UFR Sciences et Technologies
Université Paul Sabatier – Toulouse III
Master 1 Écologie 2010-2011

Stage réalisé du 14 Juin au 31 Août 2011
Sous la direction de Mme Bénédicte Prouff
Fédération du Tarn pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
3 et 5 rue des Jardins Neufs – 81100 CASTRES
BRU Émilie

Détermination des facteurs liés à l'habitat des cours d'eau jouant un rôle sur la répartition géographique des différentes espèces d'écrevisses *Austropotamobius pallipes* et *Pacifastacus leniusculus* sur le bassin versant du Haut Agoût

Pacifastacus leniusculus
Écrevisse signal, de Californie

Austropotamobius pallipes
Écrevisse à pattes blanches

REMERCIEMENTS

Je remercie M. Didier Rey pour son accord concernant cette étude sur les écrevisses.

Je tiens évidemment à remercier Bénédicte Prouff pour m'avoir accordé ce stage de trois mois au sein de la Fédération, ainsi que pour ses conseils et son aide.

La réalisation de cette étude n'a pu se faire dans la bonne humeur que grâce à toute l'équipe présente à la Fédération, notamment Antonio Delgado, Nathalie Toscanes et Baya Silem.

Je remercie les agents et anciens agents de l'ONEMA pour m'avoir énormément aidé lors des prospections de nuit où j'ai appris beaucoup de choses malgré quelques chutes mémorables dans l'eau.

Enfin, j'adresse mes remerciements à tous les propriétaires de terrains qui m'ont laissé passer et avec qui j'ai pu discuter certains jours lors de mes prospections.

RÉSUMÉ

L'écrevisse à pattes blanches *Austropotamobius pallipes* (espèce autochtone) est présente dans certains cours d'eau de notre département. Mais leur régression est observée depuis plusieurs années, alors qu'au contraire l'écrevisse signal *Pacifastacus leniusculus* (espèce allochtone invasive) est de plus en plus rencontrée par les pêcheurs. Sur le bassin versant du Haut Agoût, la répartition précise de ces deux espèces n'est pas tout à fait connue, et les causes de régression de l'espèce autochtone restent encore assez floues. C'est pour cela que cette étude est menée. Elle a pour objectif de déterminer les liens possibles entre la répartition géographique des espèces et la qualité de l'eau et de l'habitat. Bien entendu, selon les résultats, si d'autres facteurs complémentaires entrent en jeu, ils seront pris en considération dans les analyses. À plus long terme, le but est de sauvegarder l'écrevisse à pattes blanches en protégeant les habitats concernés ainsi qu'en restaurant les milieux les plus dégradés si cela est encore possible.

Cet objectif ne peut être atteint que si les aires de répartition des espèces sont connues. C'est pour cela que dans un premier temps, des prospections de jours à la balance et de nuits à la lampe ont été effectuées. Pour tenter de trouver un lien entre la qualité de l'habitat et ces distributions, des stations ont été définies au sein du bassin versant de l'Agoût supérieur . Pour chacune d'entre elles, de nombreux paramètres ont été mesurés (au moyen d'analyses physico-chimiques de l'eau, indices de qualité d'habitat, photographies) afin d'obtenir une caractérisation des plus précises. De plus, les populations de *P.leniusculus* sont décrites et caractérisées grâce à la méthode de Capture Marquage Recapture de Petersen et à l'aide de mesures biométriques.

L'espèce autochtone reste la plupart du temps en tête de bassin de petits ruisseaux tandis que l'aire de répartition de l'espèce allochtone est beaucoup plus étendue. La majeure partie des linéaires est occupée par *P.leniusculus.* Les populations retrouvées ont des densités variables entre cours d'eau, mais elles sont tout de même encore les plus nombreuses sur le cours d'eau principal : l'Agoût. Après analyses, certaines variables (notamment physico-chimiques et physiques) permettraient de distinguer les sites à *A.pallipes* de ceux à *P.leniusculus*.

Cette étude fait suite à un travail similaire effectué l'an dernier sur le bassin versant voisin du Gijou. Certaines conclusions après analyses sont similaires : pour le bassin versant du Haut Agoût, la qualité de l'habitat ne semble pas encore être un facteur limitant à la répartition des espèces. Mais grâce à l'étude de nouveaux paramètres, il est apparu qu'à des échelles stationnelles, l'état des micro-habitats peut quant à lui agir directement sur les écrevisses. Les populations sont donc à surveiller régulièrement le long des linéaires, tout comme les activités humaines qui peuvent impacter le milieu. En fonction de l'évolution de la qualité des milieux, des plans de restauration pourront être envisagés.

SOMMAIRE

Introduction…… 4

Matériel et Méthodes …… 5

Le site d'étude : le bassin versant du Haut Agoût …….. 5

Matériel biologique : *Austropotamobius pallipes* et *Pacifastacus leniusculus*…… 6

Estimation du linéaire colonisé par prospections ……... 9

Caractérisation des populations d'écrevisses …….. 10

Qualité des cours d'eau ……... 10

Analyses des données …….. 11

Résultats ……. 12

Estimation du linéaire colonisé à l'échelle du bassin versant du Haut Agoût …… 12

Caractérisation du lien entre la présence/absence des écrevisses
et la qualité des cours d'eau …… 13

Description et caractérisation des populations de *Pacifastacus leniusculus* …….. 21

État sanitaire des populations de *Pacifastacus leniusculus* ……... 26

Habitats colonisés préférentiellement par *Pacifastacus leniusculus* …… 26

Caractérisation et évolution des populations d'*Austropotamobius pallipes* ……... 28

Discussion ……... 29

Conclusion …….. 34

Bibliographie …….. 35

Annexes …….. 37

INTRODUCTION

Les milieux réellement naturels et préservés de toute activité humaine n'existent aujourd'hui pratiquement plus. Les phénomènes d'anthropisation sont croissants et menacent toujours plus les écosystèmes et leur fonctionnement. L'eau représente le réceptacle final de toutes les pollutions, quelles soient physiques, chimiques ou organiques (Alonso Aguilar Ibarra, 2004). Ainsi, les cours d'eau de nos régions n'y échappent pas, tout comme leur environnement direct : berges, ripisylve … Ces rivières et ruisseaux abritent pourtant des écosystèmes spécifiques, avec des chaînes alimentaires structurées contribuant au bon fonctionnement du milieu aquatique. La biodiversité qui y existe doit être préservée.

Les écrevisses font partie de tous ces organismes, parmi lesquelles deux espèces sont au centre de nombreuses études depuis quelques années : *Pacifastacus leniusculus* et *Austropotamobius pallipes*. L'espèce *P.leniusculus*, américaine, appelée écrevisse signal (ou de Californie), introduite dans les années 1970, est en constante augmentation dans les cours d'eau en France, et son aire de répartition ne fait que s'agrandir chaque année. Les conditions lui ayant été favorables, cette nouvelle espèce lors de son introduction a envahi les milieux de façon explosive en profitant de l'abondance de nourriture, de la présence de nombreux abris ainsi que de la faiblesse de prédation (Dubois J. P. et al, 2006). Ces écrevisses sont donc qualifiées d'invasives et nécessitent un suivi régulier dans le but de trouver des solutions de régulation et/ou d'extermination lorsque le milieu est menacé. En effet, en plus des phénomènes anthropiques perturbant beaucoup les milieux, la présence de cette espèce a été un des facteurs de déclin d'une espèce d'écrevisse autochtone : *Austropotamobius pallipes*, touchée de plein fouet par une combinaison de plusieurs perturbations.

Cette écrevisse à pattes blanches de nos régions est en régression en France, et on la retrouve surtout en tête de bassin (Trouilhé M. C. et al, 2003). Pour comprendre sa distribution et son aire de répartition, il est alors essentiel de se pencher sur ses exigences vis-à-vis de la qualité de l'eau (physico-chimie), mais aussi vis à vis des habitats qu'elle colonise (à plusieurs échelles : hydromorphologie des cours d'eau, micro-habitats utilisés, composition en substrats…). Dans certaines régions, les causes de régression de cette espèce sont connues : il s'agit soit de la dégradation des milieux par l'Homme et ses activités (diminuant ainsi la qualité de l'eau et des habitats), soit de maladies comme la peste de l'écrevisse (aphanomycose) transmises par les espèces exotiques porteuses saines (Collas M. et al, 2008). Que ce soit l'une ou l'autre des raisons, *Austropotamobius pallipes* est touchée. Des solutions sont recherchées en fonction des régions et des problèmes rencontrés pour tenter de sauvegarder au maximum cette espèce patrimoniale.

Notre région et les cours d'eau tarnais sont également touchés par ces perturbations. Les deux espèces d'écrevisses y sont observées mais leur distribution n'est pas encore totalement connue, l'ensemble des linéaires étant difficile à étudier. Les populations d'*A.pallipes* sont effectivement en régression sur certains cours d'eau du bassin versant du Haut Agoût d'après les observations de l'ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques) mais les réelles causes de ce phénomène sont encore mal connues. C'est pour cela que la Fédération du Tarn pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique mène ce travail. Il fait d'ailleurs suite à une première étude réalisée l'année dernière sur le bassin versant du Gijou. Le but principal est d'essayer de trouver les facteurs liés à l'habitat des cours d'eau jouant un rôle sur la répartition des espèces d'écrevisses, autochtones ou allochtones. Tous les facteurs pouvant expliquer la distribution des espèces sont importants, l'objectif final est donc de relier la qualité de l'habitat et de l'eau avec la répartition de ces deux espèces. La ou les causes de régression d'*Austropotamobius pallipes* ainsi que celles de l'augmentation de *Pacifastacus leniusculus* pourraient alors être dégagées.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le bassin versant du Haut Agoût :

L'étude prévue en cette année 2011 s'intéresse au bassin versant de l'Agoût supérieur (Figure 1). L'agoût est une rivière du sud de la France qui prend sa source près de la ferme du Rec d'Agoût dans les monts de l'Espinouse (département de l'Hérault) pour se jeter dans le Tarn au niveau de Saint-Sulpice (www.bassin-agout.fr). Son parcours s'étend d'est en ouest, et sa longueur totale est de 194 kilomètres. Le bassin versant de l'Agoût a une superficie d'environ 3528 km². Pour cette étude nous nous cantonnerons au bassin de l'Agoût supérieur.

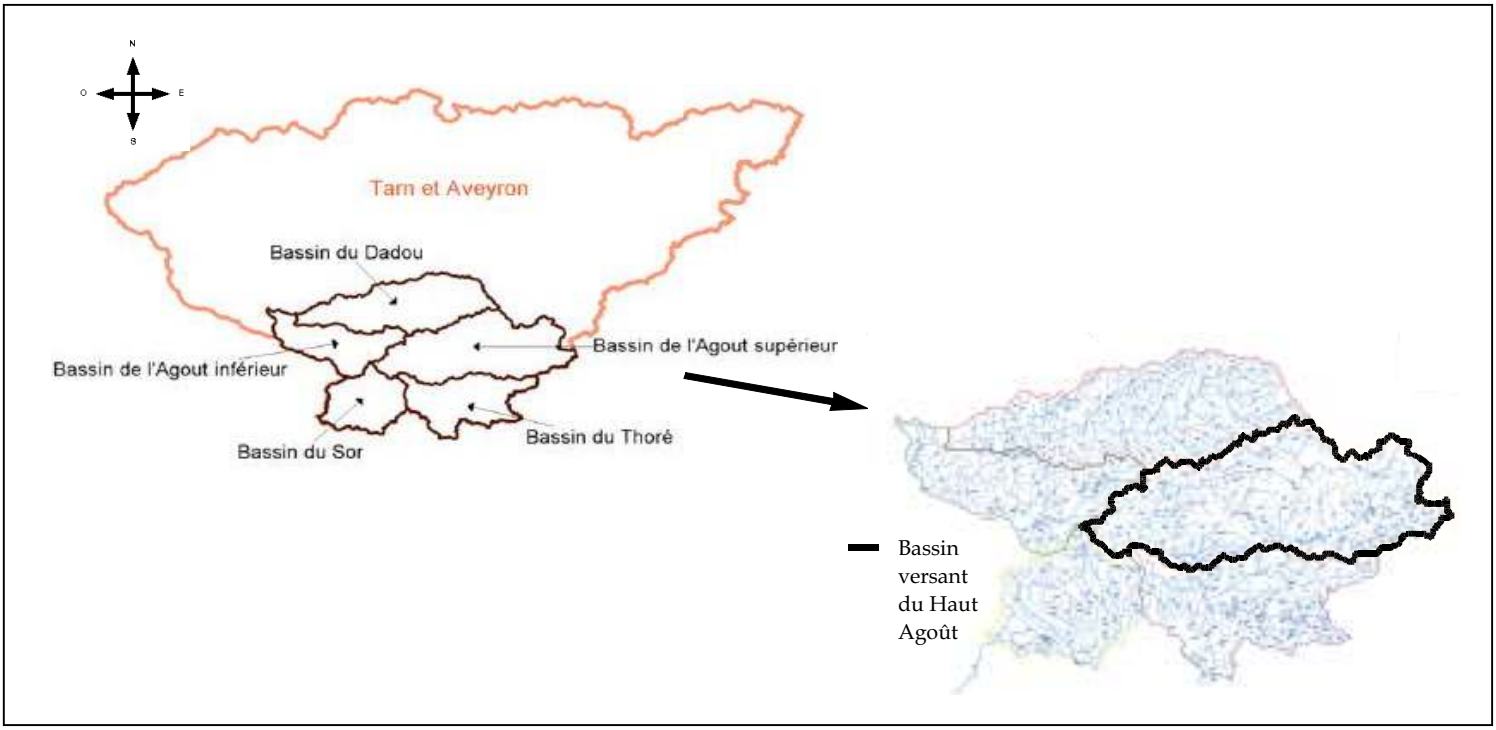


Figure 1 : Carte de présentation du site d'étude : le bassin versant du Haut Agoût.

Tout comme l'an passé sur le Gijou, l'étude n'est pas réalisée sur la totalité du bassin versant du Haut Agoût, principalement par manque de temps et de personnel. La zone d'étude englobe une partie de l'Agoût ainsi que la majorité de ses affluents, classés en première catégorie piscicole. Le site s'étend, pour l'Agoût, de sa confluence avec le Gijou jusqu'au lac de la Raviège (un linéaire d'environ 26 km). Les affluents de l'Agoût inclus dans cette zone (rives gauche et droite) sont donc également pris en compte. La totalité des affluents ne peut pas être étudiée, mais la plupart d'entre eux sont tout de même concernés (Tableau 1).

Cours d'eau	Longueur (km)	Abréviation utilisée
Agoût	26	A
Agrès	12,5	Ag
Cassayre (Viala)	1,4	Vi
Costo Laxo	4	C
Fabres	2,3	Fa
Falcou	9	F

Ferralde	3,3	Fe
Gimbrarié	2,4	G
Gobert	1	Go
Jouclas (Lauthade)	1,1	J
Rec Del Mouli	1,5	R
Teillouse	7	Te
Terral	4,9	Ta
Tine	3,2	Ti
Verdier	3,3	Vd
Vernoubre	10,1	V
Total de linéaire étudié :	**94,2**	

Tableau 1 : Longueur (km) et abréviations utilisées des cours d'eau étudiés (adour-garonne-eaufrance.fr et openrunner.fr).

Le cours d'eau Agoût est soumis à un régime pluvio-nival océanique et méditerranéen. Il se caractérise par une période de basses eaux en été (de mi-juin à mi-octobre) ainsi que par des débits beaucoup plus importants et des hautes eaux en hiver et au printemps (de décembre à avril). Les débits sont très perturbés par la présence des centrales hydro-électriques : de fortes variations sont subies, parfois très brutales.

L'occupation des sols au sein du site d'étude est variable (annexe 1) : une grande surface est occupée par des forêts ou des zones arbustives. On retrouve aussi de nombreuses aires agricoles hétérogènes : cultures mais notamment élevages ovin et bovin avec de nombreux prés en bord de cours d'eau. La zone d'étude est d'ailleurs qualifiée par le syndicat mixte du Bassin de l'Agoût de zone de vigilance de pollutions diffuses par l'élevage (SMBgout, avril 2010). Le linéaire en question traverse certaines agglomérations, dont la principale est la ville de Brassac. Tous ces éléments vont être déterminants dans la description et la caractérisation des habitats en bord de cours d'eau : en effet, ils pourront probablement être à l'origine de certaines perturbations observées sur les habitats présents sur le terrain. Ils seront donc à considérer avec attention dans l'analyse des résultats.

Matériel biologique : les écrevisses *Pacifastacus leniusculus* (espèce allochtone) et *Austropotamobius pallipes* (espèce autochtone)

Caractères généraux et morphologie :

Les écrevisses font partie de l'embranchement des Arthropodes, et plus précisément de l'ordre des Décapodes. Deux familles existent : les Astacidae (dont font partie les écrevisses à pattes blanches *A. pallipes*, tout comme les écrevisses signal *P. leniusculus*) et les Cambaridae (dont les principaux représentants sont les écrevisses américaines *Orconectes limosus* et les écrevisses rouges de Louisiane *Procambarus clarkii*). Leur corps se compose de deux parties principales (Figure 2) : le céphalothorax (avec la tête ou céphalon et le thorax ou péréion) et l'abdomen (pléon). La zone céphalique comprend à la fois les antennes et antennules, les mandibules, les maxilles et maxillules. Le thorax porte les maxillipèdes ainsi que les péréiopodes dont la première paire est très développée (formant alors les pinces, aussi appelées chélipèdes).

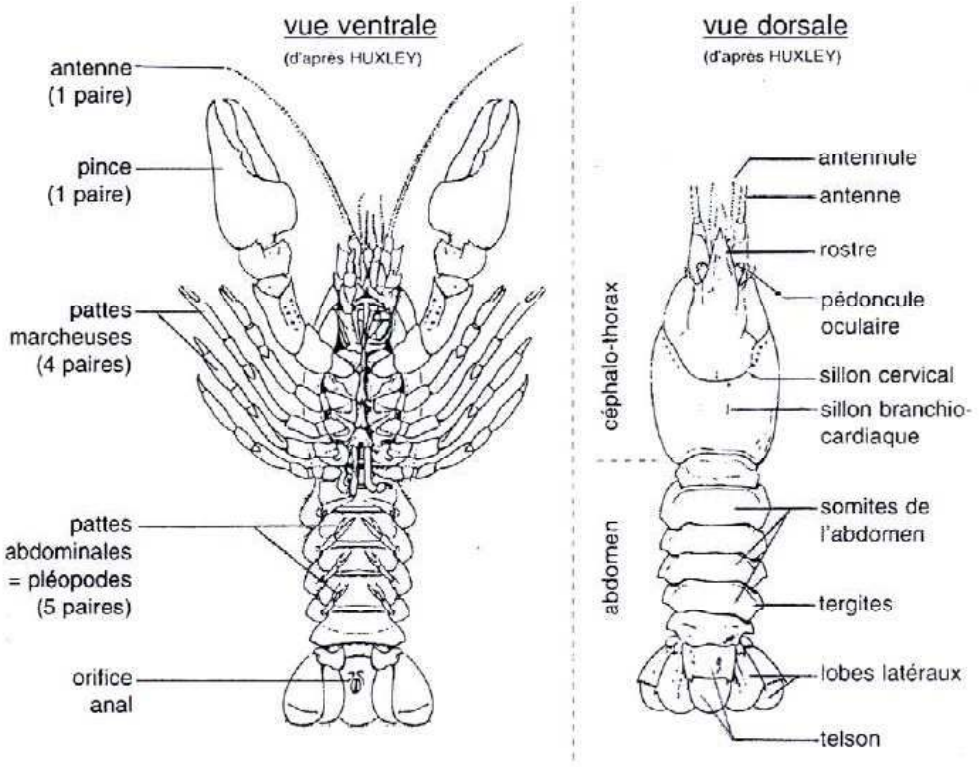


Figure 2 : Schéma légendé de la morphologie externe d'une écrevisse (Huxley).

Bien que la morphologie générale reste la même pour toutes les écrevisses, certains critères sont utilisés pour déterminer les espèces et les différencier (Annexe 2). Cette reconnaissance d'espèce se base principalement sur des indices relatifs aux différentes parties du corps des écrevisses comme la forme des pinces, du rostre, la présence/absence d'épines sur le céphalothorax… Certains caractères peuvent cependant varier d'une manière importante d'un individu à l'autre. Il ne suffit donc pas de se baser uniquement sur un seul paramètre pour déterminer une espèce mais sur un ensemble de critères morphologiques.

Reproduction et croissance chez *Austropotamobius pallipes* et *Pacifastacus lenisculus* :

Bien que ces deux espèces soient différentes, la fécondation dans cette famille d'écrevisses est externe : la mâle dépose un liquide spermatique sur la face ventrale de la femelle. La reproduction chez *A.pallipes* s'effectue généralement en octobre/novembre, l'élément déclencheur étant la baisse de température de l'eau en dessous de 10°C (Woodlock et Reynolds, 1988 ; Matthews, 1992). Mais cela peut varier en fonction des latitudes et altitudes. Les femelles sont matures à partir de leur 3ème ou 4ème année pour *A. pallipes,* peuvent pondre de 30 à 100 œufs trois semaines après l'accouplement (Eaux libres, 2007) La période d'incubation des œufs se situe entre 6 et 7 mois (Souty-Grosset et al., 2006). En comparaison, les femelles de *P. lenisculus* sont matures plus jeunes, à l'âge de 2 ans, et pondent en général un nombre plus important d'œufs, de 110 à 300, pour une incubation comprise entre 5 et 6 mois.

La croissance des individus s'effectue par mues, à cause de la présence de l'exosquelette. L'accroissement de taille et de poids est plus rapide lors des jeunes stades où les mues se succèdent, puis la fréquences de ces dernières diminuent lors de l'atteinte de la maturité sexuelle. Lors de ces périodes, les écrevisses sont vulnérables et limitent donc leurs activités pour rester au maximum protégées d'éventuels prédateurs. La fréquence des mues reste tributaire des conditions environnementales (Eaux libres, n°2, 1990).

Régime alimentaire et activité journalière :

Les écrevisses sont omnivores grâce à leurs pièces buccales spécialisées. Les juvéniles consomment préférentiellement des macroinvertébrés comme des larves, Gammares, alevins (…), mais aussi du périphyton et certains végétaux. L'alimentation principale des adultes se résume à des macrophytes aquatiques bien qu'elle se compose également de marcoinvertébrés. En journée, les individus restent surtout au repos sous leurs caches et c'est la nuit que les écrevisses sont actives pour la recherche de nourriture. Le fait d'être lucifuges leur confère une relative fragilité en journée si elles ne sont pas correctement dissimulées.

Écologie **:**

L'écrevisse autochtone est souvent décrite comme un indicateur biologique de bonne qualité des eaux bien qu'on la retrouve aujourd'hui encore dans des zones qualifiées de perturbées. Il apparaîtrait qu'elle possède le potentiel d'un bioindicateur (Füreder L. and Reynolds J.D., 2003). Cependant, ses limites de tolérance ne sont pas toutes connues, ce qui maintient encore aujourd'hui le débat pour savoir si on peut réellement considérer cette espèce comme bioindicatrice de bonne qualité des eaux. L'absence de caches favorables ou une trop faible diversité de ces derniers est un facteur limitant la présence et la densité de cette espèce à l'échelle stationelle. La présence de nombreux substrats différents (cailloux, sable, petits rochers...) et des berges riches en caches (branches, feuilles mortes...) sont essentiels pour la survie et le développement de cette espèce (Neveu A., 2000 ; Trouilhe et al., 2003). De nombreuses zones peuvent être utilisées comme caches par les écrevisses : branchages immergés, structures racinaires des arbres en bord de cours d'eau, feuilles mortes, cavités dans les berges, dessous de rochers et cailloux… Différentes études sur les habitats préférentiels de *A.pallipes* ont déjà été menées. Il en ressort notamment que seule la présence d'abris disponibles pour les écrevisses était corrélée avec la présence d'individus tout au long du cours d'eau (Broquet T. et al, 2002). D'après plusieurs études, les populations d'*A.pallipes* sont donc assez exigeantes en ce qui concerne la qualité des eaux. Ce qui a souvent été remarqué est le fait qu'elles ont besoin d'une eau riche en oxygène (tout comme *P.leniusculus* même si cette espèce possède des limites de tolérance plus larges) et en calcium (Trouilhé M.C, 2006). Les gammes de température peuvent être larges, allant de 1 à 18 °C (Holdich, 2002). Selon les zones géographiques où *A.pallipes* est observée, les valeurs limites des paramètres physico-chimiques varient, il n'est donc pas évident d'établir des relations entre la qualité de l'eau et la présence de cette espèce. Il en est de même pour la description des habitats physiques des cours d'eau à l'échelle stationnelle, les individus pouvant se retrouver dans des zones totalement différentes voire opposées en fonction des descripteurs (zone anthropisée/zone naturelle par exemple).

En général, les écrevisses signal quant à elles sont beaucoup moins exigeantes vis-à-vis de la qualité des eaux : elles peuvent vivre à des températures beaucoup plus élevées ou encore dans des substrats beaucoup moins biogènes que ceux où se trouve *A.pallipes* (vase…).

État sanitaire des populations d'*Austropotamobius pallipes* :

Une des causes principales de la disparition progressive de l'espèce indigène est la présence de maladies. En effet, les populations peuvent être touchées par de nombreux pathogènes comme des bactéries, protozoaires ou encore des vers parasitiques. Mais la plus grande menace reste les champignons *Aphanomyces astaci*, responsables de l'aphanomycose ou peste de l'écrevisse (Eaux Libres n°2, 1990). Cette maladie est transmise principalement par les individus d'espèces allochtones qui en sont porteurs sains et ne sont donc pas atteints. Le transport s'effectue dans l'eau par des zoospores avec flagelles, ce qui représente un moyen de dispersion rapide et efficace, d'où son pouvoir destructeur important. D'autres organismes peuvent véhiculer ces champignons en se déplaçant, dont l'Homme avec son matériel de pêche s'il n'est pas désinfecté. La thélohaniose est aussi une maladie ravageuse chez *A.pallipes,* transmise via des parasites microsporidiens.

Estimation du linéaire colonisé par prospections :

Pour cette étude, la pêche aux écrevisses s'effectue au cours de la journée grâce à des balances (Figure 3), appâtées avec des sardines fraîches. Chaque balance est soigneusement posée au fond de l'eau à l'aide d'une ficelle et d'une canne pour permettre un bon maintien. Ces dispositifs sont placés dans des zones à faible courant et surtout à proximité de caches favorables à la vie des écrevisses : branchages, zones ombragées, galets, végétaux... Chaque balance reste posée 20 minutes quel que soit l'endroit. Lors de chaque changement de maille à prospecter, les balances et le matériel en contact avec l'eau sont désinfectés grâce à une solution de Désogerme afin d'éviter toute contamination d'une zone à une autre.

Figure 3 : Pose d'une balance (source personnelle).

La majeure partie du linéaire et prospectée de jour (Figure 4, Annexe 3) avec un total de 6 balances. Une plus petite partie est réalisée de nuit (Figure 4), sans balance mais avec des lampes pour faciliter l'observation, sur les cours d'eau de faibles profondeur et largeur. Ces prospections nocturnes ne sont possibles qu'en binôme avec un agent de l'ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques).

Pour les prospections de jour, des mailles de 2 km ont été définies concernant l'Agoût. Une maille sur 3 est prospectée. Pour les plus petits affluents, les mailles n'ont pas pu être réellement prédéfinies selon un échantillonnage systématique (Figure 4, Annexe 3). En effet, les mailles ont été choisies surtout en fonction de leur accessibilité, la zone du bassin du Haut Agoût présentant souvent des endroits difficiles ou impossibles d'accès à pied (cascades, falaises …). Lorsqu' aucune écrevisse signal n'est observée ou pêchée sur l'Agoût, la prospection ne continue pas dans les ruisseaux qui s'y jettent : en effet, on considère que si l'espèce est absente du cours d'eau principal, il est peu probable qu'elle remonte les petits ruisseaux adjacents et les colonise.

Figure 4 : Carte des mailles prospectées de jour (rouge) et de nuit (bleu foncé) avec le nom des cours d'eau correspondants.

Caractérisation des populations d'écrevisses :

1- La méthode de Capture-Marquage-Recapture de Pétersen pour *P.leniusculus* :

Afin d'étudier au mieux les populations de *P. leniusculus* et de les comparer à celles trouvées l'an dernier sur le Gijou, 7 stations de 100 m chacune ont été déterminées. Les balances sont disposées régulièrement et relevées toutes les 20 minutes sur une durée totale de 2h. Chaque individu pêché est sexé, mesuré avec un pied à coulisse électronique puis marqué sur le céphalothorax grâce à du vernis à ongles rouge. L'avantage de ce produit réside dans le fait qu'il ne gêne pas l'animal, n'est pas dangereux pour lui, se maintient bien sur la carapace et est facilement repérable. Après le marquage, les individus sont relâchés au même endroit pour ne pas biaiser la méthode et les futurs résultats. Une seconde pêche est effectuée 48h après la première de la même façon. Cependant, à cause du caractère invasif des *P.leniusculus*, aucun individu n'est remis à l'eau. Comme nous l'avons précisé précédemment, tout le matériel en contact avec l'eau doit toujours être désinfecté avec une solution de Désogerme.

La méthode CMR nécessite des conditions particulières d'application. En effet, elle ne peut pas être utilisée si la population n'est pas stationnaire, si la probabilité de capture n'est pas la même pour tous les individus, si la recapture n'est pas un échantillonnage aléatoire et enfin si le marquage influence la probabilité de capture. Tout ce protocole permettra au final d'estimer des densités d'écrevisses signal sur les cours d'eau échantillonnés.

Sur chacune des stations de 100 mètres de long, les balances sont disposées tous les 10 mètres et relevées toutes les 20 minutes pendant 2 heures au total. La présence ou l'absence d'écrevisses est alors notée. Dans le cas où il y a des écrevisses dans les balances, différents paramètres sont relevés. Tout d'abord l'espèce est déterminée. Les individus sont ensuite sexées et mesurés (de la pointe du rostre au telson). Des éventuelles marques de mutilations ou de maladies sont également enregistrés. Avant de les relacher, les individus sont marqués avec du vernis à ongles au niveau du chéphalothorax. Une seconde pêche a lieu 48 h après : le nombre d'écrevisses marquées recapturées est soigneusement noté (pour ensuite estimer les densités de populations) ainsi que le nombre d'individus non marqués.

2- Caractérisation des populations de *A.pallipes* :

Pour cette espèce fragile et protégée, des mesures biométriques proprement dîtes ne sont pas préconisées afin d'éviter au maximum de perturber les populations. Dans ce cas, seule la présence ou l'absence est notée, ainsi que le nombre approximatif d'individus observés. Une idée générale de la dynamique des populations peut être faîte grâce à l'observation des tailles moyennes des individus à vue d'œil, sans manipulation (proportions approximatives d'individus adultes et de juvéniles).

Qualité des cours d'eau :

Pour pouvoir caractériser l'état des cours d'eau, des stations sont déterminées de manière à avoir une vue globale du bassin versant étudié. Il y aura donc des stations caractérisées par l'absence de toute écrevisse, d'autres avec *A. pallipes* et d'autres avec *P. leniusculus*. De nombreux paramètres sont alors mesurés, concernant à la fois la physico-chimie de l'eau, l'hydromorphologie du cours d'eau à ces endroits ainsi que la description des habitats. Chaque station mesure 100 mètres de long.

1- Physico-chimie de l'eau à l'échelle de la station

La physico-chimie de l'eau est essentielle pour caractériser au mieux l'état des stations. Tout d'abord, des mesures in situ ont été prises à quelques centimètres suos l'eau : le pH (précision +/- 0,01), l'oxygène dissous (pourcentage de saturation, précision +/- 0,5%) et la température (degrés Celsius). Bien que la conductivité soit un paramètre important, il n'a pas été possible de la mesurer sur le terrain à cause d'un disfonctionnement du matériel. Des échantillons d'eau de 2 litres ont été prélevés à chaque station dans des bidons propres et étiquetés. Ils ont ensuite été déposés au Laboratoire Départemental d'Analyses du Tarn à Albi qui a réalisé à notre demande les analyses physico-chimiques suivantes : concentrations en magnésium Mg (mg/L), calcium Ca (mg/L), nitrites NO2 (mg/L), nitrates NO3 (mg/L) ainsi que la turbidité (FNU) et le titre hydrotimétrique Ca + Mg (°F). Les mêmes variables avaient été mesurées l'an passé pour les stations du Gijou et de ses affluents. Ainsi, ces deux études restent dans le même objectif et sont comparables au niveau de ces analyses d'eau.

2- Hydromorphologie et qualité physique des stations :

L'habitat a été caractérisé cette année grâce à l'indice construit par le CATER (Cellule d'Assistance Technique à l'Entretien des Rivières) du Conseil Général du Tarn. Le River Habitat Survey n'a pas été utilisé contrairement à l'étude effectuée sur le Gijou, par manque de références pour les notes finales. L'habitat a donc été décrit par les indicateurs hydromorphologiques dans la notice du CATER. Ils se décomposent en trois thèmes distincts à savoir la qualité des habitats, l'état du lit et l'état des berges. Chacun d'eux peut varier de 0 à 4. Au final, les trois sont additionnés pour avoir l'indice intégrateur final qui peut déterminer quatre sortes de qualité : très bon état, bon état, mauvais état ou très mauvais état (Annexe 4).

3- Habitats spécifiques des écrevisses à l'échelle de la station :

Dans l'objectif de définir les zones et habitats dans les cours d'eau les plus favorables à la vie des écrevisses, des photographies ont été prises là où les pêches ont été les plus abondantes (pour *P.leniusculus*). Concernant l'espèce autochtone, les zones où le maximum d'individus a été observé sont considérées comme les meilleures pour accueillir ces individus. Ces observations ont été réalisées dans l'idée par exemple d'élaborer pour le futur des plans de sauvegarde des endroits les plus sensibles abritant *A.pallipes*.

Analyses des données :

Les linéaires colonisés, les stations d'estimation de densités et celles de caractérisation de l'habitat des cours d'eau sont matérialisées à partir de Géoportail.fr et de photographies de cartes papier IGN. Le site Openrunner.fr a aussi été utilisé pour déterminer les longueurs de certains linéaires. L'ensemble des analyses statistiques sont effectuées grâce aux logiciels R et Microsoft Excel.

Dans un premier temps, les statistiques descriptives sur la physico-chimie de l'eau et les variables biométriques seront présentées. Des tests paramétriques ou non sont utilisés pour déterminer des possibles différences entre les moyennes ou les médianes de certains paramètres (tests de Welch, de Student). Des tests de corrélation avec le coefficient de corrélation de Pearson seront faits pour connaître des corrélations entre variables. Des analyses multivariées serviront à représenter les données complexes, notamment des Analyses en Composantes Principales (ACP), pour déterminer quelles variables sont bien représentées et lesquelles sont corrélées ou non. L'interprétation en sera dépendante : les variables bien représentées seront alors celles qui pourront peut être servir à déterminer un lien entre la qualité de l'habitat et la présence/absence des écrevisses.

RÉSULTATS

Tous les résultats figurant dans ce rapport proviennent des sorties de terrain effectuées seule pour les prospections de jour et en binôme pour celles de nuit, s'étendant de Juin 2011 à Août 2011. L'accessibilité de certains sites ne permettant pas toujours de prévoir à l'avance les mailles parcourues, l'effort d'échantillonnage a pu varier, allant d'une à trois mailles par jour et par personne. Pour les prospections de nuit l'effort est également variable et en général du même ordre de grandeur.

Estimation du linéaire colonisé à l'échelle du bassin versant de l'Agoût supérieur :

Toutes les prospections (diurnes ou nocturnes) ont permis d'estimer le linéaire colonisé par les écrevisses (Figure 5).

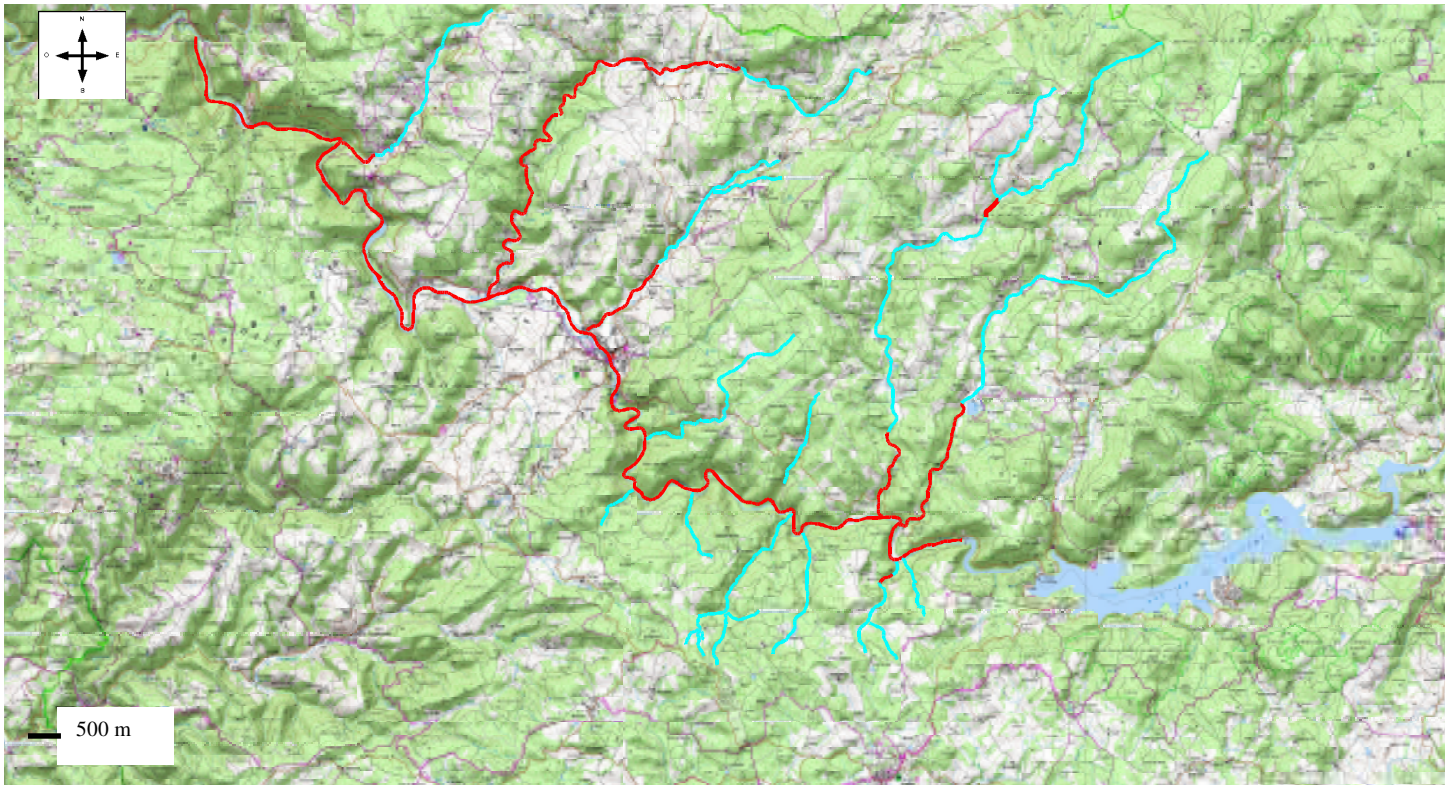


Figure 5 : Carte du linéaire colonisé par *P.leniusculus* (rouge) estimé grâce aux prospections 2011.

L'espèce allochtone *P.leniusculus* est présente sur toute la zone de l'Agoût concernée dans cette étude, c'est-à-dire de la confluence avec le Gijou jusqu'au lac de la Raviège, malgré la présence d'ouvrages hydroélectriques et de chaussées. Les mailles consécutives étant colonisées, on considère que l'espèce est présente en continuité. Les écrevisses signal ont colonisé la plupart des affluents de l'Agoût, notamment rive droite, et parfois jusqu'en amont de certains ruisseaux comme le Vernoubre par exemple, où de nombreux individus ont été pêchés à Soulègre. Le ruisseau de Falcou semble lui aussi être colonisé, notamment en aval

Seuls 4 ruisseaux sur 15 étudiés apparaissent comme étant dépourvus d'écrevisses : le Costo Laxo, la Gimbrarié, le Gobert et les Fabres. Bien que nous en arrivons à cette conclusion grâce aux observations de terrain, il semblerait nécessaire de vérifier à nouveau ces cours d'eau, si possible sur l'ensemble de leur longueur, pour confirmer l'absence d'écrevisses ou au contraire modifier nos premiers bilans. En tout, 3 populations d'écrevisses à pieds blancs ont été contactées, réparties sur 3 ruisseaux. La part du linéaire colonisé reste en général très faible, tout comme cela avait déjà été constaté l'année dernière sur le bassin du Gijou. Le nombre d'individus observés est variable selon les cours d'eau prospectés, mais généralement en baisse par rapport aux observations des années précédentes. Dans la majorité des cas, l'évolution des populations d'*A.pallipes* se fait vers la régression voire la disparition totale de certains cours d'eau.

Caractérisation du lien entre la présence / absence des écrevisses et la qualité des cours d'eau :

Pour évaluer la qualité de l'habitat, 23 stations de 100 mètres chacune ont été définies sur l'ensemble de la zone d'étude (Figure 6). Une des stations n'a pas été prise en photographie, étant observée lors des prospections nocturnes.

Fab

Vd

Vi

Fe

V

V

V

Ti

Figure 6 : Photographies des stations réparties sur le bassin versant de l'Agoût supérieur (source personnelle) (A : Agoût, Go : Gobert, Vd : Verdier, Fab : Fabres, Vi : Viala, Fe : Ferralde, V : Vernoubre, Ta : Terral, C : Costo Laxo, G : Gimbrarié, Ag : Agrès, Te : Teillouse, Fa : Falcou, Ti : Tine).

Parmi ces stations, 8 sont dépourvues d'écrevisses, 3 abritent des individus d'*A.pallipes* et 12 abritent des individus de *P.leniusculus*. Ainsi, les données donneront une vue globale des caractéristiques des différents cours d'eau que l'on peut rencontrer. Sans cette condition d'échantillonnage, des comparaisons sont impossibles.

Les variables physico-chimiques mesurées sont les mêmes que celles de l'année dernières (pH, température, saturation en oxygène, turbidité, titre hydrotimétrique, calcium, magnésium, nitrates, nitrites) excepté la conductivité qui n'a pu être relevée à cause d'un problème technique. Trois variables supplémentaires ont été mesurées, à savoir la largeur (m), profondeur (cm) et vitesse (m/sec) du cours d'eau à l'endroit même de chaque station (Tableau 2).

		APP	NO	PFL
pH	moy	7,61	7,61	7,59
	EC	0,29	0,32	0,26
	min	7,28	7,25	7,22
	max	7,82	8,3	8,02
température (°C)	moy	13,2	13,7	15,2
	EC	0,99	0,59	1,91
	min	12,1	12,9	12,2
	max	13,9	14,6	18,6
Saturation en oxygène (%)	moy	94,33	91,33	93,45
	EC	10,69	9,00	9,96
	min	85	78	75
	max	106	104	108
Titre Hydrotimétrique (°F)	moy	2,03	3,80	4,10
	EC	0,80	4,16	3,40
	min	1,2	0,9	0,8
	max	2,8	12	9,7
Turbidité (NTU)	moy	3,53	6,81	6,84
	EC	0,49	9,66	5,89
	min	3,2	1,8	1,5
	max	4,1	32	20
Calcium (mg/L)	moy	6,33	10,64	11,02
	EC	3,23	11,19	8,84
	min	2,9	2,3	2,1
	max	9,3	33	24

		APP	NO	PFL
Magnésium (mg/L)	moy	<1,25	1,45	3,82
	EC	/	0,21	3,09
	min	<1,25	1,3	1,3
	max	<1,25	1,6	8,7
Nitrates (mg/L)	moy	2,12	4,34	4,21
	EC	1,24	3,92	3,31
	min	0,76	0,67	1,2
	max	3,2	12,8	9,5
Nitrites (mg/L)	moy	<0,01	0,01	0,02
	EC	/	/	0,03
	min	<0,01	0,01	0,01
	max	<0,01	0,01	0,06
Largeur (m)	moy	1,90	1,74	15,54
	EC	1,39	0,97	15,70
	min	1	0,7	0,9
	max	3,5	3,5	45
Profondeur (cm)	moy	28,33	27,22	85
	EC	18,93	14,17	52,2
	min	15	15	25
	max	50	60	200
Vitesse (m/sec)	moy	0,567	0,227	0,336
	EC	0,189	0,108	0,192
	min	0,35	0,07	0,04
	max	0,7	0,45	0,7

Tableau 2 : Moyenne (moy), écart-type (EC), minimum (min) et maximum (max) des variables physiques et physico-chimiques mesurées sur le bassin versant du Haut Agoût, stations avec *P.leniusculus* (PFL), avec *A.pallipes* (APP) ou sans aucune écrevisse (NO).

Le pH moyen mesuré sur l'ensemble des stations et donc du bassin versant est de 7,60 +/- 0,27. On ne remarque pas en moyenne de différence significative entre le pH des sites à PFL, ceux sans écrevisse et ceux à APP. Le pH maximum obtenu reste celui d'une station dépourvue d'individus, située sur la Gimbrarié, avec une valeur de 8,3. Le pH le plus faible, proche de la neutralité est quant à lui retrouvé sur l'Agoût, en aval.

La température est un paramètre ici avec des variations assez importantes entre les cours d'eau : les valeurs mesurées vont d'un minimum de 12,1 °C pour la Tine à un maximum de 18,6 °C pour une station de l'Agoût. Une tendance générale se dégage : les affluents de l'Agoût gardent des températures moyennes plus faibles que cette dernière (13,65 °C contre 16,38 °C pour l'Agoût). De plus, les stations où *A.pallipes* est présente ont aussi des températures plus faibles que les autres (13,2 °C contre 13,7 °C et 15,2 °C).

Contrairement aux résultats de l'étude sur le bassin versant du Gijou, cette année, le pourcentage de saturation moyen en oxygène est quelque peu plus élevé pour les stations à *A.pallipes* avec 94,33 %. Les pourcentages moyens les plus faibles sont observés pour les stations dépourvues d'écrevisses (91,33 %). A l'échelle stationnelle, le minimum mesuré concerne le ruisseau de la Teillouse (75 %), tandis que le maximum se retrouve pour l'eau du Vernoubre (108 %).

Le titre hydrotimétrique de l'eau, indicateur de sa minéralisation, est en moyenne plus élevé pour les stations avec PFL (4,10 °F +/- 3,4) et plus faible pour celles avec *A.pallipes* (2,03 °F +/- 0,80). Cela est évidemment en relation avec les teneurs en Calcium et Magnésium de l'eau puisque ce sont les deux minéraux principalement dosés pour mesurer le titre hydrotimétrique. Ces deux éléments varient de 2,1 mg/L à 24 mg/L pour le calcium et de <1,25 mg/L à 8,7 mg/L pour le magnésium. En effet, ils se retrouvent en moyenne en plus grandes concentrations en présence de PFL (11,2 mg/L +/- 8,4 pour le calcium et 3,82 mg/L +/- 3,02 pour le magnésium) alors que leurs teneurs sont beaucoup plus faibles en présence d'*A.pallipes* (respectivement 6,33 mg/L +/- 3,23 et <1,25 mg/L). Avec ces valeurs, on peut décrire l'eau du basin versant comme très douce à douce d'après les plages définies par les scientifiques (eau très douce avec un TH compris entre 0 et 10 °F, LAEASE.com).

Les teneurs en nitrites sont en général très faibles. Dans ces ordres de grandeurs, on peut quand même voir que ce sont les stations avec PFL qui présentent les plus grandes concentrations en moyenne (0,02 mg/L +/- 0,03). Par ordre décroissant, les moyennes sont respectivement de 0,02 mg/L et inférieures à 0,01 mg/L pour les stations sans écrevisse et celles avec *A.pallipes*. Les éléments ayant le plus d'importance restent tout de même les nitrates, témoins du niveau de pollution des milieux. Les concentrations vont de 0,67 g/L pour des stations sans écrevisse à 12,8 mg/L pour celles avec l'espèce allochtone. En moyenne, on retrouve beaucoup moins de nitrates dans l'eau où *A.pallipes* est présente (2,12 mg/L +/- 1,24) que là où est *P.leniusculus* (4,21 mg/L +/- 3,31). La pollution aux nitrates la plus importante est atteinte sur le ruisseau du Terral alors que le cours d'eau le plus épargné est le Gobert.

Les largeurs et profondeurs moyennes sont plus importantes sur les portions avec PFL (15,54 m +/- 15,3 et 85 cm +/- 52,2 respectivement), qui correspondent majoritairement aux stations situées sur le cours d'eau principal Agoût. Les affluents, sans écrevisse ou avec l'espèce autochtone ont des moyennes plus faibles (1,74 m +/- 0,77 et 27,22 cm +/- 14,17 pour NO, 1,90 m +/- 1,39 et 28,33 cm +/- 18,93 pour APP). Les vitesses du courant varient de 0,04 m/sec pour une station sur l'Agoût à 0,7 m/sec pour des stations situées sur des affluents. La vitesse moyenne du courant est plus grande en présence d'*A.pallipes* 0,567 m/sec +/- 0,189), bien que les individus restent cantonés en général dans les vasques où le courant est faible à très faible.

Toutes les concentrations en éléments indiquent que le bassin versant a une eau de bonne qualité, bien que parfois les teneurs en nitrates soient assez élevées. Malgré les écarts qui existent entre les sites avec *A.pallipes*, *P.leniusculus* ou sans écrevisse, il est impossible sans analyses supplémentaires de les différencier clairement.

L'indice développé par le Conseil Général du Tarn donne pour les stations étudiées des résultats allant de « très bon état » à « mauvais état ». Cependant, la plus grande part des stations sont caractérisées comme étant en « bon état » (14 stations sur 23). La plupart du temps, il s'agit d'une catégorie d'indices qui fait basculer la station en « mauvais état », notamment le colmatage du lit ou l'état des berges. Tout n'est pas « mauvais » concernant la station : la ripisylve peut s'avérer être en bon état (bon état sanitaire, largeur et diversité suffisantes) alors que le lit du cours peut être très colmaté par exemple, ce qui dirige l'indice intégrateur final vers un « mauvais état écologique ».

Afin d'essayer de voir quelles variables sont les plus pertinentes à étudier pour différencier les sites à *A.pallipes* et *P.leniusculus,* une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée. Le cercle des corrélations a été représenté (Figure 7).

La première information la plus importante est liée à la taille des flèches de chaque variable.

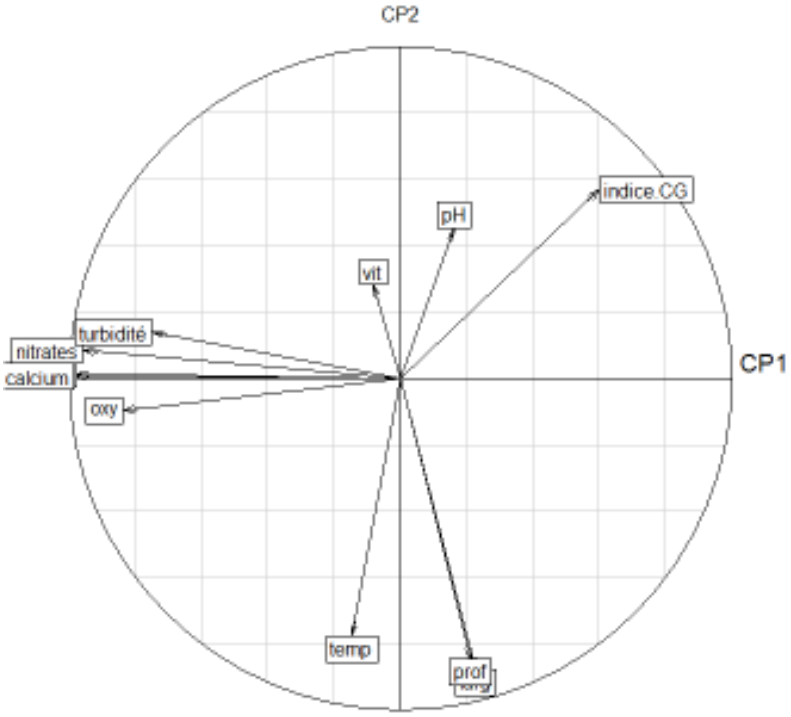


Figure 7 : Cercle des corrélations issu de l'ACP des variables physiques et phisico-chimiques mesurées sur chaque station (vit : vitesse, prof : profondeur, temp : température, larg : largeur, oxy : pourcentage de saturation en oxygène).

Ici, toutes les variables ne sont pas bien représentées (toutes les flèches n'arrivent pas au bord du cercle des corrélations) : en effet, nous ne prendrons pas en compte par la suite les variables vitesse du courant et pH qui ne sont pas bien représentées ici. D'après la position des flèches, la variable « indice CG » est indépendante des autres, tandis que la turbidité, les teneurs en nitrates et calcium, le pourcentage de saturation en oxygène et le titre hydrotimétrique TH (cachée sous l'étiquette « calcium » sur la Figure) semblent corrélées positivement entre-elles. Il en est de même pour la profondeur et la largeur des cours d'eau qui sont corrélées positivement. La température est indépendante de toute autre variable, même si elle pourrait être corrélée aux deux paramètres cités précédemment.

```
> acp$co
                Comp1       Comp2
pH          0.16467715  0.45257001
temp       -0.14427477 -0.77784073
oxy        -0.83514124 -0.09630805
TH         -0.97471168  0.01400445
calcium    -0.98253430  0.00689278
nitrates   -0.95604653  0.08454915
turbidité  -0.74763884  0.13970599
indice.CG   0.60165775  0.56979110
larg        0.22902896 -0.87697575
prof        0.21356283 -0.84609294
vit        -0.08037518  0.28303145
```

Figure 8 : Variables et intervention de celles-ci dans la projection des axes des composantes principales 1 et 2 (logiciel R).

Plus les valeurs observées sont proches de 1 et plus les variables interviennent dans la projection des axes (Figure 8). A l'inverse, plus les valeurs se rapprochent de 0 et moins les variables interviennent dans la construction des axes. Ainsi, les paramètres concentrations en calcium et nitrates, la turbidité, le pourcentage de saturation en oxygène et le TH entrent beaucoup dans la définition de la composante principale 1 (avec des valeurs très proches de 1), tout comme largeur et pronfondeur qui contribuent à la construction de la composante principale 2. Ceci appuie les conclusions précédentes : ces variables sont très bien représentées et donc à analyser avec attention.

Les tendances générales et une description plus fine des caractéristiques des stations peut être réalisée à l'aide des résultats de l'ACP (Figure 9). D'après les conclusions précédentes tirées du cercle des corrélations, nous ne traiterons pas des variables pH et vitesse du courant qui ne sont pas bien représentées dans cette analyse. Dans les illustrations qui suivent, les stations sont représentées dans le plan en fonction de toutes les variables et selon les deux composantes principales CP1 et CP2 choisies d'après le diagramme des valeurs propres.

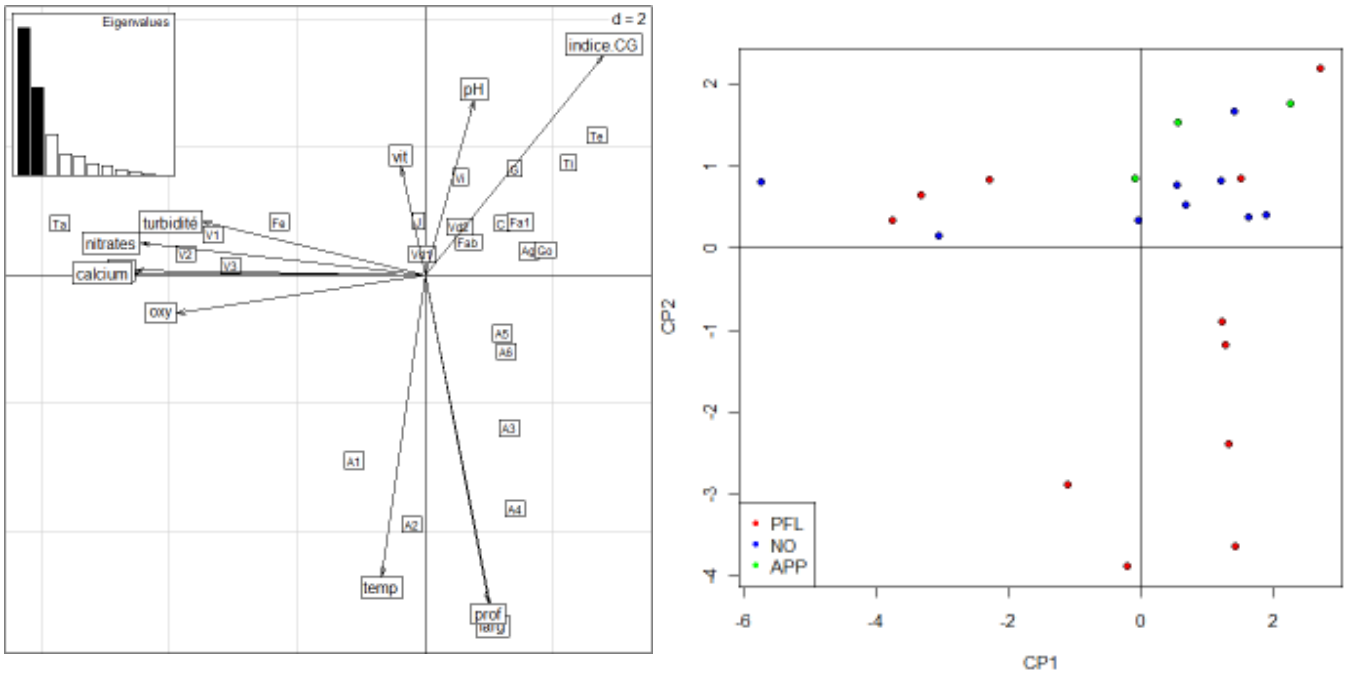


Figure 9 : ACP (gauche) avec diagramme des valeurs propres (haut gauche) et position des stations, ainsi que la représentation des stations dans le plan (droite) (APP *: A.pallipes* en vert, NO : aucune espèce présente en bleu, PFL : *P.leniusculus* en rouge).

La majorité des stations à PFL sont celles qui ont les plus grandes profondeurs et largeurs. De plus, 3 de ces stations présentent les turbidités les plus élevées, en totale opposition avec les stations à APP qui ont les valeurs de turbidités les plus faibles. Ce paramètre est donc considéré comme important dans la distinction entre les sites à espèce autochtone et celles à espèce allochtone. Dans le même esprit, on constate que les stations les plus polluées (concentrations en nitrates les plus grandes) sont soit dépourvues d'écrevisses soit avec PFL. C'est la même observation concernant les teneurs en calcium. Certains groupes sont visualisables : les trois stations situées sur le Vernoubre, nommées ici V1, V2 et V3 sont très proches sur les axes, on peut donc considérer que les caractéristiques de l'eau de ce ruisseau sont assez homogènes sur l'ensemble de son linéaire. C'est la même chose pour le Verdier et l'Agoût. Le pourcentage de saturation en oxygène ne semble pas ici être déterminant pour pouvoir classer les cours d'eau en fonction de la présence/absence des espèces mais il doit être élevé pour que les ruisseaux puissent être favorables à l'espèce autochtone. Les trois stations à APP sont celles qui sont qualifiées comme étant en « bon état écologique » voire « très bon état » par l'indice du Conseil Général. Il est difficile, même grâce à ces constats de trouver des variables spécifiques à la différenciation des cours d'eau.

Pour appuyer ces résultats, des boîtes de dispersion (Figure 10) ont été réalisées pour les variables qui semblent être les plus importantes : la turbidité, les teneurs en nitrates et en calcium, le titre hydrotimétrique TH ainsi que largeur et profondeur.

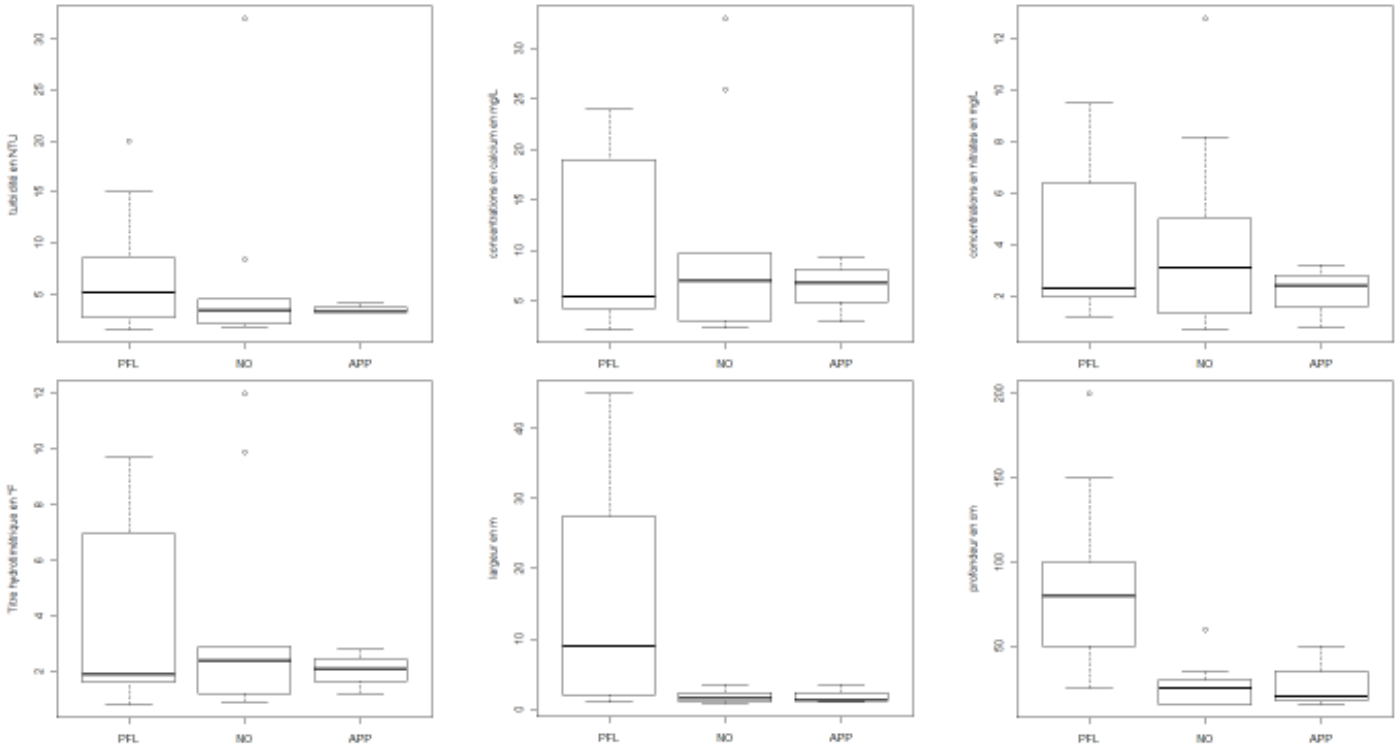


Figure 10 : Boîtes de dispersion des variables turbidité (NTU), concentrations en calcium (mg/L), en nitrates (mg/L), titre hydrotimétrique TH (°F), largeur (m) et profondeur (cm) en fonction de la présence de PFL, d'APP ou en l'absence de toute écrevisse (PFL : *P.leniusculus*, APP : *A.pallipes* et NO : aucune écrevisse).

D'après les tests de Kruskal Wallis, il n'y a aucune différence significative entre les trois groupes (PFL, APP et NO) concernant la turbidité, le calcium, les nitrates et le TH (respectivement p-value=0,703 ; p-value=0,82 ; p-value=0,706 et p-value = 0,836). Des différences significatives entre les trois groupes apparaissent pour les variables largeur (p-value = 0,0294) et profondeur (p-value = 0,00369). Des tests de comparaison de groupes 2 à 2 de Mann et Whitney montrent qu'il y a différence significative pour la largeur entre APP et PFL (p-value = 0,012) et entre PFL et NO (p-value = 0.015) mais pas entre NO et APP (p-value = 0.78). Le test de Mann et Whitney pour la profondeur nous donne exactement le même résultat : seuls les couples APP/PFL et PFL/NO présentent des profondeurs significativement différentes (respectivement p-value =0,0416 et p-value = 0,0022).

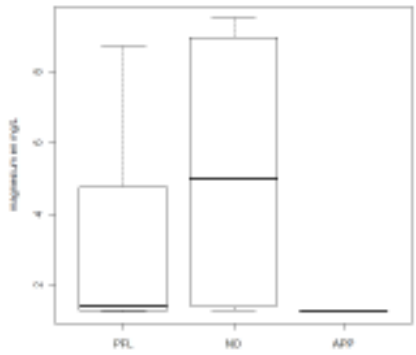


Figure 11 : Boîte de dispersion de la variable concentration en magnésium (mg/L) en fonction des trois groupes (APP : *A.pallipes*, PFL : *P.leniusculus* et NO : aucune écrevisse).

Même si la variable concentration en magnésium n'a pas été représentée dans l'ACP à cause de données non entières (teneurs «<1,25 »selon le laboratoire), des boîtes de dispersion ont été faîtes (Figure 11). Dans le tableur, les valeurs données comme « <1,25 »par le laboratoire ont été remplacées par la valeur entière de 1,25 mg/L. Ce paramètre permet alors, comme l'an passé, de différencier les groupes (p-value du test de Kruskal Wallis = 0,0444). Les stations avec *A.pallipes* ont des teneurs en magnésium significativement plus faibles que celles avec *P.leniusculus* (p-value du test de Mann et Whitney = 0,038).

Sur ce bassin versant, peu de différences significatives ont été prouvées pour pouvoir différencier clairement les trois groupes. Mais les teneurs en nitrates sont tout de même différentes, les sites à APP n'en présentant que peu (comme pour le calcium). Le magnésium (et le TH) sont très importants, tout comme la turbidité. Les paramètres physiques des cours d'eau comme la largeur et la profondeur sont ici déterminants pour distinguer les sites avec *A.pallipes* de ceux avec *P.leniusculus* : les écrevisses à pattes blanches se retrouvent donc dans les petits ruisseaux de tête de bassin et non dans les grands cours d'eau plus larges et plus profonds comme l'Agoût.

Description et Caractérisation des populations de *Pacifastacus leniusculus :*

Afin d'estimer les densités de *P.leniusculus* grâce à la technique de Capture-Marquage-Recapture, 7 stations ont été définies (Figure 12) : 4 se situent sur l'Agoût (A.I, A.II, A.III et A.IV), 1 sur le Vernoubre (V.V), 1 autre sur le ruisseau de Falcou (F.VI) et enfin une dernière sur le Ferralde (Fe.VII). De manière générale, les stations sur les affluents de l'Agoût sont relativement proches de la confluence avec ce dernier, excepté pour V.V où les écrevisses signal sont présentes particulièrement en amont. Sur notre zone d'étude entre la confluence avec le Gijou et le lac de la Raviège, l'Agoût représente un linéaire important, c'est pour cela que 4 sites ont semblé nécessaires pour caractériser au mieux les populations de *P.leniusculus.* Le protocole reste le même pour chaque station, les mêmes variables ont été mesurées et notées à chaque fois, à savoir le sexe des individus ainsi que leur taille du rostre au telson (appelée TL). Cette année la taille de la pointe du rostre à l'arrière du céphalothorax (CL) n'a pas été mesurée suite aux résultats précédents du test de corrélation de Pearson indiquant que les deux variables TL et CL étaient fortement corrélées positivement (p-value<2,2e-16). Sur les fiches de terrain sont également annotés l'état sanitaire de chaque individu (présence de parasites, de maladie…), les mutilations (absence d'une pince…) ainsi que certaines remarques supplémentaires lorsque cela semble nécessaire.

Plusieurs paramètres vont permettre de caractériser au mieux les populations de *P.leniusculus* et notamment la taille TL (mm), le sex-ratio, le taux de mutilation et les densités estimées sur les stations échantillonnées.

Plus de la moitié des stations présentent un sex-ratio supérieur à 1 (Figure 13) : c'est le cas de A.III, A.IV, V.V et Fe.VII. Ces résultats montrent un déséquilibre de ce paramètre en faveur des mâles. Seules deux stations sont représentées par un déséquilibre du sex-ratio en faveur des femelles, à savoir A.I et A.II, toutes deux situées sur l'Agoût et le plus en aval de la zone d'étude (vers la confluence avec le Gijou). Cependant, les valeurs se rapprochent de 1 et donc de l'équilibre entre les deux sexes. Enfin, la station F.VI est caractérisée par un sex-ratio équilibré, avec le même nombre de mâles que de femelles. Ces résultats viennent appuyer ceux de l'étude de l'an passé sur le Gijou et ses affluents : en effet, de manière générale, la moitié des stations échantillonnées montraient un sex-ratio déséquilibré en faveur des mâles.

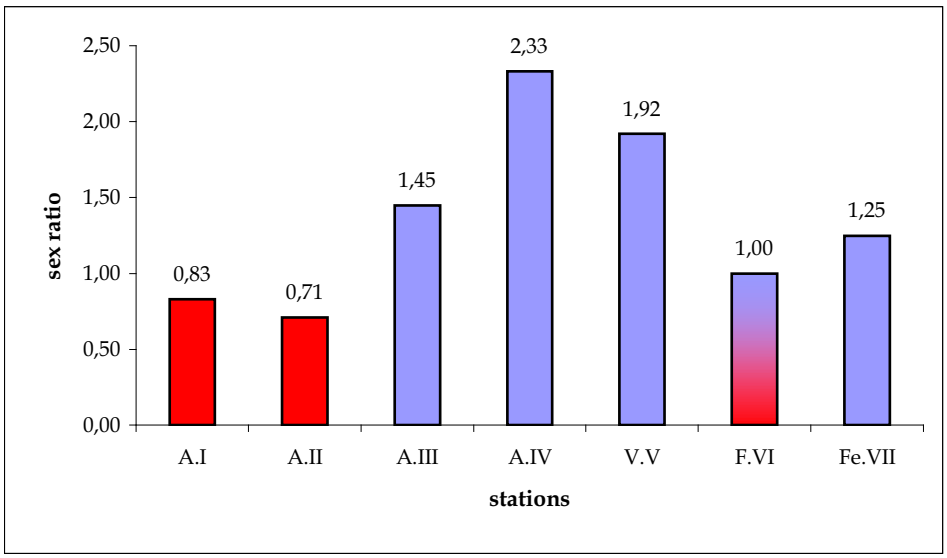


Figure 13 : Diagramme en bâtons du sex-ratio mesuré sur chaque station CMR, déséquilibre en faveur des mâles (bleu), déséquilibre en faveur des femelles (rouge), équilibre entre les deux sexes (dégradé bleu et rouge) (A : Agoût, V : Vernoubre, F : Falcou et Fe : Ferralde).

Toutes stations confondues, on retrouve 58 % d'individus mâles contre 42 % de femelles (figure 14).

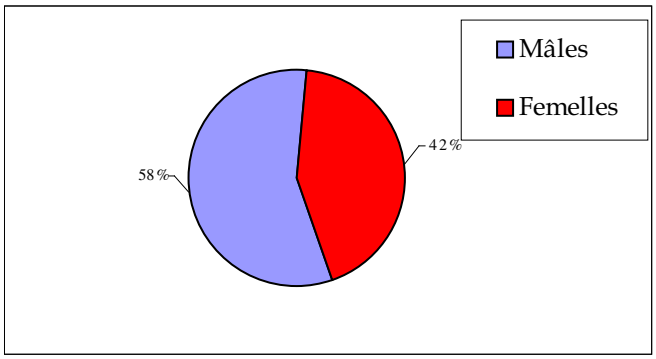


Figure 14 : Diagramme en secteurs de la proportion de mâles (bleu) et de femelles (rouge) sur la population totale pêchée lors des CMR, toutes

Toute mutilation visible telle que l'absence d'une pince, d'un péréiopode (ou encore une antenne non entière par exemple) a été notée pour chaque individu. Il en ressort après calculs le taux de mutilation des populations par station CMR (Figure 15).

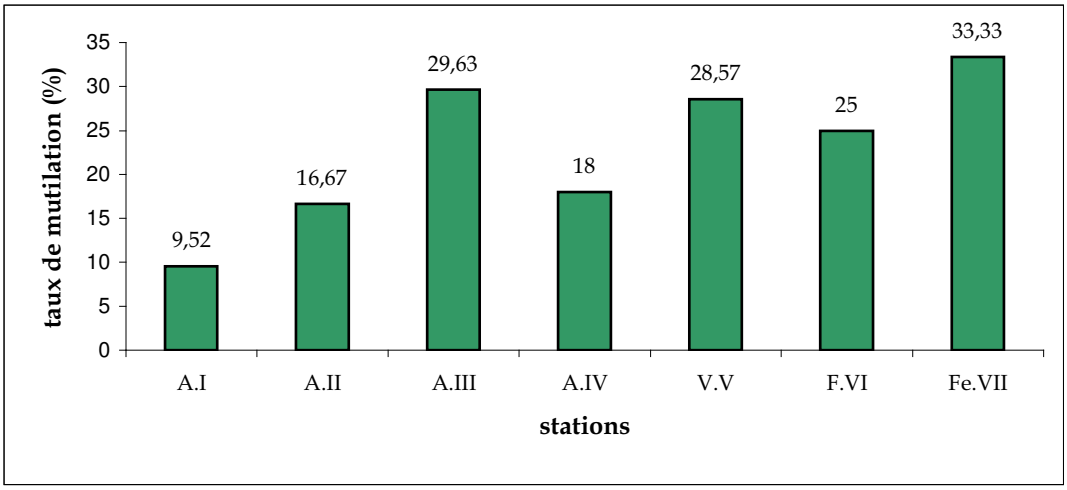


Figure 15 : Diagramme en bâtons du taux de mutilation des individus capturés sur chaque station CMR. (A : Agoût, V : Vernoubre, F : Falcou et Fe : Ferralde).

Il n'existe aucune station où le pourcentage de mutilation est nul. La valeur maximale de ce taux est atteinte sur la station Fe.VII avec 33,33 %. Les stations V.V et F.VI présentent un taux de mutilation des individus aux alentours de 25 %. Sur l'Agoût, le taux varie de 10 % (A.I) à 29,63 % (A.III). Si l'on effectue la moyenne des 4 stations se situant sur l'Agoût, on obtient un taux de mutilation de 18,6 %, qui est alors inférieur à celui des stations se situant sur des affluents.
Selon le coefficient de Pearson, il n'y a aucune corrélation entre le sex-ratio et le taux de mutilation des individus (p-value=0,55). Autrement dit, la composition de la population selon le sexe n'influence pas les mutilations subies par les individus.

Cependant il a paru intéressant de voir s'il y avait une différence du taux de mutilation entre mâles et femelles, toutes stations confondues. Au total, sur les 226 écrevisses capturées lors des campagnes de jour, 53 présentent des signes physiques de mutilation. Sur tous ces individus mutilés, 60,4 % sont des mâles et 39,6 % sont des femelles. Les mâles seraient donc en général plus mutilés que les femelles, même si ce résultat est à considérer avec précaution.

Si l'on considère l'ensemble des stations d'échantillonnage, la taille moyenne des individus est de 94,99 mm (du rostre au telson). Le minimum mesuré est de 69,16 mm contre 126,30 mm pour le maximum. Mais il est plus pertinent de regarder les tailles en fonction du sexe. En effet, les tailles moyennes entre mâles et femelles diffèrent (Figure 16). La moyenne chez les femelles est de 92,60 mm +/- 9,30 mm (avec un maximum à 115,70 mm et un minimum à 69,16 mm). Chez les mâles la moyenne est de 96,74 mm +/- 11,75 mm et donc reste un peu plus élevée que chez le sexe opposé (avec un minimum à 69,72 mm et un maximum à 126,30 mm). Il est important de considérer le sexe en même temps que la taille : en effet, les tailles entre les deux sexes sont significativement différentes selon le test de Welch (p-value=0,003) : les mâles ont une taille moyenne significativement plus grande que celle des femelles.

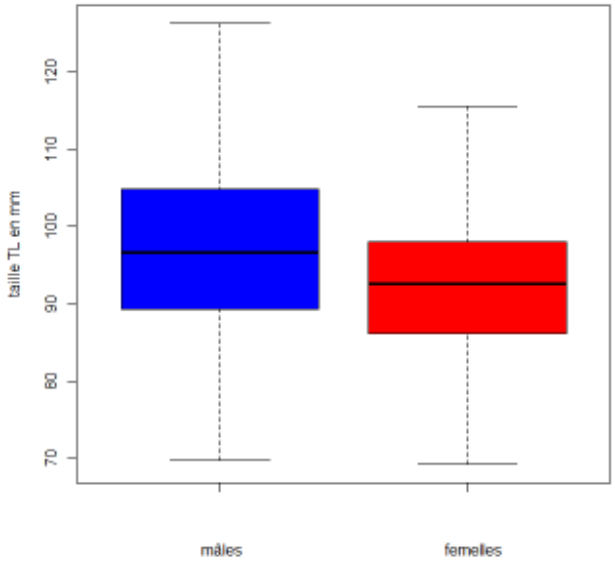


Figure 16 : Boîte de dispersion de la variable taille TL (mm) chez les mâles (bleu) et chez les femelles (rouge), toutes stations confondues.

Il apparaît intéressant de se pencher sur les tailles des populations de chaque station (Figure 17). En effet, en fonction de la zone échantillonnée, des habitats disponibles et de la nourriture à disposition, les populations peuvent être différentes.

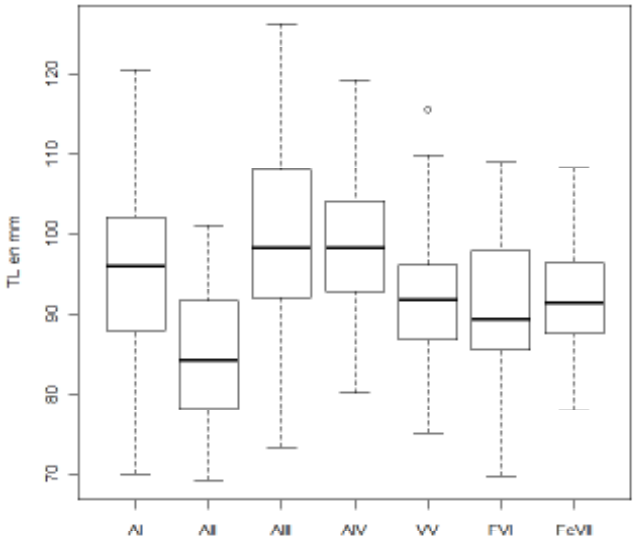


Figure 17 : Boîte de dispersion de la variable taille TL en fonction des stations (A : Agoût, V : Vernoubre, F : Falcou, Fe : Ferralde).

La station A.II est celle qui présente les tailles moyennes les plus faibles (moy = 84,43 mm +/- 8,7). Par ordre croissant, on retrouve ensuite F VI (moy= 91,27 mm +/- 10,9), Fe.VII (moy= 91,51 +/- 8,9), puis V.V (moy= 92,05 +/- 8,6), A.I (moy= 95,30 +/- 11,5), suivi de A IV (moy= 98,62 +/- 9) et enfin A III avec la taille moyenne la plus grande de 99,37 mm +/- 10,9). D'après les tests de Student qui comparent les stations deux à deux, les tailles sont significativement différentes entre la station A II et toutes les autres (p-value << 0,05 entre A.II et chaque station à chaque fois). Ce constat pourra peut être s'expliquer dans la suite de ce rapport par divers paramètres concernant la station. De la même façon, il y a une différence significative des tailles entre A.III et V.V, F.VI et Fe.VII (p-value << 0,05), tout comme entre A.IV, V.V ,F.VI et Fe.VII (p-value <<0,05). Ces remarques sont d'ailleurs bien visibles sur le diagramme des dispersion (Figure 17). Hormis A.II qui est un cas particulier, les stations situées sur l'Agoût sont constituées d'individus ayant des tailles moyennes plus élevées que celles situées sur les affluents.

Chaque individu ayant été mesuré, il est possible d'effectuer les diagrammes de fréquence des tailles pour chaque station (Figure 18). Cela nous donnera des informations supplémentaires sur chaque population et surtout une idée sur sa structure en âge. La dynamique des populations est très importante pour comprendre l'évolution ainsi que divers évènements qui pourraient affecter les individus au cours du temps.

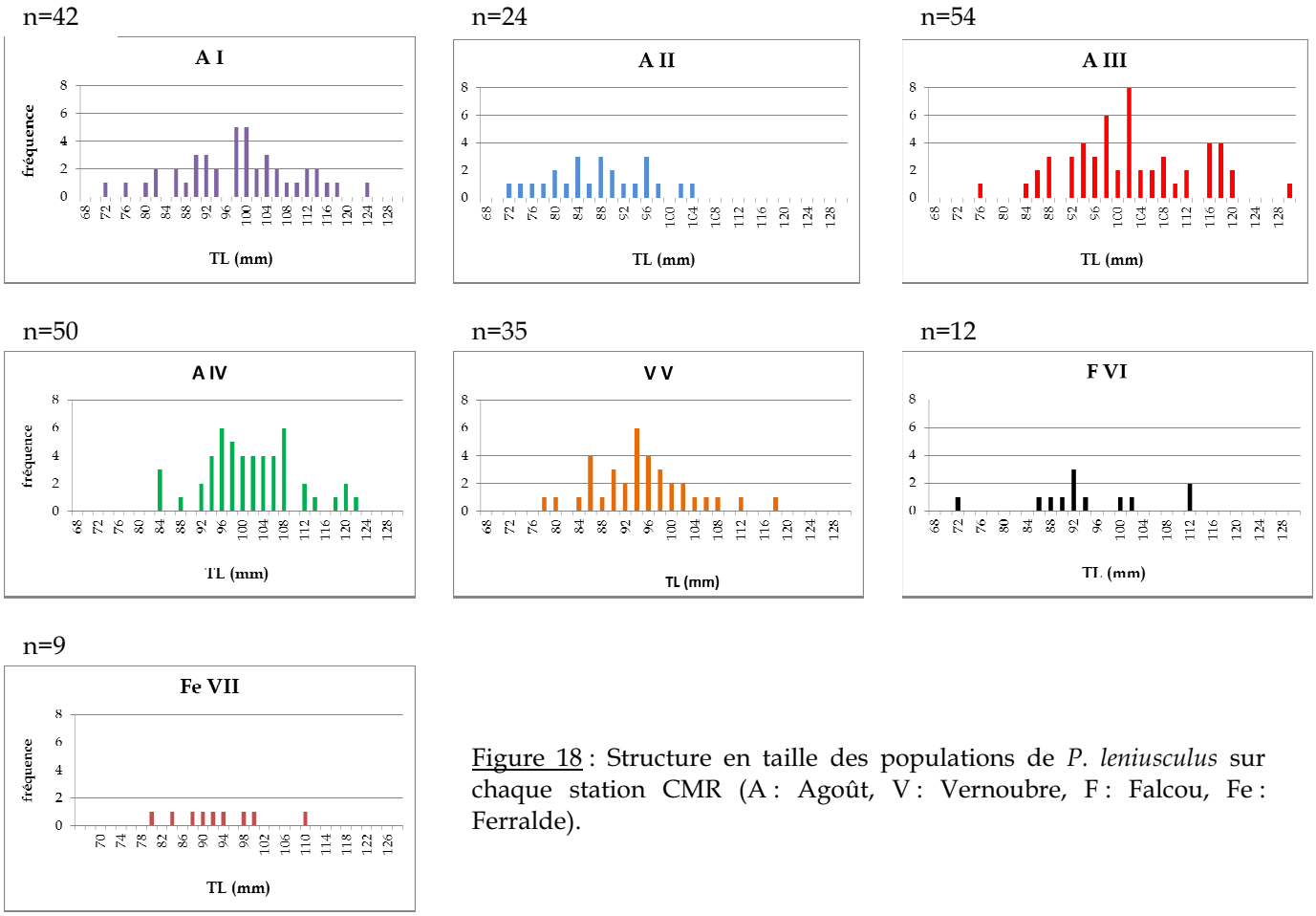


Figure 18 : Structure en taille des populations de *P. leniusculus* sur chaque station CMR (A : Agoût, V : Vernoubre, F : Falcou, Fe : Ferralde).

On peut remarquer 4 classes d'âge pour les stations A.I, A.III et V.V même si les limites ne sont pas réellement bien délimitées à cause du nombre d'écrevisses pêchées. Les populations des stations F.VI et Fe.VII ne peuvent pas être caractérisées précisément du fait de l'effectif insuffisant. Selon les classes de taille, la population de A.II semble être la plus jeune, contrairement à A.IV et V.V par exemple où plusieurs individus sont de taille supérieure à 100 mm. Cette méthode peut être très pertinente pour un suivi des populations sur plusieurs années ou sur les mêmes cours d'eau, c'est d'ailleurs dans cet esprit que cette étude est réalisée. Ces mêmes populations pourront donc être comparées sur des périodes différentes, voire sur du long terme, pour voir si l'évolution des populations est constante ou si elle subit les effets de facteurs extérieurs comme l'augmentation du niveau d'anthropisation par exemple.

Les densités estimées par la méthode de Capture-Marquage-Recapture permettent de donner une idée générale de l'ampleur de la colonisation par les populations de *P.leniusculus* et des zones les plus touchées (Figure 20). Pour chaque densité estimée, l'intervalle de confiance à 95 % a été calculé, il sera noté IC dans la suite du texte.

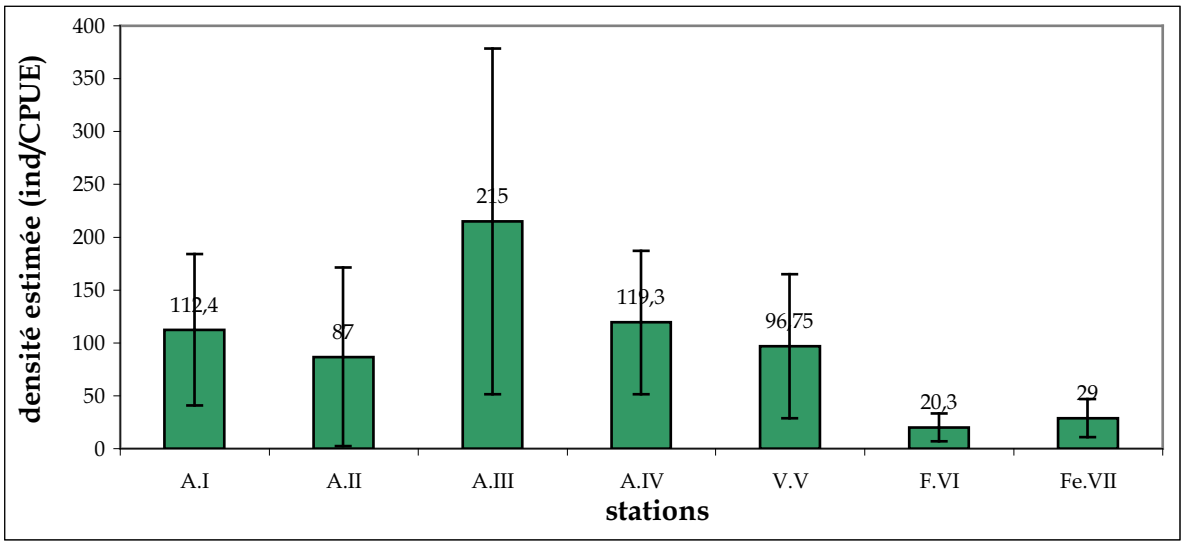


Figure 20 : Diagramme en bâtons des densités estimées (ind/CPUE) et intervalles de confiance à 95 % pour chaque station CMR (A : Agoût, V : Vernoubre, F : Falcou et Fe : Ferralde).

Les densités estimées sont en majorité les plus importantes sur les stations situées sur l'Agoût : c'est bien le cas pour A.I (112,4 ind/CPUE, IC=71,5), A III (215 ind/CPUE, IC=163,5) et A.IV (119,3 ind/CPUE, IC=67,7). Bien que la station A.II soit sur l'Agoût, les densités estimées sont un peu plus faibles (87 ind/CPUE, IC=84,26). La densité estimée pour V.V est de 97 ind/CPUE (IC=68,1), ce qui est assez élevé pour une station placée assez loin en amont sur un affluent. Les ruisseaux de Ferralde et le Falcou sont caractérisés par les plus faibles densités estimées (respectivement 29 ind/CPUE, IC=18,15 et 20,3 ind/CPUE, IC=13,07). Enfin, on peut noter que la station avec les densités les plus élevées se situe sur le cours d'eau principal, juste en amont de la ville de Brassac.

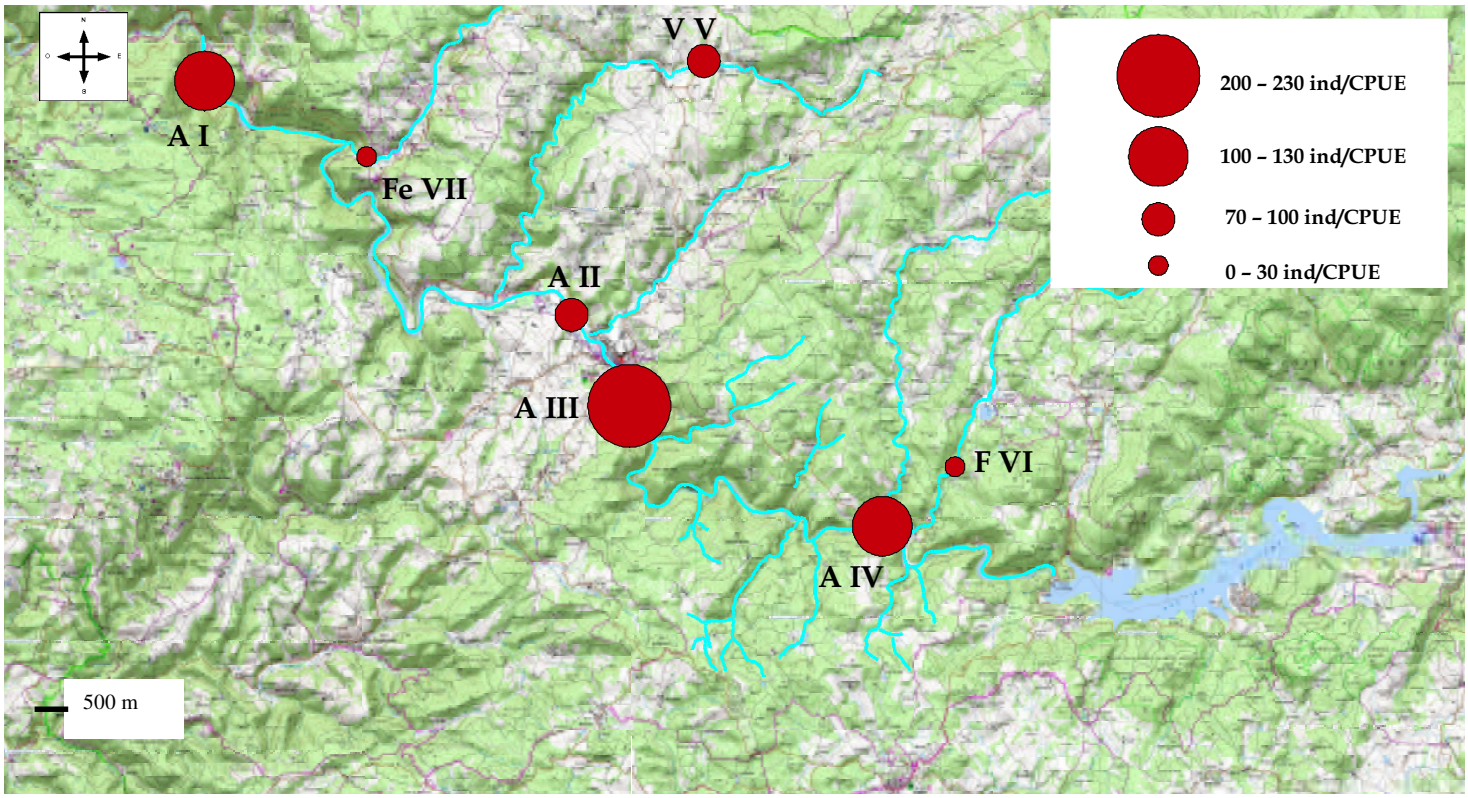


Figure 12 : Carte des stations CMR et les densités estimées respectives (ind/CPUE) (A : Agoût, V : Vernoubre, F : Falcou et Fe : Ferralde).

État sanitaire des populations de *P.leniusculus* rencontrées :

La plupart des individus signal capturés possédaient de nombreux parasites, certaines mutilations (notamment l'absence ou la très petite taille d'une pince) ou encore des signes de maladies (tâches, parties du corps dégradées). Tous ces détails ont été pris en photographies (Figure 19). En effet, il semblerait pertinent d'avoir des traces de tout ce qui a pu être rencontré lors des campagnes de prospections de cet été 2011 : il serait alors possible de suivre l'évolution à long terme des dégradations possibles sur les populations de *P.leniusculus* (mutilations semblables ou différentes, parasites différents, moins nombreux ou plus nombreux…).

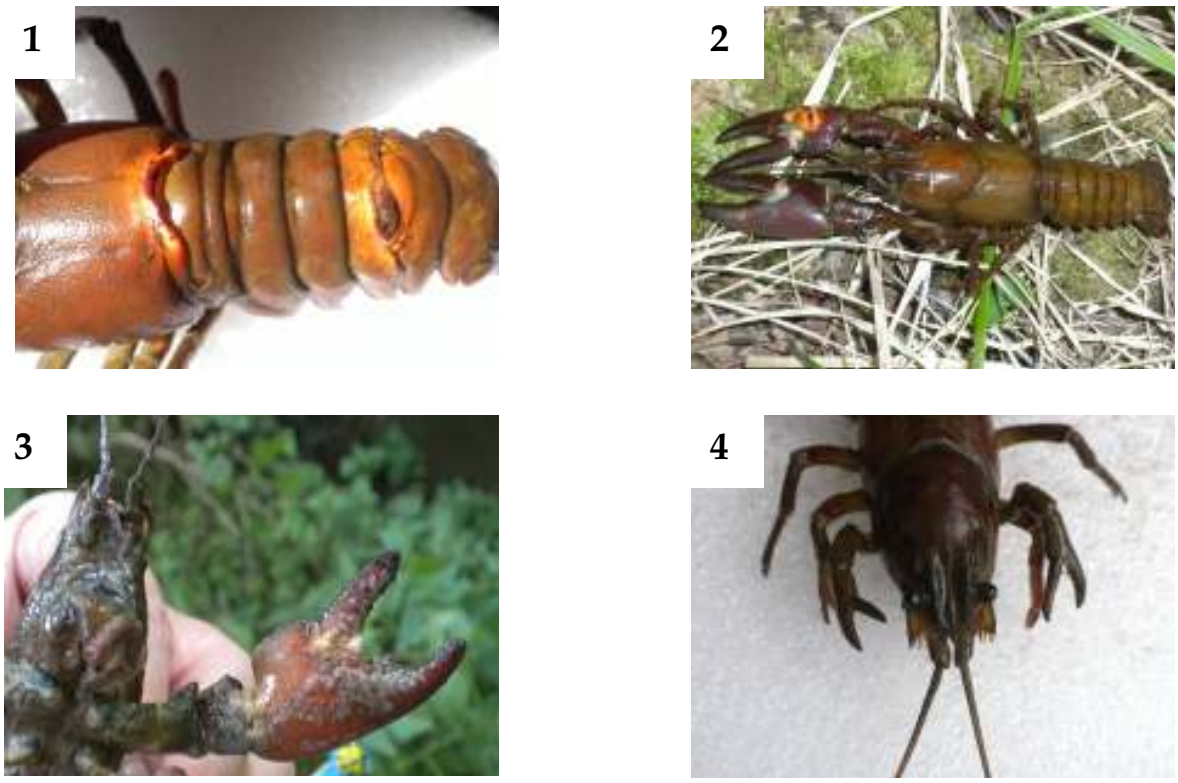


Figure 19 : Photographies d'individus de *P.leniusculus* présentant un état sanitaire dégradé.

1- Tâches orangées et altération sur le céphalothorax et l'abdomen (station A .III)
2- Cadavre d'un individu avec tâche orangée sur la pince droite (station F.VI)
3- Parasites très nombreux sur la face inférieure de la pince gauche (station Fe.VII)
4- Individu de taille adulte avec deux pinces de taille très petite (station V.V)

Habitats colonisés préférentiellement par *P.leniusculus* :

Pour tenter de comprendre comment se distribuent les individus au sein des cours d'eau et connaître les zones les plus propices à la vie des organismes, il est indispensable de décrire précisément les habitats disponibles et les endroits d'où sortent les écrevisses lors des prospections à la balance (Figure 24). Ainsi, il sera peut être possible d'expliquer pourquoi certaines zones sont aujourd'hui colonisées par cette espèce alors qu'auparavant non.

Figure 24 : Photographies de micro-habitats abritant *P.leniusculus* (source personnelle).

1 - Cours d'eau avec beaucoup de litière et bois mort
2 - Rochers très proches des berges
3 - Litière et racines des arbres de la berge
4 - Rochers et cailloux proches de la berge

La plupart du temps, les écrevisses s'approchant des balances sortaient des berges ou de zones très proches de ces dernières. En général, la majorité des individus étaient cachés sous de gros rochers formant la berge ou étant à sa proximité immédiate (Figure 24, n°2). En cas d'absence de gros rochers ou si ceux-ci sont en petit nombre, les écrevisses se retrouvent sous les racines des arbres ou sous la litière, toujours sous la berge (Figure 24, n°1 et 3). Enfin, plus rarement, les individus sortaient de dessous de petits rochers, un peu plus loin de la berge (Figure 24, n°4).

On peut dire d'après toutes les observations faîtes sur le terrain qu'en règle générale, les micro-habitats utilisés sont principalement le dessous des rochers, de la litière et des racines formant les berges. Ces habitats sont en majorité dans des zones à l'ombre et où la végétation aux alentours des berges est plutôt abondante, même si des individus peuvent se retrouver cachés dans des endroits en plein soleil, en bordure de prés.

Les zones où le plus grand nombre d'écrevisses a été capturé se caractérisent par un courant faible voire très faible parfois, avec la présence d'ombre et un nombre de caches important.

Cependant, des écrevisses ont été retrouvées proches de la fin de radiers, ou encore dans des zones où le courant était modéré. De la même façon, des individus se trouvaient au sein de portions de cours d'eau fréquemment piétinées par le bétail et abîmées par le passage des animaux. La présence de vase n'est pas limitante pour cette espèce.
Il n'est donc pas évident de faire une généralité sur les micro-habitats préférentiels des écrevisses signal qui colonisent des milieux parfois très différents et hétérogènes.

Caractérisation et évolution des populations d'*A.pallipes* dans le bassin versant du Haut Agoût :

Des données antérieures ont été fournies par l'ONEMA, présentées sous la forme « présence-absence » de ces populations en fonction des cours d'eau. Les prospections se sont effectuées en 2001, 2004, 2005, 2006, 2007 et 2009 sur ce secteur (Tableau 3). Ne disposant pas de données chiffrées sur les effectifs présents, nous ne pourrons que comparer l'évolution de la colonisation des linéaires.

Cours d'eau	2001	2004	2005	2006	2007	2009	2011
A	/	/	/	/	présence	présence	présence
B	présence	/	/	/	/	/	**absence**
C	présence	/	présence	/	/	/	**absence**
D	présence	/	/	/	/	présence	présence
E	présence	/	présence	/	/	présence	**absence**
F	présence	/	/	/	/	/	**présence minime**
G	/	présence	présence	présence	présence	/	présence

Tableau 3 : Evolution de la présence des écrevisses *A.pallipes* sur les cours d'eau du bassin versant de l'Agoût supérieur (données de 2001 à 2009 par l'ONEMA).

Il n'y a que 2 ruisseaux où l'écrevisse *A.pallipes* est présente de 2001 à aujourd'hui, à savoir A et G. Il sera donc intéressant d'étudier particulièrement leur état, leur morphologie et les habitats à disposition sur ces linéaires. Il s'est avéré que la partie amont de G se situait dans une zone de tourbière où on a pu observer des espèces caractéristiques comme les Sphaignes, la Molinie bleue (*Molinia caerulea*), la Callune (*Calluna vulgaris*), ou encore une espèce de Potamot, immergée dans le ruisseau. Ces sites accueillent une grande diversité aussi bien floristique que faunistique et représentent des milieux fragiles qu'il faut tenter de préserver.

Pour le ruisseau F, *A.pallipes* est en train de disparaître, des individus de *P.leniusculus* en plus grand nombre ayant été contactés. Cette situation où les deux espèces vivent au même endroit est rare : l'évolution prédite étant la disparition de l'espèce autochtone d'ici peu.

Sur la plupart des autres cours d'eau, les populations autochtones évoluent dans le sens présence vers absence : c'est notamment le cas du ruisseau C où aucune écrevisse n'a été observée cette année. Les résultats les plus étonnants concernent C et E. En effet, *A.pallipes* a toujours été présente sur E depuis 2001 : or, cette année, aucun individu n'a été repéré. Mais ce n'est pas seulement leur absence qui inquiète mais justement la présence d'individus de *P.leniusculus* dont des juvéniles, aux mêmes endroits où était auparavant *A.pallipes*. Il semblerait donc que les populations d'écrevisses autochtones de ce ruisseau est bel et bien disparues, au profit des allochtones. Pour le ruisseau C, aucun individu vivant n'a été vu, mais une partie de pince a été retrouvée : d'après sa forme et la couleur fortement orangée de sa face inférieure, il est possible qu'elle appartiennent à l'espèce *P.leniusculus.* Il faut savoir qu'il y a une dizaine d'années, *A.pallipes* y était présente sur tout le long du linéaire. Des suivis réguliers devraient être indispensables pour suivre ce ruisseau et savoir si les individus allochtones sont présents ou non et si l'espèce à pieds blancs a réellement disparu de cette zone ou si elle persiste encore à quelques endroits.

.

Afin de comparer au mieux toutes les données selon les années, il serait préférable d'utiliser toujours les mêmes méthodes lors des prospections de nuit, avec un comptage approximatif d'individus pour avoir un aspect quantitatif. Aussi, la détermination de la proportion d'individus selon les modalités adultes/juvéniles semble essentielle pour connaître la composition des populations.

Concernant les micro-habitats de cette espèce, on peut dire qu'elle se retrouve majoritairement dans des vasques où le courant est faible à très faible. Le nombre d'individus au sein d'une même vasque peut alors vite être assez important (on a pu noter par exemple une dizaine d'écrevisses au même endroit). Les juvéniles observés sortent souvent de sous des amas de Bryophytes ou de litière proche des berges mais toujours dans ces types de vasques. Contrairement à *P.leniusculus,* l'espèce autochtone ne s'est pas observée cette année là où il y avait beaucoup de vase ni trop de sable.

DISCUSSION

L'établissement des facteurs liés à la qualité de l'habitat des cours d'eau jouant un rôle sur la répartition géographique des espèces d'écrevisses *Austropotamobius pallipes* et *Pacifastacus leniusculus* est impossible sans connaître la répartition de base sur le bassin versant du Haut Agoût de ces dernières. De plus, la caractérisation des populations échantillonnées est essentielle pour comprendre comment elles se distribuent géographiquement. Mais il faut obligatoirement lier les populations à leur milieu de vie, et plus particulièrement à leur habitat au sein des cours d'eau. La qualité des habitats peut dépendre de plusieurs facteurs, corrélés ou non. De nos jours, avec une augmentation constante de l'anthropisation , de la fragmentation et de la destruction de certains milieux, il apparaît essentiel de tenter de protéger les zones les plus fragilisées ou encore épargnées par le phénomène.

La régression ou la disparition des écrevisses à pattes blanches en France ne semble pas être due uniquement à un seul facteur comme les maladies qui peuvent l'atteindre (Edgerton B.F. et al, 2004). C'est pour cela qu'il faut se pencher plus en détail sur la qualité des habitats et milieux de vie de ces organismes. Sur le bassin versant du Haut Agoût, les populations de l'espèce *Austropotamobius pallipes* se retrouvent en général dans des petits ruisseaux, en tête de bassin. Dans la plupart des cas, les cours d'eau abritant encore *A.pallipes* sont en phase de colonisation depuis l'aval par *P.leniusculus* qui semble progressivement remonter vers l'amont. Certaines zones favorables à l'écrevisse autochtone il y a quelques années sont désormais totalement colonisées par l'écrevisse allochtone : nos résultats tendent donc à dire que ces deux espèces occupent des habitats similaires (Collas M. et al, 2007). Pour appuyer cette conclusion, il a même été observé une zone du cours d'eau F où les deux espèces étaient visibles, séparées seulement par une vingtaine de mètres. Pour savoir si la progression de *P.leniusculus* est une des origines de la régression de l'écrevisse à pattes blanches, il sera nécessaire de retourner très régulièrement sur ce ruisseau afin d'observer l'évolution de l'espèce autochtone. Si celle-ci disparaît au profit de l'espèce invasive, alors c'est que la compétition entre les deux pourra être considérée comme une cause de disparition. La transmission de maladies est également à surveiller de près.

Les études physiques, hydromorphologiques des cours d'eau et physico-chimiques de l'eau amènent quelques réponses quant au lien entre la qualité de l'habitat et la répartition géographique des deux espèces d'écrevisses sur le bassin versant du Haut Agoût.

Les sites à *A.pallipes* et ceux à *P.leniusculus* sont distinguables grâce aux variables turbidité, titre hydrotimétrique TH, concentrations en calcium, nitrates et magnésium. Les zones abritant l'espèce invasive sont beaucoup plus turbides en moyenne que celles où vivent des populations d'*A.pallipes*. Une turbidité trop importante amène la profondeur euphotique plus en surface, laissant pénétrer moins de rayons lumineux pour les organismes photosynthétiques. Ainsi, le dioxygène disponible tend à baisser. Le milieu aquatique peut alors évoluer vers un stade eutrophe, et les ressources trophiques nécessaires à la vie des écrevisses à pattes blanches diminuent (certains phyllum d'Invertébrés disparaissent par exemple…). De la même façon, lorsque les concentrations en nitrates dans l'eau sont élevées, on ne retrouve que *P.leniusculus* ou aucune écrevisse. Les individus autochtones ont des limites de tolérance beaucoup plus faibles concernant ce paramètre : ils ne peuvent vivre que dans des eaux peu ou pas polluées par les nitrates. Ces pollutions ont en général pour origine des apports extérieurs, notamment les engrais utilisés dans l'agriculture, riches en ammonium et en nitrates. Ces produits arrivent immanquablement par ruissellement dans les cours d'eau qui sont les réceptacles finaux de toutes pollutions. Si leur composition est forte en ammonium,

ce dernier peut alors être transformé en nitrites puis rapidement en nitrates par *Nitrobacter* en présence d'oxygène. Les phénomènes d'anthropisation peuvent alors être pris en compte pour expliquer la régression des populations autochtones lorsqu'ils touchent l'environnement proche des cours d'eau (champs ou cultures à proximité). Les sites à *P.leniusculus* sont également caractérisés par des concentrations en magnésium significativement plus élevées que ceux à *A.pallipes*.

Tous ces éléments indiquent qu'une trop forte minéralisation de l'eau n'est pas favorable à l'espèce autochtone. Même si cette année, les zones avec *A.pallipes* ont en moyenne des teneurs en calcium significativement inférieures à celles avec l'espèce invasive, cet élément est essentiel à l'élaboration de la carapace et donc à la vie des écrevisses à pattes blanches. Les cours d'eau dépourvus d'individus ont des concentrations en calcium élevées, et la plupart du temps des moyennes proches de celles de sites à *A.pallipes* pour les autres variables, excepté pour les nitrates. Certains pourraient donc représenter des sites d'accueil favorables à cette espèce.

Les variables profondeurs et largeurs du cours d'eau sont déterminantes pour distinguer les sites sur ce bassin versant : l'espèce autochtone est cantonnée dans de petits cours d'eau peu profonds alors que *P.leniusculus* se retrouve surtout dans la rivière principale beaucoup plus large et profonde (bien que cette espèce colonise aussi les petits ruisseaux).

L'espèce allochtone est donc beaucoup plus tolérante vis à vis de nombreuses variables physiques et physico-chimiques contrairement à *A.pallipes* qui a besoin d'une qualité d'eau supérieure (Broquet T. et al, 2002).

Les indices de qualité hydromorphologiques sont assez homogènes sur l'ensemble du bassin versant du Haut-Agoût, dans le sens où aucune différence significative entre les stations n'entrent en jeu. Certains sites sont décrits en « mauvais état écologiques » à cause d'un trop fort colmatage du lit ou de la qualité des berges qui se dégrade. Plus de la moitié des stations étudiées sont en « bon état écologiques » d'après ces indices et parmi eux certaines abritent *A.pallipes*, d'autres *P.leniusculus* ou encore certains aucune écrevisse. Cependant, une petite tendance est observée : les sites « en mauvais état » n'abritent aucune écrevisse ou uniquement l'espèce allochtone. Il semblerait donc que la qualité de l'habitat ait un rôle dans la distribution des espèces. Mais les facteurs à l'origine de cette distribution sont trop hétérogènes pour conclure. Parfois, la dégradation des milieux est liée au piétinement par le bétail, ou par l'exploitation trop intensive de la ripisylve, ou par des pressions de pêche trop importante, ou par l'utilisation excessive de produits phytosanitaires …

La régression de l'espèce autochtone ne peut donc pas être expliquée clairement par la qualité de l'habitat et de l'eau : il faut étudier précisément tous les facteurs à des échelles stationnelles : on se retrouve alors dans l'impossibilité d'extrapoler des résultats à l'échelle d'un bassin versant, d'une région ou de tout un territoire.

Même si la qualité du milieu ne semble en général pas être à l'origine même de la répartition des deux espèces, il est important de se pencher sur la description des populations et leur fonctionnement. L'écrevisse allochtone *P.leniusculus* étant invasive, sa manipulation sur le terrain est autorisée : toutes les mesures biométriques ont permis de donner une idée générale sur la caractérisation des populations en fonction de leur lieu de vie.

Au sein de l'Agoût, les individus gardent des tailles relativement homogènes, excepté pour la station A.II qui présentent les écrevisses les plus petites. Cela pourrait s'expliquer par le fait que cette station ne se situe pas dans le cours d'eau principal mais dans un bras secondaire : les ressources alimentaires peuvent être différentes et moindres, tout comme le nombre d'abris qui semblait inférieur sur le terrain. On ne prendra donc pas en compte cette station dans la suite des explications sur la taille des individus. Sur l'Agoût, quelles que soient les stations, les individus n'ont pas des tailles significativement différentes. On peut donc dire que le cours d'eau est relativement homogène et ne présente pas de grosses différences en fonction de l'amont ou de l'aval, contrairement à l'étude sur le Gijou où les individus étaient plus grands à l'amont qu'à l'aval. Sur les affluents, les individus ont tous une taille moyenne inférieure à celle des populations présentes sur l'Agoût (TL moy Agoût = 97,76 mm comprenant A.I, A.III et A.IV contre 91,27 mm pour F.VI, 91,51 mm pour Fe.VII et 92,05 mm

pour V.V). En effet, la configuration de ces ruisseaux et leur hydromorphologie est totalement différente de celle de l'Agoût qui est déjà beaucoup plus large, profonde et dont le débit diffère. Les aliments sont donc sûrement eux aussi différents, les macroinvertébrés ne se distribuant pas de la même façon sur des milieux si distincts. Tout comme l'an dernier sur le bassin versant du Gijou, les mâles présentent une taille moyenne significativement supérieure à celle des femelles, trait qui semble caractéristique de l'espèce.

Le sex-ratio est en majorité déséquilibré en faveur des mâles. Ce constat était le même lors de l'étude en 2010 sur le Gijou. On retrouve tout de même des stations où les femelles sont plus en nombre et une station ou le ratio est équilibré. La pression de pêche peut être à l'origine de ces résultats. Les individus les plus forts, et donc souvent les mâles, sont les premiers à arriver dans les pièges. Donc, plus la pression est importante, plus le sex-ratio penchera pour les femelles.

Les densités estimées de *P.leniusculus* sont plus importantes sur l'Agoût que sur ses affluents (bien que les résultats sont à considérer avec précaution au vu des intervalles de confiance à 95%). La rivière principale est donc colonisée de la confluence avec le Gijou jusqu'au lac de La Raviège, les populations étant déjà en place. Des individus se retrouvant en nombre en amont du Vernoubre, on peut conclure que ce ruisseau n'est plus en phase de colonisation mais déjà colonisé. Pour le Ferralde, *P.leniusculus* n'a été observée cette année qu'en aval, ce qui tend à montrer qu'il est en phase de colonisation. Mais il a manqué de temps pour approfondir les prospections à la balance et voir jusqu'où précisément était remontée cette espèce. Il en est de même pour le ruisseau de Falcou. Les populations allochtones étant présentes dans les premiers temps en aval de ces cours d'eau, on conclut que *P.leniusculus* remonte depuis les confluences avec l'Agoût, même si la possibilité d'introductions volontaires plus en amont est tout aussi probable.

Sur le bassin versant du Haut Agoût en cet été 2011, 3 populations d'*A.pallipes* ont été contactées sur 3 ruisseaux différents. En général, ces écrevisses sont retrouvées en tête de bassin.

Les données comparées à celles de l'ONEMA des années précédentes montrent que les populations sont en forte régression voire disparition. Sur le ruisseau E par exemple, la population a même été remplacée par *P.leniusculus* alors que ce ruisseau depuis des années était colonisé sur la majeure partie de son linéaire par *A.pallipes*. Même si une petite population de l'espèce autochtone était présente, on pourrait prédire son déclin à cause des signal pouvant amener des maladies, ou à cause de la compétition indirecte pour la nourriture et les habitats.

Pour le ruisseau B, *A.pallipes* a disparu mais la signal n'y pas encore été retrouvée. Sur le terrain ont été observés de nombreux bancs de sable anormaux, colmatant ainsi le lit et diminuant fortement le nombre et la diversité des microhabitats disponibles pour les écrevisses. La seule explication plausible serait une vidange d'un plan d'eau en amont. Le ruissellement sur les chemins de terre plus haut ne peuvent pas amener à ce résultat alarmant, leur distance avec le cours d'eau étant trop importante.

Quant au cours d'eau C, la disparition de l'espèce autochtone est inquiétante, d'autant plus qu'un morceau de pince avec la face inférieure très orangée a été retrouvé : cela porterait à croire que *P.leniusculus* a également colonisé ce ruisseau. De nouvelles prospections seraient nécessaires dans peu de temps pour confirmer cette conclusion. Là aussi, en aval, du sable et de la vase en quantités anormalement importantes ont été vues, peut être le résultat d'une vidange.

Aucune nouvelle population n'a été découverte, ce qui prouve que cette espèce est bel et bien en voie de régression sur ce bassin versant. L'étude des substrats et du colmatage semble se révéler être un indicateur de la présence d'*A.pallipes* sur ces ruisseaux. Des prospections nocturnes sur toute la longueur des petits cours d'eau seraient souhaitables pour beaucoup plus de précision, bien que cela soit très difficile à réaliser, tant au niveau du personnel que de l'accessibilité des zones. Un nombre important de caches et d'abris est nécessaire à la vie de l'espèce autochtone, notamment de la litière pour les juvéniles, des rochers, des branchages …

Un facteur a aussi pu être déterminant cette année pour la distribution géographique d'*A.pallipes*, à savoir le manque d'eau sur certains ruisseaux. Cette espèce colonisant surtout les petits ruisseaux, les effets de débits trop faibles y sont d'autant plus rapides et dévastateurs.

Les populations autochtones observées sur le ruisseau **G**, au mois d'Août 2011, présentent 5 femelles portant les œufs pratiquement à maturité. Les phases d'incubation se terminent normalement vers le mois de Juin, ce qui tendrait à croire que les femelles aient du retard. Ce phénomène est observé déjà depuis quelques années (ONEMA) mais aucune explication n'a encore été trouvée pour l'expliquer. Des juvéniles ont surtout été repérés sur A mais également sur les D (en moindre importance) : cela prouve donc que la reproduction naturelle s'effectue toujours et que ces populations peuvent pour l'instant se maintenir, si aucune nouvelle perturbation extérieure ne survient. Aussi, les individus étaient en très bon état sanitaire, ce qui est encourageant quant à leur survie future. Ces ruisseaux sont donc à surveiller avec attention très régulièrement afin d'éviter toute régression d'*A.pallipes* ou colonisation par l'espèce invasive.

La méthode d'échantillonnage par maille n'a pas pu être respectée sur toutes les zones concernées à cause d'une mauvaise accessibilité. Par conséquent, le réel protocole de départ n'a pas toujours pu être appliqué. Un échantillonnage aléatoire aurait pu être proposé, bien que le même problème se serait posé. La technique des balances semble efficace concernant l'espèce invasive, du moment que tout est toujours appliqué de la même façon et partout (temps de pose identique…). Cependant, seuls les adultes actifs sont capturés, les juvéniles étant trop peu accessibles. Une alternative pour connaître la dynamique des populations serait d'effectuer des prospections nocturnes à la lampe, tout comme pour *A.pallipes,* afin de comptabiliser aussi bien les juvéniles que les adultes. De plus, un biais est inséré dans cette méthode puisque c'est le manipulateur qui choisit les endroits de pose des balances en fonction du milieu. La fiabilité peut donc être diminuée. Cependant, cela reste une technique peu coûteuse, abordable par tous et reproductible, d'où le choix de l'utiliser encore cette année. Toujours dans l'esprit de connaître la dynamique des populations, il apparaîtrait intéressant de peser les individus, en complément des mesures biométriques déjà effectuées : en effet, selon les milieux et les cours d'eau, deux individus du même âge peuvent être totalement différents en fonction des ressources trophiques ou d'autres paramètres. La technique d'estimation des densités de Petersen fonctionne du moment que les populations sont importantes à l'origine et que le nombre d'individus marqués recapturés est relativement grand. On ne peut donc pas toujours se fier à ses résultats, bien qu'ils donnent quand même les tendances générales.

Enfin, les indices de qualité physique de l'habitat développés par le CATER ne permettent toujours pas cette année de séparer les sites avec *A.pallipes* des autres. Mais ils permettent tout de même de voir l'état général du milieu et les perturbations associées, nécessaires à un suivi de qualité régulier. L'observation et la description des micro-habitats des écrevisses directement sur le terrain, au moyen de photographies et remarques peut être un bon moyen de connaître précisément les lieux qu'affectionnent particulièrement ces organismes. Cependant, il s'agit d'un échelle faible comparé à la totalité des cours d'eau et bassins versants.

En complément, il serait intéressant d'associer à l'étude des stations des prélèvements IBGN (Indice Biologique Global Normalisé) pour avoir une autre idée de qualité de l'eau, des milieux et des ressources disponibles pour les écrevisses. De plus, si des espèces d'Invertébrés rares et bioindicatrices de milieux en très bon état sont découvertes, la protection des zones serait d'autant plus envisageable et justifiée.

La restauration proprement dîte des milieux n'est pas la solution mise en avant d'après nos résultats ici. Cependant, il semblerait important sur certains ruisseaux accueillant encore *A.pallipes* de retirer les gros troncs d'arbres bloquant l'écoulement normal des eaux sur certaines portions. Un système de prévention est peut être plus facilement envisageable auprès des mairies mais surtout des pêcheurs et des propriétaires de terrains placés au sein du linéaire traversé par les cours d'eau. La désinfection systématique du matériel de pêche est à indiquer aux utilisateurs. Bien sûr, tenter de changer les habitudes de certains agriculteurs concernant l'utilisation de produits phytosanitaires semble très difficile mais est tout de même à proposer, tout comme le retrait progressif des clôtures trop proches de l'eau.

L'éradication des écrevisses signal est impossible d'après tous les linéaires colonisés et les fortes densités. La stérilisation des mâles adultes est un moyen trop coûteux et difficile à mettre en place, d'autant plus qu'il faut tuer les femelles et les juvéniles pour que cela fonctionne bien (Duperray, 2007). Des manipulations d'éradication de ces populations ont été testées en Écosse sur des étangs par des techniques de désoxygénation de l'eau et par l'application de pyrèthre naturel (Peays et al, 2006). Même si certains de leurs résultats semblent concluant quant à l'efficacité de leur produit, ce système n'est pas applicable ici, le pyrèthre pouvant contaminer à la fois les Invertébrés et les populations piscicoles. Des campagnes d'élimination mécanique sont les plus adaptées mais ne suffiront pas à préserver l'espèce autochtone. Cet été, une « écrevissade » a été organisée par l'AAPPMA de Lautrec le 14 Août 2011 sur les rives du Bagas. Cette pêche ouverte à tous, peut être un moyen de limiter l'expansion de *P.leniusculus* tout en sensibilisant les participants aux problèmes touchant les écrevisses à pattes blanches, espèce patrimoniale. Concernant *A.pallipes*, des réintroductions ne sont pas possibles, car il faudrait que les populations donneuses soient assez abondantes (Taugbol T. et al, 2004), ce qui n'est pas le cas sur ce bassin versant. Les études sur la reproduction des écrevisses autochtones en conditions artificielles sont à développer, dans le but de maintenir des effectifs suffisants pour conserver les populations en danger. Cependant, certaines des techniques sont encore débattues (Carral J. M. et al, 2003).

CONCLUSION

Dans cette étude sur le bassin versant du Haut Agoût, il apparaît que les populations de *P.leniusculus* colonisent la plus grande partie des linéaires, notamment sur l'Agoût, cours d'eau principal, plus grand et plus profond que ses affluents. L'espèce autochtone est en régression, comparé aux résultats des années précédentes (ONEMA). Là où elle persiste, il y a parfois tout de même des perturbations dues à l'Homme (vidanges de plan d'eau, cultures, piétinement…). Un suivi régulier est donc préconisé.

Les populations invasives se caractérisent sur ce bassin versant par des mâles plus grands que les femelles, un état sanitaire des individus en général dégradé (beaucoup de parasites externes) et des densités variables selon les cours d'eau échantillonnés. Les populations ne semblent pas rester aux mêmes endroits, des ruisseaux encore jamais touchés étant désormais en cours de colonisation.

Grâce aux analyses statistiques, il s'est avéré que certains paramètres permettent de différencier les sites à *A.pallipes* de ceux *à P.leniusculus*. Certains de ces facteurs sont directement liés à la physico-chimie de l'eau : les concentrations en magnésium, nitrates, calcium, le titre hydrotimétrique et la turbidité. Il serait alors plus facile de prédire directement en fonction des analyses de l'eau où pourraient vivre les populations autochtones. Cependant, toutes ces variables dépendent étroitement des activités humaines comme l'agriculture avec l'utilisation d'engrais, le relargage interdit de produits chimiques dans les cours d'eau par certains industriels ou particuliers … Le suivi s'avèrera alors plus difficile et les mesures devront être souvent répétées pour suivre au mieux l'évolution de la qualité des cours d'eau. Il en est de même pour certaines caractéristiques physiques déterminantes pour la survie d'*A.pallipes* : de nombreux abris et caches (notamment sous les berges, litière, rochers, racines) sont nécessaires. Mais ils peuvent être rapidement perturbés par le piétinement du bétail par exemple. De la même façon donc, ces paramètres doivent être décrits régulièrement pour palier au plus vite en cas de menace trop grande. Bien que ces quelques facteurs permettent d'expliquer en partie la répartition des espèces, tout comme l'année dernière, l'hydromorphologie du cours d'eau et la qualité de l'habitat ne semblent pas être déterminants. De nouveaux paramètres à mesurer seraient indispensables pour les études futures afin de trouver un réel lien entre distribution géographique et qualité du milieu.

BIBLIOGRAPHIE

- Alonso Aguilar Ibarra, 2004. Les peuplements de poissons comme outil pour la gestion de la qualité environnementale du réseau hydrographique de la Garonne. Thèse.

- Besson S., Bau F., Durlet P., 2008. Capacité de déplacement et utilisation des habitats de l'Ecrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes* Lereboullet, 1858) : Etude *in natura* par radiotélémétrie. *Rapport technique PNRM/ONEMA. LIFNAT/FR/000082* : 40 pp.

- Bohman P., Nordwall F., Edsman L., 2006. The effect of the large-scale introduction of signal crayfish on the spread of crayfish plague in Sweden. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **380-381** : 1291-1302.

- Broquet T., Thibault M., Neveu A., 2002. Distribution and habitat requirements of the white-clawed crayfish, *Austropotamobius pallipes*, in a stream from the Pays de Loire region, France : an experimental and descriptive study. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **367** : 717-728.

- Carral J. M., Saez-Royuela M., Celada J. D., Perez J. R., Melendre P. M., Aguilera A., 2003. Advantages of artificial reproduction techniques for white-clawed crayfish (*Austropotamobius pallipes* Lereboullet). *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **370-371** : 181-184.

- Changeux T., 2003. Evolution de la répartirion des écrevisses en France métropolitaine selon les enquêtes nationales menées par le Conseil Supérieur de la Pêche de 1977 à 2001 (Note Technique). *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **370-371** : 15-41.

- Collas M., Julien C., Monnier D., 2007. La situation des écrevisses en France. Résultats des enquêtes nationales réalisées entre 1977 et 2006 par le Conseil Supérieur de la Pêche. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **386** : 01-38.

- Dubois J.-P. , Gillet C. , Michoud M., 2006. Extension d'une espèce envahissante : suivi de la population d'écrevisses signal (Pacifastacus leniusculus Dana) au Léman à l'ouest de Thonon-Les-Bains entre 2001 et 2005 – Impact de la pêche. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **382** : 45-56.

- Füreder L., Reynolds J. D., 2003. Is *Austropotamobius pallipes* a good bioindicator ? *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **370-371** : 157-163.

- Gil-Sanchez José M., Alba-Tercedor Javier, 2002. Ecology of the native and introduced crayfishes *Austropotamobius pallipes* and *Procambarus clarkii* in southern Spain and implications for conservation of the native species. *Biological Conservation* **105** : 75-80.

- Greenaway P., 1974. Calcium balance at the postmoult stage of the freshwater crayfish *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet). *J. Exp. Biol.* **61** : 35-45.

- Neveu A., 2000. Etude des populations d'*Austropotamobius pallipes* (Crustacea, Astacidae) dans un ruisseau forestier de Normandie. II. Répartition en fonction des habitats : stabilité et variabilité au cours de cinq années. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **356** *: 99-122.*

- Paris L., Durlet P., Pesme E., 2009. Les écrevisses invasives du Morvan : cas de Pacifastacus leniusculus Dana, 1852, répartition et tentatives de luttes. *Rev. Sci. Bourgogne-Nature* **9-10** : 140-147.

- Peay S., Hiley P. D., Collen P., Martin I., 2006. Biocide treatment of ponds in Scotland to eradicate signal crayfish. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **380-381** : 1363-1379.

- Poeckl M., Pekny R., 2002. Interaction between native and alien species of crayfish in Austria : case studies. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **367** : 763-776.

- Renai B., Bertocchi S., Brusconi S., Gherardi F., Grandjean F., Lebboroni M., Parinet B., Souty Grosset C., Trouilhe M. C., 2006. Ecological characterisation of streams in Tuscany (Italy) for the management oh the threatened crayfish *Austropotamobius pallipes* complex. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **380-381** : 1095-1114.

- Reyjol Y., Roqueplo C., 2002. Répartition des écrevisses à pattes blanches, *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet, 1858) dans trois ruisseaux de Corrèze ; observation particulière des juvéniles. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **367** : 741-759.

- Taugbol T., Peay S., 2004. Reintroduction of native crayfish and habitat restoration. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **372-373** : 465-471.

- Trouilhe M. C., 2006. Etude biotique et abiotique de l'habitat préférentiel de l'écrevisse à pattes blanches (Austroppotamobius pallipes) dans l'ouest de la France. Implications pour sa gestion et sa conservation. Thèse Université de Poitiers, spécialité Ecologie des Systèmes Aquatiques Continentaux : 260 p.

- Trouilhe M. C., Ricard F., Parinet B., 2003. Management of the white-clawed crayfish (Austropotamobius pallipes) in western France : abiotic and biotic factors study. *Bull. Fr. Pêche Piscic* **370-371** : 97-114.

- Wheatly M. G., Taylor W. E., 1981. The effect of progressive hypoxia on heart rate, ventilation, respiratory gas exchange and acid-base status in the crayfish *Austropotamobius pallipes*. *J. Exp. Biol.*: 125-141.

ANNEXES

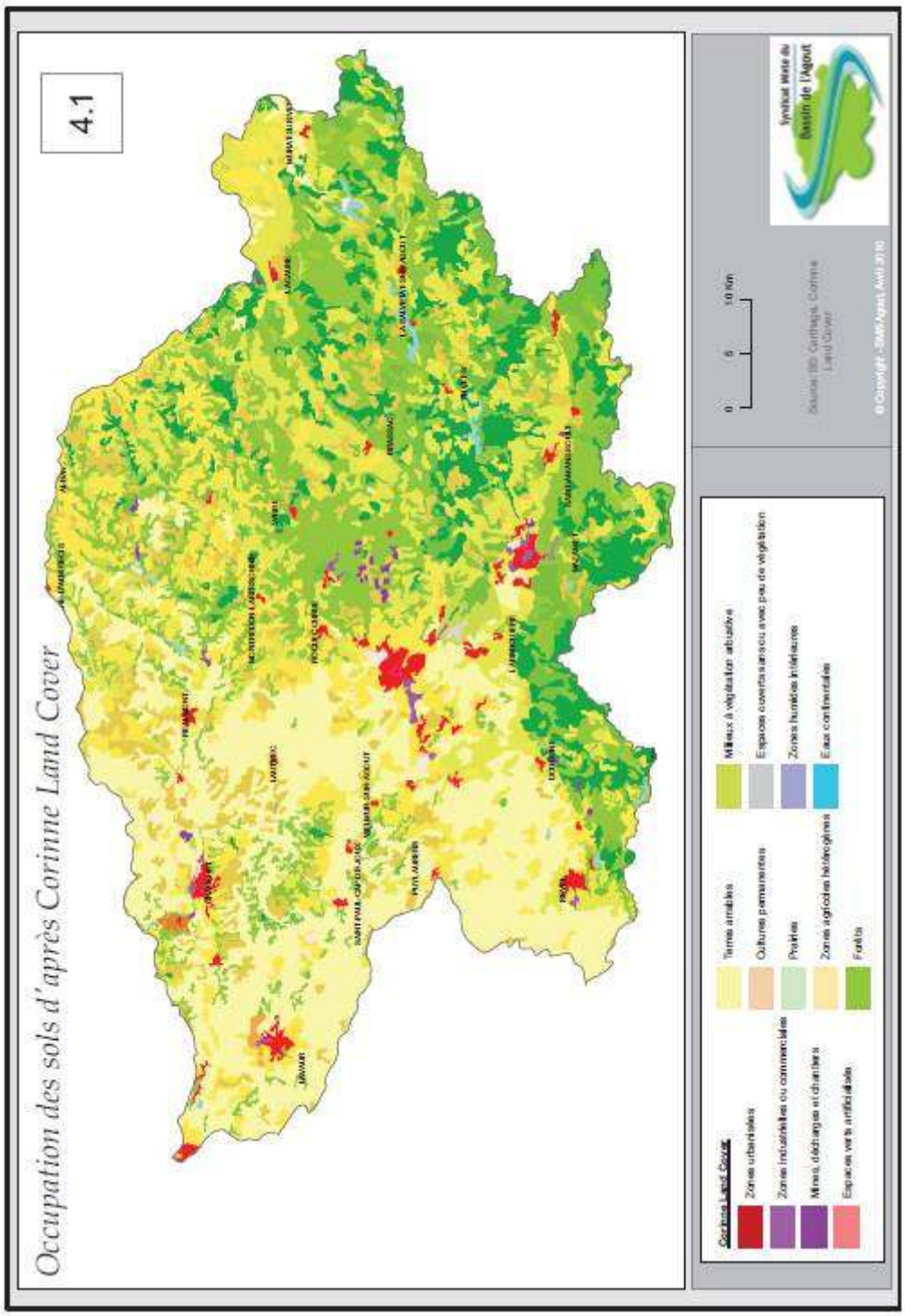
ANNEXE 1 : Occupation des sols sur le bassin versant de l'Agoût et du Haut Agoût .

ANNEXE 2 : Critères de détermination des différentes espèces d'écrevisses présentes en France.

ANNEXE 3 : Cartes des mailles prospectées de jour.

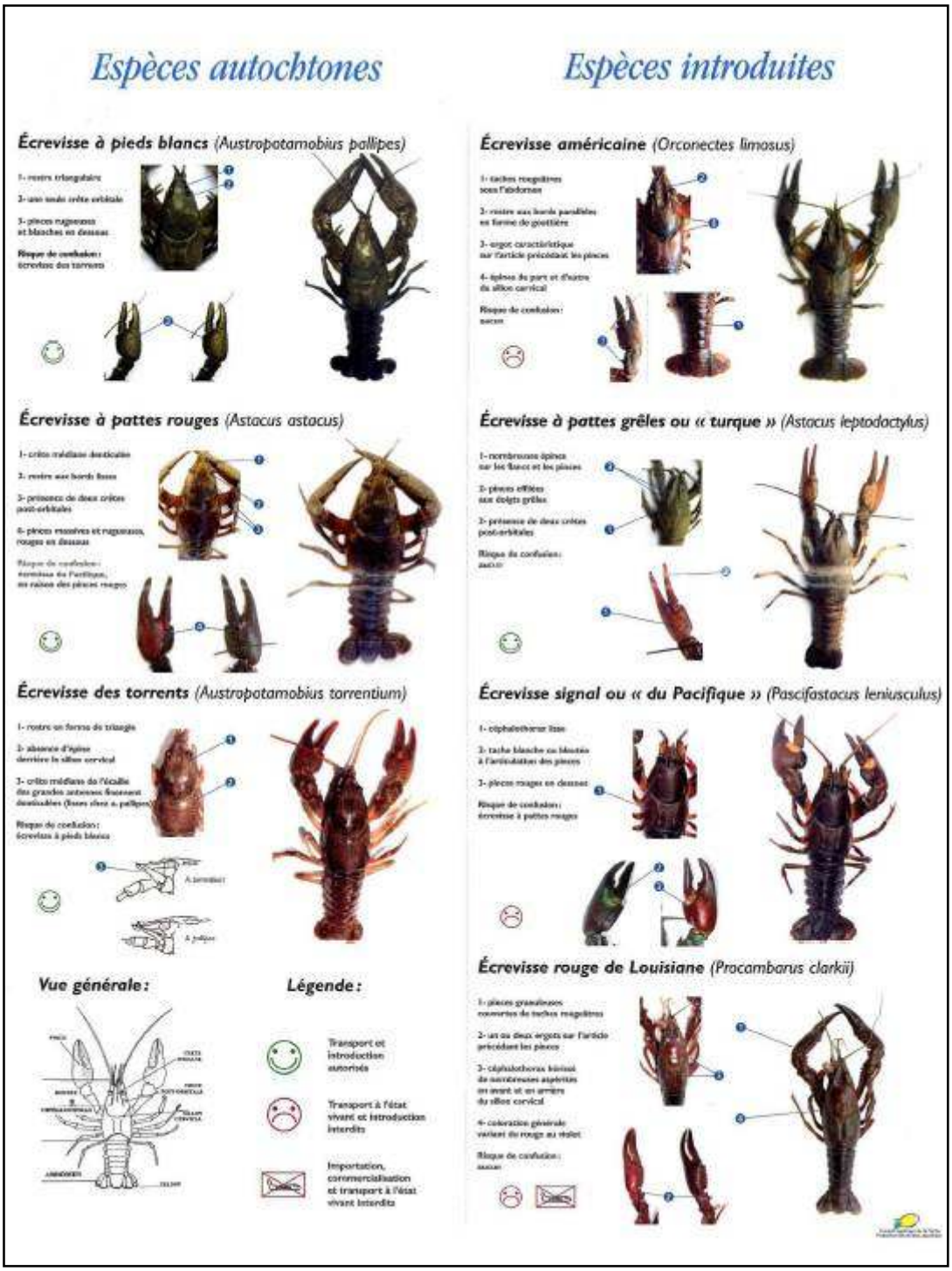
ANNEXE 4 : Description des indicateurs de qualité hydromorphologique des cours d'eau selon la CATER (cellule d'assistance Technique à l'entretien des rivières) du Conseil Général du Tarn.

ANNEXE 1 : Occupation des sols sur le bassin versant de l'Agoût et du Haut-Agoût



(Syndicat mixte du Bassin Agoût)

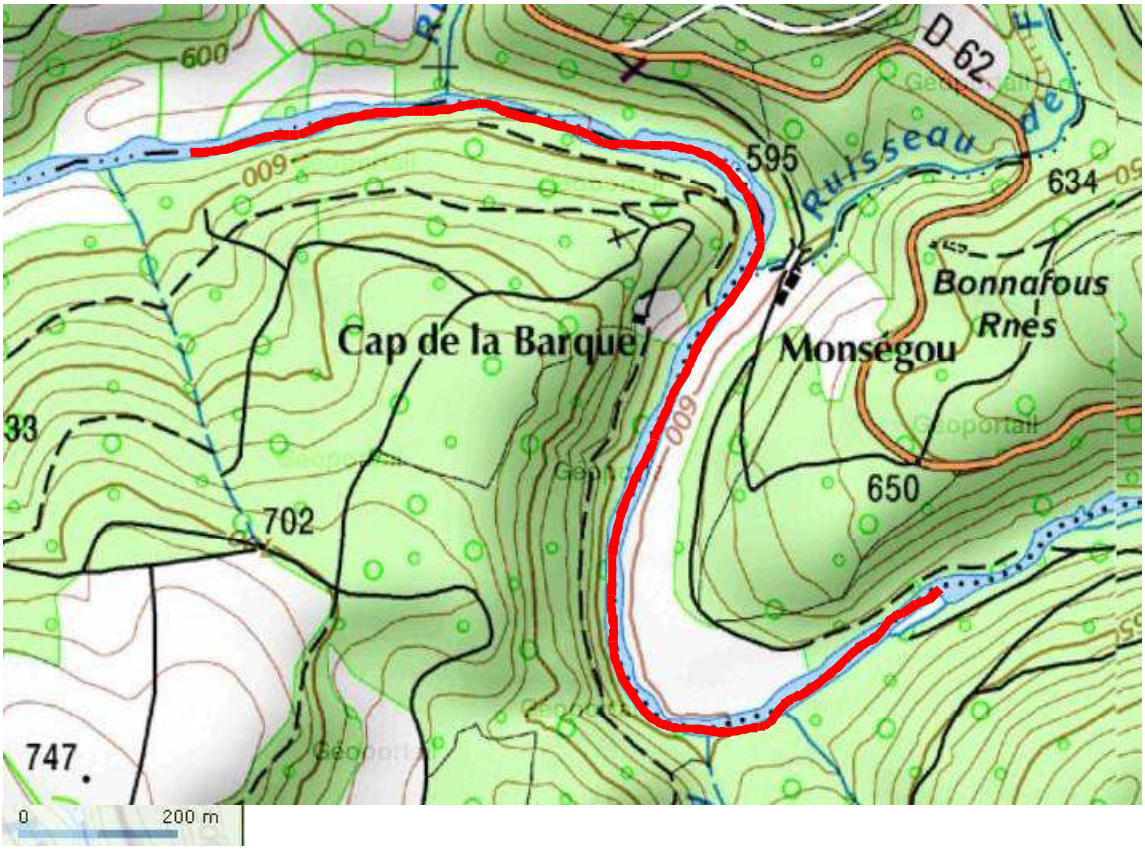
ANNEXE 2 : Critères de détermination des différentes espèces d'écrevisses présentes en France



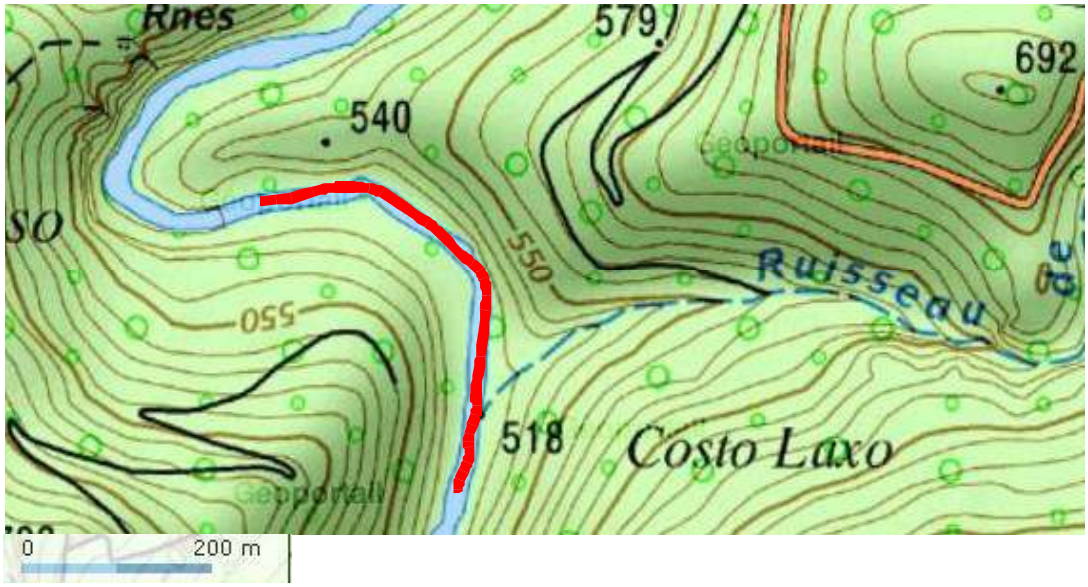
(Conseil supérieur de la Pêche)

ANNEXE 3 : Cartes IGN des mailles prospectées de jour

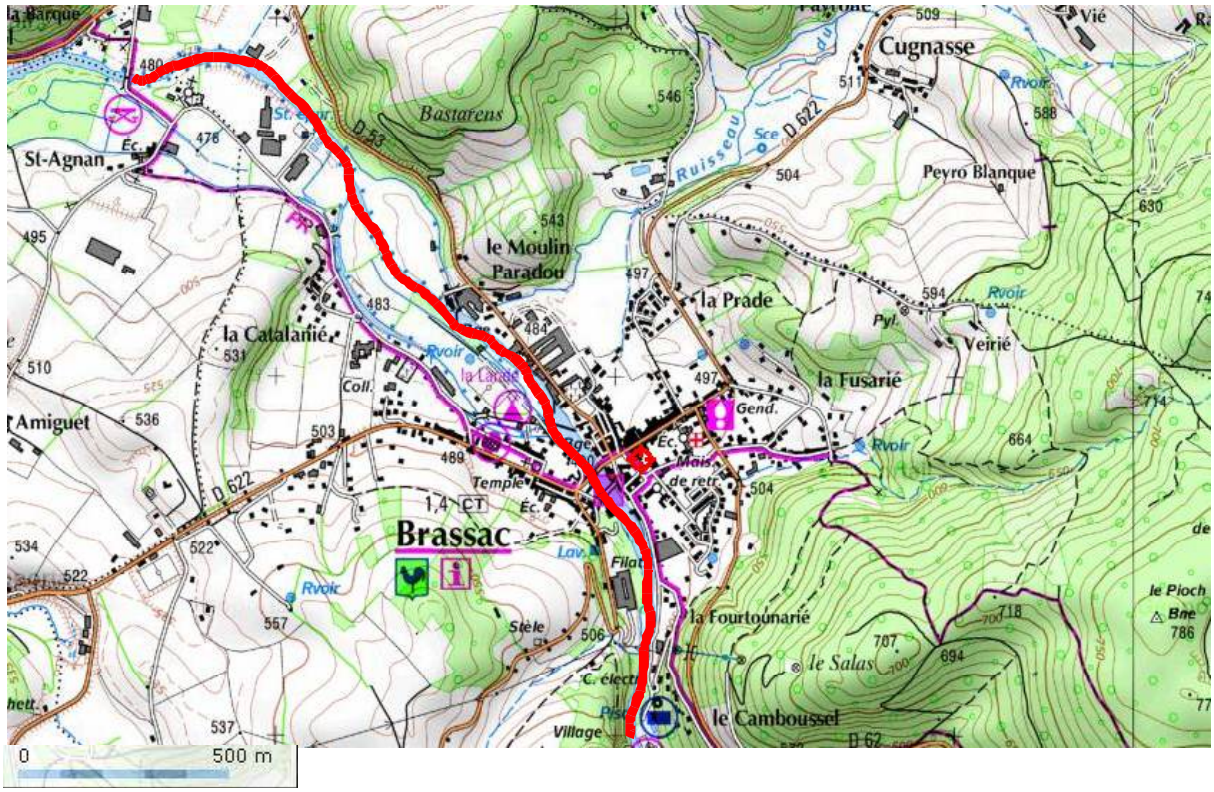
- Agoût / Monségou - Confluence avec le ruisseau des Agrès :



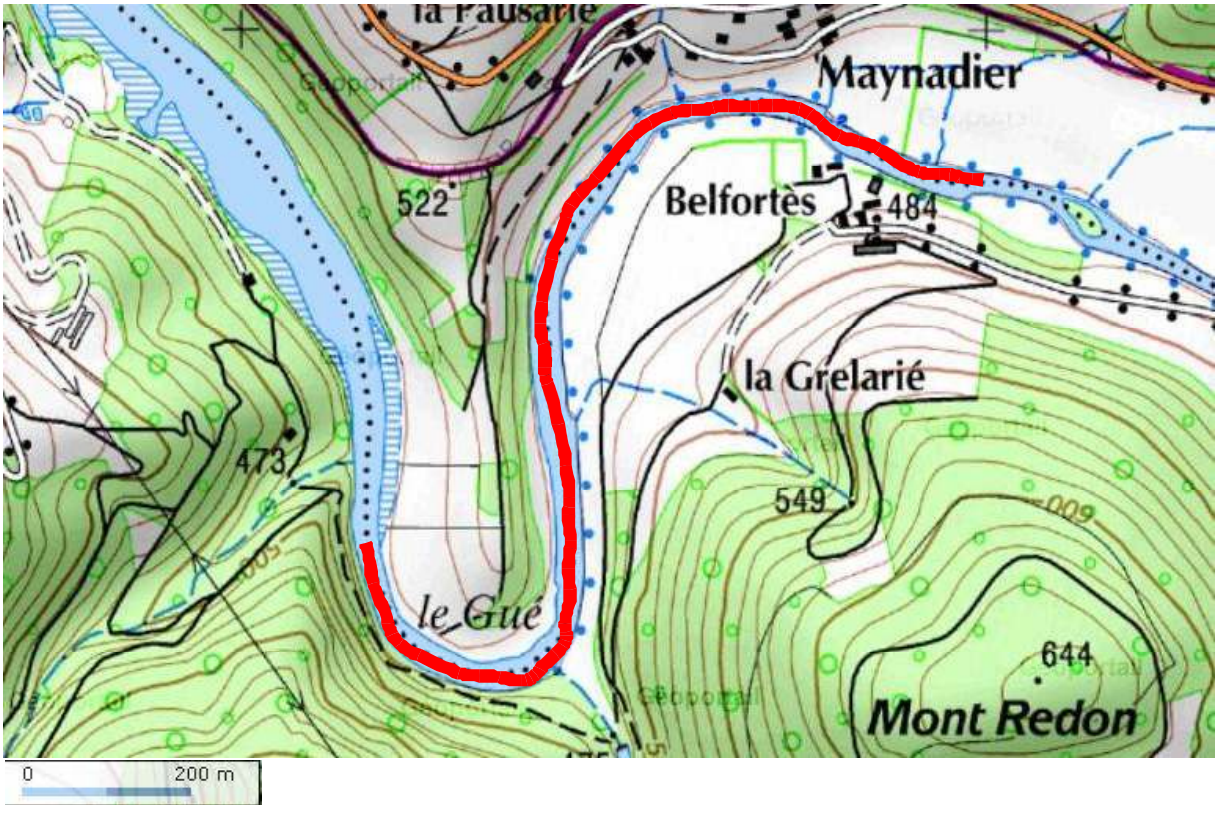
- Agoût / aval du ruisseau du Costo Laxo :



- Agoût / Brassac :


St-Agnan
Bastarens
Cugnasse
Peyro Blanque
le Moulin Paradou
la Prade
la Catalanié
Veirié
la Fusarié
Amiguet
Brassac
la Fourtounarié
le Salas
le Camboussel
0
500 m

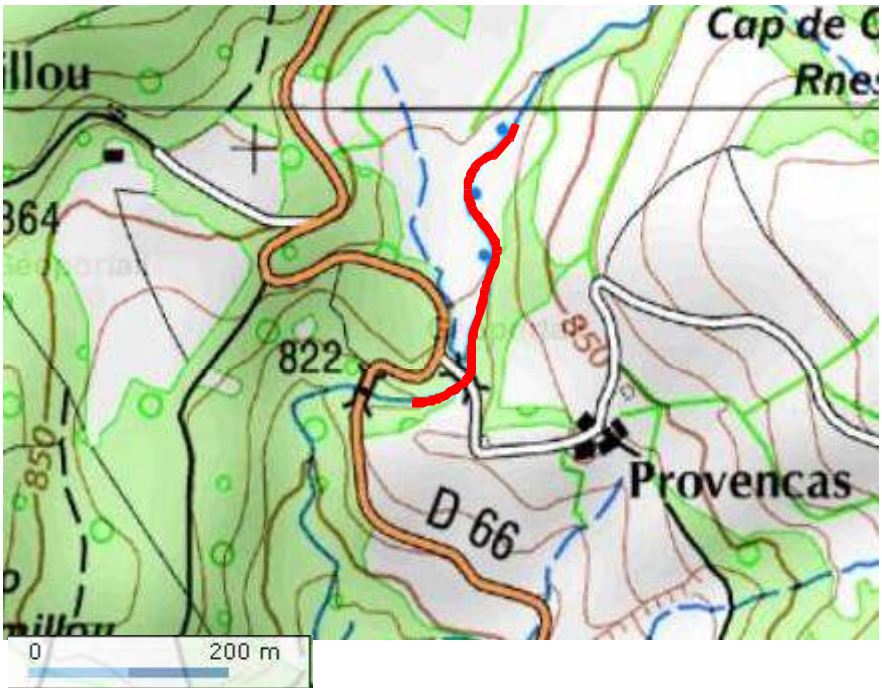
- Agoût / Le Gué :


Maynadier
Belfortès
484
522
la Grelarié
549
473
le Gué
644
Mont Redon
0
200 m

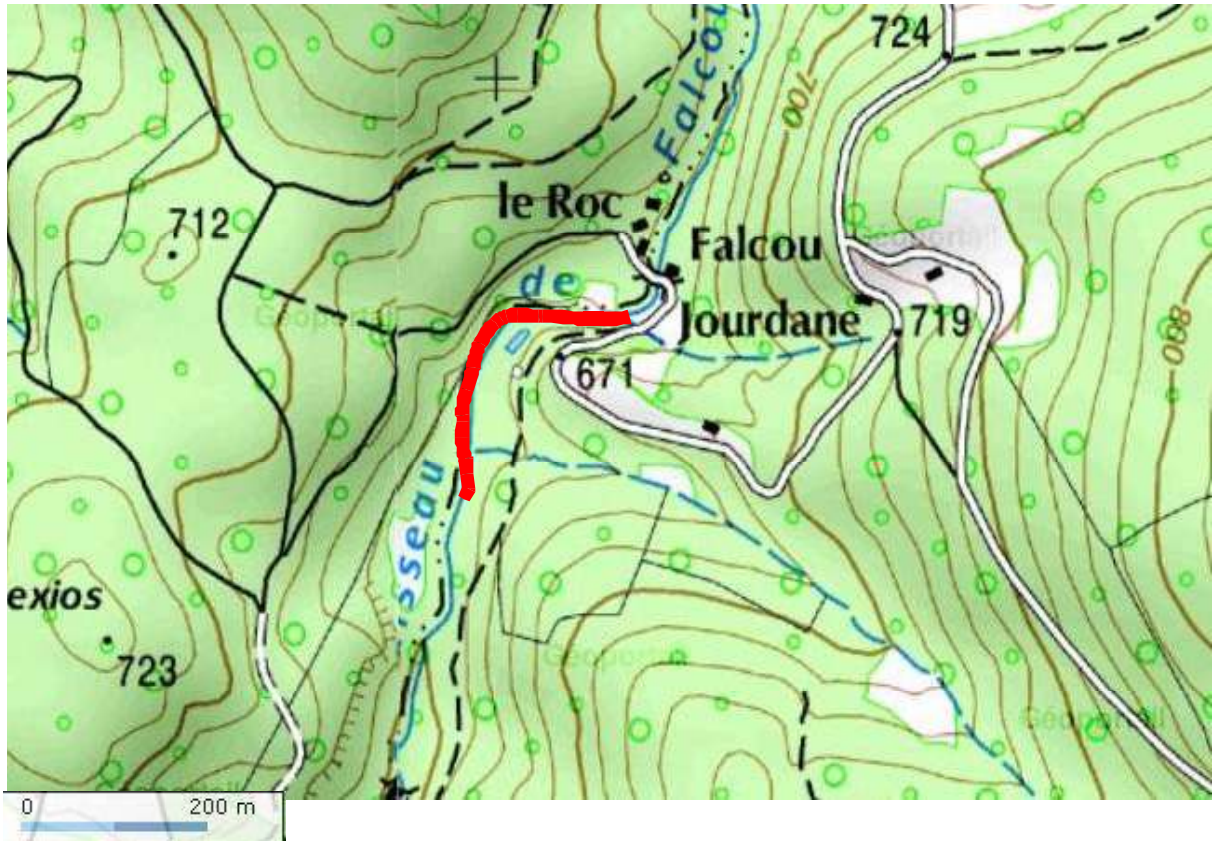
- Agoût / Lusières :

- Falcou / La Ginestière :

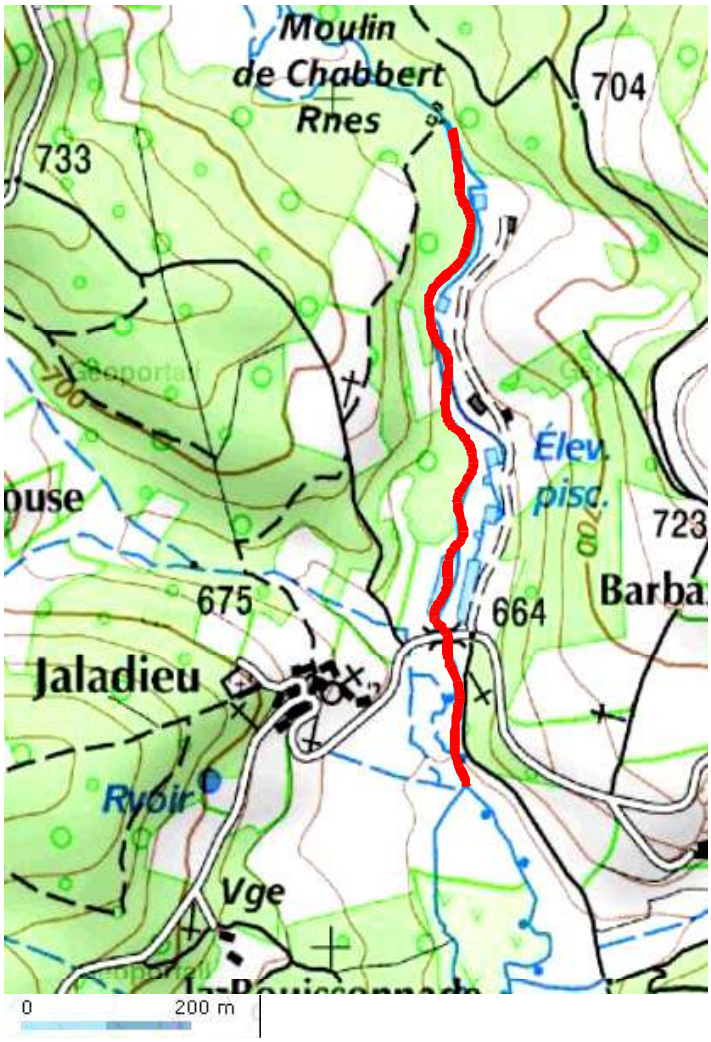
- Falcou / Provencas :



- Falcou / Falcou-Jourdane :

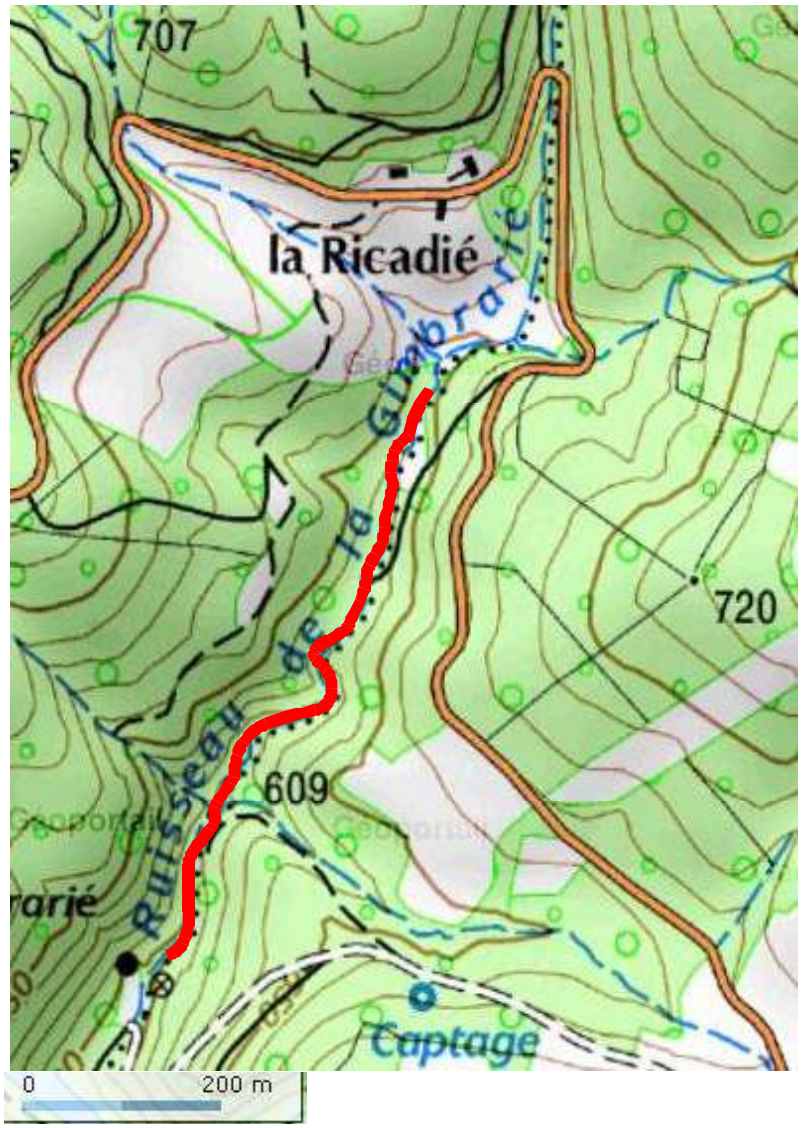


Agès / Jaladieu :

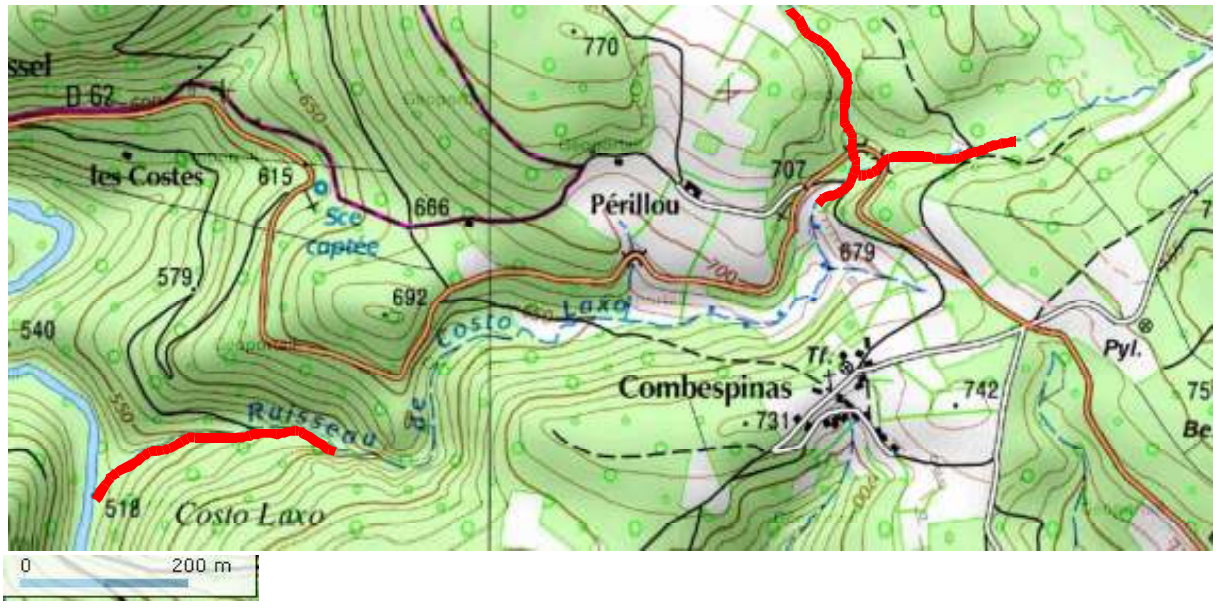


- Agrès / aval :

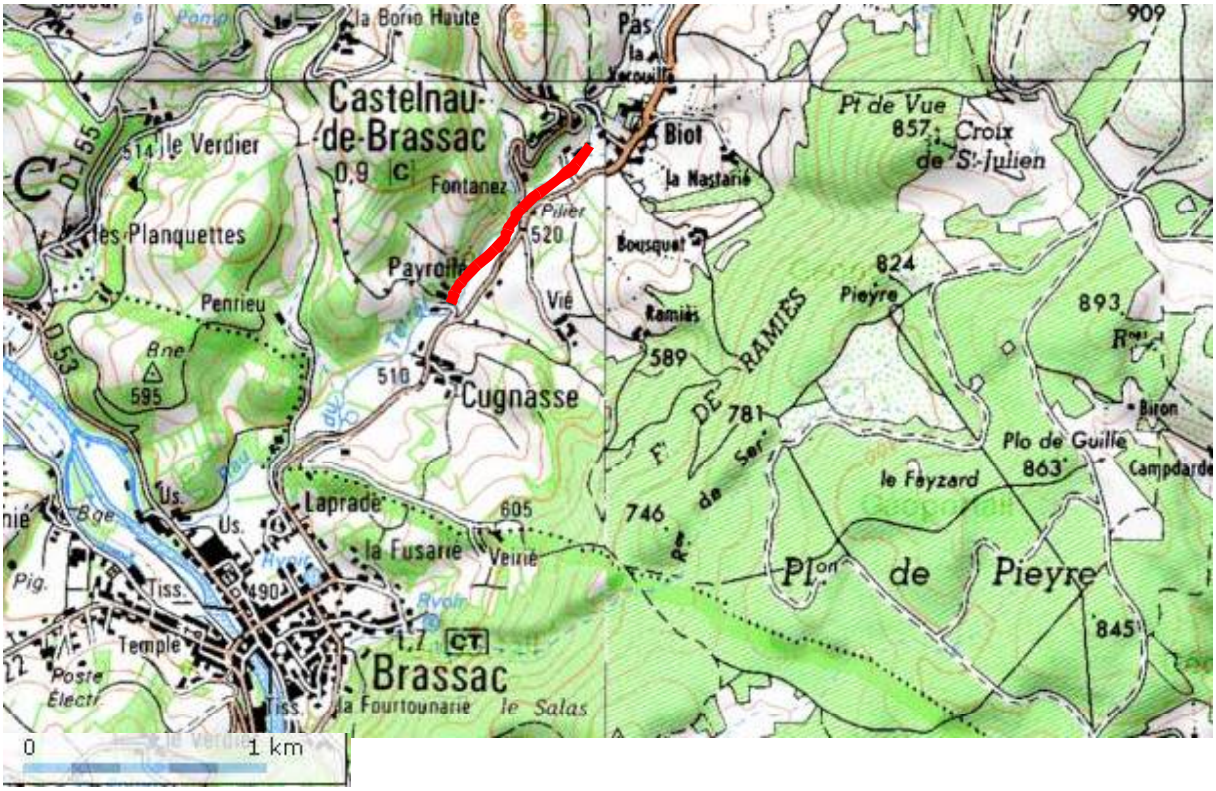
- Gimbrarié :



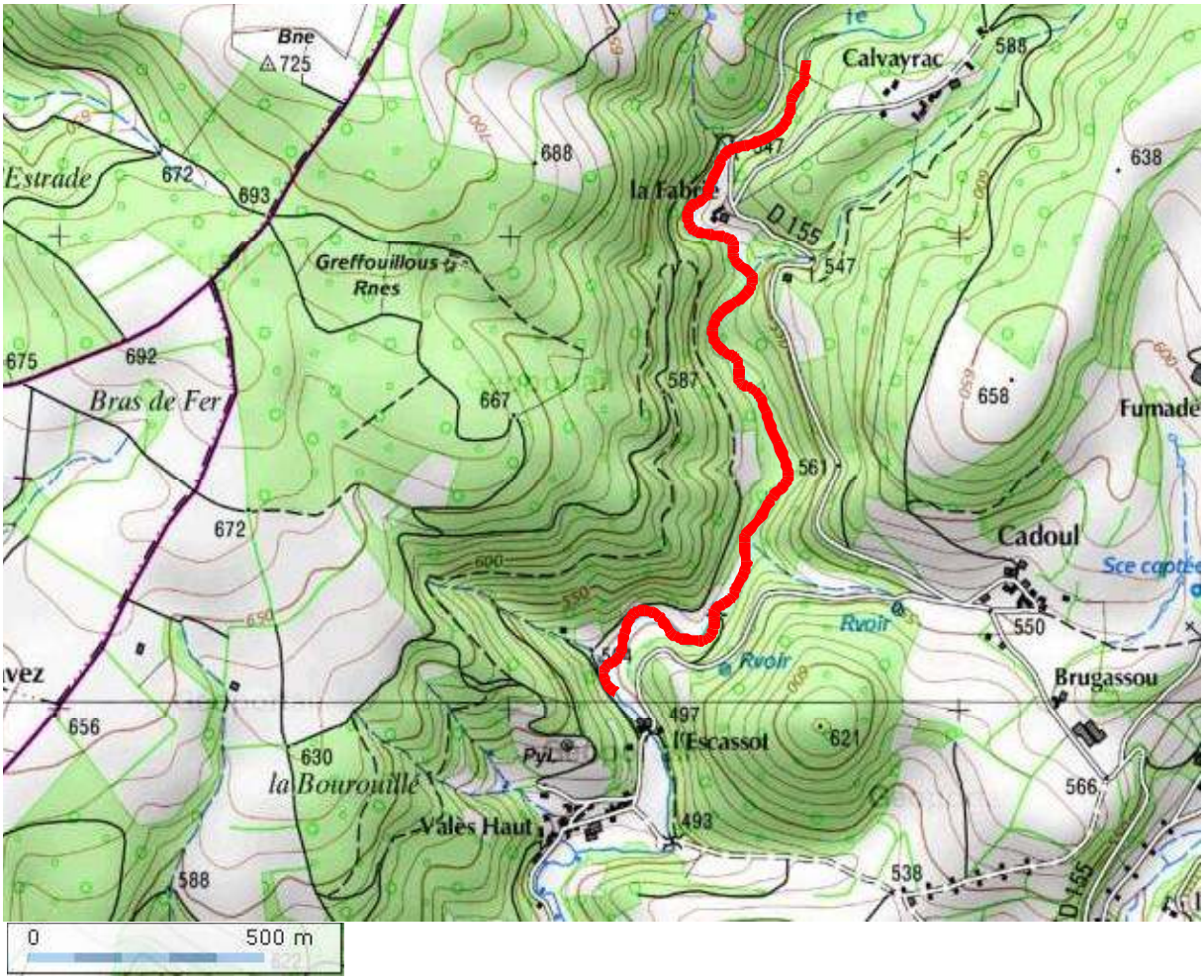
- Costo Laxo (3 mailles) :



- Terral :



- Vernoubre / Escassot – La Fabrié :



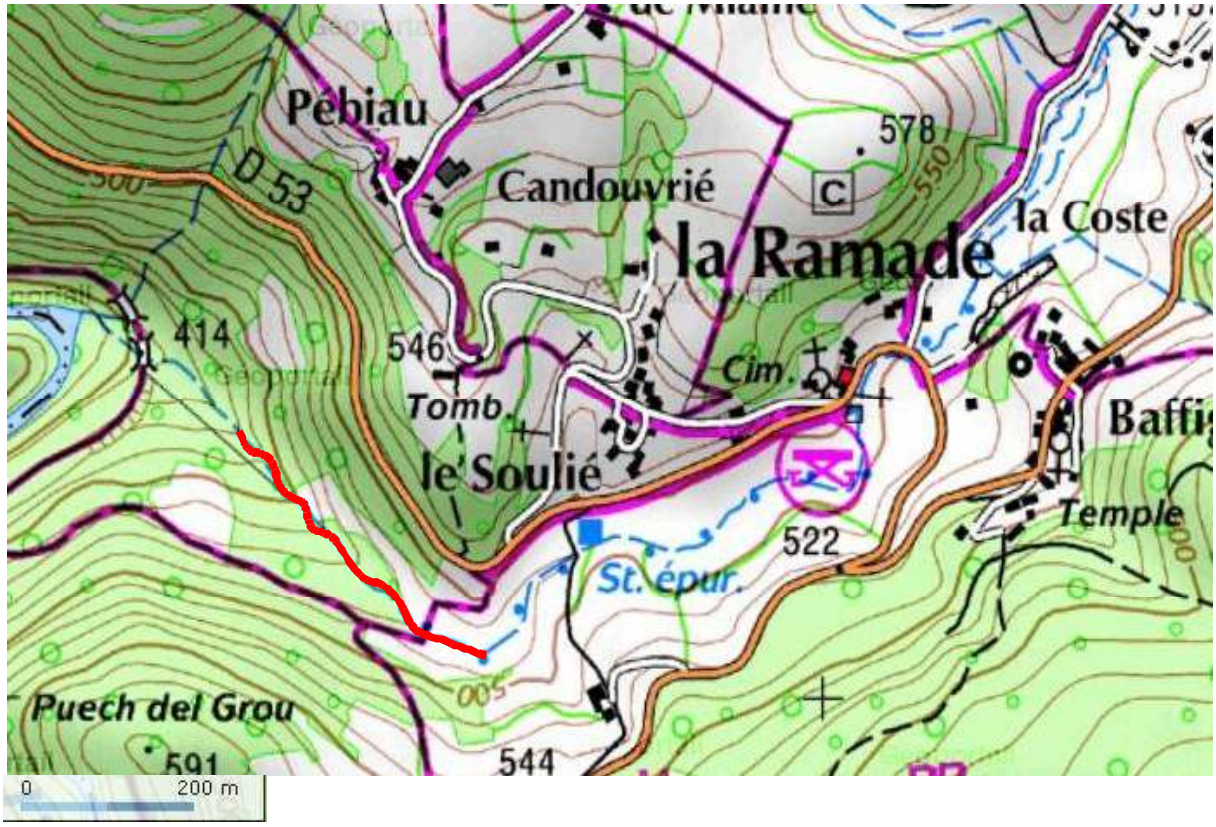
- Vernoubre / Moulin de la Vergne – Ruines du Moulin d'Oulès :

- Vernoubre / Soulègre :

- Vernoubre / ruines moulin d'Oulès :

- Vernoubre / Moulin de la Vergne :

- Ferralde / aval :



ANNEXE 4 : Description des indicateurs de qualité hydromorphologique des cours d'eau selon la CATER (cellule d'assistance Technique à l'entretien des rivières) du Conseil Général du Tarn

A - INDICATEURS DE LA QUALITE DES HABITATS

Ce compartiment s'attache à évaluer la qualité du biotope « Rivière » à partir d'indicateurs prenant en compte différents aspects du rôle et fonctionnement écologique du cours d'eau :

1- Indice annexes fluviales

INDICE ANNEXES FLUVIALES	
Densité > 5/km	1
Densité > 3/km	2
Densité > 1/km	3
Densité < 1/km	4

Cet indice rend compte de la diversité et du nombre d'annexes fluviales présentes dans l'espace de mobilité du cours d'eau au niveau du tronçon inspecté (Bras morts, forêt alluviale, bras de crue, zones humides dépendant ou ayant été créées par le cours d'eau).
Il est calculé sur la base d'une densité d'annexes par km de rivière, puis ces résultats sont répartis dans quatre classes de densités auxquelles sont affectées une note allant de 1 à 4.

2- Indice cloisonnement

INDICE DE CLOISONNEMENT	
0 seuil / km	0
< 0,2 seuil / km	1
< 0,5 seuil / km	2
< 1 seuil / km	3
> 1 seuil / km	4

Cet indice correspond à la densité de seuils artificiels par km de rivière. Les seuils artificiels franchissables sont également pris en compte du fait de leur effet cumulé.
Les ruptures de pentes naturelles, dûes à la présence d'embâcles ou de chutes naturelles ne sont pas prises en compte dans le calcul de cet indice. En effet, nous nous attachons uniquement à évaluer l'impact de l'anthropisation du milieu vis-à-vis de ses diverses fonctionnalités.

3- Indice bois mort

INDICE BOIS MORT	
4 à 6	1
7 à 9	2
10 à 12	3
13 à 16	4

Cet indice prend en compte l'importance des débris ligneux pour la vie aquatique (caches, supports de vie, source de nourriture, lieu de reproduction, postes de chasse…). Ils participent à la diversification des faciès d'écoulement et donc de la granulométrie.
Les arbres morts de la ripisylve participent de cette même logique et sont le témoin du niveau d'artificialisation des boisements alluviaux.

4- Indice ripisylve

L'indice ripisylve rend compte de l'état de la végétation riveraine, compartiment primordial dans le fonctionnement écologique mais aussi hydraulique du cours d'eau : support de vie, source de nourriture, lieu de reproduction, stabilisation des berges, filtration des pollutions diffuses, limitation du réchauffement des eaux, ralentissement des vitesses d'écoulement…
Les indicateurs retenus sont les suivants :

- *Etat sanitaire :*

ETAT SANITAIRE	
Bon	2
Moyen	3
Mauvais	4

Cet indicateur prend en compte l'état sanitaire global de la ripisylve.
Ne doivent pas être retenus le dépérissement naturel de quelques vieux arbres ou arbres écorcés suite aux crues mais uniquement les dépérissements massifs suite à une attaque parasitaire (graphiose de l'orme, phytophtora de l'aulne...) ou à l'inadaptation d'une essence au milieu (dessèchement de peupliers...).

- *Adaptation / stabilité :*

ADAPTATION / STABILITE	
Bon	2
Moyen	3
Mauvais	4

Cet indicateur permet d'évaluer l'adaptation des essences présentes aux contraintes du milieu. Un peuplement uniquement composé de peuplier de culture par exemple ne sera pas considéré comme étant adapté.

- *Etagement :*

ETAGEMENT	
Bon	2
Moyen	3
Mauvais	4

Cet indicateur permet d'évaluer la présence de toutes les strates de la végétation au niveau de la ripisylve.
Cette information est effet révélatrice de la capacité du peuplement à se régénérer, se perpétuer et assurer ces fonctions naturelles (maintien des berges, captage des nutriments, réservoir de biodiversité...).

- *Continuité :*

CONTINUITE	
Bon	2
Moyen	3
Mauvais	4

Cet indicateur permet d'évaluer la continuité du corridor boisé sur les deux berges du cours d'eau.

- *Diversité :*

DIVERSITE	
Bon	2
Moyen	3
Mauvais	4

La diversité du peuplement nous renseigne sur la capacité de ce dernier à résister face aux agressions et stress qu'il subi au fil des crues, sècheresses, tempêtes, attaques parasitaires…
Un peuplement diversifié sera plus à même de faire face à ces aléas du fait de son grand choix d'espèces, de la dispersion des individus et de la complémentarité interspécifique (systèmes racinaires, espèces héliophiles…).

- *Largeur :*

LARGEUR	
Bon	1
Moyen	2
Dégradé	3
Mauvais	4

Cet indice est obtenu en faisant la moyenne des niveaux de largeur de la ripisylve sur les deux berges. Les valeurs avec une décimale sont arrondies au chiffre supérieur.
Cette donnée nous permet de juger de la qualité du peuplement et de sa capacité à remplir ses fonctions (filtre, maintien des berges, diversité des habitats...). En effet, une largeur minimale est nécessaire pour permettre une dynamique propre aux peuplements forestiers alluviaux (effet de lisière, gradient bois tendre / bois dur.

INDICE RIPISYLVE	
11 à 12	1
13 à 15	2
16 à 19	3
20 à 24	4

La pondération des ces 6 indicateurs retenus pour qualifier la qualité de la ripisylve permet d'obtenir un indice de qualité allant de 1 à 4.

5- Indice de modification des écoulements

INDICE MODIFICATION DES ECOULEMENTS	
Taux = 0	0
Taux < 10%	1
Taux < 20%	2
Taux < 60%	3
Taux < 100%	4

Cet indice met en évidence l'impact des aménagements et travaux sur les écoulements du cours d'eau.
Les critères pris en compte sont la longueur cumulée de plans d'eau, la longueur de cours d'eau rectifié et la longueur de cours d'eau recalibrés. Ces deux derniers indicateurs sont également repris par l'indice de modification des berges, mettant ainsi bien en évidence l'impact des ces aménagements sur l'hydromorphologie du cours d'eau.

6- Indice atterrissements

INDICE ATTERRISSEMENTS	
Densité > 8U/km	1
Densité > 5U/km	2
Densité > 1U/km	3
Densité >= 0U/km	4

Cet indice rend compte de la diversification du lit et des écoulements par la présence d'îles et atterrissements dans le cours d'eau.
Cet indicateur n'est pertinent que pour les cours d'eau ayant un lit assez large (Largeur >10m). Pour les petits ruisseaux, la note de 1 est donnée par défaut

INDICE INTEGRATEUR

-A- QUALITE DES HABITATS	
4 à 6	1
7 à 12	2
13 à 17	3
18 à 24	4

Ces 6 indices permettent en les intégrants d'obtenir une image représentative de la qualité globale des habitats aquatiques et (ou) inféodés aux cours d'eau.
Quatre classes de qualité (1-2-3-4) ont été définies en classant les tronçons d'analyse selon la note cumulative qu'ils ont obtenus pour chaque indice analysé.

B - INDICATEURS DE L'ETAT DU LIT

1- Indice diversité des écoulements

INDICE DIVERSITE ECOULEMENTS	
Plus de 5 types	1
4 à 5 types	2
2 à 3 types	3
1 type	4

Cet indicateur participe à l'évaluation de l'état du lit. Il est calculé en dénombrant les différents faciès d'écoulement présents sur le tronçon.
Cette approche fait abstraction des types de faciès auxquels nous avons affaire. Nous partons du postulat qu'une grande diversité des types d'écoulement est révélatrice d'un bon état physique du cours d'eau. Cette note est cependant pondérée par la typologie du cours d'eau.

En effet les grandes rivières et les torrents auront naturellement une diversité de faciès moins élevée que les autres, à qualité égale.

ECOULEMENTS	TORRENT	LARGES RIVIERES (L>30m)	AUTRES
1 type	4	4	4
2 à 3 types	2	2	3
4 à 5 types	1	1	2
6 types	1	1	1

2- Indice fonctionnalités hydrauliques

- Connexion au lit majeur :

CONNEXION DU LIT MAJEUR	
Oui	1
Non	2

Ce paramètre permet la mise en évidence du fonctionnement hydrologique du cours d'eau avec son lit majeur ou champ d'expansion de crue.
Les cours d'eau modifiés se trouvent souvent isolés de leurs champs de crue, altérant leur fonctionnement.

- Colmatage du lit :

COLMATAGE DU LIT	
Nul	1
Faible	2
Moyen	3
Important	4

Cet indice prend en compte le colmatage biologique (biofilm) du lit du cours d'eau ainsi que la présence de sédiments fins déposés sur des sédiments plus grossiers, cohérents avec la typologie du cours d'eau sur la zone étudiée. Ce colmatage est le signe d'une dégradation de la qualité physico-chimique de l'eau, du fonctionnement hydromorphologique du cours d'eau (absence de chenal d'étiage, succession de plans d'eau, rectification, recalibrage, destruction de la ripisylve...), mais aussi du bassin versant (érosion des sols, fuite des nutriments vers le cours d'eau…)..

- Chenal d'étiage :

CHENAL D'ETIAGE	
Oui	1
Non	2

Cet indicateur est pris en compte sous une forme binaire (oui / non).Il permet d'évaluer la capacité du cours d'eau à supporter les période de faible débit en concentrant la lame d'eau et en maintenant des vitesses d'écoulements suffisantes pour limiter le réchauffement des eaux, limiter le colmatage...

- Débit réservé :

DEBIT RESERVE	
Non	1
Oui	2

Cet indicateur est pris en compte sous une forme binaire (oui / non).Il intègre les problèmes liés aux prises d'eau sans restitution à l'aval (plan d'eau, grosses station de pompage), ou plus bas sur le cours d'eau (Prise d'eau hydro-électrique). Ce facteur impacte fortement la vie et la dynamique du cours d'eau.

INDICE FONCTIONNALITE HYDRAULIQUE	
5 à 6	1
7 à 8	2
9 à 11	3
12 à 14	4

Cet indice intermédiaire intègre les différents indicateurs décrits ci-dessus, permettant ainsi de simplifier la lecture de la grille d'analyse. Il est obtenu en faisant la somme de ces indices. Les résultats sont ensuite ventilés entre les 4 classes décrites ci-contre.

3- Indice cloisonnement

INDICE DE CLOISONNEMENT	
0 seuil / km	0
< 0,2 seuil / km	1
< 0,5 seuil / km	2
< 1 seuil / km	3
> 1 seuil / km	4

Cet indice est repris dans l'évaluation de l'état du lit afin de prendre en compte l'impact des obstacles dans le lit vis-à-vis du transport solide, du profil en long et de la chenalisation des cours d'eau.

4- Indice granulométrie

INDICE GRANULOMETRIE	
Bon	1
Moyen	2
Dégradé	3

L'indice granulométrie permet d'évaluer la qualité du transport solide du cours d'eau sur le tronçon, mais aussi la qualité de ses habitats aquatiques (ex : frayères) et ses capacité d'autoépuartion (espace interstitiel, micro-habitats…)
La double utilisation de ce critère permet de lui donner un poids plus grand dans le calcul de l'indice déterminant l'état du lit.

L'évaluation de la qualité de cet indice s'appuie sur la typologie du cours d'eau, tel que défini ci-contre.

	TORRENT	GORGES	PIEMONT	PLAINE	PLAINE ENCAISSEE	TETE DE BASSIN
BLOC / GALETS	Bon	Bon	Bon	Moyen	Moyen	Bon
GALETS / GRAVIERS	Bon	Bon	Bon	Bon	Bon	Bon
GRAVIERS / SABLE	Mauvais	Moyen	Moyen	Bon	Bon	Moyen
SABLE / LIMON	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Moyen	Moyen	Mauvais
SUBSTRATUM	Moyen	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais

5- Indice transport solide

- Indice érosions

INDICE EROSION	
Si Torrent, Piémont, D>6U/km	1
D>3U/km	2
D>1U/km	3
D<=1U/km	4

Cet indicateur tente d'évaluer la dynamique fluviale à l'œuvre sur le tronçon et des capacités du cours d'eau à se régénérer suite à des dégradations d'ordre anthropiques.
La notation de cet indice prend en compte la typologie du cours d'eau; en effet, les cours d'eau possédant une forte énergie spécifique ont naturellement une densité d'érosions importante et ne sont donc noté par défaut comme étant en bon état.

- Indice atterrissements

INDICE ATTERRISSEMENTS	
> 1U/km ou largeur<=10m	1
> 0,5 U/km	2
>0,1 U/km	3
<=0,1 U/km	4

La densité de bancs alluviaux renseigne aussi sur la charge sédimentaire présente sur le tronçon et donc de la qualité du transport solide. La difficulté à comptabiliser ces derniers sur les petits cours d'eau a été contournée en leur attribuant arbitrairement la valeur 1.

- Indice granulométrie

INDICE GRANULOMETRIE	
Bon	1
Moyen	2
Dégradé	3

L'indice granulométrie est repris afin d'évaluer la qualité du transport solide du cours d'eau sur le tronçon.
La double utilisation de ce critère permet de lui donner un poids plus grand dans le calcul de l'indice déterminant la l'état du lit.

- Indice incision du lit

INDICE INCISION DU LIT	
Taux d'incision<5%	1
Taux d'incision<15%, p<0,2m	2
Taux d'incision<50%, p<0,2m Taux d'incision<15%, p<0,4m	3
Taux d'incision<50%, p<0,4m Taux d'incision>50%	4

Cet indice dépend de la part du linéaire incisé sur le tronçon étudié et de la profondeur de l'incision en question.
Ceci traduit un certain niveau de dégradation du fonctionnement du système "cours d'eau" (transport solide, connexion avec le lit majeur, niveau de la nappe d'accompagnement...

INDICE TRANSPORT SOLIDE	
4 à 5	1
6 à 9	2
10 à 13	3
14 et +	4

L'indice transport solide prend en compte un compartiment essentiel de l'hydromorphologie, à savoir le transit des matériaux de l'amont vers l'aval. Il est à mettre en relation avec l'incision du lit, la densité d'atterrissements et la densité d'érosions et la granulométrie des sédiments présents dans le lit du cours d'eau.

6- Indice méandrage

INDICE MEANDRAGE	
Très bon	1
Bon	2
Mauvais	3
Très mauvais	4

L'indice méandrage permet une analyse fine du niveau d'anthropisation et du cumul d'opération de curage, rectification, recalibrage par l'homme au cours du temps.
En effet, il n'est parfois plus possible d'observer et mettre en évidence de manière précise des travaux anciens ayant modifié la géométrie du lit d'un cours d'eau; On peut par contre facilement noter les conséquences qu'ils ont eu sur le fonctionnement de ce dernier en analysant les paramètres énoncés précédemment.

						TETE DE BASSIN		
COEF SINUOSITE	TORRENT	GORGES	PIEMONT	PLAINE	PLAINE ENCAISSEE	pente lit>=2	pente lit=1 L/l = 1	pente lit=1 L/l = 7
< 1,05 (1)	Bon	Moyen	Dégradé	Mauvais	Mauvais	Bon	Mauvais	Mauvais
< 1,5 (2)	Bon	Bon	Moyen	Dégradé	Moyen	Bon	Bon	Moyen
> 1,5 (3)	Bon	Bon	Bon	Bon	Bon	Bon	Bon	Bon

On peut ainsi évaluer la dérive du coefficient de sinuosité du tronçon par rapport à une sinuosité moyenne propre à chaque type de cours d'eau.

7- Indice modification de la géométrie

- Taux de plans d'eau

TAUX DE PLANS D'EAU
Linéaire plan d'eau / linéaire total

Part du linéaire du tronçon impacté par la création d'un plan d'eau artificiel sur le lit du cours d'eau.
Ces aménagements, en modifiants les vitesses d'écoulement et les hauteurs d'eau modifient indirectement la dynamique de transformation des berges (érosion et dépôt, creusement de sous berges...).

- Taux de rectification

TAUX DE RECTIFICATION
Linéaire rectifié / linéaire total

Part du linéaire ayant été rectifié dans le cadre de travaux d'aménagement hydraulique (assainissement de terres agricoles, remembrement, travaux routiers, urbanisation…)

- Taux de recalibrage

TAUX DE RECALIBRAGE
Linéaire recalibré / linéaire total

Part du linéaire ayant fait l'objet de travaux de recalibrage afin d'augmenter le gabarit et donc la capacité d'écoulement du cours d'eau (assainissement des terres, lutte contre les inondations…).

- Taux de busage

TAUX DE BUSAGE
Linéaire busé / linéaire total

Part du linéaire ayant été busé ou recouvert dans le cadre de travaux d'aménagement urbain ou agricole.
La disparition complète du cours d'eau dans le paysage détruit entièrement le milieu et ses fonctionnalités

INDICE MODIFICATION GEOMETRIE	
Taux = 0%	1
Taux < 10%	2
Taux <60%	3
Taux >= 60%	4

Ces quatre indices reflètent le niveau d'altération de la géométrie naturelle des berges, qui, selon la typologie du cours d'eau sont plus ou moins inclinées, dissymétriques dans les zones de méandrage, sous cavées et érodées en extrados de méandre…
Cet indice reprend le plus défavorable des quatre taux décrits ci-dessus.

INDICE INTEGRATEUR

B – QUALITE DU LIT	
6 à 8	1
9 à 13	2
14 à 20	3
21 à 27	4

On obtient un indice global de l'état du lit en cumulant les sept indices précédents.
Les résultats de cette somme sont ensuite classés comme indiqué dans le tableau ci-contre.

C - INDICATEURS DE L'ETAT DES BERGES

Ce compartiment met en évidence le niveau d'altération, ou à l'inverse, celui de naturalité, des berges.
Pour cela, les indicateurs retenus évaluent la pression des paramètres les plus souvent observés sur les cours d'eau tarnais, à savoir : l'artificialisation des berges, le piétinement du bétail, la disparition des sous-berges…
L'analyse croisée de ces indices donnent au final une note permettant d'évaluer la qualité globale du compartiment berge à l'échelle du tronçon de cours d'eau.

1- Indice sous-berges

INDICE SOUS BERGES	
Forte	1
Moyenne	2
Faible	3
Nulle	4

Ce paramètre rend compte de la qualité des habitats, mais également du degré de "naturalité" des berges.
En effet, l'apparition de sous berge ne peut se faire que dans certaines conditions (possibilité d'érosion des berges en extrados de méandre, présence d'une végétation bien développée en pied de berge...).
Au vu de la difficulté pour définir des classes de densité en fonction du type de cours d'eau ainsi que leur comptage sur le terrain, le parti d'une approche qualitative a été préférée.

2- Indice piétinement

INDICE PIETINEMENT	
Moins de 5%	0
6 à 12%	1
13 à 30%	2
31 à 60%	3
Plus de 60%	4

Le piétinement des berges par le bétail est un paramètre essentiel dans la dégradation des milieux aquatiques.
Un piétinement excessif dégrade les berges, leur végétation, effondre les abris sous berges, élargi et colmate le lit…

3- Indice anthropisation

TAUX DE RECTIFICATION
Linéaire rectifié / linéaire total

Ce taux nous renseigne sur le degré d'artificialisation des berges suite à des travaux de reprofilage ou de rectification du cours d'eau.

TAUX DE RECALIBRAGE
Linéaire recalibré / linéaire total

Ce taux nous renseigne sur le degré d'artificialisation des berges suite à des travaux de recalibrage du cours d'eau.

TAUX D'ENDIGUEMENT
(Linéaire de digues/2) / linéaire total

Ce taux nous renseigne sur le degré d'artificialisation des berges suite à des travaux d'endiguement du cours d'eau.
Ces aménagements de berge sont ramenés au linéaire de rivière en divisant leur longueur par 2.

ARTIFICIALISATION DE BERGES
Linéaire de Génie civil+(Génie végétal /4))/2 / linéaire total)

Ce taux (nous renseigne sur le degré d'artificialisation des berges suite à des travaux de protection de berges. Ces aménagements de berge sont ramenés au linéaire de rivière en divisant leur longueur par 2.
Les ouvrages de génie végétal sont divisés arbitrairement par 4 car leur incidence sur l'hydromorphologie du cours d'eau est moindre.

INDICE ANTHROPISATION	
Taux < 5%	1
Taux < 12%	2
Taux < 50%	3
Taux > 50%	4

Cet indice prend en compte les différents taux expliqués ci-dessus. Le taux le plus discriminant des quatre est retenu pour donner la note globale.

INDICE INTEGRATEUR

C – QUALITE DES BERGES	
2 à 3	1
4 à 6	2
7 à 9	3
10 à 12	4

On obtient un indice global de l'état des berges en cumulant les cinq indicateurs exposés ci-dessus. Les résultats sont ensuite classés comme indiqué dans le tableau ci-contre.

QUALITE HYDROMORPHOLOGIQUE

La qualité hydromorphologique du tronçon de cours d'eau étudié nous est donnée par l'analyse croisée des trois compartiments qui le composent, détaillés ci-dessus.

INDICE INTEGRATEUR FINAL	
A+B+C = 3 à 4	TRES BON ETAT
A+B+C = 5 à 7	BON ETAT
A+B+C = 8 à 9	MAUVAIS ETAT
A+B+C = 10 à 12	TRES MAUVAIS ETAT

Quatre classes de qualités ont ensuite été découpées afin de ventiler cette notation de "Très bon état" à "Très mauvais état".

Les 3 compartiments sont d'égale valeur dans l'analyse finale.

Une pondération apparaît cependant au niveau des indices puisque certains sont repris plusieurs fois (ex : indice cloisonnement), d'autres paramètres rentrent dans le calcul de plusieurs indices (ex : taux de recalibrage entrant dans le calcul de l'indice d'anthropisation et modification des écoulements), enfin, le positionnement d'un critère dans la chaîne d'analyse lui confère également un poids plus ou moins important dans la notation finale (ex : « Etat sanitaire de la ripisylve » intégré dans un indice synthétisant 6 paramètres, « Indice granulométrie » donnant lieu à une notation directement reprise dans le calcul de l'indice « Etat du lit »).