



Etude Rhône Phase 4. Lot 3c.
Rôle des zones annexes refuges sur le RCC de
Péage-de-Roussillon. Suivi 2009-2011.

Rapport final - Décembre 2012

Jean-François FRUGET, Michel CENTOFANTI, Jeanne
DESSAIX & Jean-Yves BRANA



Application de la Recherche A L'Expertise des Pollutions

Domaine Scientifique de la Doua - Bât. du CEI - 66, Bld Niels Bohr - BP 52132 - 69603 Villeurbanne cedex

SOMMAIRE

RESUME

1 – INTRODUCTION	1
1.1 – Objectif général	1
1.2 – Caractérisation thermique longitudinale du RCC de Péage-de-Roussillon	1
1.2.1 – Rappel de l'étude 2007.....	1
1.2.2 – Etude 2009.....	1
1.3 – Problématique : Caractérisation thermique et biologique de zones annexes refuges sur le RCC de Péage-de-Roussillon	2
1.3.1 – Etude 2009 : caractérisation thermique de zones annexes refuges.....	2
1.3.2 – Etude 2010-2011 : suivi du fonctionnement biologique de zones annexes refuges.....	2
1.4 – Sites d'étude	2
2 – ETUDE THERMIQUE LONGITUDINALE DU RCC	5
2.1 – Méthodologie	5
2.2 – Résultats	5
2.3 – Conclusion	9
3 – ETUDE THERMIQUE DE ZONES ANNEXES REFUGES	10
3.1 – Méthodologie	10
3.2 – Résultats	10
3.3 – Conclusion	12
4 – ETUDE DU FONCTIONNEMENT BIOLOGIQUE DE ZONES ANNEXES REFUGES	14
4.1 – Méthodologie	14
4.2 - Stations	15
4.3 – Hydrologie et thermie	17
4.3.1 – Hydrologie.....	17

4.3.2 – Thermie.....	17
4.4 – Résultats.....	21
4.4.1 – Physico-chimie.....	21
4.4.2 – Ichtyofaune.....	24
4.4.3 – Macroinvertébrés.....	38
5 – CONCLUSIONS.....	49
6 – REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITEES.....	52

ANNEXES

RESUME

L'aménagement morphodynamique du Rhône (endiguements Girardon et barrages CNR), d'une part, l'évolution de la thermie du fleuve sous le double effet du réchauffement global et de l'utilisation des eaux du Rhône comme source froide pour le refroidissement des sites électro-nucléaires, d'autre part, sont à l'origine d'hétérogénéités physiques et thermiques qui influent sur la structure et la dynamique des peuplements aquatiques. Ces contraintes sont d'autant plus importantes sur les anciens cours du fleuve, secteurs les plus naturels mais fortement fragilisés par leur faible débit réservé.

Dans ce contexte, l'objectif de ce thème de l'étude Rhône Phase 4 est, à l'aide d'une approche systémique, d'identifier et d'évaluer le fonctionnement biologique de zones annexes refuges vis-à-vis de l'hétérogénéité physique et thermique du fleuve, et plus particulièrement de ses parties court-circuitées.

L'étude a été réalisée sur le Rhône court-circuité (RCC) de l'aménagement CNR de Péage-de-Roussillon. Elle s'est déroulée en 2 temps :

- une caractérisation thermique longitudinale du RCC et de diverses zones annexes refuges (aboutissant à la sélection de certaines d'entre elles) lors de l'année 2009 ;
- un suivi du fonctionnement biologique lors des années 2010-2011 des milieux sélectionnés au travers des macroinvertébrés benthiques et des poissons.

L'étude longitudinale montre un réchauffement progressif le long du RCC avec l'atténuation des effets du plan d'eau de St-Pierre-de-Bœuf et de la nappe de versant (rafraîchissement), l'accroissement de la profondeur et la présence du seuil de Peyraud. Ce milieu apparaît thermiquement hétérogène avec l'identification de deux secteurs différents en relation avec la morphologie du lit (profondeur) et la présence du seuil, ainsi qu'une stratification verticale marquée de la température sur le second secteur aux points les plus profonds (2,50 m et plus).

A la suite de cette première phase d'étude, différents « casiers Girardon », milieux annexes créés artificiellement par l'implantation au 19^e siècle de digues longitudinales et transversales au chenal principal du fleuve, ont été retenus pour l'étude biologique. Un casier de connexion semi-permanente en débit réservé (Limony LIM), un casier avec un petit chenal de connexion permanent en débit réservé (Boussarde BOU) et un casier affleurant de connexion permanente avec le RCC (Platière PLA) ont ainsi été choisis.

Ces milieux présentent des caractéristiques (i.e. hétérogénéités) bien particulières tant morphologiques, physiques que chimiques : stratification thermique et en oxygène dissous, absence totale de courant, fort développement végétal, diversité d'habitat réduite à dominante de blocs et de plages limoneuses, milieu largement clos (sauf pour le casier Platière, au contraire bien ouvert sur le chenal).

D'un point de vue hydro-climatique, les deux années d'étude sont opposées : une année hydrologiquement « normale » et thermiquement « froide » en 2010, et inversement une année fortement déficitaire en ce qui concerne l'hydrologie et thermiquement « chaude » en 2011.

Il faut noter le caractère très particulier du printemps 2011 avec un réchauffement excessivement précoce et un développement végétal qui l'a été tout autant, aboutissant pour certaines espèces à un réel envahissement (*Elodea nuttallii* par exemple), ce qui a pu jouer sur les résultats biologiques

(accessibilité, déplacement des individus, variation d'O₂, etc.). La température tendancielle de nos périodes d'échantillonnage a ensuite été particulièrement stable de juin à septembre (delta de 1°C entre les moyennes en 2011 contre 4°C en 2010) et la douceur s'est prolongée tardivement en automne.

Le RCC montre d'importantes fluctuations du débit réservé avec des pics de débit de plusieurs centaines de m³/s, entraînant des connexions fréquentes entre les casiers et le RCC, en particulier durant les deux périodes estivales échantillonnées (connexion pendant près d'un tiers du temps en juillet et août, voire plus de 40% en juillet 2011). La variété inter-annuelle est également importante puisque le débit réservé est globalement respecté et stable en avril-juin et septembre-novembre 2011, contrairement aux mêmes périodes en 2010.

Le fonctionnement biologique de ces milieux se caractérise par une forte variabilité spatio-temporelle. Les résultats sur les poissons et les macroinvertébrés montrent en effet de nombreuses disparités entre les dates, les années et les milieux.

Ainsi, les résultats sur les poissons sont dans un rapport du simple au double entre les deux années (en défaveur de l'année 2011, en dépit de conditions thermiques particulièrement favorables) pour ce qui est des effectifs, mais sont dans les mêmes gammes pour la richesse spécifique (21 espèces pour chacune des années). Un tel résultat n'a rien de particulier d'une année sur l'autre, surtout dans cette proportion, somme toute restreinte. Nous n'avons toutefois pas le recul nécessaire pour confirmer cela dans un tel milieu (niches disponibles, prédation,... par exemple) ou bien l'imputer aux conditions hydroclimatiques, mais, à CPUE équivalentes, les richesses et les effectifs enregistrés se situent dans les gammes obtenues par ailleurs sur les casiers du Rhône arlésien (Nicolas & Pont, 1995), mais sont toutefois moindres que ceux obtenus dans le chenal du RCC lors des pêches du suivi hydrobiologique du site (Aralep, 2011 et 2012).

Le pourcentage d'individus de taille < 25 mm (globalement individus indéterminés considérés comme alevins 0+) est très abondant dès mai en 2011, signe d'une reproduction précoce en liaison avec les conditions thermiques très favorables dès le mois d'avril (jusqu'à près de 55% des individus à LIM). De même, ce pourcentage est supérieur en juin 2011 par rapport à juin 2010. Différents pics de juvéniles apparaissent ensuite ponctuellement au cours du temps à différentes stations. Les pourcentages d'alevins baissent au fil du temps avec leur croissance, les jeunes individus migrant progressivement des casiers (« habitat-source ») vers le chenal (« habitat-puit »).

Les espèces piscicoles dominantes (Bouvière, Pseudorasbora, Perche soleil) représentent plus de 70% des individus). Elles sont en accord avec les caractéristiques du milieu précédemment définies, ce sont des espèces d'eau calme, aimant la végétation aquatique, thermophiles. Ce sont également des espèces invasives (pour les deux dernières) et non native pour le bassin du Rhône (Bouvière, classée Natura 2000). On peut raisonnablement penser que ces milieux alimentent le chenal principal en ces taxons (cf la baisse des effectifs d'août 2011 pouvant être imputée au coup d'eau de fin juillet permettant aux différents individus de gagner le chenal et de se disperser). Ces espèces ont une reproduction précoce, multiple, grandissent vite, autant de caractéristiques leur permettant de s'adapter à des milieux changeants et « difficiles » (cf habitat, température, oxygénation) comme les casiers. Elles sont par ailleurs caractéristiques de ce type de milieu lentique, peu profond, végétalisé, « chaud ». En ce sens, nos résultats confirment ceux obtenus par différents auteurs sur les casiers Girardon du Bas-Rhône arlésien ou les « dike fields » du Mississippi, comme quoi ce type de milieu, artificiel à l'origine, en bordure immédiate du chenal principal, est idoine pour servir de zones de reproduction et de nurserie en milieu fluvial aménagé.

La très faible représentation d'individus de « grande » taille dans nos relevés peut s'expliquer d'une

part par le fait que nous échantillons les bordures ainsi que des zones de fort développement de la végétation qui entrave leur déplacement, ce type d'individus étant plutôt dans les zones d'eau libre plus profondes. D'autre part, il est également fort possible que ces individus soient peu représentés en raison des caractéristiques physiques du milieu (faible profondeur du chenal d'accès, même si celui-ci est ouvert), mais aussi chimiques (probable anoxie en profondeur en fin de nuit).

Concernant les invertébrés, la richesse taxonomique est de 68 taxons en 2010 et 83 en 2011. Devant la faiblesse de leurs effectifs, mais aussi de leur diversité, en particulier en 2010, on peut s'interroger sur la représentativité des substrats artificiels dans ce type de milieu. Ils ont toutefois l'avantage d'une parfaite reproductibilité, évitant les biais d'un échantillonnage excessif de certains habitats (végétation en particulier où des coups de troubleau auraient probablement sur-représentés les Odonates par exemple). Mais là aussi, une diversité d'habitat réduite, voire la prédation par l'ichtyofaune dans ces milieux plus ou moins clos, peuvent expliquer ces résultats.

Avec leur extrême abondance (près de 75% des individus avec 4 taxons), les Chironomes et les Oligochètes jouent probablement un rôle clé dans le fonctionnement de ces milieux particuliers du fait de leur forte diversité biologique, de leur forte productivité et de leur position trophique intermédiaire (nourriture pour l'ichtyofaune en particulier, contribution à la production secondaire du chenal par dérive,...). En dépit de la dominance de ces taxons, une certaine diversité existe parmi les espèces sub-dominantes à résidentes tels que divers Mollusques Gastéropodes (*Physa acuta*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Bithynia tentaculata*) ou larves d'Insectes (*Caenis luctuosa*, *Platycnemis pennipes*, *Ecnomus tenellus*). Ceux-ci ne sont toutefois pas spécifiques de ce type de milieu (lentique), mais se retrouvent également plus ou moins abondamment sur le chenal en raison du caractère peu courant de ce dernier.

Comme pour les poissons, nous manquons également de recul et d'information dans de tels milieux refuges. Toutefois, les ordres de grandeur des CPUE pour les richesses taxonomiques et les effectifs mesurés lors de notre étude sont très voisins de ceux mesurés sur des casiers similaires du Rhône en aval de Lyon et en amont d'Arles (Iris consultants (2009 ; Franquet et al., 1995). Par contre, si l'ordre de grandeur du chenal se situe dans la même gamme, les valeurs moyennes sont plus élevées sur celui-ci (d'environ un quart pour la richesse et du simple au double pour les effectifs) (ARALEP, 2011 et 2012).

Il apparaît ainsi difficile de faire la part entre la variabilité naturelle inter-annuelle de tout système biologique (2 cycles de mesures avec des conditions hydro-climatiques nettement différentes) et le fonctionnement thermique et biologique propre à chaque type de milieu annexe, et de conforter ainsi (ou non) leur intérêt en tant que refuge et/ou réservoir biologique pour le fleuve. Toutefois, si l'invasif parfois excessif par la végétation et la stratification de l'oxygène dissous avec des teneurs en nette baisse dès -1,5 m (et probablement plus ou moins basses en fin de nuit) sont des éléments défavorables, la stratification de la température et la perte de plusieurs degrés sur la verticale précédente lors des températures de surface les plus élevées, l'arrivée probable de drainages de nappes en certains points (eau plus fraîche), sont au contraire des points potentiellement favorables.

Si on considère que la fréquence de connexion décrit la connectivité physique entre les milieux au sens de Ward & Stanford (1995), on peut considérer que le principal facteur de contrôle des peuplements biologiques des casiers est la variabilité hydrologique (i.e. le débit du RCC). Cette variabilité à long terme donne les potentialités des milieux tandis qu'à plus court terme (échelle annuelle) elle joue le rôle de « filtre ». Ce dernier rôle est également joué par les variations inter-annuelles du facteur thermique. La richesse qualitative et quantitative de ces milieux apparaît être la résultante de la diversité d'habitats de chacun des casiers et du taux de connectivité avec le chenal.

Concernant cette dernière, le débit de 50 m³/s dans le RCC (future valeur plancher du débit réservé à l'horizon 2014) est très souvent dépassé, soit en raison de l'hydrologie générale du fleuve, soit des indisponibilités de groupes à l'usine hydroélectrique, entraînant des connexions assez fréquentes, en particulier en période estivale (environ un tiers du temps en juillet-août 2010-2011).

1 – INTRODUCTION

1.1 - Objectif général

L'aménagement morphodynamique du Rhône, tant ancien (endiguements Girardon) que plus contemporain (barrages CNR) est à l'origine d'**hétérogénéités physiques** (modifications des débits, vitesses du courant, habitats,...) qui influent sur la structure et la dynamique des peuplements aquatiques.

Parallèlement à cela, la thermie du fleuve a évolué au cours des dernières décennies sous le double effet du réchauffement global (accélération nette de celui-ci à partir des années 1980) et de l'utilisation des eaux du Rhône comme source froide pour le refroidissement des sites électro-nucléaires implantés le long de son cours. Les rejets échauffés issus de ce fonctionnement engendrent des **hétérogénéités thermiques** potentiellement impactantes pour les biocénoses de l'hydrosystème, en particulier lors des événements météorologiques extrêmes tels que les vagues de chaleur (canicules) et/ou les étiages soutenus.

Ces **contraintes** sont d'autant plus importantes sur les anciens cours du fleuve, secteurs les plus naturels mais fortement fragilisés par leur faible débit réservé.

Dans ce contexte, l'objectif de ce thème de l'étude Rhône Phase 4 est, à l'aide d'une approche systémique, **d'identifier et d'évaluer le fonctionnement biologique de zones annexes refuges vis-à-vis de l'hétérogénéité physique et thermique du fleuve, et plus particulièrement de ses parties court-circuitées.**

L'étude a été réalisée sur l'**aménagement CNR de Péage-de-Roussillon** au niveau de l'ancien cours du fleuve court-circuité par l'implantation du barrage de St-Pierre-de-Bœuf (Rhône court-circuité ou RCC) (voir Figure 1).

Elle s'est déroulée en **2 temps** :

- une **caractérisation thermique** longitudinale du RCC ainsi que de diverses zones annexes refuges (aboutissant à la sélection de certaines d'entre elles) lors de l'année 2009 ;
- un suivi du **fonctionnement biologique** lors des années 2010-2011 des milieux sélectionnés au travers des macroinvertébrés benthiques et des poissons.

1.2 – Caractérisation thermique longitudinale du RCC de Péage-de-Roussillon

1.2.1 - Rappel de l'étude 1997¹

L'objectif était de préciser le **régime thermique du RCC**, en particulier en période critique de faible **débit réservé** et de **conditions estivales**.

¹ ARALEPBP, 1997. *Suivi hydrobiologique du Rhône au niveau de la centrale nucléaire de Saint-Alban/Saint-Maurice. Mesures de température sur le Rhône court-circuité*. Rapport à EDF CNPE de St-Alban, 14 p.

L'étude avait mis en évidence **deux secteurs thermiquement différents** en relation avec la morphologie du lit (profondeur) et la présence du seuil de Peyraud, ainsi qu'une **stratification verticale** sur le **second secteur** où l'on relevait également les températures les plus élevées.

1.2.2 - Etude 2009

Le but est d'actualiser l'étude précédente et d'appréhender le **régime thermique du RCC** à des situations thermiques suffisamment contrastées.

1.3 - Caractérisation thermique et biologique de zones annexes refuges sur le RCC de Péage-de-Roussillon

1.3.1 – Etude 2009 : caractérisation thermique de zones annexes refuges

L'objectif est d'identifier le fonctionnement thermique de **milieux annexes** « refuge », suffisamment **contrastés** en terme de structure physique (1 lône, 4 casiers Girardon² de connexion variée avec le RCC) (Figure 1), afin de mettre en évidence d'éventuelles **hétérogénéités thermiques**.

1.3.2 – Etude 2010-2011 : suivi du fonctionnement biologique de zones annexes refuges

L'objectif est d'identifier le **fonctionnement biologique** de **zones annexes refuge**, en particulier vis-à-vis de l'hétérogénéité thermique définie précédemment.

Pour cela, un suivi de la **dynamique temporelle** des peuplements d'**invertébrés** et de **poissons** a été mené au sein de ces milieux au cours d'une chronique bi-annuelle (2010-2011) afin de déterminer la **structure** et la **densité** des peuplements de poissons et de macroinvertébrés en place dans ces annexes du Rhône.

1.4 – Sites d'étude

Les casiers Girardon créent, en marge immédiate du chenal, un système original d'eau partiellement close et stagnante, concourant au **maintien de la diversité transversale**, réduite dans un hydrosystème aménagé et chenalisé tel que le Rhône. Ils forment une **interface** entre le chenal et les bras morts en tant que tels (i.e. lônes). A partir d'un certain débit, la connexion des différents milieux s'effectue progressivement jusqu'à une submersion totale en forte crue (environ à partir de 1000 m³/s dans la partie court-circuitée pour le site de Péage-de-Roussillon). Dans ces conditions, la sédimentation s'effectue préférentiellement dans ces milieux où la vitesse du courant est faible.

Les zones **annexes** (lônes et casiers Girardon) étudiées dans le cadre de ce suivi sont localisées sur la figure 1. Ce sont (voir photos Figure 1) :

² Les « casiers Girardon » sont des milieux annexes créés artificiellement par l'implantation au 19^e siècle par l'Ingénieur Girardon de digues longitudinales et transversales au fleuve afin d'obliger celui-ci à auto-creuser son lit en concentrant le flux liquide dans le chenal de navigation. Ces milieux se sont progressivement végétalisés, colmatés et bien souvent asséchés au cours du temps (cf Fruget, 2003).

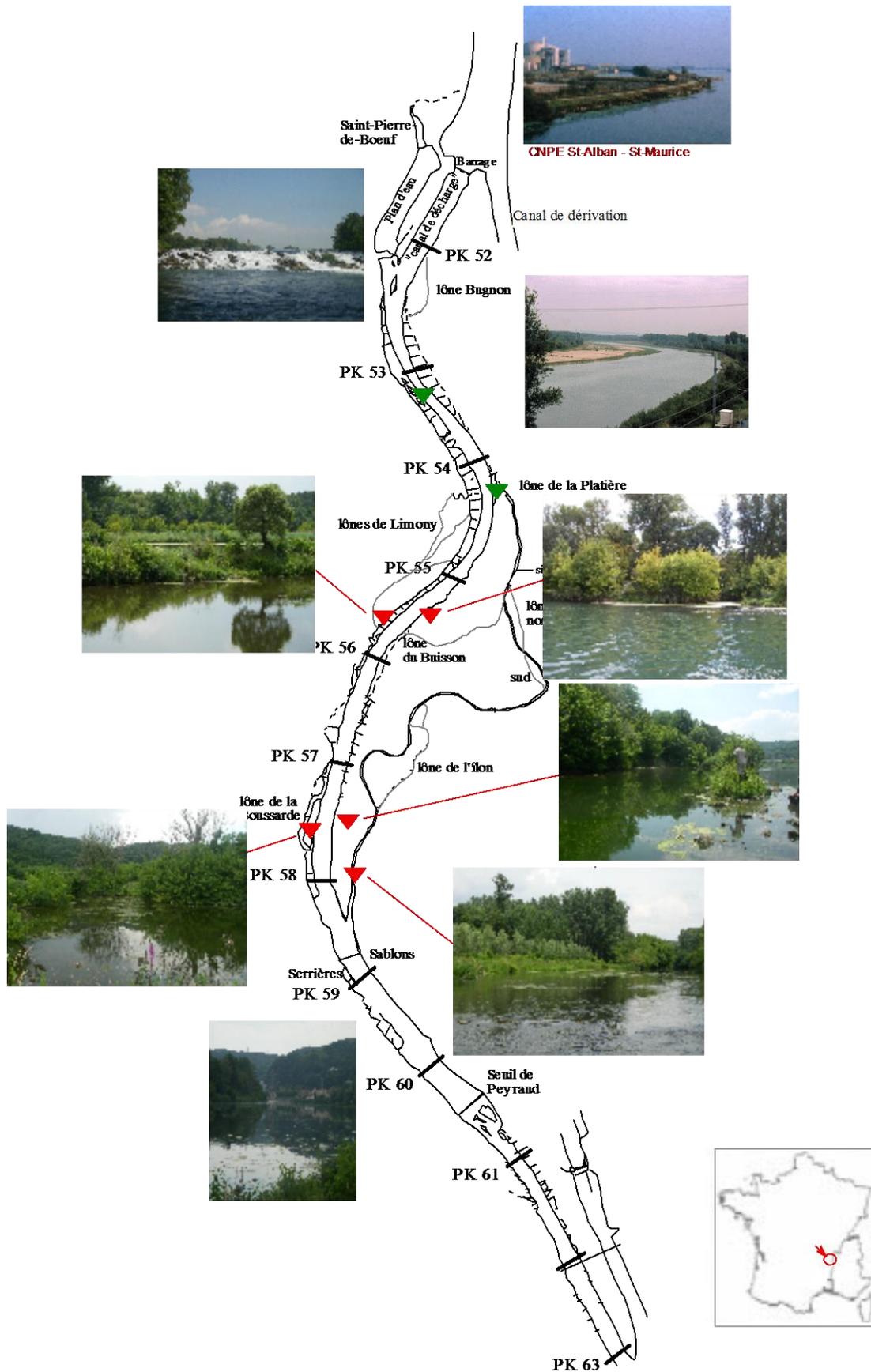


Figure 1. Localisation des stations d'échantillonnage sur le RCC. Triangles rouges, zones annexes étudiées ; triangles verts, position des enregistreurs VEMCO sur le chenal du RCC.

- un casier « ouvert » sur le RCC (i.e. avec une large ouverture dans la digue longitudinale au fleuve) en rive gauche au pk 55,5 le long de l'île de la Platière ;
- un casier « affleurant » (i.e. avec un arasement de la digue longitudinale) en rive gauche au pk 57,25 le long de l'île de la Platière ;
- deux casiers « fermés » (i.e. avec une digue longitudinale continue) mais avec un échange avec le RCC (via un petit chenal entre la digue) en rive droite aux pk 55,75 (débouché de la lône de Limony) et 57,40 (lône de la Boussarde nord) ;
- la lône de la Platière dans sa partie aval en amont du gué.

2 - ETUDE THERMIQUE LONGITUDINALE DU RCC

2.1 – Méthodologie

La méthodologie de mesure est identique à celle utilisée en 1997, à savoir **un transect tous les 500 m** entre le barrage et la restitution (soit 23 transects) avec **5 points transversaux** (RD, 1/4, 1/2, 3/4, RG), **3 profondeurs** (surface, -1 m, fond) et la technique des « **cellules de mesure** ».

Les transects ont été réalisés aux mêmes endroits qu'en 1997, leur emplacement et leur profil étant donnés sur la figure 2. **Trois séries** de mesures ont été effectuées (18/06 ; 03/09 ; 06/11) lors de 2 débits réservés théoriques³ (20 et 10 m³/s).

2.2 – Résultats

Lors des mesures de **mi-juin** (Figure 3), les conditions météo étaient lourdes et chaudes. La température « de référence » en aval immédiat du barrage de St-Pierre-de-Bœuf (SPdB) était de 22,8°C (pk 52). L'arrivée du plan d'eau de SPdB et/ou le drainage de la nappe de versant abaissent cette température de 1,5°C dans la moitié droite du RCC (pk 52,5). La température baisse progressivement dans la partie gauche (22,0°C). Ces phénomènes sont toujours notés en amont du radier d'Arcoules (pk 53), avec respectivement 21,6 et 22,1°C dans les parties droite et gauche. En aval du radier jusqu'au pk 56, la température du RCC fluctue d'environ 0,5°C entre les différents points et profondeurs. Par la suite, le long de l'île de la Platière jusqu'en amont du seuil de Peyraud, le remous de ce dernier et les profondeurs importantes pouvant atteindre 3 à 4 m (Figure 6) engendrent une stratification verticale moyenne de 1,5 à 3,0°C selon les points de mesure, avec un maximum de 4,4°C au point 1/4 RG du pk 59 (pour une profondeur de 2,50 m et une température de surface de 26,3°C). Le brassage engendré par le seuil de Peyraud homogénéise la température en aval de celui-ci (pk 61). Enfin, sur les derniers kilomètres du RCC, l'influence du remous engendré par la différence d'écoulement entre le canal de fuite (environ 900 m³/s ce jour là) et le RCC (une trentaine de m³) et la profondeur à nouveau importante (≥ 3 m) sont à l'origine d'une nouvelle stratification verticale de 1 à 1,5°C.

Lors des mesures de **début septembre** (Figure 4), le temps était couvert et orageux. La température « de référence » en aval immédiat du barrage de St-Pierre-de-Bœuf était de 23,6°C (pk 52). Cette valeur est la plus élevée enregistrée sur le RCC ce jour là. Aux pk 52,5 et 53, la température a diminué d'environ 2°C par rapport au point amont avec un écart allant de 2 à 1,5°C entre les moitiés droite et gauche. Les mesures s'homogénéisent ensuite entre les transects, les points et les profondeurs avec encore quelques stratifications ponctuelles aux pk 59 et 62 (voisines de 1°C).

Mi-novembre (Figure 5), les mesures se sont déroulées par un temps couvert avec le passage d'un épisode pluvieux. La température « de référence » en aval du barrage était voisine de 14°C. Contrairement aux deux dates précédentes, cette température se maintient en aval du plan d'eau de St-Pierre-de-Bœuf et en amont et aval du radier d'Arcoules (inertie thermique du plan d'eau et

³ La consultation des enregistrements de débit à la station CNR de Serrières située au pk 58,58 montre qu'en réalité le débit moyen journalier du RCC était respectivement de 32 m³/s les 18/06 et 06/11 et 22 m³/s le 03/09.

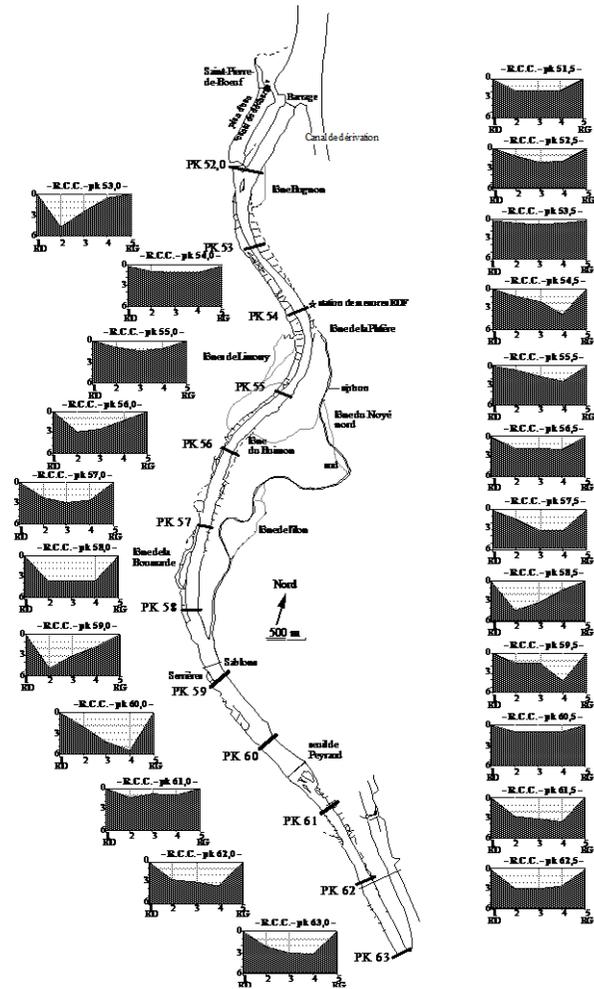


Figure 2. Emplacement et profil des transects de mesure de la température effectués en mai 1997 sur le RCC de Péage-de-Roussillon. Le fond de carte est tiré de D. Des Châtelliers (1995).

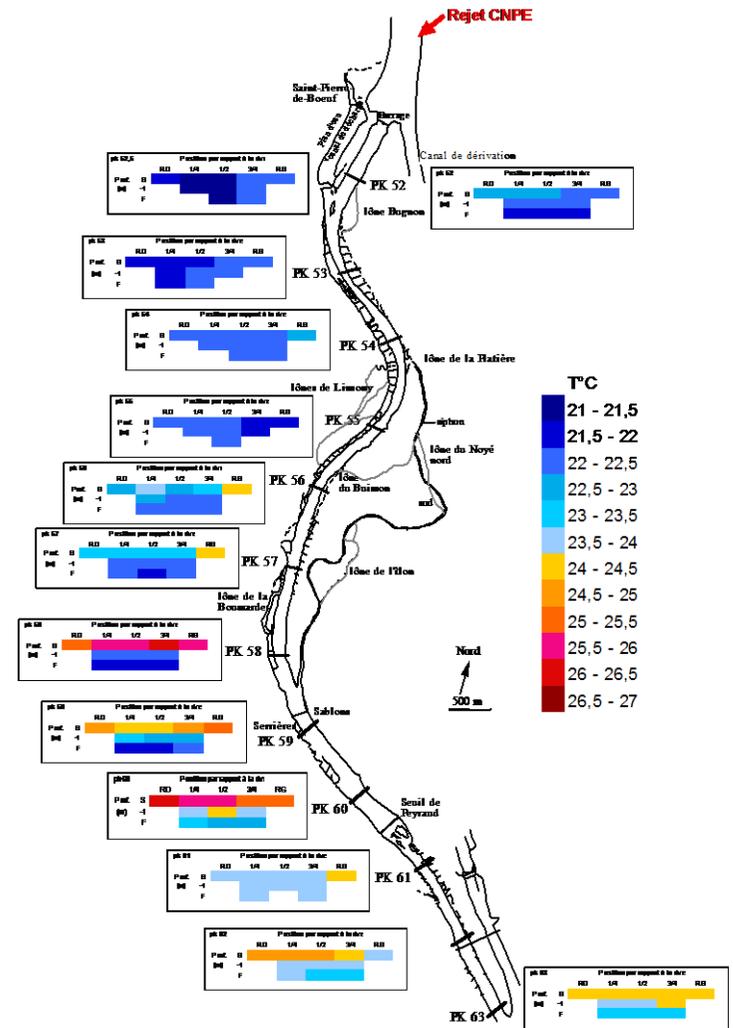


Figure 3. Transects de température du 18/06/09. Q réservé = 20 m³/s. Température mini = 21,0°C.

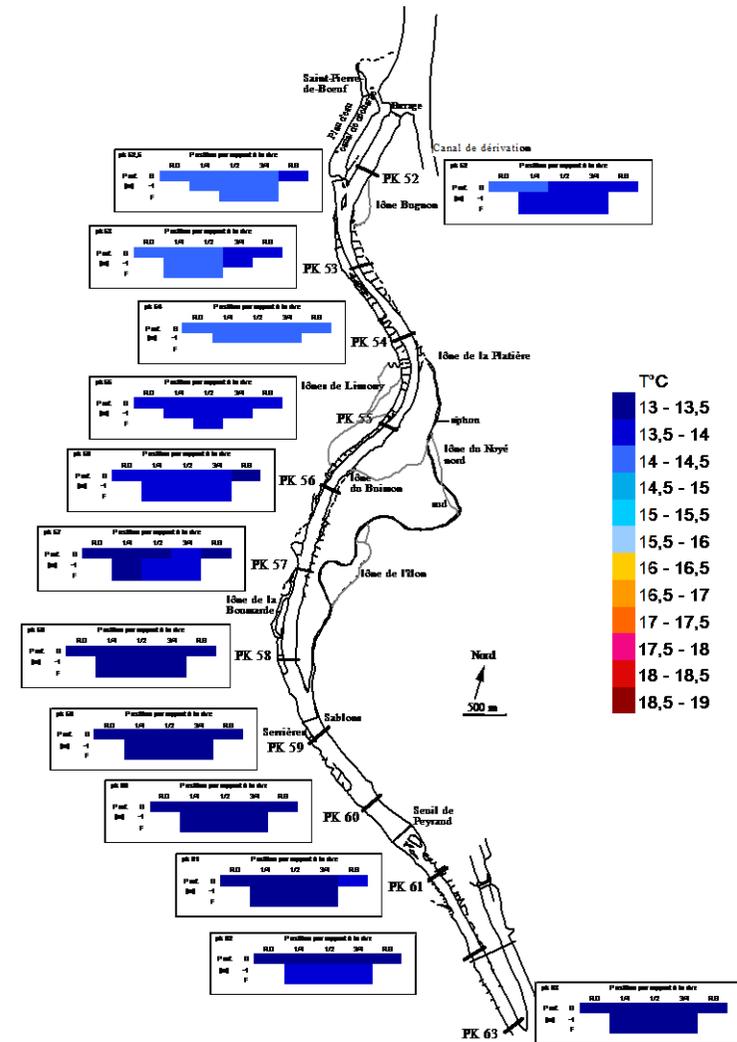
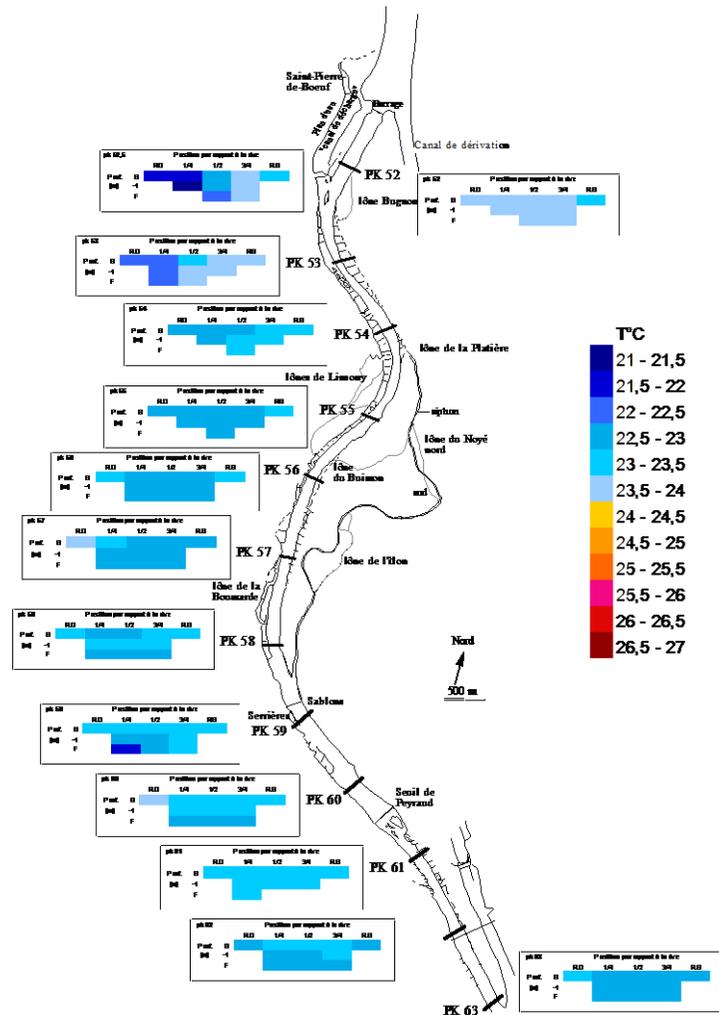


Figure 4. Transects de température du 03/09/09. Q réservé = 20 m³/s. Température mini = 21,0°C.

Figure 5. Transects de température du 06/11/09. Q réservé = 10 m³/s. Température mini = 13,0°C.

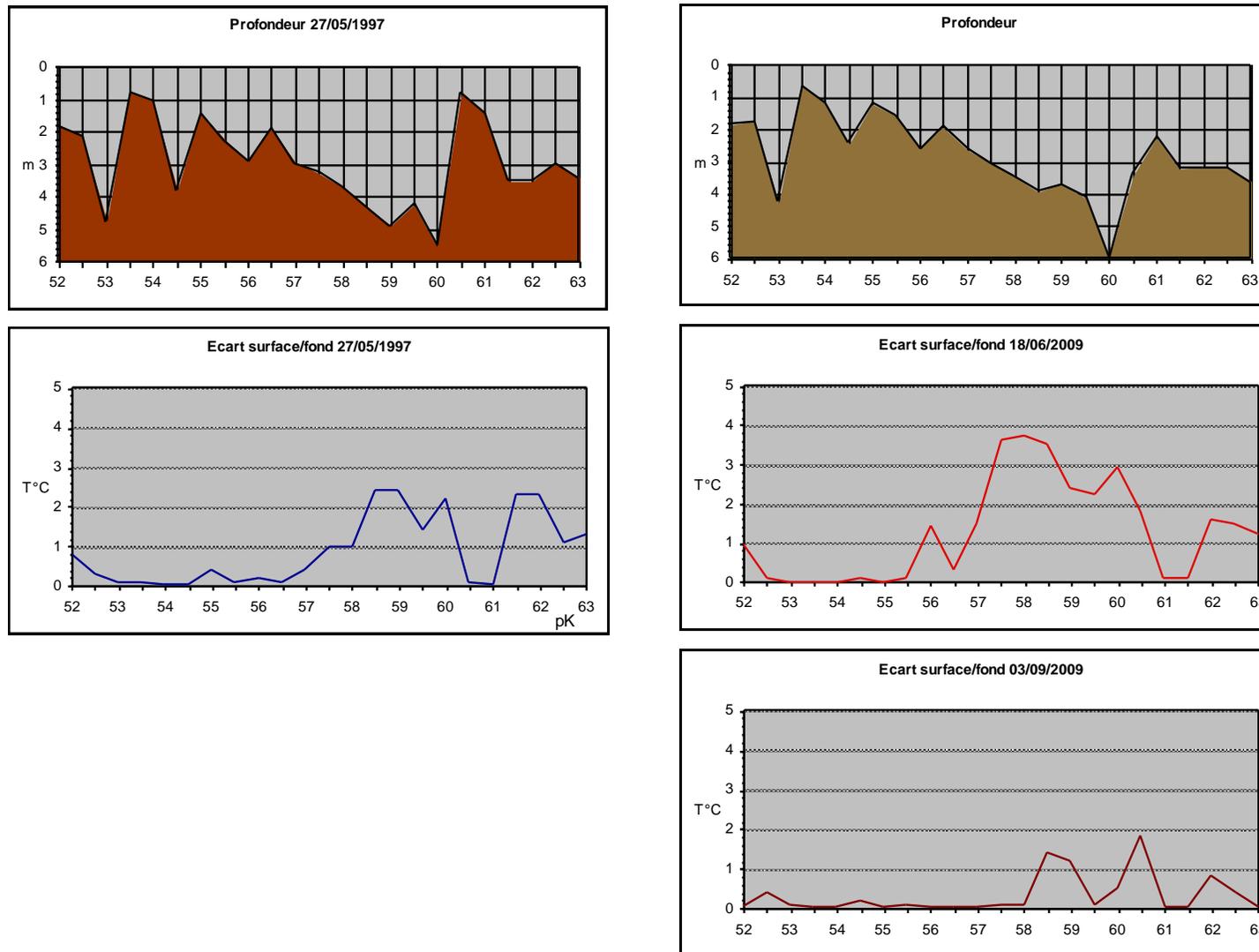


Figure 6. Evolution longitudinale des écarts de température entre la surface et le fond au point de profondeur maximale de chaque transect (sans préjuger de la position de celui-ci sur le transect). Comparaison des résultats de juin et septembre 2009 (à droite) avec ceux de la campagne de mai 1997 (à gauche).

nappe de versant), puis diminue progressivement le long du RCC, de 13,8 au pk 55 à 13,4°C au pk 63 (13,1°C au pk 59). La température maximale mesurée ce jour là est de 14,3°C en différents points et transects du tiers amont du RCC.

Ces mesures confirment celles de 1997, avec, principalement :

- l'influence sur la partie amont du RCC des arrivées concomitantes du plan d'eau de SPdB et de la nappe de versant qui s'atténue rapidement en aval du radier d'Arcoules ;
- une stratification verticale particulièrement marquée sur la partie centrale du RCC dans le secteur Serrières - amont du seuil de Peyraud ;
- une stratification verticale sensible sur la partie aval du RCC jusqu'à la restitution.

2.3 – Conclusion

La comparaison des résultats 1997-2009 (Figure 6) montre bien cette constance d'une stratification verticale marquée aux points les plus profonds (2,50 m et plus), tant dans la partie centrale que dans la partie aval.

Ce milieu apparaît ainsi **thermiquement hétérogène** avec l'identification de deux secteurs différents en relation avec la morphologie du lit (profondeur et présence du seuil de Peyraud), ainsi qu'une stratification verticale marquée de la température aux points les plus profonds.

La campagne de mi-juin apparaît comme étant celle présentant les conditions climatiques estivales les plus discriminantes. On semble alors assister à un **réchauffement progressif le long du RCC** avec l'atténuation des effets du plan d'eau et de la nappe de versant, l'accroissement de la profondeur et la présence du seuil. La part de la différence horaire entre le début et la fin des mesures (de 10h30 à 16h30) est toutefois difficilement quantifiable. En dépit d'une température « de référence » « réchauffée », les **conditions physiques du milieu** (faible débit, faibles profondeurs, inertie des parties profondes) et l'évolution des conditions naturelles journalières semblent être les **facteurs clés du fonctionnement thermique** de ce milieu.

3 - ETUDE THERMIQUE DE ZONES ANNEXES REFUGES

3.1 – Méthodologie

Des **enregistreurs thermiques** ont été implantés au niveau des 5 milieux annexes précédemment définis ainsi, qu'à titre de comparaison, sur le chenal du fleuve : amont et aval du CNPE de Saint-Alban (pk 47 et 49 RG, i.e. points du suivi environnemental) ; RCC en amont et en aval du radier d'Arcoules (pk 52.75 RD et 54.25 RG, ce dernier correspondant au point du suivi environnemental du CNPE) (voir Figure 1).

Les thermographes utilisés sont de marque VEMCO, petits enregistreurs contrôlés par un microprocesseur qui stocke les données dans une mémoire non volatile. Leur précision de lecture est de 0,2°C. Le pas d'enregistrement est horaire. La période d'enregistrement considérée s'étend du **01/06 au 15/11/2009**, soit 168 jours et 4032 valeurs potentielles.



Deux exemples de connexion avec le Rhône : « affleurement » du casier ouvert au pk 57,25 le long de l'île de la Platière (à gauche) et petit chenal entre la digue pour la Boussarde (à droite).

3.2 – Résultats

La figure 7 montre une **grande disparité des situations thermiques** entre les différents milieux, tant pour les valeurs horaires que pour les amplitudes journalières.

Sur le **Rhône** au niveau du site de Saint-Alban (secteur de retenue en amont du barrage de St-Pierre-de-Bœuf), le delta T moyen entre l'amont et l'aval du rejet est de 3,65°C sur la période d'étude avec une valeur horaire maximale de 25,7°C à la station de référence amont et voisine de 30°C (29,6) à la station aval (Figure 7).

Sur le **RCC**, le delta T moyen par rapport à l'amont du CNPE est de 1,17°C à l'amont du radier d'Arcoules (station « radier » sur les figures) et 1,28°C à la station RCC du suivi environnemental du CNPE située un peu plus en aval et sur la rive opposée (station « RCC » sur les figures). Par contre, ces 2 stations montrent une différence plus marquée dans les valeurs maximales : 26,6°C

pour la station « radier » et $28,0^{\circ}\text{C}$ pour la station « RCC » (Figure 8). Ces différents écarts peuvent être imputables au drainage et à l'arrivée de la nappe de versant au niveau du radier, entraînant un rafraîchissement ponctuel du RCC.

Pour les **milieux annexes**, le delta T moyen distingue 2 groupes de sites : la lône de la Platière et le casier de la Boussarde pour lesquels la valeur moyenne est de l'ordre de grandeur des stations du RCC ($1,2$ à $1,3^{\circ}\text{C}$) et les 3 autres stations, plus disparates ($+0,5^{\circ}\text{C}$ dans le casier de Limony, $-0,5^{\circ}\text{C}$ pour le casier du pk 55,5 et jusqu'à $-1,5^{\circ}\text{C}$ pour celui du pk 57,25°C). Les valeurs maximales horaires s'échelonnent de $23,6^{\circ}\text{C}$ pour le casier du pk 57,25 à $27,3^{\circ}\text{C}$ pour celui de la Boussarde (Figure 7). Une explication à ces différences pourrait être le fait que le premier a été couvert de lentilles d'eau une grande partie de l'été (cf photo), ce qui semble avoir tamponné l'échauffement, tandis que celui de la Boussarde est plus ouvert, moins soumis à l'ombrage de la ripisylve (au moins dans la partie amont où se trouvait l'enregistreur).

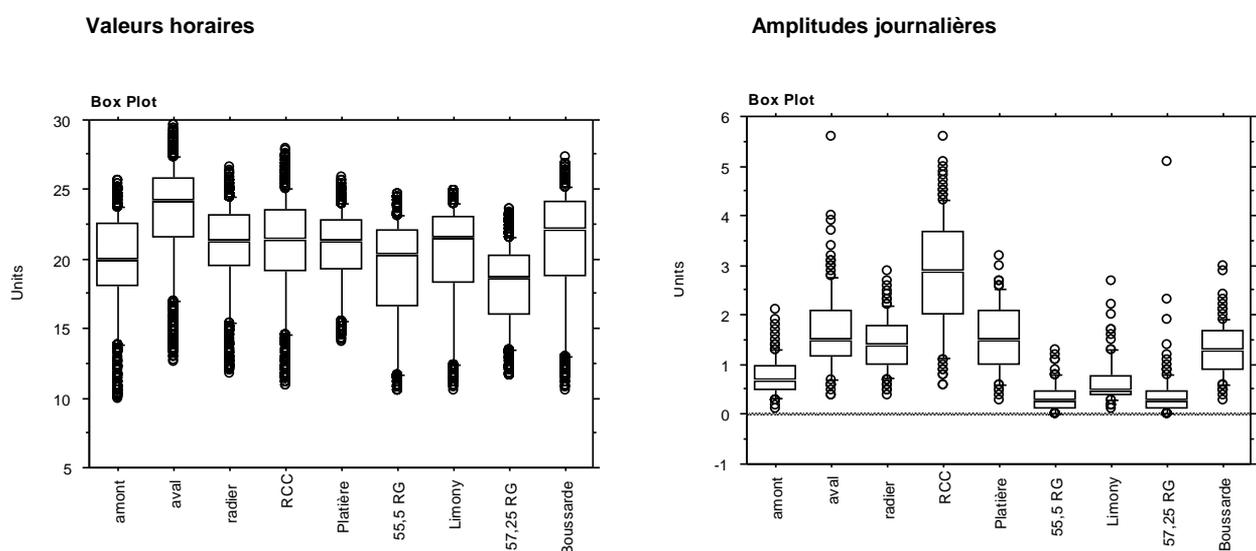


Figure 7. Comparaison des résultats des enregistrements thermiques 2009 entre les différentes stations du chenal et les milieux annexes.



Bloom algal à Cyanobactéries (probablement *Aphanizomenon Flos-aquae*) mi-juin 2009 (à gauche) et envahissement par les lentilles d'eau début septembre (à droite) dans le casier « ouvert » du pk 57,25 RG côté ile de la Platière.

Ces premiers constats sont confirmés par l'étude des **amplitudes journalières** (Figure 7). Trois groupes de stations peuvent être définis au regard de ce critère :

- celles à forte amplitude ($> 2^{\circ}\text{C}$) tel que la station « RCC » (moyenne = $2,85^{\circ}\text{C}$, $M = 5,6^{\circ}\text{C}$) ;
- celles d'amplitude sensible (i.e. intermédiaire, comprise entre 1 et 2°C) comme la station en aval immédiat du CNPE ; celle en amont du radier d'Arcoules, la lône de la Platière et le casier de la Boussarde ;
- celles d'amplitude $< 1^{\circ}\text{C}$: référence amont, casiers des pk 55,5 et 57,25 et celui du Limony.

Ces **situations contrastées**, tant pour les températures que pour les amplitudes, en particulier entre les deux stations du RCC, mettent bien en évidence l'existence d'**hétérogénéités thermiques** à l'échelle du chenal mais aussi des milieux annexes.

Outre leur envahissement plus ou moins important par la **végétation aquatique** (en particulier l'élodée de nuttall dans le casier de Limony et le cératophylle dans celui de la Boussarde), ces milieux stagnants sont très sensibles à l'éclairement et au réchauffement et, par voie de conséquence, aux **phénomènes photosynthétiques** conjoints tels que de brusques blooms phytoplanctoniques comme cela a pu être enregistré au mois de juin sur le casier affleurant du pk 57,25 (cf photo précédemment). Ces phénomènes ont pu être accentués en 2009 par les conditions météorologiques printanières et estivales particulièrement favorables et l'élévation précoce de la température. Sur l'ensemble de l'année, le delta T RCC vs amont du CNPE est ainsi voisin de $1,5^{\circ}\text{C}$ à la station de mesures EDF située au pk 54 RG (cf rapport de suivi hydrobiologique).

La figure 8 représente la chronique comparative des valeurs des différentes stations sur la période considérée. Un phénomène particulier apparaît pour les annexes, la brusque remontée des valeurs moyennes et des amplitudes journalières du casier du pk 57,25 aux environs du 10/08 : cela pourrait être dû à un fort épisode de vent du nord qui aurait repoussé les lentilles d'eau au fond du casier redevenu alors plus sensible au rayonnement solaire. Avec la remise en place progressive de la couverture de lentilles d'eau, ce milieu redevient par la suite plus tamponné du point de vue thermique.

3.3 – Conclusion

Les **milieux annexes** retenus pour l'**étude biologique** devant présenter des **situations suffisamment contrastées**, le choix s'est porté sur :

- le casier de **Limony** en rive droite au pk 55.75, de connexion semi-permanente en débit réservé et de faible amplitude thermique journalière ;
- le casier de la **Boussarde** en rive droite au pk 57.40, avec un petit chenal de connexion permanent en débit réservé et d'amplitude thermique journalière sensible ;
- le **casier affleurant** du pk 57,25 le long de l'île de la Platière en rive gauche (casier intitulé **Platière** par la suite), de connexion permanente avec le RCC et de faible amplitude thermique journalière.

La lône de la Platière n'a pas été retenue car c'est un vrai bras secondaire plutôt qu'un milieu annexe fermé et protégé comme nous recherchions dans le cadre particulier de cette étude. Elle est étudiée par ailleurs dans le cadre du suivi biologique du plan Rhône. Quant au casier ouvert du pk 55,5, il est fortement envahi par la végétation avec une entrée très atterrie, posant des problèmes d'accessibilité et de déplacement pour l'échantillonnage.

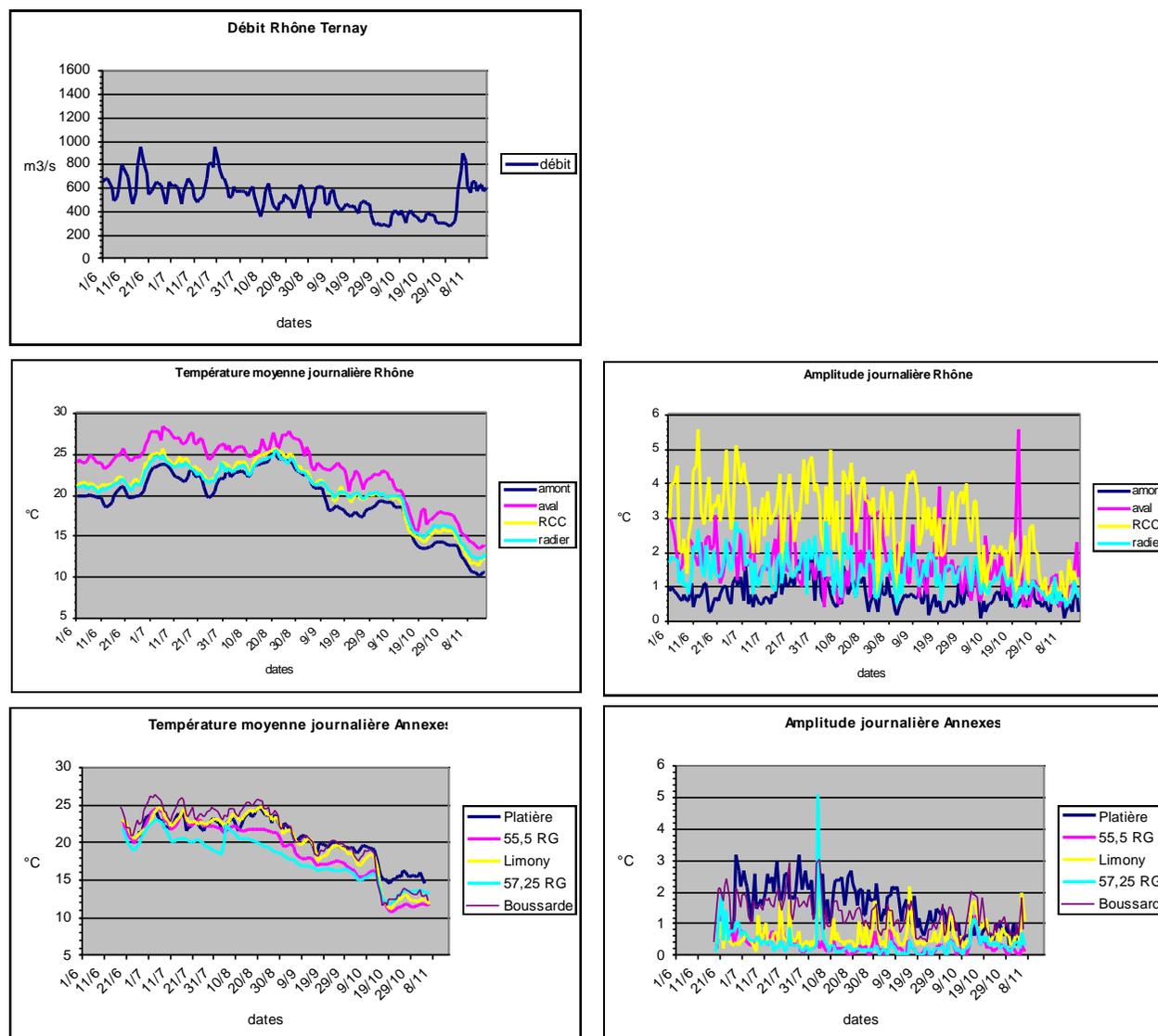


Figure 8. Chronique hydrologique et enregistrements de température du le 01/06 au 15/11/09 exprimés en moyennes journalières (à G) et en amplitudes journalières (à D).

4 - ETUDE DU FONCTIONNEMENT BIOLOGIQUE DE ZONES ANNEXES REFUGES

4.1 – Méthodologie

Le fonctionnement biologique des zones annexes refuges identifiées précédemment est appréhendé à travers le suivi de la **dynamique temporelle des peuplements d'invertébrés et de poissons**.

Le fonctionnement biologique de tels types de milieux apparaît peu étudié dans la bibliographie. Sur le **Rhône aval en amont d'Arles**, un suivi biologique des peuplements d'invertébrés et de jeunes poissons a été réalisé par Franquet et al. (1995), Poizat & Pont (1996), Pont & Nicolas (2001), pour caractériser les échanges et le rôle des casiers Girardon et des autres milieux annexes avec le chenal principal. Un suivi des macroinvertébrés et de l'ichtyofaune de milieux identiques a également été mené récemment (2008) sur le **RCC de Vernaison** (aménagement de Pierre-Bénite en aval immédiat de Lyon) dans le cadre d'un projet d'observatoire des milieux naturels (ARALEP et IRIS Consultants, 2009). Des milieux similaires, les « **dike fields** », sont rencontrés aux Etats-Unis sur le Mississippi (Anderson & Day, 1986 ; Beckett et al., 1983) ou le Missouri (appelés également « wing dikes » ; Slizeski et al., 1982).

Le présent suivi porte sur **3 sites** (« casiers », voir § précédent) durant **2 années** à compter d'avril 2010 au cours de **6 campagnes annuelles** (seulement 5 pour les poissons en 2010). Ces sites sont par la suite codifiés Limony (LIM), Platière (PLA) et Boussarde (BOU). Le protocole mis en oeuvre s'inspire de celui utilisé sur le Rhône aval arlésien par Pont et coll.

Les **invertébrés** sont échantillonnés par **substrats artificiels** de type IBGA mis au point dans le cadre du suivi de Saint-Alban (type mixte ficelle-cailloux, voir photo ci-dessous). Ces substrats sont déposés près des rives, au nombre de **2 par casier** (l'un plutôt en zone d'enrochements, l'autre plutôt en zone de dépôt limoneux et de développement de la végétation), **entre avril et novembre**, période d'activité biologique principale des invertébrés (avec un suivi continu de juin à septembre). La durée de colonisation (benthos et faune en dérive) de chaque substrat est d'environ 4 semaines.



Les **poissons** sont échantillonnés par **pêche électrique**. L'échantillonnage est **mensuel de juin à octobre**, permettant d'appréhender la reproduction et son succès avec le développement (ou non)

des individus juvéniles. Les casiers étant difficilement accessibles et navigables, les pêches électriques ont été effectuées au moyen d'un matériel portable (modèle DEKA 3000, alimenté par une batterie 12 Volts). L'équipe de pêche (3 personnes) est embarquée sur un bateau de type « Bombard » afin de faciliter la portabilité et la maniabilité de l'embarcation sur ces milieux de taille restreinte (voir photo ci-dessous). Pour chacun des trois casiers échantillonnés, le nombre d'EPA a été adapté à la longueur de berge et/ou à la superficie en eau accessible en bateau, ceci afin que les efforts de pêche soient facilement reproductibles et comparables (25 EPA pour le casier Limony, 20 pour le casier Platière et 30 pour celui de la Boussarde).

Le choix de l'**approche multi-punctuelle** consistant à effectuer des échantillons de petite taille (limitée à la zone d'attraction de l'anode) s'est imposé. Ces échantillons sont de type « EPA » (Nelva et al., 1979). Ils sont effectués généralement à proximité de la rive et répartis sur l'ensemble de la zone navigable de chacun des casiers. Sur chacun des EPA, les poissons sont individuellement déterminés à l'espèce (la limite de distinction entre le stade alevin indéterminé et le stade 0+ d'une espèce donnée est de 1,8 cm environ), mesurés (longueur totale) et remis à l'eau immédiatement après cette mesure. Sur le secteur de berge échantillonné, des variables mésologiques sont décrites et notées (profondeur, nature du substrat, présence et nature des abris, type de végétation, etc). Cette méthode, utilisée par Copp (1987) sur des lônes du Haut-Rhône, ou par Pont et al. (cf précédemment) sur des milieux similaires sur le Bas-Rhône en amont d'Arles, permet une estimation de la densité de chaque espèce (en effectif, éventuellement en biomasse) sur chacune des stations.



Lors de chaque campagne de relevés biologiques, quelques **paramètres physico-chimiques** « classiques » (température, pH, conductivité) et descripteurs de la production primaire (oxygène dissous, transparence, chlorophylle a et phéopigments, COT) sont mesurés en surface, et un profil vertical de température-conductivité-pH-O₂ est effectué tous les 50 cm. Des **enregistrements thermiques** en continu (au pas de temps horaire) sont également réalisés sur la durée de chaque étude annuelle d'avril à novembre (enregistreurs VEMCO).

4.2 – Stations

Les casiers échantillonnés sont représentés sur la figure 9 avec l'emplacement des différents points d'échantillonnage et de mesure.

Leur **superficie** est d'environ 3,5 ha pour le casier de Limony (LIM), 1,5 ha pour celui de la Platière (PLA) et environ 6 ha pour la Boussarde (BOU). Leur **profondeur** maximale sur la verticale de mesures physico-chimiques est d'environ 1,5-1,8 m pour LIM, 1,2 m pour PLA et un peu plus de 2 m pour BOU.

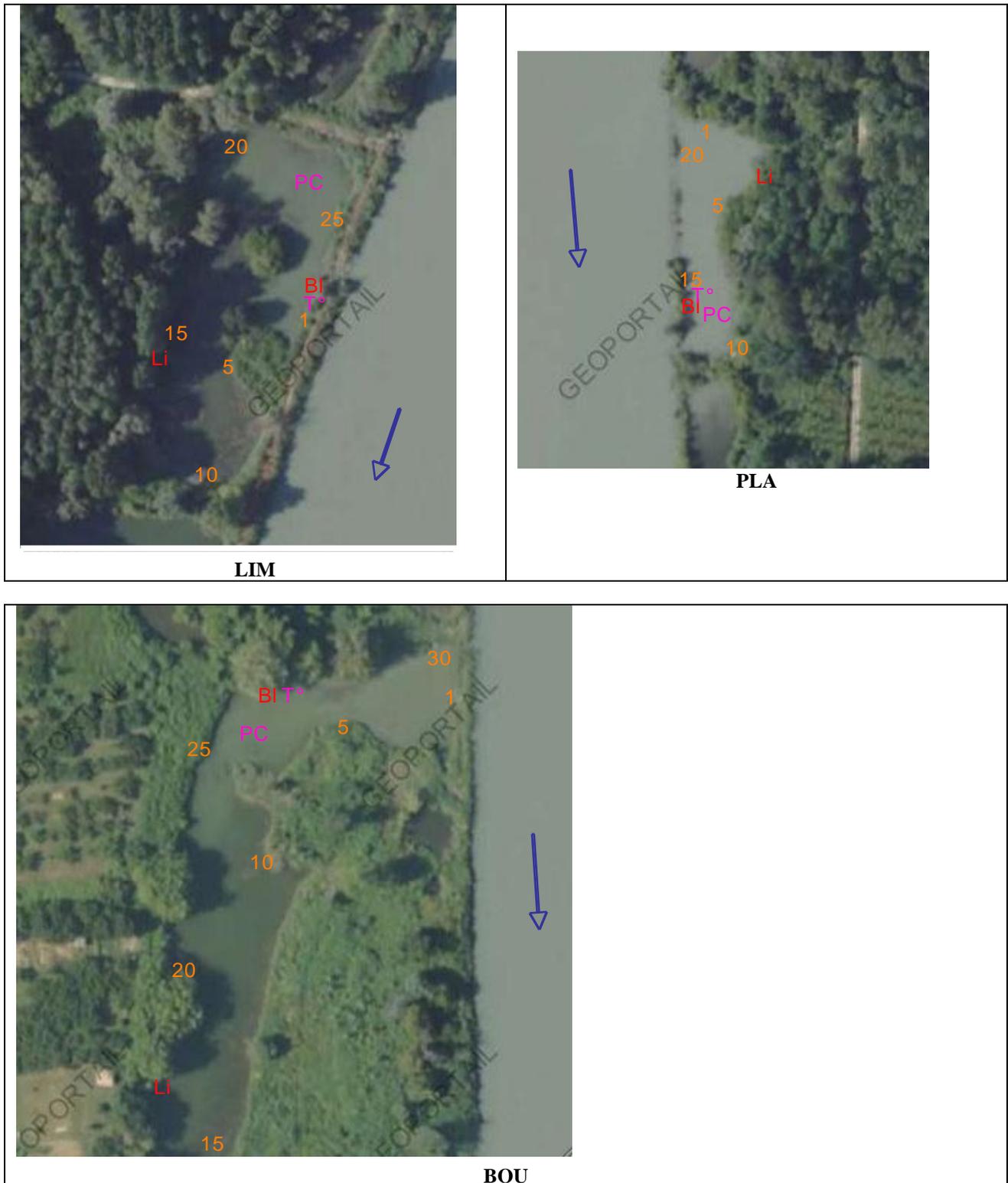


Figure 9. Vues aériennes des 3 casiers échantillonnés et emplacement des différents points de mesures. BI et Li : substrats artificiels respectivement en zone de blocs et en zone limoneuse. T° : thermomètre enregistreur. PC : point de mesure de la physico-chimie. 1 à 20 : EPA. Vues IGN Géoportail 1/2000.

4.3 – Hydrologie et température

4.3.1 – Hydrologie

Faisant suite à une année 2009 hydrologiquement déficitaire (coefficient d'hydraulicité annuel de 0,79), l'année hydrologique 2010 apparaît comme étant « normale » (coefficient de 0,96), mais l'hydrologie redevient **fortement déficitaire en 2011** (coefficient de 0,63) (Figure 10).

Ce contraste est également visible sur le RCC pour lequel le débit moyen annuel est de 119 m³/s en 2010 et moitié moindre en 2011 (63 m³/s). Pour rappel, le débit réservé est de 20 m³/s du 01/04 au 31/08 et de 10 m³/s le reste du temps.

Ceci s'explique en partie par des conditions hydroclimatiques particulièrement favorables en 2011 avec un printemps doux et précoce, un épisode pré-canicalaire au mois d'août et un automne clément et chaud. Le débit moyen annuel 2011 en amont du CNPE (680 m³/s) est le plus faible enregistré depuis le début de la chronique d'étude du site de St-Alban en 1985, bien inférieur à 1989 (718 m³/s) et 2003 (735 m³/s). Un coefficient d'hydraulicité de 0,39 en avril et de 0,28 au mois de mai a ainsi été noté.

Durant cette période, le fleuve a connu une période de hautes eaux d'amplitude supérieure à celle de la crue annuelle (2740 m³/s) en décembre 2010 avec un maximum moyen journalier de 3070 m³/s le 8 décembre. Cet épisode se poursuit en janvier 2011, mais avec une amplitude plus modérée. Les coefficients d'hydraulicité mensuels sont ainsi de 1,62 et 1,05 pour ces deux mois.

Comme épisodes notables durant nos périodes d'échantillonnage (grosso modo d'avril à octobre-novembre chaque année), on peut mentionner un pic de débit voisin de 1500 m³/s enregistré mi-août 2010, consécutif à des entretiens de groupes à l'usine CNR de Sablons, ce qui a nécessité un lâcher dans le RCC (augmentation de niveau d'environ 1,50 m pour un pic de débit d'environ 450 m³/s). Un épisode similaire s'est produit également en juillet 2011 avec une pointe à 1250 m³/s générant un maximum de 650 m³/s dans la partie court-circuitée.

4.3.2 – Thermie

Stations d'enregistrement en continu EDF St-Alban

Les données discutées dans ce cadre sont celles des stations d'enregistrement EDF et sont issues des rapports annuels de suivi hydrobiologique du site (ARALEP, 2012 et 2011).

Les deux années sont **contrastées du point de vue thermique** : pour la référence amont CNPE, inférieure à la moyenne de la chronique 2000-2011 pour 2010 (13,0°C vs 14,2°C), très supérieure à cette même moyenne pour 2011 (15,5°C vs 14,2°C) qui est également supérieure de près de 0,5°C à celle de 2003. Ceci est à mettre en parallèle aux données de Météo France qui font ressortir, pour le département du Rhône, une température moyenne annuelle de l'air supérieure de près de 2°C à celle des 30 dernières années (13,8°C vs 11,9°C). Concernant la valeur 2010, on peut penser qu'elle traduit en particulier les différents épisodes météorologiques froids et neigeux du début et de la fin de l'année.

La valeur « record » de la température moyenne du fleuve en 2011 à la station amont est plus due à la durée de la période de température élevée, particulièrement précoce au printemps (Météo France donne une valeur moyenne de 14,5°C sur mars-avril-mai en 2011 pour une moyenne « ordinaire »

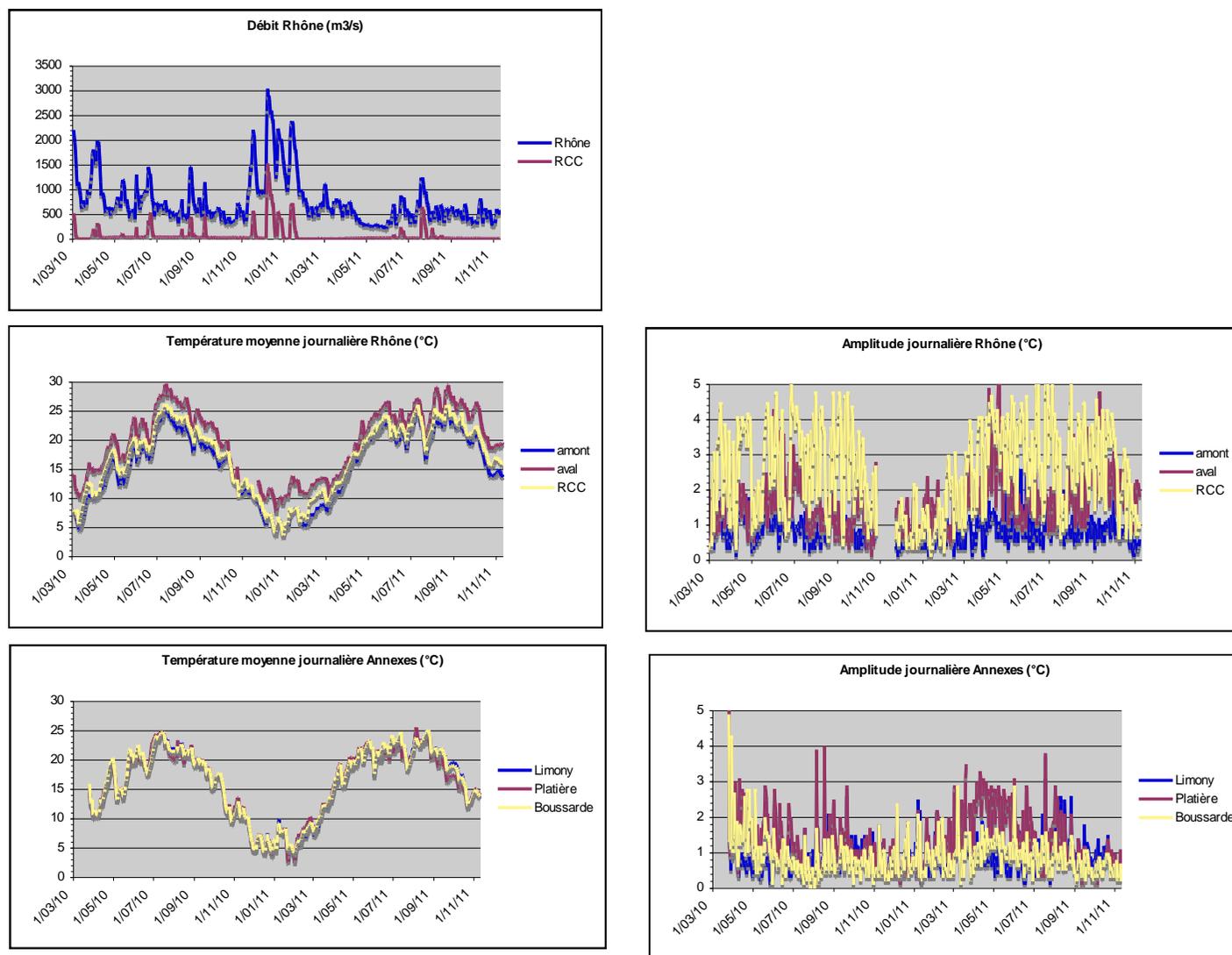


Figure 10. Chronique hydrologique (données CNR) et enregistrements de température 2010-2011 (enregistreurs VEMCO Aralep) exprimée en valeurs moyennes journalières (à gauche) et en amplitudes journalières (à droite).

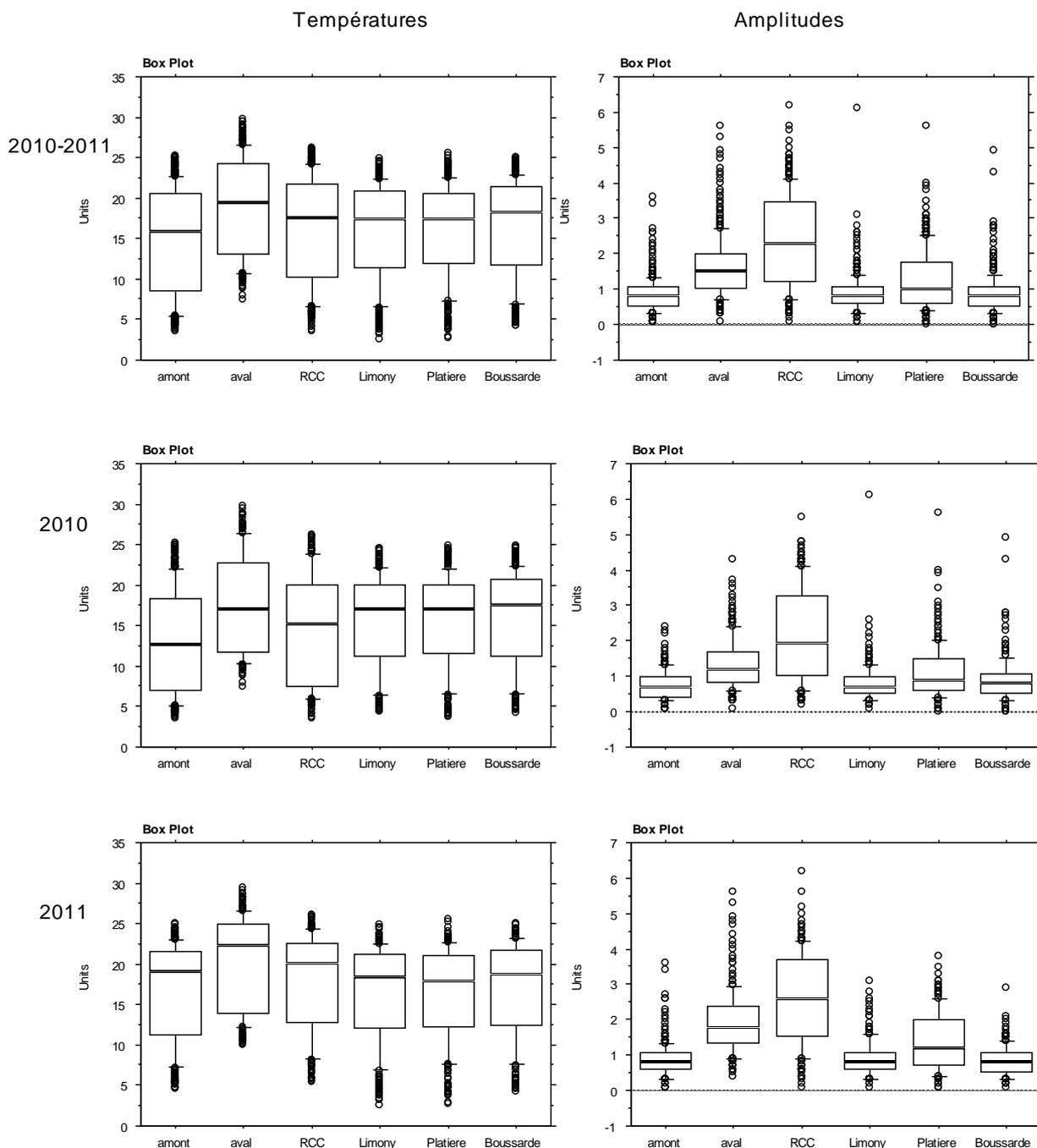


Figure 11. Comparaison des résultats des enregistrements thermiques 2010-2011 (01/01/10 au 10/11/11 - enregistreurs VEMCO Aralep) entre les différentes stations du chenal et les milieux annexes. Distribution selon le principe des « boîtes et moustaches » des valeurs de température. Chaque boîte est délimitée par les 1er et 3ème quartiles. La ligne du milieu représente la médiane. Les points représentent les valeurs extrêmes situées au-delà des 1er et 9ème déciles (« moustaches »).

de 11,1°C) et qui s'est poursuivie tardivement à l'automne, qu'à de fortes valeurs extrêmes. A l'opposé, une chute thermique se produit mi-juillet liée à la dégradation des conditions climatiques ce mois-là (à l'échelle de la France, la température moyenne du mois de juillet 2011 est la plus basse enregistrée depuis 30 ans, selon Météo France). Elle atteint plus de 8°C sur une durée d'une dizaine de jours à la station amont.

Sur le RCC, les températures moyennes annuelles respectives sont de 14,4°C en 2010 et 16,6°C en 2011, pour une moyenne 2000-2011 de 15,4°C .

Enregistrements ARALEP sur le fleuve

Les tendances précédentes sont bien évidemment confirmées par les résultats des enregistreurs que nous avons nous-mêmes implantés aux différentes stations aux points de dépôt des substrats artificiels d'échantillonnage des invertébrés du suivi hydrobiologique du CNPE (Tableau I et Figure 10).

Les valeurs notées ne seront pas rediscutées pour les stations amont et RCC (et comparaison avec la station aval réchauffée), si ce ne sont les amplitudes journalières que ne nous permettent pas de calculer les données EDF fournies en moyenne journalière.

Ainsi sur la période janvier 2010 - novembre 2011, l'**amplitude journalière** apparaît classiquement plus marquée sur la partie court-circuitée (RCC) que sur le chenal principal du fleuve (amont) : 2,4°C vs 0,8°C (1,6°C à la station aval) (Tableau I). Elle est au maximum de 3,6°C à l'amont et de 6,2°C dans le RCC (5,6°C à l'aval). Les valeurs maxi sont enregistrées en 2011.

Tableau I. Résumé des enregistrements des thermographes VEMCO du 01/01/10 au 10/11/11.

Temp.	(°C)	Amont	Aval	RCC	Limony	Platière	Boussarde
2010	Moyenne	13,12	17,61	14,55	15,63	15,77	16,0
	mini	3,5	7,5	3,6	4,4	3,7	4,3
	Maxi	25,2	29,7	26,2	24,6	24,9	24,8
2011	Moyenne	16,59	20,40	17,91	16,24	16,35	16,67
	mini	4,5	10,0	5,4	2,5	2,7	4,2
	Maxi	25,1	29,5	26,1	24,8	25,6	25,1

Amplitudes	(°C)	Amont	Aval	RCC	Limony	Platière	Boussarde
2010	Moyenne	0,75	1,33	2,17	0,81	1,12	0,90
	Maxi	2,4	4,3	5,5	6,1	5,6	4,9
2011	Moyenne	0,86	1,90	2,60	0,91	1,38	0,86
	Maxi	3,6	5,6	6,2	3,1	3,8	2,9

Enregistrements ARALEP sur les annexes (casiers)

Sur la période janvier 2010 - novembre 2011, **les températures moyenne des 3 casiers apparaissent très voisines** : respectivement 16,0°C pour LIM, 16,1°C pour PLA et 16,3°C pour BOU (Figure 11). Ceci ne confirme pas les mesures 2009 qui montraient une température moyenne plus élevées pour BOU (cf § 3.2). On peut penser que la forte couverture de lentilles d'eau sur PLA

durant la majeure partie de l'été 2009 avait joué un rôle tampon sur le fonctionnement thermique de cette station peu profonde et de faible superficie en 2009. Du point de vue annuel, les valeurs 2011 sont supérieures aux valeurs 2010 (Tableau I) en fonction de ce qu'il a été dit précédemment pour l'hydroclimatologie. Quelle que soit l'année, l'écart est inférieur à 0,5°C entre les 3 milieux. Les valeurs maxi sont très voisines entre les 2 années, hormis pour BOU (différence de 0,7°C). A l'opposé, cette dernière station présente des minimums quasi similaires tandis que ceux de LIM et PLA sont nettement plus bas en 2011.

Les **amplitudes journalières** moyennes de la chronique sont **similaires et moindres pour LIM et BOU** (0,9°C), les deux casiers les plus grands, les plus fermés, de connexion réduite avec le RCC et de profondeur plus importante, **par rapport à PLA**, casier largement ouvert sur le RCC, de plus faible superficie et peu profond (1,3°C). Ce dernier résultat diffère de l'année 2009 où l'on peut penser que la couverture du casier une grande partie de l'été par des lentilles d'eau cf § 2.2), phénomène non observé (ou d'ampleur beaucoup plus réduite) en 2010 et 2011, avait eu un effet « protecteur » vis-à-vis du réchauffement. Par contre, les valeurs maximales diffèrent assez nettement entre les milieux et les années (Tableau I), mais aussi par rapport à celles 2009 (cf § 2.2). Si les valeurs moyennes d'amplitude journalière sont plus élevées en 2011 (cf le printemps doux et précoce et l'automne tardif), les valeurs maximales sont enregistrées en 2010 (Tableau I).

En résumé, si les 3 casiers sont **très voisins pour leur température moyenne**, les **valeurs maximales atteintes sont beaucoup plus variables**, probablement liées aux variations inter-annuelles de l'ombrage potentiel par la ripisylve et au **développement et à la couverture de l'eau libre** par la végétation macrophytique (cf l'influence de la forte couverture de lentilles d'eau de PLA en 2009).

4.4 – Résultats

4.4.1 – Physico-chimie

Lors de chaque campagne, des mesures physico-chimiques sont pratiquées au point de plus grande profondeur (ou supposé comme tel), en particulier sur les paramètres liés à la production primaire. Les mesures *in situ* sont réalisées par nos soins avec une sonde multiparamètres WTW 3430 tandis que les analyses de chlorophylle et de COT sont confiées à un laboratoire expert agréé, CARSO-LSEH à Lyon. Les tableaux de données brutes figurent en annexe de ce document.

Pour rappel (cf § 4.1), ce sont des **mesures ponctuelles** prises en parallèle aux prélèvements biologiques au niveau de chaque site et donc à des heures différentes de la journée (d'amont en aval de LIM à BOU, entre 11h30 et 17h30 approximativement).

Sur les figures suivantes, les profils verticaux sont considérés jusqu'à 1,5 m de profondeur afin d'être homogène entre les stations (cf § 3.2).

Les mesures de **température** montrent une évolution différente entre les deux années (Figure 12.1) : réchauffement progressif en 2010, printemps très précoce et chaud en 2011. Quelle que soit l'année, les températures maximales de surface sont bien supérieures à 25°C. Une certaine homogénéité existe entre les stations, si BOU présente souvent la température la plus élevée c'est également la station échantillonnée le plus tard dans la journée. Par contre, les disparités sont plus nettes pour le **delta T vertical** à -1,5 m qui atteint souvent plusieurs degrés, en particulier à BOU. En période de **fortes températures de surface**, on arrive ainsi à des **valeurs au fond proches de 20 à 22°C** à BOU, voire LIM (drainage de nappe ?).

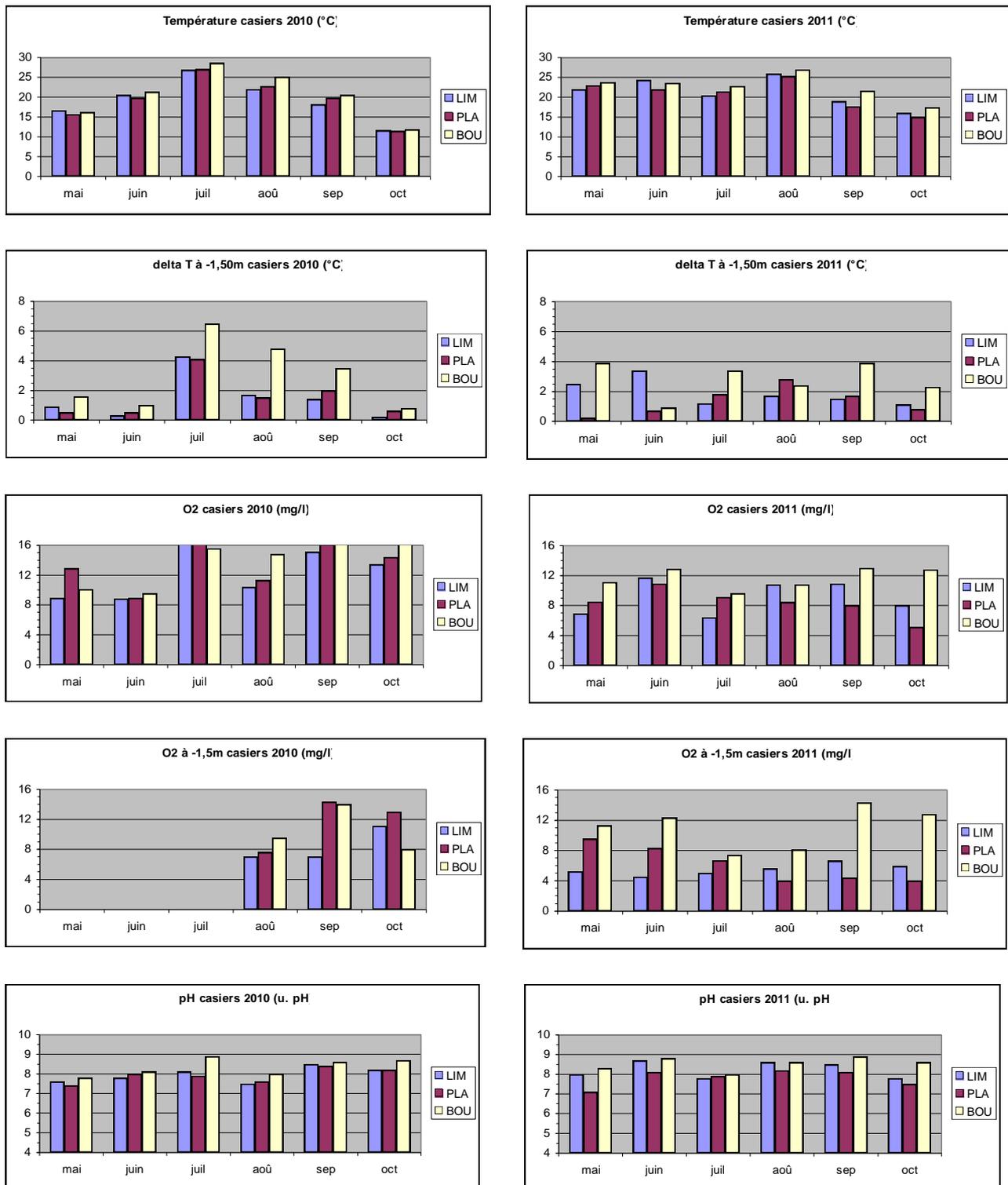


Figure 12.1. Synthèse des résultats physico-chimiques 2010-2011.

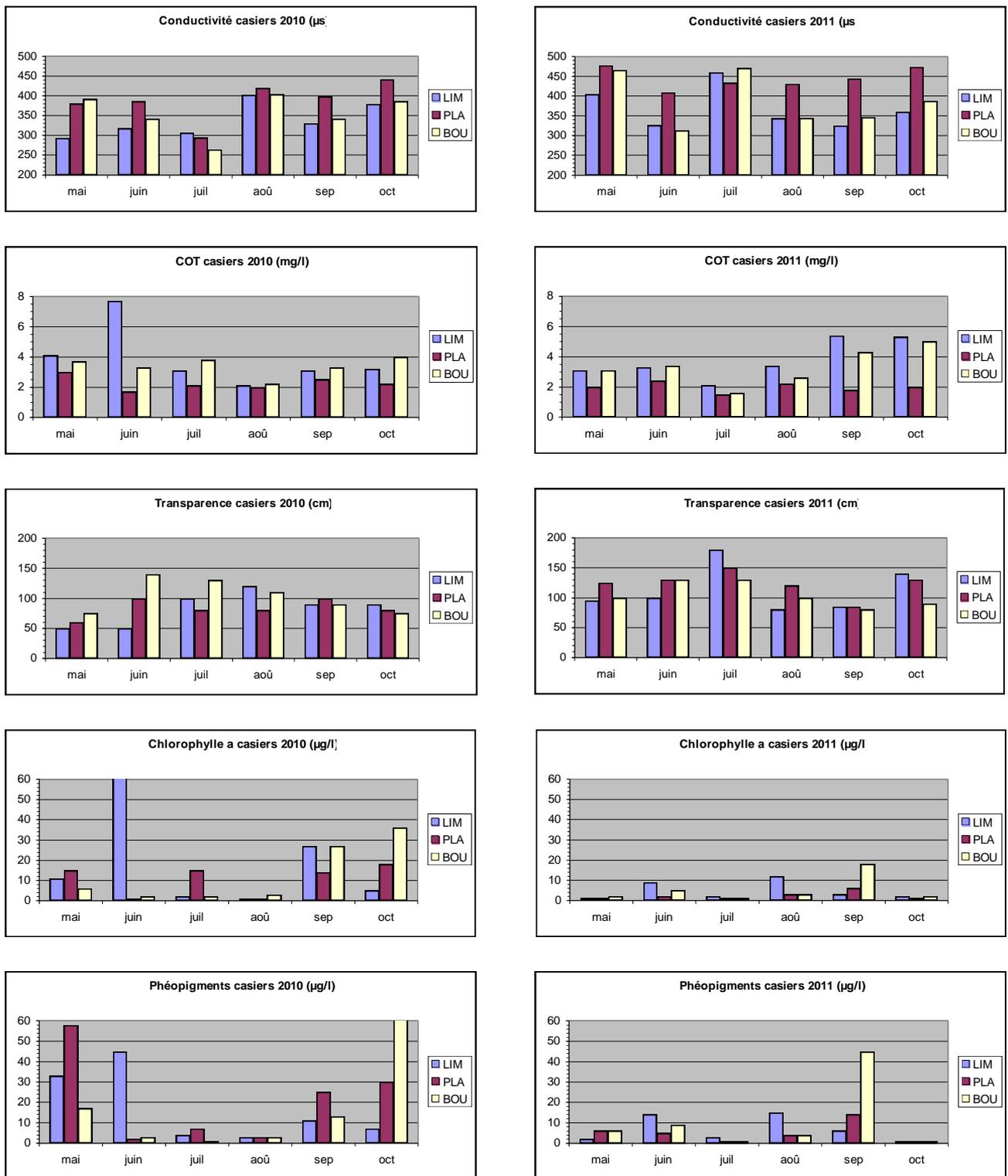


Figure 12.2. Synthèse des résultats physico-chimiques 2010-2011 (suite).

Un problème technique nous a privés des premières mesures d'**oxygène dissous** sur la verticale en 2010 (Figure 12.1). Au vu de l'abondance de la végétation aquatique dans ces milieux, on peut penser que celle-ci a une influence notable sur ce paramètre, en particulier en profondeur. Si cela n'est pas trop visible pour les quelques mesures 2010, **de faibles teneurs d'oxygène sont mesurées à -1,5 m** en pleine journée en 2011 à plusieurs reprises, essentiellement à LIM et PLA, casiers les plus envahis par les macrophytes aquatiques (cératophylle, élodée de Nuttall, lentilles d'eau, algues vertes filamenteuses en particulier, sur tous les casiers ou certains plus particulièrement selon les dates).

On peut ainsi **se poser la question des concentrations d'oxygène de ces milieux en fin de nuit**, et donc de consommation par la végétation, lorsque des teneurs de 4 à 5 mg/l sont mesurées en fin de matinée ou début d'après-midi comme c'est le cas à LIM et PLA.

Si les mesures de carbone organique sont globalement modérées, les valeurs de transparence et les teneurs en pigments chlorophylliens (Figure 12.2) font bien apparaître le caractère **particulièrement eutrophe** de ces milieux, que ce soit à partir des mesures de chlorophylle a (phytoplancton en phase de croissance) et/ou des phéopigments (phytoplancton sénescant). Différents blooms algaux, d'intensité variable, sont ainsi détectés lors des pics planctoniques de début et de fin d'été : cf par exemple en 2010 à LIM en juin avec un peuplement planctonique en pleine phase d'activité (transparence de 50 cm pour une somme chla-phéo de près de 130 µg/l) et à BOU en octobre avec un peuplement sénescant (somme voisine de 100 µg/l, transparence de 75 cm) ; à BOU en septembre 2011 où là aussi le peuplement est plutôt sénescant. Les valeurs 2011 apparaissent (à nos dates d'échantillonnage) moindres que celles de 2010.

En résumé, concernant la physico-chimie, ces milieux apparaissent comme étant particulièrement **eutrophes** avec une **stratification verticale journalière souvent sensible de la température et de l'oxygène dissous** (hormis à BOU pour ce dernier paramètre). On peut s'interroger sur les faibles teneurs en oxygène probablement présentes en fin de nuit. Par contre, en période de fortes températures de surface, la température du fond apparaît plus modérée (Boussarde).

4.4.2- Ichtyofaune

4.4.2.1 – Conditions d'échantillonnage

La figure 13 représente les **conditions thermiques et hydrologiques ayant précédé chaque campagne d'échantillonnage**, depuis la campagne précédente (valeurs tendanciennes 30 jours approximativement).

Du point de vue thermique, on voit la **précocité de l'élévation de température en 2011** et son **prolongement durant l'automne**, les valeurs de juin et septembre-octobre 2011 étant bien supérieures à celles de ces mêmes mois en 2010.

Le graphique des nombres de jours avec un débit réservé $> 50 \text{ m}^3/\text{s}^4$ permet d'apprécier la fréquence de connexion efficace pour les casiers **LIM et BOU**, PLA étant constamment et largement ouvert. Dans le cas précis (et à la période d'étude, i.e. de juin à octobre), ces événements sont essentiellement liés à des problèmes de groupes à l'usine hydroélectrique. On voit que si ce nombre de jours est très faible, voire nul, en mai et juin (dans les conditions 2010-2011), il y a **connexion pendant près d'un tiers du temps en juillet et août** (voire plus de 40% en juillet

⁴ Cette valeur est la futur valeur plancher du débit réservé après son augmentation en 2014.

2011).

Le débit tendanciel et le débit maximal permettent de préciser comment se distribue l'hydrologie durant ces périodes supérieures au strict débit réservé, en particulier le second qui montre les à coups de débit que peut subir le RCC en période estivale. Ce sont ainsi des **pics de plusieurs centaines de m³/s** que subit la faune aquatique de ce milieu. En 2010, le débit réservé moyen est ainsi durablement bien supérieur à la stricte valeur de 20 m³/s. A l'exception du mois de juillet (Q moyen de 125 m³/s, pic de 650 m³/s), l'hydrologie tendancielle 2011 est beaucoup plus modérée.

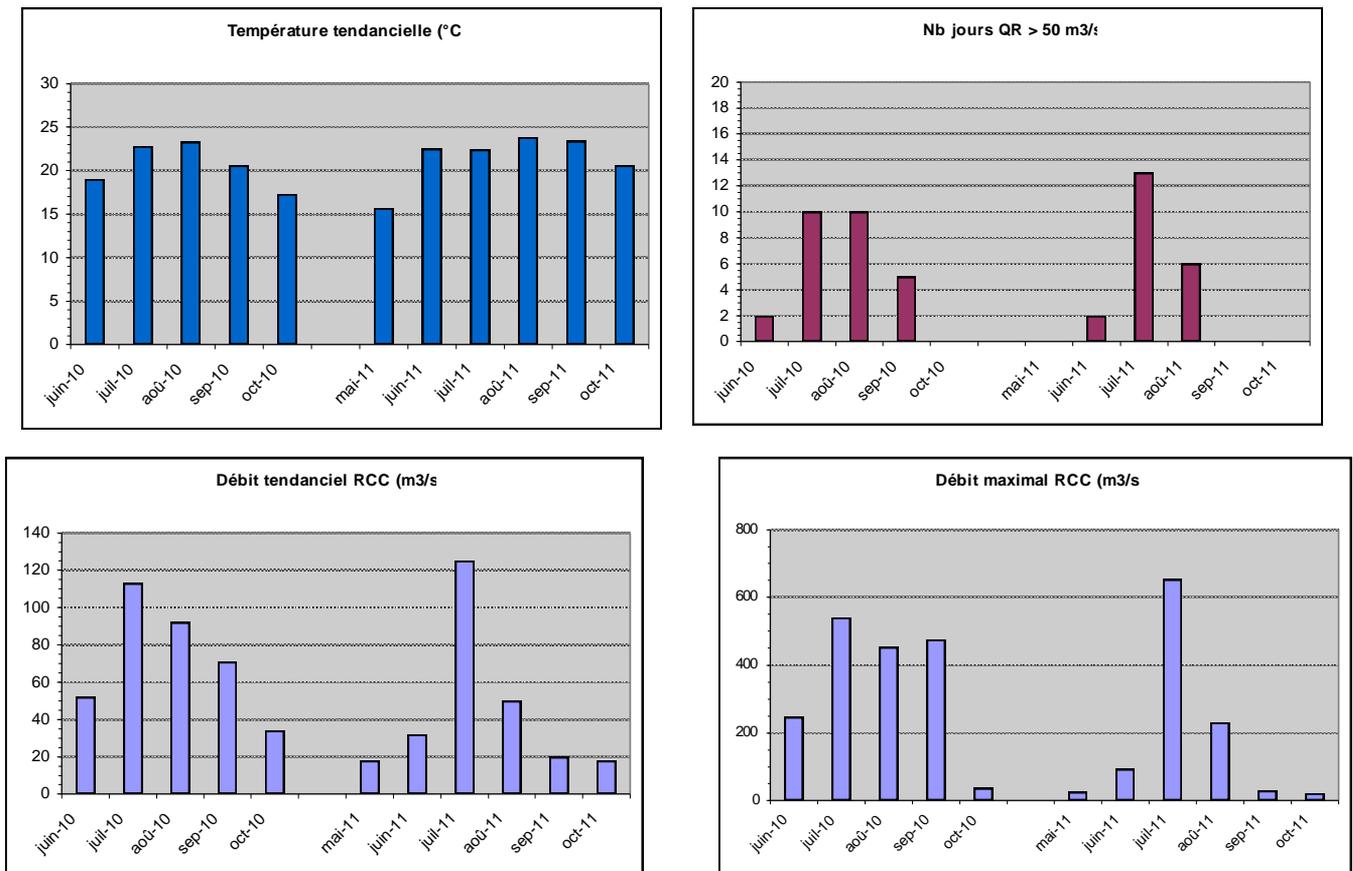


Figure 13. Température et hydrologie du RCC lors de chaque campagne d'échantillonnage piscicole.

Une rapide synthèse de la répartition des modalités des différentes **variables mésologiques** relevées lors de chaque EPA (Tableau II) montre que ces milieux ont en moyenne des rives avec des **pentés plutôt faibles** (55,2%), une **faible profondeur** (69,6%), un substrat **limon-vase** dominant (65,7%), de la **végétation** de type Ranunculus (75,2%). Ces caractéristiques sont en particulier bien marquées à LIM. Plus de la moitié (55,7%) des relevés ne présentent pas d'abris, et lorsque ceux-ci sont présents ils sont pour moitié de type ligneux et pour moitié de type blocs. Enfin, un peu plus d'un quart des relevés (26,5%) sont vides (i.e. aucun poisson). Ce dernier chiffre est < 10% sur le chenal pour la période printemps-automne (ARALEP, 2011 et 2012).

Tableau II. Modalités des différentes variables de milieu relevées à chaque EPA. Pourcentage total 2010-2011.

% 2010-2011		LIM	PLA	BOU
Pente				
chenal	1	2,2	0,5	2,7
faible	2	62,2	52,3	51,2
moyenne à forte	3	35,6	46,8	45,8
verticale	4	0,0	0,5	0,3
Profondeur				
< 0,5 m	1	73,1	69,5	66,1
0,5 - 1 m	2	21,8	26,8	24,5
1 - 1,5 m	3	4,4	3,2	4,8
> 1,5 m	4	0,7	0,5	4,5
Substrat				
limon - vase	1	68,0	58,6	70,6
sable	2	3,6	0,0	7,9
graviers	3	1,8	3,6	0,6
galets	4	5,1	1,4	7,3
blocs	5	21,5	35,5	10,6
indéterminé	6	0,0	0,9	3,0
Ombrage				
nul	1	70,5	69,5	75,8
peu important	2	25,5	23,2	19,1
important	3	4,0	7,3	5,2
autre	4	0,0	0,0	0,0
Hydrophytes				
absence	1	9,5	24,1	18,8
type Phragmites	2	1,5	1,8	2,7
type Ranunculus	3	84,7	67,3	73,6
type Nymphaea	4	4,4	6,8	4,8
Pérlithon				
absence	1	74,9	73,2	83,3
présence	2	25,1	26,8	16,7
Abris				
absence	1	60,7	39,5	67,0
ligneux accessoires	2	15,3	22,7	17,9
ligneux dominants	3	2,9	2,3	3,6
blocs	4	21,1	35,5	11,5
Poissons (déterm.)				
absence	1	19,6	38,6	21,2
présence	2	80,4	61,4	78,8
Alevins (indéterm.)				
absence	1	93,5	90,9	87,3
présence	2	6,5	9,1	12,7

4.4.2.2 – Richesses et effectifs

21 espèces de poissons et 3880 individus ont été capturés lors des 11 campagnes d'échantillonnage 2010-2011, respectivement 21 espèces en 2010 pour 2394 individus et également 21 espèces en 2011 mais pour seulement 1486 individus (Tableau III).

Certaines espèces peuvent être considérées comme accidentelles pour cette étude, rencontrées au total en 2 ou 3 exemplaires avec une occurrence de 2 : Anguille, Epinoche, Hotu, Sandre.

La **richesse spécifique totale est globalement similaire entre les 3 casiers** : 19 espèces à PLA et BOU et 18 à LIM. Les variations inter-annuelles et inter-stations sont par contre plus marquées (Tableau III). Toutefois, les **richesses unitaires** (1 station à 1 date) sont plutôt **faibles** (9 espèces en moyenne) (Figure 14), en lien probable avec la spécificité de ces milieux : fermés, peu profonds, sans courant, à température estivale élevée, avec d'importantes variations nyctémérales de l'oxygénation, très végétalisés, ces caractéristiques étant très différentes de celles du RCC. On est autour d'une quinzaine d'espèces en moyenne pour le chenal (ARALEP, 2011 et 2012).

Tableau III. Résumé des résultats piscicoles par stations exprimés par les effectifs totaux annuels par espèces.

	2010	LIM	PLA	BOU
Ablette	ABL	1		
Anguille	ANG		1	
Brème bordelière	BRB	303	1	1
Brème commune	BRE	18		2
Bouvière	BOU	214	75	209
Brochet	BRO	2		
Carassin argenté	CAG	33	14	9
Carpe commune	CCO	2	2	5
Chevaine	CHE	29	3	18
Epinoche	EPI		1	
Gardon	GAR	40	1	6
Goujon	GOU	7	4	9
Hotu	HOT		1	
Loche franche	LOF	1	1	
Poisson-chat	PCH	29	10	94
Perche fluviatile	PER	7	1	1
Perche soleil	PES	191	96	112
Pseudorasbora	PSR	392	148	249
Rotengle	ROT	11	9	12
Sandre	SAN	2		
Tanche	TAN	8	5	4
Total / station		1290	373	731
Nd d'EPA / station		125	100	150
Nb d'indiv. / EPA		10,3	3,7	4,9
Nb d'espèces / station		18	17	14

	2011	LIM	PLA	BOU
Ablette	ABL		1	11
Anguille	ANG			1
Brème bordelière	BRB	2	1	
Brème commune	BRE			1
Bouvière	BOU	153	29	136
Brochet	BRO			2
Carassin argenté	CAG	75	13	34
Carpe commune	CCO			2
Chevaine	CHE	10		18
Epinoche	EPI		2	
Gardon	GAR	2	1	9
Goujon	GOU	2	1	3
Hotu	HOT			1
Loche franche	LOF	1	24	3
Poisson-chat	PCH	14	3	58
Perche fluviatile	PER	1	2	4
Perche soleil	PES	175	22	95
Pseudorasbora	PSR	232	52	266
Rotengle	ROT	3	3	7
Sandre	SAN		1	
Tanche	TAN	2	5	3
Total / station		672	160	654
Nd d'EPA / station		150	120	180
Nb d'indiv. / EPA		4,5	1,3	3,6
Nb d'espèces / station		13	15	18

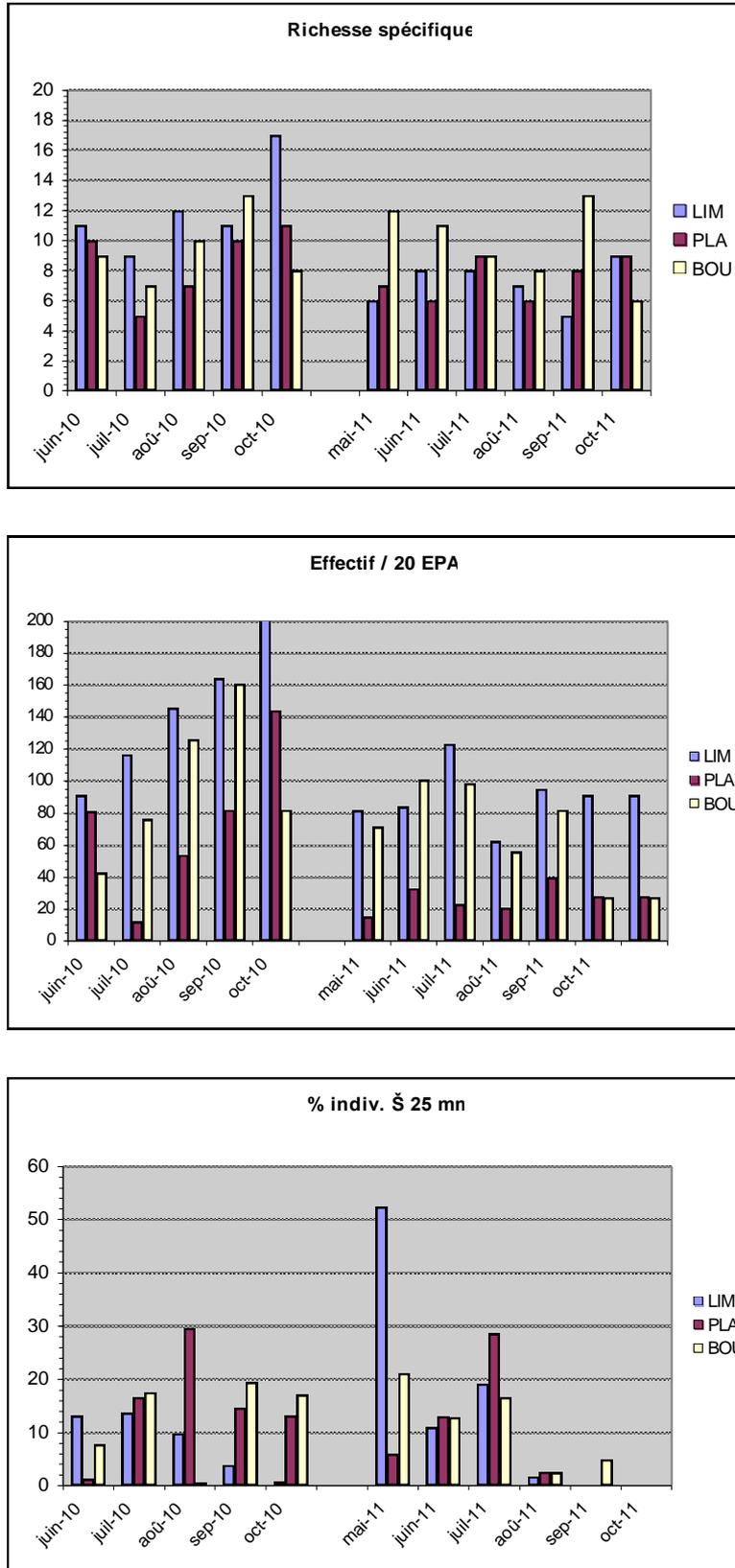


Figure 14. Synthèse des résultats piscicoles 2010-2011 par dates.

En 2010, excepté au mois d'août, LIM présente toujours la richesse la plus élevée, tandis que c'est plutôt BOU en 2011 (Figure 14). Par contre, la richesse inter-dates est très variable selon les stations et les années, et globalement plus faible en 2011, en particulier à LIM et PLA.

Les **effectifs** ont été ramenés au même nombre d'EPA afin d'être comparables entre les différents casiers, soit un nombre de **capture par unité d'effort (CPUE) calculé pour 20 EPA**. Leur croissance au fil du temps est liée aux éclosions de jeunes poissons : ceci est particulièrement vrai en 2010 (quel que soit le casier) alors que ce n'est pas le cas en 2011 où les effectifs baissent en août pour remonter ensuite (Figure 14).

Cette chute est probablement imputable au fort coup d'eau subit par le RCC durant la seconde quinzaine de juillet et l'importante connexion concomitante des casiers (cf § précédent et Figure 13) qui a pu entraîner un départ vers le RCC de l'ensemble des générations. Un phénomène similaire a pu être enregistré sur PLA en 2010 avec le pic de débit s'étant produit sur le RCC courant juillet (Figure 13) avant notre passage et qui a pu entraîner les poissons vers le chenal.

En dépit de conditions thermiques particulièrement favorables en 2011, les **effectifs varient pratiquement du simple au double entre les deux années**, au bénéfice de 2010. De la même manière, le nombre moyen de poissons capturés par EPA est au mieux de 10,3 en 2010 (LIM) et de seulement 4,5 en 2011 (LIM également). Ce phénomène est inverse sur le chenal (515 vs 1101 individus pour les 3 campagnes de pêches printemps-automne du suivi hydrobiologique, soit respectivement 8,6 et 18,4 individus/EPA ; ARALEP, 2011 et 2012).

Le pourcentage d'**individus de taille < 25 mm** (globalement individus indéterminés considérés comme alevins 0+) est **très abondant dès mai en 2011** (Figure 14), signe d'une reproduction précoce en liaison avec les conditions thermiques très favorables dès le mois d'avril (jusqu'à près de 55% des individus à LIM). De même, ce pourcentage est supérieur en juin 2011 par rapport à juin 2010. Un phénomène similaire a été enregistré sur le chenal avec une reproduction précoce et une croissance rapide au printemps et en été 2011 (Chevaine et Gardon essentiellement dans le cas présent), le pourcentage de 0+ dans les pêches étant de 46% au printemps pour atteindre 63% en automne (ARALEP, 2012). Différents pics de juvéniles apparaissent ensuite ponctuellement au cours du temps à différentes stations (PLA en août 2010, juillet 2011, BOU en septembre et octobre 2011). Les pourcentages d'alevins baissent au fil du temps avec leur croissance, les jeunes individus migrant progressivement des casiers (« habitat-source ») vers le chenal (« habitat-puit »).

LIM semble plus précoce avec les effectifs de 0+ les plus importants en mai-juin, quelle que soit l'année (milieu le plus fermé, peu profond par rapport à BOU).

4.4.2.3 – Effectifs par espèces

Trois espèces dominant largement en termes d'effectifs quelle que soit l'année (Figure 15) et représentent **73% des individus** (70% en 2010, 78% en 2011). Ce sont, dans l'ordre, le Pseudorasbora, la Bouvière et la Perche-soleil, soit des **espèces invasives** (Pseudorasbora et Perche-soleil) **ou non native** pour le bassin du Rhône (Bouvière, classée Natura 2000).

Viennent ensuite diverses espèces ponctuellement significatives d'un point de vue station et date : Brème bordelière à LIM en septembre 2010, Poisson-chat à BOU en août 2010, Carassin dans les divers casiers en mai 2011, Loche franche à PLA tout au long des campagnes 2011 (Figures 15 et 16).

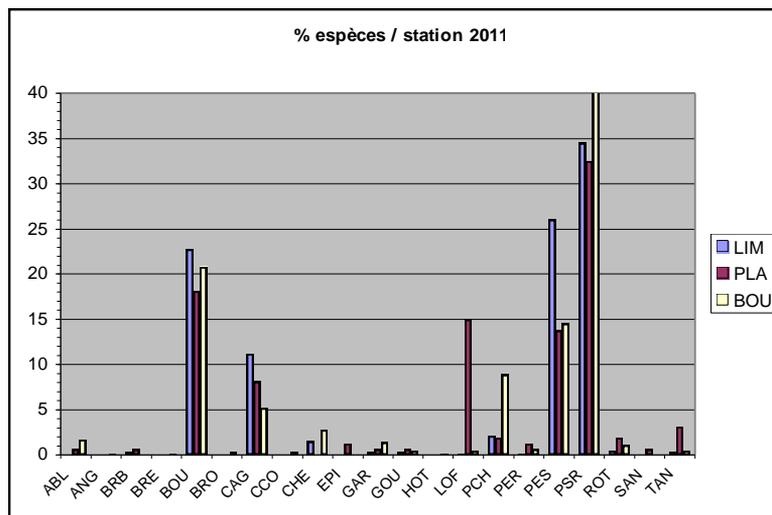
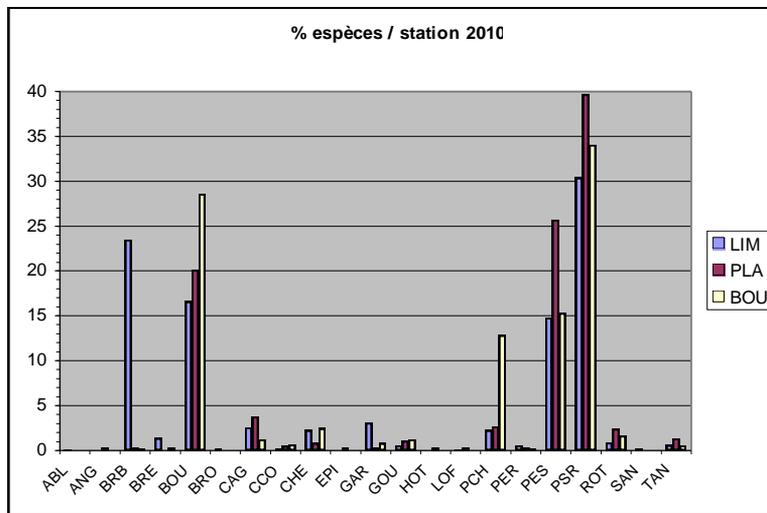
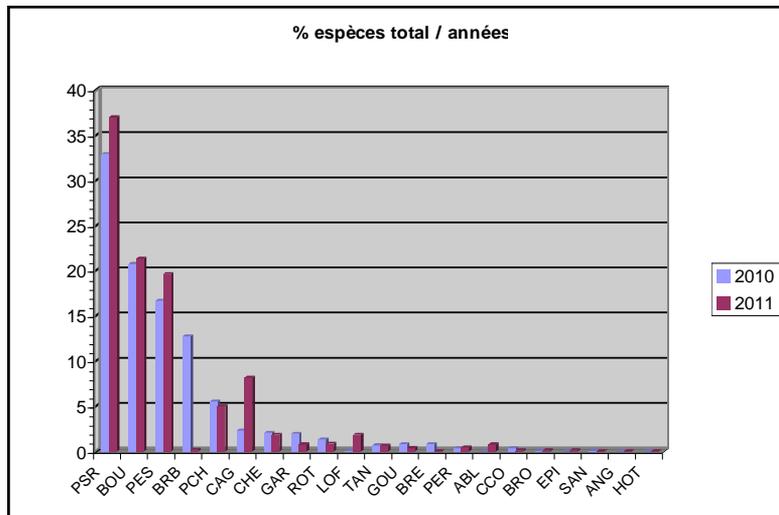


Figure 10. Synthèse des résultats piscicoles 2010-2011 par espèces.

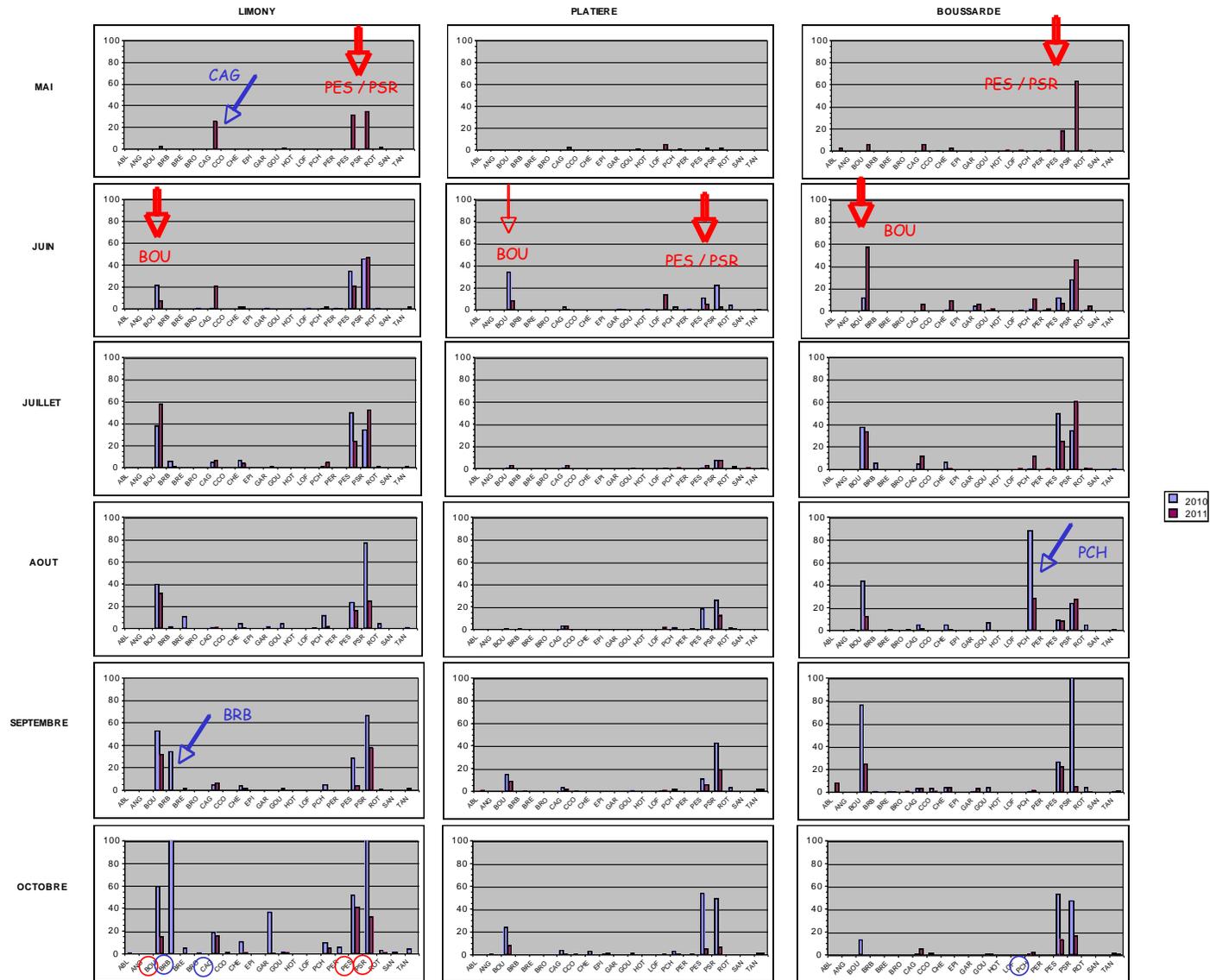


Figure 11. Résultats piscicoles 2010-2011 par espèces et par dates.

Outre les résultats des pêches électriques, une sortie de pêche à la ligne par l'un d'entre nous en novembre 2011 dans les casiers LIM et BOU a permis d'appréhender de plus gros poissons plutôt présents en pleine eau ou dans les parties plus profondes non échantillonnées avec le matériel portable de pêche électrique (ou bien individus dérangés par le déplacement de l'embarcation dans ces milieux de taille restreinte) : Carassins d'une trentaine de cm, Rotengles d'une quinzaine de cm, donc des géniteurs potentiels. De la même manière, plusieurs Brochets de taille comprise entre 55 et 65 cm ont été capturés de la sorte à BOU, là aussi ce sont des individus plus difficiles à surprendre en pêche électrique dans ce genre de milieu.

4.4.2.4 – Effectifs par classes de tailles des espèces dominantes

Les classes de tailles (Tableau IV) ont été déterminées à dire d'expert après que les histogrammes aient été tracés pour chaque espèce, chaque mois et chaque année.

Tableau IV. Limites des classes de taille utilisées pour les mois de juin et octobre pour le Pseudorasbora, la Bouvière et la Perche-soleil.

	espèce	PSR1	PSR2	PSR3	BOU1	BOU2	BOU3
	stade	(0+)	(1+)	(>1+)	(0+)	(1+)	(>1+)
juin-10	limite de classe en cm	<3,5	3,5-6	>6		≤4,5	>4,5
oct-10	limite de classe en cm	<5,5	5,5-9,5	>9,5	<4,5	4,5-7,5	>7,5
juin-11	limite de classe en cm	<3,5	3,5-5,5	>5,5	<4	4-6,5	>6,5
oct-11	limite de classe en cm	<5,5	5,5-8	>8	<5	5-8	>8

	espèce	PES1	PES2	PES3
	stade	(0+)	(1+)	(>1+)
juin-10	limite de classe en cm		≤6	>6
oct-10	limite de classe en cm	<5	5-8	>8
juin-11	limite de classe en cm	<3	3-7	>7
oct-11	limite de classe en cm	<6	6-8	>8

La figure 17 permet de voir l'**apparition des jeunes individus au cours du temps**, indifféremment de la station.

Les trois espèces considérées sont toutes des espèces de milieux peu profonds, « chauds », végétalisés, se reproduisant sur les bordures peu profondes (Pseudorasbora et Perche-soleil), gardant leurs œufs (par l'anodonte pour la Bouvière, par le mâle pour les deux autres). Ce sont des espèces à reproduction précoce (d'avril à juin pour le Pseudorasbora contre mai à août pour la Bouvière et la Perche-soleil), grandissant vite, adaptées à des milieux changeants et « difficiles ». Les plages de limon en pente faible, type d'habitat bien représenté dans les casiers (cf Tableau II), sont favorables à leurs juvéniles pour la protection contre les prédateurs, de façon identique aux herbiers denses de végétation (Schlosser, 1987). Ces milieux servent également à la nourriture de ces jeunes individus.

En 2010, les effectifs de 0+ augmentent régulièrement jusqu'au mois d'octobre pour les trois espèces qui ont toutes une stratégie de reproduction dite « fractionnée » (ou multiple). Il existe un décalage entre l'apparition des 0+ (éclosions) et leur capture en pêche électrique : les 0+ de moins de 1 à 1,5 cm viennent mal vers l'anode et ne sont pas déterminés. Ainsi, le début de la reproduction chez les 3 espèces tourne autour des mois d'avril-mai, mais les premiers 0+ apparaissent en août dans nos échantillons, sauf pour le Pseudorasbora, le plus précoce des trois.

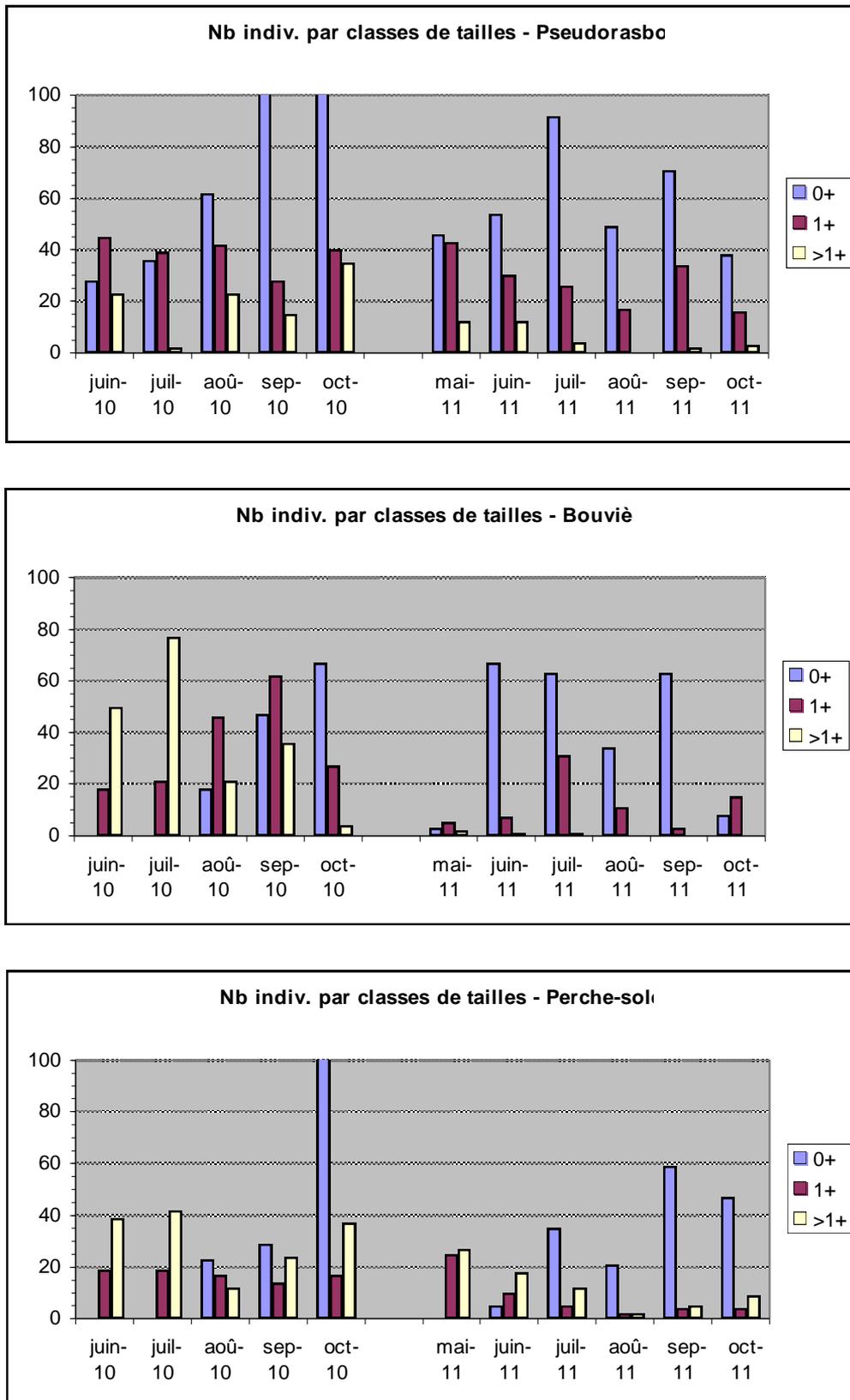


Figure 17. Evolution temporelle des effectifs des différentes classes de tailles des espèces dominantes.

En 2011, avec le printemps chaud et précoce (cf § 4.3.2), l'apparition des 0+ est également précoce pour les trois espèces et non plus le seul *Pseudorasbora*. L'hydrologie plus importante du RCC en juillet, le pic de débit à 650 m³/s (cf § 4.4.2.1) et la connexion avec le RCC qui s'en est suivie a permis la dissémination des 0+ hors des casiers et la baisse corrélative des effectifs d'août. Ceux-ci ont réaugmenté en septembre avec la fin de la reproduction d'août, puis à nouveau baissé en octobre quand les jeunes poissons atteignent une taille suffisante.

4.4.2.5 – Dynamique spatio-temporelle

Afin d'avoir une vision plus fonctionnelle, une **Analyse en Composantes Principales centrée** des effectifs (transformés en Log(N+1) afin de diminuer la variance) par espèce et par station a été réalisée sur le tableau des résultats 33 relevés x 21 espèces (un relevé est égal à un casier donné à une date donnée). Les analyses ont été réalisées avec le logiciel ADE-4. Cette analyse a été réalisée sous l'angle inter-classes.

La figure 18 présente l'ordination des coordonnées des différents relevés unitaires stationnels sur le premier axe factoriel de l'analyse. Cette ordination semble contrôlée par les effectifs de chacun des relevés : en effet, PLA dont les effectifs sont très souvent faibles (cf Figure 14) se situe la plupart du temps du côté négatif de l'axe. Il en va par exemple de même pour BOU en octobre 2011, à l'opposé d'octobre 2010 (forts effectifs de *Pseudorasbora*).

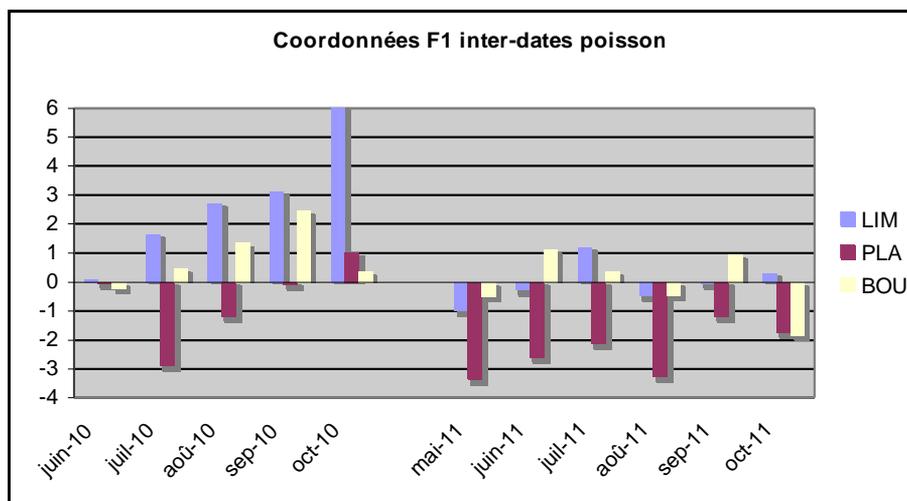
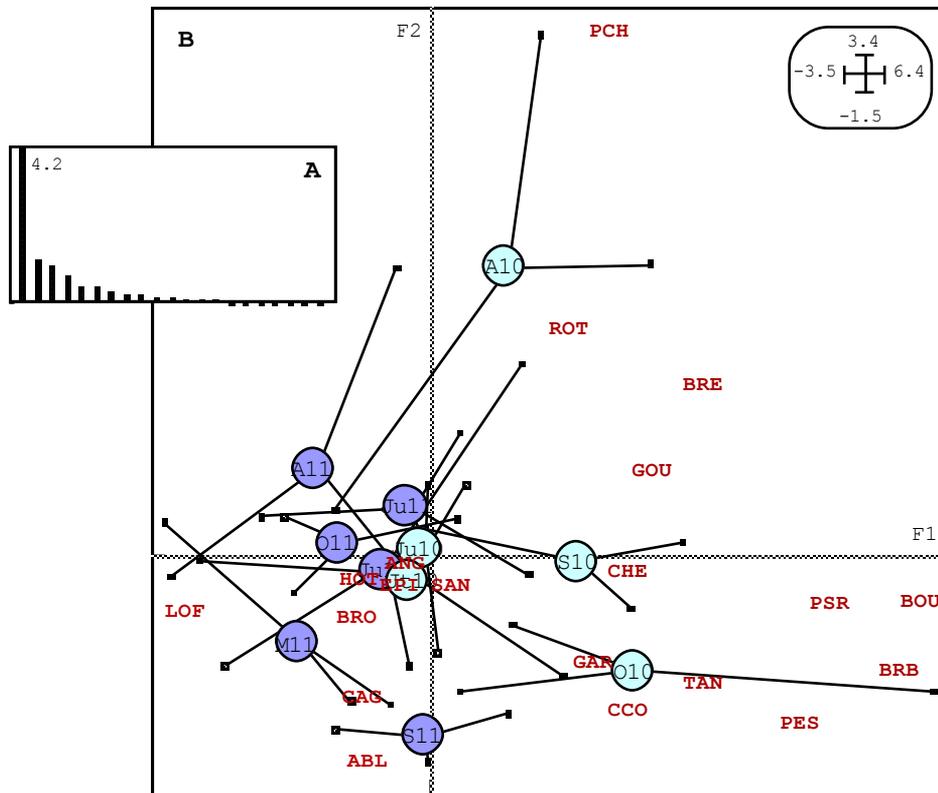


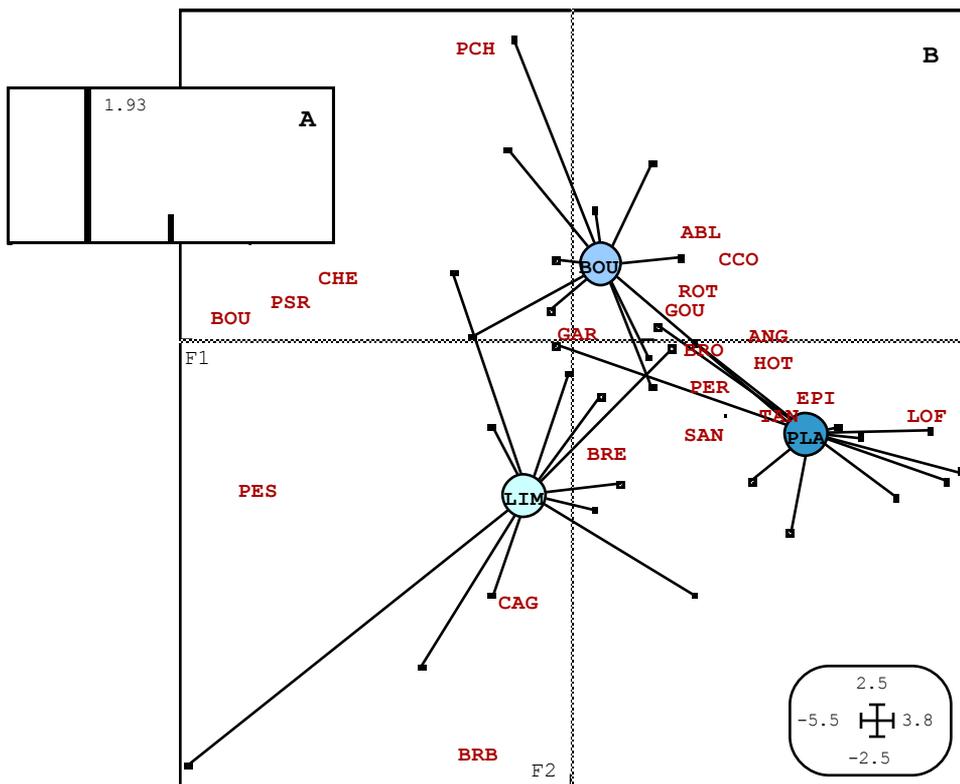
Figure 18. Evolution temporelle des coordonnées des 3 stations sur l'axe F1 de l'analyse inter-dates de l'ichtyofaune.

Le plan factoriel 1*2 de l'**analyse inter-dates** décrit l'aspect temporel en distinguant les dates extrêmes des deux années (Figure 19-1), en lien essentiel avec le printemps précoce et l'automne tardif de 2011. Il regroupe 64% de l'information. Là aussi, les relevés sont très éclatés et la structure de l'analyse décrite par la présence et/ou l'abondance de certaines espèces : « boule » de Poisson-chat à BOU en août 2010, abondance de la Loche franche à PLA en juin 2011, plus forte abondance du Rotengle en 2010, de la Brème commune de août à octobre 2010, de la Brème bordelière à LIM en octobre 2010, etc.

Le premier plan factoriel de l'**analyse inter-stations** regroupe 83% de l'information. Les relevés sont très éclatés, signe d'une hétérogénéité des différents échantillons (Figure 19-2). Les stations apparaissent bien individualisées, essentiellement décrites par la présence et/ou l'abondance de



1 - Analyse inter-dates



2 - Analyse inter-stations

Figure 19. ACP inter-dates (1) et inter-stations (2) centrées par espèce du tableau 33 relevés (couples station-date) x 21 espèces (effectifs transformés en Log (N+1)) : graphe des valeurs propres (A) et projection dans les plans F1*F2 des coordonnées factorielles des relevés et des espèces (B). Les codes des espèces sont précisés dans le tableau II.

certaines espèces : brèmes bordelières et communes plus spécifiquement à LIM, Loche franche et Epinoche à PLA, forte abondance du Poisson-chat à BOU, Chevaine à LIM et BOU.

Dans un second temps, les espèces les plus abondantes (Pseudorasbora, Bouvière, Perche –soleil) ont été **subdivisées en groupes de taille homogène** afin de différencier les juvéniles des individus adultes et d'affiner l'analyse de la structure en classes de taille (cf Tableau III et § précédent). Le tableau ainsi obtenu (11 relevés (dates) x 27 espèces) a été soumis à une **ACP générale centrée** par espèce (Figure 20).

Les résultats confirment le caractère plus tardif de la reproduction de la Bouvière, dont ce sont des individus >1+ (BOU3) qui sont capturés en juin et juillet 2010, et de la Perche-soleil, dont on capture des 1+ et >1+ en mai 2011. Au contraire, la reproduction très précoce en 2011 du Pseudorasbora apparaît avec l'abondance de 0+ de cette espèce en juin et juillet 2011. On voit également l'apparition en septembre 2011 des 0+ de la ponte du mois précédent (PES1 et BOU1). On retrouve l'abondance de la Brème bordelière en octobre 2010 mentionnée lors du commentaire de l'analyse inter-dates

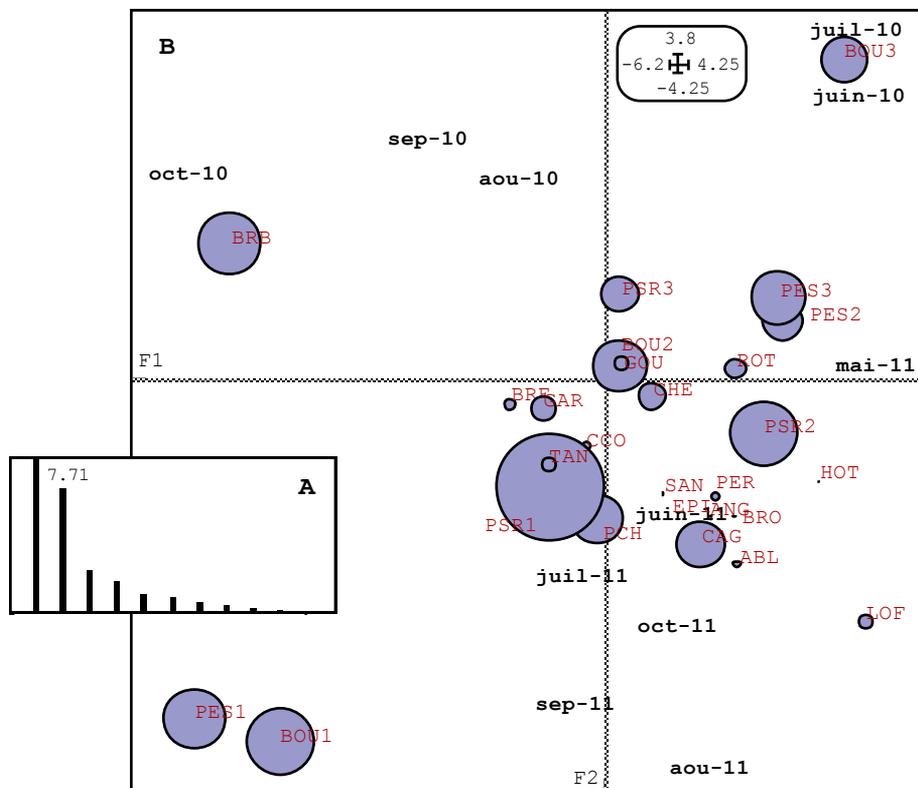


Figure 20. ACP générale centrée par espèce du tableau 11 relevés (dates) x 27 espèces (effectifs transformés en Log (N+1)) : graphe des valeurs propres (A) et projection dans le plan F1*F2 des coordonnées factorielles des relevés et des espèces distinguées en classes de taille, dont les effectifs sont représentés par des cercles de taille proportionnelle exprimée en Log (N+1). Les codes des espèces sont précisés dans le tableau II.

4.4.2.6 – Conclusion sur l'ichtyofaune

Les **espèces piscicoles dominantes** (Bouvière, Pseudorasbora, Perche soleil) sont **en accord avec les caractéristiques de ce type de milieu** lentique, peu profond, végétalisé, « chaud ». Ce sont en

effet des espèces d'eau calme, aimant la végétation aquatique, thermophiles. Ce « groupement » est différent de celui qui domine sur le chenal du RCC : quatuor Chevaîne-Gardon-Ablette-Loche franche, toutefois parfois significativement accompagné de la Bouvière (2011 en particulier) (ARALEP, 2011 et 2012). On peut raisonnablement penser que les casiers **alimentent le chenal principal** en ces trois taxons (cf la baisse des effectifs d'août 2011 pouvant être imputée au coup d'eau de fin juillet permettant aux différents individus de gagner le chenal et de se disperser, abondance de la Bouvière dans le RCC en 2011).

Si nos résultats attestent de **richesses et d'effectifs moindres que ceux obtenus dans le chenal** (de 8,6 à 18,4 individus/EPA pour 20 à 23 espèces pour la moyenne de la période printemps-automne sur le chenal en 2010 et 2011 contre 4,5 à 10,3 individus/EPA pour 13 à 18 espèces sur LIM, casier le plus productif), ces résultats sont **en accord avec ceux obtenus sur les casiers du Rhône arlésien** par Nicolas et Pont (1995) qui citent une richesse totale pour ce type de milieu supérieure à 10 espèces pour plus de 50 individus pour 20 EPA en moyenne avec un maximum de 194 individus (de 13 à 18 espèces au total, 88 individus en moyenne pour 20 EPA avec un maximum de 514 individus dans notre cas ; cf Figure 14). Les CPUE unitaires sont de 33 à 101 individus pour 7 à 13 espèces sur les **casiers du RCC de Pierre-Bénite** (Aralep, 2009) vs 15 à 514 individus pour 5 à 13 espèces dans notre cas (cf Figure 14). De la même façon, les espèces dominantes des casiers lentiques arlésiens sont la Perche-soleil et le Pseudorasbora et sur les casiers du RCC de Pierre-Bénite la Perche-soleil et la Bouvière. La différence de richesse par rapport au chenal s'explique par la spécificité de ces milieux (cf § précédent).

Nos résultats mettent également bien en évidence l'**importance de l'hétérogénéité d'habitats** (i.e. le type de berge) dans ces milieux (cf Tableau II § 4.4.2.2), rejoignant les constats faits par ailleurs sur le Rhône (Copp, 1992 et 1993 sur le Haut-Rhône ; Poizat & Pont, 1996 et Pont & Nicolas, 2001 sur le Bas-Rhône arlésien).

Enfin, le **facteur de contrôle** du peuplement piscicole des casiers semble être d'ordre hydrologique. En effet, le classement des relevés selon leur position sur l'axe F1 (Tableau V) fait apparaître un **parallèle entre les relevés à plus forts effectifs** (coordonnées positives sur l'axe) **et les débits tendanciels les plus élevés** (moyen et maxi), **donc une fréquence de connexion plus importante**. Les débits élevés permettent ainsi les échanges avec le chenal pour LIM, casier à connexion semi-permanente, tandis que PLA, totalement ouvert, sert de milieu refuge lorsque l'hydrologie du chenal augmente et BOU, milieu connecté faiblement en permanence, est intermédiaire.

Tableau V. Ordination des coordonnées factorielles des relevés unitaires (couple station-date) et des valeurs tendanciennes ayant précédé chaque échantillonnage (T moyenne °C ; Q moyen m³/s ; Q max m³/s ; nombre de jours avec Q > 50 m³/s) sur l'axe F1 de l'analyse inter-dates de l'ichtyofaune.

	F1 LIM	F1 PLA	F1 BOU	T tend	Q tend	Q max	Nb j > 50
mai-11	-0,9996	-3,3329	-0,5089	15,7	18	25	0
aoû-11	-0,4685	-3,259	-0,4521	23,8	50	231	6
juin-11	-0,283	-2,5796	1,1157	22,5	32	94	2
sep-11	-0,0531	-1,1939	0,9409	23,4	20	29	0
juin-10	0,0793	-0,0513	-0,2356	19,0	52	247	2
oct-11	0,3115	-1,7265	-1,8488	20,6	18	21	0
juil-11	1,19	-2,1146	0,3595	22,4	125	653	13
juil-10	1,6366	-2,8839	0,4478	22,8	113	541	10
aoû-10	2,7074	-1,1898	1,3403	23,3	92	453	10
sep-10	3,0914	-0,0809	2,4588	20,6	71	475	5
oct-10	6,2062	1,0082	0,3684	17,3	34	36	0

4.4.3 – Macroinvertébrés

Les listes faunistiques détaillées se trouvent en annexe de ce document. Les taxons sont déterminés à l'espèce, sinon au genre, chaque fois que cela est possible, sauf pour les Oligochètes et les Chironomes pour des raisons de complexité du gain d'information systématique complémentaire.

4.4.3.1 – Conditions d'échantillonnage

La figure 21 représente les **conditions thermiques et hydrologiques ayant précédé chaque campagne d'échantillonnage**, depuis la campagne précédente (valeurs tendancielle 30 jours approximativement).

Du point de vue thermique, on voit **la précocité de l'élévation de température en 2011** et son prolongement durant l'automne : ainsi, les températures tendancielle de juin à septembre 2011 sont assez similaires (delta de 1,3°C) alors qu'elles forment une cloche en 2010 (delta de 4,3°C). Aux extrêmes, les valeurs d'avril et novembre 2011 sont bien supérieures à celles de ces mêmes mois en 2010 (respectivement de 2 et 4°C).

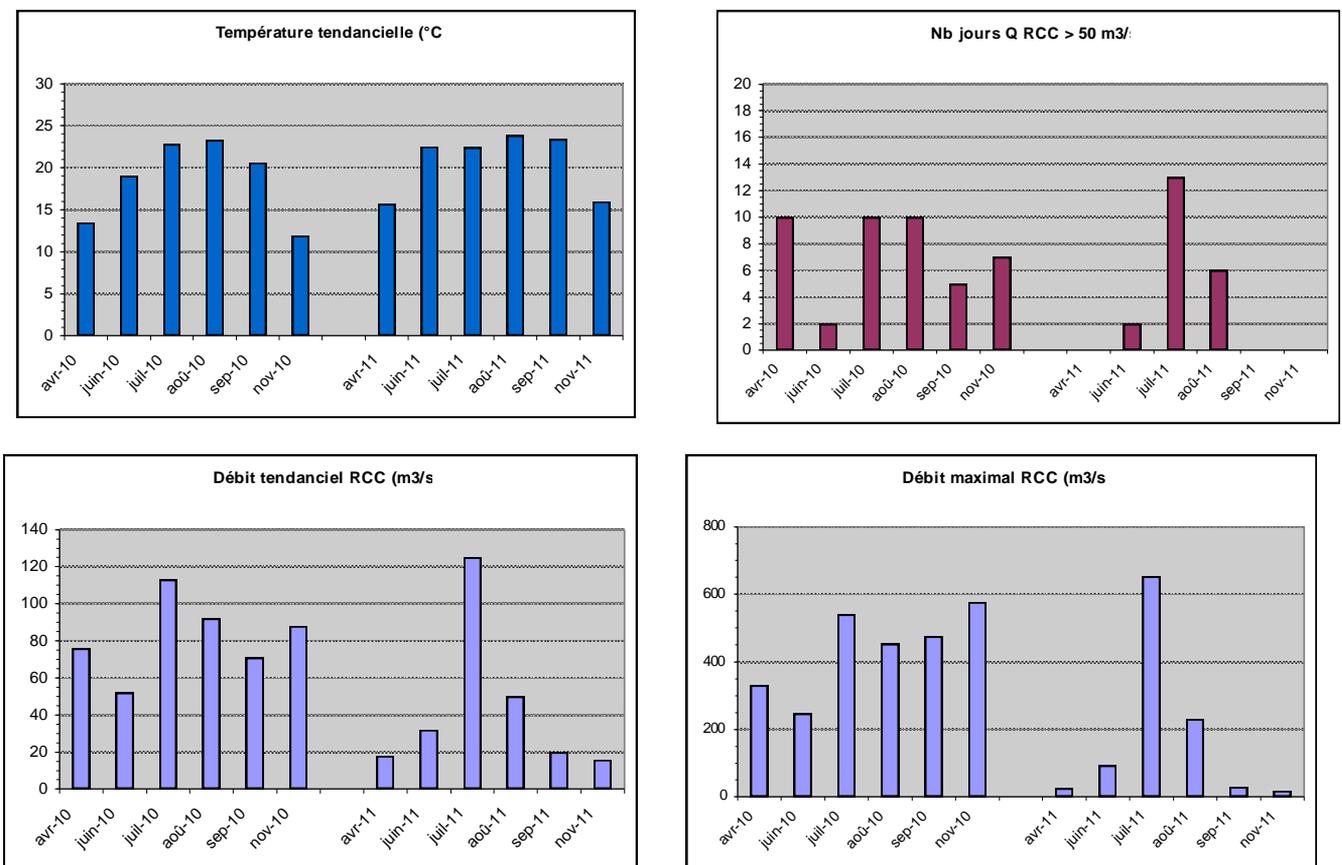


Figure 21. Température et hydrologie du RCC lors de chaque campagne d'échantillonnage des macroinvertébrés.

Le graphique des nombres de jours avec un débit réservé > 50 m³/s permet d'apprécier la fréquence de connexion efficace pour les casiers **LIM et BOU**, PLA étant constamment ouvert. Outre les fluctuations hydrologiques générales du Rhône, en période estivale ces événements sont

essentiellement liés à des problèmes de groupes à l'usine hydroélectrique. On voit ainsi que le débit du RCC fluctue de façon non négligeable avec des **pics de débit de plusieurs centaines de m³/s**, entraînant des **connexions fréquentes entre les casiers et le RCC**, en particulier durant les deux périodes estivales échantillonnées (**connexion pendant près d'un tiers du temps en juillet et août**, voire plus de 40% en juillet 2011). La variété inter-annuelle est également importante puisque le débit réservé est globalement respecté et stable en avril-juin et septembre-novembre 2011, contrairement aux mêmes périodes en 2010.

Le débit tendanciel et le débit maximal permettent de préciser comment se distribue l'hydrologie durant ces périodes supérieures au strict débit réservé, en particulier le second qui montre les à coups de débit que peut subir le RCC en période estivale. Ce sont ainsi des **pics de plusieurs centaines de m³/s que subit la faune aquatique** de ce milieu. En 2010, le débit réservé moyen est ainsi durablement bien supérieur à la stricte valeur de 20 m³/s. A l'exception du mois de juillet (Q moyen de 125 m³/s, pic de 650 m³/s), l'hydrologie tendancielle 2011 est beaucoup plus modérée.

4.4.3.2 – Paramètres descripteurs des communautés

La **richesse taxonomique** totale enregistrée sur les deux années d'échantillonnage (71 échantillons⁵ unitaires, i.e. substrats individuels) est de **88 taxons**, respectivement 68 en 2010 et 83 en 2011. D'un point de vue stationnel, le casier le plus ouvert et en connexion permanente avec le fleuve, **PLA, est le plus riche**, aussi bien sur l'ensemble de l'étude que chaque année (Tableau VI ci-dessous).

Tableau VI. Résumé de la richesse taxonomique stationnelle des macroinvertébrés.

	LIM	PLA	BOU
2010	39	48	39
2011	60	67	57
2010-2011	67	76	61

Cette richesse varie notablement entre les casiers et les dates (voir Figure 22 **richesse taxonomique totale**, i.e. les deux substrats artificiels sommés), mais elle est **toujours supérieure en 2011** par rapport au même couple station-date de 2010.

La **richesse individuelle moyenne par substrat** (quel que soit le type de substrat, en zone de blocs ou en milieu limoneux) est **faible et médiocre en 2010**, globalement ≤ 15 taxons excepté au mois d'avril (Figure 22). Elle est moyenne sur la première moitié de l'échantillonnage 2011 (toutefois élevée à PLA, voisine de 35 taxons) puis redevient médiocre à partir d'août et en septembre-novembre 2011.

La **CPUE** (capture par unité d'effort) est ici le substrat artificiel unitaire en considérant l'**effectif moyen par substrat**. Si là aussi une **très forte disparité existe entre les deux années** au bénéfice de 2011, **une grande variabilité apparaît entre les stations et les dates**. Les deux années présentent une baisse des effectifs au cours de l'année et le phénomène aboutit à des effectifs « faméliques » pour certains relevés 2010 à partir de juillet avec moins de 100 individus par substrat unitaire (Figure 22). Les relevés les plus fournis en 2011 le sont essentiellement en raison

⁵ Soit 3 casiers x 12 dates x 2 substrats par casier et date, toutefois le substrat « bloc » du casier Platière de novembre 2011 n'a pu être récupéré en raison d'une rupture du câble, d'où le nombre de 71 substrats unitaires.

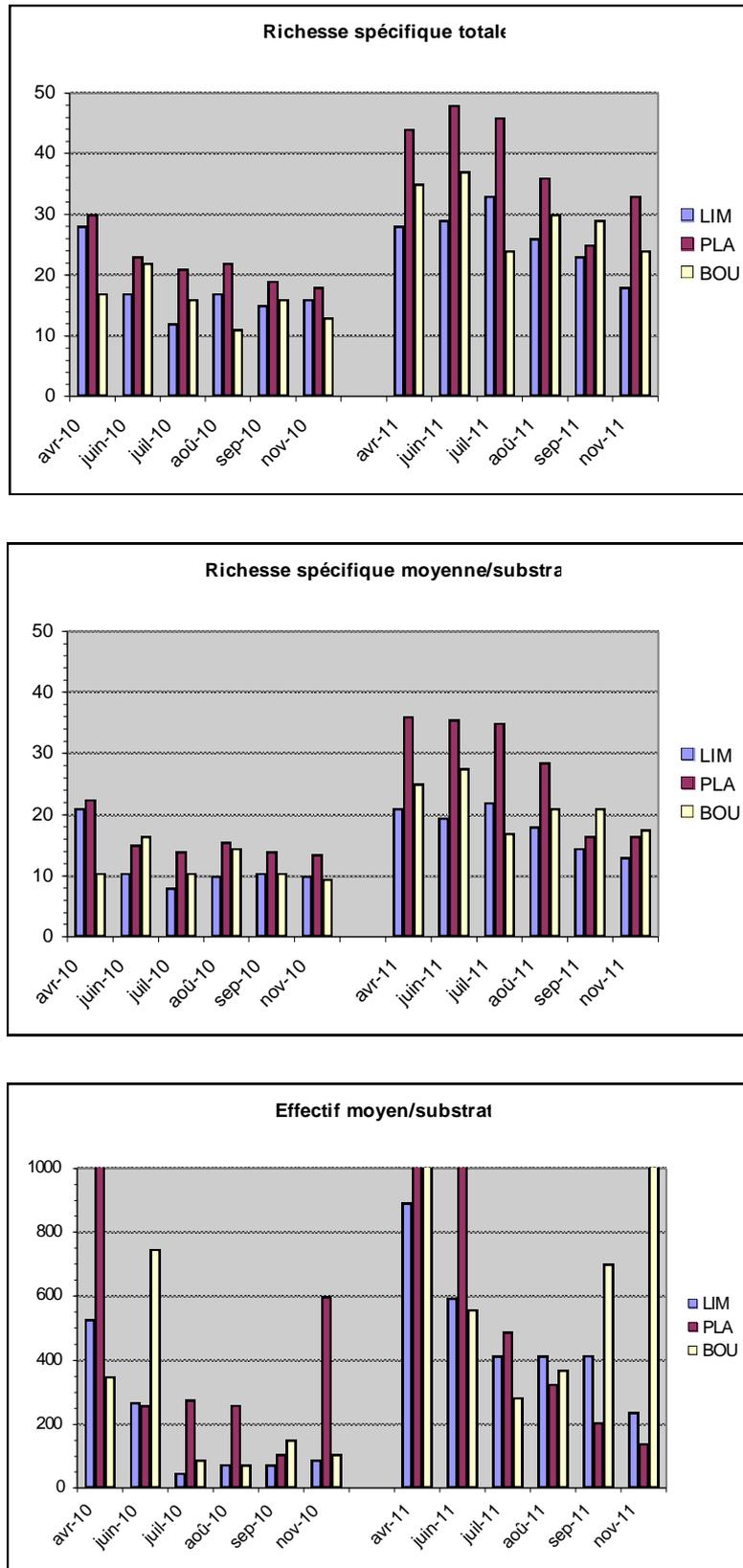


Figure 22. Synthèse des résultats macroinvertébrés 2010-2011.

de la très forte abondance des Oligochètes et des Chironomes (comme cela est constaté par ailleurs pour certains échantillons du suivi hydrobiologique réglementaire).

Pour une même CPUE (substrat artificiel unitaire), Franquet et al. (1995) mentionnent, pour un casier du Rhône en amont d'Arles, des richesses allant de 8 à 23 taxons (moyenne de 17 taxons) et des effectifs de 10 à 954 individus (moyenne de 335 individus). Dans notre cas, les chiffres sont de 8 à 36 taxons et 47 à 1969 individus pour des moyennes respectives de 18 taxons et 479 individus (Figure 22). Il est plus difficile de comparer avec les casiers du RCC de Pierre-Bénite échantillonnés par Iris consultants (2009), la CPUE étant l'échantillon unitaire de l'IBGN (soit 0,05 m²). Les chiffres sont alors de 6 à 27 taxons et de 213 à 2289 individus. Malgré tout, on voit que les **ordres de grandeur des CPUE sont très voisins** pour les trois études. Si l'ordre de grandeur du chenal se situe dans la même gamme (de 18 à 30 taxons et de 475 à 1264 individus pour des échantillons réalisés du printemps à l'automne), les valeurs moyennes sont plus élevées avec 23 taxons et 858 individus (Aralep, 2011 et 2012).

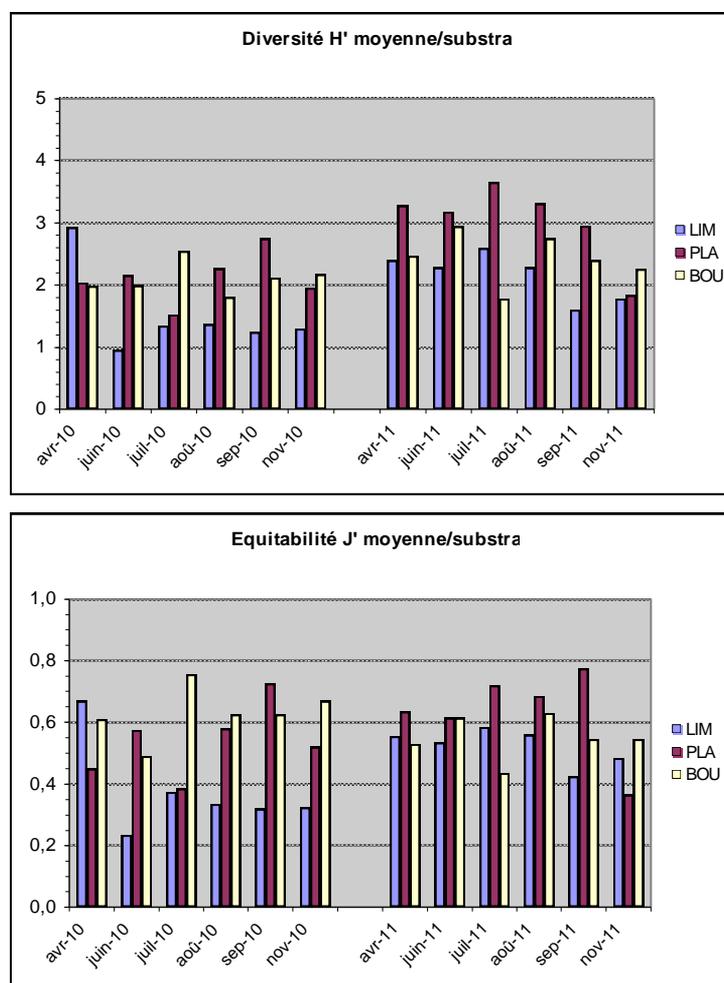


Figure 23. Diversité H' et équitabilité J' moyenne par station et par date.

Les **indices de diversité H' et d'équitabilité J'** permettent de caractériser l'état de complexité de la répartition quantitative des différents taxons à l'intérieur d'un prélèvement (Shannon & Weaver, 1949). Il font apparaître une grande disparité de résultats, aussi bien entre les stations qu'entre les dates. La figure 23 permet de visualiser la **part de l'influence de la richesse** et de celle de

l'**équilibre** (indice d'équitabilité J') du peuplement dans les valeurs de l'indice de **diversité** H'. Les valeurs de H' sont ainsi globalement moyennes, voire faibles (2010). Les valeurs les plus élevées sont souvent enregistrées à PLA, casier largement connecté au chenal. Les valeurs de J' sont le plus souvent $\leq 0,6$, témoignant d'un équilibre perturbé par l'abondance extrême de certains taxons (cf précédemment).

4.4.3.3 – Taxons dominants et résidents

Quatre taxons sont dominants, i.e. d'effectif total $\geq 5\%$ des individus, représentant près de 75% de ceux-ci. Ce sont les Oligochètes non déterminés au sens large, les Chironomes des tribus des *Chironomini* et des *Tanytarsini*, ainsi que *Chironomus gpe plumosus* (i.e. le « fouillis » de ver de vase des pêcheurs). Ils constituent 84% des individus totaux en 2010 et « seulement » 70% en 2011 (Figure 24). Franquet et al. (1995) donnent des proportions voisines pour ces taxons dans les casiers du Bas-Rhône arlésien avec respectivement 51% des individus pour les Chironomes et 23% pour les Oligochètes.

A l'opposé, 17 taxons peuvent être considérés comme accidentels sur l'ensemble de l'étude, i.e. rencontrés en 1 ou 2 exemplaires. Ils sont 29 dans ce cas en 2010, mais 18 en 2011.

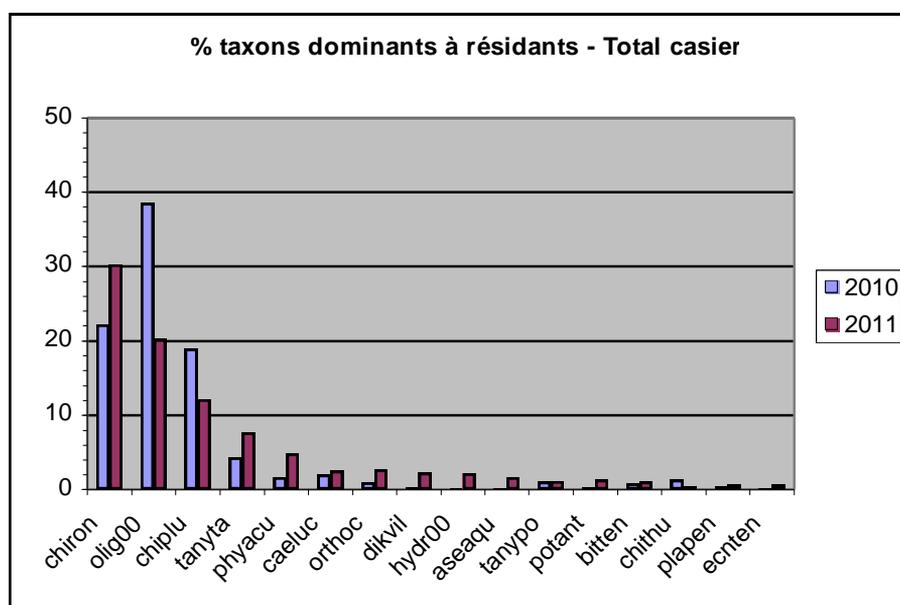


Figure 24. Principaux taxons (abondance totale $\geq 0,5\%$ du nombre d'individus). Voir codes des taxons en annexe.

La **forte production secondaire** engendrée par l'abondance extrême des Chironomes et des Oligochètes est écologiquement importante, ces taxons servant de nourriture aux poissons leurs effectifs élevés sont théoriquement favorables au développement du cheptel piscicole. Ces deux groupes taxonomiques jouent un **rôle clé dans le fonctionnement de ces milieux particuliers** du fait de leur forte diversité biologique (26 taxons d'Oligochètes et 29 de Diptères pour les casiers du RCC de Pierre-Bénite, 33 taxons de Chironomidae pour ceux du Rhône arlésien), de leur forte productivité (plusieurs milliers d'individus au m²) et de leur position trophique intermédiaire (Franquet, 1999 ; Iris consultants, 2009).

Beckett et al. (1983) et Sheaffer & Nickum (1986) font un constat identique dans des milieux

annexes similaires du Mississippi avec la forte domination des Oligochètes et des Diptères (Chaoboridae dominants par rapport aux Chironomidae). Ces milieux présentent une faible diversité mais une forte biomasse. Les seconds auteurs estiment qu' 1/3 des macroinvertébrés du chenal sont issus des annexes par dérive, **augmentant ainsi la production secondaire en aval**.

Outre l'écrasante domination des taxons précédents, totalement ubiquistes, une certaine **diversité existe parmi les espèces sub-dominantes** (i.e. comprises entre 2 et 5% des individus) et résidentes (comprises entre 1 et 2% des individus), voire sub-résidentes > 0,5% :

- Mollusques Gastéropodes *Physa acuta* (3,9%), *Potamopyrgus antipodarum* et *Bithynia tentaculata* (1% chacune) ;
- Hydres (1,6%) ;
- Crustacés *Dikerogammarus villosus* (1,7%) et *Asellus aquaticus* (1,2%) ;
- Ephémère *Caenis luctuosa* (2,4%) ;
- Odonate *Platycnemis pennipes* (0,5%) ;
- Trichoptère *Ecnomus tenellus* (0,5%).

Ces taxons ne sont toutefois pas spécifiques de ce type de milieu (lentique), mais on les retrouve également plus ou moins abondamment sur le chenal (*Dikerogammarus* en particulier) en raison du caractère peu courant de ce dernier dû à la faiblesse du débit réservé et à l'influence du remous créé par le seuil de Peyraud sur cette partie du RCC. Quelques taxons significativement présents sur le chenal ne se retrouvent toutefois pas dans les casiers tels que les Crustacés *Jaera istri* et *Chelicorophium curvispinum*, le Mollusque *Ancylus fluviatilis* ou le Trichoptère *Psychomyia pusilla* (Aralep, 2011 et 2012).

Si le noyau de taxons dominants est le même entre les casiers (Oligochètes et divers Chironomes), des différences existent malgré tout sur les taxons « secondaires » entre chacun d'eux par rapport au schéma général précédent (Figure 25) :

- LIM : Mollusques Gastéropodes *Viviparus viviparus* et *Ferrissia clessiniana* (cf abondance du substrat limono-vaseux), Hydres à 5% ;
- PLA : abondance notable de *Dikerogammarus* en raison de la forte connexion avec le RCC, Physes à 6%, espèces « typiques » du RCC avec *Bithynia tentaculata* et *Dugesia tigrina*, Oligochètes *Stylaria lacustris* et *Chaetogaster* sp. en effectifs notables (cf abondance de la végétation macrophytique) ;
- BOU : profil faunistique proche du profil général, Physes à 3,5%, Aselles à 0,9%, Hydres à 0,8%, présence de l'Oligochète *Branchiura sowerbyi* (0,3%) (substrat limono-vaseux).

Il faut noter que les Odonates (i.e. Libellules) sont notablement présents dans les trois milieux avec plus de 1% des effectifs lorsqu'on regroupe les principales espèces : *Erythromma viridulum* et juvéniles à LIM, *Erythromma lindeni*, *Platycnemis pennipes* et juvéniles à PLA et à BOU.

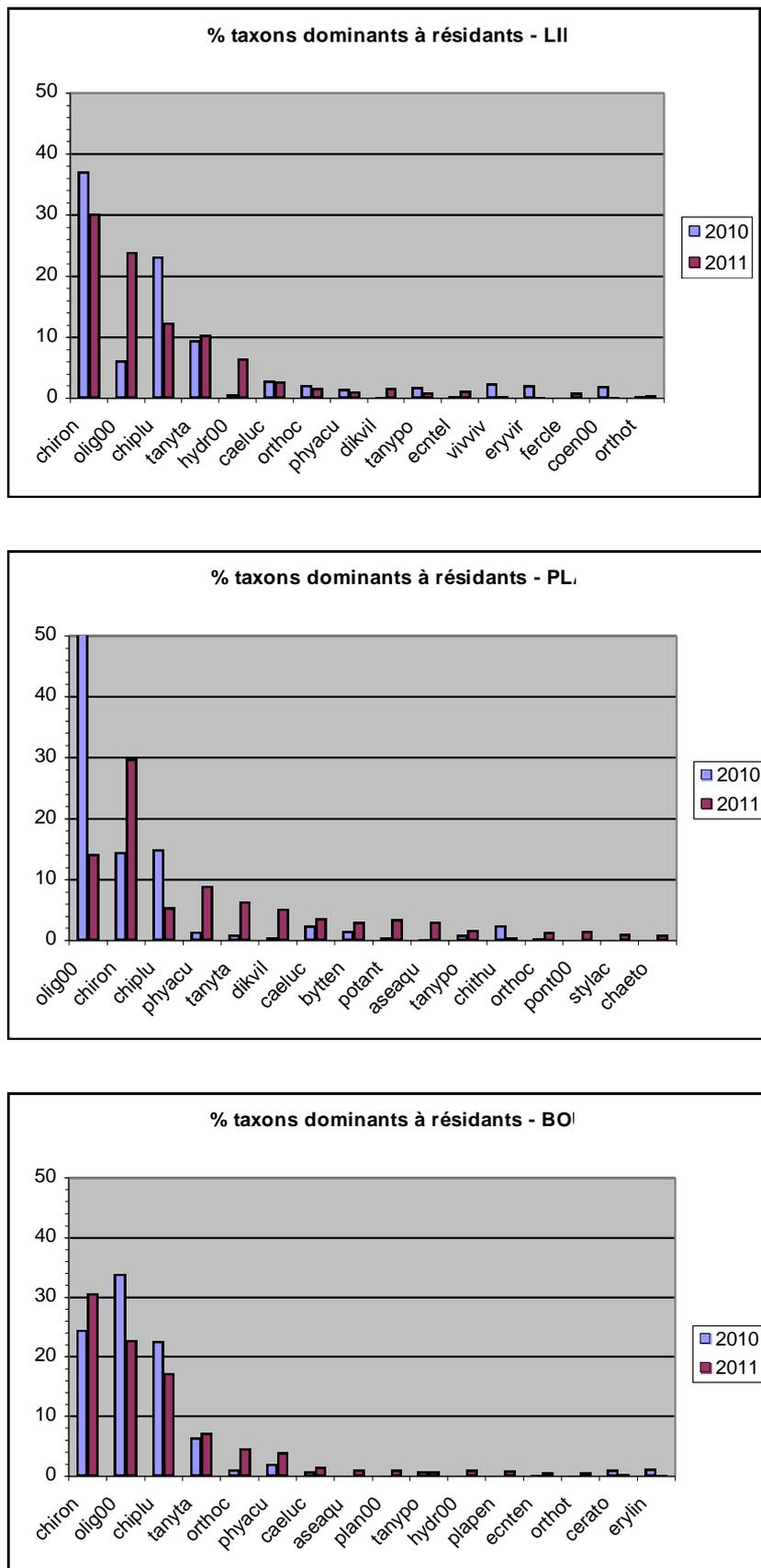


Figure 25. Répartition des principaux taxons selon les stations.

4.4.3.4 – Analyse spatio-temporelle

La dynamique spatio-temporelle a été étudiée à l'aide d'**Analyses Factorielles des Correspondances inter- et intra-classes** (Dolédec & Chessel, 1991). Les calculs ont été faits à partir du logiciel ADE-4 (Thioulouse *et al.*, 1997). Le tableau analysé regroupe 36 relevés faunistiques unitaires (les 2 substrats sommés d'une station à une date) x 82 taxons conservés (les taxons accidentels sur le critère d'abondance, c'est-à-dire ≤ 2 individus au total, ont été éliminés, mais certains taxons "juvéniles" ou "nymphe" ont été distingués, cf Tableau des codes en annexe). Ces analyses ont été réalisées selon la double optique stations (3) et dates (12).

La figure 26 présente l'ordination des coordonnées des différents relevés unitaires stationnels sur le premier axe factoriel de l'analyse. Un basculement des peuplements se produit à partir du printemps 2011 avec de plus fortes richesses taxonomiques et des effectifs plus élevés (cf Figure 22 et § 4432).

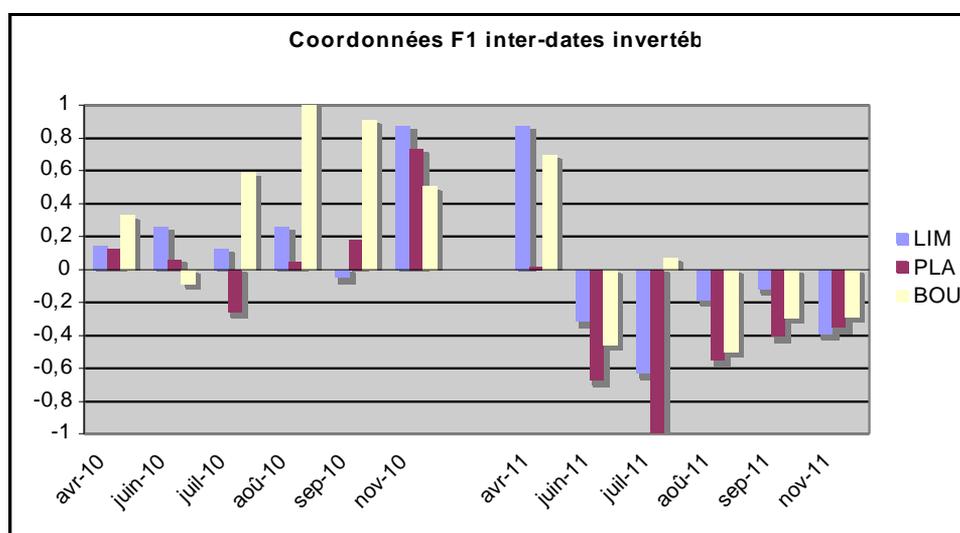


Figure 26. Evolution temporelle des coordonnées des 3 stations sur l'axe F1 de l'analyse inter-dates des invertébrés.

Les deux premiers axes de l'**analyse inter-dates** regroupent environ 50% de l'information. L'axe 1 différencie les deux années (cf différences de richesses et d'effectifs tel que discuté précédemment), tandis que l'axe 2 distingue l'été 2011 des prélèvements de printemps et d'automne de cette même année (Figure 27). Là aussi, si un fond faunistique commun à l'ensemble des sites existe, des taxons particuliers et/ou abondants localement décrivent le plan factoriel, et en particulier l'année 2011 : Hydres, *H. invalida*, *A. imperator*, *C. macrura* en avril ; *Ferrissia*, *Valvata*, *Acroloxus*, *Laccophilus*, *Sialis* en juin ; Byozoaires *Plumatella* et *Pectinatella* lors de la période estivale ; abondance des Chironomes, dont Orthoclaadiinae, et plus faible richesse en novembre.

Le premier axe de l'**analyse inter-stations** représente 72,5% de l'information. Les 3 casiers sont bien différenciés sur le plan factoriel 1x2, avec des relevés unitaires très dispersés, signe d'une hétérogénéité des relevés (Figure 28). Si un fond faunistique commun à l'ensemble des sites existe, des taxons particuliers et/ou abondants localement décrivent le plan factoriel : par exemple des Bryozoaires (*Urnatella gracilis*, *Pectinatella magnifica*) et l'Odonate *Anax imperator* à BOU, des taxons plus particulièrement en relation avec le chenal (*Dugesia tigrina*, *Hypania invalida*, *Dikerogammarus villosus* et juvéniles, *Sialis lutaria*, par ex.) à PLA ; le Mollusque *Viviparus viviparus*, le Coléoptère *Peltodytes* sp. ou le Diptère *Anopheles* sp. à LIM.

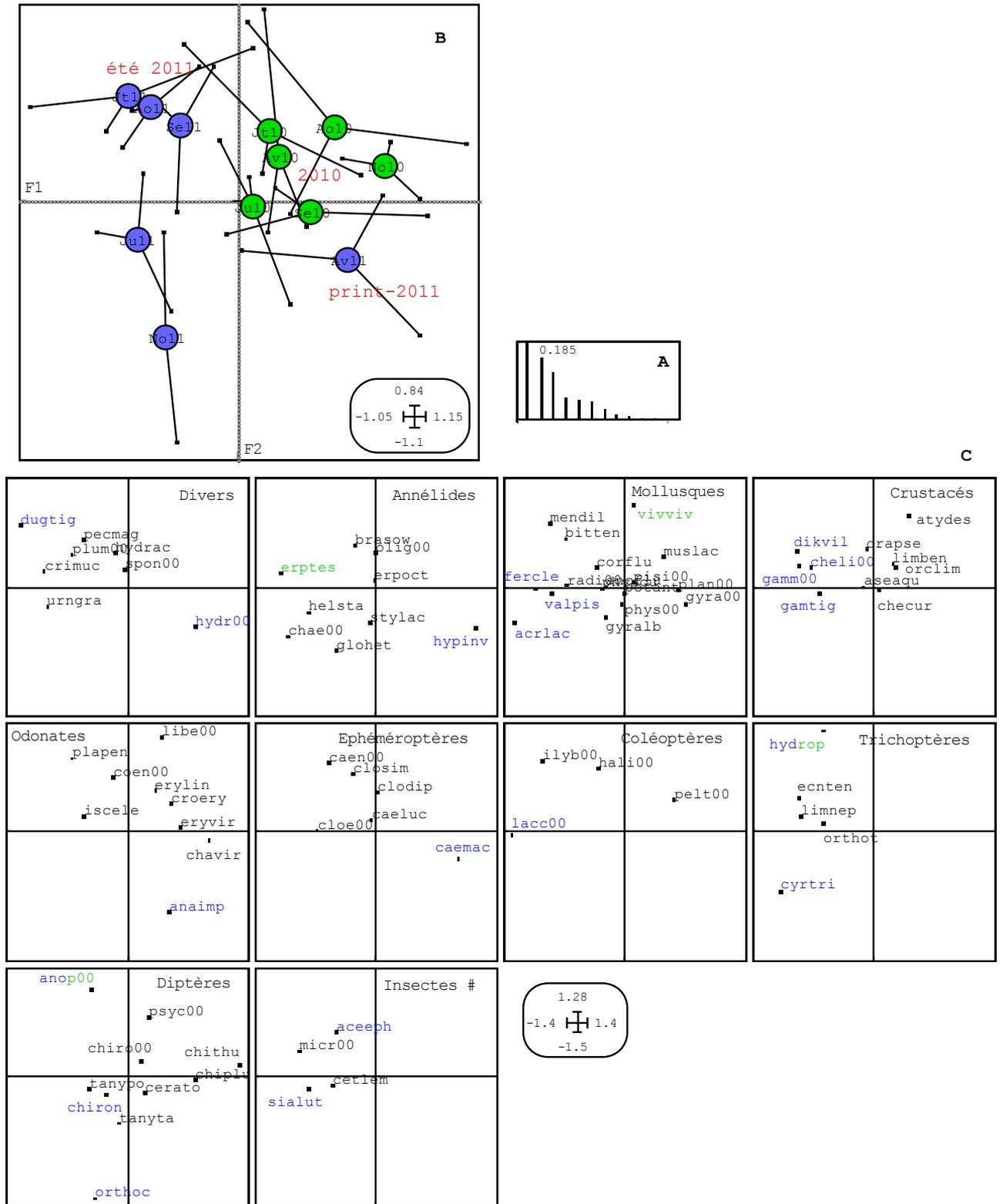


Figure 27. AFC inter-dates du tableau espèces/relevés 82 taxons x 36 relevés. **A** - Graphe des valeurs propres. **B** - Carte factorielle 1x2 des relevés. **C** - Carte factorielle 1x2 des taxons séparés par groupes faunistiques. Les taxons plus particulièrement descripteurs d'une année sont figurés dans la couleur de celle-ci. Le code des taxons figure en annexe.

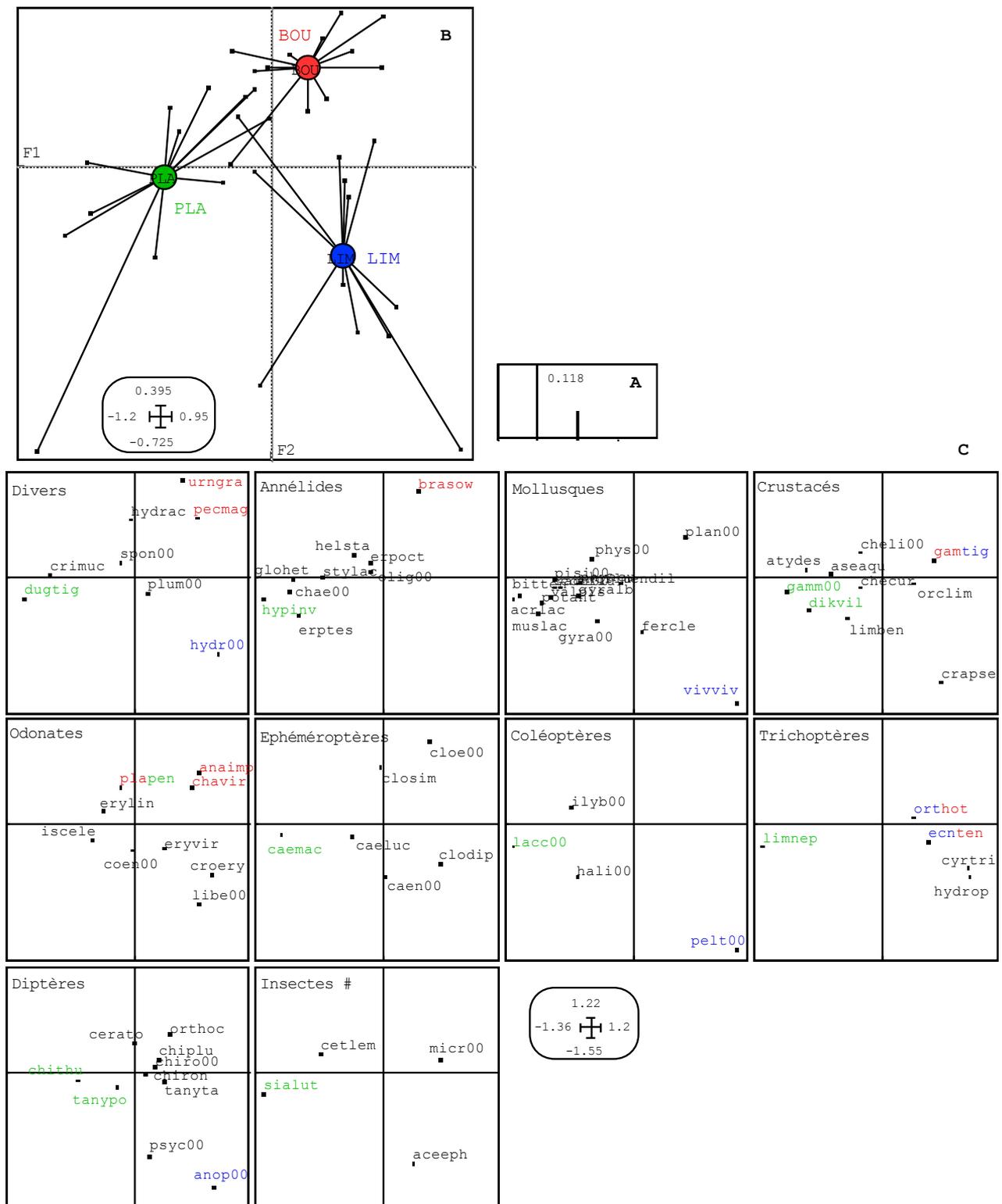


Figure 28. AFC inter-stations du tableau espèces/relevés 82 taxons x 36 relevés. **A** - Graphe des valeurs propres. **B** - Carte factorielle 1x2 des relevés. **C** - Carte factorielle 1x2 des taxons séparés par groupes faunistiques. Les taxons plus particulièrement descripteurs d'une station sont figurés dans la couleur de celle-ci. Le code des taxons figure en annexe.

4.4.3.5 – Conclusion sur les macroinvertébrés

Les **ordres de grandeur des CPUE** pour les richesses taxonomiques et les effectifs mesurés lors de notre étude sont **très voisins de ceux mesurés sur des casiers similaires du Rhône** en aval de Lyon et en amont d'Arles. Par contre, si l'ordre de grandeur du chenal se situe dans la même gamme, les valeurs moyennes sont plus élevées sur celui-ci (d'environ $\frac{1}{4}$ pour la richesse et du simple au double pour les effectifs).

En dehors des Oligochètes et des Chironomes, les **taxons** sub-dominants ou résidants rencontrés dans les casiers (*D. villosus*, *P. acuta*, *P. antipodarum*, *B. tentaculata*, *C. luctuosa*, *P. pennipes*, *E. tenellus*, pour les principaux) ne sont **pas spécifiques** de ce type de milieu (lentique), mais se retrouvent également plus ou moins abondamment sur le chenal (*Dikerogammarus* en particulier) en raison du caractère peu courant de ce dernier dû à la faiblesse du débit réservé et à l'influence du remous créé par le seuil de Peyraud sur cette partie du RCC.

La **forte production secondaire** liée à l'abondance des Chironomes et des Oligochètes est écologiquement importante, ces taxons servant de nourriture aux poissons leurs effectifs élevés sont théoriquement favorables au développement du cheptel piscicole, qui en retour peut toutefois impacter l'abondance des peuplements d'invertébrés (cf les faibles effectifs lors de certains relevés). Ces deux groupes taxonomiques jouent un **rôle clé dans le fonctionnement de ces milieux particuliers** du fait de leur forte diversité biologique, de leur forte productivité et de leur position trophique intermédiaire

Tout comme pour la faune piscicole, le **facteur de contrôle** des macroinvertébrés des casiers semble également être d'ordre hydrologique (i.e. **fréquence de connexion**). Là aussi, le classement des relevés selon leur position sur l'axe F1 (Tableau VI) fait apparaître une **ordination des relevés** à plus faible débit maxi et nombre de jours de connexion (côté négatif) vers des débits et nombres de jours de connexion plus élevés (côté positif), exceptées les deux extrêmes qui sont inversées (pic de plus de 650 m³/ et 13 jours > 50 m³/s en juillet 2011 vs strict débit réservé et aucune connexion en avril 2011).

Tableau VI. Ordination des coordonnées factorielles des relevés unitaires (couple station-date) et des valeurs tendancielles ayant précédé chaque échantillonnage (T moyenne °C ; Q moyen m³/s ; nombre de jours avec Q > 50 m³/s) sur l'axe F1 de l'analyse inter-dates des macroinvertébrés.

	F1 LIM	F1 PLA	F1 BOU	T tend	Q tend	Q max	Nb j > 50
juil-11	-0,6302	-0,9963	0,0708	22,4	125	653	13
nov-11	-0,3923	-0,3525	-0,2883	16,0	16	18	0
juin-11	-0,3138	-0,6728	-0,4553	22,5	32	94	2
aoû-11	-0,1858	-0,5494	-0,5005	23,8	50	231	6
sep-11	-0,1175	-0,4054	-0,2925	23,4	20	29	0
sep-10	-0,0501	0,1758	0,9091	20,6	71	475	5
juil-10	0,1191	-0,2586	0,5898	22,8	113	541	10
avr-10	0,1404	0,1213	0,3272	13,5	76	331	10
aoû-10	0,2527	0,0446	1,0919	23,3	92	453	10
juin-10	0,2538	0,0573	-0,0877	19,0	52	247	2
nov-10	0,87	0,7249	0,502	11,9	88	576	7
avr-11	0,8718	0,0176	0,6944	15,7	18	25	0

5 – CONCLUSIONS

Le chenal du RCC montre une **hétérogénéité thermique longitudinale** avec deux secteurs thermiquement différents en relation avec la morphologie du lit (profondeur) et la présence du seuil de Peyraud, ainsi qu'une stratification verticale marquée sur le second secteur aux points les plus profonds (2,50 m et plus) .

Les milieux étudiés (casiers annexes refuges) présentent des **caractéristiques (i.e. hétérogénéités) bien particulières tant morphologiques, physiques que chimiques** : stratification thermique et en oxygène dissous, absence totale de courant, fort développement végétal, diversité d'habitat réduite, milieu largement clos (sauf pour le casier Platière, au contraire affleurant et bien ouvert sur le chenal).

D'un point de vue **hydro-climatique, les deux années d'étude sont opposées** : une année hydrologiquement « normale » et thermiquement « froide » en 2010, et inversement une année fortement déficitaire en ce qui concerne l'hydrologie et thermiquement « chaude » en 2011.

Il faut noter le **caractère très particulier du printemps 2011** avec un réchauffement excessivement précoce et un développement végétal qui l'a été tout autant, aboutissant pour certaines espèces à un réel envahissement (*Elodea nuttallii* par exemple), ce qui a pu jouer sur les résultats biologiques (accessibilité, déplacement des individus, variation d'O₂, etc.). La température tendancielle de nos périodes d'échantillonnage a ensuite été particulièrement stable de juin à septembre et la douceur s'est prolongée tardivement en automne.

Le RCC montre d'importantes fluctuations du débit réservé avec des **pics de débit de plusieurs centaines de m³/s**, entraînant des **connexions fréquentes entre les casiers et le RCC**, en particulier durant les deux périodes estivales échantillonnées (**connexion pendant près d'un tiers du temps en juillet et août**, voire plus de 40% en juillet 2011). La variété inter-annuelle est également importante puisque le débit réservé est globalement respecté et stable en avril-juin et septembre-novembre 2011, contrairement aux mêmes périodes en 2010.

Le **fonctionnement biologique** de ces milieux se caractérise par une **forte variabilité spatio-temporelle**. Les **résultats** sur les poissons et les macroinvertébrés montrent en effet de **nombreuses disparités** entre les dates, les années et les milieux.

Ainsi, les résultats sur les **poissons** sont dans un rapport du simple au double entre les deux années (en défaveur de l'année 2011, en dépit de conditions thermiques particulièrement favorables) pour ce qui est des effectifs, mais sont dans les mêmes gammes pour la richesse spécifique (21 espèces pour chacune des années). Un tel résultat n'a rien de particulier d'une année sur l'autre, surtout dans cette proportion, somme toute restreinte. Nous n'avons toutefois **pas le recul nécessaire** pour confirmer cela dans un tel milieu (niches disponibles, prédation, ... par exemple) ou bien l'imputer aux conditions hydroclimatiques, mais, à CPUE équivalentes, les richesses et les effectifs enregistrés se situent dans les gammes **obtenues sur les casiers du Rhône arlésien** par Nicolas et Pont (1995) mais sont toutefois **moindres que ceux obtenus dans le chenal** (Aralep, 2011 et 2012).

Les espèces piscicoles dominantes (Bouvière, Pseudorasbora, Perche soleil) représentent plus de 70% des individus). Elles sont en accord avec les caractéristiques du milieu précédemment définies,

ce sont des espèces d'eau calme, aimant la végétation aquatique, thermophiles. Ce sont également des espèces invasives (pour les deux dernières) et non native pour le bassin du Rhône (Bouvière, classée Natura 2000). On peut raisonnablement penser que ces milieux **alimentent le chenal principal** en ces taxons (cf la baisse des effectifs d'août 2011 pouvant être imputée au coup d'eau de fin juillet permettant aux différents individus de gagner le chenal et de se disperser). Ces 3 espèces ont une reproduction précoce, multiple, grandissent vite, autant de caractéristiques leur permettant de s'adapter à des milieux changeants et « difficiles » (cf habitat, température, oxygénation) comme les casiers. Elles sont par ailleurs caractéristiques de ce type de milieu lentique, peu profond, végétalisé, « chaud ». En ce sens, nos résultats confirment ceux obtenus par Nicolas & Pont (1995) et Poizat & Pont (1996) sur les casiers Girardon du Bas-Rhône arlésien ou par Pennington et al. (1983), Holland (1986) et Sheaffer & Nickum (1986) sur les « dike fields » du Mississippi, comme quoi ce type de milieu, artificiel à l'origine, en bordure immédiate du chenal principal, est idoine pour servir de **zones de reproduction et de nurserie en milieu fluvial aménagé**.

La très faible représentation d'individus de « grande » taille dans nos relevés peut s'expliquer d'une part par le fait que nous échantillons les bordures ainsi que des zones de fort développement de la végétation qui entrave leur déplacement, ce type d'individus étant plutôt dans les zones d'eau libre plus profondes (comme cela a été montré dans les casiers Limony et Boussarde lors d'une pêche à la ligne par l'un d'entre nous avec la capture de quelques brochets, gros rotengles, carassins et chevaines). D'autre part, il est également fort possible que ces individus soient peu représentés en raison des caractéristiques physiques du milieu (faible profondeur du chenal d'accès, même si celui-ci est ouvert), mais aussi chimiques (probable anoxie marquée en profondeur en fin de nuit, des individus de plus grande taille ayant été rencontrés morts – tanche, anguille, carassin -).

Concernant les **invertébrés**, la richesse taxonomique est de 68 taxons en 2010 et 83 en 2011. Devant la **faiblesse de leurs effectifs, mais aussi de leur diversité**, en particulier en 2010, on peut s'interroger sur la représentativité des substrats artificiels dans ce type de milieu. Ils ont toutefois l'avantage d'une parfaite reproductibilité, évitant les biais d'un échantillonnage excessif de certains habitats (végétation en particulier où des coups de troubleau auraient probablement sur-représentés les Odonates par exemple, cf Iris consultants, 2009 sur des milieux similaires du RCC de Pierre-Bénite). Mais là aussi, une diversité d'habitat réduite, voire la prédation par l'ichtyofaune dans ces milieux plus ou moins clos, peuvent expliquer ces résultats.

Avec leur extrême abondance (près de 75% des individus avec 4 taxons), **les Chironomes et les Oligochètes** jouent probablement un **rôle clé dans le fonctionnement de ces milieux particuliers** du fait de leur forte diversité biologique, de leur forte productivité et de leur position trophique intermédiaire (nourriture pour l'ichtyofaune en particulier, contribution à la production secondaire du chenal par dérive,...). En dépit de la dominance de ces taxons, **une certaine diversité existe** parmi les espèces sub-dominantes à résidentes tels que divers Mollusques Gastéropodes (*Physa acuta*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Bithynia tentaculata*) ou larves d'Insectes (*Caenis luctuosa*, *Platycnemis pennipes*, *Ecnomus tenellus*). Ceux-ci ne sont toutefois **pas spécifiques** de ce type de milieu (lentique), mais se retrouvent également plus ou moins abondamment sur le chenal en raison du caractère peu courant de ce dernier.

Comme pour les poissons, nous **manquons également de recul et d'information dans de tels milieux refuges**. Toutefois, les **ordres de grandeur des CPUE** pour les richesses taxonomiques et les effectifs mesurés lors de notre étude sont **très voisins de ceux mesurés sur des casiers similaires du Rhône** en aval de Lyon et en amont d'Arles (Iris consultants (2009 ; Franquet et al., 1995). Par contre, si l'ordre de grandeur du chenal se situe dans la même gamme, les valeurs

moyennes sont plus élevées sur celui-ci (d'environ $\frac{1}{4}$ pour la richesse et du simple au double pour les effectifs) (Aralep, 2011 et 2012).

Il apparaît ainsi **difficile de faire la part entre la variabilité naturelle inter-annuelle** de tout système biologique (2 cycles de mesures avec des conditions hydro-climatiques nettement différentes) **et le fonctionnement thermique et biologique propre à chaque type de milieu annexe**, et de conforter ainsi (ou non) leur **intérêt en tant que refuge et/ou réservoir biologique** pour le fleuve. Toutefois, si l'invasissement parfois excessif par la végétation et la stratification de l'oxygène dissous avec des teneurs en nette baisse dès -1,5 m (et probablement plus ou moins basses en fin de nuit) sont des éléments défavorables, la stratification de la température et la perte de plusieurs degrés sur la verticale précédente lors des températures de surface les plus élevées, l'arrivée probable de drainages de nappes en certains points (eau plus fraîche), sont au contraire potentiellement favorables.

Si on considère que la **fréquence de connexion décrit la connectivité physique** entre les milieux au sens de Ward & Stanford (1995), on peut considérer que le principal **facteur de contrôle** des peuplements biologiques des casiers est la **variabilité hydrologique** (i.e. le débit du RCC). Cette variabilité à long terme donne les potentialités des milieux tandis qu'à plus court terme (échelle annuelle) elle joue le rôle de « filtre ». Ce dernier rôle est également joué par les variations inter-annuelles du facteur thermique. Leur **richesse** qualitative et quantitative apparaît être la **résultante de la diversité d'habitats** de chacun des casiers **et du taux de connectivité** avec le chenal.

Enfin, d'un **point de vue physique**, le casier le plus largement ouvert sur le fleuve (Platière PLA) est réellement très influencé par la faune du chenal (macroinvertébrés en particulier), tandis que ceux à connexion permanente (Boussarde BOU) ou semi-permanente (Limony LIM) voient leurs échanges « compliqués » par la sorte de « marche » que cette connexion constitue à travers les enrochements pour la faune piscicole. On a toutefois vu qu'une **valeur de débit de 50 m³/s dans le RCC** (future valeur plancher du débit réservé à l'horizon 2014) **est très souvent dépassée**, soit en raison de l'hydrologie générale du fleuve, soit des indisponibilités de groupes à l'usine hydroélectrique, **entraînant des connexions assez fréquentes**, en particulier en période estivale (environ un tiers du temps en juillet-août 2010-2011).

6 – REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITEES

- Anderson R.V. & Day D.M., 1986. Predictive quality of macroinvertebrate – habitat associations in lower navigation pools of the Mississippi River. *Hydrobiologia*, 136, 101-112.
- Aralep, 2012. *Suivi hydrobiologique du Rhône au niveau de la centrale nucléaire de Saint-Alban - Saint-Maurice. Année 2011*. Rapport à EDF CNPE de St-Alban, 88 p. + annexes.
- Aralep, 2011. *Suivi hydrobiologique du Rhône au niveau de la centrale nucléaire de Saint-Alban - Saint-Maurice. Année 2010*. Rapport à EDF CNPE de St-Alban, 81 p. + annexes.
- Aralep, 2009. *Diagnostic faune-flore pour la conservation de la biodiversité sur l'île de la Chèvre et le Fort de Feyzin (Département du Rhône). Volet faune piscicole*. Rapport à TOTAL, Raffinerie de Feyzin.
- Aralep, 1997. *Suivi hydrobiologique du Rhône au niveau de la centrale nucléaire de Saint-Alban/Saint-Maurice. Mesures de température sur le Rhône court-circuité*. Rapport à EDF CNPE de St-Alban, 14 p.
- Beckett D.C. & Pennington C.S., 1986. *Water quality, macroinvertebrates, larval fishes and fishes of the Lower Mississippi River – A synthesis*. Technical Report E-86-12, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., 123 p. + annexes.
- Beckett D.C., Bingham C.R. & L.G. Sanders, 1983. Benthic macroinvertebrates of selected habitats of the Lower Mississippi River. *Journal of Freshwater Ecology*, 2 (3), 247-261.
- Copp G.H., 1993. Microhabitat use of fish larvae and 0+ juveniles in a small abandoned channel of the Upper Rhône River, France. *Folia Zoologica*, 42 (2), 153-164.
- Copp G.H., 1992. Comparative microhabitat use of cyprinid larvae and juveniles in a lotic floodplain channel. *Environmental Biology of Fishes*, 33, 181-193.
- Copp G.H., 1987. *Le rôle et le fonctionnement des milieux aquatiques du Haut-Rhône français comme sites de reproduction et de nurserie pour les poissons du fleuve*. Thèse de Doctorat, Université Lyon 1.
- Dolédec S. & Chessel D., 1991. Recent developments in linear ordination methods for environmental sciences. *Advances in Ecology* 1, 133-155.
- Franquet E., 1999. Chironomid assemblages of a Lower-Rhône dike field : relationship between substratum and biodiversity. *Hydrobiologia*, 397, 121-131.
- Franquet E., Cellot B., Pont D. & M. Bournaud, 1995. Environmental and macroinvertebrate dynamics in the Lower Rhône River and a lateral dike field : a study matching two functioning descriptors. *Hydrobiologia*, 308, 207-217.
- Fruget J.F., 2003. Changements environnementaux, dérives écologiques et perspectives de restauration du Rhône Français : bilan de 200 ans d'influences anthropiques. *VertigO*, 4 (3), 1-17.
- Holland L.E., 1986. Distribution of early life history stages of fishes in selected pools of the Upper Mississippi River. *Hydrobiologia*, 136, 121-130.
- Iris Consultants, 2009. *Diagnostic faune-flore pour la conservation de la biodiversité sur l'île de la Chèvre et le Fort de Feyzin (Département du Rhône). Volet odonates et macroinvertébrés aquatiques*. Rapport à TOTAL, Raffinerie de Feyzin.
- Nelva A., Persat H., Chessel D., 1979. Une nouvelle méthode d'étude des prélèvements ichtyologiques dans les grands cours d'eau par échantillonnage ponctuel d'abondance. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 289, 1295-1298.
- Nicolas Y. & Pont D., 1995. Importance d'annexes latérales artificielles pour le recrutement en juvéniles de poissons dans un fleuve aménagé, le Bas-Rhône. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 337/338/339, 249-257.

- Pennington C.S., Baker J.A. & Bond C.L., 1983. *Fishes of selected aquatic habitats on the Lower Mississippi River*. Technical Report E-83-2, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., 70 p.
- Poizat G. & Pont D., 1996. Multi-scale approach to species habitat relationships : juvenile fish in a large river section. *Freshwater Biology*, 36, 611-622.
- Pont D. & Nicolas Y., 2001. Habitat use by 0+ fish in an old-engineered river reach (Lower Rhône, France) : relative importance of habitat heterogeneity and hydrological variability. *Large Rivers*, 12 (2-4), *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 135/2-4, 219-238.
- Schlösser I.J., 1987. The role of predation in age- and size-related habitat use by stream fishes. *Ecology*, 68, 651-659.
- Sheaffer W.A. & Nickum J.G., 1986. Relative abundance of macroinvertebrates found in habitats associated with backwater area confluences in Pool 13 of the Upper Mississippi River. *Hydrobiologia*, 136, 113-120.
- Sheaffer W.A. & Nickum J.G., 1986. Backwaters areas as nursery habitats for fishes in Pool 13 of the Upper Mississippi River. *Hydrobiologia*, 136, 131-140.
- Slizeski J.J., Andersen J.L. & Dorough W.G., 1982. *Hydrologic setting, system operation, present and future stresses of the middle Missouri River*. in Hesse, L.W., Hergenrader, G.L., Lewis, H.S., Reetz, S.D., Schlesinger, A.B. (Eds), *The middle Missouri River (A collection of papers on the biology with special reference to power station effects)*, Missouri River Study Group, 301pp., 15-37.
- Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S. et Olivier J.M., 1997. ADE-4 : a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, 7, 75-83.
- Ward J.V. et Stanford J.A., 1995. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and the disruption by flow regulation. *Regulated Rivers*, 11, 105-119.

ANNEXES

Résultats physico-chimiques 2010. Mesures de surface.

29/04/10	Heure	T°eau °C	pH	O2 mg/l	O2 %sat.	Cond. µS	Transp. cm	COT mg/l	Chla µmg/l	Phéopig. µg/l
LIM	11h20	19,8	7,6	8,9	98	293	50	4,1	11	33
PLA	12h45	19,4	7,4	12,9	142	380	60	3,0	15	58
BOU	12h10	21,0	7,8	10,1	114	391	75	3,7	6	17
15/06/10	Heure	T°eau °C	pH	O2 mg/l	O2 %sat.	Cond. µS	Transp. cm	COT mg/l	Chla µmg/l	Phéopig. µg/l
LIM	12h30	20,5	7,8	8,8	100	317	50	7,7	83	45
PLA	15h10	19,8	8,0	8,9	100	386	100	1,7	1	2
BOU	17h25	21,3	8,1	9,5	109	342	140	3,3	2	3
20/07/10	Heure	T°eau °C	pH	O2 mg/l	O2 %sat.	Cond. µS	Transp. cm	COT mg/l	Chla µmg/l	Phéopig. µg/l
LIM	12h45	26,8	8,1	16,3	210	306	100	3,1	2	4
PLA	15h05	27,0	7,9	17,7	219	294	80	2,1	15	7
BOU	17h50	28,6	8,9	15,6	187	264	130	3,8	2	1
25/08/10	Heure	T°eau °C	pH	O2 mg/l	O2 %sat.	Cond. µS	Transp. cm	COT mg/l	Chla µmg/l	Phéopig. µg/l
LIM	12h30	22,0	7,5	10,4	121	402	120	2,1	1	3
PLA	15h30	22,7	7,6	11,3	136	419	80	2,0	1	3
BOU	17h40	25,1	8,0	14,8	148	403	110	2,2	3	3
21/09/10	Heure	T°eau °C	pH	O2 mg/l	O2 %sat.	Cond. µS	Transp. cm	COT mg/l	Chla µmg/l	Phéopig. µg/l
LIM	12h25	18,1	8,5	15,1	163	330	90	3,1	27	11
PLA	15h15	19,8	8,4	16,1	178	398	100	2,5	14	25
BOU	17h35	20,5	8,6	17,7	205	342	90	3,3	27	13
19/10/10	Heure	T°eau °C	pH	O2 mg/l	O2 %sat.	Cond. µS	Transp. cm	COT mg/l	Chla µmg/l	Phéopig. µg/l
LIM	13h10	11,6	8,2	13,4	124	379	90	3,2	5	7
PLA	15h30	11,4	8,2	14,4	136	441	80	2,2	18	30
BOU	17h30	11,8	8,7	18,0	167	386	75	4,0	36	61

* Cd à 25°C

Résultats physico-chimiques 2011. Mesures de surface.

17/05/11	Heure	T°eau °C	pH	O2 mg/l	O2 %sat.	Cond. µS	Transp. cm	COT mg/l	Chla µmg/l	Phéopig. µg/l
LIM	13h15	21,9	8,0	6,9	82	404	95	3,1	<1	2
PLA	15h35	22,9	7,1	8,5	100	477	125	2,0	1	6
BOU	18h05	23,7	8,3	11,1	136	466	100	3,1	2	6

16/06/11	Heure	T°eau °C	pH	O2 mg/l	O2 %sat.	Cond. µS	Transp. cm	COT mg/l	Chla µmg/l	Phéopig. µg/l
LIM	12h15	24,3	8,7	11,7	143	326	100	3,3	9	14
PLA	15h15	21,9	8,1	10,9	127	409	130	2,4	2	5
BOU	17h40	23,6	8,8	12,9	156	313	130	3,4	5	9

26/07/11	Heure	T°eau °C	pH	O2 mg/l	O2 %sat.	Cond. µS	Transp. cm	COT mg/l	Chla µmg/l	Phéopig. µg/l
LIM	11h30	20,4	7,8	6,4	73	460	180	2,1	2	3
PLA	14h	21,4	7,9	9,1	104	433	150	1,5	<1	1
BOU	16h10	22,8	8,0	9,6	107	470	130	1,6	1	1

24/08/11	Heure	T°eau °C	pH	O2 mg/l	O2 %sat.	Cond. µS	Transp. cm	COT mg/l	Chla µmg/l	Phéopig. µg/l
LIM	11h45	25,9	8,6	10,8	134	343	80	3,4	12	15
PLA	13h55	25,2	8,2	8,4	102	431	120	2,2	3	4
BOU	15h50	27,0	8,6	10,8	139	344	100	2,6	3	4

22/09/11	Heure	T°eau °C	pH	O2 mg/l	O2 %sat.	Cond. µS	Transp. cm	COT mg/l	Chla µmg/l	Phéopig. µg/l
LIM	11h45	18,9	8,5	10,9	117	325	85	5,4	3	6
PLA	14h10	17,6	8,1	8,0	85	444	85	1,8	6	14
BOU	16h05	21,6	8,9	13,0	150	346	80	4,3	18	45

18/10/11	Heure	T°eau °C	pH	O2 mg/l	O2 %sat.	Cond. µS	Transp. cm	COT mg/l	Chla µmg/l	Phéopig. µg/l
LIM	11h45	16,0	7,8	8,0	83	360	140	5,3	2	1
PLA	14h25	15,0	7,5	5,1	52	473	130	2,0	1	1
BOU	16h	17,4	8,6	12,8	128	387	90	5,0	2	1

* Cd à 25°C

Résultats macroinvertébrés 2010. Abondances et occurrences totales annuelles.

	LIM 2010		PLA 2010		BOU 2010	
	ab	occ/6	ab	occ/6	ab	occ/6
SPONGIAIRES						
SPONGILLIDAE			1	1		
BRYOZAIRES						
BARENTSIIDAE <i>Umatella gracilis</i>						
PLUMATELLIDAE <i>Plumatella</i> sp.			2	1		
PECTINATELLIDAE <i>Pectinatella magnifica</i>					9	2
CRISTATELLIDAE <i>Cristatella mucedo</i>					1	1
CNIDAIRE						
HYDRIDAE <i>Hydra</i> sp.	15	1	1	1		
TURBELLARIÉS						
DUGESIIDAE <i>Dugesia tigrina</i>						
POLYCHETES						
AMPHARETIDAE <i>Hypania invalida</i>						
OLIGOCHETES						
NAIDIDAE <i>Chaetogaster</i> sp.						
<i>Stylaria lacustris</i>	1	1				
TUBIFICIDAE <i>Branchiura sowerbyi</i>			2	1	26	2
AUTRES OLIGOCHETES	133	6	2795	6	1030	6
ACHETES						
GLOSSIPHONIIDAE <i>Glossiphonia complanata</i>						
<i>Glossiphonia heteroclita</i>						
<i>Helobdella stagnalis</i>					1	1
ERPODELLIDAE <i>Erpobdella octoculata</i> (+ juv.)					1	1
<i>Erpobdella testacea</i>	1	1				
MOLLUSQUES						
VIVIPARIDAE <i>Viviparus viviparus</i>	51	1				
VALVATIDAE <i>Valvata piscinalis</i>					1	1
BITHYNIIDAE <i>Bithynia tentaculata</i>			76	6		
HYDROBIDAE <i>Potamopyrgus antipodarum</i>	2	1	22	6	2	2
ANCYLIDAE <i>Ancylus fluviatilis</i>			1	1		
FERRISSIIDAE <i>Ferrissia clessiniana</i>			2	2		
ACROLOXIDAE <i>Acroloxus lacustris</i>						
PLANORBIDAE <i>Gyraulus albus</i>					2	1
<i>Gyraulus</i> sp.	6	1	10	5	3	2
<i>Hippeutis complanatus</i>						
<i>Menetus dilatatus</i>			3	2	1	1
Planorbidae (juv.)	23	1	3	1	3	2
PHYSIDAE <i>Physa acuta</i>	16	5	70	5	51	6
<i>Physa</i> sp. (juv.)	16	2	5	2	13	2
LYMNAEIDAE <i>Radix gpe peregra-ovata + auricularia</i>	4	1	6	3	5	1
SPHAERIDAE <i>Musciculum lacustre</i>	1	1	4	1		
<i>Psidium</i> sp.			7	3		
<i>Sphaerium corneum</i>			1	1		
CORBICULIDAE <i>Corbicula fluminea</i>			1	1		
HYDRACARIENS						
CRUSTACÉS						
MYSIDAE <i>Hemimysis anomala</i>						
<i>Limnysis benedini</i>	2	2	2	2	1	1
CRANGONYCTIDAE <i>Crangonyx pseudogracilis</i>	1	1	1	1		
COROPHIIDAE <i>Chelicorophium curvispinum</i>	1	1			1	1
<i>Chelicorophium</i> sp. (juv.)						
GAMMARIDAE <i>Gammarus roessli</i>					2	2
<i>Gammarus tigrinus</i>						
PONTOGAMMARIDAE <i>Dikerogammarus villosus</i>	2	2	21	4	2	2
<i>Gammaridae + Pontogammaridae</i> (juv.)	2	1	1	1	4	1
ASELLIDAE <i>Asellus aquaticus</i>	3	2	7	4	1	1
CAMBARIDAE <i>Orconectes limosus</i>	9	4	6	4	4	2
ATYIDAE <i>Atyaephyra desmarestii</i>			5	3	2	1
ODONATES						
LESTIDAE <i>Chaolestes viridis</i>	5	1				
PLATYCNEMIDIDAE <i>Platycnemis pennipes</i>	2	1	39	4	1	1
COENAGRIONIDAE <i>Ischnura elegans</i>	2	1	4	3	3	2
<i>Erythronia lindeni</i>	11	4	46	5	37	5
<i>Erythronia viridulum</i>	44	5	4	2	7	2
<i>Coenagrionidae</i> (juv.)	43	5	10	4	15	3
<i>Coenagrionidae + Platycnemidae</i> (juv.)			10	1		
LIBELLULIDAE <i>Ocothremis erythraea</i>	10	3			2	2
<i>Orthetrum</i> sp. (juv.)						
<i>Libellulidae</i> (juv.)	5	3	1	1	1	1
<i>Anax imperator</i>					2	2
HETEROPTERES						
HYDROMETRIDAE <i>Gerris</i> sp.	1	1				
CORIXIDAE <i>Micronecta</i> sp.					2	2
NAUCORIDAE						
MEGALOPTERES						
SIALIDAE <i>Sialis lutaria</i>			4	1		
EPHEMEROPTERES						
BAETIDAE <i>Oleon dipterum</i>	25	5	2	1	14	3
<i>Oleon simile</i>			1	1		
<i>Procladius bifidum</i>					1	1
<i>Oleon</i> sp. (juv.)						
CAENIDAE <i>Caenis luctuosa</i>	28	5	64	5	12	4
<i>Caenis macrura</i>						
<i>Caenis</i> sp. (<i>luctuosa-macrura</i> juv.)	35	1	56	2	12	1
COLEOPTERES						
DYTISCIDAE <i>Ilybius</i> sp. (f)					1	1
<i>Laccophilus</i> sp. (f + a)						
HALIPLIDAE <i>Halipilus</i> sp. (f)			4	2		
<i>Peltodytes</i> sp. (f)	4	2				
ELMIDAE <i>Esolus parallelepipedus</i> (f)			1	1		
<i>Oulinus</i> sp. (f)			2	1		
TRICHOPTERES						
HYDROPTILIDAE <i>Agraylea sexmaculata</i>			1	1		
<i>Hydroptila</i> sp.	1	1				
<i>Orthotrichia</i> sp.	8	1	1	1	2	1
ECNOMIDAE <i>Ecnomus tenellus</i>	5	3	5	3	4	2
LEPTOCERIDAE <i>Setodes</i> sp.						
LIMNIPHILIDAE <i>Limnephilini</i>						
POLYCENTROPODIDAE <i>Cymus trimaculatus</i>						
<i>Polycentropus</i> sp.						
PSYCHOMYIIDAE <i>Psychomyia pusilla</i>						
LEPIDOPTERES						
CRAMPIDAE <i>Acertria ephemerella</i>	2	1				
<i>Catoclysta formata</i>			1	1		
<i>Parapoynx stratiotata</i>			1	1		
DIPTERES						
CULICIDAE <i>Anopheles</i> sp.	4	1	1	1		
EMPIDIDAE						
PSYCHODIDAE	3	2	2	2		
CHIRONOMIDAE <i>Tanytopodinae</i>	38	5	43	6	23	3
<i>Orthocladinae</i> s.l.	45	4	16	4	35	3
<i>Chironomini</i>	799	6	741	6	744	6
<i>Tanytarsini</i>	205	5	49	3	194	5
<i>Chironomus</i> gr. <i>plumosus</i>	500	6	760	6	685	6
<i>Chironomus</i> gr. <i>thurmi</i>	9	4	125	3		
<i>Chironomidae</i> (N.)	27	4	37	5	39	3
<i>Ceratopogoninae</i>	6	2	7	3	31	4
Nombre total d'individus par station	2156		5093		3033	
Richesse taxonomique annuelle	39		48		39	

Résultats macroinvertébrés 2011. Abondances et occurrences totales annuelles.

	LIM 2011		PLA 2011		BOU 2011	
	ab	occ/6	ab	occ/6	ab	occ/6
SPONGIAIRES						
SPONGILLIDAE	1	1	2	2	3	3
BRYOZAIRES						
BARENTSIDAE <i>Umatella gracilis</i>					3	3
PLUMATELLIDAE <i>Plumatella sp.</i>	2	1			2	2
PECTINATELLIDAE <i>Pectinatella magnifica</i>	3	2			5	3
CRISTATELLIDAE <i>Cristatella mucedo</i>			4	2		
CNIDAIRES						
HYDRIDAE <i>Hydra sp.</i>	390	6	24	6	104	5
TURBELLARIÉS						
DUGESIIDAE <i>Dugesia tigrina</i>	2	2	68	6	2	2
POLYCHETES						
AMPHARETIDAE <i>Hypania invalida</i>			8	1		
OLIGOCHETES						
CHAETOGASTERIDAE <i>Chaetogaster sp.</i>	4	1	77	3	8	3
STYLARIIDAE <i>Stylaria lacustris</i>	7	1	82	4	30	2
TUBIFICIDAE <i>Branchiura sowerbyi</i>			3	2	16	4
AUTRES OLIGOCHETES	1423	6	1129	6	2356	6
ACHETES						
GLOSSIPHONIIDAE <i>Glossiphonia complanata</i>			1	1		
GLOSSIPHONIIDAE <i>Glossiphonia heteroclitia</i>			5	4		
HELICODIELLIDAE <i>Helicodella stigmatalis</i>	1	1	7	1	1	1
ERPOBDELLIDAE <i>Erpobdella octoculata (+ juv.)</i>	1	1	3	3	2	1
ERPOBDELLIDAE <i>Erpobdella testacea</i>	1	1	11	3		
MOLLUSQUES						
VIVIPARIDAE <i>Viviparus viviparus</i>	15	4				
VALVATIDAE <i>Valvata piscinalis</i>	2	1	17	6	1	1
BITHYNIIDAE <i>Bithynia tentaculata</i>	1	1	246	6	11	3
HYDROBIIDAE <i>Potamopygus antipodarum</i>	28	3	280	6	14	2
ANCYLIDAE <i>Ancylus fluviatilis</i>	1	1	5	3	2	1
FERRISSIIDAE <i>Ferrissia clessiana</i>	51	4	40	6	15	4
ACROLOXIIDAE <i>Acroloxus lacustris</i>						
PLANORBIDAE <i>Gyraulus albus</i>	2	1	8	4		
PLANORBIDAE <i>Gyraulus spp.</i>	17	2	35	4	3	1
PLANORBIDAE <i>Hippeutis complanatus</i>	1	1				
PLANORBIDAE <i>Menetus dilatatus</i>	18	3	32	6	25	2
PLANORBIDAE <i>Planorbidae (juv.)</i>	11	5	9	3	109	5
PHYSIDAE <i>Physa acuta</i>	29	3	182	6	46	5
PHYSIDAE <i>Physa sp. (juv.)</i>	36	6	533	6	356	6
LYMNAEIDAE <i>Radix gpe peregra-ovata + auricularia</i>			39	5	4	2
SPHAERIDAE <i>Musciculum lacustre</i>			4	2		
SPHAERIDAE <i>Pisidium sp.</i>			16	3	6	4
SPHAERIDAE <i>Sphaerium corneum</i>						
CORBICULIDAE <i>Corbicula fluminea</i>	1	1	8	4	2	2
HYDRACARIENS						
HYDRACARIENS			1	1	2	2
CRUSTACÉS						
MYSIDAE <i>Hemimysis anomala</i>	2	1				
MYSIDAE <i>Limnysis benedini</i>	1	1	4	3		
CRANGONYCTIDAE <i>Crangonyx pseudogracilis</i>	3	2				
COROPHIIDAE <i>Chelicorophium curvispinum</i>	2	1	7	2	3	2
COROPHIIDAE <i>Chelicorophium sp. (juv.)</i>	2	1	12	3	12	3
GAMMARIDAE <i>Gammarus roeselii</i>						
GAMMARIDAE <i>Gammarus tigrinus</i>	20	5	7	2		
PONTOGAMMARIDAE <i>Dikerogammarus villosus</i>	94	3	422	4	36	5
PONTOGAMMARIDAE <i>Gammaridae + Pontogammaridae (juv.)</i>	3	2	119	4	8	2
ASELLIDAE <i>Asellus aquaticus</i>	29	5	249	6	115	3
CAMBARIDAE <i>Orconectes limosus</i>	3	2	2	2	11	4
ATYIDAE <i>Atyaephyra desmarestii</i>			1	1		
ODONATES						
LESTIDAE <i>Chaobolus viridis</i>			1	1	14	1
PLATYCNEMIDAE <i>Platycnemis pennipes</i>	9	3	35	5	97	5
COENAGRIONIDAE <i>Ischnura elegans</i>	5	2	19	5	5	4
COENAGRIONIDAE <i>Erythronia lindera</i>	2	2	28	5	18	4
COENAGRIONIDAE <i>Erythronia viridulum</i>	11	3	31	5	38	4
COENAGRIONIDAE <i>Coenagrionidae (juv.)</i>	4	3	21	2	20	4
COENAGRIONIDAE <i>Coenagrionidae + Platycnemidae (juv.)</i>	12	2	32	2	11	2
LIBELLULIDAE <i>Crocothemis erythraea</i>	4	2	1	1	5	3
LIBELLULIDAE <i>Orthetrum sp. (juv.)</i>	1	1				
LIBELLULIDAE <i>Libellulidae (juv.)</i>						
AESCHNIDAE <i>Anax imperator</i>	1	1			2	1
HÉTEROPTÈRES						
HYDROMETRIDAE <i>Gerris sp.</i>					1	1
CORIXIDAE <i>Micronecta sp.</i>	4	1	1	1	5	4
NAUCORIDAE	1	1				
MEGALOPTÈRES						
SIALIDAE <i>Sialis lutaria</i>			29	5		
EPHÉMÉROPTÈRES						
BAETIDAE <i>Cloeon dipterum</i>	9	2	7	3	6	2
BAETIDAE <i>Cloeon simile</i>					2	1
BAETIDAE <i>Procloeon bifidum</i>						
CAENIDAE <i>Cloeon sp. (juv.)</i>	1	1	2	1	29	3
CAENIDAE <i>Caenis luctuosa</i>	77	5	227	6	129	6
CAENIDAE <i>Caenis macrura</i>			9	2	1	1
CAENIDAE <i>Caenis sp. (luctuosa-macrura juv.)</i>	89	5	64	5	28	3
COLEOPTÈRES						
DYTISCIDAE <i>Ilybius sp. (l)</i>			2	1		
DYTISCIDAE <i>Laccophilus sp. (l + a)</i>			4	2		
HALIPLIDAE <i>Halipilus sp. (l)</i>	2	2	1	1		
ELMIDAE <i>Peltodytes sp. (l)</i>	2	1				
ELMIDAE <i>Esolus parallelepipedus (l)</i>						
ELMIDAE <i>Oulimnius sp. (l)</i>						
TRICHOPTÈRES						
HYDROPTILIDAE <i>Agrylles sexmaculata</i>			1	1		
HYDROPTILIDAE <i>Hydropsyche sp.</i>	1	1			1	1
HYDROPTILIDAE <i>Orthotrichia sp.</i>	28	6	25	6	60	6
ECNOMIDAE <i>Ecnomus tenellus</i>	71	5	26	6	69	5
LEPTOCERIDAE <i>Setodes sp.</i>			1	1		
LIMNÉPHILIDAE <i>Limnephilini</i>			5	3		
POLYCENTROPODIDAE <i>Cymus trimaculatus</i>	5	2			3	2
POLYCENTROPODIDAE <i>Polycentropus sp.</i>	1	1	1	1		
PSYCHOMYIIDAE <i>Psychomyia pusilla</i>			2	1		
LEPIDOPTÈRES						
CRAMPIDAE <i>Acentria ephemerella</i>			1	1		
CRAMPIDAE <i>Catoclysta lemnata</i>			3	3		
CRAMPIDAE <i>Parapsyx stratiotata</i>					2	1
DIPTERES						
CULICIDAE <i>Anopheles sp.</i>	4	2				
EMPIDIDAE	1	1				
PSYCHODIDAE						
CHIRONOMIDAE <i>Tanytopodinae</i>	56	6	137	6	81	6
CHIRONOMIDAE <i>Orthocladinae s.l.</i>	94	5	107	6	472	5
CHIRONOMIDAE <i>Chironominae</i>	1789	6	2365	6	3175	6
CHIRONOMIDAE <i>Tanytarsini</i>	614	6	513	6	745	6
CHIRONOMIDAE <i>Chironomus gr. plumosus</i>	738	6	432	4	1792	6
CHIRONOMIDAE <i>Chironomus gr. thummi</i>	17	2	32	2	51	3
CHIRONOMIDAE <i>Chironomidae (N.)</i>	65	5	54	5	119	6
CERATOPOGONIDAE <i>Ceratopogoninae</i>	6	3	29	2	25	3
Nombre total d'individus par station	5932		7955		10356	
Richesse taxonomique annuelle	60		67		57	

Liste et code des différents taxons de macroinvertébrés considérés dans l'AFC inter-.

Spongillidae	<i>spon00</i>	
<i>Urnatella gracilis</i>	<i>urngra</i>	
<i>Plumatella sp.</i>	<i>plum00</i>	
<i>Pectinatella magnifica</i>	<i>pecmag</i>	
<i>Cristatella mucedo</i>	<i>crimuc</i>	
<i>Hydra sp.</i>	<i>hydr00</i>	
<i>Dugesia tigrina</i>	<i>dugtig</i>	
Hydracariens	<i>hydrac</i>	divers
<i>Hypnia invalida</i>	<i>hypinv</i>	
<i>Chaetogaster sp.</i>	<i>chae00</i>	
<i>Stylaria lacustris</i>	<i>stylac</i>	
<i>Branchiura sowerbyi</i>	<i>brasow</i>	
Autres Oligochètes	<i>olig00</i>	
<i>Glossiphonia heteroclita</i>	<i>glohet</i>	
<i>Helobdella stagnalis</i>	<i>helsta</i>	
<i>Erpobdella octoculata</i> (+ juv.)	<i>erpoct</i>	
<i>Erpobdella testacea</i>	<i>erptes</i>	annélides
<i>Viviparus viviparus</i>	<i>vivviv</i>	
<i>Valvata piscinalis</i>	<i>valpis</i>	
<i>Bithynia tentaculata</i>	<i>bitten</i>	
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	<i>potant</i>	
<i>Ancylus fluviatilis</i>	<i>ancflu</i>	
<i>Ferrissia clessiniana</i>	<i>fercle</i>	
<i>Acroloxus lacustris</i>	<i>acrlac</i>	
<i>Gyraulus albus</i>	<i>gyralb</i>	
<i>Gyraulus spp.</i>	<i>gyra00</i>	
<i>Menetus dilatatus</i>	<i>mendil</i>	
<i>Planorbidae sp. (juv.)</i>	<i>plan00</i>	
<i>Physa acuta</i>	<i>phyacu</i>	
<i>Physa sp. (juv.)</i>	<i>phys00</i>	
<i>Radix gpe peregra-ovata + auricularia</i>	<i>radi00</i>	
<i>Musculium lacustre</i>	<i>muslac</i>	
<i>Pisidium sp.</i>	<i>pisi00</i>	
<i>Corbicula fluminea</i>	<i>corflu</i>	mollusques
<i>Limnomysis benedini</i>	<i>limben</i>	
<i>Crangonyx pseudogracilis</i>	<i>crapse</i>	
<i>Chelicorophium curvispinum</i>	<i>checur</i>	
<i>Chelicorophium sp. (Juv.)</i>	<i>cheli00</i>	
<i>Gammarus tigrinus</i>	<i>gamtig</i>	
<i>Dikerogammarus villosus</i>	<i>dikvil</i>	
<i>Gammaridae + Pontogammaridae (juv.)</i>	<i>gamm00</i>	
<i>Asellus aquaticus</i>	<i>aseaqu</i>	
<i>Orconectes limosus</i>	<i>orclim</i>	
<i>Atyaephyra desmarestii</i>	<i>atydes</i>	crustacés
<i>Chalcolectes viridis</i>	<i>chavir</i>	
<i>Platycnemis pennipes</i>	<i>plapen</i>	
<i>Ischnura elegans</i>	<i>iscele</i>	
<i>Erythromma lindeni</i>	<i>erylin</i>	
<i>Erythromma viridulum</i>	<i>eryvir</i>	
<i>Coenagrionidae + Platycnemidae (juv.)</i>	<i>coen00</i>	
<i>Crocothemis erythraea</i>	<i>croery</i>	

<i>Libellulidae (juv.)</i>	<i>libe00</i>	
<i>Anax imperator</i>	<i>anaimp</i>	odonates
<i>Cloeon dipterum</i>	<i>clodip</i>	
<i>Cloeon simile</i>	<i>closim</i>	
<i>Cloeon sp. (juv.)</i>	<i>cloe00</i>	
<i>Caenis luctuosa</i>	<i>caeluc</i>	
<i>Caenis macrura</i>	<i>caemac</i>	
<i>Caenis sp. (luctuosa-macrura juv.)</i>	<i>caen00</i>	éphémères
<i>Ilybius (l)</i>	<i>ilyb00</i>	
<i>Laccophilus sp. (l + a)</i>	<i>lacc00</i>	
<i>Haliphus sp. (l)</i>	<i>hali00</i>	
<i>Peltodytes (l)</i>	<i>pelt00</i>	coléoptères
<i>Hydroptila sp.</i>	<i>hydrop</i>	
<i>Orthotrichia sp.</i>	<i>orthot</i>	
<i>Ecnomus tenellus</i>	<i>ecnten</i>	
<i>Limnephilini</i>	<i>limnep</i>	
<i>Cyrnus trimaculatus</i>	<i>cyrtri</i>	trichoptères
<i>Anopheles sp.</i>	<i>anop00</i>	
<i>Psychodidae</i>	<i>psyc00</i>	
<i>Tanypodinae</i>	<i>tanypo</i>	
<i>Orthoclaadiinae s.l.</i>	<i>orthoc</i>	
<i>Chironomini</i>	<i>chiron</i>	
<i>Tanytarsini</i>	<i>tanyta</i>	
<i>Chironomus gr. plumosus</i>	<i>chiplu</i>	
<i>Chironomus gr. thummi</i>	<i>chithu</i>	
<i>Chironomidae (N.)</i>	<i>chiro00</i>	
<i>Ceratopogoninae</i>	<i>cerato</i>	diptères
<i>Micronecta sp.</i>	<i>micr00</i>	
<i>Sialis lutaria</i>	<i>sialut</i>	
<i>Acentria ephemerella</i>	<i>aceeph</i>	
<i>Cataclysta lemnata</i>	<i>Cetlem</i>	Insectes #