

Z A B R

Zone Atelier Bassin du Rhône

Typologie de rivières en tresses du bassin RMC

Rapport de l'Année 2

Action n° 21 du Programme 2010 au titre de
l'accord cadre Agence de l'Eau ZABR

Coordination : H. Piégay, B. Belletti

RAPPEL DES OBJECTIFS :

Dans le cadre de la convention de recherche qui lie la ZABR (Zone Atelier Bassin du Rhône) et l'agence de l'eau RMC, une action a été initiée sur la gestion des rivières en tresses du SE de la France. L'objectif est de définir pour les années à venir des travaux de recherche interdisciplinaire permettant de mieux caractériser les rivières en tresses au niveau physique et écologique et proposer des actions de restauration fondées sur des bases plus solides. Ces travaux doivent servir à la fois à définir des priorités d'actions territoriales lors de la mise en œuvre de la DCE et à affiner les différentes mesures préconisées à l'échelle des schémas locaux pour la préservation ou la restauration écologique et la satisfaction des usagers en matière de sécurité et de disponibilité de la ressource en eau. Elle doit apporter des éléments de connaissance répondant aux orientations fondamentales suivantes : (OF2) concrétiser la mise en œuvre du principe de non dégradation des milieux aquatiques, (OF6) préserver et redévelopper les fonctionnalités naturelles des bassins et des milieux aquatiques, (OF8) gérer les risques d'inondations en tenant compte du fonctionnement naturel des cours d'eau.

Dans ce contexte, un projet scientifique interdisciplinaire a été construit collectivement entre scientifiques et gestionnaires sur le thème de la caractérisation fonctionnelle des rivières en tresses. L'objectif général est d'établir une typologie biomorphologique des tresses du bassin du Rhône. C'est en effet dans ce bassin que se concentrent la plupart des rivières de ce type sur le territoire métropolitain (plus de 600 km recensés), voire même en Europe. Cette typologie est fondée sur l'analyse d'une cinquantaine de tronçons en tresses représentatifs des différentes hydroécorégions du bassin Rhône-Méditerranée (Slater, 2007), plusieurs d'entre eux seront ensuite sélectionnés pour faire l'objet d'analyses plus fines.

Les questions posées sont les suivantes : (1) existe-t-il des indicateurs simples permettant de replacer une tresse sur un gradient actif-déliquescent, de définir son état physique et d'identifier ainsi les principales actions à promouvoir en matière de sécurité publique et de gestion sédimentaire ? (2) quels sont les critères d'évaluation et les actions à préconiser pour préserver ou restaurer ces types fonctionnels ?

L'étude est programmée sur une période de 4 ans abordant successivement :

- les trajectoires géomorphologiques (sous la responsabilité du Cemagref Grenoble) ;
- la caractérisation des habitats (sous la responsabilité de l'UMR 5600 du CNRS et l'Université de Rennes) ;

- l'évaluation du potentiel écologique à partir de l'analyse des communautés d'invertébrés (sous la responsabilité de l'UMR 5023 du CNRS).

Le présent rapport fait état de l'avancement de l'année 2. Il présente les premiers résultats consolidés de la partie habitats aquatiques et sur la caractérisation de la mosaïque paysagère sur 50 ans (UMR 5600, Université de Rennes) ainsi que les premiers résultats de la partie communautés d'invertébrées (UMR 5023, Cemagref de Lyon), de l'étude expérimentale (Cemagref de Grenoble) et des premiers tests effectués dans la partie relative à la thermie (UMR 5600). Il dresse également l'inventaire des travaux prévus en année 3. En Annexe I est reportée la liste de sites d'étude propres aux différents volets.

SOMMAIRE DU RAPPORT

CHAPITRE I - RAPPEL DES OBJECTIVES PROPRES AUX DIFFERENTS VOLETS	3
Partie 1. Caractérisation des habitats et du paysage riverain	4
Partie 2. Spécificités et structure de la diversité des invertébrés dans les rivières en tresses	5
A . Objectif 1: Influence des écoulements hyporhéiques sur la diversité et la distribution des peuplements d'invertébrés.....	5
B . Objectif 2: Influence de la structure géomorphologique des rivières en tresseS sur la diversité génétique des populations	7
Partie 3. Etude en canal expérimentale.....	9
Partie 4. La thermie des rivières en tresses	11
CHAPITRE II - RAPPEL ZONE D'ETUDE ET DESCRIPTION DES METHODES PAR VOLET	12
Partie 1. Caractérisation des habitats et du paysage riverain	13
A . Les tronçons d'étude	13
B . Caractérisation « hydro-géographique »	16
C . Analyse diachronique : comparaison des photos 1950 et 2000	17
Partie 2. Spécificités et structure de la diversité des invertébrés dans les rivières en tresses	21
A . Objectif 1: Influence des écoulements hyporhéiques sur la diversité et la distribution des peuplements d'invertébrés.....	21
B . Objectif 2: Influence de la structure géomorphologique des rivières en tresseS sur la diversité génétique des populations	26
Partie 3. Etude en canal experimental.....	28
A . Dispositif expérimental d'étude des bancs alternés	28
Partie 4. La thermie des rivières en tresses	30
CHAPITRE III - RESULTATS DE LA DEUXIEME ANNEE	32
Partie 1. Caractérisation des habitats et paysage riverain	33
A . Résultats consolidés concernant la partie « habitats aquatiques »	33
B . Analyse Historique 1950-2000	38
Partie 2. Spécificités et structure de la diversité des invertébrés dans les rivières en tresses	46
A . Objectif 1: Influence des écoulements hyporhéiques sur la diversité et la distribution des peuplements d'invertébrés.....	46

B . Objectif 2: Influence de la structure géomorphologique des rivières en tresseS sur la diversité génétique des populations	50
Partie 3. Etude en canal expérimentale.....	53
A . Deux morphologies différentes.....	53
B . Les mécanismes liés à la migration des bancs	54
C . Effets du tri granulométrique	55
D . Relation entre l'état du lit et le transport solide	56
E . Relation entre l'état du lit et la largeur de l'écoulement	56
Partie 4. La thermie des rivières en tresses	57
CHAPITRE IV - CONCLUSIONS DE LA DEUXIEME ANNEE ET PERSPECTIVES	58
Partie 1. Caractérisation des habitats et paysage riverain	59
A . Conclusions	59
B . Perspectives	59
Partie 2. Spécificités et structure de la diversité des invertébrés dans les rivières en tresses	61
A . Conclusions	61
B . Perspectives	62
Partie 3. Etude en canal expérimentale.....	66
A . Conclusions	66
B . Perspectives	66
LISTE DES FIGURES	68
LISTE DES TABLEAUX.....	70
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	71
ANNEXES	73

CHAPITRE I - RAPPEL DES OBJECTIVES PROPRES AUX DIFFERENTS VOLETS

CHAPITRE I - RAPPEL DES OBJECTIVES PROPRES AUX DIFFERENTS VOLETS	3
Partie 1. Caractérisation des habitats et du paysage riverain.....	4
Partie 2. Spécificités et structure de la diversité des invertébrés dans les rivières en tresses.....	5
A . Objectif 1: Influence des écoulements hyporhéiques sur la diversité et la distribution des peuplements d'invertébrés.....	5
B . Objectif 2: Influence de la structure géomorphologique des rivières en tresseS sur la diversité génétique des populations	7
Partie 3. Etude en canal expérimentale	9
Partie 4. La thermie des rivières en tresses	11

PARTIE 1. CARACTERISATION DES HABITATS ET DU PAYSAGE RIVERAIN

Rédacteurs : B. Belletti, S. Dufour, H. Piégay

Cette partie a pour objectif de faire le lien entre la première partie (trajectoire séculaire, cf. rapport année 1) et la 3ème partie (communautés) en abordant la caractérisation de l'habitat à différentes échelles, celle du corridor fluvial et celle de l'habitat aquatique, afin d'identifier une typologie des rivières en tresses sur l'ensemble du bassin RMC.

La première année a été consacrée à la caractérisation des structures paysagères (habitats riverains et aquatiques) à partir d'orthophotographies aériennes et de la dynamique de colonisation de la bande active par la végétation riveraine.

Les travaux de la deuxième année ont porté sur la consolidation des résultats relatifs aux habitats aquatiques et à l'étude de l'évolution du corridor fluvial à l'échelle de 50 ans afin de mettre en évidence les changements planimétriques en lien avec les résultats obtenus dans l'étude des trajectoires géomorphologiques (Volet 1, première année).

Les données brutes utilisées au cours de cette deuxième année proviennent donc essentiellement de la base de données de l'IGN (photo en noir et blanc des années 50 et orthophotos couleur des années 2000).

En perspective de l'année 1, nous avons envisagé de compléter l'analyse des habitats aquatiques par l'exploitation des valeurs radiométriques du chenal principal segmenté tous les 10 mètres. Cependant, après des essais réalisés en collaboration avec P. Flandrin (chercheur à l'ENS de Lyon, expert en analyse du signal), nous avons décidé de ne pas poursuivre cette analyse nécessitant trop de temps et de développements pour pouvoir interpréter correctement les résultats.

PARTIE 2. SPECIFICITES ET STRUCTURE DE LA DIVERSITE DES INVERTEBRES DANS LES RIVIERES EN TRESSES

Rédacteurs : F. Malard, T. Datry, C. Capderrey

L'UMR 5023 en collaboration avec le Cemagref de Lyon pilote le volet « communauté d'invertébrés » du projet, dont l'essentiel des actions est programmé à partir de cette deuxième année.

Cette partie s'inscrit dans le cadre de l'étude de la structuration et de l'assemblage des communautés dans les écosystèmes dynamiques. Il existe un cas extrême de dynamisme au sein des écosystèmes dulçaquicoles: les rivières en tresses.

A . OBJECTIF 1: INFLUENCE DES ECOULEMENTS HYPORHEIQUES SUR LA DIVERSITE ET LA DISTRIBUTION DES PEUPELEMENTS D'INVERTEBRES

Les écoulements hyporhéiques (infiltration puis exfiltration d'eau de surface) influencent la diversité et la structure des peuplements d'invertébrés dans les rivières en tresses. Ces écoulements s'organisent à différentes échelles spatiales autour d'unités géomorphologiques bien identifiées. A une échelle plurikilométrique, les bandes de tressage non contraintes latéralement sont des zones d'infiltration potentielle alors que les bandes de tressage contraintes latéralement ou verticalement par une constriction rocheuse sont des zones d'exfiltration potentielle. A une échelle hectométrique, ces écoulements s'organisent autour de structures géomorphologiques telles que les alternances seuils-mouilles, les bancs de graviers ou les méandres. Ainsi, les têtes de bancs de graviers sont des zones d'infiltration potentielle alors que les queues des bancs de graviers des zones d'exfiltration potentielle. Les écoulements hyporhéiques aux échelles plurikilométrique et hectométrique interagissent pour structurer la diversité et la distribution des peuplements d'invertébrés.

L'objet principal de ce travail est de tester l'influence des écoulements hyporhéiques plurikilométriques sur la diversité et la structure des peuplements d'invertébrés. Il s'agit plus particulièrement de tester l'hypothèse selon laquelle les zones d'exfiltration correspondant à des bandes de tressage contraintes latéralement ou verticalement par une constriction rocheuse pourraient constituer à l'échelle du paysage des hotspots de diversité (Figure 2.1). La généralisation de cette observation (utilisation de nombreux sites) déboucherait alors sur la possibilité de définir à l'échelle d'un bassin versant les zones à forte diversité à partir d'un système d'information géographique. L'hypothèse selon laquelle la diversité pourrait être maximale dans des bandes de tressage contraintes latéralement ou verticalement par une constriction rocheuse repose sur deux effets principaux des phénomènes d'exfiltration qui: 1) favorisent une plus grande diversité d'habitats dans la bande de tressage (i.e. apparition de chenaux latéraux non connectés à l'amont au chenal principal car alimentés par la nappe); 2) limitent les assèchements qui peuvent être particulièrement sévères dans les rivières en tresses. Enfin, l'instabilité des habitats liés aux divagations des tresses est certainement moindre dans les bandes actives contraintes latéralement car la surface occupée par

les chenaux en eau est proportionnellement plus importante que dans les bandes actives non contraintes latéralement.

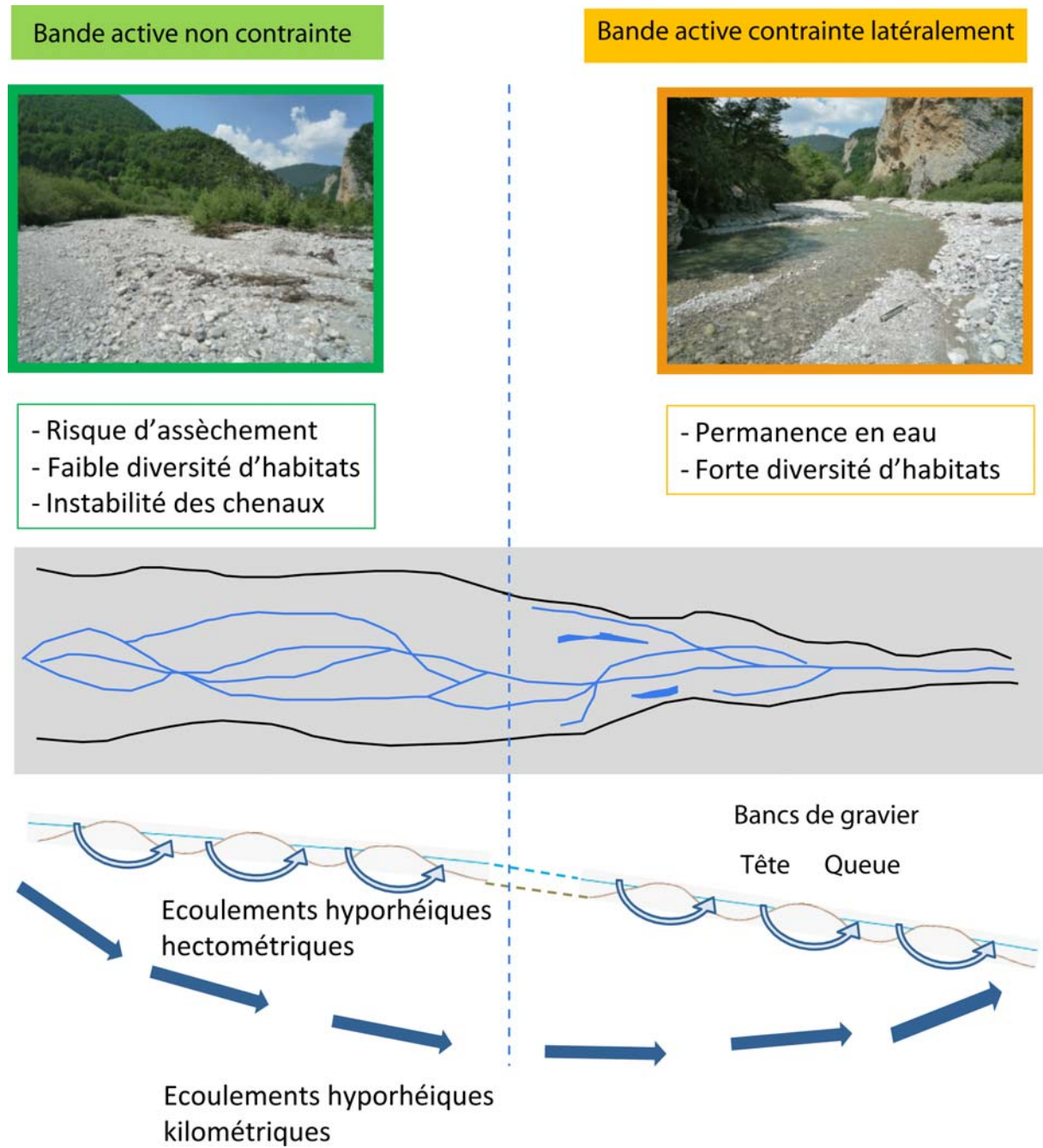


Figure 2.1. Schématisation des écoulements hyporhéiques aux échelles kilométriques et hectométriques dans des bandes de tressage contraintes et non contraintes.

B . OBJECTIF 2: INFLUENCE DE LA STRUCTURE GEOMORPHOLOGIQUE DES RIVIERES EN TRESSES SUR LA DIVERSITE GENETIQUE DES POPULATIONS

Une rivière en tresses peut être perçue comme un collier de perles au sein duquel circulent des masses sédimentaires issues du bassin versant. Les perles correspondent aux secteurs en tresses, véritables zones d'accumulation de sédiment. Ces secteurs sont caractérisés par plusieurs chenaux de faible flux d'eau qui divergent et convergent, espacés par des bancs de graviers et des îles végétalisées. Ces perles sont séparées par des "canyons" au sein desquels l'accumulation des sédiments est limitée en raison du rétrécissement de la vallée et des conditions d'écoulements (chenal unique). Cette structure en perles conduit à une organisation des échanges eau de surface - eau souterraine à une échelle plurikilométrique dont les effets sur la structure et la diversité des communautés aquatiques hyporhéiques et benthiques constituent l'objectif 1 de cette étude. Toutefois, cette structure peut également entraîner l'isolement des populations au sein des différents secteurs en tresse (les perles). Dans ce cas, les zones de canyons ou les zones à forte incision (effet de l'homme bien caractérisé par les études sédimentaires menées au cours des années 1 et 2 de ce projet) peuvent constituer des barrières à la dispersion entre les secteurs en tresses entraînant une forte structuration génétique des populations. Les études menées sur la dispersion des insectes aquatiques au sein des corridors fluviaux ont souvent montré une forte dispersion avec de faibles différences génétiques sur de grandes aires géographiques. Toutefois, le résultat attendu est totalement différent dès lors qu'il s'agit d'une espèce dont la dispersion est intimement liée à la présence d'un corridor sédimentaire.

L'objectif 2 consiste donc à déterminer quelle est l'influence de la structure géomorphologique des rivières en tresses sur la diversité génétique des populations d'un organisme souterrain interstitiel, l'isopode *Proasellus walteri*, dont la dispersion est intimement liée à la présence d'un corridor sédimentaire fluvial. Plus précisément, l'étude vise à identifier quelles sont, dans ces corridors, les barrières naturelles à la dispersion (affleurement rocheux dans des zones de canyon) ou humaines (affleurement du substratum lié à l'incision). Dès lors, nous supposons que les zones de canyon séparant les secteurs en tresse ou les zones incisées constituent un frein à la dispersion de cette espèce. Ainsi pour une même distance géographique en plaine et en montagne, les populations des corridors de montagne devraient être beaucoup plus structurées génétiquement que les populations de plaine (Figure 2.2). En effet, les corridors fluviaux dans les zones montagneuses sont caractérisés par des discontinuités sédimentaires liées à des affleurements rocheux (canyons ou incision) alors que les corridors de plaine présentent une continuité sédimentaire liée à la présence d'une puissante nappe alluviale.

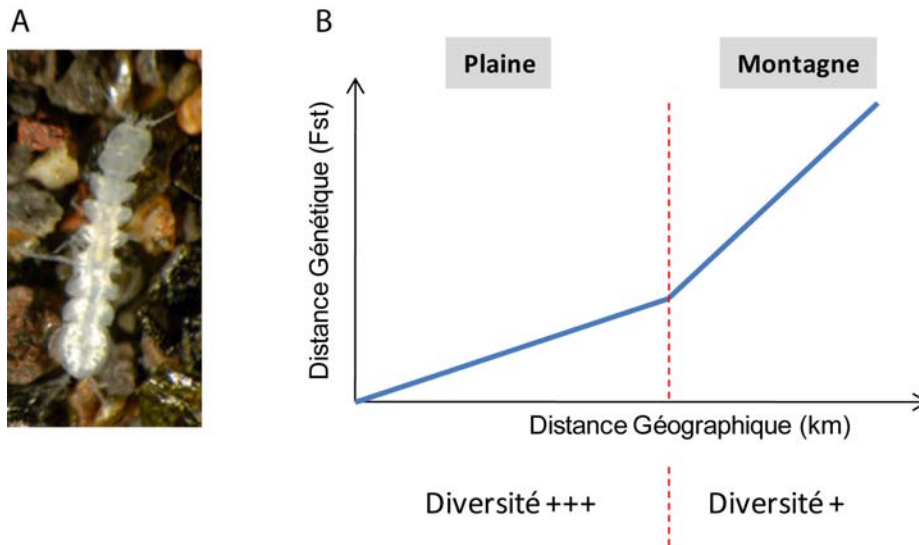


Figure 2.2. A - Photographie de l'isopode *Proasellus walteri* (taille 3 mm). B - Attendus scientifiques dans le cas où les zones de canyon séparant les secteurs en tresse ou les zones incisées constituent un frein à la dispersion de cette espèce.

Cette étude permettra de définir pour la première fois quelle est l'étendue spatiale d'une population d'un organisme souterrain interstitiel à l'échelle d'une région présentant plusieurs rivières en tresses. Cette information, sur laquelle nous n'avons à priori aucune idée précise, est primordiale lorsqu'il s'agit de définir des plans de conservation de la biodiversité. Nous espérons également pouvoir déterminer si l'incision du lit des rivières en tresses, en grande partie liée à l'activité humaine, influence la structure des populations d'une espèce. Ce résultat serait lui aussi nouveau puisque les effets de l'incision ont jusqu'à présent été abordés uniquement au niveau de la richesse et de la composition des communautés.

Rédacteurs : P. Leduc, A. Recking

Ces suivis viennent compléter l'étude morphologique de l'année 1 et apportent des éléments de compréhension des processus permettant d'interpréter les trajectoires morphologiques et l'évolution probable des rivières en tresses mais aussi la structure des habitats et sa diversité géographique. Ces suivis s'inscrivent dans le cadre d'une thèse cofinancée par l'ANR Gestrans et intitulée « Etude expérimentale de la dynamique des macroformes sédimentaires en territoires de montagne : le cas des rivières en tresses ». La thèse qui a démarré au 1^{er} septembre 2010. financée à 50% par l'ANR (projet Gestrans) et à 50% par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse (Projet typologie des rivières en tresses de RMC).

L'objectif de cette thèse est de produire des outils permettant de diagnostiquer la dynamique sédimentaire d'un cours d'eau par une simple lecture de ses macroformes (dimensions, granulométrie, pente, forme, végétation...). Ces outils font actuellement cruellement défaut aux opérationnels, que ce soit pour la gestion des risques ou pour des aspects liés à la qualité des milieux. Ils seront diffusés très largement au travers des publications scientifiques, mais aussi par la publication de guides techniques. La thèse est réalisée en étroite collaboration avec la thèse de Sandrine Tacon (*Dynamique des macroformes sédimentaires en rivières de montagne à forte charge solide*), qui s'intéresse aux mêmes aspects à partir d'expérimentations de terrain.

Le travail engagé ici se focalise sur la compréhension des mécanismes de contrôle de la mobilité des macroformes sédimentaires, qui est un des objectifs du projet. Afin de mieux isoler certains phénomènes qui ne peuvent pas être observés sur le terrain pour des raisons évidentes d'échelles (d'espace et de temps), ces mécanismes seront étudiés expérimentalement en laboratoire. Ces expérimentations qui permettent d'analyser les processus en fonction de différents contextes hydrauliques et sédimentaires (pente, granulométrie, abondance de charge, régime hydrologique) seront confrontées aux observations de terrain. Les macroformes seront considérées à travers l'exemple des tresses, qui sont intéressantes à plusieurs titres :

- (i) elles sont présentes à tous les niveaux hiérarchiques du bassin versant, depuis les zones de production en altitude, jusqu'aux zones de confluence en plaine, et jouent un rôle majeur dans la régulation du transfert de la charge sédimentaire (par stockage et déstockage) ;
- (ii) sur le terrain elles sont un lieu privilégié d'observation de la mobilité des macroformes (où elles sont présentes en grand nombre et sont fréquemment remobilisées), ce qui facilitera une comparaison avec les résultats du laboratoire ;
- (iii) lorsque replacée sur un gradient actif-déliquescent, la dynamique de tressage peut s'avérer être un précieux outil de diagnostic de l'état de santé sédimentaire d'un cours d'eau.

La thèse est basée sur des expérimentations de laboratoire. L'objectif n'est pas de construire un modèle physique d'une tresse en particulier, mais de travailler en similitude de Froude afin que les écoulements observés en canal soient représentatifs des conditions naturelles d'écoulement. En toute

rigueur, il faudrait également travailler avec des écoulements turbulents rugueux ($Re^* > 70$), afin de ne pas modifier les conditions de début de mouvement des matériaux. Cet aspect impose de trouver un compromis entre la taille des matériaux et la taille (et la pente) du canal, et pourrait donc être une contrainte forte au choix des sédiments. Néanmoins les tests réalisés à ce jour indiquent que les conditions de tressage ne seraient que faiblement affectées par ce paramètre s'il n'est pas trop éloigné de $Re^* = 70$ (Ashmore 1988; Hoey 1992)

Les expériences seront réalisées sur la plate-forme torrentielle du Cemagref (6m de long sur 1m de large) et sur la plate-forme torrentielle de la Sogréah (17m de long sur 5m de large). Chaque expérience sera réalisée avec des conditions imposées en entrée de canal (débit liquide et solide, granulométrie du mélange). La vitesse d'écoulement (sur la base d'observations de surface), le débit solide en sortie de canal et l'évolution de la granulométrie de surface et de la topographie seront mesurés à des intervalles réguliers. Le débit solide de sortie sera mesuré par échantillonnage manuel. La surface du lit et la granulométrie seront suivis par coloration des matériaux et suivi photographique.

Dans un premier temps, on s'est appuyé sur l'hypothèse de processus communs aux bancs et aux tresses, pour essayer de mettre en évidence un effet du tri granulométrique. *Lisle (1991)* avait montré, en travaillant à une pente de 3%, que le tri granulométrique avait pour effet de réduire la mobilité des bancs, par formation d'une armure. Cependant cette observation était basée sur une durée très courte (10h), alors que les expériences de *Recking (2009)* sur des écoulements contraints latéralement avaient montré que lorsque les expériences sont suffisamment longues (60h) l'armure est périodiquement détruite pour laisser place à de très fortes érosions verticales à l'origine de nappes de charriage. On a reproduit sur le canal du Cemagref les expériences de *Lisle (1991)* sur une durée de 100h afin de vérifier si des érosions périodiques en plan se superposent aux érosions verticales lorsque l'écoulement n'est pas contraint latéralement. Cette expérience simple a permis de donner des clés de déchiffrement de différents phénomènes. Une seconde série d'expériences, toujours réalisées au Cemagref, permettra d'étudier la réponse du tressage aux conditions d'alimentation. Ces expériences seront réalisées à une pente relativement forte de 1 à 3% et avec des sables grossiers (en granulométrie étendue) afin de pallier aux faibles dimensions du canal. Différentes combinaisons de débits (liquide et solide) seront testées. On cherchera à reproduire les formes susceptibles d'être présentes sur tout le gradient évolutif des tresses (depuis la déliquescence avec débit solide imposé nul, à l'aggradation avec débit solide imposé élevé). Pour chaque expérience on cherchera à mettre en évidence ce qui est dû au processus purement érosifs (changement de connexions entre canaux existants, destruction des bancs aux forts débits) et ce qui est dû au tri granulométrique (production de nappes de charriage, périodicité des érosion-aggradation locales aux débits faibles à modérés). Ces expériences permettront de couvrir une large gamme de scénarios. Toutes ces expériences permettront également de tester les lois de transport solide existantes, et éventuellement de proposer des adaptations de ces dernières pour les écoulements en tresses.

PARTIE 4. LA THERMIE DES RIVIERES EN TRESSES

Rédacteurs : V. Wawrzyniak, P. Allemand, H. Piégay

Le régime thermique des cours d'eau joue un rôle important sur les écosystèmes aquatiques (Caissie, 2006 ; Acuna & Tockner, 2009). Il a été montré que la température de l'eau peut avoir des impacts sur la répartition des espèces en milieu fluvial (Vannote et al., 1980). Du fait de leur faible profondeur, les rivières en tresses peuvent enregistrer en période estivale des températures très élevées (Mosley, 1983). Elles présentent également une importante variabilité thermique aussi bien spatialement que temporellement (Arscott et al., 2001 ; Mosley, 1983). Pour un même tronçon, Mosley (1983) observe des variations thermiques jusqu'à 17.7°C entre les différentes entités du cours d'eau. Une particularité de ce type de rivières est que la variabilité thermique latérale est susceptible de dépasser, en été et automne, la variabilité longitudinale de toute la rivière (Arscott et al., 2001). Des différences thermiques peuvent également exister au sein même des habitats aquatiques et terrestres (Tonolla et al., 2010), tous les habitats créant une mosaïque thermique complexe de la plaine d'inondation. Outre les différences de profondeur qui jouent sur le taux de radiation reçu par le cours d'eau, les échanges entre les eaux des chenaux et des eaux souterraines peuvent expliquer cette variabilité thermique (Mosley, 1983). En effet, les flux hyporhèiques et phréatiques peuvent influencer la thermie de la rivière (Poole & Berman, 2001), tout du moins localement (Burkholder et al., 2008). Les bancs de galets affectant les flux hyporhèiques, leur disposition peut avoir un rôle sur les structures thermiques de la rivière (Malard et al., 2002). De plus, les mares en périphérie du cours d'eau sont susceptibles de présenter elles aussi des conditions thermiques différentes, notamment des échauffements plus marqués en période estivale. Karaus et al. (2005) ont ainsi observé que la température est un facteur de contrôle essentiel de la diversité de ces mares. La large gamme de température que présentent les rivières en tresses, offre une grande diversité d'habitats. Cette variabilité thermique est toutefois difficile à appréhender avec des dispositifs de mesure in situ.

La télédétection infrarouge thermique (IRT) permet depuis peu de s'affranchir de ces limites en fournissant une cartographie continue de la température de surface de l'eau (Torgersen et al., 2001 ; Burkholder et al., 2008 ; Tonolla et al., 2010). Les satellites IRT n'offrant pas des résolutions spatiales assez bonnes, le vecteur d'acquisition aérien (hélicoptères ou avions) doit être privilégié dans l'étude de structures thermiques fines, comme c'est le cas pour les différentes surfaces en eau des rivières en tresses. À noter l'utilisation possible depuis le sol dans le cas d'un positionnement en altitude de la caméra, par exemple d'une montagne (Tonolla et al., 2010). La résolution spatiale, dépendante des paramètres de vols ainsi que des caractéristiques de la caméra thermique, pouvant atteindre le décimètre et la précision en température étant de l'ordre de 0.5°C (Torgersen et al., 2001), ce type de méthode offre de nouvelles perspectives quant à l'étude des structures thermiques fines des rivières en tresses.

CHAPITRE II - RAPPEL ZONE D'ETUDE ET DESCRIPTION DES METHODES PAR VOLET

CHAPITRE II - RAPPEL ZONE D'ETUDE ET DESCRIPTION DES METHODES PAR VOLET	12
Partie 1. Caractérisation des habitats et du paysage riverain.....	13
A . Les tronçons d'étude	13
B . Caractérisation « hydro-géographique »	16
C . Analyse diachronique : comparaison des photos 1950 et 2000	17
Partie 2. Spécificités et structure de la diversité des invertébrés dans les rivières en tresses.....	21
A . Objectif 1: Influence des écoulements hyporhéiques sur la diversité et la distribution des peuplements d'invertébrés.....	21
B . Objectif 2: Influence de la structure géomorphologique des rivières en tresseS sur la diversité génétique des populations	26
Partie 3. Etude en canal experimental	28
A . Dispositif expérimental d'étude des bancs alternés	28
Partie 4. La thermie des rivières en tresses.....	30

A . LES TRONÇONS D'ETUDE

La localisation au sein du réseau RMC des cinquante-trois tronçons sélectionnés est reporté ci-dessous (Figure 1.3) : ceux-ci couvrent une large gamme d'altitudes (de 75,3 m à 1787 m), de pente (de 2,5 à 52,5 m/km) et de surface drainée (de 36,7 à 12972 km²). Le régime hydrologique est également variable, comprenant des secteurs de haute montagne à fonctionnement glaciaire jusqu'aux rivières méditerranéennes des Alpes du Sud présentant des étiages sévères, voire des assecs.

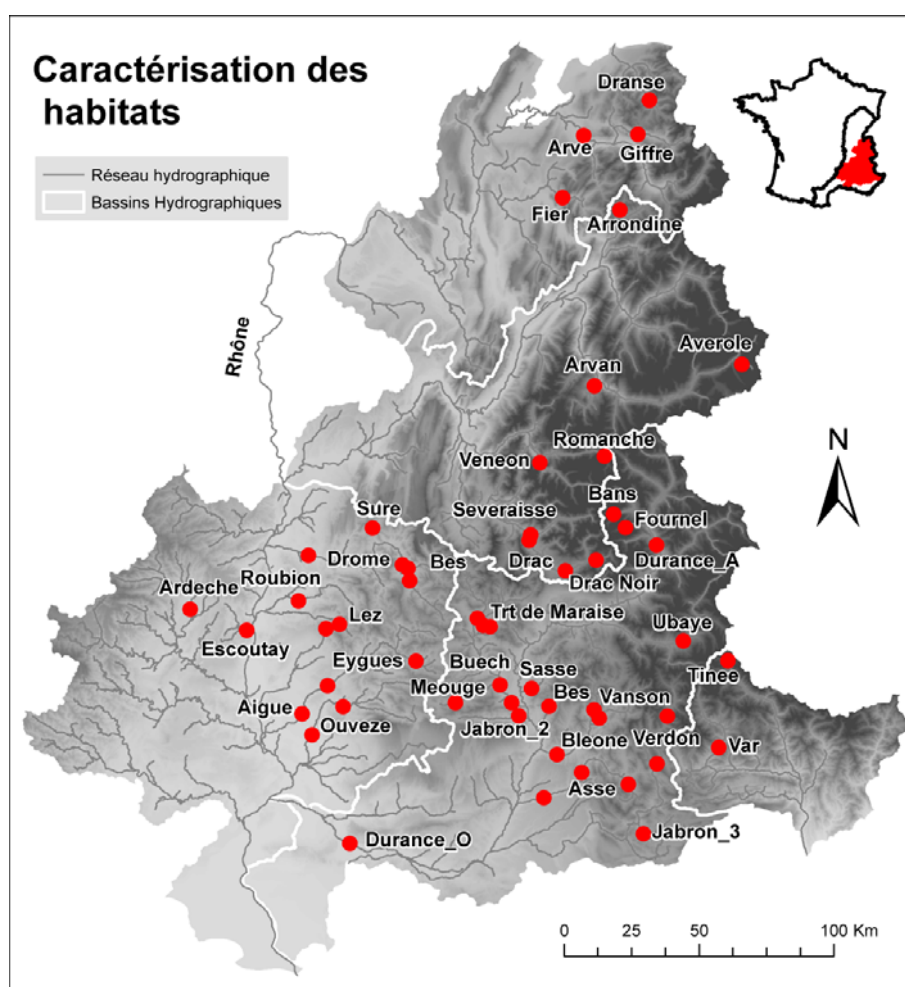


Figure 1.3. Localisation des tronçons d'étude.

Les 53 tronçons choisis sont distribués sur tout le réseau du bassin RMC, comprenant 4 grands bassins hydrographiques (Figure 1.4), témoins de la versatilité du style en tresses : 20 tronçons se situent dans le bassin hydrographique du Rhône, 9 dans celui de l'Isère, 24 dans celui de la Durance et 2 dans le bassin hydrographique du Var. Les tronçons se répartissent en 4 hydro-écorégions de niveau 1 (HER-1) et en 14 hydro-écorégions de niveau 2 (HER-2) : 11 sites sont localisés dans la

HER-1 Alpes Internes (2), 8 sites en HER-1 Jura-Préalpes du Nord (5); 13 sites en HER-1 Méditerranée (6) ; 23 sites en HER-1 Préalpes du Sud (7).

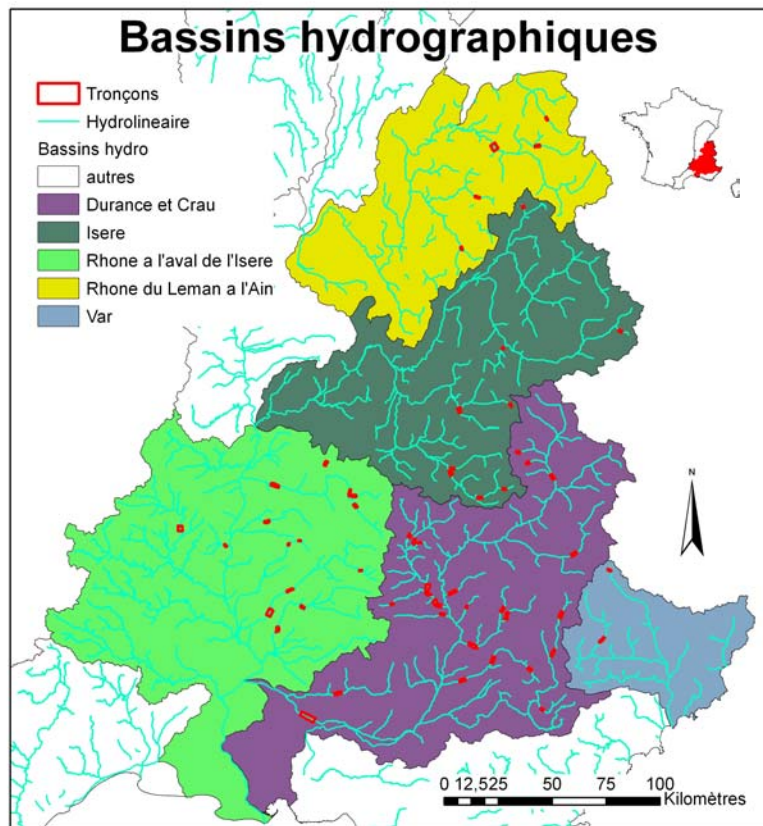


Figure 1.4. Distribution des tronçons au sein de 5 bassins hydrographiques intéressés.

La surface drainée va de 36,7 km² pour le Fournel à 12972,3 km² pour la Durance aval (Durance_O), pour une moyenne de 658 km².

L'altitude moyenne est de 708,3 m avec un minimum de 75,3 pour l'Aigue aval (Aigue_C) et un maximum de 1787 m pour l'Avérole.

La pente est de 13,9 m/km en moyenne : la Durance aval (Durance_O) détient le minimum avec 2,25 m/km et le Bans le maximum avec 52,5 m/km.

Inversement, le Bans possède le fond de vallée le plus étroit, avec 59,8 m de largeur et la Durance aval le plus large, avec 7749 m de largeur ; la largeur moyenne du fond de vallée est de 693,8 m.

En ce qui concerne la largeur de la bande active, en moyenne de 95 m, le minimum est observé pour le Lez amont (Lez_A) avec 23,9 m et le maximum pour le Buëch aval (Buech_A) avec 257,5 m.

La longueur moyenne des tronçons, calculée comme 20 fois la largeur de la bande active (Slater, 2007), est de 2458 m ; le tronçon le plus long est évidemment le Buëch aval (Buech_A) avec 5816,8 m ; par contre le tronçon le plus petit est le Bans, si l'on considère comme longueur de tronçon la longueur de l'axe médian de la bande fluviale (chapitre méthode).

Ci-dessous (Figure 1.5) un résumé des facteurs caractérisant les tronçons d'étude.

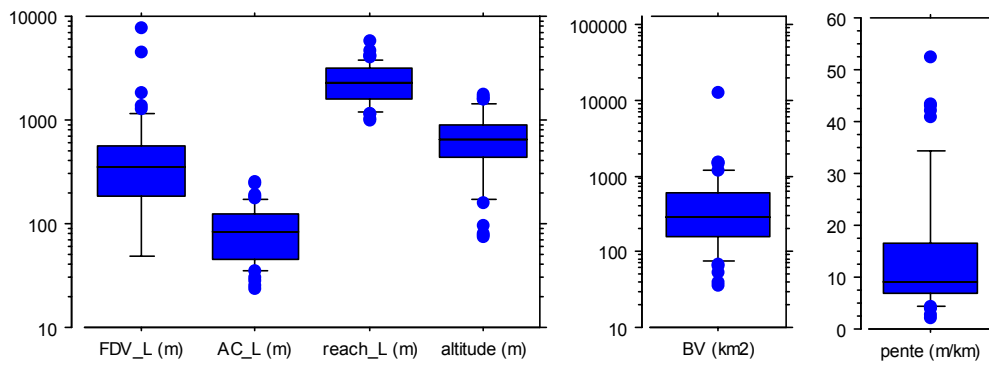


Figure 1.5. Distribution des principaux paramètres géographiques caractérisant l'échantillon (FDV_L, largeur du fond du vallée ; AC_L (*active channel*), largeur de la bande active ; reach_L, longueur du tronçon ; BV, surface du bassin versant).

B . CARACTERISATION « HYDRO-GEOGRAPHIQUE »

Afin d'établir un lien entre les facteurs de contrôle et la structure de la bande active nous avons établi une typologie « hydro-géographique » actuelle des rivières en tresses du bassin RMC basée sur les facteurs de contrôle suivants (Belletti et al., soumis à *Aquatic Sciences*) :

- La localisation géographique des tronçons dans le bassin versant (valeurs d'altitude et pente moyennes) ;
- La valeur de débit au moment de la prise de vue des photos (années 2000) ;
- La contribution du bassin versant en termes d'apports sédimentaires, c'est-à-dire la largeur de la bande active normalisée (W^* , Piégay et al., 2009 ; Belletti et al., 2010).

A partir de ces facteurs, nous avons effectué une classification hiérarchique basée sur une ACP (outil FacomineR, logiciel R). La description des types ainsi que le lien entre ces types et la structure de la bande active sont reportés dans la partie résultats (Chapitre III - Partie 1. A .).

La structure du corridor fluvial est analysée par le biais de l'occupation du sol. Les objets numérisés grâce aux photographies aériennes permettent d'étudier l'évolution de la bande fluviale et de la bande active (rétraction/élargissement, longévité des îles boisées) sur la période 1950-2000. Cela permet notamment une comparaison avec les données d'incision et d'exhaussement fournies par le Cemagref de Grenoble en année 1. Les données utilisées pour l'étude de l'évolution du corridor fluvial sont les photographies en noir et blanc des années 50 de l'IGN qui ont été comparées avec les orthophotographies de la BD Ortho (IGN) traitées et discutées dans le rapport de l'année 1.

1 . Prétraitement des photographies

Les photographies des années 50, en format papier, ont été préalablement numérisées à une résolution de 800 dpi. Ensuite, elles ont été géoréférencées sur ArcGis (outils « Géoréférencement ») en utilisant une transformation de premier ordre dans la mesure où on travaille principalement en zone à faible relief. Les points de contrôle ont été sélectionnés le long du corridor fluvial à raison d'une moyenne de 12 points par tronçons.

Ensuite, comme pour les images récentes, nous avons effectué le découpage des images à l'aide d'un masque correspondant au fond de vallée (Alber et Piégay, 2010) à l'aide de l'outil « built mask » sous le logiciel ENVI 4.5. Les images ont ensuite été mosaïquées lorsque cela était nécessaire (outil « mosaicking → georeferenced » sous ENVI 4.5). Pour finir, nous avons exécuté un étirage de l'histogramme des valeurs spectrales (outil « réglages → niveaux », sous Photoshop CS3) afin d'éliminer les valeurs nulles et de réduire la variabilité spectrale entre images et donc de permettre la comparaison entre sites (Lejot, 2008).

Notons que les photographies en noir et blanc ont une résolution qui n'est pas homogène sur l'ensemble des sites, puisque l'échelle ainsi que la taille des images de départ dépendent de la mission de référence. De plus, le processus de géoréférencement après scannage génère de légères déformations malgré le type de transformation choisie. Les caractéristiques des photographies (date de l'acquisition de la photo, résolution) sont présentées en Annexe II.

2 . Extraction des classes d'objets

L'extraction des classes d'objets d'occupation du sol a été effectuée, comme pour les images 2000 (voir rapport de l'année 1) sous le logiciel eCognition® de Definiens. La méthode utilise une approche orientée-objet. Il s'agit d'une méthode qui caractérise les objets en utilisant leurs valeurs radiométriques mais aussi la forme, la texture et le contexte des objets; cette méthode est donc plus précise et plus complète que celle n'utilisant que les valeurs des pixels. Les résultats de la méthode orientée-objet sont similaires à ceux que l'on pourrait obtenir suite à une classification par photo-interprétation.

Le processus de **segmentation** des images a requis l'utilisation de l'algorithme de segmentation « multi-résolution » (Barbier, 2006). Dans la création des objets à partir des images, cette segmentation se sert de la combinaison de trois paramètres : échelle, forme et lissage.

Le choix des valeurs de paramètres à utiliser dépend principalement de l'objectif de l'étude. Des séries de tests visuels ont été réalisées pour la sélection de la meilleure combinaison des trois paramètres. Sur la base de ces tests et en raison du fait que les photos anciennes panchromatiques sont de moindre qualité que les photos récentes, les critères de segmentation choisis sont les suivants :

- chenal étroit : échelle 100, forme 0.5 ;
- chenal large : échelle 100, forme 0,7.

Le paramètre de lissage a été fixé à 0,5 pour toutes les images.

Classification des objets sous eCognition®

Les photos des années 50 étant panchromatiques, il n'a pas été possible d'effectuer une classification automatisée comme pour les photos récentes. Nous avons donc procédé à une classification par photo-interprétation des objets extraits.

Nous avons identifié 5 classes d'objets (Figure 1.6) :

- eau
- bancs de galets
- végétation pionnière (éparse et non)
- prairie
- végétation mature (forêt)

Dans les cas où il était difficile d'interpréter le patron des chenaux en eau nous avons unifié les classes eau et bancs de galets en une seule classe, la « bande active ».

Ensuite les polygones classés ont été fusionnés sous ArcGis9.2, sur la base des analyses envisagées, en bande active et bande fluviale. Par « bande active » (AC, *active channel*), nous entendons la zone comprenant les chenaux en eau et les bancs de galets non végétalisés (Figure 1.7, à gauche). Cette zone est obtenue, suite à la classification puis à la fusion des objets eau et bancs de galets qui la composent. La « bande fluviale » (TA, *total channel area*) correspond à la zone comprise entre deux berges (Figure 1.7, à droite), à l'intérieur du corridor de végétation riveraine, qui concerne donc la bande active plus les îles végétalisées et toutes les taches de végétation (Toone, 2009).

Les îles, c'est-à-dire toutes les taches de végétation (mature et pionnière) qui ne sont pas en connexion avec la forêt riveraine, ont ainsi été extraites. Afin de les obtenir, nous avons sélectionné, à partir de la mosaïque totale et sur ArcGis, tous les polygones de végétation qui étaient complètement

inclus à l'intérieur de la bande fluviale et qui n'étaient pas en contact avec les marges de la bande fluviale même (Figure 1.8).

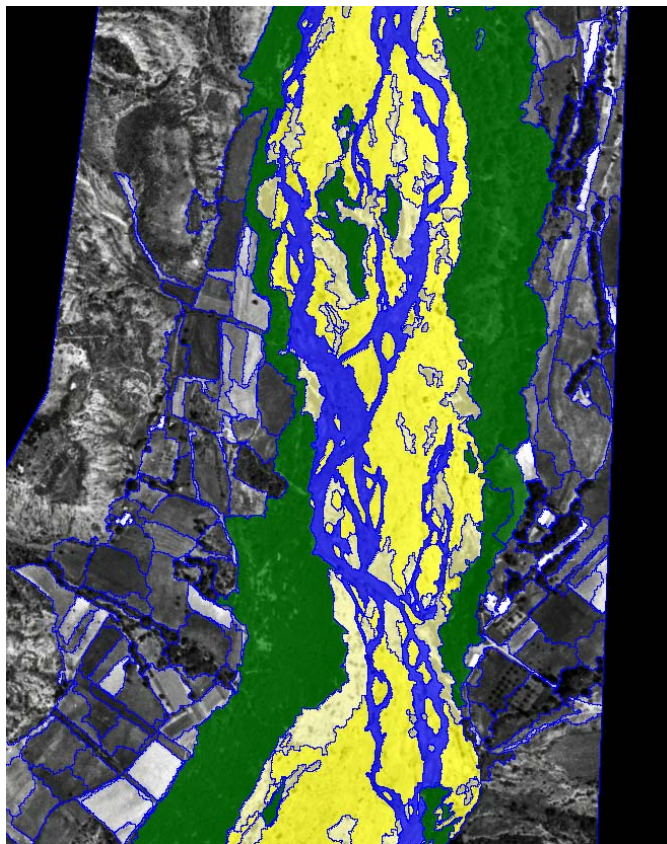


Figure 1.6. Exemple de classification : en vert la forêt ; en jaune clair la végétation pionnière ; en jaune les bancs de galets ; en bleu l'eau.

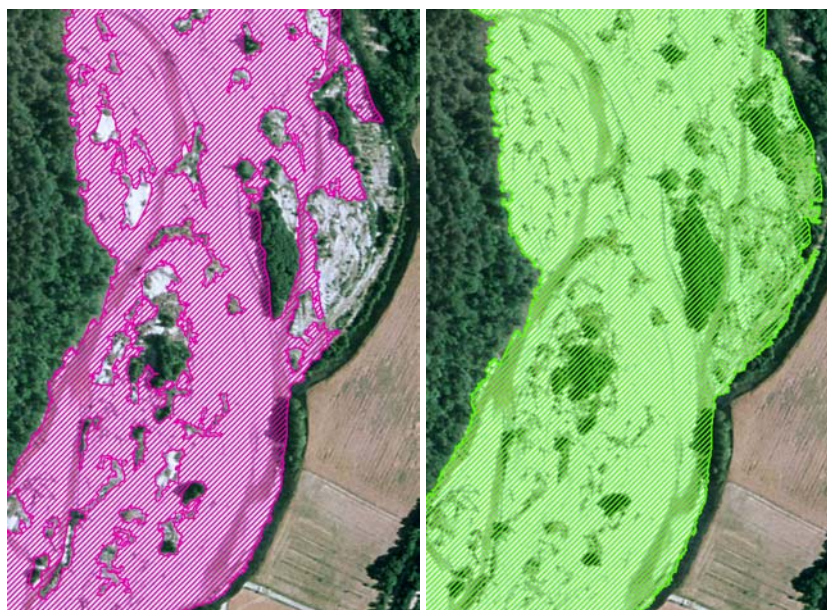


Figure 1.7. A gauche la bande active (AC, *active channel*) ; à droite la bande fluviale (TA, *total channel area*).

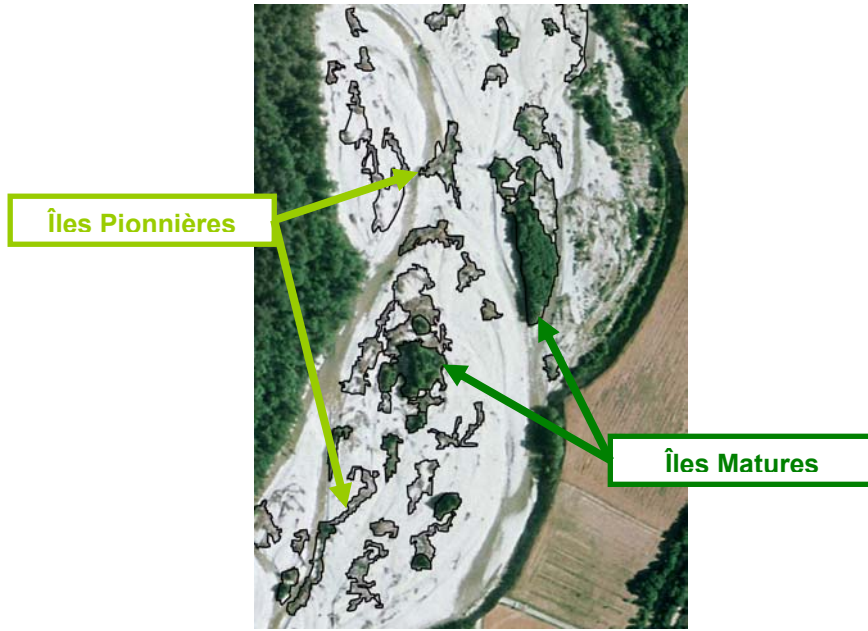


Figure 1.8. Représentation des îles matures et pionnières.

PARTIE 2. SPECIFICITES ET STRUCTURE DE LA DIVERSITE DES INVERTEBRES DANS LES RIVIERES EN TRESSES

Rédacteurs : F. Malard, T. Datry, C. Capderrey

A . OBJECTIF 1: INFLUENCE DES ECOULEMENTS HYPORHEIQUES SUR LA DIVERSITE ET LA DISTRIBUTION DES PEUPELEMENTS D'INVERTEBRES

1 . Sélection des sites d'échantillonnage

La première étape de sélection des sites d'échantillonnage a consisté à rechercher 12 sites présentant les caractéristiques suivantes: 1) une large bande active possédant de multiples tresses (= zone d'infiltration potentielle) suivie directement à l'aval; 2) d'une bande active contrainte latéralement et/ou verticale par un resserrement rocheux (= zone d'exfiltration potentielle). Cette recherche a été effectuée à partir d'un système d'information géographique couvrant les bassins versants de la Drôme, du Roubion, du Lez, de l'Eygues, de l'Ouvèze, et de la Durance. Ce SIG comprenait notamment les photographies aériennes, le réseau hydrographique, un modèle numérique de terrain, des cartes géologiques, une carte des formations quaternaires et la liste des secteurs retenus dans le cadre du projet « Rivières en tresses ». Au total, près de 60 sites potentiels répartis au sein d'une trentaine de secteurs ont ainsi été repérés (Figure 2.9).

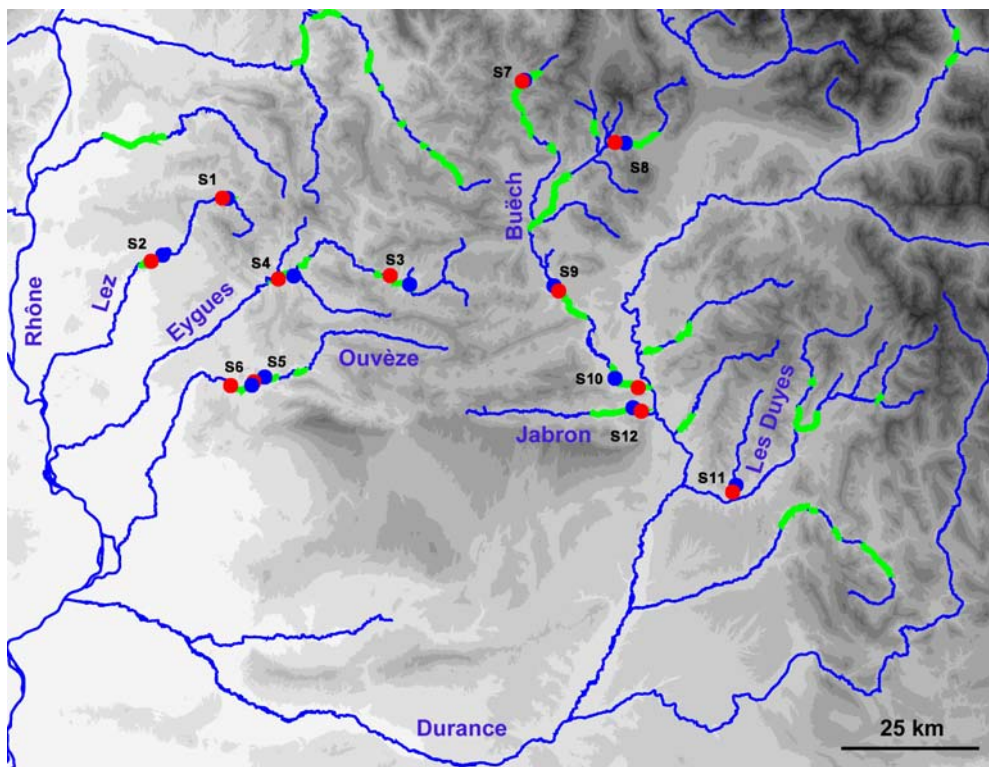


Figure 2.9. Représentation des 30 secteurs potentiels (en vert) visités et des 12 sites retenus et échantillonnés (point bleu : bande active non contrainte ; point rouge : bande active contrainte) dans le cadre de l'étude de l'influence des écoulements hyporhéiques sur la diversité et la distribution des peuplements d'invertébrés (objectif 1).

La seconde étape de sélection des sites a consisté à visiter sur le terrain chacun des 60 sites potentiels ainsi repérés. Trois campagnes de terrain ont ainsi été réalisées en Février, mars et avril 2010 (33 jours/homme). Au final, 12 sites ont été sélectionnés (Tableau 2.1, Figure 2.9).

Tableau 2.1. Code, nom et coordonnées (Lambert II étendu) des 12 sites échantillonnés dans le cadre de l'étude de l'influence des écoulements hyporhéiques sur la diversité et la distribution des peuplements d'invertébrés (objectif 1).

Code du site	Nom du site	Bande active	Coordonnées (LII étendu)	
			X	Y
S1	Lez (Amont) - Montjoux	Amont de Plaine (non contrainte)	819809	1948403
S1	Lez (Amont) - Montjoux	Aval de plaine (contrainte)	818986	1948440
S2	Lez (Aval) - Grignan	Amont de Plaine (non contrainte)	809251	1939206
S2	Lez (Aval) - Grignan	Aval de plaine (contrainte)	807340	1938155
S3	Eygues (Amont) - Verclause	Amont de Plaine (non contrainte)	849459	1934406
S3	Eygues (Amont) - Verclause	Aval de plaine (contrainte)	846319	1935866
S4	Eygues (Aval) - Les Pilles	Amont de Plaine (non contrainte)	830552	1935808
S4	Eygues (Aval) - Les Pilles	Aval de plaine (contrainte)	828055	1935284
S5	Ouveze (Amont) - Entrechaux Camp.	Amont de Plaine (non contrainte)	825849	1919343
S5	Ouveze (Amont) - Entrechaux Camp.	Aval de plaine (contrainte)	824093	1918572
S6	Ouveze (Aval) - Vaison	Amont de Plaine (non contrainte)	823757	1918021
S6	Ouveze (Aval) - Vaison	Aval de plaine (contrainte)	820294	1917969
S7	Buech (Amont) - La Croix Haute	Amont de Plaine (non contrainte)	868150	1967618
S7	Buech (Amont) - La Croix Haute	Aval de plaine (contrainte)	867773	1967472
S8	Buech (Amont) - Montmaur	Amont de Plaine (non contrainte)	884548	1957378
S8	Buech (Amont) - Montmaur	Aval de plaine (contrainte)	882903	1957502
S9	Buech (Aval) - Eyguians	Amont de Plaine (non contrainte)	872926	1934205
S9	Buech (Aval) - Eyguians	Aval de plaine (contrainte)	873718	1933367
S10	Buech (Aval) - Sisteron	Amont de Plaine (non contrainte)	882906	1919145
S10	Buech (Aval) - Sisteron	Aval de plaine (contrainte)	886695	1917648
S11	Les Duyes - Mallemoisson	Amont de Plaine (non contrainte)	902609	1901750
S11	Les Duyes - Mallemoisson	Aval de plaine (contrainte)	902059	1900621
S12	Jabron - Noyers/Jabron	Amont de plaine (non contrainte)	885816	1914370
S12	Jabron - Noyers/Jabron	Aval de plaine (contrainte)	887193	1913786

2 . Méthode d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage comprenait:

- 12 sites d'échantillonnage (Figure 2.9);
- chaque site comprend une bande active amont non contrainte (= zone d'infiltration potentielle) et une bande active aval contrainte (= zone d'exfiltration potentielle);
- dans chaque bande, trois bancs de graviers latéraux avec chacun une tête de raider (seuil) et un radier ont été sélectionnés.

Les échantillons suivants ont été réalisés:

- Un prélèvement hyporhéique à une profondeur de 60 cm dans les sédiments en tête (= zone d'infiltration locale potentielle) et en queue (= zone d'exfiltration locale potentielle) des 3 bancs de graviers.

- Un prélèvement hyporhéique à une profondeur de 30 cm et de 90 cm dans les sédiments en queue (= zone d'exfiltration locale potentielle) des 3 bancs de graviers.
- Deux prélèvements benthiques dans les têtes de radier et les queues de radier attenant aux 3 bancs de graviers.
- Trois mesures de chlorophylle ont été réalisées sur chaque tête de radiers des 3 bancs de graviers

L'échantillonnage a été réalisé du 29 juin au 15 juillet 2010 et a nécessité 65 jours/homme. Au total, 288 échantillons hyporhéiques et 288 échantillons benthiques ont été collectés et 216 mesures de chlorophylle ont été réalisées.

3 . Mesures réalisées

Chaque prélèvement hyporhéique a consisté à pomper 5 litres d'eau et de sédiments qui ont ensuite été tamisés dans un filet à vide de maille de 200 μm (Figure 2.10 A). Les échantillons ont été fixés et conservés dans de l'alcool à 96% puis ils ont été triés au laboratoire sous une loupe. Au total, 220 jours/homme seront nécessaires au tri des échantillons. Le niveau taxonomique atteint varie de l'espèce à la famille, voire l'ordre, en fonction de la taille des individus récoltés.

Chaque prélèvement benthique a consisté à échantillonner une surface du lit de 0.125 m^2 à l'aide d'un benthomètre (ou Hess sampler) d'une maille de 250 μm . Les échantillons ont été fixés et conservés dans de l'alcool à 96% puis ils ont été triés au laboratoire sous une loupe. Au total, 300 jours/homme ont été nécessaires au tri des échantillons. Le niveau taxonomique atteint varie de l'espèce à la famille, voire l'ordre, en fonction de la taille des individus récoltés.

Chaque mesure de chlorophylle a consisté à sélectionner aléatoirement 5 galets de taille identique, sur lesquels une surface de 12 cm^2 a été grattée à l'aide d'un scalpel. Le résidu a été conservé dans de l'eau et placé immédiatement dans une glacière. De retour au laboratoire, les échantillons ont été filtrés à l'aide de filtres en fibre de verre (filtre Whatman GF/C). Les filtres et leurs contenus ont ensuite été plongés dans 10 à 50 mL d'acétone à 90% pour l'extraction des pigments chlorophylliens. Cette extraction a duré au minimum 24h à l'abri de la lumière dans un réfrigérateur. Puis, 10 mL de surnageant a ensuite été centrifugé (10 000g, 10 min) et un sous-échantillon d'1 mL a été placé dans un spectro-colorimètre pour mesurer la chlorophylle A (méthode de Lorenzen, 665 nm avant et après acidification à l'acide chlorhydrique pour obtenir une concentration finale de 2.10^{-3} molaire). Pour chaque échantillon, la chlorophylle A et la phéophytine A ont donc été mesurées. Au total, 15 jours/homme ont été nécessaires à ces mesures.

Environ, 15 mesures de charge hydraulique ont été réalisées à une profondeur de 30 cm dans les sédiments en tête (= zone d'infiltration locale potentielle) et en queue (= zone d'exfiltration locale potentielle) des bancs de graviers. Cette mesure, notée différence de charge (en cm), consiste à mesurer la différence de hauteur entre le niveau des eaux de surface et le niveau des eaux interstitielles lu sur un tube en plexiglas enfoncé à une profondeur de 30 cm dans les sédiments. Par convention, cette différence est négative lorsque le niveau d'eau dans la rivière est supérieur au

niveau des eaux interstitielles indiquant une infiltration potentielle d'eau de surface dans les sédiments. Cette différence est positive lorsque le niveau d'eau dans la rivière est inférieur au niveau des eaux interstitielles indiquant une exfiltration potentielle d'eau interstitielle dans la rivière (Figure 2.10 B).

A



B



Figure 2.10. A - Prélèvement de la faune hyporhéique par la méthode de pompage Bou-Rouch ; B - Mesure de la différence de charge entre les eaux de surface et les eaux hyporhéiques (ici, une zone d'exfiltration potentielle).

La conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$), le pH, la température, et la concentration en oxygène dissous des eaux hyporhéiques et de surface ont été mesurés pour chaque échantillon. La conductivité électrique est utilisée comme un traceur naturel des échanges eaux de surface / eau de nappe car les eaux de nappe sont généralement plus minéralisées (conductivité électrique plus élevée) que les eaux de surface. En été, la température des eaux de nappe est plus faible que celles des eaux de surface. Enfin, la concentration en oxygène dissous dans la zone hyporhéique dépend non seulement du temps de résidence de l'eau dans les sédiments mais également de la respiration microbienne qui est elle fonction des apports en matière organique.

4 . Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées sur un jeu de données comprenant 144 échantillons hyporhéiques collectés à une profondeur de 60 cm dans les sédiments sur 12 sites, 2 bandes de tressage par site (amont et aval), 3 têtes et 3 queues de bancs de gravier par bande de tressage. L'approche statistique utilisée est une analyse de variance comprenant un facteur site à 12 modalités (12 sites), un facteur "écoulement hyporhéique plurikilométrique" à 2 modalités (bande active non contrainte et bande active contrainte), et un facteur "écoulement hyporhéique hectométrique" à 2 modalités (tête et queue de bancs de graviers). L'analyse de variance peut-être de type « imbriquée » avec le facteur "écoulement hyporhéique hectométrique" imbriqué dans le facteur "écoulement hyporhéique plurikilométrique" lui-même imbriqué dans le facteur « site ». Il s'agit de l'analyse la plus

rigoureuse mais elle ne donne pas accès aux effets des interactions entre les écoulements hyporhéiques plurikilométrique et hectométrique. Une seconde analyse non imbriquée est donc réalisée dans laquelle le facteur « site » est considéré comme un facteur aléatoire (i.e. nous ne contrôlons pas les différences entre sites).

B . OBJECTIF 2: INFLUENCE DE LA STRUCTURE GEOMORPHOLOGIQUE DES RIVIERES EN TRESSES SUR LA DIVERSITE GENETIQUE DES POPULATIONS

1 . Sélection des sites d'échantillonnage

Une première étape de sélection des sites d'échantillonnage a consisté à définir quelles étaient les rivières en tresse colonisées sur toute leur longueur par l'isopode souterrain interstitiel *Proasellus walteri*. Pour ce faire, des campagnes d'échantillonnage ont été réalisées sur les affluents de la Durance ainsi que sur la Drôme, le Roubion, le Lez, l'Eygues et l'Ouvèze en février, mars, et avril 2010. Au total, 36 échantillons hyporhéiques ont été collectés et les isopodes appartenant au genre *Proasellus* ont été disséqués, montés entre lames et lamelles et identifiés au niveau spécifique à l'aide d'un microscope.

Une seconde étape a consisté à vérifier que l'espèce *P. walteri* définie à partir de critères morphologiques correspondait bien à une seule et même espèce et non à un complexe d'espèces cryptiques non différenciables morphologiquement. Cette seconde étape était essentielle car les phénomènes de convergence morphologique en milieu souterrain sont tels qu'ils favorisent l'existence de nombreuses espèces cryptiques. La recherche de potentielles espèces cryptiques a été menée à travers une approche phylogénétique fondée sur l'utilisation de 2 gènes mitochondriaux (16S et CO1) et d'un gène nucléaire (28S). Cette recherche a été effectuée sur la totalité de l'aire de distribution de l'espèce qui s'étend du sud de la France jusqu'en Alsace.

2 . Mesures réalisées : extraction de l'ADN, PCR et séquençage

Pour l'extraction d'ADN, les individus sont placés dans 100µL d'un premier tampon de digestion (10mM Tris HCl pH8, 0,5% SDS, 0,1M EDTA pH8) et digérés avec de la protéinase K (concentration finale de 15mg/mL) pendant une heure à 55°C. Cette méthode permet de conserver la cuticule de l'organisme (à -20°C dans de l'éthanol à 96%), pour de futures observations morphologiques. L'homogénat est ensuite mélangé avec 85µL d'un second tampon de digestion (NaCl 0,1M, EDTA 0,01M, SDS 0,5%, Tris HCl 0,05M) et 250µL de NaCl à 2,6M, puis centrifugé 15 minutes à 13,2g à température ambiante. Le surnageant est transféré dans un nouveau tube avec 400 µL de chloroforme, puis vortexé au moins 5 secondes, et centrifugé 5 minutes à 13,2g. Le surnageant est prélevé et transféré dans un nouveau tube contenant du glycogène (concentration finale 40mg/mL) et 600µL d'éthanol à 96%. Le tube est agité doucement par retournement et placé pendant au moins 30 minutes à -80°C. Il est ensuite centrifugé 20 minutes à 13,2g à 4°C. Le surnageant est éliminé et le culot lavé avec 300µL d'éthanol à 70%. De nouveau, le surnageant est éliminé et les tubes sont placés dans le Speedvacuum (Eppendorff®) jusqu'à évaporation totale de l'éthanol. Les culots sont finalement dissous dans 16mL de TE (Tris-HCl 10mM, EDTA 1mM). L'ADN est quantifié à partir d'1 ou 2µL d'extrait en utilisant un Nanodrop® ND1000 (Labtech International, Ringmer, U.K.) en suivant les instructions du fabricant. Les extraits sont

ensuite amplifiés par PCR. Deux gènes mitochondriaux (Cytochrome Oxydase I (COI) et ARN 16S) et un gène nucléaire (ARN 28S) sont amplifiés, en utilisant les amorces figurées dans le Tableau 2.2.

Tableau 2.2. Séquences des amorces utilisées pour les PCR et le séquençage des trois gènes.

Gène	Nom	Sens	Séquence (5' vers 3')
COI	COI-LCO1490	sens	GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG
	COI-HCO2198	anti-sens	TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA
16S	16Sar-Dr	sens	CGCCTGTTTAACAAAAACAT
	16Sbr	anti-sens	CCGGTCTGAACTCAAGATCACGT
28S	28S_lev2	sens	CAAGTACCGTGAGGGAAAGTT
	28S_des1	anti-sens	AGGGAACTTCGGAGGGAACC

Généralement, 0,5 à 1µL d'extrait d'ADN est utilisé comme base dans des réactions de 35µL contenant 0,17mM de dNTPs, 0,1mg/mL de BSA, 0,16mM d'amorces (Tableau 2.2), 0.15U/ µL de Taq DNA polymerase et 1X de tampon. Les paramètres de PCR pour les trois gènes sont reportés dans le Tableau 2.3.

Tableau 2.3. Paramétrage des cycles de PCR pour les trois gènes d'intérêt.

Gène	étape 1	étape 2	étape 3
COI	2 minutes à 94°C	40 cycles de 30 secondes à 94°C, 30s à 48°C, 30s à 72°C	10 minutes à 72°C
16S		35 cycles de 30 secondes à 94°C, 30s à 53°C, 30s à 72°C	
28S		30 cycles de 30 secondes à 94°C, 30s à 62°C, 30s à 72°C	

Les produits positifs de la PCR (contrôlés contrôlés par une électrophorèse sur gel d'agarose à 1%) sont envoyés à Biofidal-DTAMB (Développement de Techniques et Analyse Moléculaire de la Biodiversité, plateau technique IFR41, Université Lyon 1) pour purification puis séquençage des ADN. Après purification, les ADN sont injectés dans un capillaire séquenceur à électrophorèse (ABI 3730XL). Les deux brins d'ADN de chaque locus sont alors séquencés grâce à des primers d'amplification. Les séquencés sont ensuite alignés manuellement à l'aide du logiciel Seaview, les zones ambiguës sont éliminées (Logiciel Gblocks) et un arbre phylogénétique est reconstruit sous un cadre de maximum de vraisemblance (Logiciel PhymI) sous le meilleur model d'évolution inféré par le logiciel Modeltest. A terme, les séquences générées dans le cadre de ce programme seront déposées sous GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>).

A . DISPOSITIF EXPERIMENTAL D'ETUDE DES BANCS ALTERNES

1 . Canal

Le dispositif expérimental comprend un canal à parois de verre de 6 mètres de long et 0.3 mètres de large. L'alimentation solide est assurée par un tapis surmonté d'un réservoir (Figure 3.11). Une pompe à débit variable alimente le canal en eau, le circuit hydraulique est fermé. A l'aval du canal, l'eau est récupérée dans une cuve puis repompée en tête de canal. Les sédiments ne sont pas recirculés.



Figure 3.11. Vue du canal expérimental.

Des bandes de papiers de verres résistantes à l'eau ont été collées aux parois afin d'augmenter artificiellement la rugosité de la surface de contact.

2 . Alimentation solide et liquide

Le mélange sédimentaire est bimodal, composé de 43% de sédiments d'un diamètre compris entre 4 et 5 mm, et 57% de sédiments d'un diamètre de 1 à 3 mm. Le diamètre moyen est de 3,4 mm. Les sédiments sont injectés dans le canal à un débit constant de 5 g/s au moyen d'un tapis roulant. La vitesse de déplacement du tapis est mesurée par un capteur. Dans la suite, nous appellerons graviers la fraction grossière du mélange sédimentaire et sable la fraction fine. Le débit liquide est fourni par une pompe, il est contrôlé par un débitmètre et est constant tout au long de l'expérience à 1.45 l/s. Le débit infiltré dans le lit est d'environ 0.08 l/s.

NB : En régime uniforme, sur lit plat, sans compter le débit d'infiltration, avec une rugosité de 35, d'après la formule de Manning ce débit fournit une lame d'eau de 0.008 m, soit 8 mm sur l'ensemble de la largeur.

L'expérimentation a duré 100 h. Les changements induits par les variations du régime hydraulique et sédimentaire lors de l'arrêt de la pompe et du tapis sont négligeables.

3 . Protocole de mesure

Le canal est divisé en 6 tronçons de 0.75 m de longueur. Les sections de séparation de ces tronçons sont matérialisées par 6 repères collés aux parois. Toutes les 15 minutes, à chaque section, la profondeur du lit est mesurée ainsi que la largeur de chacune des unités morphologiques présentes.

La granulométrie de surface est acquise par comptage visuel grâce à un gabarit (Figure 3.12). Nous avons évalué le nombre de grains présents sur la surface du gabarit pour chaque section. Plusieurs classes : « <5, 5, 10, 15, 20, 25, 30 et MAX ». Cette information renseigne sur l'état de pavage du lit.



Figure 3.12. Gabarit utilisé pour l'indice granulométrique, ici un exemple de classe « MAX ».

Le transport solide est déduit de la masse sortante récoltée toutes les 15 min dans un seau. La largeur de l'écoulement principal (où se produit le transit sédimentaire) et la profondeur du lit sont mesurées avec un réglet.

PARTIE 4. LA THERMIE DES RIVIERES EN TRESSES

Rédacteurs : V. Wawrzyniak, P. Allemand, H. Piégay

Neuf sites ont été sélectionnés pour être imagés thermiquement. Ces tronçons tressés sont localisés dans 3 zones géographiques distinctes : dans le massif des écrins avec des rivières aux régimes nivo_glaciaires de hautes eaux estivales (Vénéon, Drac Noir, Bans), dans la vallée du Rhône (Drome_Liv, Bes_Dr, Aigue_C), et dans les alpes du sud (Buech_A, Bleone_av, Asse_de_Bilieux) où les rivières ont un régime plus méditerranéen avec des étiages estivaux. La sélection des tronçons est basée sur la richesse et la diversité des habitats. Le programme d'acquisitions se décompose en trois axes. Le premier, basé sur une approche multi-sites, propose d'imager une fois chaque tronçon durant les étés 2010 ou 2011. Le second axe est une approche multi-annuelle de trois sites : Bleone_av, Drome_Liv, et Bes_Dr. Chacun de ces trois tronçons sera imagé à la fois durant l'été 2010 et l'été 2011. Enfin, le dernier axe est une acquisition intra-journalière d'un site. Plusieurs vols seront donc effectués à différentes heures de la journée, probablement sur le tronçon Drome_Liv (à confirmer). Pour faire le lien avec la thermie locale, des mesures de courant ainsi qu'une cartographie de l'ensoleillement seront réalisées simultanément à ces vols.



Figure 4.13. Le drone Drelio devant le tronçon du Bes de la Drome.

Les acquisitions seront effectuées à l'aide d'une caméra thermique. Nous disposons d'une caméra (*VarioCAM[®] hr Head*), et une seconde (*VarioCAM[®] hr Research*) a été acquise en mai 2011. Cette dernière aura l'avantage d'être portable et pourra donc plus facilement être embarquée dans des vecteurs types ULM. Ces appareils thermographiques offrent des résolutions thermiques relatives meilleures que 0.1°C. En fonction des optiques et paramètres de vol, les résolutions spatiales attendues sont de l'ordre de 10 cm. Les acquisitions thermiques seront couplées à des acquisitions d'images visibles grâce à un appareil photo, ces dernières permettant d'identifier les surfaces en eau et de faire la typologie des chenaux.

Pour l'année 2010, le dispositif a été embarqué sur le drone Drélio (Figure 4.13) de l'Université Lyon 1. Au printemps 2010, un vol test a permis de s'assurer du bon fonctionnement du dispositif. Les

tronçons Drome_Liv, Bes_Dr, et Bleone_av ont ensuite été imagés respectivement les 9, 22 et 23 juin 2010. Suite à un incident technique sur le drone, les acquisitions n'ont plus été possibles durant l'été 2010 et ont donc dû être reportées d'un an. Depuis 2011, de nouvelles réglementations sur les drones nous empêchent la réalisation de campagnes cet été avec ce vecteur. Nous avons donc décidé d'utiliser un hélicoptère pour les prochaines acquisitions. Dans le cadre d'une étude des structures thermiques de la rivière d'Ain (Thèse de Vincent Wawrzyniak), ce dernier dispositif a permis avec succès une acquisition thermique hivernale de cette rivière. Pour l'acquisition intra-journalière, l'hélicoptère n'étant pas le vecteur le plus adapté, nous opterons pour un ULM. En effet, ce type d'appareil permet plus facilement, et à un coût moindre que l'hélicoptère, plusieurs vols dans une même journée.

CHAPITRE III - RESULTATS DE LA DEUXIEME ANNEE

CHAPITRE III - RESULTATS DE LA DEUXIEME ANNEE.....	32
Partie 1. Caractérisation des habitats et paysage riverain.....	33
A . Résultats consolidés concernant la partie « habitats aquatiques »	33
B . Analyse Historique 1950-2000	38
Partie 2. Spécificités et structure de la diversité des invertébrés dans les rivières en tresses.....	46
A . Objectif 1: Influence des écoulements hyporhéiques sur la diversité et la distribution des peuplements d'invertébrés.....	46
B . Objectif 2: Influence de la structure géomorphologique des rivières en tresseS sur la diversité génétique des populations	50
Partie 3. Etude en canal expérimentale	53
A . Deux morphologies différentes.....	53
B . Les mécanismes liés à la migration des bancs.....	54
C . Effets du tri granulométrique	55
D . Relation entre l'état du lit et le transport solide	56
E . Relation entre l'état du lit et la largeur de l'écoulement	56
Partie 4. La thermie des rivières en tresses.....	57

A . RESULTATS CONSOLIDES CONCERNANT LA PARTIE « HABITATS AQUATIQUES »

Dans cette partie nous présentons les résultats consolidés relatifs à la caractérisation de la structure planimétrique des 50 tronçons à l'échelle des habitats aquatiques ; l'objectif est de comprendre les mécanismes à la base de la structure du patron de tressage afin d'identifier et définir une organisation spatiale au niveau régional. Pour cette caractérisation, nous avons tenu compte de la subdivision des tronçons en types « hydro-géographiques » introduits dans le Chapitre II - Partie 1. B . et décrits ci-dessous.

1 . Caractéristiques du jeu de données

Contexte géographique, hydrologique et sédimentaire

La typologie obtenue à partir de la combinaison des facteurs de contrôle (pente et altitude moyennes, fréquence de débit et largeur de la bande active) nous a permis de mettre en évidence les différents contextes hydro-géographiques présents dans le bassin rhodanien. En fonction de la position dans le réseau hydrographique, du type de régime hydrologique et sédimentaire, nous faisons en effet l'hypothèse que différents patrons d'habitats existent.

La Figure 1.14 montre la distribution spatiale des 6 types hydro-géographiques identifiés au sein de la zone d'étude et leurs caractéristiques géographiques (pente et altitude moyennes), hydrologiques et sédimentaires. Nous observons que les types se différencient par rapport à l'orographie mais aussi en fonction d'un contexte régional, notamment en lien avec le régime sédimentaire (W^*) :

- Le type 1 (7 tronçons) correspond aux tronçons situés dans le Sud-Ouest du bassin rhodanien, occupant le secteur en aval des principales rivières concernées avec de faibles pentes et des bandes actives étroites ; ces rivières enregistrent des débits élevés au moment de l'observation ;
- Le type 2 (18 tronçons) correspond aux tronçons situés au Sud de la zone d'étude et surtout dans les Alpes du Sud-Est ; ces tronçons, comparées au type 1, sont situés dans des plus hautes vallées, ont des bandes actives assez larges et enregistrent des faibles débits au moment de l'observation ;
- Les tronçons appartenant au type 3 (14 tronçons) se comportent comme ceux du type 2 en termes d'altitude, de pente et de conditions hydrologiques ; toutefois ce sont des tronçons beaucoup plus étroits que les tronçons du type 2, indiquant une recharge sédimentaire beaucoup plus faible ; de plus ces tronçons sont dispersés au sein de la zone d'étude ne répondant à aucune organisation spatiale ;

- Les tronçons des types 4, 5 et 6 (respectivement 5, 4 et 5 tronçons) occupent la partie nord-est du bassin rhodanien (type 4, Alpes Internes ; type 5 et 6, haute montagne) et enregistrent des débits élevés au moment de l'observation, à cause de la fonte des neiges et des glaciers. Les tronçons du type 4 ont des valeurs d'altitude moyenne plus faibles que les types 5 et 6 ; la différence entre les types 5 et 6 est due à la largeur de la bande active normalisée, qui enregistre les valeurs maximales pour les tronçons du type 6.

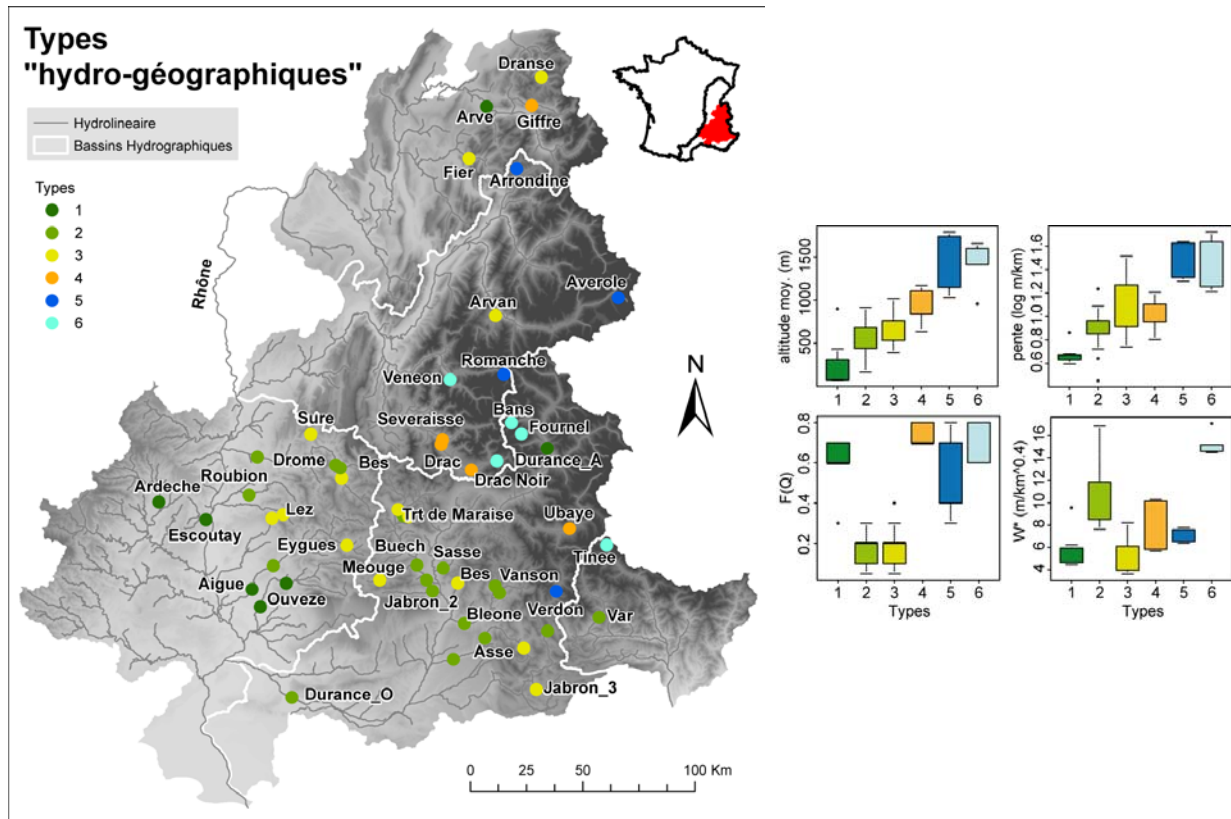


Figure 1.14. Caractérisation des tronçons en fonction des facteurs de contrôle : A - distribution spatiale des 6 types hydro-géographiques dans le bassin du Rhône ; B - Caractéristiques géographiques (altitudes et pente moyennes), hydrologiques (F(Q), fréquence de dépassement du débit journalier au moment de l'observation) et sédimentaires (W*, largeur de la bande active normalisée par la taille du bassin versant, Piégay et al., 2009) de chaque type hydro-géographique : .

Une variabilité géographique du patron des chenaux et des habitats aquatiques des rivières en tresses du bassin rhodanien est ainsi bien observée. Il faut ainsi en tenir compte car il n'est pas possible de comparer les habitats aquatiques au sein de cours d'eau qui ont des débits et des apports sédimentaires différents.

Caractéristiques générales de la bande active et des habitats aquatiques

Pour l'ensemble des 53 tronçons, la bande active et les habitats aquatiques ont été caractérisés par les paramètres suivants (Figure 1.15 et Figure 1.16 ; cf. rapport année 1 pour la description et la méthode d'extraction):

- l'indice de tressage totale (Pttw) et actif (Ptfw) ;

- la position de la zone de tressage active à l'intérieur de la bande active (AB Distance to centreline) ;
- le rapport entre l'indice de tressage total et actif (Pt ratio) ;
- la proportion des principaux habitats aquatiques (MC, chenal principal ; SC, chenaux secondaires ; AL, chenaux alluviaux ; P, plans d'eau) ;
- l'indice de diversité de Shannon calculé sur les proportions d'habitats (H').

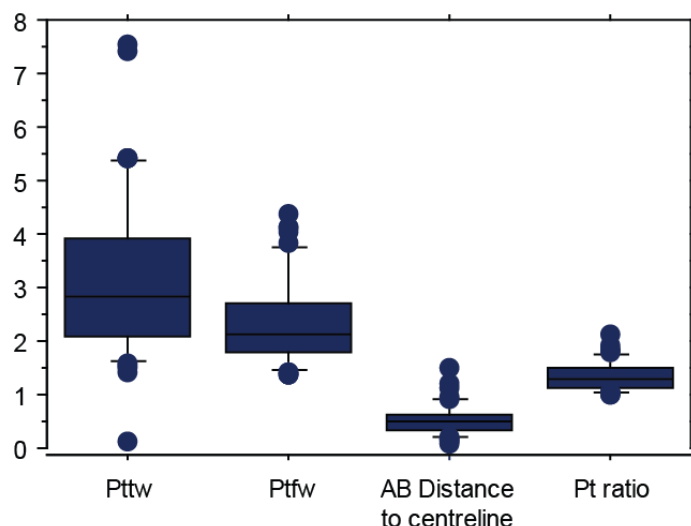


Figure 1.15. Les paramètres caractérisant le patron de chenaux : *Pttw*, taux de tressage total ; *Ptfw*, taux de tressage actif ; *AB distance to centreline*, position de la zone de tressage active (chenal principal et secondaire) à l'intérieur de la bande active ; *Pt Ratio*, rapport entre le taux de tressage total et actif.

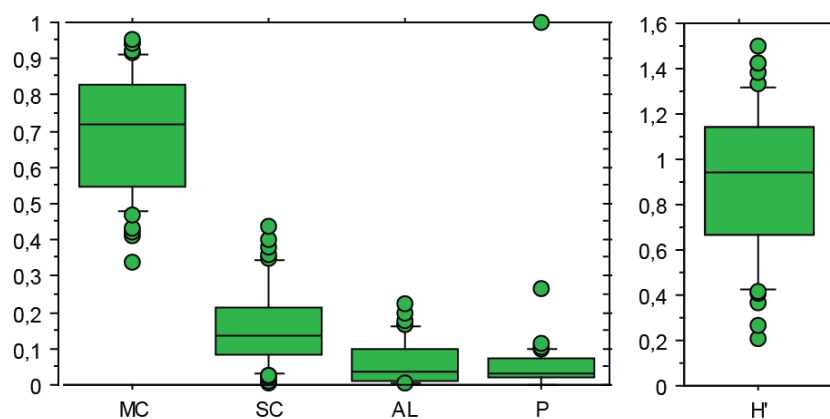


Figure 1.16. Les paramètres caractérisant les habitats aquatiques. A gauche, la proportion (%) de chaque habitat : MC, chenal principal ; SC, chenaux secondaires ; AL, chenaux alluviaux ; P, plans d'eau. A droite l'indice de diversité de Shannon calculé sur les habitats aquatiques.

2 . Caractéristiques planimétriques du patron de chenaux et des habitats aquatiques

La comparaison des paramètres décrivant le patron des chenaux et des habitats aquatiques et les types « hydro-géographiques » permet de mettre en évidence le rôle des principaux facteurs de contrôle (fréquence du débit et régime sédimentaire) dans la structuration du réseau en eau au sein

de la bande active (Figure 1.17). En effet, les caractéristiques de chaque type hydro-géographique en termes de patron de chenaux et d'habitats aquatiques varient en fonction des conditions hydrologiques et des apports sédimentaires.

		Apports sédimentaires (W*)			
		-		+	
débit (FQ)	-	Type	3	Type	2
		Pt ratio	-	Pt Ratio	++
		AB distance	-	AB Distance	-
		Pttw	-	Pttw	+
		Ptfw	--	Ptfw	+/-
		% MC	+	% P & AL	+
		H'	--	H'	+
	+	Type	1 5	Type	4 6
		Pt ratio	- -	Pt Ratio	+ -
		AB Distance	+ -	AB Distance	+ -
		Pttw	+/- +/-	Pttw	++ +
		Ptfw	+/- +/-	Ptfw	++ +
		% MC	+ +	% SC	+ +
		H'	- -	H'	+ +

Figure 1.17. Schéma récapitulatif des paramètres décrivant la morphologie en plan du tressage et les habitats aquatiques en relation avec les facteurs hydrogéologiques et sédimentaires.

Les types 2 et 3, observés en conditions de basses eaux, reçoivent des apports sédimentaires amont différents : les tronçons du type 2 ont de larges bandes actives alors que les tronçons du type 3 sont très étroits. Cela se répercute sur l'organisation du patron et sur la diversité des chenaux en eau : le type 2 semble ainsi avoir une diversité d'habitats plus importante avec des habitats marginaux (P, plans d'eau et AL, chenaux alluviaux) représentant une portion importante du réseau aquatique, alors que les tronçons du type 3 sont, pour la plupart, dominés par le chenal principal. Pour les sites en conditions de hautes eaux (types 1, 5, 4 et 6), nous constatons la même situation : à conditions hydrologiques similaires, là où la bande active est plus large (apports sédimentaires de la zone amont plus abondants), nous enregistrons une proportion d'habitats secondaires, et donc une diversité d'habitats, plus importantes.

La variable AB distance ne semble pas discriminer les différents contextes. En revanche la variable Pt Ratio présente des valeurs plus élevées lorsque la bande active est plus large pour une taille de bassin versant donné. Les deux indices de tressage (Pttw, total et Ptfw, actif), dans des conditions d'apports sédimentaires identiques, enregistrent des valeurs relatives plus fortes sur les tronçons en hautes eaux.

En conclusion l'analyse de ces différents paramètres montre que Pttw et W* ont des potentiels d'indication de diversité d'habitats différents. Si les 2 sont positivement liés à la diversité d'habitats (Figure 1.18), Pttw semble toutefois très sensible à la situation hydrologique au moment de l'observation (Figure 1.17).

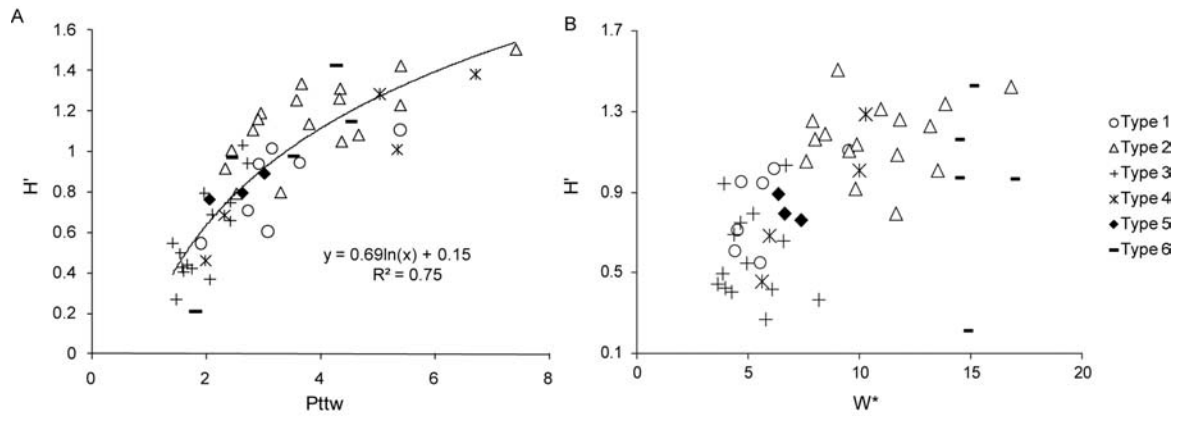


Figure 1.18. Relation entre l'indice de diversité de Shannon (H') et A) l'indice de tressage total et B) la largeur de la bande active normalisée entre les 6 types hydro-géomorphologiques.

1 . Caractéristiques du jeu de données

La procédure de classification des photographies aériennes (1950 et 2000) par l'extraction et la définition des composantes du corridor a permis de calculer (Chapitre II - Partie 1. C .) :

- la largeur de bande active (normalisée par la taille du bassin versant) ;
- le rapport entre bande active et fluviale (surface) ;

la surface occupée par les îles (% d'îles boisées matures dans la bande fluviale en 2000 ; % d'îles végétalisées dans la bande fluviale en 2000 et 1950). Ci-dessous leur représentation graphique pour les années 1950 et 2000 (Figure 1.19).

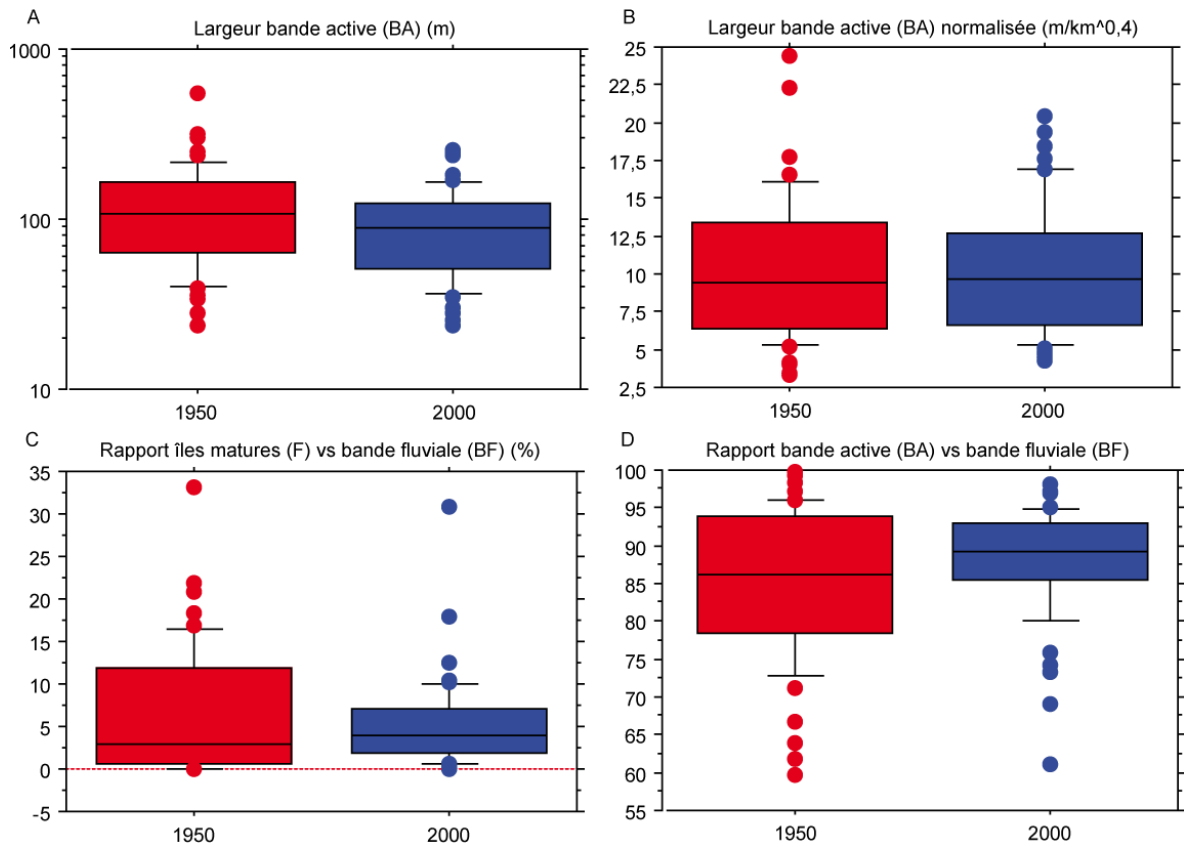


Figure 1.19. Les données caractéristiques du corridor fluvial en 1950 et en 2000 : A - Largeur de la bande active (BA) en mètres ; B - Largeur de la bande active (BA) normalisée par la taille du bassin versant ($m/km^{0,4}$) ; C - pourcentage d'îles boisées matures ($\%F/BF$) à l'intérieur de la bande fluviale ; D - Rapport entre la bande active et bande fluviale ($\% BA/BF$).

2 . Evolution de la bande active

L'évolution de la bande active entre 1950 et 2000 est représentée sur la Figure 1.20 ci-dessous.

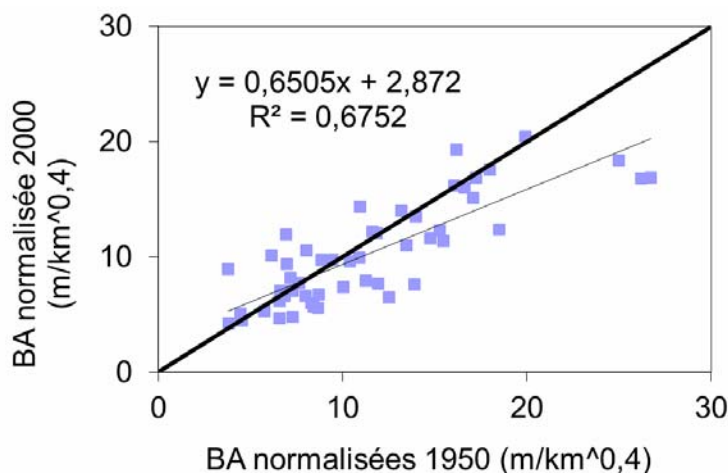


Figure 1.20. Evolution de la largeur de la bande active normalisée entre 1950 et 2000.

Si aucune rivière n'avait évolué au cours des 50 ans, elles seraient toutes alignées sur la droite d'égalité $x=y$ (en noir gras, Figure 1.20). La majorité des tronçons étudiés se situent en dessous, la largeur de leur bande active est donc inférieure en 2000 par rapport à 1950, ce qui confirme une tendance globale à la rétraction. Les tronçons en rétraction représentent 80% du nombre des tronçons étudiés et ils ont subi une rétraction de 24% en moyenne. Les tronçons en élargissement (20%) ont subi une augmentation de 19%, plus marqué pour les rivières de grosse taille (28%, dont la largeur est supérieure à 100m) par rapport à celle de petite taille (14%, dont la largeur est inférieure à 100m).

La Figure 1.21 indique clairement une disparité Nord-Sud dans le comportement des tronçons : mais si les tronçons du Nord subissent une rétraction généralisée et relativement homogène, ceux du Sud en revanche se rétractent ou s'élargissent, un élargissement qui n'existe pas au Nord. Cette observation est cohérente avec les observations précédentes (Wiederkehr et al., 2008 ; Piégay et al., 2009) : les rivières du Nord ont été plus durement touchées par les aménagements anthropiques, et notamment par la construction de barrages hydroélectriques, alors que les rivières du Sud ont surtout servi à l'irrigation et ont donc été moins impactées hydrauliquement ; le transport solide des rivières septentrionales a sans doute été plus affecté conduisant ainsi à une réduction plus prononcée de l'activité fluviale.

Les rivières qui ont subi un élargissement important de leur bande active se situent principalement dans le bassin durancien (l'Asse_aval, les 2 tronçons du Verdon, le Petit Buech), exception faite d'un tronçon dans le Var (la Tinée), mais aussi d'une rivière située dans le corridor Rhodanien (le Roubion). D'autres tronçons, toujours situés dans la partie Sud de la zone d'étude, sont en situation de stabilité (l'Asse de Bieux, le Bes sur la Bléone, la Bléone amont, le Vanson, la Bes sur la Drome, l'Aigue_C aval, le Jabron_2, la Drôme à Livron).

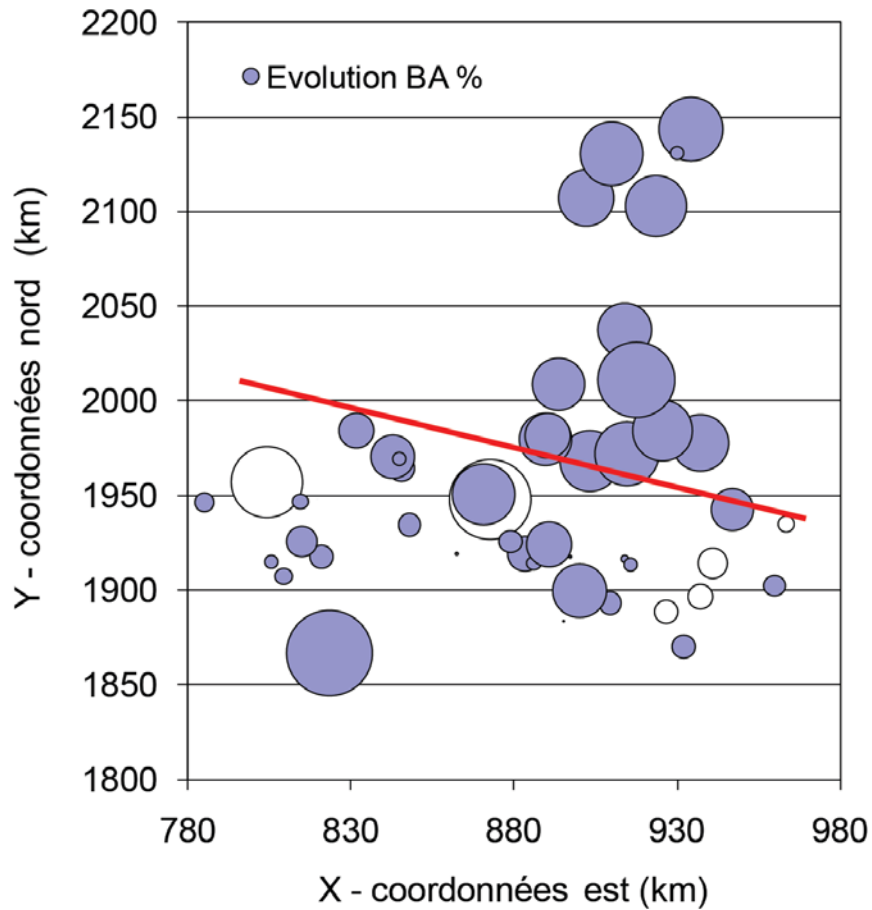


Figure 1.21. Evolution de la largeur de la bande active entre 1950 et 2000 en %. En bleu, une rétraction. En blanc, un élargissement. La ligne rouge matérialise la limite Nord-Sud observée : pas d'élargissement observé au Nord de cette ligne, au Sud des dynamiques plus contrastées.

Pour comprendre quels facteurs locaux agissent sur la dynamique de nos tronçons, nous avons comparé les données d'évolution latérale (évolution de la largeur de la bande active) avec celles de leur évolution verticale (Figure 1.22, travaux de F. Liébault et al. sur les profils en long, cf. rapport 2010). Pour l'analyse de l'évolution verticale des profils longitudinaux seulement 32 tronçons sont renseignés. La comparaison des résultats de ce graphique avec ceux de la Figure 1.21 relatifs à la distribution de l'évolution latérale de la bande active entre 1950 et 2000, révèle des similarités : au Nord les rivières se rétractent et s'incisent, alors qu'au Sud il n'a pas de comportement homogène.

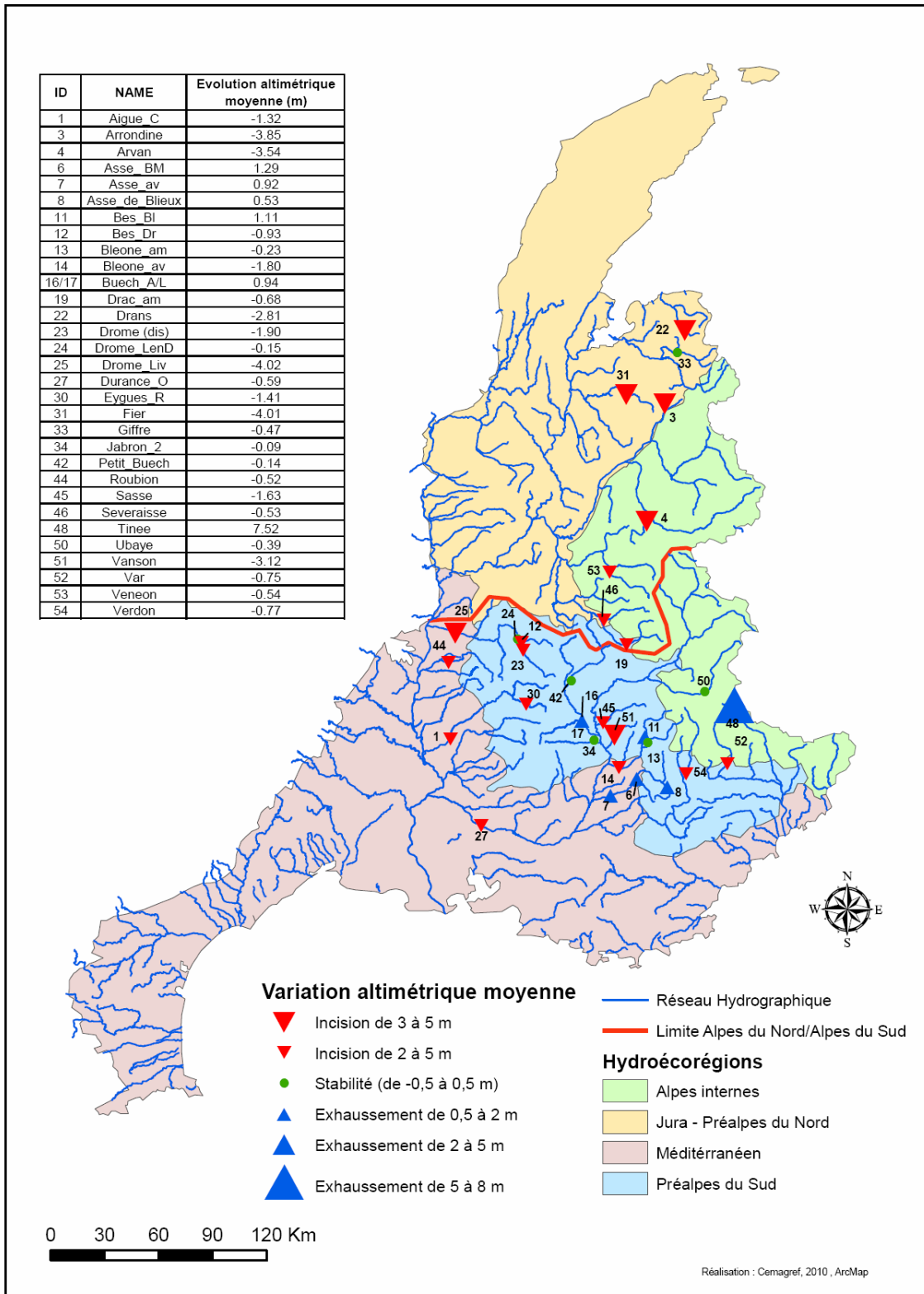


Figure 1.22. Carte de la répartition spatiale des évolutions altimétriques observées sur un siècle (Liébault et al., 2010).

La Figure 1.23 met en évidence la relation évolution latérale/évolution verticale. La grosse majorité des rivières se trouvent ainsi dans le quart inférieur gauche du graphique, ce qui indique que la rétraction des rivières s'accompagne généralement d'une incision de leur lit. Peu de rivières semblent faire exception à cette tendance générale : le Petit Buëch et le Roubion, s'élargissent

considérablement en 50 ans (les deux de la moitié de leur largeur), restant plutôt stable verticalement ; la Tinée, subissant les apports torrentiels de l'un de ses affluents, s'exhausse (de près de 8m) et en même temps s'élargit; l'Asse aval s'élargit du 15% et s'exhausse légèrement (de 1 m). D'autres rivières ont subi des changements plus modestes en termes de variation latérale et verticale (le Bes sur la Bléone, les 2 tronçons sur le Buêch, l'Asse BM) et d'autres sont en condition de stabilité (l'Asse de Blieux, le Bléone amont, le Jabron_2, le Giffre). Certains tronçons comme l'Ubaye et la Drôme_LenD sont en condition de stabilité verticale tout en présentant un rétrécissement de leur bande active. D'autres, comme l'Aigue_C et le Bes sur la Drôme, présentent un faible élargissement/stabilité et voient leur chenal s'inciser légèrement.

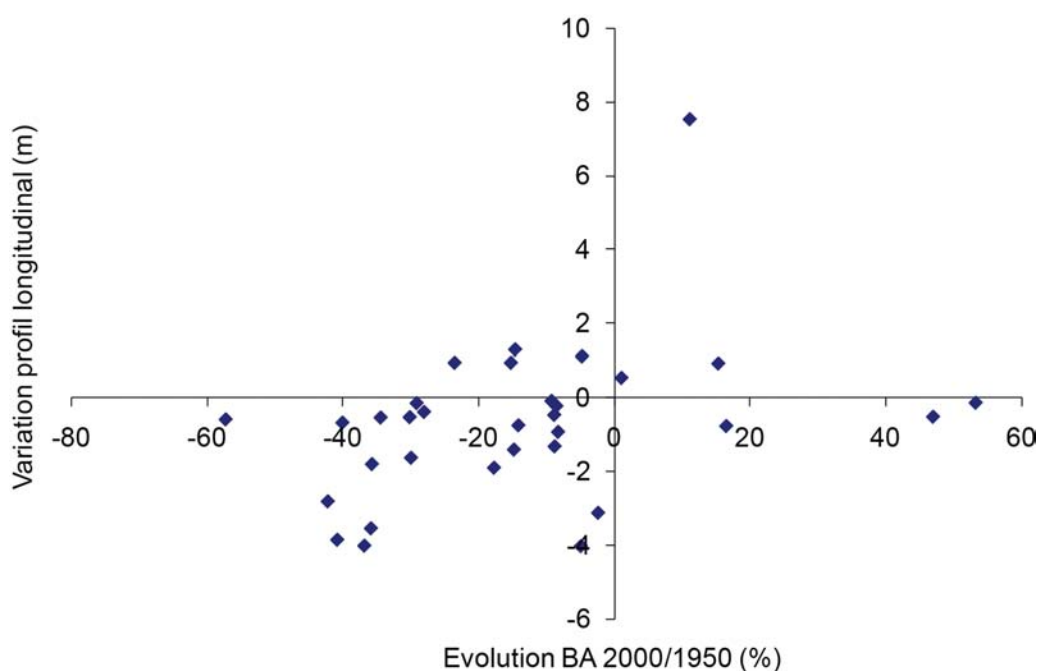


Figure 1.23. Relation entre l'évolution de la bande active entre 1950 et 2000 (en X) et la variation du profil longitudinal au cours du dernier siècle (en Y) des 32 tronçons communs.

Pour résumer, le croisement des résultats de l'évolution latérale et verticale permet d'identifier 6 comportements (Tableau 1.4, 32 tronçons) :

- De A à C (en gris) les rivières dont l'évolution en plan et verticale est concordante (A, incision et rétrécissement ; B, stabilité verticale et latérale ; C, exhaussement et élargissement) ;

- De D à F (en rouge) les comportements non concordants.

Pour ces derniers, nous observons que leur comportement peut s'expliquer par l'hydrologie (nombre de mois depuis la dernière crue décennale); en effet les tronçons des groupes D et E (incisés mais en élargissement ou stabilité) ont enregistré une crue morphogène récente (Figure 1.24). Le groupe F reste plus difficile à expliquer : ces rivières se trouvent en condition de stabilité verticale ou exhaussement, tout en rétrécissant ou étant stables latéralement : nous nous attendions donc que ce groupe de rivières n'ait pas enregistré une crue morphogène récente. Toutefois, comme nous pouvons l'observer sur la Figure 1.24, le groupe inclut des rivières qui ont subi au moins une crue décennale pendant les 4 dernières années (moins de 50 mois).

Tableau 1.4. Evolution latérale (de la largeur de la BA entre 1950 et 2000, en ligne) et verticale (des profils longitudinaux sur 100 ans, en colonne), des 32 tronçons communs aux 2 études. Les classes sont définies arbitrairement.

Evolution latérale		Rétrécissement		Stabilité	Elargissement	
Evolution verticale		-50 à -30	-30 à -10	-10 à 10	10 à 30	30 à 50
Incision	-5 à -2	Fier Arrondine Arvan Dranse		Drome_Liv Vanson		
	-2 à -0,5	Bleone_av Drac_am Durance_C Veneon	Drome_dis Sasse Eygues_R Var Seveirasse	Aigue_C Bes_Dr	Verdon	
Stabilité	-0,5 à 0,5		Ubaye Drome_Len	Giffre Bleone_am Jabron_2 Asse_Blieux		Roubion PetitBuech
	0,5 à 2		Buech_L/A Asse_BM	Bes_BI	Asse_av	
Exhaussement	2 à 5 et >				Tinée	
		A		B	C	

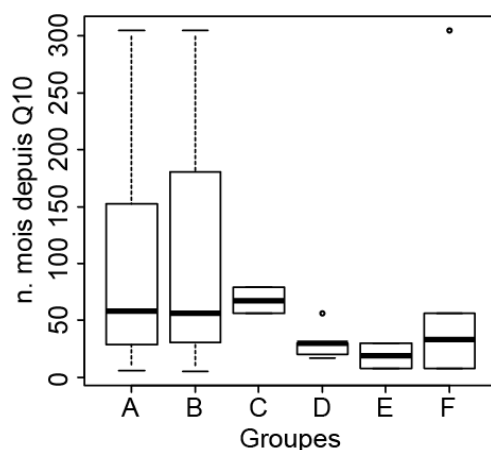


Figure 1.24. Répartition des crues décennales dans les 6 groupes résultant du croisement des données d'évolution latérale et verticale

3 . Dynamique de la bande fluviale et des habitats terrestres (îles)

En complément de ce qui a été réalisé l'année dernière sur la Drôme concernant les modalités de rétraction de la bande fluviale (Hervouet et. al., 2010 ; cf. rapport 2010) nous avons abordé l'analyse de la dynamique des habitats terrestres (îles) sur les 53 tronçons.

La distribution de la proportion d'îles boisées matures confrontée avec la distribution de l'historique des crues morphogènes (Figure 1.25 A et B) permet d'observer trois situations différentes :

- Dans le Sud-Ouest de la zone d'étude ainsi que dans les Alpes Maritimes les rivières sont peu végétalisées certainement à cause de l'occurrence des crues morphogènes plus récentes ;
- Dans le bassin Durancien la proportion d'îles boisées à l'intérieur de la bande fluviale est très variables même si la plupart des rivières n'ont pas enregistré une crue décennale depuis longtemps ;
- Les tronçons du Nord, qui n'ont pas enregistré une crue décennale depuis longtemps, voient leurs bandes fluviales occupées par une proportion importante d'îles boisées.

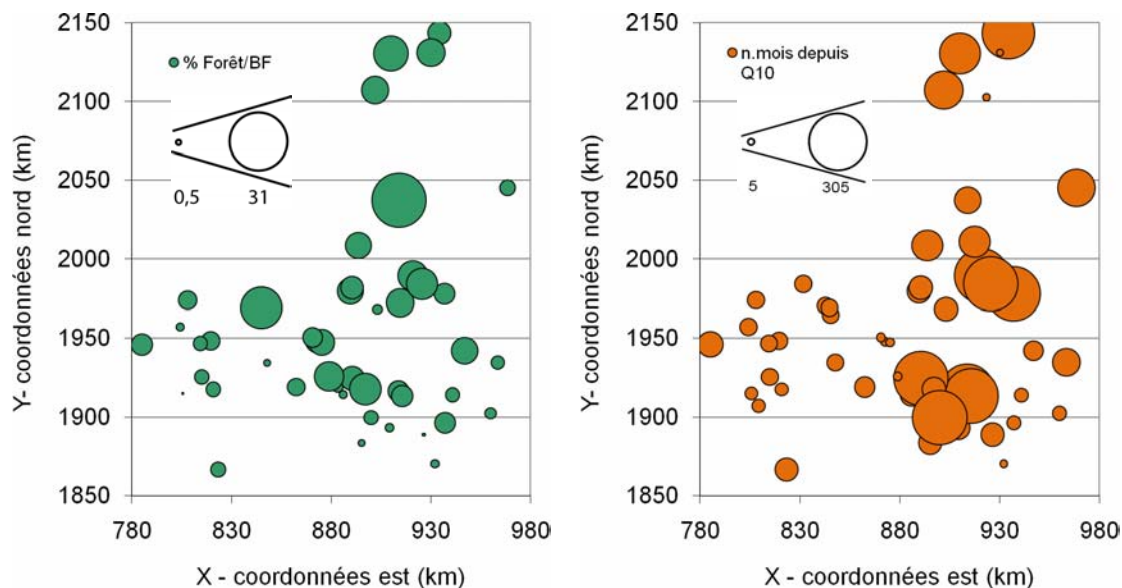


Figure 1.25. A - Distribution géographique de la proportion des îles boisées matures à l'intérieur de la bande fluviale pour les tronçons d'étude. B - Conditions hydrologiques caractérisant les 55 tronçons : nombre de mois séparant le jour de l'acquisition de la dernière crue morphogène (Q10). Les axes X et Y représentent les coordonnées N et E kilométriques.

La Figure 1.26 (A) ci-dessous présente l'évolution du rapport entre la bande active et bande fluviale entre 1950 et 2000, qui permet de rendre compte du boisement des rivières à l'intérieur de la bande fluviale par des îles. La droite représente les rivières qui n'ont pas évolué en ce qui concerne le taux de végétalisation de la bande fluviale, ce qui signifie que la surface de ligneux ayant disparu équivaut à celle apparue. Les autres rivières se situent de part et d'autre de la droite, certaines tendant à se boiser (à droite), d'autres au contraire connaissant une réduction de leur végétation (à gauche). La flèche noire sur la droite indique un taux de végétalisation croissante. Ces résultats démontrent l'absence de tendance globale (à la végétalisation des rivières ou à leur « dévégétalisation ») ainsi que l'absence de patron géographique des comportements (Figure 1.26 C).

Parmi les rivières qui se végétalisent (en termes d'îles à l'intérieur de la bande active) nous pouvons reconnaître certains tronçons de montagne, comme l'Arvan, un tronçon du Drac, le Bans, le Fournel, la Severaisse et l'Ubaye, ainsi que des rivières situées dans le corridor rhodanien (Bes sur la Drome, le tronçon sur la Drome à l'aval de la confluence avec le Bes, le tronçon de milieu sur l'Eygues) et un tronçon situé dans le bassin de la Durance (l'Asse vers Mezel). Les rivières stables en terme de végétalisation sont les plus nombreuses et sont situées dans l'ensemble de la zone d'étude (Figure 1.26 B, C).

La végétalisation des bandes actives se fait donc conjointement sous le contrôle de la dynamique sédimentaire à long terme et du rythme des crues. L'influence de ces dernières est cependant très variable d'un contexte hydro-climatique à l'autre.

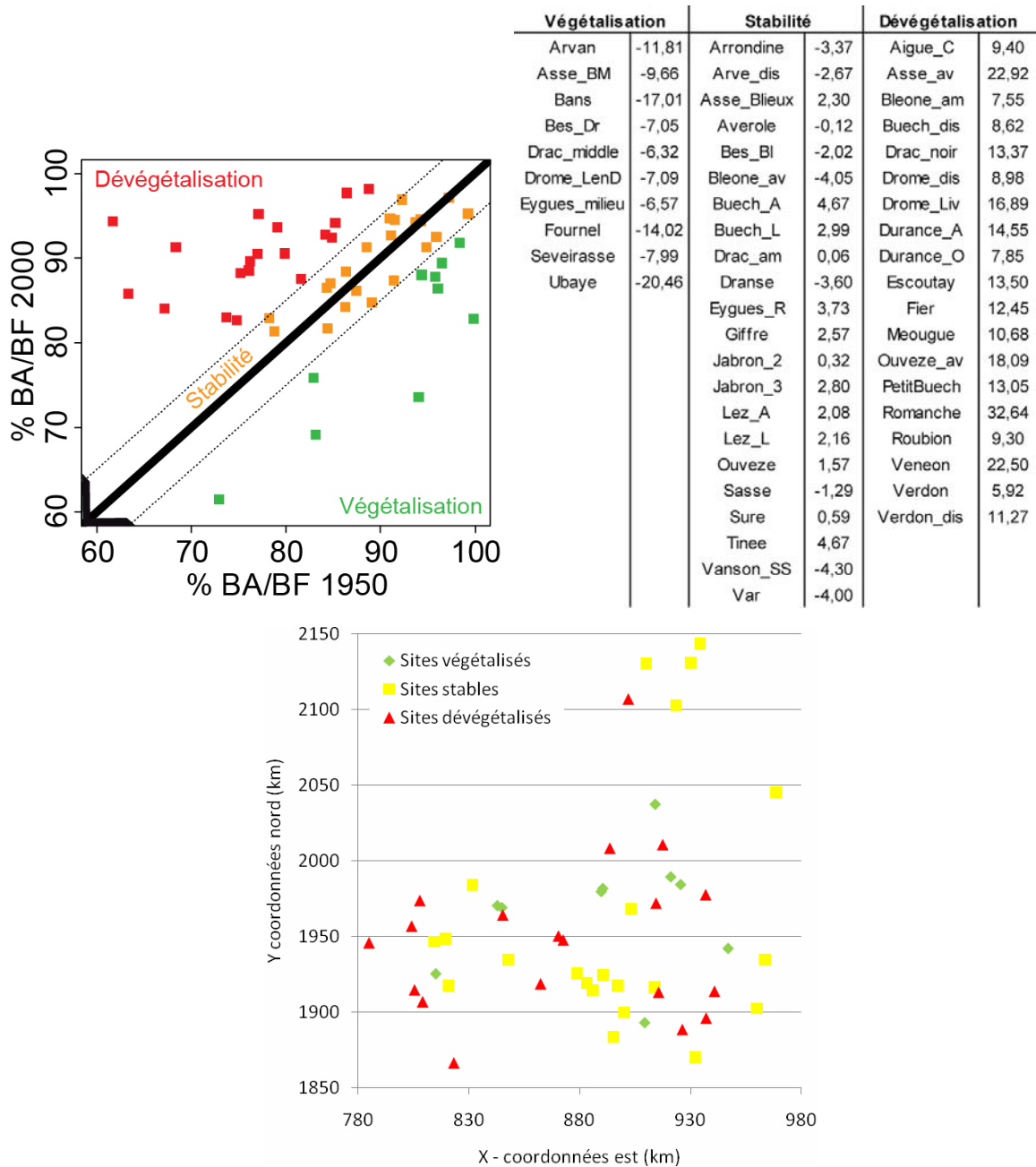


Figure 1.26. A - Evolution du rapport BA/BF entre 1950 et 2000. En jaune les sites stables, en rouge les sites en dévégétalisation et en vert les sites en végétalisation. B - Liste de tronçons en végétalisation, stables et en dévégétalisation ; la variation est exprimée en points %. C - Localisation des tronçons dans la zone d'étude. en fonction de leur taux de végétalisation

PARTIE 2. SPECIFICITES ET STRUCTURE DE LA DIVERSITE DES INVERTEBRES DANS LES RIVIERES EN TRESSES

Rédacteurs : F. Malard, T. Datry, C. Capderrey

A . OBJECTIF 1: INFLUENCE DES ECOULEMENTS HYPORHEIQUES SUR LA DIVERSITE ET LA DISTRIBUTION DES PEUPELEMENTS D'INVERTEBRES

1 . Avancement du tri des échantillons biologiques

La totalité des échantillons hyporhéiques collectés à une profondeur de 60 cm dans les sédiments, soit 144 échantillons, a été triée. Ce jeu de données a été l'objet d'une première analyse statistique présentée ci-dessous. Ces résultats ont également été présentés en mai 2011 par C. Capderrey au congrès de la société nord américaine de benthologie (Capderrey et al., 2011). Les échantillons hyporhéiques collectés à une profondeur de 30 cm dans les sédiments, soit 72 échantillons, et la totalité des échantillons benthiques, soit 288 échantillons, ont également été triés. Seuls restent à trier les 72 échantillons collectés à une profondeur de 90 cm dans les sédiments. Ce tri sera achevé durant l'été 2011.

2 . Organisation des écoulements hyporhéiques aux échelles plurikilométrique et hectométrique : approche physicochimique

Les résultats sont présentés sous la forme d'une représentation graphique dont le principe est explicité sur la Figure 2.27. L'ensemble des mesures obtenues sur les 12 sites à une profondeur de 60 cm dans les sédiments (n=144 échantillons) est utilisé de manière à représenter simultanément :

1. l'effet des écoulements hyporhéiques hectométriques (moyenne des échantillons collectés en tête [n=36 échantillons] et en queue de bancs [n=36 échantillons] dans chaque type de bandes actives) ;
2. l'effet des écoulements hyporhéiques kilométriques (comparaison des queues ou des têtes de bancs entre les bandes actives contraintes et non contraintes).

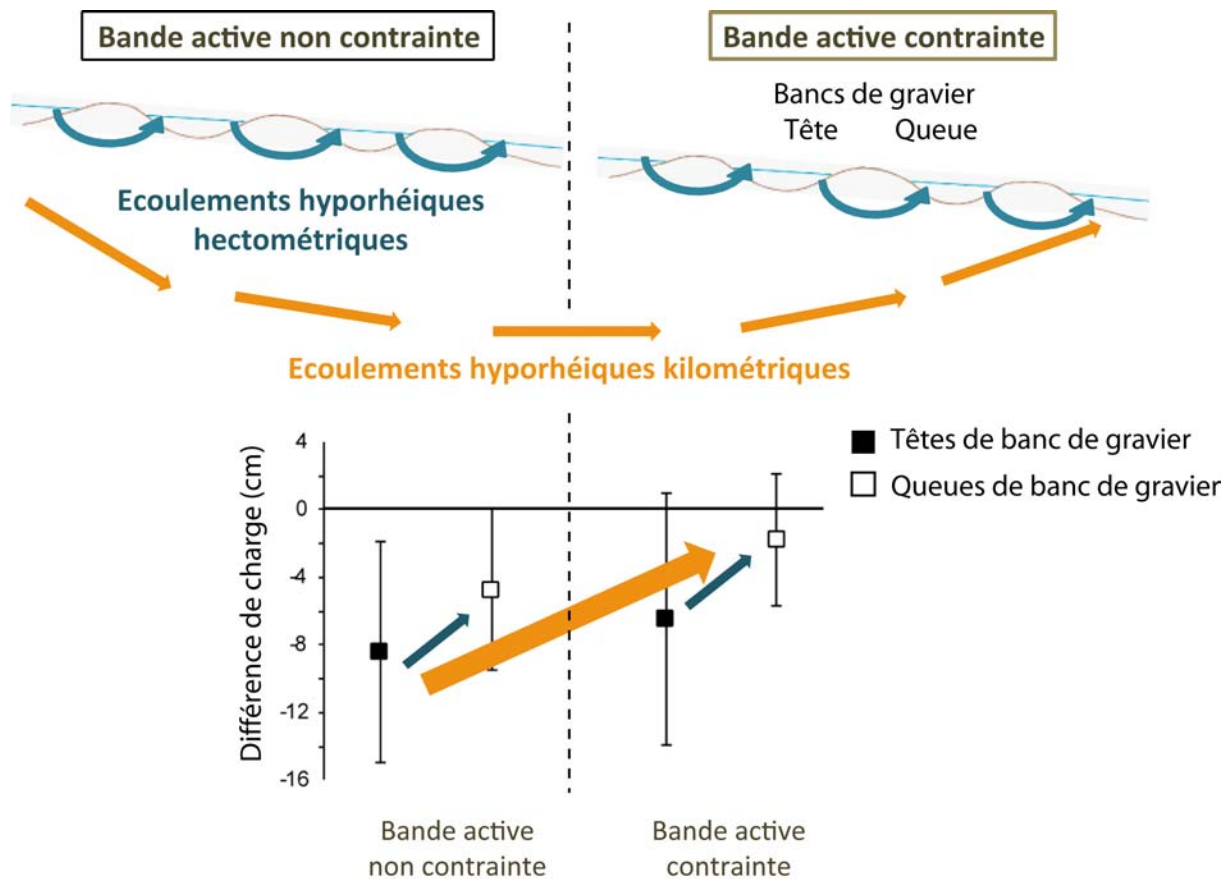


Figure 2.27. Représentation graphique de la mesure des effets des écoulements hyporhéiques à deux échelles spatiales distinctes : hectométriques (échelle du banc de gravier) et kilométrique (échelle de la plaine alluviale). Chaque carré et son écart type représente la moyenne de 36 échantillons collectés sur 12 sites.

Les moyennes des différences de charge mesurées sont négatives indiquant une infiltration d'eau de surface sur l'ensemble des sites en Juillet 2010 (Figure 2.28). Toutefois, les charges sont systématiquement plus élevées à la fois dans les bandes actives contraintes et dans les queues des bancs de graviers. L'infiltration des eaux de surface y est donc « freinée » par la pression plus importante exercée par les remontées d'eau interstitielle. Les mesures physico-chimiques corroborent les différences de charge mesurées et mettent clairement en évidence un effet combiné des écoulements kilométriques et hectométriques sur la conductivité électrique, la température et l'oxygène dissous (Figure 2.28). La conductivité électrique est significativement plus élevée et la température et l'oxygène dissous sont significativement plus faibles dans les queues de bancs de gravier situées dans les bandes actives contraintes. Quelle que soit la bande active considérée, les eaux de surface s'infiltrent préférentiellement dans les têtes de bancs de graviers et ont tendance à rejoindre le cours d'eau dans les queues de bancs de graviers. A ces circulations interstitielles hectométriques (échelle du banc de graviers), viennent s'ajouter des circulations kilométriques (échelle de la plaine alluviale) dont les effets sont perceptibles essentiellement dans les queues des bancs de graviers des bandes actives contraintes. Les remontées d'eau interstitielle (nappe) provoquées par les constrictions rocheuses latérales et verticales s'effectuent préférentiellement aux endroits où les infiltrations locales d'eau de surface sont faibles, c'est-à-dire dans les queues de bancs de gravier.

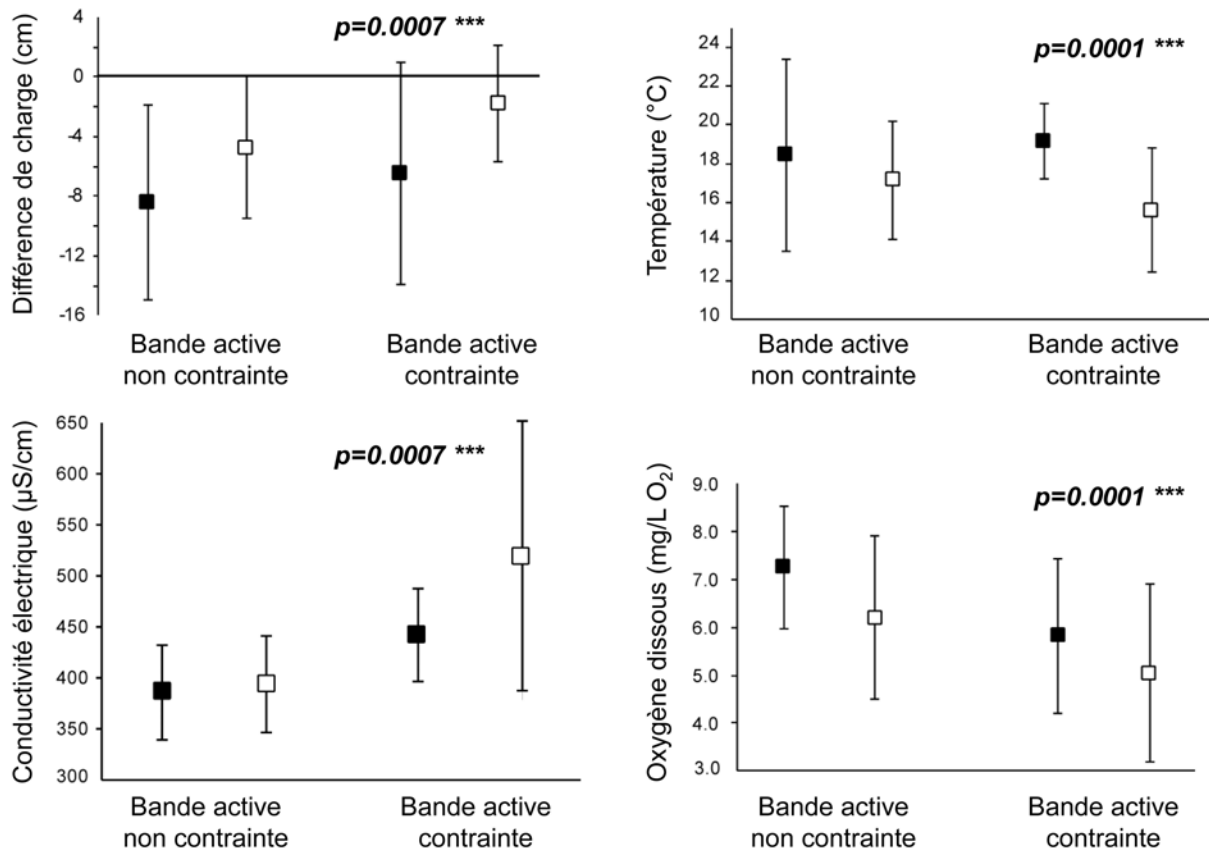


Figure 2.28. Différences de charge, conductivité électrique, température et concentration en oxygène dissous mesurées dans les sédiments (profondeur : 60 cm) des têtes de bancs de gravier (carrés noirs, n=36) et des queues de bancs de gravier (carrés blancs, n=36) dans les bandes actives contraintes et non contraintes.

L'analyse des 144 prélèvements hyporhéiques effectués à une profondeur de 60 cm dans les 12 sites mettent également en évidence un effet d'interaction entre ces deux types d'écoulement hyporhéique (Figure 2.29). La richesse et l'abondance des peuplements sont significativement plus élevées dans les échantillons collectés dans les têtes de bancs de gravier situés dans les bandes actives contraintes que dans les têtes de bancs de gravier des bandes actives non contraintes. Cet effet est plus marqué pour les taxons aquatiques permanents que pour les éphémères, plécoptères et trichoptères (EPT). L'effet du facteur « bande active » n'est toutefois plus significatif dès lors que l'on considère les queues de bancs de gravier : il n'a pas de différences significatives de richesse et d'abondance entre les échantillons collectés dans les queues de bancs de gravier des bandes actives contraintes et non contraintes.

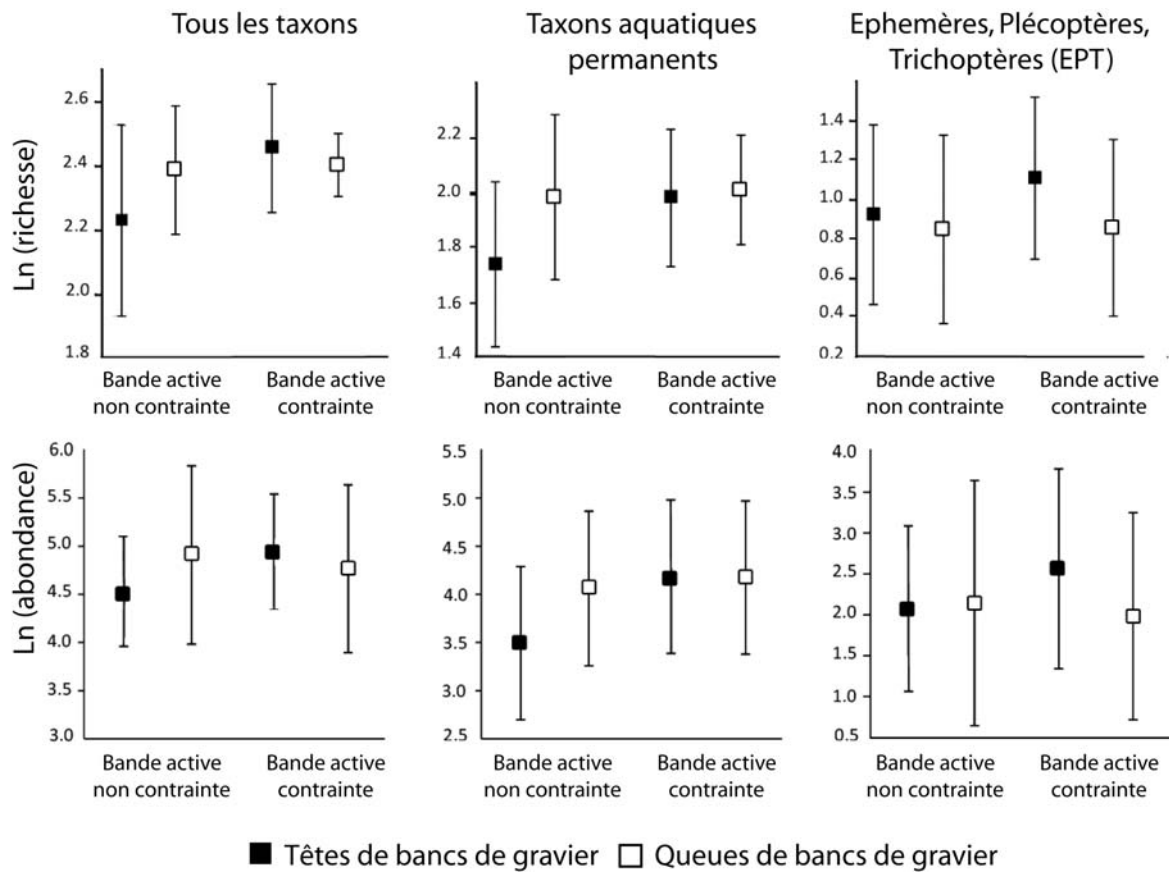


Figure 2.29. Richesse (3 panneaux supérieurs) et abondance (3 panneaux inférieurs) des peuplements d'invertébrés, des taxons aquatiques permanents et des EPT (éphémères, plécoptères et trichoptères) dans les sédiments (profondeur : 60 cm) des têtes de bancs de gravier (carrés noirs, n=36) et des queues de bancs de gravier (carrés blancs, n=36) dans les bandes actives contraintes et non contraintes.

B . OBJECTIF 2: INFLUENCE DE LA STRUCTURE GEOMORPHOLOGIQUE DES RIVIERES EN TRESSES SUR LA DIVERSITE GENETIQUE DES POPULATIONS

Les échantillonnages réalisés afin de préciser la distribution de l'isopode *Proasellus walteri* dans les rivières en tresse du sud-est de la France montrent que cette espèce a colonisé les corridors sédimentaires de la Drôme, du Roubion, du Lez, de l'Eygues et de l'Ouvèze (Figure 2.30). Bien qu'il s'agisse de l'espèce dominante, elle peut être accompagnée notamment dans les secteurs de montagne de l'Eygues et de l'Ouvèze par l'espèce *Proasellus synaselloides*. Une espèce de *Proasellus* nouvelle pour la science a également été collectée sur les deux stations de l'Eygues et de l'Ouvèze ou a précisément été échantillonnée *P. synaselloides*. Par contre, l'espèce *P. walteri* n'est présente dans aucun des affluents de la Durance qui sont eux colonisés par *P. synaselloides*. Il est probable que ces deux espèces interstitielles de même taille qui occupent des niches similaires soient en compétition. *P. synaselloides* aurait ainsi pu être refoulé par *P. walteri* dans les têtes de bassin des affluents du couloir rhodanien.

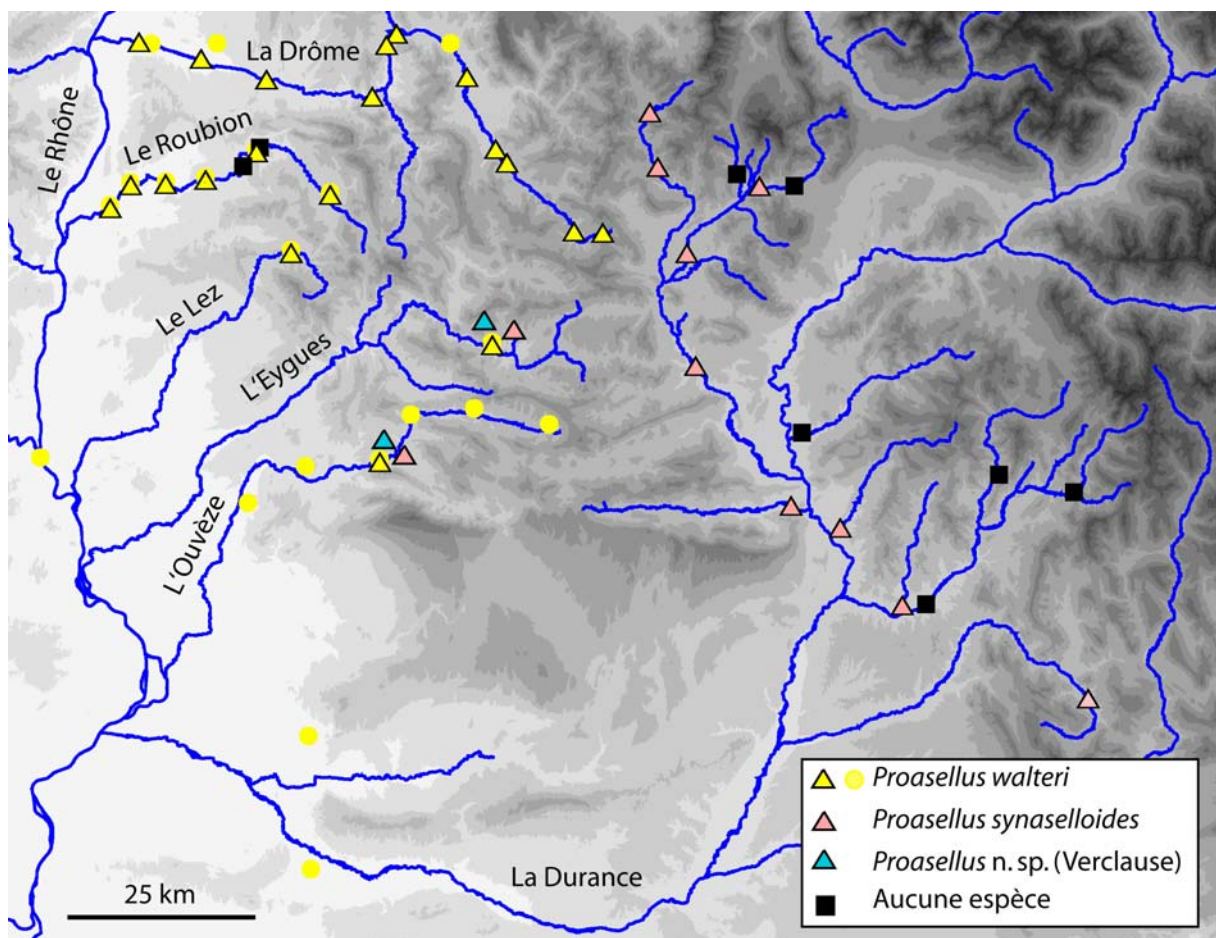


Figure 2.30. Distribution de *Proasellus walteri* dans le couloir rhodanien et le bassin de la Durance. Les sites figurés par des triangles et des carrés ont été échantillonnés dans le cadre de cette étude. Les sites figurés par des ronds correspondent à des données antérieures.

L'étude phylogénétique menée à partir du gène COI montre que l'espèce morphologique *P. walteri*, présente du sud au nord de la France, est en fait un complexe de trois clades génétiquement très divergents (Figure 2.31). Le premier clade colonise les nappes et la zone hyporhénique du Rhône et de ses affluents en aval de Lyon. Le second clade occupe les nappes du bassin de la Saône et de ses affluents, notamment le Doubs et la Loue. Enfin, le troisième clade colonise les nappes alluviales du Rhin. Ces trois clades très divergents génétiquement sont considérés comme des espèces cryptiques non ou difficilement distinguables sur la base de critères morphologiques.

L'étude phylogénétique menée à partir du gène 16S sur les échantillons collectés dans les rivières de la Drôme, du Roubion, du Lez, de l'Eygues et de l'Ouvèze montre que ces rivières en tresses sont toutes colonisées par des populations de *P. walteri* appartenant au premier clade identifié précédemment (Figure 2.32). Cette étude confirme également la monophylie de l'espèce *P. synaselloides* mais elle révèle, une nouvelle fois, une forte divergence génétique entre les populations au sein de cette espèce morphologique. Au même titre que *P. walteri*, l'espèce morphologique *P. synaselloides* est un complexe d'espèces cryptiques dont le nombre et la distribution spatiale restent à déterminer.

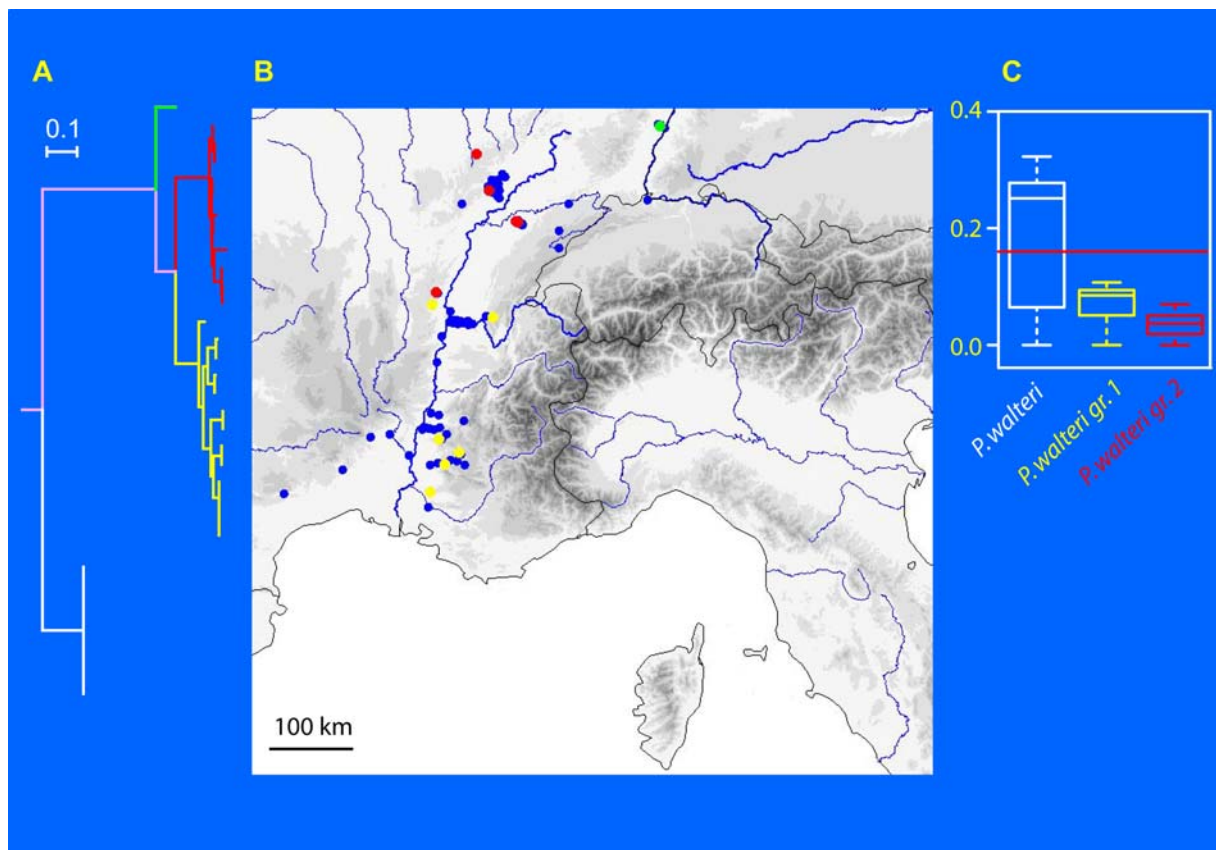


Figure 2.31. **A** - Arbre phylogénétique établi sur la base du gène mitochondrial COI pour l'espèce morphologique *Proasellus walteri* montrant la présence de trois clades très divergents (jaune, rouge et vert). **B** - Distribution de l'espèce morphologique *P. walteri* (tous les points) et de ses 3 clades (jaune, rouge et vert). Le clade 1 est représenté en jaune, le clade 2 en rouge et le clade 3 en vert, voir texte principal). **C** - Divergence génétique pour le gène COI au sein de *P. walteri*. La barre rouge représente le seuil de divergence pour le COI (0.16) au-delà duquel une espèce morphologique est généralement considéré comme un complexe d'espèces cryptiques non séparées par la systématique morphologique.

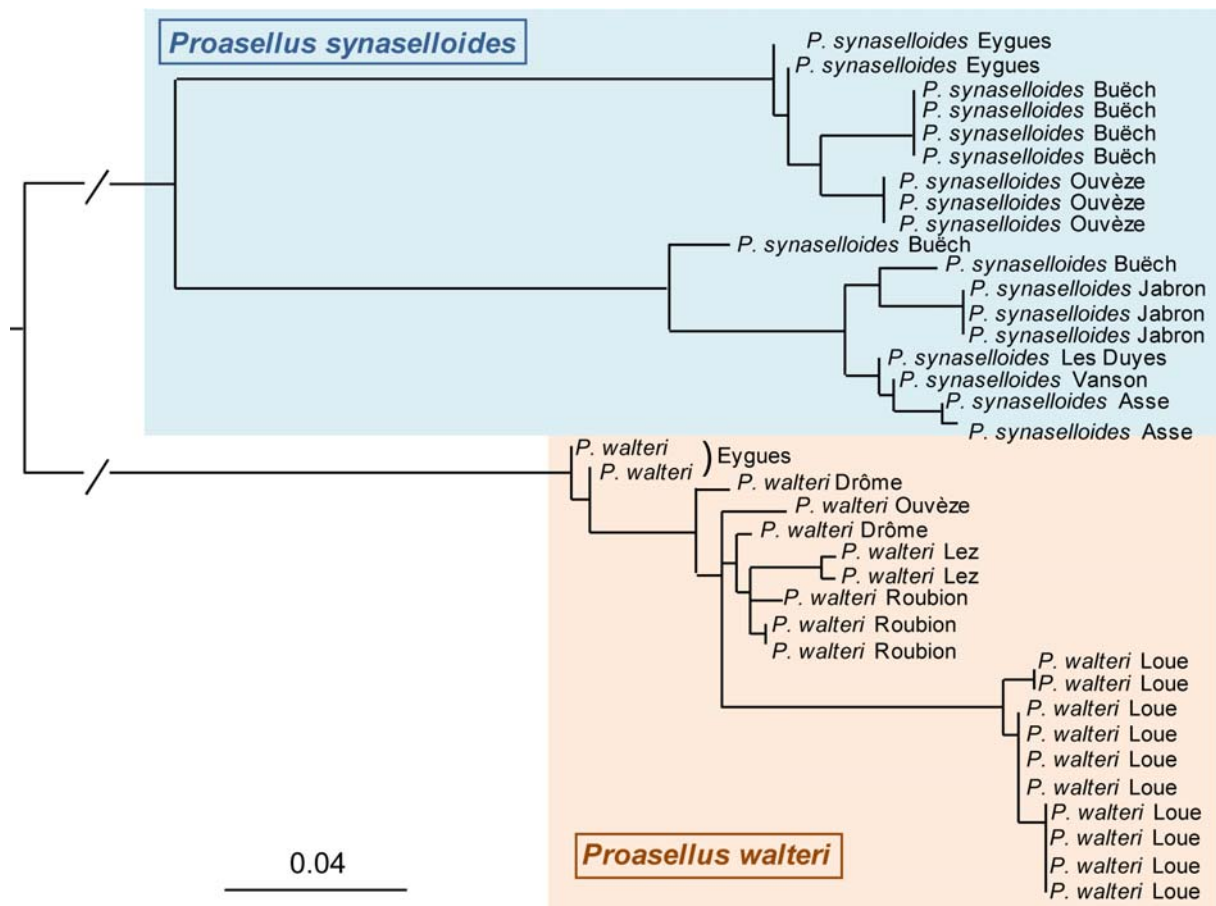


Figure 2.32. Arbre phylogénétique établi sur la base du gène mitochondrial 16S selon la méthode de reconstruction PhyML et un modèle GTR) pour les individus de *Proasellus walteri* (en rouge) du couloir rhodanien (au sud de Lyon) et les individus de *Proasellus synaselloides* (en bleu) du bassin versant de la Durance.

Rédacteurs : P. Leduc, A. Recking

Après un période d'initialisation du lit d'une durée d'environ 17 heures, nous avons observé la formation d'une série de 4 bancs alternés persistants (Figure 3.33).



Figure 3.33: Formation de 4 bancs alternés

A . DEUX MORPHOLOGIES DIFFERENTES

Lors de cette expérience de 100 heures, nous avons pu mettre en évidence des phénomènes liés au tri granulométrique. A grande échelle de temps, nous avons observé deux types de morphologies quasi périodiques bien que les alimentations solide et liquide soient constantes. La première configuration correspond à un lit plat, où on ne retrouve en surface que la fraction grossière de la courbe granulométrique. Le transport solide est faible et les mouvements des grains sont réduits (ils se déplacent que sur quelque dizaines de centimètres). Les bancs sont totalement immergés et la largeur de l'écoulement est maximale (Figure 3.34). Cet état correspond à un lit pavé.



Figure 3.34. Lit pavé avec bancs immergés

La deuxième configuration observée correspond à un lit érodé, avec un transport solide intense (Figure 3.35). Les bancs sont émergés, avec des érosions de berges fréquentes. Les graviers se déplacent rapidement sur une couche de sédiments fins et parcourent de grandes distances. Les profils en travers sont bien marqués, avec des ruptures de pente.



Figure 3.35. Lit déposé, bancs émergés.

B . LES MECANISMES LIES A LA MIGRATION DES BANCs

La transition entre ces deux états de lit différents s'accompagne d'une migration des bancs. A la fin d'une période d'érosion, les sédiments grossiers se déposent en tête des bancs (Figure 3.36 a)). Plus ce dépôt grossit, plus le front des bancs migre vers l'amont du fait de l'augmentation de la rugosité (et donc réduction de vitesse) du lit à cet endroit. Cette augmentation de rugosité provoque une déviation de l'écoulement, et au fur et à mesure que le front migre, l'écoulement est dévié de plus en plus tôt vers la paroi. En conséquence de ces changements affectant l'hydraulique, on observe une migration de la mouille au contact entre l'écoulement et la paroi (Figure 3.36 b)). La pente reliant la mouille à la tête du banc se raidit et finit par atteindre une valeur maximale (Figure 3.36 c)). Il s'en suit alors une importante érosion, emportant la tête des bancs (Figure 3.36 d)). Ce cycle d'érosion dépôt touche principalement la tête des bancs et a concerné les quatre bancs.

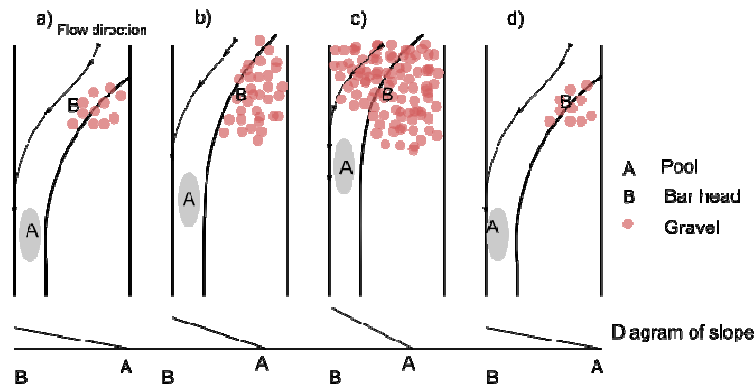


Figure 3.36. Déplacement des bancs

C . EFFETS DU TRI GRANULOMETRIQUE

Les mouilles jouent un rôle particulier qui se décline en deux mécanismes différents. Sous l'effet de la gravité, les graviers sont attirés dans le fond de la mouille. Le sable, moins soumis à la gravité reste en marge de l'écoulement. Le comportement des sédiments dans la mouille dépend de leur taille. Le deuxième effet est lié aux forces d'inertie. Les graviers sortant de la mouille sont sous l'action des forces d'inertie dirigés vers la tête du banc suivant (Figure 3.37). A la fin de la mouille, l'écoulement s'élargit et donc la hauteur d'eau diminue. Les graviers se déposent alors en tête des bancs. Les sables, eux, accompagnent les lignes de courant et sont dirigés dans la direction de l'écoulement soit vers la mouille suivante.

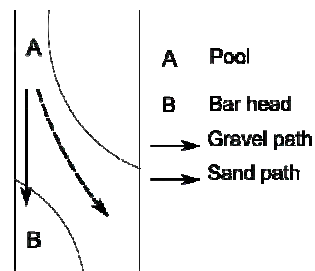


Figure 3.37. Trajectoires différentes à la sortie des pools.

On a donc observé des dépôts sélectifs sur toute la surface du lit. Ce phénomène est à l'origine de composition hétérogène des macroformes (Figure 3.38). Sur la Figure 3.38 le front du banc est composé par des graviers alors que la queue est composée de sable. Cette particularité se retrouve aussi sur le terrain (Figure 3.39).

Direction de l'écoulement



Figure 3.38. Composition hétérogène d'un banc

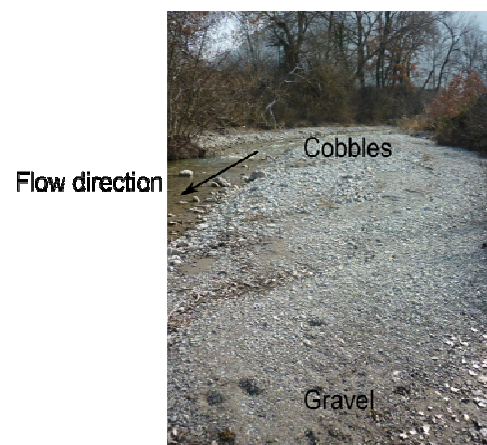


Figure 3.39. Composition hétérogène d'un banc du Béoux, Drôme

D . RELATION ENTRE L'ETAT DU LIT ET LE TRANSPORT SOLIDE

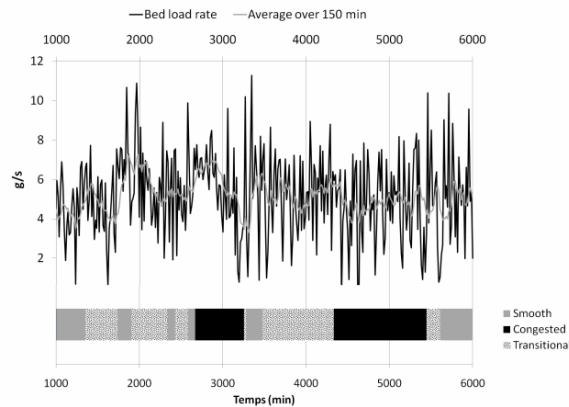


Figure 3.40. Evolution du transport solide et de l'état du lit.

Le transport solide fluctue de façon importante autour d'une valeur moyenne stable (Figure 3.40) qui correspond au débit solide injecté à l'amont du canal (5 g/s). Lors des phases de lit pavé représentées par des boîtes noires sur la Figure 3.40, le transport solide dans un cas diminue nettement et dans l'autre cas est faible. Cela signifie que le transport sédimentaire est faible lorsque le lit est pavé. A contrario, les pics de fort débit solide correspondent à un lit dépavé, en érosion. Cependant les variations de débit solide sont liées aux changements de morphologie, incluant la pente, mais aussi la largeur de l'écoulement.

E . RELATION ENTRE L'ETAT DU LIT ET LA LARGEUR DE L'ECOULEMENT

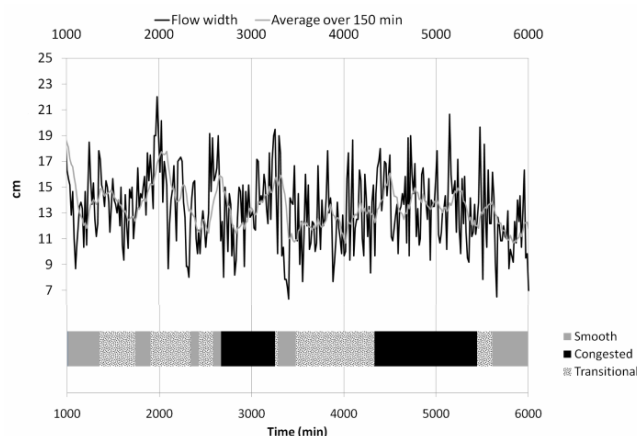


Figure 3.41. Evolution de la largeur et de l'état du lit.

La largeur de l'écoulement principal fluctue de façon importante toute au long de l'expérience (Figure 3.41). Lors de phase de lit pavé, représenté par les boîtes noires, la largeur dans un cas augmente et dans l'autre et assez stable autour d'une valeur importante (environ 14 cm). A la fin de ces phases, la courbe décroît. Le dépavage du lit est associé à un rétrécissement de la largeur de l'écoulement principal.

PARTIE 4. LA THERMIE DES RIVIERES EN TRESSES

Rédacteurs : V. Wawrzyniak, P. Allemand, H. Piégay

Les objectifs principaux sont de mettre en lien la thermie et la typologie des chenaux, et de comprendre les effets du débit sur la thermie. Les premiers résultats des sites imagés durant l'été 2010 montrent des différences thermiques de l'ordre de plusieurs degrés, avec principalement des eaux plus chaudes au niveau de mares et quelques zones plus froides localisées. La Figure 4.42 illustre ces différences avec une gamme de variations thermiques de 6.5°C pour le tronçon de la Drôme.

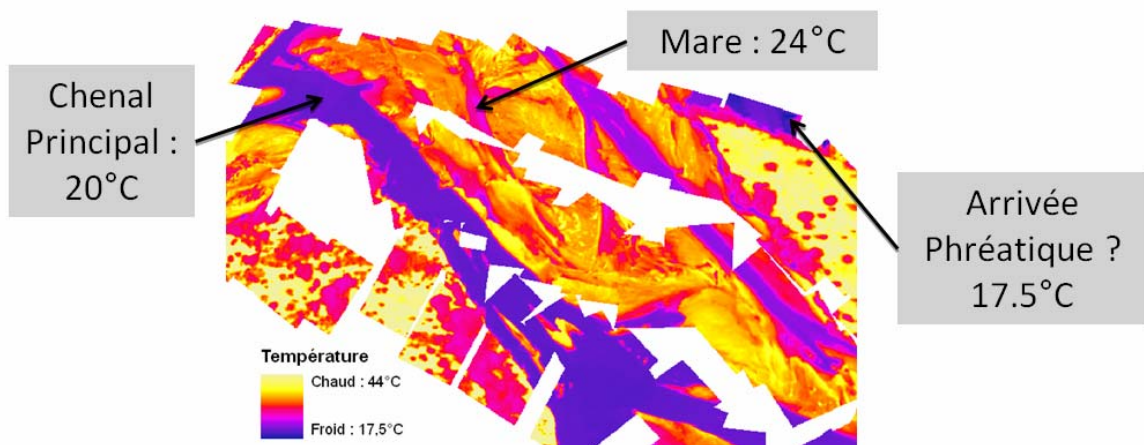


Figure 4.42. Carte thermique du tronçon de la Drome (9 juin 2010).

CHAPITRE IV - CONCLUSIONS DE LA DEUXIEME ANNEE ET PERSPECTIVES

CHAPITRE IV - CONCLUSIONS DE LA DEUXIEME ANNEE ET PERSPECTIVES	58
Partie 1. Caractérisation des habitats et paysage riverain	59
A . Conclusions	59
B . Perspectives	59
Partie 2. Spécificités et structure de la diversité des invertébrés dans les rivières en tresses	61
A . Conclusions	61
B . Perspectives	62
Partie 3. Etude en canal expérimentale	66
A . Conclusions	66
B . Perspectives	66

A . CONCLUSIONS

Sur l'ensemble régional et à la date de l'observation, nous observons la coexistence de régimes hydrologiques différents pour des secteurs comparables en termes de position dans le bassin versant (type 1 versus types 2 et 3, Figure 1.14, Chapitre résultats). D'autre part, nous observons que les régimes sédimentaires sont également différents pour des tronçons avec les mêmes conditions hydrologiques (type 2 versus 3, Chapitre résultats). Dans ces conditions, le patron de chenaux se comporte d'une manière bien précise : nous pouvons ainsi affirmer que si la diversité des habitats (H') est localement liée aux conditions hydrologiques et les apports sédimentaires (= bande active disponible) jouent également un rôle important dans la structuration des habitats aquatiques notamment en conditions de basses eaux (type 2, Figure 1.17, Chapitre résultats).

En ce qui concerne l'évolution du paysage riverain dans sa totalité, les rivières étudiées sont pour la plupart affectées par un déficit sédimentaire qui se traduit par des rivières plus étroites et incisées par rapport au siècle dernier (Figure 1.20 et Figure 1.21, Chapitre résultats). A ce stade, s'il existe bien un lien entre rétraction et incision des rivières en tresses, celui entre rétraction et végétalisation de la bande fluviale (îles) semble moins évident : les rivières du nord, par exemple, en rétraction depuis 1950, ne semblent pas se végétaliser à l'intérieur de leur bande fluviale. Le régime hydrologique et les conditions climatiques peuvent influencer la dynamique de colonisation de la bande fluviale par la végétation riveraine. Cette analyse sera finalisée en troisième année.

Pour conclure, les secteurs les plus intéressants en terme de richesse d'habitats aquatiques (type 2 surtout mais aussi types 4 et 6) et de dynamique paysagère, semblent être situés là où les sources de sédiments ont été les moins altérées, c'est-à-dire dans le bassin durancien et en haute montagne.

La typologie régionale des rivières en tresses déjà établie en fonction des caractéristiques de l'habitat aquatique sera complétée durant la troisième année ajoutant d'autres éléments de l'analyse temporelle sur 50 ans et grâce à l'analyse fine de l'évolution contemporaine du corridor boisé en lien avec la chronologie des crues.

B . PERSPECTIVES

1 . Dynamique de végétation à l'intérieur de la bande fluviale

Afin de tester l'hypothèse selon laquelle la végétalisation des rivières ne se fait pas forcément toujours à partir de l'intérieur de la bande fluviale sous forme d'îles mais aussi par progression de la forêt sur les marges du corridor fluvial, nous comparerons l'évolution planimétrique des îles et celle des marges de la bande fluviale. Ces marges abritent toutes les taches de végétation pionnière situées dans la zone de contact entre la bande fluviale et la ripisylve. Nous affinerons également l'analyse

comparative de l'évolution latérale, verticale du chenal et des différentes formes de végétalisation afin d'identifier des groupes de tronçons à comportement similaire et de souligner l'intérêt des sites en termes d'habitats terrestres.

2 . Analyse de l'évolution pluri-décennale

Sur les 12 tronçons faisant l'objet d'une analyse fine de l'évolution du corridor végétal, le traitement de toutes les photographies aériennes sélectionnées entre 1950 et 2000 a déjà été effectué tout comme la classification des unités de paysages. L'analyse de la dynamique pluri-décennale reste maintenant à faire. Elle sera finalisée en troisième année. Nous allons ainsi comparer la tresse observée sur d'anciennes photos aériennes des années 1950 avec celle des orthophotos IGN des années 2000. Nous devrions ainsi obtenir, par comparaison, la variation de la surface occupée par différentes entités du corridor fluvial qu'il s'agisse des îlots boisés, de la bande active ou encore de la végétation des marges externes. Les îles sont-elles ainsi pérennes, leur végétation évolue t-elle au gré des épisodes de crue? Cette exploration sera ainsi l'occasion de mettre en relation les changements planimétriques observés avec l'histoire hydrologique. La sélection des clichés a en fait été faite sur la base de la chronologie des événements des crues obtenue à partir de la banque hydro pour 12 sites (voir Annexes I et III).

A . CONCLUSIONS

1 . Objectif 1: Influence des écoulements hyporhéiques sur la diversité et la distribution des peuplements d'invertébrés

Les écoulements hyporhéiques interviennent à de multiples échelles spatiales pour générer une mosaïque d'habitats sédimentaires au sein des rivières en tresses. Les résultats de cette étude montrent que ces écoulements s'organisent à l'échelle kilométrique des plaines alluviales et à l'échelle hectométrique des bancs de graviers. La prise en compte de deux types d'écoulement imbriqués spatialement permet non seulement de définir précisément des secteurs le long d'une rivière en tresses mais également de distinguer au sein de ces secteurs des entités spatiales successivement plus petites. La hiérarchie spatiale ainsi obtenue comprend des secteurs en tresses délimités par des zones de « canyons ». Chaque secteur en tresses comprend une bande active non contrainte à l'aval immédiat d'un « canyon » et une bande active contrainte juste en amont du prochain « canyon ». Chaque bande active englobe de nombreux bancs de graviers, comprenant eux-mêmes une tête et une queue de bancs de gravier. Cette hiérarchie spatiale calquée sur la nature même des écoulements hyporhéiques génère une mosaïque d'habitats imbriqués. Au sein de cette mosaïque, les résultats de cette étude montrent que les peuplements d'invertébrés dans la zone hyporhéique sont significativement plus riches et plus denses dans les têtes de bancs de gravier des bandes actives contraintes. Il est vraisemblable que de nombreux taxons sélectionnent préférentiellement des bandes actives peu soumises à des phénomènes d'assèchement et présentant une plus forte diversité d'habitats. Ces bandes actives correspondent certainement aux bandes contraintes latéralement ou verticalement au sein desquelles ont lieu les remontées d'eau interstitielle (écoulements hyporhéiques kilométriques). Au sein même de ces bandes, les têtes de bancs de gravier constitueraient des habitats préférentiels où les infiltrations locales d'eau de surface (écoulements hyporhéiques hectométriques) constituent une source d'oxygène et de matière organique.

2 . Objectif 2: Influence de la structure géomorphologique des rivières en tresse sur la diversité génétique des populations

La première partie du travail concernant cet objectif a consisté à vérifier que l'espèce *P. walteri* était bien présente sur l'ensemble des rivières en tresse sélectionnées dans ce projet. Cette vérification a nécessité de nombreux échantillonnage, une identification morphologique de l'espèce et une identification "génétique" de cette même espèce grâce à l'utilisation de gènes mitochondriaux 16S et CO1 et du gène nucléaire 28S. Les résultats de cette étude montrent que l'espèce morphologique *P. walteri* présente du sud au nord de la France est en fait un complexe de trois clades génétiquement très divergents qui peuvent être considérés comme des espèces cryptiques non ou difficilement

distinguables sur la base de critères morphologiques. L'un de ces clades occupe les affluents du couloir rhodanien au sud de Lyon mais il n'a pas colonisé le bassin de la Durance. Ce dernier est en fait colonisé par une autre espèce, l'isopode *Proasellus synaselloides*. Fort de ces résultats, 4 rivières ont été retenues, la Drôme, le Roubion, l'Eygues et l'Ouvèze. Au sein de chacune de ces rivières, les zones de plaine et de montagne ont été délimitées et les potentielles barrières à la dispersion (affleurement, canyon) ont été identifiées dans les zones de montagne.

3 . Objectif 3 : Influence de la dynamique des habitats sur la diversité des peuplements d'invertébrés terrestres des rivières en tresse

Les lits des rivières en tresses sont composés de mosaïques d'habitats aquatiques et terrestres en continuelle évolution au gré des crues, des assèchements, et du développement végétal. Si la distribution de la biodiversité aquatique commence à être mieux documentée et comprise au sein de cette mosaïque, notamment suite aux travaux réalisés dans le cadre de ce projet, la biodiversité des habitats terrestres du lit de ces rivières reste encore peu étudiée, et très mal comprise. De récentes études en particulier sur les rivières de l'Albarine (affluent de la rivière d'Ain) et les affluents de la Durance, ont mis en évidence que ces habitats terrestres étaient colonisés durablement par de nombreux groupes d'invertébrés terrestres. Toutefois, ces connaissances restent descriptives, fragmentaires et les variables qui contrôlent la colonisation de ces habitats terrestres par les invertébrés restent méconnues. Pourtant, au vu de la densité d'habitats terrestres prévalant dans les lits des rivières en tresse, cette biodiversité terrestre pourrait contribuer de manière très significative à la valeur « patrimoniale » de ces systèmes. De plus, l'assèchement estival complet du lit de certains de ces cours d'eau (ex, le Lez, le Petit Buech, l'Asse), qui va sans doute s'accroître dans les décennies à venir sous l'effet du réchauffement climatique et des besoins croissants en eau, plaident en faveur de meilleures connaissances et d'une meilleure compréhension de la distribution des invertébrés terrestres dans les cours d'eau en tresses.

B . PERSPECTIVES

1 . Objectif 1: Influence des écoulements hyporhéiques sur la diversité et la distribution des peuplements d'invertébrés

Il s'agira au cours de l'année 2012 :

- de finaliser l'analyse, la publication et la valorisation des résultats obtenus sur les 144 échantillons prélevés à une profondeur de 60 cm dans les sédiments ;
- de terminer le tri des échantillons collectés à une profondeur de 90 cm dans les sédiments afin d'analyser l'influence des écoulements hyporhéiques sur la distribution verticale de l'hyporhéos ;
- de mener au niveau spécifique l'identification de taxons focaux qui pourraient être utilisés comme des indicateurs ;

- d'analyser plus finement les liens entre écoulements hyporhéiques, température, matière organique et la richesse et l'abondance de l'hyporhéos.

2 . Objectif 2: Influence de la structure géomorphologique des rivières en tresse sur la diversité génétique des populations

La Figure 2.43 présente le plan d'échantillonnage qui sera mené en 2012 afin de tester l'hypothèse d'un isolement des populations dans les secteurs en tresses des zones de montagne. Au sein de chaque rivière, deux secteurs ont été définis: un corridor de plaine et un corridor de montagne. Des points d'échantillonnage équidistants (tous les 10km) ont été sélectionnés dans chacun de ces corridors, pour un total de 33 points d'échantillonnage (Figure 2.43).

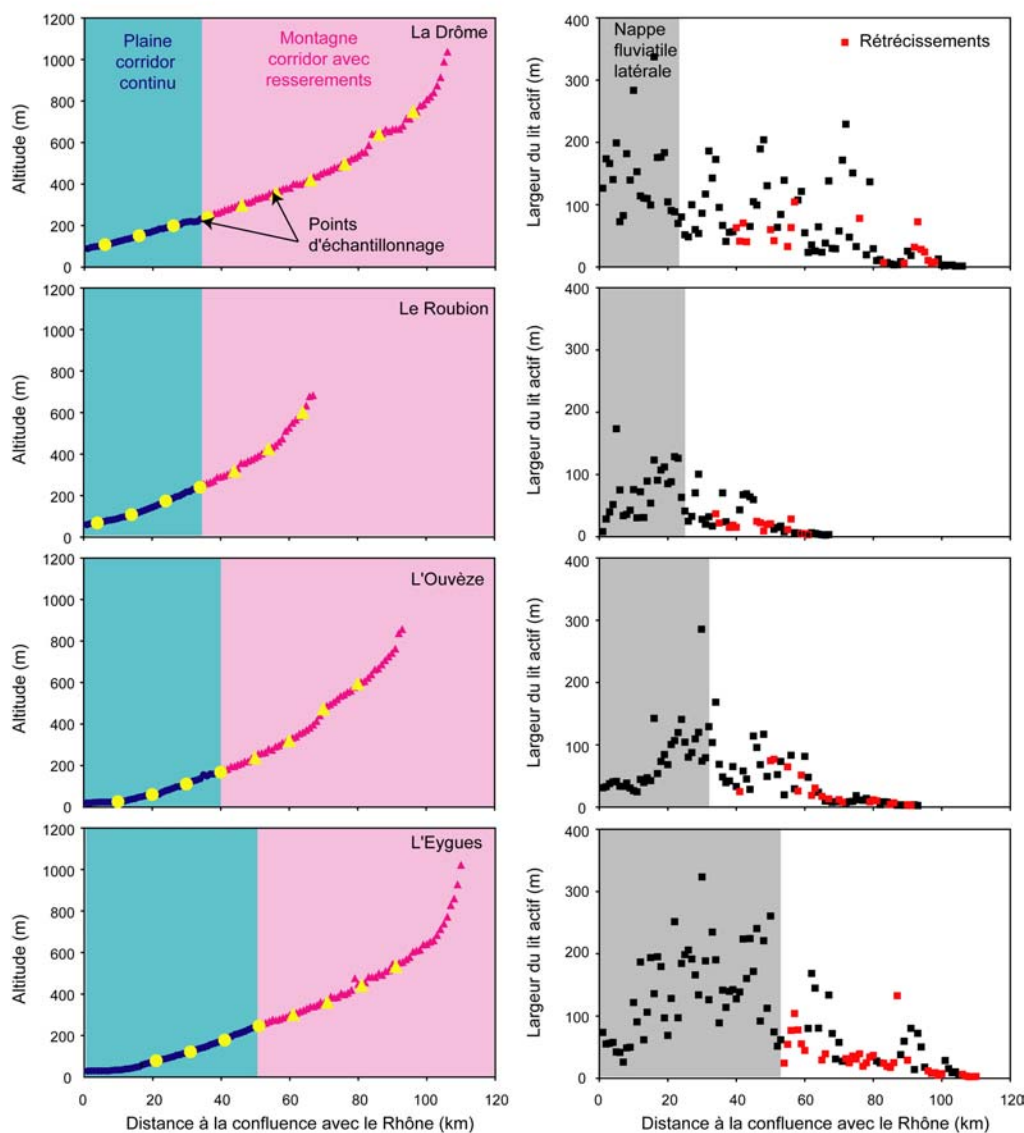


Figure 2.43. Plan d'échantillonnage pour l'étude de la diversité génétique des populations de l'isopode *Proasellus walteri* au sein des corridors fluviaux. Les ronds et les triangles jaunes représentent les points d'échantillonnage.

La différenciation génétique entre les populations sera appréhendée à partir de marqueurs moléculaires de type microsatellites. Il s'agit de séquences répétées du génome caractérisées par un

nombre variable de répétitions en tandem (2-5 paires de base). Les marqueurs microsatellites sont utilisés en raison de leurs nombreux avantages; leur polymorphisme est généralement élevé et il est possible de les amplifier à partir d'une faible quantité d'ADN. Les individus utilisés pour la création de la banque de marqueurs microsatellites proviendront d'un point "central" situé dans la zone de plaine de la rivière du Roubion. Ces individus qui seront prélevés sur 3 bancs de gravier distincts d'une même station seront également utilisés afin de vérifier que la diversité génétique au sein d'une même station est inférieure à la diversité génétique entre stations distantes. La banque microsatellite permettra d'extraire 24 marqueurs microsatellites, c'est à dire des loci variables et supposés neutres (non soumis à la sélection naturelle), qui seront utilisés afin de tester l'hypothèse d'un isolement génétique par la distance plus prononcé dans les corridors de montagne en raison des discontinuités sédimentaires. Au total, le plan d'échantillonnage (Figure 2.43) nécessitera une extraction d'ADN, deux amplifications et deux génotypages sur un total de 1056 individus.

3 . Objectif 3 : Influence de la dynamique des habitats sur la diversité des peuplements d'invertébrés terrestres des rivières en tresses

Les objectifs des études planifiées pour 2012 consisteront à : 1) mesurer la biodiversité sur les habitats terrestres du lit d'un cours d'eau en tresse, et 2) comprendre quelles variables contrôlent cette biodiversité. Nous supposons que l'âge des habitats, à travers leur fréquence de perturbation, ainsi que la distance à la source de colonisateurs (e.g. zone riparienne), sont les 2 facteurs prépondérants dans le contrôle de la distribution de la biodiversité terrestre des lits tressés. En terme finalisé, ce projet permettra de quantifier, pour la première fois en France, la biodiversité terrestre d'un lit de cours d'eau en tresse. Couplée aux précédentes mesures de biodiversité aquatique, cette mesure permettra de mieux définir la valeur patrimoniale des cours d'eau en tresses. D'autre part, les facteurs qui contrôlent cette biodiversité seront examinés, ce qui fournira éventuellement des « leviers » d'action (e.g. entretien du lit, etc...) aux gestionnaires dans les projets de gestion et de restauration des cours d'eau en tresses.

L'Asse, un affluent de la Durance, a été sélectionné pour cette étude. Cette rivière en tresses est en effet déjà bien étudiée tant d'un point de vue géomorphologique (travaux antérieurs du projet « rivière en tresse »), que biologique (travaux de Datry et al. dans le cadre d'un projet 2009-2011 soutenu par l'Agence). De plus, au cours de cette année, une collaboration entre l'UMR 5600 et l'équipe DYNAM, à travers le travail de M2 de Marion Geoffre, a permis de cartographier et de caractériser la mosaïque d'habitats terrestres sur 4 secteurs de l'Asse. En utilisant des séries de photos aériennes des années 2000, 2004, 2007 et 2011, une étude diachronique a été réalisée sur 4 secteurs répartis sur le tronçon en tresses de l'Asse, et l'évolution de la mosaïque d'habitats terrestres a été caractérisée sur cette période. Ce travail a permis d'obtenir des données précieuses permettant de sélectionner les habitats de manière à élaborer un plan d'échantillonnage solide et adapté au test de nos hypothèses.

Au sein des 4 secteurs (longueur ~500m) cartographiés, 6 habitats tripliqués seront sélectionnés de manière à tester de manière indépendante leur âge (3 modalités, jeunes < 2 ans, 2 < intermédiaires < 8, âgés > 10 ans) et la proximité à une source de colonisateurs (2 modalités, proche (connexe à la

source) / éloigné (distant de la source). Sur chacun de ces 18 habitats, une dizaine de pièges à faune (pitfalls) seront déployés durant 7 jours afin d'échantillonner les invertébrés terrestres. Au total, 180 échantillons seront donc ensuite triés, et la détermination des taxons sera menée au plus fin niveau taxonomique possible (genre ou espèce). Ce niveau de détermination permettra de chiffrer au mieux la biodiversité des habitats terrestres du lit de l'Asse, tout en testant les 2 hypothèses du projet.

A . CONCLUSIONS

Cette expérience nous a été utile pour approcher par un cas simple les effets du tri granulométrique à l'origine de morphologies particulières. Nous avons pu observer les différents effets de ce tri à court terme (pavage et dépavage de la tête des bancs) ou à long terme (deux morphologies bien différentes sous alimentation constante). Ce tri est aussi responsable de morphologie particulière et d'une surface de lit hétérogène. Les états différents de lit sont associés à des dynamiques sédimentaires distinctes. Nous chercherons dans l'expérience suivante à utiliser au mieux ces observations.

B . PERSPECTIVES

La suite de cette expérience est l'étude expérimentale de la mobilité des macroformes dans une rivière en tresses.

Le canal sera élargi à 1m de large, sur 6 m de long. Le mélange sédimentaire sera composé d'un sable d'une couleur orangée de diamètre compris entre 0.5 mm et 1.5 mm, et d'un sable grossier de couleur blanche de diamètre compris entre 1.5 mm et 3mm. Nous travaillerons dans des conditions hydro-sédimentaires telles que les similitudes du nombre de Froude et de Shields soient respectées.

La méthode de mesure envisagée est une méthode optique, la méthode dite de Moiré. Cette méthode est fondée sur la projection de franges sur un plan (Figure 3.44). Les franges projetées sont alors prises en photo. La déformation de ces franges est liée à la hauteur des éléments présents dans le plan (Figure 3.45).

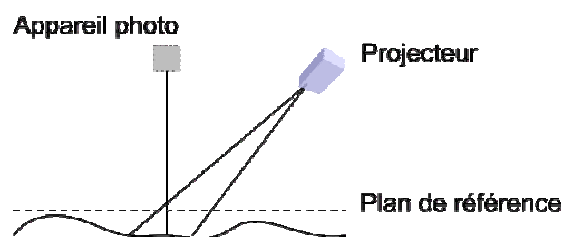


Figure 3.44. Principe de la méthode de Moiré.

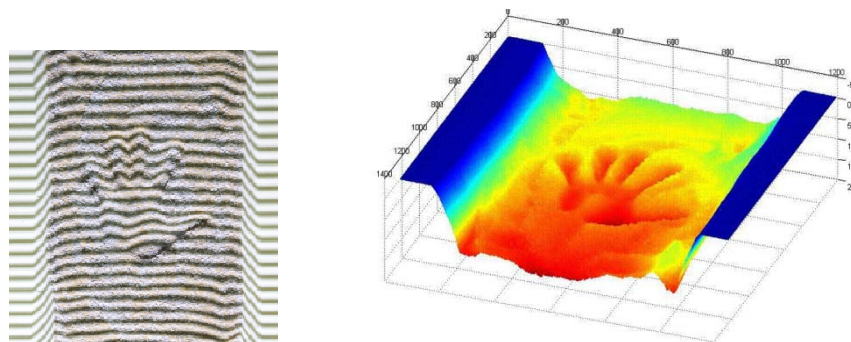


Figure 3.45. Exemple de résultat de la méthode de Moiré.

La vitesse de surface sera mesurée grâce à la technique PIV et la profondeur de l'eau par différentiel de MNT.

Les premières expériences seront réalisées à l'équilibre sédimentaire. Nous chercherons dans un premier temps à obtenir une tresse stable, sans tri granulométrique avec des matériaux quasi-uniformes. Les formes identifiées seront analysées et comparées à celles déjà décrites dans la littérature. Dans un second temps, elles comparées aux formes produites par la même expérience réalisée en granulométrie étendue.

Une deuxième série d'expériences sera consacrée aux formes associées aux tresses en situation de déséquilibre (érosion et aggradation).

Les paramètres mesurés (topographie), vitesse, hauteur d'eau, granulométrie pourront servir de base à la caractérisation la qualité des habitats associés aux différentes dynamiques sédimentaires d'une rivière en tresse.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 2.1. SCHEMATISATION DES ECOULEMENTS HYPORHEIQUES AUX ECHELLES KILOMETRIQUES ET HECTOMETRIQUES DANS DES BANDES DE TRESSAGE CONTRAINTEES ET NON CONTRAINTEES.	6
FIGURE 2.2. A - PHOTOGRAPHIE DE L'ISOPODE <i>PROASELLUS WALTERI</i> (TAILLE 3 MM). B - ATTENDUS SCIENTIFIQUES DANS LE CAS OU LES ZONES DE CANYON SEPARANT LES SECTEURS EN TRESSE OU LES ZONES INCISEES CONSTITUENT UN FREIN A LA DISPERSION DE CETTE ESPECE.	8
FIGURE 1.3. LOCALISATION DES TRONÇONS D'ETUDE.	13
FIGURE 1.4. DISTRIBUTION DES TRONÇONS AU SEIN DE 5 BASSINS HYDROGRAPHIQUES INTERESSES.	14
FIGURE 1.5. DISTRIBUTION DES PRINCIPAUX PARAMETRES GEOGRAPHIQUE CARACTERISANT L'ECHANTILLON (FDV_L, LARGEUR DU FOND DU VALLEE ; AC_L (<i>ACTIVE CHANNEL</i>), LARGEUR DE LA BANDE ACTIVE ; REACH_L, LONGUEUR DU TRONÇON ; BV, SURFACE DU BASSIN VERSANT).	15
FIGURE 1.6. EXEMPLE DE CLASSIFICATION : EN VERT LA FORET ; EN JAUNE CLAIR LA VEGETATION PIONNIERE ; EN JAUNE LES BANCS DE GALETS ; EN BLEU L'EAU.	19
FIGURE 1.7. A GAUCHE LA BANDE ACTIVE (AC, <i>ACTIVE CHANNEL</i>) ; A DROITE LA BANDE FLUVIALE (TA, <i>TOTAL CHANNEL AREA</i>).	19
FIGURE 1.8. REPRESENTATION DES ILES MATURES ET PIONNIERES.	20
FIGURE 2.9. REPRESENTATION DES 30 SECTEURS POTENTIELS (EN VERT) VISITES ET DES 12 SITES RETENUS ET ECHANTILLONNES (POINT BLEU : BANDE ACTIVE NON CONTRAINTE ; POINT ROUGE : BANDE ACTIVE CONTRAINTE) DANS LE CADRE DE L'ETUDE DE L'INFLUENCE DES ECOULEMENTS HYPORHEIQUES SUR LA DIVERSITE ET LA DISTRIBUTION DES PEUPELEMENTS D'INVERTEBRES (OBJECTIF 1)	21
FIGURE 2.10. A - PRELEVEMENT DE LA FAUNE HYPORHEIQUE PAR LA METHODE DE POMPAGE BOU-ROUCH ; B - MESURE DE LA DIFFERENCE DE CHARGE ENTRE LES EAUX DE SURFACE ET LES EAUX HYPORHEIQUES (ICI, UNE ZONE D'EXFILTRATION POTENTIELLE).	24
FIGURE 3.11. VUE DU CANAL EXPERIMENTAL.	28
FIGURE 3.12. GABARIT UTILISE POUR L'INDICE GRANULOMETRIQUE, ICI UN EXEMPLE DE CLASSE « MAX ».	29
FIGURE 4.13. LE DRONE DRELIO DEVANT LE TRONÇON DU BES DE LA DROME.	30
FIGURE 1.14. CARACTERISATION DES TRONÇONS EN FONCTION DES FACTEURS DE CONTROLE : A - DISTRIBUTION SPATIALE DES 6 TYPES HYDRO-GEOGRAPHIQUES DANS LE BASSIN DU RHONE ; B - CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES (ALTITUDES ET PENTE MOYENNES), HYDROLOGIQUES (F(Q), FREQUENCE DE DEPASSEMENT DU DEBIT JOURNALIER AU MOMENT DE L'OBSERVATION) ET SEDIMENTAIRES (W^* , LARGEUR DE LA BANDE ACTIVE NORMALISEE PAR LA TAILLE DU BASSIN VERSANT, PIEGAY ET AL., 2009) DE CHAQUE TYPE HYDRO-GEOGRAPHIQUE :	34
FIGURE 1.15. LES PARAMETRES CARACTERISANT LE PATRON DE CHENAUX : <i>PTTW</i> , TAUX DE TRESSAGE TOTAL ; <i>PTFW</i> , TAUX DE TRESSAGE ACTIF ; <i>AB DISTANCE TO CENTRELINE</i> , POSITION DE LA ZONE DE TRESSAGE ACTIVE (CHENAL PRINCIPAL ET SECONDAIRE) A L'INTERIEUR DE LA BANDE ACTIVE ; <i>PT RATIO</i> , RAPPORT ENTRE LE TAUX DE TRESSAGE TOTAL ET ACTIF.	35
FIGURE 1.16. LES PARAMETRES CARACTERISANT LES HABITATS AQUATIQUES. A GAUCHE, LA PROPORTION (%) DE CHAQUE HABITAT : MC, CHENAL PRINCIPAL ; SC, CHENAUX SECONDAIRES ; AL, CHENAUX ALLUVIAUX ; P, PLANS D'EAU. A DROITE L'INDICE DE DIVERSITE DE SHANNON CALCULE SUR LES HABITATS AQUATIQUES.	35
FIGURE 1.17. SCHEMA RECAPITULATIF DES PARAMETRES DECRIVANT LA MORPHOLOGIE EN PLAN DU TRESSAGE ET LES HABITATS AQUATIQUES EN RELATION AVEC LES FACTEURS HYDROGEOLOGIQUES ET SEDIMENTAIRES.	36

FIGURE 1.18. RELATION ENTRE L'INDICE DE DIVERSITE DE SHANNON (H') ET A) L'INDICE DE TRESSAGE TOTAL ET B) LA LARGEUR DE LA BANDE ACTIVE NORMALISEE ENTRE LES 6 TYPES HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUES.....	37
FIGURE 1.19. LES DONNEES CARACTERISTIQUES DU CORRIDOR FLUVIAL EN 1950 ET EN 2000 : A - LARGEUR DE LA BANDE ACTIVE (BA) EN METRES ; B - LARGEUR DE LA BANDE ACTIVE (BA) NORMALISEE PAR LA TAILLE DU BASSIN VERSANT (M/KM ^{0,4}) ; C - POURCENTAGE D'ILES BOISEES MATURES (%F/BF) A L'INTERIEUR DE LA BANDE FLUVIALE ; D - RAPPORT ENTRE LA BANDE ACTIVE ET BANDE FLUVIALE (% BA/BF).	38
FIGURE 1.20. EVOLUTION DE LA LARGEUR DE LA BANDE ACTIVE NORMALISEE ENTRE 1950 ET 2000.	39
FIGURE 1.21. EVOLUTION DE LA LARGEUR DE LA BANDE ACTIVE ENTRE 1950 ET 2000 EN %. EN BLEU, UNE RETRACTION. EN BLANC, UN ELARGISSEMENT. LA LIGNE ROUGE MATERIALISE LA LIMITE NORD-SUD OBSERVEE : PAS D'ELARGISSEMENT OBSERVE AU NORD DE CETTE LIGNE, AU SUD DES DYNAMIQUES PLUS CONTRASTEES... ..	40
FIGURE 1.22. CARTE DE LA REPARTITION SPATIALE DES EVOLUTIONS ALTIMETRIQUES OBSERVEES SUR UN SIECLE (LIEBAULT ET AL., 2010).	41
FIGURE 1.23. RELATION ENTRE L'EVOLUTION DE LA BANDE ACTIVE ENTRE 1950 ET 2000 (EN X) ET LA VARIATION DU PROFIL LONGITUDINAL AU COURS DU DERNIER SIECLE (EN Y) DES 32 TRONÇONS COMMUNS.	42
FIGURE 1.24. REPARTITION DES CRUES DECENNALES DANS LES 6 GROUPES RESULTANT DU CROISEMENT DES DONNEES D'EVOLUTION LATERALE ET VERTICALE.....	43
FIGURE 1.25. A - DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE DE LA PROPORTION DES ILES BOISEES MATURES A L'INTERIEUR DE LA BANDE FLUVIALE POUR LES TRONÇONS D'ETUDE. B CONDITIONS HYDROLOGIQUES CARACTERISANT LES 55 TRONÇONS : NOMBRE DE MOIS SEPARANT LE JOUR DE L'ACQUISITION DE LA DERNIERE CRUE MORPHOGENE (Q10). LES AXES X ET Y REPRESENTENT LES CORDONNEES N ET E KILOMETRIQUES.	44
FIGURE 1.26. A - EVOLUTION DU RAPPORT BA/BF ENTRE 1950 ET 2000. EN JAUNE LES SITES STABLES, EN ROUGE LES SITES EN DEVEGETALISATION ET EN VERT LES SITES EN VEGETALISATION. B - LISTE DE TRONÇONS EN VEGETALISATION, STABLES ET EN DEVEGETALISATION ; LA VARIATION EST EXPRIMEE EN POINTS %. C - LOCALISATION DES TRONÇONS DANS LA ZONE D'ETUDE. EN FONCTION DE LEUR TAUX DE VEGETALISATION	45
FIGURE 2.27. REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA MESURE DES EFFETS DES ECOULEMENTS HYPORHEIQUES A DEUX ECHELLES SPATIALES DISTINCTES : HECTOMETRIQUES (ECHELLE DU BANC DE GRAVIER) ET KILOMETRIQUE (ECHELLE DE LA PLAINE ALLUVIALE). CHAQUE CARRE ET SON ECART TYPE REPRESENTE LA MOYENNE DE 36 ECHANTILLONS COLLECTES SUR 12 SITES.	47
FIGURE 2.28. DIFFERENCES DE CHARGE, CONDUCTIVITE ELECTRIQUE, TEMPERATURE ET CONCENTRATION EN OXYGENE DISSOUS MESUREES DANS LES SEDIMENTS (PROFONDEUR : 60 CM) DES TETES DE BANCS DE GRAVIER (CARRES NOIRS, N=36) ET DES QUEUES DE BANCS DE GRAVIER (CARRES BLANCS, N=36) DANS LES BANDES ACTIVES CONTRAINTEES ET NON CONTRAINTEES.....	48
FIGURE 2.29. RICHESSE (3 PANNEAUX SUPERIEURS) ET ABONDANCE (3 PANNEAUX INFERIEURS) DES PEUPELEMENTS D'INVERTEBRES, DES TAXONS AQUATIQUES PERMANENTS ET DES EPT (EPHEMERES, PLECOPTERES ET TRICHOPTERES) DANS LES SEDIMENTS (PROFONDEUR : 60 CM) DES TETES DE BANCS DE GRAVIER (CARRES NOIRS, N=36) ET DES QUEUES DE BANCS DE GRAVIER (CARRES BLANCS, N=36) DANS LES BANDES ACTIVES CONTRAINTEES ET NON CONTRAINTEES.	49
FIGURE 2.30. DISTRIBUTION DE <i>PROASELLUS WALTERI</i> DANS LE COULOIR RHODANIEN ET LE BASSIN DE LA DURANCE. LES SITES FIGURES PAR DES TRIANGLES ET DES CARRES ONT ETE ECHANTILLONNES DANS LE CADRE DE CETTE ETUDE. LES SITES FIGURES PAR DES RONDS CORRESPONDENT A DES DONNEES ANTERIEURES.	50
FIGURE 2.31. A - ARBRE PHYLOGENETIQUE ETABLI SUR LA BASE DU GENE MITOCHODRIAL COI POUR L'ESPECE MORPHOLOGIQUE <i>PROASELLUS WALTERI</i> MONTRANT LA PRESENCE DE TROIS CLADES TRES DIVERGENTS (JAUNE, ROUGE ET VERT). B – DISTRIBUTION DE L'ESPECE MORPHOLOGIQUE <i>P. WALTERI</i> (TOUS LES POINTS) ET DE SES 3 CLADES (JAUNE, ROUGE ET VERT). LE CLADE 1 EST REPRESENTE EN JAUNE, LE CLADE 2 EN ROUGE ET LE CLADE 3 EN VERT, VOIR TEXTE PRINCIPAL). C – DIVERGENCE GENETIQUE POUR LE GENE COI AU SEIN DE <i>P.</i>	

WALTERI. LA BARRE ROUGE REPRESENTA LE SEUIL DE DIVERGENCE POUR LE COI (0.16) AU-DELA DUQUEL UNE ESPECE MORPHOLOGIQUE EST GENERALEMENT CONSIDERE COMME UN COMPLEXE D'ESPECES CRYPTIQUES NON SEPARÉES PAR LA SYSTEMATIQUE MORPHOLOGIQUE.	51
FIGURE 2.32. ARBRE PHYLOGENETIQUE ETABLI SUR LA BASE DU GENE MITOCHODRIAL 16S SELON LA METHODE DE RECONSTRUCTION PHYML ET UN MODELE GTR) POUR LES INDIVIDUS DE <i>PROASELLUS WALTERI</i> (EN ROUGE) DU COULOIR RHODANIEN (AU SUD DE LYON) ET LES INDIVIDUS DE <i>PROASELLUS SYNASELLOIDES</i> (EN BLEU) DU BASSIN VERSANT DE LA DURANCE.	52
FIGURE 3.33: FORMATION DE 4 BANCS ALTERNES.....	53
FIGURE 3.34. LIT PAVE AVEC BANCS IMMERGÉS	53
FIGURE 3.35. LIT DEPAVE, BANCS EMERGÉS.....	54
FIGURE 3.36. DEPLACEMENT DES BANCS	54
FIGURE 3.37. TRAJECTOIRES DIFFÉRENTES A LA SORTIE DES POOLS.	55
FIGURE 3.38. COMPOSITION HÉTÉROGÈNE D'UN BANC.....	55
FIGURE 3.39. COMPOSITION HÉTÉROGÈNE D'UN BANC DU BEOUX, DROME	55
FIGURE 3.40. ÉVOLUTION DU TRANSPORT SOLIDE ET DE L'ÉTAT DU LIT.....	56
FIGURE 3.41. ÉVOLUTION DE LA LARGEUR ET DE L'ÉTAT DU LIT.	56
FIGURE 4.42. CARTE THERMIQUE DU TRONÇON DE LA DROME (9 JUIN 2010).	57
FIGURE 2.43. PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE POUR L'ÉTUDE DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE DES POPULATIONS DE L'ISOPODE <i>PROASELLUS WALTERI</i> AU SEIN DES CORRIDORS FLUVIAUX. LES ROUNDS ET LES TRIANGLES JAUNES REPRESENTENT LES POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE.	63
FIGURE 3.44. PRINCIPE DE LA METHODE DE MOIRE.....	66
FIGURE 3.45. EXEMPLE DE RESULTAT DE LA METHODE DE MOIRE.....	66

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 2.1. CODE, NOM ET COORDONNÉES (LAMBERT II ÉTENDU) DES 12 SITES ÉCHANTILLONNÉS DANS LE CADRE DE L'ÉTUDE DE L'INFLUENCE DES ÉCOULEMENTS HYPORHEIQUES SUR LA DIVERSITÉ ET LA DISTRIBUTION DES PEUPELEMENTS D'INVERTEBRÉS (OBJECTIF 1).....	22
TABLEAU 2.2. SÉQUENCES DES AMORCES UTILISÉES POUR LES PCR ET LE SÉQUENÇAGE DES TROIS GÈNES.	27
TABLEAU 2.3. PARAMÉTRAGE DES CYCLES DE PCR POUR LES TROIS GÈNES D'INTÉRÊT.	27
TABLEAU 1.4. ÉVOLUTION LATÉRALE (DE LA LARGEUR DE LA BA ENTRE 1950 ET 2000, EN LIGNE) ET VERTICALE (DES PROFILS LONGITUDINAUX SUR 100 ANS, EN COLONNE), DES 32 TRONÇONS COMMUNS AUX 2 ÉTUDES. LES CLASSES SONT DÉFINIES ARBITRAIREMENT.	43

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

“Caractérisation des habitats et du paysage riverain”

Alber A, Piégay, H (2010). Disaggregation and aggregation procedures for characterizing spatial structures of fluvial networks: applications to the Rhone Basin (France). *Geomorphology* 125(3):343-360

Barbier AM (2006). Elaboration de méthodologies innovantes dans traitements des données satellitales dans un cadre agro-environnemental. Unpublished master thesis, SIGMA, ENSAT, Toulouse. 73 pp.

Belletti B, Dufour S Piégay H (soumis). Regional variability of aquatic pattern in braided reaches (example of the French Rhone basin)

Belletti B, Hervouet A, Dufour S, Piégay H (2010) ; Caractérisation de la structure planimétrique du corridor fluvial. Dans: Piégay H, Belletti B, Liébault F (2010). Typologie de rivières en tresses du bassin RMC. Rapport de l'année 1, 105 pp.

Hervouet A, Dunford R, Piégay H, Belletti B, Trémélo ML (2010) Analysis of Post-flood Recruitment Patterns in Braided-Channel Rivers at Multiple Scales Based on an Image Series Collected by Unmanned Aerial Vehicles, Ultra-light Aerial Vehicles, and Satellites. *GIScience & Remote Sensing*, 48-1, 50–73

Lejot J (2008). Suivi des formes fluviales par télédétection à très haute résolution. Application aux programmes de restauration de la basse vallée de l'Ain et du Haut-Rhône (Chautagne). Thèse de doctorat. Université de Lyon 2, 257 pp.

Liébault F, Cassel M, Jantzi H, Tacon S, Talaska N (2010). Régime sédimentaire et morphologie des rivières en tresses Alpines et Méditerranéennes. Dans: Piégay H, Belletti B, Liébault F (2010). Typologie de rivières en tresses du bassin RMC. Rapport de l'année 1, 105 pp.

Piégay H, Alber A, Slater L, Bourdin L (2009). Census and typology of braided rivers in French Alps. *Aquatic Sciences* 71:371-388

Slater L (2007). Caractérisation des rivières en tresses françaises. Mémoire de Master 2. Université de Lyon 2, 53 pp.

Toone J (2009). Geomorphological discontinuities and ecological organisation: a case study of the River Drome. Unpublished thesis, 288 pp.

Wiederkehr E, Dufour S, Piégay H (2008). Action n. B12 - Suivi physique et biologique des rivières en tresses. Agence de l'eau RMC-ZABR. Rapport non publié, 44 pp.

“Communautés d'invertébrées”

Capderrey C, Malard F, Datry T, Douady C (2011). Testing the effect of hyporheic flow paths on the distribution of the hyporheos in braided rivers. Rhode Island, USA, 22-26 mai 22

“Etude expérimentale”

Ashmore PE (1988). "Bed load transport in braided gravel-bed stream models." *Earth Surface and Processes and Landforms* 13: 677-695

Hoey T (1992). "Temporal variations in bedload transport rates and sediment storage in gravel-bed rivers." *Progress in Physical Geography* 16(3): 319-338

Lisle TE, Ikeda H, Iseya F (1991). "Formation of stationary alternate bars in a steep channel with mixed- size sediment: a flume experiment." *Earth Surface Processes & Landforms* 16(5): 463-469

Recking A, Frey P, Paquier A, Belleudy P (2009). "An experimental investigation of mechanisms involved in bed load sheet production and migration." *Journal of Geophysical Research B: Solid Earth* 114(3): F03010

“Thermie ”

Acuna V, Tockner K (2009). Surface-subsurface water exchange rates along alluvial river reaches control the thermal patterns in an Alpine river network. *Freshwater Biology* 54, 306-320

Arscott DB, Tockner K, Ward JV (2001). Thermal heterogeneity along a braided floodplain river (Tagliamento River, northeastern Italy). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58, 2359-2373

Caissie D (2006). The thermal regime of rivers: a review. *Freshwater Biology*, 51, 1389-1406

Karaus U, Alder L, Tockner K (2005). “Concave Islands”: Habitat Heterogeneity of Parafluvial Ponds in a Gravel-bed River. *Wetlands*, 25, 26-37

Malard F, Tockner K, Dole-Olivier MJ, Ward JV (2002). A landscape perspective of surface-subsurface hydrological exchanges in river corridors. *Freshwater Biology* 47, 621-640

Mosley, M. P. (1983). Variability of water temperatures in the braided Ashley and Rakaia rivers. *New Zealand journal of Marine and Freshwater Research*, 17, 331-342

Poole GC, Berman CH (2001). An Ecological Perspective on In-Stream Temperature: Natural Heat Dynamics and Mechanisms of Human-caused Thermal Degradation. *Environmental Management* 24(6), 787-802

Torgersen CE, Faux RN, McIntosh BA, Poage NJ, Norton DJ (2001). Airborne thermal remote sensing for water temperature assessment in rivers and streams. *Remote Sensing of Environment*, 76(3), 386-398

Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW, Sedell JR, Cushing CE (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 13

ANNEXES

Annexe I : « Liste de sites d'études propres à chaque volet »

Annexe II : « Récapitulatif des caractéristiques des photos aériennes récentes et anciennes utilisées dans l'étude diachronique »

Annexe III : « Liste de clichés sélectionnés pour l'analyse multi-temporelle sur 12 sites »

Annexe I : « Liste de sites d'études propres à chaque volet »

ID	Zone Géographique	Nom	Localité	Département	Trajectoires (Année 1)	Habitats (12 sites)	Thermie	Communauté
3	Alpes Int.	Arvan	Saint-Jean-de-Maurienne	73 - Savoie	X			
11	Alpes Int.	Drac_am	Buissard	05 - hautes - alpes	X			
12	Alpes Int.	Drac_middle	Chauffayer	05 - hautes - alpes				
13	Alpes Int.	Drac_noir	Orcières	05 - hautes - alpes			X	
17	Alpes Int.	Durance_A	Saint-Crépin	05 - hautes - alpes				
29	Alpes Int.	Romanche	La Grave €	05 - hautes - alpes				
31	Alpes Int.	Seveirasse	Saint-Firmin	05 - hautes - alpes	X			
35	Alpes Int.	Vanson	Sourribes (N)	04 - alpes-de-haute-provence	X			X
37	Alpes Int.	Veneon	LeBourg-d'Oisans	38 - Isere	X		X	
2	Alpes N	Arrondine	La Giétaz	73 - Savoie	X			
14	Alpes N	Dranse	Essert-Romand	74 - haute savoie	X	X		
19	Alpes N	Fier	Dingy-Saint-Clair	74 - haute savoie	X	X		
39	Alpes N	Arve_dis	Bonneville	74 - haute savoie		X		
49	Alpes N	Giffre	Taninges	74 - haute savoie	X	X		
6	Pro-glaciaires	Averole	Bessans (SE)	73 - Savoie		X		
7	Pro-glaciaires	Bans	Entre-les-Aigues (W Vallouise)	05 - hautes - alpes		X	X	
20	Pro-glaciaires	Fournel	L'Argentière-la-Bessée (W)	05 - hautes - alpes				
33	Pro-glaciaires	Tinee	Saint-Etienne-de-Tinée (N)	06 - Alpes Maritimes	X	X		
4	Alpes SE	Asse_BM	Mézel (S)	04 - alpes-de-haute-provence	X	X		
5	Alpes SE	Asse_av	Brunet	04 - alpes-de-haute-provence	X	X		
8	Alpes SE	Bes_Bl	Les Isnards (N)	04 - alpes-de-haute-provence	X	X		X
9	Alpes SE	Bleone_am	Marcoux	04 - alpes-de-haute-provence	X			X
10	Alpes SE	Buech_L	Sisteron	04 - alpes-de-haute-provence	X	X		X
21	Alpes SE	Jabron_2	Noyers-dur-Jabron	04 - alpes-de-haute-provence	X			X
22	Alpes SE	Jabron_3	Trigance	83 - Var				
25	Alpes SE	Meougue	Lachau	26 - Drome				
28	Alpes SE	PetitBuech	Veynes (N Serres)	05 - hautes - alpes	X			X
30	Alpes SE	Sasse	Valernes	04 - alpes-de-haute-provence	X			X
34	Alpes SE	TrtDeMaraise	Le Saix (N Serres)	05 - hautes - alpes				
36	Alpes SE	Var	Guillaumes (S)	06 - Alpes Maritimes	X			

38	Alpes SE	Verdon	Saint-André-les-Alpes	04 - alpes-de-haute-provence	X			
40	Alpes SE	Asse_Blieux	Senez	04 - alpes-de-haute-provence	X		X	X
41	Alpes SE	Buech_dis	Aspremont (N Serres)	05 - hautes - alpes				X
42	Alpes SE	Buech_A	Sisteron	04 - alpes-de-haute-provence	X	X	X	X
47	Alpes SE	Bleone_av	Le Chaffaut-Saint-Jurson	04 - alpes-de-haute-provence	X		X	X
50	Alpes SE	Verdon_dis	Beauvezer	04 - alpes-de-haute-provence				
53	Alpes SE	Ubaye	Barcelonnette	04 - alpes-de-haute-provence	X			
1	Alpes SO	Ardeche	Aubenas	07 - Ardèche				
15	Alpes SO	Drome_dis	Luc-en-Diois	26 - Drome	X			X
16	Alpes SO	Drome_LenD	Aix-en-Diois	26 - Drome	X	X		X
18	Alpes SO	Escoutay	Viviers	07 - Ardèche				
23	Alpes SO	Lez_A	La Paillette (Montjoux)	05 - hautes - alpes				X
24	Alpes SO	Lez_L	Roche-Saint-Secret-Béconne	26 - Drome				X
26	Alpes SO	Ouveze_am	Saint-Marcellin-lès-Vaison	84 - Vaucluse				X
27	Alpes SO	Ouveze_av	Vacqueyras	05 - hautes - alpes				
32	Alpes SO	Sure	Saint-Etienne-en-Quint	26 - Drome				
43	Alpes SO	Eygues_milieu	Mirabel-Aux-Baroniers	26 - Drome		X		X
44	Alpes SO	Eygues_R	Verclause	26 - Drome	X			X
45	Alpes SO	Roubion	Saint-Gervais-sur-Roubion	26 - Drome	X	X		X
46	Alpes SO	Aigue_C	Travaillan	84 - Vaucluse	X		X	
48	Alpes SO	Drome_Liv	Livron	26 - Drome	X		X	X
51	Alpes SO	Bes_Dr	Saint-Roman (Chatillon-en-Diois)	26 - Drome	X		X	
52	Alpes SO	Durance_O	Cavaillon	84 - Vaucluse	X			

Annexe II : « Récapitulatif des caractéristiques des photos aériennes récentes et anciennes utilisées dans l'étude diachronique »

Nom	Photos aériennes N & B 1950		Orthophotos 2000	
	Date	Echelle	Date	Résolution
Aigue_C	1947	1:25000	07/05/2005	0,5 m
Ardèche	1947	1:25000	20/05/2002	0,5 m
Arrondine	1952	1:25000	21/09/2006	0,5 m
Arvan	1948	1:30000	21/09/2006	0,5 m
Arve_dis	1952	1:25000	26/06/2004	0,5 m
Asse_av	1950	1:25000	15/07/2004	0,5 m
Asse_Blieux	1953	1:25000	02/07/2004	0,5 m
Asse_BM	1953	1:25000	16/07/2004	0,5 m
Avérole	1953	1:25000	31/08/2006	0,5 m
Bans	1952	1:25000	05/07/2003	0,5 m
Bès_Bl	1956	1:25000	27/06/2004	0,5 m
Bès_Dr	1956	1:25000	13/06/2006	0,5 m
Bléone_av	1953	1:25000	18/07/2004	0,5 m
Bléone_am	1956	1:25000	27/06/2004	0,5 m
Buëch_A	1956	1:25000	06/07/2003	0,5 m
Buëch_dis	1956	1:25000	06/07/2003	0,5 m
Buëch_L	1956	1:25000	06/07/2003	0,5 m
Drac_am	1952	1:25000	18/07/2003	0,5 m
Drac_middle	1952	1:30000	18/07/2003	0,5 m
Drac_noir	1961	1:25000	18/07/2003	0,5 m
Dranse	1952	1:25000	26/06/2004	0,5 m
Drôme_Liv	1969	1:15000	13/06/2006	0,5 m
Drôme_dis	1956	1:25000	13/06/2006	0,5 m
Drôme_LenD	1956	1:25000	13/06/2006	0,5 m
Durance_A	1948	1:30000	18/07/2003	0,5 m
Durance_O	1955	1:50000	05/05/2005	0,5 m
Escoutay	1961	1:25000	19/05/2002	0,5 m
Eygues_milieu	1947	1:25000	15/06/2006	0,5 m
Eygues_R	1948	1:32000	13/06/2006	0,5 m
Fier	1948	1:30000	26/06/2004	0,5 m
Fournel	1956	1:25000	18/07/2003	0,5 m
Giffre	1952	1:25000	04/07/2004	0,5 m
Jabron_2	1956	1:25000	03/07/2004	0,5 m
Jabron_3	1962	1:25000	15/05/2003	0,5 m
Lez_A	1948	1:30000	14/06/2006	0,5 m
Lez_L	1948	1:30000	15/06/2006	0,5 m
Méouge	1948	1:28000	14/06/2006	0,5 m
Ouvèze	1950	1:28000	06/05/2005	0,5 m
Ouvèze_av	1947	1:25000	06/05/2005	0,5 m
PetitBuëch	1956	1:25000	06/07/2003	0,5 m
Romanche	1960	1:25000	02/08/2003	0,5 m
Roubion	1946	1:20000	13/06/2006	0,5 m
Sasse	1956	1:25000	15/07/2004	0,5 m
Séveraisse	1952	1:30000	18/07/2003	0,5 m
Sure	1948	1:28000	13/06/2006	0,5 m
Tinée	1956	1:25000	10/06/2004	0,5 m
TrtDeMaraise	1956	1:25000	06/07/2003	0,5 m
Ubaye	1948	1:30000	17/07/2004	0,5 m
Vanson	1948	1:28000	29/06/2004	0,5 m

Var	1948	1:35000	24/06/2004	0,5 m
Vénéon	1948	1:32000	02/08/2003	0,5 m
Verdon	1948	1:35000	02/07/2004	0,5 m
Verdon_dis	1948	1:30000	02/07/2004	0,5 m

Annexe III : « Liste de clichés sélectionnés pour l'analyse multi-temporelle sur 12 sites »

Site	Année	Année	Année
Arve_dis	1961	1973	1984
Asse_BM	1974	1993	2000
Averole	1980	1988	1994
Bans	1980	1988	1993
Bes_BI	1974	1982	1995
Buech_A	1971	1981	1993
Dranse	1974	1984	1993
Drome_LenD	1970	1991	1996
Eygues_milieu	1972	1988	1996
Fier	1968	1984	1990
Giffre	1974	1984	1993
Roubion	1972	1991	1996
Tinee	1978	1983	1995