Cette station se trouve en aval du rejet de la STEP d'Évolène (en fonction depuis 2010), ainsi que de la gravière de Villette. Elle est située dans un resserrement naturel de la Borgne à la hauteur du pont de la Luette. Les substrats sont bien diversifiés, colmatés, ensablés et dominés par les limons.

Comme dans les stations précédentes, l'abondance est bien représentée en mars avec 1'031 individus et chute en octobre avec seulement 252 individus. Le peuplement échantillonner en mars est dominé par les

Limnephilidae (50%) et les Leuctridae (27%), alors qu'en octobre ce sont les Chironomidae (37%), Baetidae (25%) et Rhyacophilidae (16%) qui sont majoritaires. Plusieurs taxons ont disparu entre mars et octobre (Perlodidae, Taeniopterygidae, Psychodidae et Némathelminthes), alors qu'un Elmidae a été trouvé uniquement en octobre. La diversité passe donc de 15 à 12 taxons. En mars, le groupe indicateur était représenté par les Perlodidae (GI 9), mais avec leur disparition en octobre, ce sont les Leuctridae qui sont retenus (GI 7). Il en résulte une note IBCH qui diminue de 3 points (13 à 10) changeant la catégorie de **satisfaisante** en mars à **moyenne** en octobre.

La station souffre d'atteintes anthropiques qui influencent négativement la faune benthique, puisque les taxons les plus sensibles à la qualité du milieu ont disparus entre les campagnes de mars et d'octobre, sachant que leur développement est limité (seulement 3 Perlodidae en mars). L'impact de la STEP d'Évolène (mise en service en 2010 et du 12 au 26 septembre 2011) est donc visible, peut-être plus fortement révélé à la suite de la crue.

- **BOR 09.0 – Euseigne, amont confluence**

Cette station se localise en aval de la prise d'eau de la Luette, qui devrait assurer un débit de dotation de 565 l/s. La morphologie de la station est naturelle, typique d'une zone alluviale. Les substrats sont bien diversifiés en mars (7 substrats) et moyennement diversifiés en octobre (5 substrats). Les fonds sont ensablés avec une légère dominance des sables en mars.

L'abondance a diminué de plus de 1'000 individus entre mars et octobre, passant d'un peuplement bien représenté (1'486 individus) à une abondance faible (418 individus). Les Leuctridae (30%), Chironomidae (30%) et Baetidae (20%) dominent en mars, alors que les Limnephilidae (34%), Chironomidae (28%) et Baetidae (25%) sont les familles les plus abondantes en octobre. La diversité taxonomique est jugée assez bonne avec respectivement 14 et 16 taxons. Les Leuctridae (GI 7), retenus comme taxon indicateur, donnent à la station une note IBCH de 11, soit une qualité **moyenne** pour les deux campagnes.

L'impact de la réduction des débits sur la qualité biologique ne se marque qu'en mars, avec une baisse de note de 2 points entre la station amont et celle-ci (la qualité considérée satisfaisante en amont est ici moyenne). Cette baisse n'est toutefois pas observée en octobre, puisque la station amont a déjà perdu les familles les plus exigeantes. On note ici, dans un tronçon à débit réduit, l'impact de la STEP de St-Martin qui s'ajoute celui de la STEP d'Évolène, mise hors service du 12 au 26 septembre 2011. Le même constat a été fait avec le DICH.

- **BOR 08.8 – Combioula, amont STEP**

Cette station se localise en aval de la confluence avec la Dixence, sa morphologie est naturelle. Les substrats sont bien diversifiés, dominés par les sables ; les substrats sont colmatés en octobre.

Dans cette station, l'abondance diminue peu en comparaison des stations amont. Le peuplement reste bien représenté avec 1'146 individus en mars et 942 individus en octobre. Sa constitution est assez similaire entre les deux campagnes : Limnephilidae (28%), Chironomidae (26%), Leuctridae (22%) et Baetidae (14%) sont dominant en mars, alors qu'en octobre, ce sont les Limnephilidae (45%), Chironomidae (21%) et Baetidae (18%) qui constituent la majorité du peuplement. La diversité taxonomique est assez bonne en mars avec 14 taxons recensés, de même qu'en octobre (13 taxons). La qualité est chaque fois « **satisfaisante** » avec une note IBCH identique de 13 (GI de 9, Taeniopterygidae). A noter la présence d'un Perlodidae en octobre, qui pourrait provenir de la dérive. En appliquant le test de robustesse (GI 7 donné par les Leuctridae), on observe pour les deux campagnes une diminution de 2 points sur l'IBCH, soit une note de 11 qui correspond à une qualité « **moyenne** ».

La qualité biologique tend à s'améliorer par rapport à la station amont, sans doute à la faveur d'une autoépuration et de l'apport d'eau de la Dixence, mais elle ne permet pas l'installation des taxons les plus sensibles à la qualité des eaux.

- **BOR 08.1 – Combioula, aval STEP**

Située en aval de la STEP d'Hérémence, la morphologie est naturelle. Les substrats sont bien diversifiés, dominés par les sables. Les fonds sont colmatés, ensablés et un film de matière organique est présent.

Les abondances sont modérées à faibles et la constitution du peuplement benthique est assez similaire entre le printemps et l'automne : Limnephilidae (25%), Chironomidae (21%), Leuctridae (20%) et Baetidae (16%) dominent en mars et Baetidae (29%), Limnephilidae (23%), Oligochètes (13%) et Chironomidae (12%) en octobre. Lors des deux campagnes, 16 taxons sont recensés ; la famille des Leuctridae est retenue en tant que taxon indicateur (GI 7), donnant à la station une note IBCH de 11, soit une qualité **moyenne**. La qualité biologique baisse donc par rapport à la station amont, diminution due à l'impact du rejet de la STEP de Combioula, ce qui est confirmé par les résultats physico-chimiques.

- **BOR 03.4 – Amont Dépotoir**

Cette station est distante de la précédente d'environ 5 km ; elle se trouve en sortie des gorges de la Borgne. Elle est localisée dans le dépotoir où des travaux et des entretiens ont été régulièrement entrepris en 2010-2011 (cf. Tableau 6). Relevons que la vidange du bassin de compensation de Vex rejoint la Borgne juste en amont de cette station et que deux purges ont été réalisées en 2011 (6 juin et 5 septembre). Les substrats sont bien diversifiés, légèrement colmatés et dominés par les sables.

La composition du peuplement diffère entre les mois de mars et d'octobre, avec une abondance qui diminue à nouveau de plus de 1'000 individus (passe de 1'517 à 486). En mars, les Baetidae (26%), Limnephilidae (23%), Leuctridae (17%), Simuliidae (13%) et Oligochètes (10%) sont majoritaires, alors qu'en octobre les Chironomidae représentent plus de la moitié du peuplement (62%), suivis par les Baetidae (19%). Plusieurs taxons ont disparus en octobre (Perlodidae, Nemouridae, Psychodidae, Nemathelminthes et Hydracariens), diminuant ainsi la diversité taxonomique qui chute de 16 (assez bonne) à 11 (moyenne). La famille des Leuctridae est retenue en tant que taxon indicateur (GI 7) pour les deux campagnes. La qualité IBCH est chaque fois **moyenne** avec respectivement une note de 10, puis de 11. Plusieurs atteintes sont susceptibles de se cumuler : la moins bonne qualité des eaux (rejet de la STEP de Combioula, addition de celle de Mase, l'effet des purges, les interventions sur le dépotoir).

- **BOR 01.8 – Bramois Berthod**

Cette station caractérise la partie en plaine de la Borgne, dans la traversée du village de Bramois où la Borgne est endiguée par deux murs. Elle se trouve en aval de la restitution de l'usine hydroélectrique de la Borgne. Les substrats sont bien diversifiés, quoique colmatés, dominés par les sables et limons.

L'abondance est bien représentée en mars (1'431 individus) et faible en octobre (495 individus), avec ici aussi une perte de l'ordre de 1'000 individus. La constitution du peuplement benthique diffère entre la campagne de printemps et d'automne. En mars, les Limnephilidae (25%), Leuctridae (20%) et Baetidae (20%) dominent, alors qu'en octobre, les Chironomidae représente plus de la moitié du peuplement (56%), suivis des Baetidae (21%). A noter, la présence de plusieurs Perlodidae (trouvés seulement de manière anecdotique depuis la station BOR 12.6), famille qui est retenue comme taxon indicateur (GI 9) lors des deux campagnes. La diversité est assez bonne avec respectivement 17 et 14 taxons trouvés en mars et octobre. Les notes IBCH caractérisent la station comme **satisfaisante**.

### La Dixence

- **DIX 08.7 – Pralong**

Cette station la plus en amont de la Dixence se situe en aval du barrage, dans un secteur naturel. Les substrats sont bien diversifiés, dominés par les blocs et les galets ; les fonds sont légèrement ensablés.

En mars le peuplement est dominé par les Chironomidae (20%), Limnephilidae (16%), Baetidae (16%), Leuctridae (13%) et en octobre par les Baetidae (33%), Taeniopterygidae (22%) et Perlodidae (11% sensible à la qualité du milieu). A l'opposé des stations sises sur les Borgnes, l'abondance en octobre augmente dans la Dixence, passant de 228 individus en mars à 1'406 individus en octobre, de même que la diversité taxonomique qui passe de 15 (assez bon) à 19 taxons (bon). La famille des Perlodidae constitue le groupe indicateur (GI 9) pour les deux campagnes. La note IBCH augmente d'un point entre les deux campagnes, soit 13 et 14, indiquant une qualité **satisfaisante**.

- **DIX 01.6 – Sauterot amont**

Cette station se trouve en aval de la prise d'eau de Leteygeon SA. Les substrats sont bien diversifiés, légèrement ensablés et dominés par les blocs.

L'abondance est bien représentée en mars avec 1'029 individus ; en octobre, plusieurs familles prolifèrent, donnant un total de 4'896 individus. En mars le peuplement est dominé par les Limnephilidae (30%), Leuctridae (18%), Chironomidae (18%), et les Baetidae (17%). Par contre en octobre, le peuplement est composé de Limnephilidae (49%, soit 2'402 individus recensés indiquant une prolifération) et Oligochètes (33%, soit 1'604 individus recensés indiquant une prolifération), suivis par les Chironomidae (7%). A noter la présence de 14 Dixidae en octobre alors que ce taxon était absent en mars. La diversité est bonne lors des deux campagnes, avec 19 taxons recensés. En mars, la famille des Taeniopterygidae (5 individus) est retenue en tant que taxon indicateur (GI 9) donnant une qualité biologique **satisfaisante**. En l'absence de familles plus sensibles, le test de robustesse est appliqué et donne une note IBCH de 12 (perte de 2 points avec les Leuctridae comme GI), soit une qualité moyenne. En octobre, les Leuctridae sont retenus en tant que taxon indicateur (GI 7), caractérisant une qualité **moyenne**.

- **DIX 00.2 – Amont confluence**

Cette station se trouve en aval du Sauterot (prise d'eau des Forces Motrices de la Borgne), juste avant la confluence avec la Borgne. Un débit de dotation de 315 l/s est assuré en aval de la prise du Sauterot. Les substrats sont bien diversifiés, colmatés et dominés par les blocs et galets.

L'abondance est bien représentée en mars avec 1'213 individus ; elle est assez élevée en octobre avec 2'642 individus. En mars le peuplement est dominé par les Leuctridae (28%), Limnephilidae (25%) et Baetidae (18%). Par contre en octobre, plus de la moitié du peuplement est composé de Limnephilidae (66%, soit 1'731 individus recensés indiquant une prolifération) et Baetidae (11%). A noter la présence de plus d'une centaine d'Oligochètes en octobre, alors que seuls deux individus étaient comptabilisés en mars. La diversité est bonne lors des deux campagnes, avec 19 et 17 taxons recensés. En mars, la famille des Perlodidae (3 individus) est retenue en tant que taxon indicateur (GI 9) ; en octobre ce sont les Taeniopterygidae (GI 9) qui deviennent taxon indicateur. Avec une note de 14, la qualité biologique est **satisfaisante**. En l'absence de familles plus sensibles, le test de robustesse est appliqué en octobre et donne une note IBCH de 12 (perte de 2 points avec les Leuctridae comme GI), soit une qualité moyenne.

### **6.3.2. Conclusion**

Au regard des résultats IBCH, les Borgnes montrent une qualité satisfaisante jusqu'à la station BOR 12.6 (la Luette, amont gravière). Fait exception la station amont de la Borgne d'Arolla, seulement prélevée en octobre, et qui possède une qualité « médiocre » certainement due à un rejet d'eaux usées. Par contre, dès l'amont de la Luette et en aval, les atteintes se marquent sur la qualité biologique, qui passe en « moyen » en mars et en octobre (BOR 12.6, BOR 09.0, BOR 08.1, BOR 03.4), à l'exception de la station BOR 08.8 qui est « satisfaisante », sans permettre toutefois l'installation des taxons les plus sensibles (Perlodidae). La qualité biologique redévient « satisfaisante » dans la station aval de la Borgne avec l'installation de Perlodidae. Les stations de moins bonne qualité se situent en aval de STEP, respectivement d'amont vers l'aval, la STEP d'Évolène, de St-Martin, de Combioula (Hérémence), voire de Mase. Il est difficile de se prononcer sur un effet lié à la réduction des débits (aval de la Luette et du Sauterot), la baisse de la qualité biologique se marquant déjà à l'aval de la STEP d'Evolène

La Dixence montre quant à elle une qualité « satisfaisante », qui diminue légèrement en octobre dans la station DIX 01.6, baisse qui n'est pas explicable avec les données en notre possession.

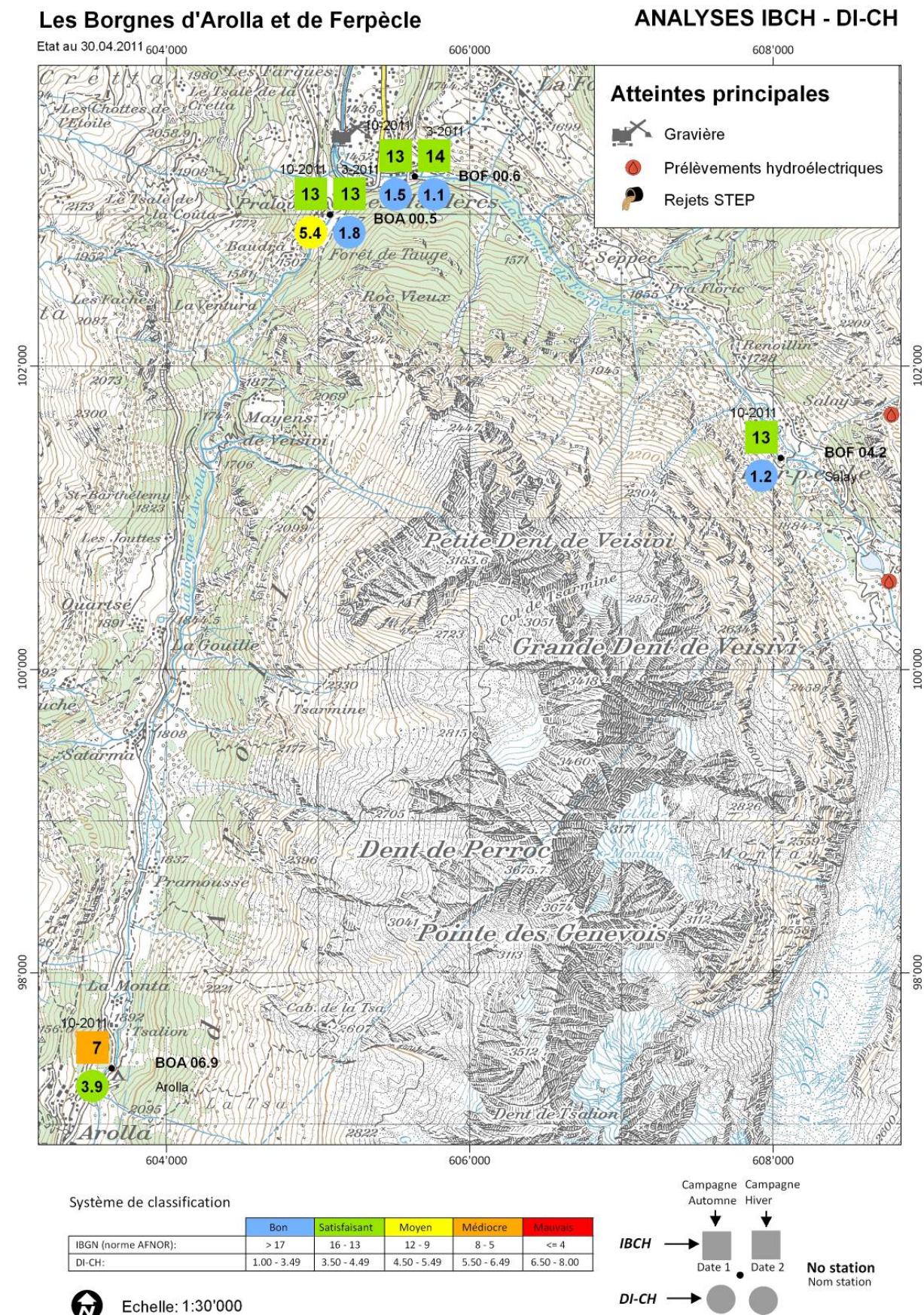


Figure 7 : Résultats des analyses IBCH et indices diatomiques de mars et d'octobre 2011, dans les Borgnes d'Arolla et de Ferpècle.

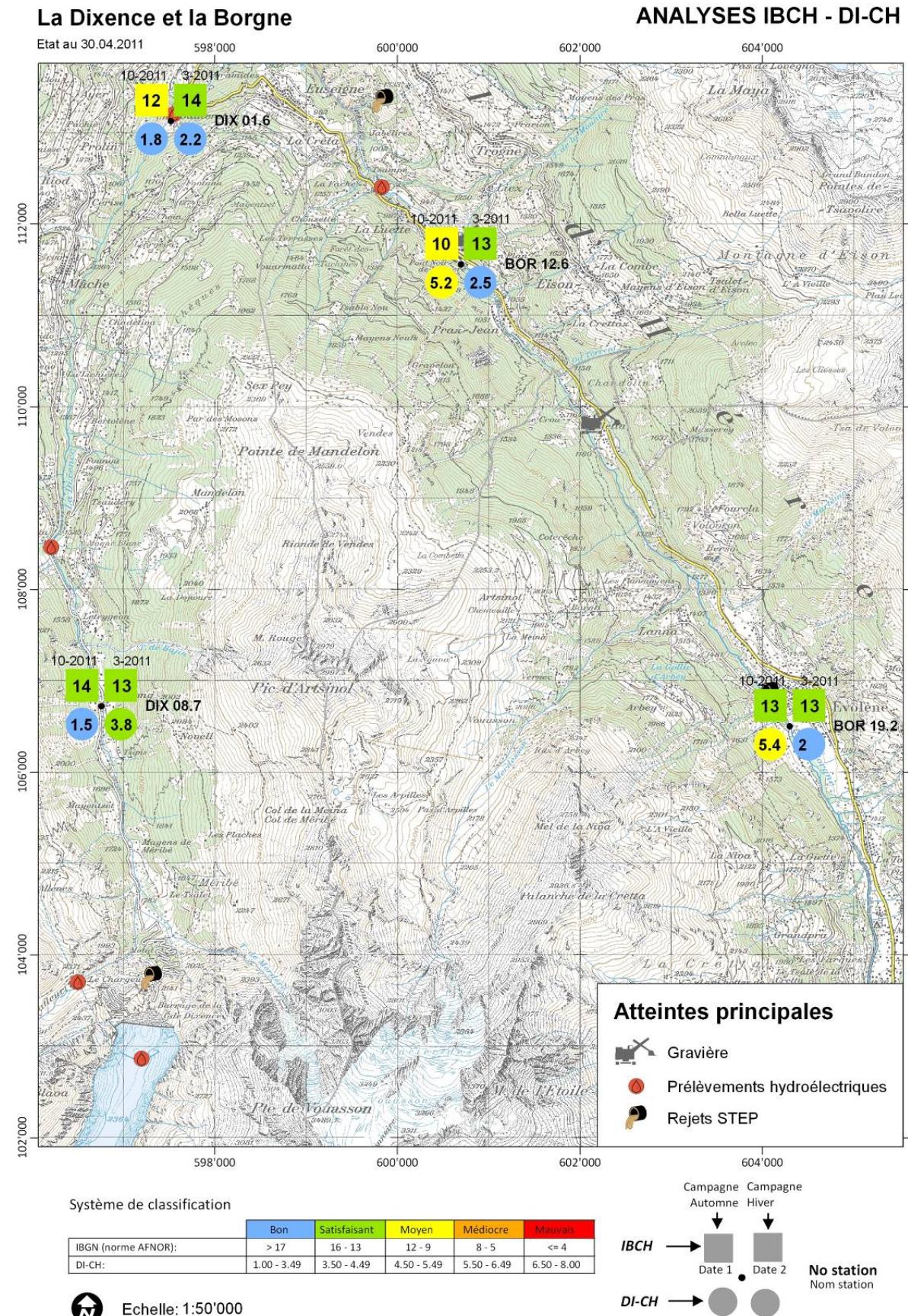


Figure 8 : Résultats des analyses IBCH et indices diatomiques de mars et d'octobre 2011, dans la Borgne en aval des Haudères et dans la Dixence en amont du Sauterot.

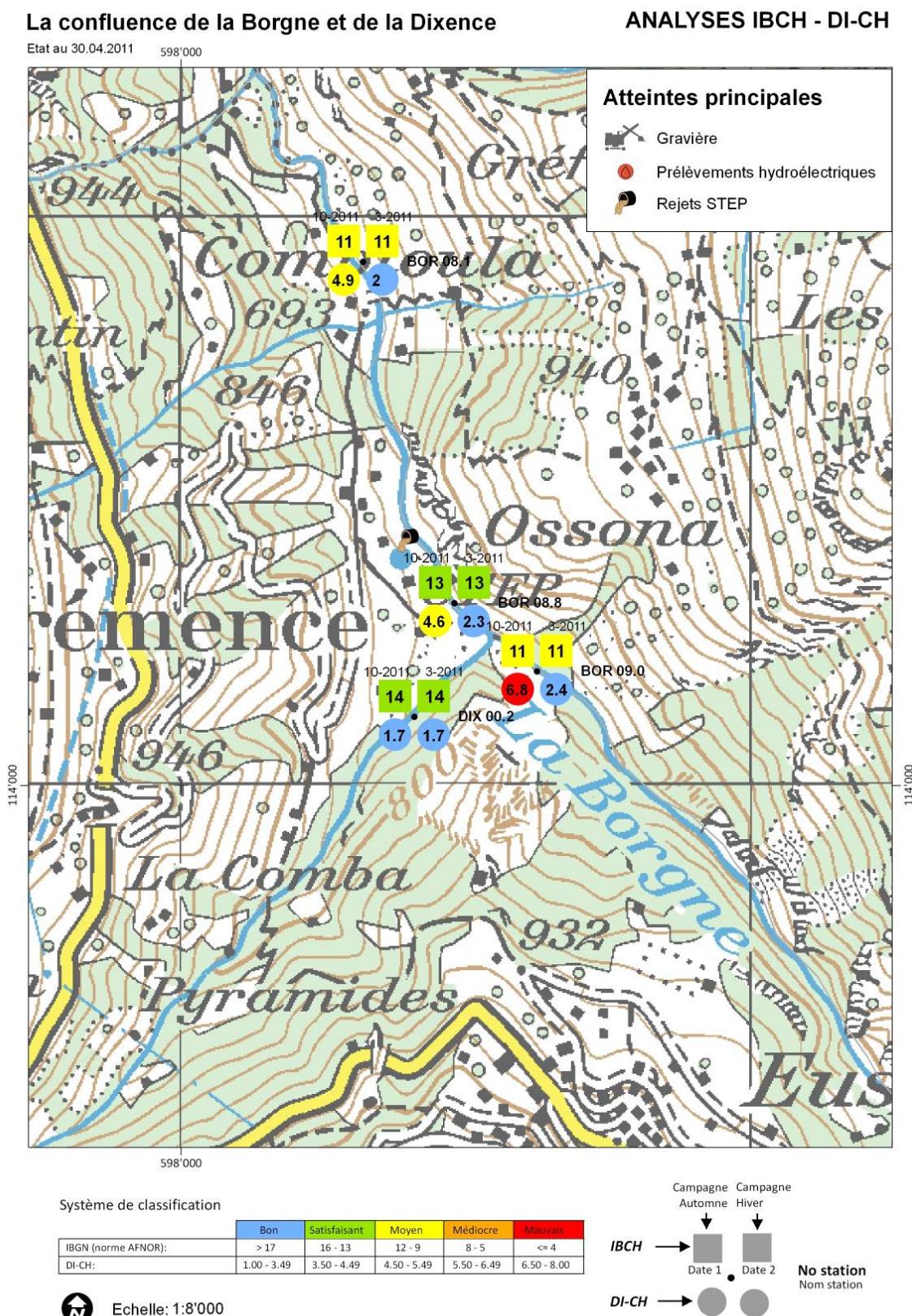


Figure 9 : Résultats des analyses IBCH et indices diatomiques de mars et d'octobre 2011, dans la Borgne et la Dixence au niveau de leur confluence.

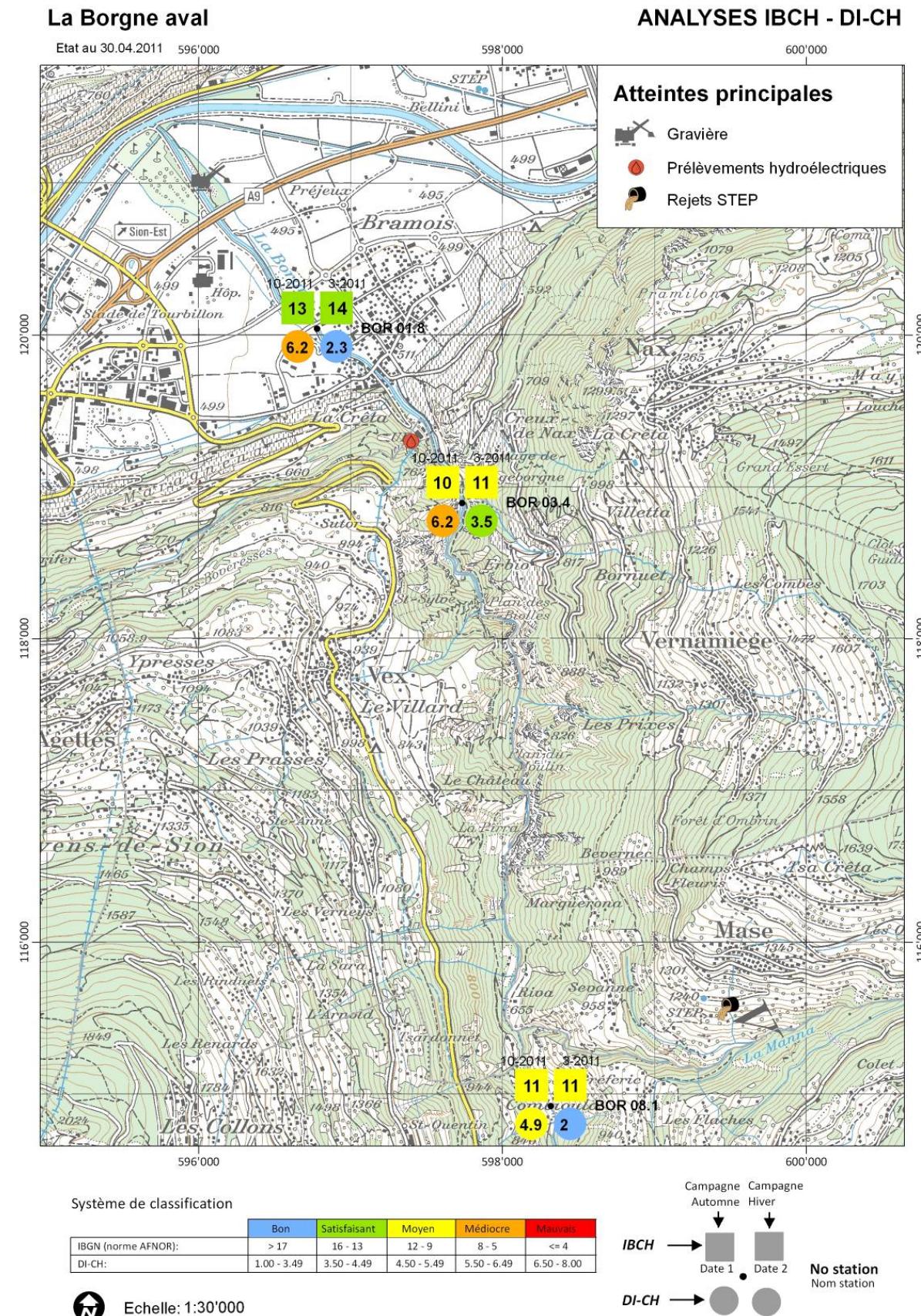


Figure 10 : Résultats des analyses IBCH et indices diatomiques de mars et d'octobre 2011, dans le secteur aval de la Borgne.

## 7. CONFRONTATION DE L'ENSEMBLE DES RESULTATS

	Période / station	Physico-chimie (paramètres déclassant $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_2^-$ et $\text{PO}_4^{3-}$ )	Bactériologie (paramètres déclassant : germes totaux, Entéroc. ou <i>E. coli</i> )	Diatomées DI-CH	Note IBCH (qualité selon norme IBCH)
Mars 2011	BOF 00.6 - Haudères amont	green	blue	1.13	14
	BOA 00.5 - Haudères amont	green	green	1.78	13
	BOR 19.2 - Evolène zone alluviale	green	green	1.98	13
	BOR 12.6 - La Lurette, amont gravière	green	orange	2.46	13
	BOR 09.0 - Euseigne, amont confluence	green	yellow	2.42	11
	BOR 08.8 - Combioula, amont STEP	green	green	2.27	13
	BOR 08.1 - Combioula, aval STEP	red	orange	1.97	11
	BOR 03.4 - Amont dépotoir	red	yellow	3.53	11
	BOR 01.8 - Bramois, Berthod	yellow	yellow	2.29	14
	DIX 08.7 - Pralong	green	blue	3.80	13
	DIX 01.6 - Sauterot amont	blue	orange	2.24	14
	DIX 00.2 - Amont confluence	green	yellow	1.70	14
Octobre 2011	BOF 04.2 - Salay	green	blue	1.16	13
	BOF 00.6 - Haudères amont	green	blue	1.54	13
	BOA 06.9 - Arolla	green	green	3.90	7
	BOA 00.5 - Haudères amont	green	yellow	5.40	13
	BOR 19.2 - Evolène zone alluviale	green	yellow	5.40	13
	BOR 12.6 - La Lurette, amont gravière	green	yellow	5.19	10
	BOR 09.0 - Euseigne, amont confluence	green	red	6.76	11
	BOR 08.8 - Combioula, amont STEP	green	yellow	4.58	13
	BOR 08.1 - Combioula, aval STEP	green	yellow	4.92	11
	BOR 03.4 - Amont dépotoir	green	orange	6.23	10
	BOR 01.8 - Bramois, Berthod	green	orange	6.19	13
	DIX 08.7 - Pralong	green	blue	1.46	14
	DIX 01.6 - Sauterot amont	green	yellow	1.76	12
	DIX 00.2 - Amont confluence	green	yellow	1.68	14

Tableau 25 : Confrontation des différents résultats obtenus sur les Borgnes et de la Dixence en 2011.

Légende :

██████████	excellent, présent uniquement dans les Alpes
██████████	très bon
██████████	bon
██████████	moyen
██████████	médiocre
██████████	mauvais
-	prélèvement non effectué

Globalement, l'ensemble des résultats concordent :

- Bonne qualité sur la Borgne de Ferrière et la Borgne d'Arolla à Pralong ;
- Dégradation en aval de la STEP d'Evolène, mise en service en 2010 (BOR 12.6) mais en travaux et hors service du 12 au 26 septembre 2011 ; la qualité biologique chute en octobre et passe en classe **moyenne** ; cette baisse également enregistrée par les diatomées est accompagnée d'une augmentation du niveau trophique ; les impacts de la STEP sont peut-être plus fortement révélés à la suite de la crue du 26-27 août 2011 ;
- Dégradation visible sur BOR 09.0, enregistrée en particulier par les diatomées en octobre, qui indiquent à l'aide du DI-CH des eaux de mauvaise qualité, liée à l'impact des rejets de la STEP d'Evolène hors service du 12 au 26 septembre, qui se cumulent aux rejets de celle de ST-Martin dans un tronçon à débit résiduel. ; cette dégradation ne se marque pas sur la physicochimie ni la bactériologie, car échantillonées trois semaines après la remise en service de la STEP d'Evolène ;

- Baisse de la qualité physico-chimique et IBCH en aval de la STEP de Combioula (BOR 08.1 ; en mars, la concentration en nitrites est considérée **mauvaise**) ;
- Borgne d'Arolla amont (BOA 06.9), en octobre, la qualité biologique **médiocre** est confirmée par les mauvais résultats bactériologiques (avec observation de déchets d'eaux usées dans l'eau) et les Diatomées (charge saprobique critique, charge trophique excessive, malgré un indice DI-CH moyen), confirme une altération par des eaux usées.

Toutefois, des divergences se voient sur certaines stations :

- La moins bonne qualité diatomique observée en octobre ne se reflète pas dans la qualité biologique ;
- En mars, la moins bonne qualité bactériologique ne se marque ni sur les diatomées, ni sur la qualité donnée par les IBCH ;
- Sur DIX 01.6, la qualité biologique **moyenne**, ne trouve pas d'explication.

## 8. COMPARAISON AVEC LES RESULTATS BIOLOGIQUES ANTERIEURS

Plusieurs prélèvements de faune benthique ont déjà été effectués en 1995, complétés par des échantillonnages en 2000. Le Tableau 26 présente les résultats disponibles dans la BD-Hydrobio qui peuvent être comparés.

Le nombre d'individus fluctue fortement selon les campagnes, et des proliférations sont observées, en particulier sur BOR 08.1 en octobre 1995. Groupes indicateurs et notes IBGN/CH ont globalement augmenté entre 1995 et 2011. Plus en détails, on peut tirer les conclusions suivantes :

- En 1995, la qualité était plutôt meilleure en octobre, alors qu'en 2011, c'est l'inverse ;
- En 1995, la station amont sur la Borgne d'Arolla (BOA 06.9) était de qualité satisfaisante (note IBGN de 13) avec un GI 9 caractérisé par les Perlodidae (taxon sensible à la qualité du milieu), alors qu'en 2011 la qualité biologique de cette station s'est nettement dégradée (note IBCH de 7) et un GI 6 représenté par les Nemouridae ; des eaux usées sont responsables de cette dégradation ;
- La qualité des deux stations en aval de Combioula (BOR 08.1 et BOR 03.4) n'a pas fondamentalement changée depuis 1995, malgré la mise en service de la STEP d'Hermance en 1996 (la forte prolifération observées en octobre 1995 ne se voit toutefois plus) ; soit des dysfonctionnements sont à soupçonner, soit d'autres atteintes limitent l'amélioration de la qualité des stations ;
- Par contre, la qualité de la station aval de la Borgne (BOR 01.8) s'est améliorée avec la présence de Perlodidae, taxon absent des IBGN de 1995 ;
- De même, la station amont de la Dixence (DIX 08.7) est de meilleure qualité en 2011, avec une diversité taxonomique qui a augmenté depuis 1995, passant de 12 à 15-19 taxons.

Campagne	Mars 1995*				Octobre 1995*				Décembre 2000**				Mars 2011				Octobre 2011			
Station	nbr indiv.	GI	Σt	IBG N	nbr indiv.	GI	Σt	IBG N	nbr indiv.	GI	Σt	IBG N	nbr indiv.	GI	Σt	IBC H	nbr indiv.	GI	Σt	IBCH
BOF 04.2	-	-	-	-	1'476	9	19	14	-	-	-	-	-	-	-	-	1'003	9	14	13
BOF 00.6/5	1'838	7	10	10	1'576	8	18	13	-	-	-	-	1'330	9	17	14	378	9	15	13
BOA 06.9	-	-	-	-	1'718	9	14	13	-	-	-	-	-	-	-	-	28	6	4	7
BOA 00.5	2'533	9	17	14	889	9	17	14	-	-	-	-	2'220	9	13	13	183	9	14	13
BOR 19.2	3'734	7	13	11	1'401	9	20	14	-	-	-	-	1'592	9	16	13	120	9	13	13
BOR 12.6	3'223	9	14	13	3'211	9	16	13	-	-	-	-	1'031	9	15	13	252	7	12	10
BOR 09.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1'476	7	16	11	418	7	14	11
BOR 08.8	-	-	-	-	-	-	-	-	5'334	8	18	13	1'146	9	14	13	942	9	13	13
BOR 08.1	373	7	13	11	25'401	7	20	12	-	-	-	-	888	7	16	11	457	7	16	11
BOR 03.4	-	-	-	-	-	-	-	-	2'707	7	14	11	1'517	7	16	11	486	7	11	10
BOR 01.8	1'388	7	11	10	3'791	7	16	11	-	-	-	-	1'431	9	17	14	495	9	14	13
DIX 08.7	181	9	12	12	297	9	12	12	-	-	-	-	228	9	15	13	1'405	9	19	14
DIX 01.6	-	-	-	-	-	-	-	-	1'643	9	16	13	1'029	9	19	14	4'896	7	19	12
DIX 00.2	-	-	-	-	-	-	-	-	3'669	9	17	14	1'213	9	19	14	2'642	9	17	14

\* en 1995, RCE Borgne-Dixence, bureau ETEC, avant la construction de la STEP de Combioula (1996)

\*\* en 2000, prélèvements effectués uniquement en décembre, bureau ETEC

GI = Groupe Indicateur

Σt = somme des taxons (diversité)

Tableau 26 : Comparaison des résultats obtenus sur le bassin versant des Borgnes et de la Dixence entre 1995 et 2011, à l'aide des l'IBGN/CH.

## 9. RESUME - CONCLUSION

Depuis 1990, le Service de la Protection de l'Environnement du Canton du Valais (SPE) effectue un programme annuel d'observation de la qualité des eaux de surface. Cette approche de la qualité globale des cours d'eau se base sur la caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux, l'étude des diatomées, ainsi que celle de la faune benthique (méthode biologique IBCH). L'étude 2011 s'est déroulée sur les bassins versants des Borgnes et de la Dixence en étudiant **les Borgnes d'Arolla** (sur env. 7 km) **et de Ferpècle** (sur env. 4 km), **la Borgne** (sur env. 20 km) **et la Dixence** (sur env. 9 km).

Tous les cours d'eau sont influencés par des captages servant à l'exploitation hydroélectrique. Les bassins versants comportent 2 stations d'épuration (STEP) implantées à Évolène et Combioula rejetant leurs eaux épurées directement dans la Borgne. Les STEP de St-Martin et Mase ont quant à elles leur exutoire dans les torrents du Botza et la Manna, affluents de la Borgne. Signalons aussi une petite STEP au pied du barrage de la Grande-Dixence qui ne fonctionne que lorsque la route et le restaurant sont ouverts. Deux gravières exploitent les matériaux dans le lit de la Borgne : en aval d'Évolène et du Pont Noir. Elles sont susceptibles d'influencer les stations en aval.

Pour l'étude de ce grand bassin versant, 2 stations d'échantillonnage ont été retenues sur chacune des Borgnes d'Arolla et de Ferpècle, 7 sur la Borgne elle-même et 3 sur la Dixence, en fonction de l'altitude, des caractéristiques de l'environnement et des aménagements. Trois campagnes physico-chimiques ont été réalisées (mars, août et octobre), mais uniquement, deux campagnes « diatomées » et « faune benthique » ont été menées (mars et octobre) en période d'étiage. Selon les buts recherchés et leur accessibilité, les stations ont fait l'objet d'une étude complète ou partielle.

Les campagnes d'analyses physico-chimiques et bactériologiques mettent en évidence une qualité d'eaux variable suivant la localisation des stations. En août, les concentrations en phosphore total sont supérieures aux objectifs de qualité des eaux, mais elles sont à mettre en lien avec les MES apportées par la fonte glaciaire (notamment la fonte du sérac du Mont-Collon) et ne sont pas d'origine organique. A l'aval de la STEP de Combioula, les nitrates et ions ammonium s'élèvent légèrement avec apparition de nitrites à mettre en relation avec le fonctionnement de la STEP d'Hérémence.

Selon le DI-CH (Diatomées), la plupart des stations atteignent les objectifs écologiques de l'OEAUX. Elles sont qualifiées de « très bonnes » ou « bonnes » en mars, mais de moins bonne qualité en octobre (de « très bon » à « mauvais »). Cette différence est également enregistrée sur le nombre de taxons et la densité, tous deux plus importants en mars qu'en octobre. Dans les 24 échantillons prélevés, 149 taxons de diatomées ont été trouvés, nombre très proche de celui recensé en 2009-2010 dans le Val d'Anniviers qui représente le 50% de la flore rhéophile valaisanne répertoriée actuellement. L'importance de la biodiversité des vallées latérales du Rhône pour la flore du canton peut être relevée encore ici. Avec ces prélèvements, 10 nouveaux taxons pour la flore des rivières valaisannes ont été trouvés. On notera également la présence de diatomées sensibles dans les stations amont.

La crue du 26-27 août 2011, par son pouvoir abrasif a eu un impact marqué sur la diminution de la diversité et la densité des peuplements entre les échantillons de mars et ceux d'octobre. Comme indicateur de la qualité des eaux, les diatomées révèlent des apports d'eaux usées, plus particulièrement en octobre 2011, en aval d'Arolla non équipée de STEP et plus en aval sur la Borgne due à la mise hors service de la STEP d'Évolène sur les 15 derniers jours de septembre.

D'après les invertébrés benthiques (méthode IBCH), et contrairement aux autres bassins versants précédemment étudiés, les Borgnes révèlent une abondance et une diversité inférieure en automne, alors que la Dixence a une plus grande diversité taxonomique en octobre.

Au regard des résultats IBCH, les Borgnes montrent une qualité satisfaisante jusqu'à la station BOR 12.6 (la Lurette, amont gravière). Fait exception la station amont de la Borgne d'Arolla, seulement prélevée en octobre, et qui possède une qualité « médiocre » (rejet d'eaux usées). Par contre, dès l'amont de la Lurette et en aval, les atteintes se marquent sur la qualité biologique qui passe en « moyen » en mars et en octobre (BOR 12.6, BOR 09.0, BOR 08.1, BOR 03.4), à l'exception de la station BOR 08.8 qui est « satisfaisante », sans permettre toutefois l'installation des taxons les plus sensibles (Perlodidae). La qualité biologique redevient « satisfaisante » dans la station aval de la Borgne avec l'installation d'un des taxons les plus sensibles (Perlodidae). Le test de robustesse qui est appliqué en présence des Taeniopterygidae

comme seul représentant du GI 9 déclasse les notes de 2 points. Les effets sont respectivement d'amont vers l'aval : le rejet de la STEP d'Evolène, les gravières de Villette et du Pont Noir, la prise d'eau de la Luette, le rejet de la STEP d'Hérémence.

La qualité des eaux de la Borgne s'est améliorée depuis la mise en service de la STEP d'Evolène en 2010.

La Borgne et la Dixence souffraient en aval des captages de la Luette et du Sauterot d'un déficit important en eau du fait de l'absence de débits résiduels avant 2010. Depuis l'approbation d'une nouvelle concession, la mise en place de débits de dotation de 565 l/s sur la Borgne à la Luette et de 315 l/s sur la Dixence au Sauterot depuis 2010 a permis d'améliorer sensiblement la qualité hydrobiologique des cours d'eaux, ainsi que la qualité des eaux en aval du rejet de la STEP d'Hérémence.

Afin de poursuivre l'amélioration la qualité de la Borgne et de la Dixence, les propositions suivantes peuvent être formulées :

- mettre en œuvre les plans généraux d'évacuation des eaux (PGEE) sur les communes d'Evolène, Hérémence et St-Martin, ainsi que sur le village de Mase rattaché à la commune du Mont-Noble afin de corriger les déficits observés sur le réseau d'eaux usées et raccorder les rejets encore existants ;
- mettre en place un système de traitement des eaux usées pour les villages non équipés d'Arolla, la Luette et Praz-Jean ;
- réduire les quantités d'eaux claires parasites apportées par les réseaux d'assainissement en entrée de STEP (actuellement de 80% sur Evolène et 70% sur St-Martin) qui perturbent le fonctionnement et les rendements d'épuration des STEP ;
- mettre en service la nouvelle STEP de Mâche-Riod (350 EH) et poursuivre les raccordements en séparatif ;
- améliorer la structure écomorphologique de la Borgne en aval des Haudères en rive gauche et en plaine pour que sa morphologie soit plus naturelle et puisse offrir des substrats plus diversifiés (au minimum avec des bancs alternés) ; pour la partie aval, un projet sécuritaire couplé à une renaturation est toujours dans l'attente d'une autorisation ;
- améliorer la gestion de la zone alluviale de Pramousse-Satarma par une orientation et un suivi biologique, plus particulièrement lors des événements de crue qui se traduisent par un apport important de matériaux ;
- optimiser l'exploitation de la gravière de la Villette afin de réduire son impact sur la Borgne ;
- effectuer les opérations de purge et rinçage de manière coordonnée sur les deux bassins versant des Borgnes et de la Dixence avant la fin septembre de manière à favoriser une recolonisation lors des journées d'octobre qui peuvent encore être chaudes et ensoleillées ;
- afin de mieux distinguer l'impact des purges et de les réduire, effectuer régulièrement des mesure de MES, ainsi que des dénombremens quantitatifs de diatomées, avant et après les purges ;
- mettre en place les mesures proposées dans le plan cantonal d'assainissement des aménagements hydroélectriques (art. 80 LEaux) avec des crues morphogènes sur la Borgne et la Dixence, l'aménagement des rives de la Borgne en aval des Haudères et un débit résiduel en aval du captage de Leteygeon-Fréta (1'530 m) sur la Dixence.

Sion, janvier 2013

Document établi par Régine Bernard, Stéphanie Rey et Dr François Straub

## BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR, 2004. Qualité des eaux. Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). *NF T90-350. Paris.*
- AFNOR, 2000. Norme Française NF T 90-354. Détermination de l'Indice Biologique Diatomées (IBD). Juin 2000, 63 p.
- Agences de l'Eau, 1999. Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau. Rapport de présentation SEQ-Eau. *Les études de l'Agence de l'Eau n° 64.*
- Agences de l'Eau, 2000. Indice Biologique Global Normalisé I.B.G.N. NF-T90-350. Guide technique. *Agence de l'eau 2<sup>ème</sup> édition, 37p.*
- ASCHWANDEN H. & WEINGARTNER R. (1986). Die Ablussregimes der Schweiz. *Geologie des Schweiz-Hydrologie, n° 33.*
- BERNARD R., PERRAUDIN KALBERMATTER R., BERNARD M., 1994. Observation de la qualité des eaux de surface du Canton du Valais. Le Rhône et neuf de ses affluents. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., campagne 1993, p. 197-240.*
- BERNARD, R. & STRAUB, F., 2010. Observation de la qualité des eaux de surface du canton du Valais. Campagne 2009-2010 : La Navisence. Rapport Bureaux ETEC Sàrl et PhycoEco pour le Service de la protection de l'environnement (canton du Valais), 75 p. et 4 annexes.
- CORDONIER A., STRAUB F., ETEC, 2000. Observation de la qualité des eaux de surface. Etude pilote : Diatomées sur la Dranse de Bagnes. *Service de la Protection de l'Environnement, Canton du Valais. 13 p. + annexes.*
- CORDONIER A., 2000. Comparaison de plusieurs méthodes diatomiques pour diagnostiquer la qualité de l'eau des cours d'eau : application à la Dranse de Bagnes. *Conférence lors du Congrès de la CILEF, Clermont-Ferrand, juillet 2000.*
- CORDONIER A. et ETEC, 2001. Observation de la qualité des eaux de surface ; campagne 2000 : la Morge. *Service de la protection de l'environnement. Canton du Valais.*
- CORDONIER A., STRAUB F., BERNARD R., BERNARD M., 2004. Bilan de la qualité de l'eau des rivières valaisannes à l'aide des diatomées. *Bulletin des sciences naturelles du Valais, la Murithienne 12 : 73-82.*
- COSTE M. et PRYGIEL J., 1998. Mise au point de l'indice biologique diatomée, un indice diatomique pratique applicable au réseau hydrographique français. *L'eau, l'industrie, les nuisances, n° 211, 1998.*
- DENYS L., 1991. A check-list of the diatoms in the holocene deposits of the western belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements. I. Introduction, ecological code and complete list. *Service géologique de Belgique, Professional paper 246 : 1-41.*
- EAWAG, 1991. L'azote dans l'air et l'eau. *Nouvelles de l'EAWAG n° 30. Dübendorf.*
- ELBER F., MARTI K. & NIEDERBERGER K., 1991. Pflanzenökologische und limnologische Untersuchung der Reussdelta-Gebiete (Kanton Uri). *Ver. Geobot. Inst. ETHZ, Stift. Rübel, Zürich, Heft 105 : 1-272.*
- ENGELBERG K., 1987. Die Diatomeen-Zönose in einem Mittelgebirgsbach und die Abgrenzung jahreszeitlicher Aspekte mit Hilfe der Dominanz-Identität. *Arch. Hydrobiol., 110 (2), 217-236.*

- ESGUERRA, O. C., RIVOGNAC, L., GEORGES, A & HORN M., 2006. Les formes téralogiques chez les diatomées. 1 Introduction. *Diatomania* 10, 18-38.
- ETEC, 2000. Etude statistique des données hydrobiologiques du Canton du Valais. *Service de la Protection de l'Environnement de l'Etat du Valais*.
- ETEC & CORDONIER A., 2003. Observation de la qualité des eaux de surface ; campagne 2003 : La Fare. *Service de la protection de l'environnement. Canton du Valais*. 56 p. + annexes.
- ETEC & CORDONIER A., 2004. Observation de la qualité des eaux de surface ; campagnes 2003-2004 : Le Trient. Service de la protection de l'Environnement. *Canton du Valais*. 59 p. + annexes.
- ETEC & CORDONIER A., 2005. Observation de la qualité des eaux de surface ; campagnes 2004-2005 : La Liène. Service de la protection de l'Environnement. *Canton du Valais*. 52 p. + annexes
- ETEC & CORDONIER A., 2006. Observation de la qualité des eaux de surface ; campagnes 2005-2006 : La Dranse de Ferret. Service de la protection de l'Environnement. *Canton du Valais*. 55 p. + annexes
- ETEC & Straub F., 2007. Observation de la qualité des eaux de surface ; campagnes 2006-2007 : La Saïlentse. Service de la protection de l'Environnement. *Canton du Valais*. 50 p. + annexes
- ETEC & Straub F., 2007. Observation de la qualité des eaux de surface ; campagnes 2006-2007 : La Sionne. Service de la protection de l'Environnement. *Canton du Valais*. 54 p. + annexes
- ETEC & Straub F., 2009. Observation de la qualité des eaux de surface ; campagnes 2007-2009 : Le Rhône de Gamsen à Martigny. Service de la protection de l'Environnement. *Canton du Valais*. 125 p. + annexes.
- FALASCO, E., BONA, F., BADINO, G., HOFFMANN, L. & ECTOR, L., 2009. Diatom teratological forms and environmental alterations: a review. *Hydrobiologia* 623 : 1-35.
- HOFMANN G., 1987. *Diatomeengesellschaften saurer Gewässer des Odenwaldes und ihre Veränderungen durch anthropogene Faktoren*. Diplomarbeit an der Universität Frankfurt am Main : 1-264.
- HOFMANN G., 1994. Aufwuchs-Diatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. *Bibliotheca Diatomologica* 30. J. Cramer, Berlin, Stuttgart. 241 p.
- HÜRLIMANN J., 1993. *Kieselalgen als Bioindikatoren aquatischer Ökosysteme zur Beurteilung von Umweltbelastungen und Umweltveränderungen*. Dissertation, Universität Zürich 1-118.
- HÜRLIMANN J. et NIEDERHÄUSER P., 2002. Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse : Diatomées - niveau R (région). A paraître dans : L'Environnement pratique - Information concernant la qualité des eaux. *OFEFP, Berne*.
- HÜRLIMANN J. et NIEDERHÄUSER P., 2006. « Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer in der Schweiz (Modul-Stufen-Konzept) - Kieselalgen Stufe F ». Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Wasser, Sektion Gewässerreinhaltung und Restwasser. 3003 Bern. 122 p.
- HÜRLIMANN J. & STRAUB F., 1991. Morphologische und ökologische charakterisierung von Sippen um den *Fragilaria capucina* - komplex sensu Lange-Bertalot 1980. *Diatom Research* 6 (1) : 21-47.
- HOFMANN G., 1987. *Diatomeengesellschaften saurer Gewässer des Odenwaldes und ihre Veränderungen durch anthropogene Faktoren*. Diplomarbeit an der Universität Frankfurt am Main : 1-264 .
- IDEALP, BINA, FORUM UMWELT AG, NIVALP SA et GRENA 2009a. Notice d'impact de purge et vidange. Bassin de Mottec – FMG. Rapport pour le canton du Valais, 29 p.

- IDEALP, BINA, FORUM UMWELT AG, NIVALP SA et GREN 2009b. Notice d'impact de purge et vidange. Bassin de Vissoie – FMG. Rapport pour le canton du Valais, 25 p.
- ILLIES J., BOTOSANEANU L. 1963. Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique.
- KNISPEL S., KLEIN A., BERNARD M., BORNARD C., PERFETTA J., RATOUIS C., 2005. Qualité biologique des cours d'eau du bassin versant lémanique. *Rapp. Comm. Int. proc. eaux Léman contre pollution, Campagne 2004*, 117-129
- KOLKWITZ R., 1950. Oekologie der Saproben. Ueber die Beziehungen der Wasserorganismen zur Umwelt. *Schriftenreihe des Verein für Wasser-, Boden-, und Lufthygiene 4*, Piscator Ver., Berlin-Dahlem : 1-64.
- KRAMMER K., LANGE-BERTALOT H., 1986-1991. « Süsswasserflora von Mitteleuropa ». *Band 2, 1.-4. Teil. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart*
- LANGE-BERTALOT H., 1978. Diatomeen-Differentialarten anstelle von Leitformen: ein geeigneteres Kriterium der Gewässerbelastung. *Arch. Hydrobiol., Suppl.* 51 : 393-427.
- LANGE-BERTALOT H., 1979a. Pollution tolerance of Diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia, Beiheft* 64 : 285-304.
- LANGE-BERTALOT H., 1979b. Toleranzgrenzen und Populationsdynamik benthischer Diatomeen bei unterschiedlich starker Abwasserbelastung, exemplarisch für den unteren Main. *Arch. Hydrobiol., Suppl.* 56 : 184-219.
- LANGE-BERTALOT H., 1993. 85 New Taxa and much more than 100 taxonomic clarifications supplementary to Süsswasserflora von Mitteleuropa vol. 2. *Bibliotheca diatomologica 27* : 1-454.
- LANGE-BERTALOT H., METZELTIN D., 1996. Indicators of Oligotrophy 800 taxa representative of three ecologically distinct lake type. *Iconographia Diatomologica, Volume 2*. Koeltz Scientific Books. 1996. 390 p.
- LEGENDRE L. et LEGENDRE P., 1984. Ecologie numérique 1. Le traitement multiple des données écologiques. (2e éd.). *Coll. d'écologie 12, Masson, Paris, 260 p.*
- LENOIR A. et COSTE M., 1996. Development of a practical diatom indice of overall water quality applicable to the french national water board network. In "Use of algae for monitoring rivers II. B.A. Whitton & E. Rott (eds), E Rott, Institut für Botanik, Univ. Innsbruck: 29-43.
- LIEBMANN H., 1958. Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie. Biologie des Trinkwassers, Badewassers, Frischwassers, Vorfluters und Abwassers. Band 1. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena : 1-640.
- LECOINTE C., COSTE M., PRYGIEL J., 1993. OMNIDIA : software for taxonomy. Calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia 269/270: 509-513.*
- LOIR M., 2004. Guide des diatomées . *Les guides du naturaliste. Delachaux et Niestlé, Paris, 2004. 239 pages*
- Ministère de l'environnement et du cadre de vie, 1979. Paramètres de la qualité des eaux. *Direction de la prévention des pollutions. Neuilly-sur-Seine.*
- NISBET M. et VERNEAUX J., 1970. Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Ann limno t. 6, fasc. 2, p. 161-190*

- NIVALP et GREN 2010. Bassin de compensation de Mottec et bassin de compensation de Vissoie. Suivi des purges et vidanges 2009 et plan global de gestion des purges et vidanges sur le bassin versant de la Navizence. Rapport pour les Forces motrices de La Gougra SA, 41 p. et 6 annexes.
- NOEL F. et FASEL D., 1985. Etude de l'état sanitaire des cours d'eau du canton de Fribourg. *Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. - Vol 74 1/2/3 p. 1-332.*
- OFEFP, 1991. Recommandations pour l'évaluation de la qualité hygiénique des eaux de baignade de lacs et de rivières. *Information concernant la protection des eaux n°7.*
- OFEFP, 1998. Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse, système modulaire gradué. *Informations concernant la protection des eaux n°26*, 43 p.
- OFEFP, 2004. Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Module chimie - Analyses physico-chimiques niveau R et C. Projet. *Informations concernant la protection des eaux.*
- REICHARDT E., 1991. Beiträge zur Diatomeenflora der Altmühl III : Wasserqualität und Diatomeenbesatz. *Arch. Hydrobiol., Alg. Studies* 62 : 107-132.
- RENKONEN O., 1938. Statistisch-ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore. *Ann. Zool. Soc. Zool. Bot. Fenn. Vanamo* 6/1, 231. Cité par ENGELBERG, K. 1987.
- RIMET F., et al., 2005. Benthic diatoms in western European streams with altitudes over 800 m : Characterisation of the main assemblages and correspondence with ecoregions. *A paraître dans J. of Phycology*
- SCHIEFELE S., 1987. Indikationswert benthischer Diatomeen in der Isar zwischen Mittenwald und Landsberg. *Diplomarbeit am Lehrstuhl für systematische Botanik an der Ludwig-Maximilians-Universität München* : 1-207.
- SCHMEDTJE U., BAUER A., GUTOWSKI A., HOFMANN G., LEUKART P., MELZER A., MOLLENHAUER D., SCHNEIDER S. & TREMP, H., 1998. Trophiekartierung von aufwuchs- und makrophytendominierten Fließgewässern. *Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München. Informationberichte Heft 4/99*, 516 p.
- SLADECEK, V., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol., Beih. 7* (1-4) : 1- 218.
- STECK et al., 1999. Carte tectonique des Alpes de Suisse occidentale et des régions avoisinantes. Carte géologiques spéciales n° 123. *Service hydrologique et géologique national.*
- STUCKI, P., 2010. Méthodes d'analyses et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Macrozoobenthos-niveau R. L'Environnement Pratique n°1026. *Office Fédéral de l'Environnement, Berne*, 61 p.
- GAP-VS, 2007. Rapport d'assainissement pour les cours d'eau avec différents captages. Bassin versant de la Tièche / Raspille, Sionne, Losentse, Rèche. *Canton du Valais*
- STRAUB F & JEANNIN P.-Y., 2006. Efficacité autoépuratoire de tracés aérien et karstique d'un effluent de station d'épuration (La Ronde, Jura suisse) : valeur indicative des diatomées. *Symbioses*, n<sup>o</sup>le sér., 14, p. 35-41.
- WASSON JG, CHANDESRIS A., et PELLA H., 2002. Définition des hydro-écorégions de France métropolitaine. Approche régionale de typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés. *Rapport CEMAGREF Lyon BEA/LHQ et MATE/DE*, 190 p.

WASSON JG, CHANDESRIS A., PELLA H. et BLANC L, 2003. Typologie des eaux courantes pour la Directive Cadre Européenne sur l'eau : l'approche par hydro-écorégions. *CEMAGREF Lyon*.

WASSON JG, CHANDESRIS A., PELLA H., BLANC L., VILLENEUVE B. et MENGIN N., 2004. Détermination des valeurs de référence de l'IBGN et propositions de valeurs limite du « bon état » Version 2, document de travail. *CEMAGREF, VALOREZ, ZABR*.

## ANNEXES

Annexe 1 : Tableau des résultats d'analyses physico-chimiques et bactériologiques effectuées sur les Borgnes et la Dixence en 2011.

Annexe 2 : Diatomées et qualité des eaux de rivières : méthodes du bureau PhycoEco, janvier 2012.

Annexes 3 : Tableau des résultats bruts des analyses des peuplements de diatomées des Borgnes et de la Dixence en 2011. **Voir fichier électronique.**



Rivière	Lieu - Station	Code	Altitude	Date	ANALYSES IN SITU						ANALYSES EN LABORATOIRE										BACTERIOLOGIE			
					Débit	temp.	Cond.	pH	O2	O2	Cond. Labo	pH	MES	COT	Cl	COD	Ptot	PO4	NH4	NO2	NO3	Germes aérob. méso	Esch. Coli	Entéro-coques
		m			I/s	°C	µS/cm	mg/l	%	µS/cm		mg/L	mg/L C	mg/L	mg/L C	mg/L P	mg/L P	mg/L N	mg/L N	mg/L N	n/ml	n/100 ml	n/100 ml	
B. Ferpècle	Salay	BOF 04.2	1755																					
B. Ferpècle	Haudères amont	BOF 00.6	1450	14.03.2011	84	2.8	169	7.9	10.8	94.5	172	8.2	14.0	0.67	1.3	0.56	0.029	0.009	0.347	0.001	0.33	400	4	5
B. Arolla	Arolla	BOA 06.9	1895																					
B. Arolla	Haudères amont	BOA 00.5	1440	14.03.2011	169	4.3	245	8.0	10.9	100	244	8.5	4.1	0.93	1.6	0.67	0.033	0.008	0.201	0.007	0.00	900	35	120
Borgne	Evolène z. alluviale	BOR 19.2	1345	14.03.2011	394	5.9	410	8.3	10.2	96	408	8.3	3.2	0.81	2.9	0.63	0.030	0.014	0.179	0.005	0.08	750	3	15
Borgne	La Luette amont gravière	BOR 12.6	997	14.03.2011	681	4.5	835	8.2	8.2	92.4	825	8.1	133.3	0.79	2.7	0.65	0.075	0.009	0.080	0.004	0.47	950	500	1200
Borgne	Euseigne amont confluence	BOR 09.0	720	14.03.2011	352	4.8	796	8.8	11.4	97	794	8.1	2.8	0.84	4.9	0.68	0.032	0.010	0.225	0.006	0.71	230	65	410
Borgne	Combioula amont STEP	BOR 08.8	710	14.03.2011	265	3.5	713	8.2	12.1	100	712	8.3	10.8	0.94	4.8	0.59	0.033	0.009	0.230	0.006	0.73	280	80	80
Borgne	Combioula aval STEP	BOR 08.1	685	14.03.2011	269	3.5	980	8.3	13.8	112	704	8.2	11.3	0.90	5.5	0.79	0.048	0.011	0.347	0.062	0.95	9'600	3'000	1'600
Borgne	Amont dépotoir	BOR 03.4	540	14.03.2011	264	8.2	1084	8.3	13.5	123	1055	8.3	35.6	0.82	32.3	0.62	0.057	0.013	0.455	0.050	0.99	600	1'000	1'000
Borgne	Bramois Berthod	BOR 01.8	505	14.03.2011		6.5	888	8.1	10.8	92	877	8.2	116.5	0.88	16.1	0.65	0.074	0.011	0.417	0.020	0.67	3'000	1'000	600
Dixence	Pralong	DIX 08.7	1610	14.03.2011	135	4.7	222	8.3	10.2	96.1	235	8.2	0.4	0.52	0.7	0.38	0.032	0.005	0.264	0.000	0.33	108	0	0
Dixence	Sauterot amont	DIX 01.6	925	14.03.2011	118	3.1	842	8.8	11.2	93	836	8.0	40.9	0.83	6.0	0.50	0.035	0.005	0.052	0.002	0.74	1'250	480	1'400
Dixence	Amont confluence	DIX 00.2	720	14.03.2011	85	2.9	512	8.5	12.6	102	508	8.3	26.5	0.82	4.2	0.50	0.033	0.007	0.342	0.001	0.63	350	170	250
B. Ferpècle	Salay	BOF 04.2	1755	17.08.2011		3.8	11	11.4	116	13	7.2	345.6	0.40	0.0	0.26	0.155	0.005	0.041	0.007	0.24	66	2'000	8	
B. Ferpècle	Haudères amont	BOF 00.6	1450	17.08.2011		10.0	68	7.5	9.3	97	76	7.7	27.6	0.52	0.4	0.43	0.024	0.010	0.032	0.010	0.32	30	3	20
B. Arolla	Arolla	BOA 06.9	1895	17.08.2011		9.5	157	7.5	9.2	100	148	7.8	174.1	0.65	0.2	0.38	0.160	0.013	0.048	0.008	0.38	12'000	30'000	7'400
B. Arolla	Haudères amont	BOA 00.5	1440	17.08.2011		12.1	195	8.1	9.2	101	193	8.0	151.6	0.69	0.4	0.31	0.113	0.009	0.038	0.009	0.36	800	480	450
Borgne	Evolène z. alluviale	BOR 19.2	1345	17.08.2011		11.6	324	8.0	8.8	94	260	8.0	104.2	0.45	0.5	0.36	0.093	0.006	0.034	0.011	0.36	250	600	330
Borgne	La Luette amont gravière	BOR 12.6	997	17.08.2011		10.5	487	8.4	10.2	102	494	8.1	168.3	0.66	0.6	0.33	0.172	0.019	0.033	0.010	0.47	420	1'500	200
Borgne	Euseigne amont confluence	BOR 09.0	720	17.08.2011		10.9	378	8.2	10.3	101	385	8.1	361.5	0.74	1.1	1.40	0.169	0.032	0.029	0.011	0.60	1'600	10'000	1'000
Borgne	Combioula amont STEP	BOR 08.8	710	17.08.2011		10.5	375	8.2	10.4	101	385	8.1	197.6	0.76	1.4	0.28	0.139	0.029	0.036	0.010	0.54	510	2'000	600
Borgne	Combioula aval STEP	BOR 08.1	685	17.08.2011		10.8	380	7.7	10.3	100	398	8.1	58.3	0.77	2.2	0.26	0.056	0.022	0.042	0.008	0.70	800	540	320
Borgne	Amont dépotoir	BOR 03.4	540	17.08.2011		12.8	843	8.4	10.1	101	847	8.1	44.0	0.69	26.5	0.42	0.063	0.019	0.020	0.005	0.66	800	630	250
Borgne	Bramois Berthod	BOR 01.8	505	17.08.2011		10.1	462	8.0	10.3	97	465	8.1	641.6	0.80	6.3	0.37	0.283	0.008	0.015	0.007	0.46	4'500	1'000	1'500
Dixence	Pralong	DIX 08.7	1610	17.08.2011		8.8	212	8.3	9.7	100	225	8.2	0.1	0.32	0.0	0.30	0.014	0.010	0.028	0.008	0.41	48	63	37
Dixence	Sauterot amont	DIX 01.6	925	17.08.2011		11.1	734	8.5	10.5	106	726	8.3	49.0	0.62	3.3	0.32	0.023	0.008	0.093	0.012	0.55	1'800	1'300	1'800
Dixence	Amont confluence	DIX 00.2	720	17.08.2011		10.3	391	8.4	10.1	97.3	409	8.2	1.5	0.56	1.3	0.53	0.018	0.003	0.029	0.007	0.46	350	270	60
B. Ferpècle	Salay	BOF 04.2	1755	17.10.2011	116	1.0	67	7.8	11.5	99	69	7.4	10.1	0.64	0.0	0.34	0.055	0.003	0.190	0.001	0.24	42	1	9
B. Ferpècle	Haudères amont	BOF 00.6	1450	17.10.2011	124	1.0	113	7.3	11.4	99.5	112	7.7	1.8	0.59	0.0	0.39	0.052	0.016	0.160	0.001	0.29	93	9	22
B. Arolla	Arolla	BOA 06.9	1895	17.10.2011	139	3.4	175	8.1	10.4	98	175	7.7	0.0	0.49	0.0	0.34	0.014	0.009	0.202	0.000	0.35	600	146	56
B. Arolla	Haudères amont	BOA 00.5	1440	17.10.2011	351	3.0	205	7.9	11.3	98	203	7.9	25.3	0.51	0.0	0.33	0.027	0.005	0.140	0.000	0.26	160	190	75
Borgne	Evolène z. alluviale	BOR 19.2	1345	17.10.2011		4.0	306	7.3	10.4	94	366	7.8	74.6	0.76	0.6	0.37	0.067	0.004	0.146	0.002	0.29	2'000	150	150
Borgne	La Luette amont gravière	BOR 12.6	997	17.10.2011	409	4.0	578	7.6	11.6	101	578	8.1	121.9	0.87	0.8	0.58	0.071	0.024	0.152	0.002	0.34	600	800	260
Borgne	Euseigne amont confluence	BOR 09.0	720	17.10.2011	160	6.5	573	8.0	11.0	97	571	8.1	77.8	0.89	1.8	0.42	0.047	0.009	0.135	0.002	0.47	830	650	320
Borgne	Combioula amont STEP	BOR 08.8	710	17.10.2011		6.0	588	7.6	11.4	100	588	8.0	68.6	0.54	1.8	0.45	0.077	0.008	0.137	0.003	0.47	640	620	430
Borgne	Combioula aval STEP	BOR 08.1	685	17.10.2011	243	6.0	557	7.5	11.2	99	562	8.0	58.4	0.89	3.6	0.47	0.061	0.023	0.141	0.007	0.68	920	1'140	580
Borgne	Amont dépotoir	BOR 03.4	540	17.10.2011		8.0	1048	6.7	10.4	99	1038	8.1	24.8	1.10	31.5	0.53	0.036	0.023	0.137	0.004	0.61	900	60	180
Borgne	Bramois Berthod	BOR 01.8	505	17.10.2011		7.0	680	6.5	11.0	97	679	8.1	154.9	0.81	9.0	0.80	0.088	0.018	0.137	0.003	0.42	1'210	600	450
Dixence	Pralong	DIX 08.7	1610	17.10.2011	123	6.0	224	7.8	10.5	100	222	8.2	1.5	0.48	0.0	0.23	0.018	0.003	0.121	0.000	0.35	91	13	1
Dixence	Sauterot amont	DIX 01.6	925	17.10.2011							482	8.1	652.0	0.89	1.5	0.74	0.348	0.004	0.177	0.004	0.35	2'280	200	900
Dixence	Amont confluence	DIX 00.2	720	17.10.2011	61	5.5	573	8.2	11.2	97.3	591	8.1	41.8	1.37	3.0	0.91	0.056	0.002	0.136	0.002	0.44	3'040	610	550

Très bon	Moyen	Mauvais
Bon	Médiocre	

## ANNEXES 2

**Diatomées et qualité des eaux de rivières : méthodes du bureau PhycoEco, janvier 2012**

# Diatomées et qualité des eaux de rivières : méthodes du bureau PhycoEco

F. Straub, janvier 2012

## Préambule

Les méthodes sélectionnées ci-dessous sont destinées à apprécier la qualité des eaux courantes de rivières uniquement. C'est la raison pour laquelle, seule la communauté de diatomées épilithiques (qui vit sur les galets) en plein courant est étudiée, communauté dépendante uniquement des apports de l'eau. Pour des recherches plus globales, d'estimation de l'état de santé du milieu dans sa globalité et de biodiversité, des méthodes complémentaires peuvent être ajoutées, pour étudier aussi les autres compartiments de l'écosystème (rive, bras morts, sables, limons, herbier) via les autres communautés de diatomées qui y vivent.

## Descriptif des méthodes

### **• Prélèvement, préparation, analyse des diatomées et estimation de la vitesse de l'eau**

Dans chaque station, au minimum trois pierres du cours d'eau, situées dans le courant et immergées à environ 10-15 cm de profondeur, sont choisies. Sur chacune, le périphyton vierge d'algues filamenteuses est gratté à l'aide de l'appareil de Douglas (DOUGLAS, 1958) sur une surface de 4.9 cm<sup>2</sup>. La suspension brute récoltée est mise dans un pilulier et additionnée de formol à 30%, à raison d'une concentration finale de 3%.

Pour détruire la matière organique et nettoyer les frustules des diatomées, de l'acide chlorhydrique (HCl) et de l'eau oxygénée (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) sont ajoutés dans un pilulier de chaque station. Le traitement des échantillons est réalisé selon une des méthodes préconisées par le manuel s'application de la méthode suisse (STRAUB 1981 *in* HÜRLIMANN J. et NIEDERHÄUSER P., 2006 p. 119), légèrement modifiée : l'usage des acides à chaud a été remplacé par un traitement à H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à froid pendant 3 semaines.

Les frustules nettoyés sont repris en suspension avec des volumes connus d'eau déminéralisée, pour pouvoir estimer quantitativement la biomasse des diatomées présentes dans le périphyton. La suspension propre (0,3 ml par préparation) est ensuite montée entre lame et lamelle dans du Naphrax.

L'observation des échantillons se fait au microscope en contraste de phase (grossissement 10×100).

Pour chaque station, un échantillon statistique d'au moins 500 valves entières est dénombré. Les différentes diatomées sont identifiées jusqu'à l'espèce, voire la variété, en suivant la taxonomie de base de KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986-1991) complétée par les révisions les plus récentes. Les fragments sont relevés à part sans identification. Les formes tétratologiques (monstrueuses) de diatomées sont aussi relevées à l'espèce. La surface de préparation microscopique nécessaire au dénombrement des 500 valves est relevée pour pouvoir calculer, via les dilutions successives, la biomasse de diatomées présente dans le périphyton.

A l'endroit du prélèvement des pierres, la vitesse du courant est estimée par dérive d'un bouchon fixé à une ligne de 2 m.

Cette méthode permet d'exprimer les caractéristiques des peuplements de diatomées et de calculer les différents indices de diagnostic de qualité, présentés ci-dessous.

### **• Relevés de terrain**

Lors de chaque prélèvement, les caractéristiques écomorphologiques et les aspects généraux de qualité d'eau (aspect visuel) sont relevés sur une grille d'analyse, qui reprend en un peu plus détaillé, les critères retenus par les deux modules proposés dans le Système modulaire gradué de la Confédération. Pour cela j'ai conservé les grilles de relevés conçues par le Bureau AquaPlus, de Zoug, car nous utilisons ceux-ci depuis 1990 et pour que la valorisation de ces résultats dans le cadre de la banque de données suisse

sur les diatomées puisse être constante. Il va de soi que l'on peut convertir en tout temps, au besoin, ces observations, dans les grilles standardisées de la Confédération.

Selon cette conception, la grille d'aspect visuel permet d'appliquer un indice de qualité visuelle de l'eau qui varie de 0 à 235 selon l'échelle ci-dessous :

Valeur indice	0	1 à 4	5 à 24	25 à 124	124 à 235
Préjudices	Sans	Légers	Modérés	Forts	Excessifs
Nécessité de traitement	Non	Non	Oui	Oui	Oui
			Epuration nécessaire	Mesures nécessaires	Mesures immédiates nécessaires

- **Densité de diatomées et biomasse**

La densité de diatomées est exprimée en nombre de cellules de diatomées par cm<sup>2</sup>. Des variations de densité peuvent être liées à des fluctuations des concentrations d'engrais, de substances toxiques dans les eaux et de température. En rivière, la densité dépend aussi de l'énergie mécanique du courant, c'est pour cette raison que la vitesse de l'eau est estimée sur place, pour pondérer les interprétations de qualité d'eau (en cours d'eau lent, pour une même valeur nutritive de l'eau, la densité est en général plus élevée). En cas de fortes turbidités, le pouvoir d'érosion de l'eau est supérieur, si bien que la densité des diatomées (et du périphyton en général) est moindre. Cette analyse de densité des diatomées est réalisée en routine.

A partir des valeurs de densité de cellules de chaque taxons, on peut estimer la biomasse de chaque espèce, via son biovolume et en tenant compte arbitrairement d'une masse volumique de 1,0. En faisant la somme de ces biomasses spécifiques, on obtient une bonne estimation de la biomasse du peuplement. Cette estimation est réalisée sur demande pour des études écologiques détaillées.

- **Taux de fragmentation des valves de diatomées**

Ce taux est exprimé en % par rapport à l'ensemble des diatomées et des restes présents. En rivière, dans les eaux courantes à des vitesses ≥ 0,2 m/s, les taux de fragmentation sont normalement ≤ 60%. Des taux de 60 à 90% de fragmentation peuvent signaler soit des cas de mortalité liée à la toxicité des eaux (STRAUB et JEANNIN 2006), soit des cas de mélange de peuplements par dérive et/ou accumulation. Comme pour la biomasse, ce taux doit être interprété avec prudence, car il dépend également de la vitesse de l'eau (les fragments s'accumulent dans les cours d'eau lents) et des variations de turbidité. Dans des secteurs plus calmes ou des bras morts (comme aussi dans les lacs), les taux de fragmentations sont plus élevés, car la sédimentation y est plus forte. Nous n'avons pas d'expérience pour l'instant, pour fixer une norme pour les eaux stagnantes.

- **Base taxonomique**

Bien que de nombreuses révisions taxonomiques ont été publiées depuis, en particulier l'explosion de certains genres dans une multitude de nouveaux genres, la flore de KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986-1991 reste indispensable, surtout par le fait qu'elle est complète. C'est sur cette base que le catalogue floristique du manuel du DI-CH (HÜRLIMANN & NIEDERHÄUSER 2001, 2006) a été conçu. Récemment publié, l'ouvrage de HOFMANN et al. 2011, destiné à la routine des analyses en rivières, s'est révélé être très utile. Entre ces deux extrêmes, de multiples révisions sont utilisées, en particulier celles de K. Krammer pour *Cymbella* s.l., de H. Lange-Bertalot pour *Navicula* s.l. et de E. Reichardt pour *Gomphonema* s. str. Il

serait trop laborieux de citer toutes ces références ici, mais nous restons à disposition pour toute question complémentaire liée à ce sujet.

- **Diversité floristique**

Le nombre d'espèces de diatomées relevées au dénombrement représente la richesse floristique du peuplement. Cette diversité est faible dans les eaux très propres de haute montagne, à très faible dans les eaux toxiques et fortement polluées des émissaires d'eaux usées. Les peuplements de diatomées sont les plus diversifiés dans les eaux légèrement engrangées de plaine. La flore dominante représente le nombre de taxons relevés au cours du dénombrement standard de 500 valves par échantillon. Ce nombre peut être comparé aux données floristiques existantes pour le territoire suisse, car le standard fixe un effort constant de recherche. Pour comparaison, la flore dominante du 50% des prélèvements réalisés dans les rivières suisses ( $n = 3694$ ) est constituée par 20 à 30 taxons, prélèvements provenant en majorité du Plateau en zones agricoles et urbaines.

La flore totale comprend en plus, les taxons moins abondants, qui sont relevés en plus du dénombrement, au cours d'un effort complémentaire de 0.5 heure de recherche par échantillon. Ce nombre ne peut être comparé qu'au petit nombre de relevés pour lesquels cet aspect du peuplement a aussi été étudié.

- **Diversité structurale du peuplement**

Le degré de spécialisation du peuplement (une espèce domine ou plusieurs espèces se partagent l'espace) est exprimé par l'indice de diversité de Shannon (LEGENDRE et LEGENDRE 19a4). Des peuplements de faible diversité structurale existent dans les milieux extrêmes, dans lesquels un facteur écologique limite l'implantation des espèces (p. ex. acidité, carence, pauvreté, froid, toxicité, agitation). On observe une forte diversité structurale dans les peuplements des eaux plutôt calmes, carbonatées, chaudes et légèrement engrangées de plaine.

Contrairement à la tradition française, en Suisse et en Allemagne, l'indice est calculé avec le logarithme népérien. Pour comparaison, la grande majorité des communautés étudiées dans les rivières suisses livrent des indices entre 2.75 et 3.75, avec une médiane située à 3.35 (pour 3694 échantillons, HÜRLIMANN et NIEDERHAUSER 2006). Dans ce lot, les indices  $\leq 2.0$  sont révélateurs de situations exceptionnelles : oligotrophie, surcharges de carbonates comme dans les sources karstiques, peuplements pionniers de colonisation ou pollutions excessives.

- **Degré de similitude des assemblages de diatomées**

Pour juger du degré de similitude de deux peuplements différents et pour juger de la significativité des variations observées (p. ex. : l'un situé en aval de l'autre, ou au même endroit, l'un datant de l'automne et l'autre de l'hiver), une analyse multivariée simple est proposée, composée par le calcul et la comparaison de deux indices courants de similitude. La comparaison se fait sur un diagramme de similitude (

Figure 1). Sur l'abscisse du diagramme figure le coefficient de communauté  $S_7$  de Jaccard (LEGENDRE & LEGENDRE 1984) :

$$S_7(y_1, y_2) = \frac{a}{a + b + c}$$

où  $y_1$  et  $y_2$  sont les deux échantillons comparés

a = nombre d'espèces présentes dans  $y_1$  et  $y_2$

b = nombre d'espèces présentes que dans  $y_1$

c = nombre d'espèces présentes que dans  $y_2$

Le coefficient de Jaccard varie entre 0 (aucune ressemblance entre  $y_1$  et  $y_2$ ) et 1 (identité entre  $y_1$  et  $y_2$ ). Ce coefficient permet de dire dans quelle mesure les mêmes taxons sont présents dans les deux populations comparées. En écologie, on considère qu'une valeur  $S_7 \geq 0.6$  entre deux listes taxonomiques indique qu'elles proviennent d'un milieu semblable.

Sur l'ordonnée du diagramme figure le coefficient D de dominance-identité selon RENKONEN 1938 :

$$D_{1,2} = \frac{\sum_{i=1}^s q_i}{s}$$

où  $D_{1,2}$  = dominance-identité entre les communautés 1 et 2  
 $q_i$  = la plus petite des deux fréquences relatives de l'espèce i  
 $s$  = nombre total d'espèces dans les deux communautés

Ce coefficient permet de comparer la **composition structurale** de deux populations. Cette composition décrit avec quelle abondance relative les taxons sont représentés dans la population. Cette composition est sujette à variation sous l'effet de chaque facteur écologique. C'est donc une base essentielle de diagnostic de l'état de santé des milieux naturels par l'analyse des populations.

Le coefficient D varie entre 0% (aucune identité structurale entre les communautés 1 et 2) et 100% (identité totale entre les communautés 1 et 2). La valeur de  $D \geq 60\%$  indique un haut degré d'identité structurale (ENGELBERG 1987, HÜRLIMANN 1993), au-delà duquel les communautés ne peuvent pas être séparées objectivement. Ces deux coefficients permettent de construire le diagramme présenté en

Figure 1 (J. Hürlimann, com. orale).

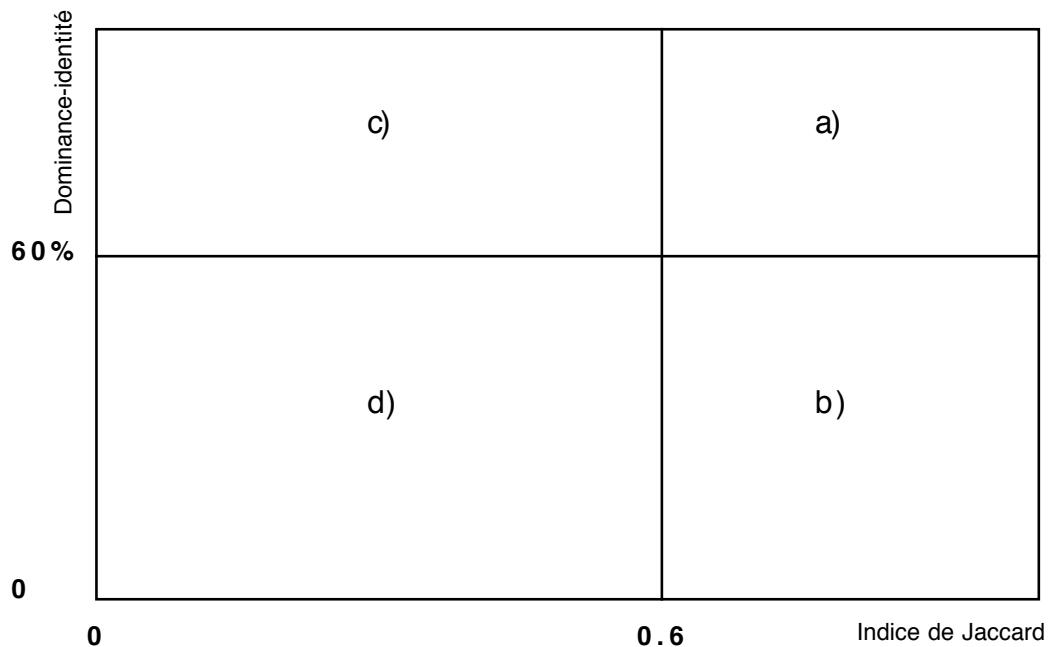


Figure 1 : cadre du diagramme de similitude servant à comparer deux communautés sur la base de l'indice de Jaccard et de la dominance-identité.

Sur ce diagramme, si le point de corrélation tombe en secteur a) les deux communautés sont à considérer comme semblables. Si le point tombe en secteur b) on peut considérer que les deux communautés sont formées des mêmes taxons, mais ceux-ci ne sont pas représentés avec la même abondance (cas de dérive d'une communauté sous l'influence d'un paramètre écologique particulier). Lorsque le point est situé en secteur c), il faut considérer que la base structurelle des deux communautés est identique, mais que de petites différences taxonomiques sont présentes (sous-associations). Lorsque le point tombe en secteur d) il faut considérer les communautés comme différentes, soumises à des facteurs écologiques différents.

- **Taux de formes tératologiques**

Ce taux est exprimé en % de l'ensemble des diatomées non fragmentées. Sur le tableau des résultats bruts (Annexes), figurent les espèces trouvées également sous formes monstrueuses. Les causes de ces malformations sont de deux ordres. Lorsqu'elles sont génétiques, tous les individus de l'espèce présentent la même déformation. Lorsqu'elles sont environnementales, seuls certains individus en portent la trace. Les facteurs térogéniques environnementaux connus actuellement sont soit, dans les eaux très propres, des carences (p. ex. en silicates), des chocs thermiques ou lumineux. Dans les eaux polluées, les métaux lourds, les herbicides, les pesticides et résidus de combustion des hydrocarbures, sont connus pour causer des malformations (ESGUERRA *et al.* 2006, FALASCO *et al.* 2009). Dans les populations bien nourries, il est rare de trouver de telles formes, si bien qu'un taux de 1% de monstruosités semble déjà significatif (STRAUB & JEANNIN 2006, STRAUB, non pub., enquête orale auprès des membres de l'ADLAF).

- **L'Indice Diatomique Suisse (DI-CH)**

L'Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage propose aux cantons depuis 1998 plusieurs méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse regroupées dans un système modulaire gradué (OFEFP, 1998).

Dans le module « Biologie » du système modulaire gradué suisse, une méthode « diatomées suisse » (DI-CH) a été développée (HÜRLIMANN J. et NIEDERHAUSER P., 2001). Elle a fait l'objet d'une nouvelle calibration en 2006, proposant aussi une échelle de classification basée sur 5 classes au lieu de 4 dans la version précédente (HÜRLIMANN J. et NIEDERHÄUSER P., 2006).

Le DI-CH poursuit deux buts principaux :

- mettre à la disposition des cantons une méthode basée sur l'ensemble des diatomées prélevées en Suisse et sur leur valeur écologique ;
- fournir aux cantons un outil pour vérifier les objectifs écologiques fixés par la nouvelle ordonnance sur la protection des eaux (annexe 1, art. 1, al. 1, OEaux), plus particulièrement le point b qui stipule que les communautés végétales doivent « présenter une composition et une diversité d'espèces spécifiques de chaque type d'eau peu ou pas polluée ».

La méthode comprend 8 groupes de qualité d'eau, basés sur les concentrations de 6 paramètres chimiques de pollution anthropique : ammonium, nitrite, somme de l'azote inorganique, phosphore total, chlorure, carbone organique dissous. 220 diatomées ont été retenues et 2 valeurs (D et G) leur ont été attribuées :

- la valeur indicatrice D, notée de 1 à 8, caractérise les conditions de vie optimales de l'espèce (de 1 pour les espèces très sensibles à 8 pour les espèces très tolérantes) ; cette valence écologique est distinguée par les paramètres physico-chimiques ;
- le facteur de pondération G, avec une valeur de 0.5 à 8, détermine la représentativité des espèces en tant qu'organisme indicateur (de 0.5 pour les formes abondantes peu représentatives, à 8 pour les formes caractéristiques d'amplitude écologique étroite et bon bioindicateur).

La note de qualité attribuée à chaque station est calculée selon la formule ZELINKA & MARVAN 1961 suivante :

$$\text{DI-CH} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i G_i H_i}{\sum_{i=1}^n G_i H_i}$$

où DI-CH = indice diatomique suisse

Di = valeur de classement du taxon i sur la base de sa préférence autoécologique  
Gi = pondération du taxon i  
Hi = fréquence relative du taxon i en %  
n = nombre de taxons de l'échantillon

Chaque note obtenue (indice diatomées) correspond à un des 8 groupes de qualité d'eau (Tableau 1). Pour faciliter les comparaisons entre les modules, les 8 groupes de départ sont ramenés à 5 classes du « système modulaire gradué R ». Les stations sont alors classées en deux catégories :

- celles obtenant un indice de 1 à 4.49 (couleur bleue et verte) respectent les objectifs écologiques fixés par l'OFEFP ;
- celles ayant un indice de 4.5 à 8 (couleur jaune, orange et rouge) n'atteignent pas les objectifs écologiques.

Indice diatomique DICH	1	2	3	4	5	6	7	8
Limites des classes	1.0-1.49	1.5-2.49	2.5-3.49	3.5-4.49	4.5-5.49	5.5-6.49	6.5-7.49	7.5-8.0
Classes d'état selon système modulaire gradué	Très bon			Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais	

Tableau 1 : Grille de diagnostic pour l'interprétation de l'indice suisse DI-CH basé sur les diatomées.

La méthode « diatomées suisse » recommandée par l'OFEFP a donc été choisie comme indice diatomique de pollution générale pour cette étude, afin que le diagnostic corresponde exactement aux exigences

de la loi suisse. Pour concrétiser l'interprétation de cet indice (réducteur par essence), la composition des peuplements est représentée sur des histogrammes qui présentent les % des cinq classes de sensibilité des diatomées.

- Le diagnostic du niveau saprobique de l'eau**

Le niveau saprobique représente l'intensité des phénomènes de biodégradation qui ont lieu dans l'eau. En rivière, le taux d'oxygène n'étant souvent pas limitant, le niveau saprobique est proportionnel au taux de matières organiques oxydables. Les diatomées étant soit sensibles envers ces matières, soit résistantes, elles sont très utiles pour ce diagnostic. Cet aspect de la qualité de l'eau est inclus dans l' indice DI-CH, mais de manière intégrée aux charges minérales (niveau trophique). Cette intégration (nécessaire pour des raisons légales) n'est pas idéale pour la description des phénomènes biologiques qui ont lieu effectivement. C'est pourquoi nous proposons de détailler cet aspect également.

Le diagnostic a été conduit selon la méthode préconisée par LANGE-BERTALOT 1978, 1979a et b, KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986-1991. Cette méthode consiste à assigner à chaque taxon un indice de sensibilité envers les matières organiques et les autres molécules réduites habituellement présentes dans les eaux résiduelles. Ces indices figurent dans la deuxième colonne du tableau de végétation donné en annexe. Ils ont été attribués empiriquement au cours d'études extensives de populations *in situ* ou au cours d'expérimentations ponctuelles en milieux artificiels (valeurs des indices tirés essentiellement de KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986-1991, LANGE-BERTALOT 1993, HÜRLIMANN ET STRAUB 1991, DENYS 1991, HOFMANN 1994, VAN DAM *et al.* 1994). L'indice de quatre degrés (1 = très sensible à 4 = très tolérant) indique jusqu'à laquelle des quatre classes saprobiques (I, oligosapробie à IV polysaprobie, KOLKWITZ 1950, LIEBMANN 1958, SLADACEK 1973) chaque taxon peut résister. Le diagnostic est posé à partir de la fréquence relative des quatre groupes de sensibilité à l'intérieur de l'assemblage de diatomées trouvé Tableau 2. Cette méthode, contrairement à celles des indicateurs de classe, reconnaît pour des autotrophes vrais comme la plupart des diatomées, qu'il n'y a pas en principe de dépendance directe de ces organismes aux matières organiques, mais seulement une tolérance plus ou moins marquée.

<u>Classes de qualités saprobiques</u>	<u>Proportion des groupes d'espèces différencielles de diatomées</u>	<u>Diagnostic approximatif selon le système modulaire gradué</u>
<b>I : oligosaprobie</b>		
Non chargé à peu chargé	* très sensibles ≥ 90 %	Très bon
95% < saturation O <sub>2</sub> < 105%	sensibles + tolérants + très tolérants ≤ 10 %	
DBO5 moyen < 2 mg/l		
<b>I-II : oligo-β-mésosaprobie</b>		
Peu chargé	* très sensibles ≥ 50%	Très bon
Déficit d'O <sub>2</sub> < 15 %	sensibles + tolérants + très tolérants ≤ 50 %	
<b>II : β-mésosaprobie</b>		
Modérément chargé	très sensibles ≤ 10%, sensibles ≥ 50%	Bon
Déficit d'O <sub>2</sub> < 30 %	tolérants + très tolérants < 50%	Moyen
DBO5 moyen < 4 (6) mg/l		
<b>II-III : β-α-mésosaprobie</b>		
Charge critique	0% < sensibles ≤ 50%,	Médiocre
Déficit d'O <sub>2</sub> < 50 %	≤ 50% tolérants + très tolérants < 90%	
DBO5 moyen < 7 (10) mg/l		
<b>III : α-mésosaprobie</b>		
fortement pollué	sensibles ≤ 10%, tolérants ≤ 50%	
Déficit d'O <sub>2</sub> < 75%	très tolérants < 50%	Mauvais

DBO5 moyen < 13 mg/l		
<b><u>III-IV : <math>\alpha</math>-méso-polysaprobie</u></b>		
très fortement pollué	10% < sensibles + tolérants < 50%	Mauvais
Déficit d'O <sub>2</sub> < 90%	très tolérants > 50%	
DBO5 moyen < 22 mg/l		
<b><u>IV : polysaprobie</u></b>		
excessivement pollué	sensibles + tolérants ≤ 10%	Mauvais
Déficit d'O <sub>2</sub> > 90%	très tolérants ≥ 90%	
DBO5 moyen < 22 (15) mg/l		

Tableau 2 : Grille de diagnostic des classes de qualité d'eau à partir des proportions des classes de sensibilités différentes de diatomées. Conception du tableau modifié d'après ELBER et al. 1991, sur des données de KRAMMER et LANGE-BERTALOT 1986-1991 et \* HOFMANN 1987. Les indications fournies pour les classes de qualités I, I-II, sont à prendre avec réserve, car le diagnostic de ces classes dépend avant tout de la nature géologique du bassin versant (p ex. : polysaprobie naturelle des eaux riches en matières humiques, végétation spécialisée de milieux salins continentaux, richesse organique naturelle des lacs eutrophes carbonatés). Dès 20% de diatomées très sensibles, avec le reste formé de sensibles dont *Ach. pyrenaicum*, les eaux peuvent être qualifiées de très faiblement β-mésosaprobes de classe (I)-II.

Ainsi, on peut trouver tous les taxons, en faible abondance (forte concurrence) dans les basses classes de charge organique, tandis que dans les classes élevées, seuls quelques taxons tolérants peuvent vivre en abondance (faible concurrence). La définition des classes saprobiques ainsi que l'échelle de diagnostic à partir de assemblages de diatomées sont résumées au Tableau 2.

Pour affiner la méthode, en particulier pour diagnostiquer plus correctement les eaux de classe II dégradées, de la classe critique II-III et celles de la classe III, nous avons retenu les recommandations de SCHIEFELE 1987 et REICHARDT 1991, c'est-à-dire tenir compte de la tolérance plus élevée de certains taxons en présence d'une bonne oxygénation ("eutrophe Arten"). Les valences autoécologiques de ces taxons sont suivies du symbole (O<sub>2</sub>!) dans le tableau de végétation (Annexes). En cas de bonne oxygénéation, il faut forcer d'une demi-classe leur valence autoécologique et poser le diagnostic en associant leur fréquence relative à la demi-classe de tolérance supérieure, tout en suivant l'échelle de diagnostic classique (Tableau 2).

Les variations de niveau saprobique peuvent être interprétées en termes d'augmentation ou de diminution (impact, dilution, autoépuration) de déficit d'oxygène dissous ou de demande biochimique d'oxygène en 5 jours (DBO5).

#### • Le diagnostic du niveau trophique de l'eau

Le niveau trophique représente la valeur nutritive de l'eau pour les algues et les autres végétaux. En présence de lumière en quantité suffisante, ce niveau est directement proportionnel aux concentrations d'engrais (phosphates, nitrates, potassium, sulfates, etc.). Les diatomées sont plus diversifiées dans les eaux eutrophes, que dans les eaux oligotrophes (seules quelques espèces supportent la pauvreté nutritive) ou que dans les eaux polytrophes à hypertrophes (dont la charge trophique excessive est cause de pollution secondaire et de toxicité associée, supportées que par quelques diatomées résistantes). Cet aspect est aussi inclus dans l'indice DI-CH, de manière intégrée comme pour la sapробie pour des raisons légales. Ici nous proposons également le calcul de cet indice pour mieux saisir les phénomènes biologiques qui ont lieu dans les rivières.

Le diagnostic a été conduit selon la méthode indicelle proposée par SCHMEDTJE *et al.* 1998, qui pour les rivières, est la méthode la plus récente. L'indice trophique est interprété d'après la grille de diagnostic présentée sur le Tableau 3.

Indice trophique de SCHMEDTJE <i>et al.</i> 1998	I	I-II	II	II-III	III	III-IV	IV
Limites des classes	1.0-1.24	1.25-1.74	1.75-2.24	2.25-2.74	2.75-3.24	3.25-3.74	3.75-4.0
Classes d'état selon SCHMEDTJE <i>et al.</i> 1998	Oligotrophe	Mésotrophe	Eutrophe	Eu- à Polytrophe	Polytrophe	Poly- à Hypertrophe	Hypertrophe
Pollution trophique	faible	moyenne	notoire	critique	forte	très forte	excessive
Correspondance approximative avec le système modulaire gradué	Très	bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mau-	vais
Taux de P-total [ $\mu\text{g/l}$ ]	<10	10-30	20-150	>150	*	*	*

Tableau 3 : Grille de diagnostic pour l'interprétation de l'indice trophique de SCHMEDTJE *et al.* 1998 basé sur les diatomées.

Dans nos régions, l'élévation du niveau trophique des eaux courantes a deux causes principales. C'est premièrement la résultante de la lixiviation des terres agricoles, qui enrichissent en engrains les eaux de percolation. C'est aussi le résultat de la dégradation des matières organiques, qui proviennent des égouts, et qu'une certaine oxygénation de l'eau permet d'oxyder. Donc l'élévation du niveau trophique, dans certains cas révèle une activité essentielle des cours d'eau, c'est-à-dire leur capacité de minéralisation, qui est un aspect de leur pouvoir d'autoépuration. L'autre aspect de l'autoépuration est l'abaissement du niveau trophique, par consommation et/ou adsorption par les terrains riverains.

Avec l'étalonnage classique des classes de qualité trophique des eaux de, des variations d'indice trophique peuvent être interprétées en termes d'augmentation ou d'abaissement de la charge en phosphore total.

- **Diatomées et valeur patrimoniale des milieux naturels**

Depuis la publication de la liste rouge des diatomées d'Allemagne (LANGE-BERTALOT 1996), dont les données parfois alarmantes sont valables en Europe centrale pour les régions de plaine et de mi-montagne (chez nous pour le Plateau, le Jura et les Préalpes), une estimation de la valeur patrimoniale actuelle des eaux des systèmes aquatiques est possible, via ce groupe d'algues (WERUM 1991). L'auteur de la liste rouge, reconnaît que les régions alpines sortent un peu de ce cadre, car elles n'ont pas été investiguées suffisamment : il tient à souligner, que dans l'arc alpin bien des espèces en danger sont certainement mieux représentées à l'heure actuelle. L'utilisation de listes rouges est précieuse pour guider les projets de protection et de restauration. Les degrés de raréfaction des taxons sont présentés sur le tableau ci-dessous.

Code	Degré de raréfaction
0	éteint ou disparu
1	menacé d'extinction

2	fortement en péril
3	en péril
G	considéré en péril
R	extrêmement rare
V	en régression
*	actuellement probablement pas menacé
**	certainement pas menacé
D	indications manquent
●	taxon récent qui devrait être présent dans la région

Tableau 7 : catégories de raréfaction utilisées pour la liste rouge des diatomées de LANGE-BERTALOT 1996. En rouge les catégories de la liste rouge au sens strict. En jaune la catégorie des diatomées en régression. En vert les catégories de taxons encore non menacés. En blanc les taxons pour lesquelles nous manquons d'information, souvent pour cause de confusions taxonomiques.

Pour juger de la valeur patrimoniale des peuplements, nous pouvons exprimer pour chaque catégorie de raréfaction :

- le nombre d'espèces présentes dans chaque milieu ou dans la station à différentes époques;
- l'abondance relative [%] que représente chaque classe dans la composition des communautés.

Les espèces menacées ou en régression, sont typiques de milieux aquatiques non pollués, parfois acides (tourbières), situés souvent en amont des bassins versants. Tous ces milieux ont tendance à disparaître en Europe à cause de l'urbanisation et de l'agriculture intensive. Dans bien des cas les efforts de protection montrent que cette diminution n'est pas inéluctable.

#### • Utilisation d'échantillons historiques de diatomées

Dans les collections suisses de diatomées, conservées dans les différents Musées d'Histoire naturelle, on trouve des échantillons de diatomées très bien conservés, localisés et datés. Lorsque ces échantillons n'ont pas été triés pour isoler la belle espèce (un examen rapide permet de le mettre en évidence), on peut considérer qu'ils contiennent les communautés d'époque complètes, potentiellement révélatrices des conditions écologiques anciennes. Nous avons montré tout l'intérêt d'appliquer nos techniques modernes d'investigation à ces échantillons historiques et de les comparer à des prélèvements récents effectués dans les mêmes stations (HÜRLIMANN et al. 2001). Cette approche est très profitable pour reconstituer les variations de niveau trophique, de niveau saprobique et de valeur patrimoniale des milieux aquatiques au cours du temps. Cela permet d'apprécier la stabilité ou les transformations subies par les milieux naturels. Cette possibilité est souvent plus objective que l'utilisation de données d'observation anciennes, car dans bien des cas, les résultats des auteurs anciens (liés au niveau de connaissance d'époque) sont insuffisantes ou trop partielles pour en tirer des conclusions écologiques modernes.

#### Bibliographie

- DENYS L., 1991. A check-list of the diatoms in the holocene deposits of the western belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements. I. Introduction, ecological code and complete list. *Service géologique de Belgique, Professional paper* 246 : 1-41.
- DOUGLAS B. 1958. The ecology of the attached diatoms and other algae in a small stony stream. *J. Ecol.*, 46 : 295-322.
- ELBER F., MARTI K. & NIEDERBERGER K., 1991. Pflanzenökologische und limnologische Untersuchung der Reussdelta-Gebiete (Kanton Uri). *Ver. Geobot. Inst. ETHZ, Stift. Rübel, Zürich, Heft* 105 : 1-272.
- ENGELBERG K., 1987. Die Diatomeen-Zönose in einem Mittelgebirgsbach und die Abgrenzung jahreszeitlicher Aspekte mit Hilfe der Dominanz-Identität. *Arch. Hydrobiol.*, 110 (2), 217-236.
- ESGUERRA, O. C., RIVOGNAC, L., GEORGES, A & HORN, M. 2006. Les formes tératologiques chez les diatomées. 1 Introduction. *Diatomania* 10, 18-38.
- Falasco, E. Bona, F. Badino, G. Hoffmann, L. & Ector, L. 2009. Diatom teratological forms and environmental alterations: a review. *Hydrobiologia* 623, 1-35.
- HOFMANN G. 1987. *Diatomeengesellschaften saurer Gewässer des Odenwaldes und ihre Veränderungen durch anthropogene Faktoren*. Diplomarbeit an der Universität Frankfurt am Main : 1-264 .
- HOFMANN G. 1994. « Aufwuchs-Diatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie ». *Bibliotheca Diatomologica* 30. J. Cramer, Berlin, Stuttgart. 241 p.
- HOFMANN G., WERUM M. & LANGE-BERTALOT H. *Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa*. Koeltz Scientific Books, Königstein, 908 pp.
- HÜRLIMANN J. 1993. *Kieselalgen als Bioindikatoren aquatischer Ökosysteme zur Beurteilung von Umweltbelastungen und Umweltveränderungen*. Dissertation, Universität Zürich 1-118.
- HÜRLIMANN J. et NIEDERHÄUSER P., 2001. « Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse : Diatomées - niveau R (région) ». A paraître dans : L'Environnement pratique - Information concernant la qualité des eaux. OFEFP, Berne.
- HÜRLIMANN J. et NIEDERHÄUSER P., 2006. « Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer in der Schweiz (Modul-Stufen-Konzept) - Kieselalgen Stufe F ». Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Wasser, Sektion Gewässerreinhaltung und Restwasser. 3003 Bern. 122 p.
- HÜRLIMANN J. & STRAUB F., 1991. Morphologische und ökologische charakterisierung von Sippen um den *Fragilaria capucina* - komplex sensu Lange-Bertalot 1980. *Diatom Research* 6 (1) : 21-47.
- HÜRLIMANN J., ELBER F., NIEDERBERGER K., STRAUB F., STÖCKLI A. & NIEDERHAUSER P., 2001. Historische Kieselalgenproben als biologische Referenzen zur Bewertung von Fließgewässern des Schweizer Mittellandes - ertse Ergebnisse. *Studies on Diatoms, Lange-Bertalot-Festschrift*, A.R.G. Ganter Verlag K.G., Ruggell, 401-415.
- HOFMANN G., 1987. *Diatomeengesellschaften saurer Gewässer des Odenwaldes und ihre Veränderungen durch anthropogene Faktoren*. Diplomarbeit an der Universität Frankfurt am Main : 1-264 .

- KOLKWITZ R., 1950. Oekologie der Saproben. Ueber die Beziehungen der Wasserorganismen zur Umwelt. *Schriftenreihe des Verein für Wasser-, Boden-, und Lufthygiene* 4, Piscator Ver., Berlin-Dahlem : 1-64.
- KRAMMER K., LANGE-BERTALOT H., 1986-1991. « Süsswasserflora von Mitteleuropa ». *Band 2, 1-4. Teil. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart*
- LANGE-BERTALOT H., 1978. Diatomeen-Differentialarten anstelle von Leitformen: ein geeigneteres Kriterium der Gewässerbelastung. *Arch. Hydrobiol., Suppl.* 51 : 393-427.
- LANGE-BERTALOT H., 1979a. Pollution tolerance of Diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia, Beiheft* 64 : 285-304.
- LANGE-BERTALOT H., 1979b. Toleranzgrenzen und Populationsdynamik benthischer Diatomeen bei unterschiedlich starker Abwasserbelastung, exemplarisch für den unteren Main. *Arch. Hydrobiol., Suppl.* 56 : 184-219.
- LANGE-BERTALOT H., 1993. 85 New Taxa and much more than 100 taxonomic clarifications supplementary to Süsswasserflora von Mitteleuropa vol. 2. *Bibliotheca diatomologica* 27 : 1-454.
- LANGE-BERTALOT H., (unter Mitarbeit von A. Steindorf) 1996. Rote Liste der limnischen Kieselalgen (Bacillariophyceae) Deutschlands. *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 28: 633-677.
- LEGENDRE L. et LEGENDRE P., 1984. *Ecologie numérique 1. Le traitement multiple des données écologiques*. (2e éd.). Coll. d'écologie 12, Masson, Paris, 260 p.
- LIEBMANN H., 1958. Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie. Biologie des Trinkwassers, Badewassers, Frischwassers, Vorfluters und Abwassers. Band 1. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena : 1-640.
- OFEFP, 1998. « Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse, système modulaire gradué ». *Informations concernant la protection des eaux n°26*, 43 p.
- REICHARDT E., 1991. Beiträge zur Diatomeenflora der Altmühl III : Wasserqualität und Diatomeenbesatz. *Arch. Hydrobiol., Alg. Studies* 62 : 107-132.
- RENKONEN O., 1938. Statistisch-ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore. *Ann. Zool. Soc. Zool. Bot. Fenn. Vanamo* 6/1, 231. Cité par ENGELBERG, K. 1987.
- SCHIEFELE S., 1987. *Indikationswert benthischer Diatomeen in der Isar zwischen Mittenwald und Landshut*. Diplomarbeit am Lehrstuhl für systematische Botanik an der Ludwig-Maximilians-Universität München : 1-207.
- SCHMEDTJE U., BAUER A., GUTOWSKI A., HOFMANN G., LEUKART P., MELZER A., MOLLENHAUER D., SCHNEIDER S. & TREMP, H., 1998. Trophiekartierung von aufwuchs- und makrophytendominierten Fließgewässern. *Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München. Informationberichte Heft* 4/99, 516 p.
- SLADECEK, V., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol., Beih.* 7 (1-4) : 1- 218.

- STRAUB F. & JEANNIN P.-Y., 2006. « Efficacité autoépuratoire de tracs aérien et karstique d'un effluent de station d'épuration (La Ronde, Jura suisse) : valeur indicative des diatomées ». *Symbioses*, n<sup>o</sup> 14, p. 35-41.
- VAN DAM H., MERTENS A. & SINKELDAM J., 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28 (1) : 117-133.
- WERUM M., 2001. Diatomeen in Quellen hessischer Mittelgebirge: Gefährdung nach Roter Liste in Korrelation zu anthropogenen Eingriffen und Geologie. *Studies on Diatoms, Lange-Bertalot-Festschrift*, A.R.G. Ganter Verlag K.G., Ruggell, 369-381.
- ZELINKA M. & MARVAN P. 1961. Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fliessender Gewässer. *Arch. Hydrobiol.* 57, 389-407.

### **ANNEXES 3**

**Tableau des résultats bruts des analyses des peuplements de diatomées des Borgnes et de la Dixence en 2011.**

Voir fichier électronique