

Réhabilitation d'un méandre de la Seine

Evelyne Tales, Philippe Boët, Guillaume Gorges, Karine Kiblut (Cemagref, Antony)

Pascal Breil (Cemagref, Lyon)

Une opération de réhabilitation d'un ancien méandre de la Seine, le bras de la Grande Bosse, est envisagée dans le secteur de Bray-sur-Seine (77) en contexte anthropisé. Elle a pour objectif de restaurer ses potentialités pour la reproduction des poissons et en tant que zone de nurserie. Elle consiste à revitaliser la dynamique fluviale de ce site en rétablissant sa connexion amont avec le chenal principal afin de créer un chenal secondaire. La mise en place d'une démarche d'évaluation de l'efficacité de l'opération préconisée devrait permettre de fournir des éléments objectifs pour la gestion de ce type de milieu.

1. Analyse hydrologique

La modélisation hydraulique du bras de la Grande Bosse, réalisée en 1998, a permis de déterminer la valeur du débit requis ($20 \text{ m}^3/\text{s}$) pour sa remise en eau, en cohérence avec les exigences pour la reproduction des espèces piscicoles. Le contexte hydrologique local doit maintenant être analysé afin de savoir si ce débit peut être effectivement dérivé vers le bras et soustrait au chenal sans créer de conflit d'usages, notamment vis-à-vis de la navigation dans le chenal principal.

En fait, un débit de $20 \text{ m}^3/\text{s}$ correspond globalement au débit de la Seine à l'aplomb du site, en période de basses eaux. Il a donc été d'emblée envisagé de ne remettre le bras en eau qu'en période de hautes eaux, quand le débit de la Seine n'est pas limitant, c'est à dire environ durant six mois par an. A priori, cette contrainte ne va pas à l'encontre de la vocation piscicole et des objectifs initiaux de l'aménagement. En effet, les espèces piscicoles les plus exigeantes vis-à-vis de la présence de zones courantes sont également celles qui se reproduisent le plus précocement, à la fin de la période de hautes eaux. Les espèces à reproduction estivale sont plutôt indifférentes à la vitesse de courant voire même affectionnent les zones calmes.

1.1. Chronique de débits

L'analyse des chroniques hydrologiques de la Seine a donc porté plus particulièrement sur la période de hautes eaux, c'est à dire globalement du mois de novembre à avril. Les débits analysés sont ceux de la station de Bazoches-les-Bray, très proche du site, enregistrés de 1961 à 1976. Sur cette station, les données les plus récentes ne sont pas disponibles, mais le décalage de période n'affecte pas a priori les résultats statistiques de l'analyse.

1.2. Détermination et analyse des débits seuils

Un débit seuil est un débit observé dans une chronique et dépassé pendant n jours consécutifs. Sa valeur dépend donc de la durée choisie. Dans cette analyse, plusieurs durées ont été testées (3, 15, 30, 60 et 180 jours), la durée de 180 jours correspondant à notre objectif.

Les valeurs annuelles de débit seuil à 180 jours retenues couvrent au mieux les six mois de la période de hautes eaux (tableau 1). Dans la chronique analysée, elles restent supérieures à $18 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'échantillon de débits seuils étant constitué pour une durée donnée, il est possible de caler une loi de probabilité de réalisation de ces débits seuils (figure 1) et ensuite d'évaluer les occurrences des gammes de débits selon la durée envisagée.

Dans notre cas d'étude il est nécessaire de dévier un débit de $20 \text{ m}^3/\text{s}$ à partir de la Seine vers le bras mort en période de hautes eaux. Si la navigation requiert par exemple un débit dans la Seine de l'ordre de $20 \text{ m}^3/\text{s}$, cela signifie que la remise en eau du bras ne pourra se faire que quand le débit dans la Seine sera d'au moins $40 \text{ m}^3/\text{s}$. Le modèle de débit seuil à 180 jours permet alors de dire que cette

Tableau 1 : Débits seuils (QCX) à 180 jours centrés sur la période de hautes eaux (station de Bazoches-les-Bray).

QCX (m ³ /s)	Début de la période	Fin de la période	Année
86.500	30.11	28. 5	1966
69.000	8.12	5. 6	1962
60.500	7.12	3. 6	1968
58.500	22.12	19. 6	1969
55.000	12.10	9. 4	1975
54.000	12. 1	10. 7	1970
38.300	9. 1	7. 7	1965
35.200	1.12	29. 5	1967
33.200	19.11	16. 5	1964
30.200	16.11	14. 5	1973
28.700	28.11	26. 5	1974
24.800	16. 1	14. 7	1971
20.400	21.11	18. 5	1972
18.300	20.12	17. 6	1963

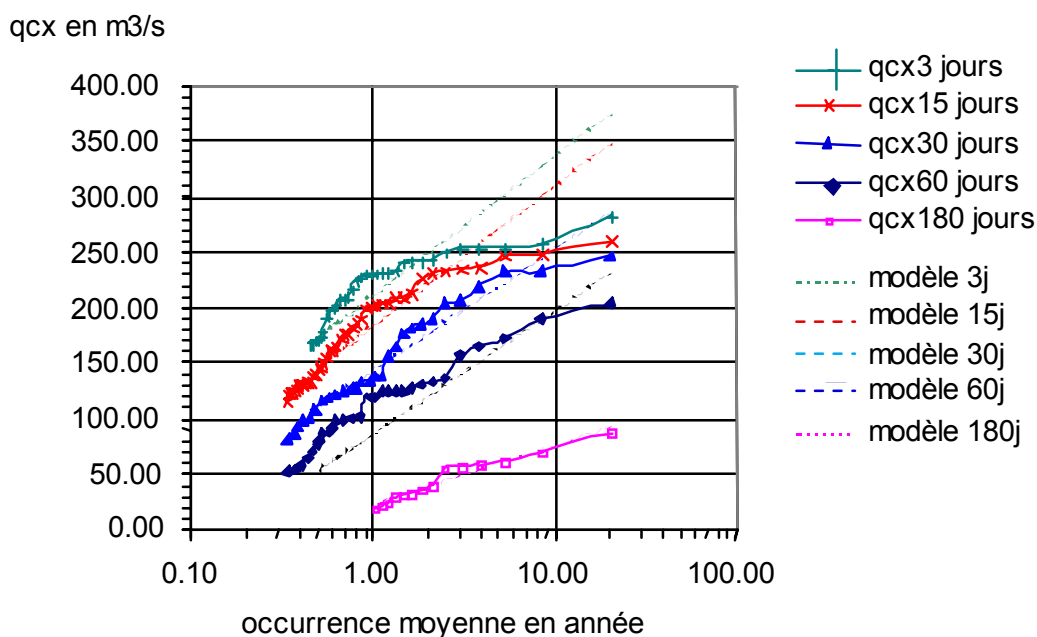


Figure 1 : Occurrence des débits seuils (QCX) sur la Seine à la station de Bazoches-les-Bray pour la période de hautes eaux.

remise en eau ne sera réalisable en moyenne qu'une année sur deux. De même, il est possible de disposer chaque année de débits élevés sur des courtes durées (plus de 200 m³/s pendant 3 jours) pour permettre le nettoyage hydraulique du bras mort.

1.3. Hypothèse de débit minimum requis pour la navigation

Ce débit minimum est estimé à partir des caractéristiques techniques de l'ouvrage constitué par le barrage et l'écluse et fournies par le SNS (subdivision de Nogent-sur-Seine). Le barrage de navigation est composé de 3 vannes mobiles, a priori entièrement escamotables par forts débits. En conditions de faibles débits, les vannes reposent sur le fond et créent une retenue d'eau dont le niveau est ajusté par des clapets de surverse. L'objectif est bien sûr de maintenir un tirant d'eau suffisant pour la navigation. Le volume délesté lors d'une écluse est estimé à 10000 m³. Nous imaginons donc un scénario de fort trafic fluvial avec un temps de remplissage / vidange d'une 1/2 heure, soit un total de 48 éclusées en 24 heures. Le volume d'eau nécessaire est alors de 480000 m³/jour, soit un débit moyen journalier minimum requis de 5.5 m³/s.

En l'absence d'informations sur les débits de fuites et de soutien de la ligne d'eau pour d'éventuels ouvrages et besoins situés en aval nous doublons cette valeur, soit un débit minimum de l'ordre de 10 m³/s à assurer dès lors que le débit amont égale ou dépasse cette valeur. Il faut donc au total et en première approximation un débit seuil amont de 30 m³/s pour assurer simultanément le fonctionnement de l'écluse et du bras à maintenir en eau.

Le risque de défaillance d'un débit seuil de 30 m³/s pour chacun des mois de la saison novembre à mai est évalué (tableau 2). On constate ainsi que cette défaillance est nulle pour les mois de mars et avril et maximale pour les mois de novembre et décembre (respectivement ce risque est alors de 6/16 et 3/16).

1.4. Conclusion

Le projet de remise en eau du bras mort en période de hautes eaux semble tout à fait envisageable. Au besoin, une adaptation du mode de gestion de l'aménagement peut permettre son fonctionnement de manière viable pour répondre aux objectifs fixés et en accord avec les contraintes locales.

2. Mise en place du suivi du site

Avec la prise de conscience de la nécessité d'agir pour préserver les milieux de plaine alluviale, les opérations de réhabilitation sont devenues de plus en plus nombreuses. Mais il s'avère que faute de suivis adéquats, l'évaluation de leur efficacité est peu réalisable (Kondolf et Micheli, 1995). Ainsi les avancées dans le domaine des connaissances de l'écologie de la restauration des systèmes fluviaux sont peu nombreuses.

La mise en place d'une véritable démarche d'évaluation de l'efficacité des opérations de réhabilitation est nécessaire. Une fois l'objectif de la réhabilitation clairement identifié, elle débute avec l'élaboration d'un protocole de suivi. Ce dernier intègre initialement la totalité des étapes à accomplir, y compris le suivi post-réhabilitation.

2.1. Principe

Le protocole de suivi comprend plusieurs étapes (figure 2). Il vise à établir tout d'abord l'état initial du site expérimental par un suivi de pré-réhabilitation. Après la réalisation du projet le suivi de post-réhabilitation débute jusqu'à ce que le site atteigne le stade espéré ou, à défaut, un état stable. Un site témoin est soumis à la même procédure afin d'identifier les processus d'évolution naturelle.

Le suivi des sites comprend des indicateurs dont le choix est primordial puisque ce sont eux qui doivent permettre par la suite de juger de l'efficacité de l'opération de réhabilitation.

2.2. Mise en œuvre

2.2.1. Site témoin

Le site témoin choisi, le bras de la Boule, est une annexe hydraulique du même type que le bras de la Grande Bosse. Issu de l'aménagement du chenal principal pour la navigation en 1976, c'est un méandre rescindé de la Seine d'une longueur de 600 m situé en rive droite immédiatement en aval du

bras de la Grande Bosse (figure 3). Néanmoins, son profil en travers est plus homogène, et sa profondeur moyenne, plus importante.

Tableau 2. Statistiques sur les débits journaliers (en 1/10 m³/s) de la Seine à Bray/Seine. Données moyennes mensuelles et annuelles. Le code -1 correspond à des données incomplètes.

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy. annuelle
1961	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	3.84	-1.00	<u>1.68</u>	<u>1.19</u>	<u>.69</u>	<u>.90</u>	3.38	9.89	-1.00
1962	14.08	16.16	13.31	18.19	12.58	6.68	<u>2.17</u>	<u>1.31</u>	<u>1.03</u>	<u>.75</u>	<u>1.16</u>	<u>2.18</u>	7.47
1963	5.05	<u>2.42</u>	5.71	9.27	5.18	7.71	4.05	<u>2.18</u>	<u>2.17</u>	<u>1.87</u>	5.20	6.90	4.81
1964	3.83	5.02	6.54	9.69	5.38	<u>2.61</u>	<u>1.25</u>	<u>.54</u>	<u>.62</u>	<u>.98</u>	<u>1.57</u>	<u>2.63</u>	3.39
1965	7.85	10.41	8.56	16.47	10.84	7.49	3.07	<u>1.71</u>	3.68	5.64	4.23	20.63	8.38
1966	22.55	22.77	15.23	11.90	10.57	5.48	6.07	4.97	3.45	<u>2.89</u>	3.42	13.99	10.27
1967	18.61	13.76	11.46	6.92	4.19	3.25	<u>2.62</u>	<u>2.81</u>	3.49	4.68	8.98	8.22	7.42
1968	22.98	20.70	13.91	8.70	11.56	5.99	4.33	5.16	9.68	10.0	8.96	7.05	10.76
1969	10.87	10.59	14.34	9.01	11.76	7.57	5.40	4.49	4.06	<u>2.86</u>	<u>2.47</u>	4.60	7.34
1970	6.78	21.20	25.36	21.62	13.02	6.48	6.95	4.97	4.29	4.76	3.51	4.26	10.27
1971	3.70	6.92	4.34	3.93	3.32	4.19	3.42	2.91	3.09	<u>2.69</u>	<u>2.62</u>	<u>2.63</u>	3.65
1972	<u>2.29</u>	4.06	3.48	3.69	<u>2.86</u>	<u>2.23</u>	3.43	4.25	3.70	3.20	6.84	7.82	3.99
1973	3.75	11.25	7.94	4.14	4.63	3.30	<u>2.24</u>	<u>1.98</u>	<u>2.36</u>	<u>2.88</u>	<u>2.90</u>	6.76	4.51
1974	8.29	9.13	8.37	8.60	3.70	<u>2.60</u>	<u>2.42</u>	<u>1.84</u>	<u>2.50</u>	6.50	13.7	17.39	7.09
1975	15.77	14.54	6.67	13.23	8.41	4.21	4.26	3.54	<u>2.99</u>	4.73	5.51	10.65	7.88
1976	5.34	10.25	5.91	3.48	<u>2.21</u>	<u>1.18</u>	<u>.73</u>	<u>.64</u>	<u>1.16</u>	<u>1.71</u>	<u>2.56</u>	6.29	3.45
Données moyennes inter annuelles													
Moyenne mensuelle	10.12	11.95	10.08	9.92	7.13	4.73	3.38	2.78	3.06	3.57	4.82	8.24	6.71
Ecart type	6.79	6.05	5.49	5.33	3.82	2.10	1.68	1.55	2.07	2.36	3.25	5.11	2.51
Nombre d'années	15	15	15	15	16	15	16	16	16	16	16	16	15
Risque de défaillance	1	1	0	0	1						6	3	

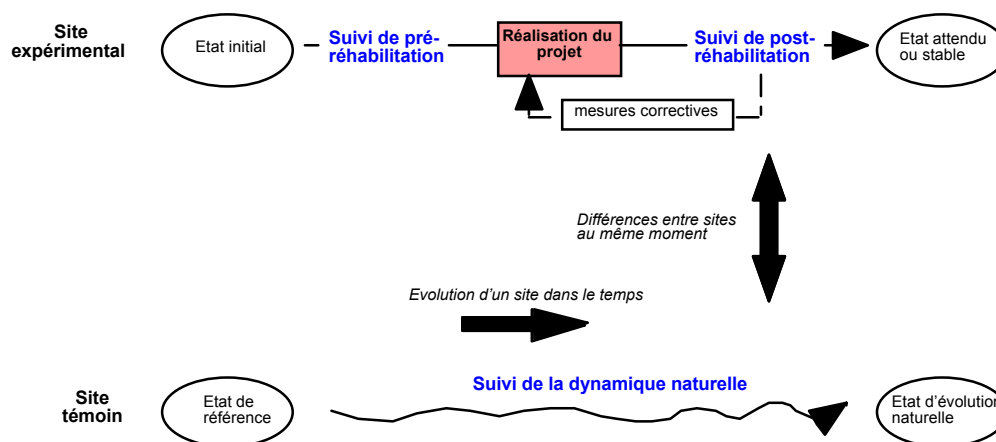


Figure 2. Principe de suivi d'une opération de réhabilitation (d'après Henry et Amoros, 1995).

2.2.2. Type d'indicateurs

L'objectif initial étant de réhabiliter le bras en tant que site pour la reproduction des poissons, les peuplements piscicoles sont les indicateurs majeurs choisis pour évaluer l'efficacité de l'aménagement, en particulier les peuplements de jeunes poissons de l'année.

Peuplement piscicole adulte

Le peuplement adulte est inventorié deux fois dans l'année : au printemps avant la reproduction et à l'automne après la reproduction, dans les deux bras (bras aménagé + bras témoin) et dans le chenal afin de connaître les espèces présentes.

Jeunes poissons de l'année

Les juvéniles sont échantillonnés lors de plusieurs campagnes par pêche électrique depuis un bateau pneumatique au moyen d'un matériel adapté pour les poissons de petite taille. La méthode employée, l'Echantillonnage Ponctuel d'Abondance (EPA), permet d'obtenir des résultats quantitatifs. Le nombre de points est « proportionnel » à la taille des deux milieux étudiés :

- bras de la Grande-Bosse 51000 m² (1700 m de long et 30 m de largeur moyenne) 80 points
 - bras témoin 18000 m² (600 m de long et 30 m de largeur moyenne) 40 points
 - chenal : 20 points.
- soit 140 points par campagne.

Les jeunes poissons immédiatement déterminés à l'espèce sont mesurés et remis à l'eau tandis que les autres sont fixés dans du formol et ramenés au laboratoire pour détermination ultérieure.

Les campagnes sont réalisées selon une fréquence mensuelle durant la saison de reproduction. Elles débutent en avril afin de prendre en compte le résultat de la reproduction des espèces les plus précoces (brochet par exemple).

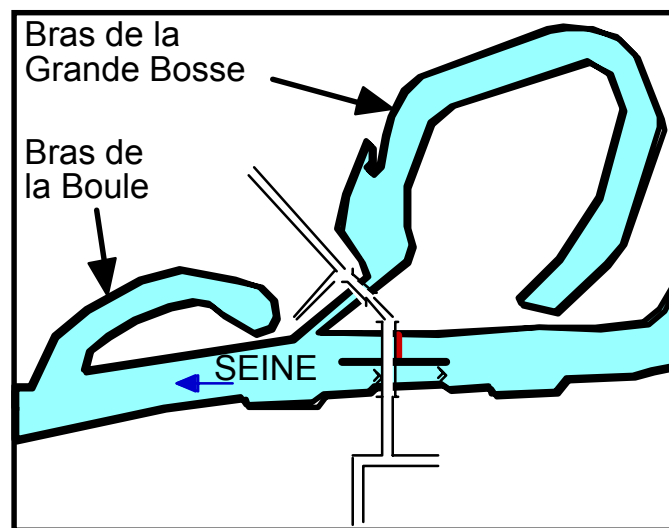


Figure 3. Schéma du site d'étude.

Paramètres mésologiques

A chaque point de pêche, des paramètres d'habitat sont relevés : des paramètres physico-chimiques (température de l'eau, oxygène dissous, pH, conductivité et turbidité), le substrat (type et abondance de la végétation; type et colmatage du substrat minéral), des paramètres morphologiques (hauteur d'eau, vitesse de courant, type de berges, présence et type d'abris) et des paramètres d'environnement du point (ombrage, ripisylve).

A chaque campagne des analyses de chlorophylle et de carbone organique dissous (COD) sont effectuées dans chaque site pour estimer leur degré de trophie. Par ailleurs deux paramètres font l'objet d'un suivi continu en raison de leur importance vis-à-vis de la faune piscicole.

La hauteur d'eau est enregistrée par un limnimètre installé dans la partie aval du bras de la Grande Bosse. En effet, le site peut être soumis à des variations de niveau d'eau brusques créées par la gestion du barrage écluse. De telles variations en période de fraye peuvent définitivement compromettre la reproduction annuelle de certaines espèces par exondation des pontes ou des larves.

En l'absence de jeunes poissons de l'année il est donc important de savoir si cela est naturel ou imputable à ce type de problème.

La température est également mesurée en continu par des enregistreurs autonomes immergés dans les deux bras et le chenal. Ce paramètre est prédominant pour le déclenchement de la reproduction, le développement des œufs ainsi que la croissance des jeunes stades de poisson. Il peut expliquer des décalages saisonniers importants dans l'apparition des différentes espèces au cours de la saison de reproduction.

2.2.3. Durée du suivi

La durée du suivi est déterminée sur la base de nos expériences ainsi que sur la bibliographie. Les indicateurs majeurs étant les peuplements piscicoles, l'unité de temps minimale est l'année puisque les espèces ne se reproduisent qu'à une seule période par an.

Le suivi de pré-réhabilitation doit se faire sur au moins deux années. L'importance de l'état de référence du site a souvent été mise en avant pour évaluer le succès ou l'échec d'une réhabilitation car c'est un gage de compréhension de l'évolution du site après réhabilitation.

La durée du suivi de post-réhabilitation dépend du temps de réinstallation de la faune piscicole après modification de l'habitat dans le site. L'opération de réhabilitation consistant à rétablir la connexion amont entre le bras de la Grande Bosse et le chenal principal peut ainsi être assimilée à une perturbation de l'habitat. Une synthèse très exhaustive a été menée aux Etats-Unis pour déterminer les processus de récupération des communautés biologiques aquatiques après des perturbations (Niemi *et al.*, 1990). Concernant les poissons, les temps de récupération sont très variables selon le type de perturbation. Les perturbations de type « pulse » (pollution physico-chimique par exemple) permettent une récupération rapide dont la durée peut être comprise entre une à cinq années. En revanche, les perturbations de type « press » (altérations profondes de l'habitat telles que chenalisation) engendrent des changements tels que les communautés, si elles réussissent à récupérer, mettent parfois plusieurs décennies pour le faire. Ces temps de récupération sont de plus influencés par l'existence de zones « refuge » proches, les processus de récupération se faisant plus par migration / recolonisation que par accroissement des populations locales épargnées par les effets de la perturbation.

En tenant compte de ces réflexions et du contexte géographique de notre site expérimental, il paraît raisonnable d'envisager de le suivre pendant au moins trois années après réhabilitation. Une optimisation du suivi est envisagée tout en optant à terme pour une stratégie de type « pulsed monitoring » (Bryant 1995). Cette méthode consiste à alterner des périodes courtes (3-5 ans) de suivi intensif avec des périodes longues (de l'ordre de 10 ans) de suivi allégé.

3. Résultats préliminaires

Le suivi du site tel que décrit précédemment a débuté dès 1999. Cette année a également permis de roder le protocole établi. Seuls les résultats concernant les peuplements de jeunes poissons de l'année sont présentés ici. Cinq campagnes d'échantillonnage ont été réalisées en saison estivale comprenant 700 points de pêche aux trois stations (bras de la Grande Bosse, bras de la Boule et chenal principal). La détermination spécifique des jeunes poissons nécessite des observations à la loupe binoculaire au laboratoire qui peuvent être fastidieuses. Par ailleurs, il est recommandé de débiter les observations par les échantillons des dernières campagnes comportant les jeunes poissons les plus aisément reconnaissables. Ainsi, seules les trois dernières campagnes (22/07/1999, 23/08/1999 et 08/09/1999) ont été analysées pour l'instant.

3.1. Composition faunistique

Actuellement 17 espèces sont recensées, représentées par 948 individus appartenant à 5 familles sur l'ensemble des stations (tableau 3). L'essentiel des effectifs est constitué par trois espèces : l'ablette, le gardon et le chevesne. Ces trois espèces sont communes dans ce secteur de la Seine.

Tableau 3 : *Effectifs bruts des poissons capturés par espèce et par station.*

Espèce		Station	Station	Station	Total
		1	2	3	
Ablette	ABL	286	47	17	350
Barbeau	BAF		3	6	9
Bouvière	BOU	21	10	1	32
Brème bordelière	BRB	22	56	1	79
Brème commune	BRE	7	4	1	12
Chevesne	CHE	39	73	23	135
Gardon	GAR	125	51	16	192
Goujon	GOU	9	11	2	22
Hotu	HOT	3		6	9
Hybride de Cyprinidés (*)	HYB	3	1	1	5
Loche franche	LOF		1		1
Poisson chat	PCH		23		23
Perche	PER	40	8	12	60
Perche soleil	PES		7		7
Rotengle	ROT	2	5	1	8
Sandre	SAN	1	1		2
Tanche	TAN		1		1
Vandoise	VAN	1			1
Effectif total		559	302	87	948
Nombre d'espèces		12	15	11	17

Stations

1 bras de la Grande Bosse

2 bras de la Boule

3 chenal

** bien qu'étant mentionnés, les hybrides de Cyprinidés ne constituent pas une espèce sensu stricto. Ils ne sont pas pris en compte dans le nombre d'espèces.*

3.2. Analyses des données faunistiques

Les données d'abondance des espèces ont été soumises à une Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée à l'aide de la programmation ADE. Au préalable, les espèces peu abondantes (moins de 2 individus) ainsi que les hybrides de Cyprinidés ont été éliminés du jeu de données. Pour les espèces restantes, au nombre de 13, des analyses de distribution en taille des individus ont permis de sélectionner exclusivement les jeunes poissons de l'année (0+) et d'éliminer les plus âgés. Les effectifs ont été regroupés par relevés, combinant une date et un site soit 9 relevés au total, puis ramenés à un même effort de pêche (nombre d'individus par point de pêche) et transformés en $\log(x+1)$. C'est donc le tableau espècesXrelevés comprenant 13 colonnes et 9 lignes qui a été analysé.

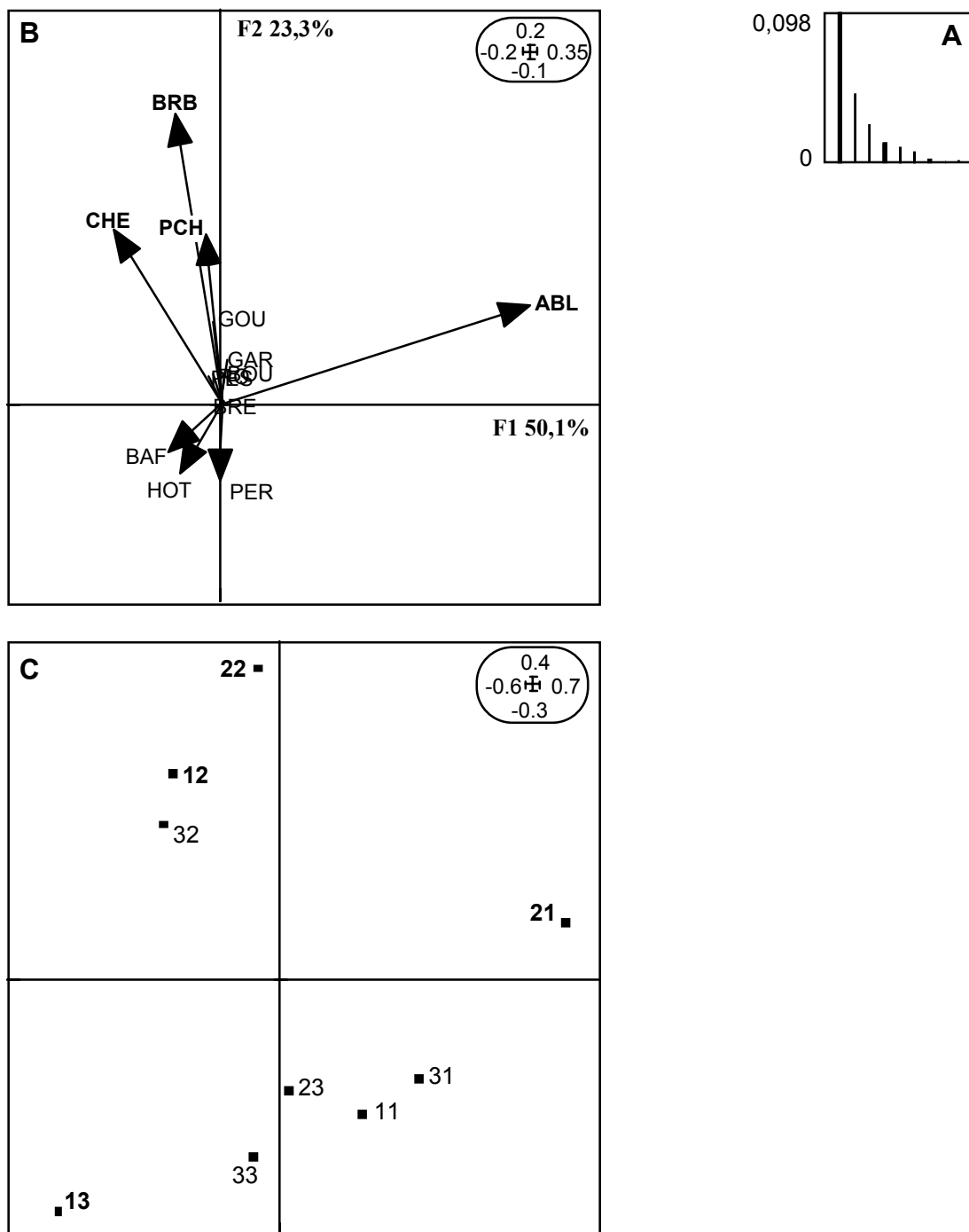


Figure 4 : Analyse en Composantes Principales (ACP) du tableau espècesXrelevés. A : graphe des valeurs propres. B : représentation des espèces dans le plan F1F2 de l'analyse ; les codes des espèces sont indiqués dans le tableau 3. C : représentation des relevés dans le plan F1F2 de l'analyse ; les codes des relevés correspondent à la combinaison date (date1 :22/07/99, date2 :23/08/99 et date3 :08/09/99) et site (site1 :la Grande Bosse ; site2 :la Boule ; site3 :chenal).

Les deux premiers axes factoriels regroupe 73,4% de l'inertie totale du jeu de données. La représentation des espèces dans le plan F1F2 (figure 4) illustre la forte contribution de l'ablette (83,2%) à l'axe F1 totalisant à lui seul 50,1% de la variance totale du jeu de données. Le chevesne y contribue également dans une moindre mesure (10,3%). L'axe F2 quant à lui récolte les contributions majeures de trois espèces, la brème bordelière (47,5%), le chevesne (17,1%) et le poisson-chat (16,1%). L'axe F1 fortement lié à l'ablette oppose en fait les relevés comprenant de nombreux

représentants de cette espèce (relevé 21) à ceux n'en ayant pas (relevé 13) comme l'illustre la représentation des relevés dans le plan F1F2. L'axe F2 permet de discriminer les relevés toutes dates confondues du site 2 (bras de la Boule) qui semble héberger des densités plus fortes de brème bordelière, de chevesne et de poisson-chat en particulier.

Dans l'ensemble, les relevés restent regroupés par site dans le plan F1F2. D'un point de vue pratique, cela semble indiquer que la prospection des sites n'a peut être pas besoin d'être réalisée aussi intensivement durant cette période. Les relevés des deux bras morts (site expérimental 1 et site témoin 2) sont bien différenciés. Toutefois, une analyse des différences de densités des espèces communes à ces deux sites permettrait de nuancer ces résultats. La dominance de l'ablette masqué sans doute des tendances plus fines dans la structure des peuplements de jeunes poissons de l'année de ces deux sites.

4. Conclusions

Concernant sa faisabilité, le projet de réhabilitation semble réalisable à l'issue de l'analyse du contexte hydrologique intégrant les contraintes requises par la navigation. En revanche, les problèmes liés aux phénomènes d'érosion et de dépôts des sédiments dans le site ne sont pas résolus.

Le protocole de suivi biologique mis en place et qui vise à établir l'état de référence du site, paraît robuste. Il semble que son optimisation soit possible sur la base des données récoltées en 1999. Il est toutefois nécessaire de le compléter par un volet « physique » d'évaluation de l'habitat.

5. Références

Bryant M. D. (1995) - Pulsed monitoring for watershed and stream restoration. *Fisheries*, **20** (11) : 6-13.

Henry C.P. & Amoros C. (1995) - Restoration ecology of riverine wetlands .1. A scientific base. *Environ Manage*, **19** (6) : 891-902.

Kondolf G.M. & Micheli E.R. (1995) - Evaluating stream restoration projects. *Environ Manage*, **19** (1) : 1-15.

Niemi G.J., DeVore P., Detenbeck N. *et al.* (1990) - Overview of case studies on recovery of aquatic systems from disturbance. *Environ Manage*, **14** (5) : 571-587.