



Détermination des préférences d'habitats du Barbeau Méridional Echantillonnage piscicole sur les Paillons

DECEMBRE 2014
LE COARER YANN
TESTI BAPTISTE
PROST ORIANE

Irstea Centre d'Aix en Provence
3275 route de Cézanne - CS 40061
13182 AIX EN PROVENCE Cedex 5



Etude réalisée avec le concours financier de l'Agence de l'eau RM & C

Participants aux opérations de terrain

Irstea

Yann LE COARER

Adrien MOREL

Pierre FAVRIOU

Virginie RAYMOND

Xavier COLOMBET

Pierre GIBERT

Julien DUBLON

Nathalie REYNAUD

Fédération des Alpes Maritimes pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

Christophe BARLA

Romain PASSERON

Morgane GILLES

François MASSET

ONEMA

Michaël CAGNANT

René BONVALLAT

Michel PASCAL

Cédric ROPARS

Jean ARNAUD

Conseil Général des Alpes-Maritimes

Nicolas SCHEIDECKER

Syndicat Intercommunal des Paillons

Emilie DEHESDIN

Sommaire

Résumé	6
Introduction	6
I. Contexte géographique et hydrologique.....	8
II. Les préalables aux opérations de terrain	9
III. Matériel et méthodes employés sur le terrain.....	9
I.1 Les relevés topographiques.....	13
I.2 Les mesures hydrauliques.....	14
I.3 Les relevés de température	15
I.4 Les relevés de granulométrie	17
II. Calculs morphohydrauliques des ambiances de pêches	18
III. Analyse piscicole.....	24
III.1 Biologie du barbeau méridional (<i>Barbus meridionalis</i>)	24
III.2 Données piscicoles.....	25
IV. Calculs des préférences EVHA du BAM.....	29
IV.1 Définition des classes de tailles du barbeau méridional pour les stades adulte, juvénile, alevin.....	29
IV.2 Données biologiques disponibles pour calcul des courbes de préférence pour les stades adulte, juvénile, alevin du barbeau méridional	32
IV.3 Méthode de calcul des courbes de préférence pour les stades adulte, juvénile, alevin du barbeau méridional	33
V. Conclusion.....	35
VI. Sites Webs	36
Bibliographie	36
Annexes	37

Liste des annexes

Annexe 1 : Localisation des stations de pêches planifiées.....	37
Annexe 2 : Méthodologie de pêche par ambiances.....	38
Annexe 3 : Mesures ponctuelles de température, de conductivité et d'oxygène dissous, de saturation en oxygène dissous et de pression atmosphérique relevées à l'aide d'un analyseur électrochimique numérique portable Hach Lange HQ40d.....	39
Annexe 4 : Tableau de codage de description du substrat	40
Annexe 5 : Synthèse des calculs morphohydrauliques.....	41
Annexe 6 : Nomenclature piscicole	42
Annexe 7 : Synthèse des captures ; densités moyennes par espèces.....	43
Annexe 8 : Histogrammes des classes de tailles de l'anguille	44
Annexe 9 : Histogrammes des classes de tailles du barbeau méridional	45
Annexe 10 : Histogrammes des classes de tailles du blageon.....	46
Annexe 11 : Histogrammes des classes de tailles du chevaîne	47
Annexe 12 : Histogrammes des classes de tailles de la truite de rivière.....	48
Annexe 13 : Histogrammes des classes de tailles du vairon	49
Annexe 14 : Synthèse des captures du barbeau méridional ; densités moyennes	50
Annexe 15 : Caractéristiques globales des échantillonnages des barbeaux méridionaux des Paillons, du Loup et de l'ensemble de ces cours d'eau. Relevés de granulométries effectués dans les ambiances, coloration selon leur représentativité : +G plus gros, D1 Dominant 1, D2 Dominant 2 / limon (L), sable (S), gravier (G), cailloux (C), pierre (P), bloc (B), rocher (R), dalle (D). La deuxième lettre correspond au caractère fin (F) ou grossier (G). Unité des ordonnées %.....	51
Annexe 16 : Moyenne des hydrosignatures des ambiances en aire sur le Loup en 2010, sur les Paillons en 2014 et sur l'ensemble des deux fleuves côtiers.....	52
Annexe 17 : Synthèse des captures du barbeau méridional, moyennes des densités, sur le Loup en 2010, sur les Paillons en 2014 et sur l'ensemble des deux fleuves côtiers.....	53
Annexe 18 : Courbes de préférence au format EVHA du barbeau méridional à partir de pêches par ambiances avec et sans abris (BAM.PRF)	54



Barbeau méridional & Paillon de Contes, photos de Virginie RAYMOND, Juin 2014.

Résumé

Dans cette étude nous avons calculé des courbes de préférence d'habitat du barbeau méridional (BAM) pour les stades juvénile et adulte en fonction de la hauteur d'eau, de la vitesse d'écoulement et de la granulométrie du substrat. Nous avons échantillonné 205 ambiances de pêches électriques décrites par des mesures morphohydrauliques sur les Paillons en juin 2014 et capturé 493 BAMs. Ces travaux viennent compléter ceux effectués sur un autre fleuve côtier lui aussi proche de Nice, le Loup dans lequel nous avons capturé 390 BAMs dans 201 ambiances en septembre 2010. Cette précédente étude avait permis la construction des courbes de préférence pour le stade alevin. Ces opérations réalisées par l'Irstea avec le concours de l'ONEMA, de la Fédération de Pêche, du Conseil Général des Alpes Maritimes et du Syndicat Intercommunal des Paillons et avec l'aide financière de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée & Corse permettent de disposer d'éléments techniques pour la protection du barbeau méridional, espèce « quasi-menacée ».

Introduction



Figure 1 : Les Paillons et le Loup, fleuves côtiers

Le barbeau méridional (*Barbus meridionalis*) est une espèce de cyprinidé présente sur une zone limitée du pourtour méditerranéen qui s'étend de la côte adriatique jusqu'à la péninsule ibérique. Il bénéficie de plusieurs mesures de protection, avec un statut d'espèce de poisson

protégée au niveau national répertorié sur l'Arrêté interministériel du 08 décembre 1988. Il est également inscrit sur l'annexe III de la convention de Berne (1979), aux annexes II et V de la Directive Européenne « Habitat Faune Flore » (1992) et il possède le statut d'espèce « quasi-menacée » selon la liste rouge du Comité français de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (2009). Cette espèce repère est donc importante à prendre en compte pour les gestionnaires.

Le Cemagref devenu Irstea en 2012 a développé et mis gratuitement à disposition des utilisateurs deux logiciels, EVHA (GINOT 1995) et ESTHIMAB (LAMOUREUX 2002), d'évaluation de l'habitat physique des poissons en rivière pour permettre la mise en œuvre de la méthode des microhabitats élaborée par l'US Fish & Wildlife Service à Fort Collins (Colorado) au début des années 80. C'est cette démarche globalement qui est utilisée usuellement pour l'évaluation des volumes prélevables. Cependant, cette mise en œuvre nécessite la connaissance des courbes de préférence des poissons pour les trois variables d'habitat que sont la hauteur d'eau, la vitesse du courant et le substrat (H,V,S). En 2010, nous ne disposions d'aucune courbe de préférence pour le barbeau méridional. C'est pourquoi à la demande du Conseil Général des Alpes-Maritimes (CG 06), de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) et de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse (AE RM&C) l'unité Hydrobiologie du Cemagref/Irstea en coordination avec la Fédération des Alpes Maritimes pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique est intervenue sur le fleuve Loup pour contribuer à la définition des débits minimum biologiques.

La méthodologie utilisée a consisté à réaliser une campagne d'échantillonnage piscicole associée à des mesures physiques, puis à exploiter ces données pour tenter d'en déduire les relations habitat/espèce des barbeaux méridionaux à partir de trois variables morphodynamiques. En 2010 l'effort de terrain réalisé sur le Loup a permis d'échantillonner 201 ambiances de pêche pour 5 jours/stations et la capture de 1661 poissons dont 390 barbeaux méridionaux (BAM). Des courbes de préférence pour les stades adulte, juvénile et alevin ont été calculées, cependant seules les préférences pour les alevins présentaient une fiabilité comparable à celles utilisées en France pour d'autres espèces. En effet il est nécessaire de disposer d'effectifs importants d'individus de chaque stade prospecté dans des conditions de milieux variées pour pouvoir effectuer au mieux ces calculs.

Il apparaissait donc nécessaire de compléter ce premier travail par d'autres campagnes d'échantillonnages de barbeaux méridionaux. A son initiative, la Fédération de Pêche (06) nous a alors indiqué que cette espèce était présente avec des densités supérieures au Loup sur le Paillon qui est un fleuve à caractère torrentiel côtier rejoignant la Méditerranée à Nice. Pour pouvoir réaliser cette opération, le montage du projet s'est effectué à partir d'échanges avec les différents partenaires intervenant habituellement sur ce milieu : la Fédération de Pêche, l'ONEMA, le Conseil Général et le Syndicat Intercommunal des Paillons. Compte tenu de l'implication des partenaires et notamment de leurs participations aux opérations de terrain dans le projet, l'Agence de l'eau RM&C a accepté de participer financièrement à une part des travaux de l'Irstea permettant ainsi de lancer l'opération.

I. Contexte géographique et hydrologique

Le Paillon est un fleuve à caractère torrentiel côtier rejoignant la Méditerranée dans la baie des Anges à Nice. Il se ramifie en 4 cours d'eau présentés dans la Figure 1. Nos échantillonnages se sont effectués sur deux d'entre eux, à savoir le Paillon de Contes et le cours principal, soit le Paillon de l'Escarène.

Il n'y a pas de station de jaugeage sur les Paillons donc les chroniques de débits présentées dans ce rapport ont été obtenues à partir de simulations de modèles pluie/débit réalisées sur un bassin versant aux caractéristiques géographiques et hydrologiques similaires à celles des Paillons. Nous pouvons ainsi avoir une représentation des débits mensuels au point de jonction entre nos deux cours d'eau sur une période de plusieurs années qui nous permettent de définir le régime hydrologique de ce fleuve.

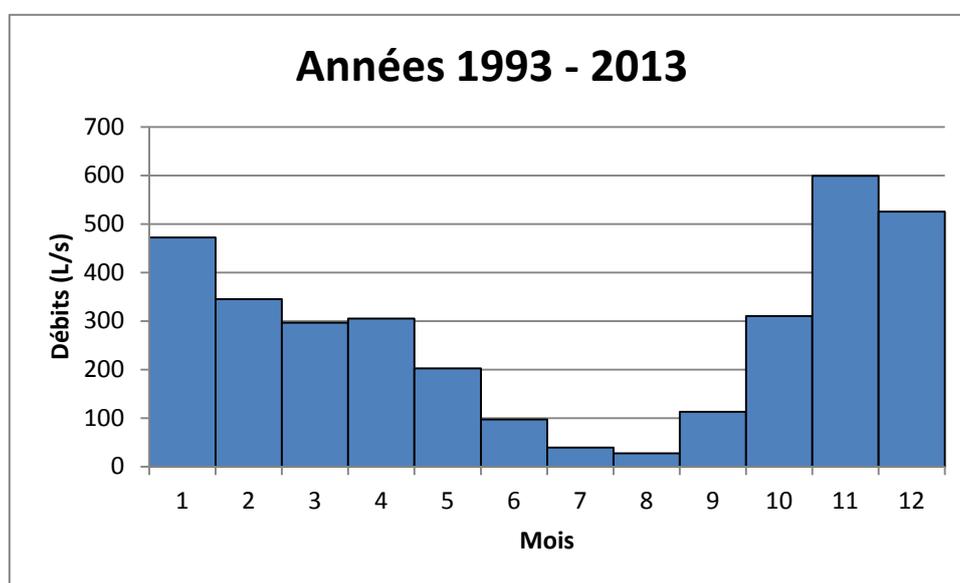


Figure 2 : Débits moyens mensuels interannuels du bassin versant à la jonction du Paillon de Contes et de l'Escarène.

A partir de l'histogramme des débits mensuels interannuels sur la période 1993 - 2013 nous voyons que les Paillons sont caractérisés par un régime de type pluvial avec des débits importants entre les mois de novembre et de février et des étiages très sévères pendant les mois d'été conduisant à des assècs à l'aval de la jonction entre les Paillons de Contes et de l'Escarène. Ce régime est lié au rythme des pluies du climat méditerranéen qui sont très abondantes en automne / hiver et quasiment nulles pendant la saison estivale.

Les forts orages observés dans cette région lors des mois froids peuvent entraîner des crues violentes, aggravées par la morphologie du cours d'eau et son aménagement. Afin d'étudier l'effet des crues sur l'aspect structurant des communautés de barbeaux méridionaux les histogrammes des débits à la précision journalière sont nécessaires, mais ces données ne peuvent pas être fournies à l'heure actuelle à partir de modèles pluie/débit.

Gardons à l'esprit que nous présentons ici des débits simulés qui sont là pour nous donner une idée des régimes d'écoulements sur les Paillons. En effet si l'on compare la somme des débits jaugés, lors des journées de terrain, à l'aval du Paillon de Contes et du Paillon de l'Escarène

avec celui simulé au mois de juin de ces dernières années, celui-ci est cinq fois moindre, ce qui est notons-le un écart conséquent.

Cet écart est vraisemblablement lié au caractère karstique du bassin versant. Il pourrait en partie être dû à un apport d'eau dans le Paillon, depuis la Vésubie, une rivière qui prend sa source dans le massif du Mercantour-Argentera et se jette en rive gauche du Var à l'ouest des Paillons.

II. Les préalables aux opérations de terrain

Le mardi 11 juin 2013, une reconnaissance Fédération de pêche 06 / Irstea a été effectuée pour définir 6 stations de pêches réparties sur les Paillons de Contes et de l'Escarène. Une station de pêche optionnelle a aussi été définie pour chaque Paillon, mais les opérations de terrains ne nécessiteront finalement pas d'avoir recours à ces stations de " secours ". Une deuxième reconnaissance a eu lieu le 5 mai 2014 en présence de Cécile MONIERE de l'AE RM & C soit un mois environ avant les échantillonnages de terrain. L'ensemble des stations est présenté à l'Annexe 1 et les stations effectivement pêchées à la Figure 3. Ces reconnaissances ont permis d'échanger sur les modalités pratiques des protocoles d'échantillonnages et de mesures mais aussi de prendre en compte les contraintes logistiques. Ainsi les parties des Paillons situées dans des gorges ont été écartées afin de réduire les risques d'accidents lors des transports manuels des équipements. L'une des difficultés de ce type de milieu encaissé réside dans l'accessibilité au cours d'eau, tant pour les véhicules pour lesquels il est difficile de trouver un endroit où il s'avère possible d'en garer plusieurs, que pour le personnel intervenant à pied avec une quasi absence de chemins longeant le cours d'eau. La densité de ripisylve et l'encaissement de la plupart des stations se sont avérés rédhibitoires pour l'utilisation de GPS différentiels, et nous ont contraints au choix technique d'utilisation d'un tachéomètre pour la topographie. Des échantillonnages ponctuels à l'aide d'un groupe de pêche électrique portatif nous ont permis d'avoir une confirmation logistique du projet d'échantillonnage piscicole.

III. Matériel et méthodes employés sur le terrain

Les opérations d'échantillonnages ont été effectuées pendant 5 jours au mois de juin 2014 dans 6 stations réparties dans les Paillons de Contes et de l'Escarène.

Dans le but de construire des courbes de préférence, nous avons utilisé une technique de pêche électrique à pied, par ambiance. Ce mode d'échantillonnage permet d'établir les liens entre les poissons et leur habitat (POUILLY, 1994).

Les pêches ont été effectuées dans des polygones ou ambiances d'une surface de 7.5 m² en moyenne. Pour cette technique, chaque ambiance ne doit représenter qu'un type d'habitat disponible. Elle est choisie par l'équipe de pêche pour ses caractéristiques d'homogénéité et en s'efforçant de prendre en compte la proportion des différents faciès d'écoulement. Il est important au cours de cet exercice de veiller à prospecter les stations de manière objective, sans viser uniquement les habitats à forte attractivité ichtyologique. Les ambiances présentant du poisson sont aussi informatives que celles sans poissons. Lorsque le milieu est suffisamment homogène et que les densités de poissons sont faibles, la taille des ambiances

prospectée est volontairement agrandie afin d'apprécier au mieux cette faible densité (maximum relevé 35 m²). A l'inverse en cas de forte densité piscicole et de caractéristiques d'écoulements hétérogènes la taille des ambiances doit être réduite pour optimiser la représentativité de la description hydraulique (minimum relevé 0.5 m²).

Dans chaque ambiance, les poissons capturés sont identifiés à l'espèce et leur longueur totale mesurée (LT en mm). Par ailleurs l'habitat physique de chaque ambiance est mesuré. L'hydraulique est décrite par des verticales de mesure où sont relevées la hauteur d'eau et la vitesse moyenne de l'écoulement (H, V). Ces verticales repérées par topographie sont situées aux sommets du polygone définissant l'ambiance mais aussi sur ses arêtes et à l'intérieur du polygone, de façon à pouvoir calculer l'aire de l'ambiance et à caractériser au mieux son hydraulique.

Pour chaque ambiance, la granulométrie du substrat (S) est décrite par l'élément le plus grossier et les substrats dominants et accessoires. La présence d'abris (ligneux, minéral, sous berge,..) est notée et une mesure de température est effectuée dans chaque ambiance.

Au total 205 ambiances de pêche électrique ont été réalisées en progression amont-aval dans les six stations (Tableau I) en utilisant un groupe portatif Imeo Volta 80 W. Elles ont nécessité des équipes de 11 personnes au minimum (Annexe 2) afin d'échantillonner une quarantaine d'ambiances par jour et d'effectuer les mesures biométriques au fur et à mesure des pêches pour minimiser les dommages occasionnés aux poissons. Par ailleurs pour prévenir d'éventuelles contaminations sanitaires, les waders et le matériel des personnels Irstea (qui opèrent usuellement sur des cours d'eau distants : Rhône, Durance,..) avaient été désinfectés.

Pour chaque station un jaugeage a été effectué (Figure 4 et Tableau I) ainsi que des mesures ponctuelles de température, de conductivité et d'oxygène dissous. Des enregistreurs de température ont été implantés dans les stations après chaque intervention et laissés sur place pendant au moins une semaine avec une fréquence de mesure d'une minute.

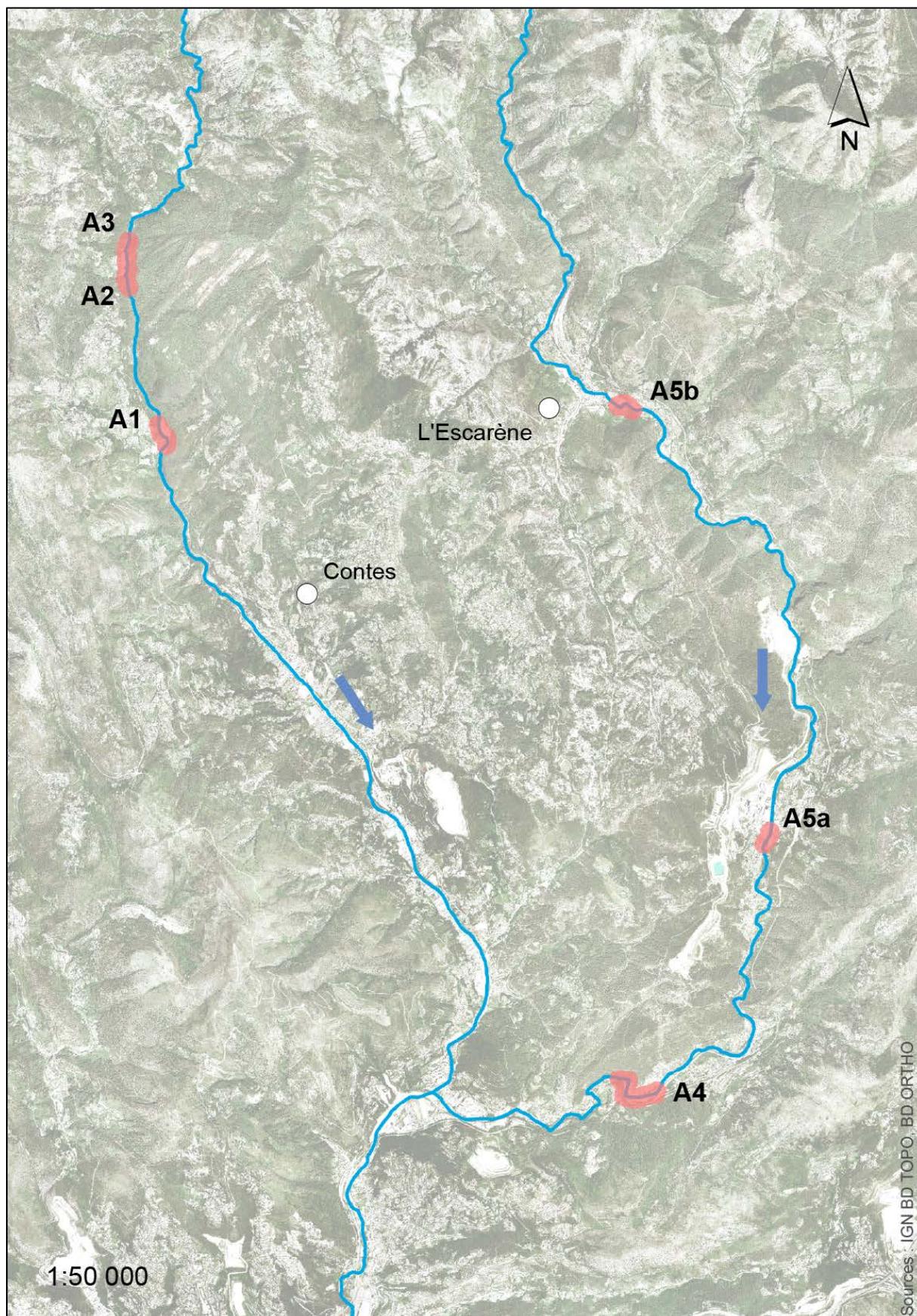


Figure 3 : Localisation des stations de pêches

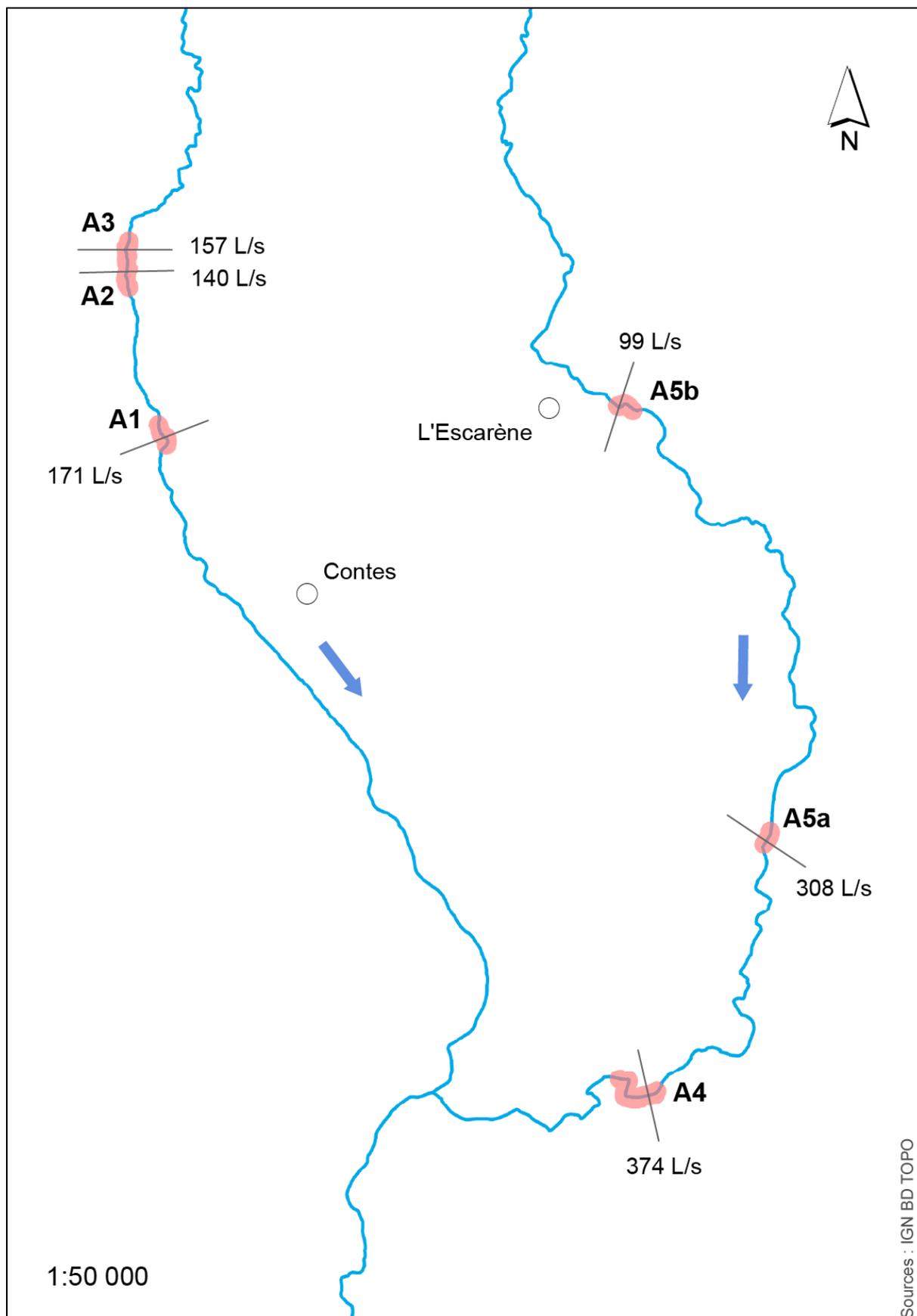


Figure 4 : Jaugeages effectués dans les stations de pêches

Tableau I : récapitulatif des opérations d'échantillonnage

Nom	Date	Localisation	Nombre d'ambiances	Débit (L/s)	Pente (‰)
A3	17/06/2014	Calempol Accès La Feuilleraie, aval STEP	25	157	26
A2	16/06/2014	Calempol Accès La Feuilleraie	48	140	23
A1	10/06/2014	Bendejun, le Pont	36	171	47
A5b	12/06/2014	Sortie Sud Est de l'Escarène	25	99	12
A5a	12/06/2014	Caserne de Pompier La Grave de Peille	22	308	10
A4	11/06/2014	Arrêt de Bus de Chateauvieux	49	374	9

Notons que les stations A3 et A2 sur le Paillon de Contes sont contiguës et que l'ambiance de pêche la plus amont de la station A3 se situait à 100 m à l'aval d'une station d'épuration.

I.1 Les relevés topographiques

Des relevés topographiques ont permis de repérer pour chaque ambiance :

- les verticales définissant le contour polygonal des ambiances de pêches,
- les verticales situées à l'intérieur des ambiances ou sur les arêtes du polygone.

Les relevés ont été effectués à l'aide d'un TPS 1100 de marque LEICA qui est un Tachéomètre ou Station Total Positionning System. Dans notre cas nous avons utilisé une version TCRA du TPS1100 et des cannes de mesures équipées de prismes. Dans la majorité des cas le tachéomètre a dû être implanté dans le lit du cours d'eau compte tenu du manque de visibilité lié à la ripisylve et à la sinuosité des Paillons. Vingt-cinq implantations ont permis la topographie en coordonnées relatives d'environ 8 ambiances en moyenne. Ces coordonnées relatives ont été transformées approximativement en coordonnées Lambert 93 grâce à l'emploi sur le terrain d'un GPS Garmin 62 sc pour repérer l'implantation du tachéomètre et du calage approximatif de son angle horizontal à l'aide d'une boussole. Pour des raisons logistiques, nous n'avons réalisé ni les lignes polygonales, ni les relevés des rives qui auraient permis de réaliser des plans de station. Nous avons choisi de privilégier notre objectif principal, à savoir, réaliser le plus d'ambiances possibles.

Les ambiances ont été caractérisées par 9 verticales en moyenne, en comptant les points de limites de bordure de lit mouillé lorsque les pêches se situaient en rive.

I.2 Les mesures hydrauliques

Les vitesses d'écoulement ont été mesurées à l'aide de courantomètres électromagnétiques FLO-MATE 2000.

Sur chaque verticale de mesure située sur le contour ou à l'intérieur des ambiances de pêche, trois vitesses ont été mesurées respectivement à 20 %, 40 % et 80 % de la hauteur d'eau totale. La vitesse moyenne V pour la verticale est estimée en considérant que le profil de vitesse est une fonction logarithmique de l'abscisse décrivant la hauteur d'eau par l'équation :

$$V = \frac{V_{20\%}}{4} + \frac{V_{40\%}}{2} + \frac{V_{80\%}}{4}$$

Sur le terrain un opérateur notait les valeurs de vitesses mesurées et de profondeurs sur un Pocket PC (hp iPAQ Pocket PC série h2200). Il était en liaison radio avec le responsable du tachéomètre afin d'identifier chaque verticale repérée spatialement par son numéro de point topographique.

I.3 Les relevés de température

Dans chaque station nous avons effectué des mesures ponctuelles de température, de conductivité et d'oxygène dissous en utilisant un analyseur électrochimique numérique portable Hach Lange HQ40d (Annexe 3). De plus des mesures ponctuelles de température ont été effectuées dans chaque ambiance lors des pêches à l'aide d'un thermomètre ebro TFFX 410 et sont présentées dans la Figure 5.

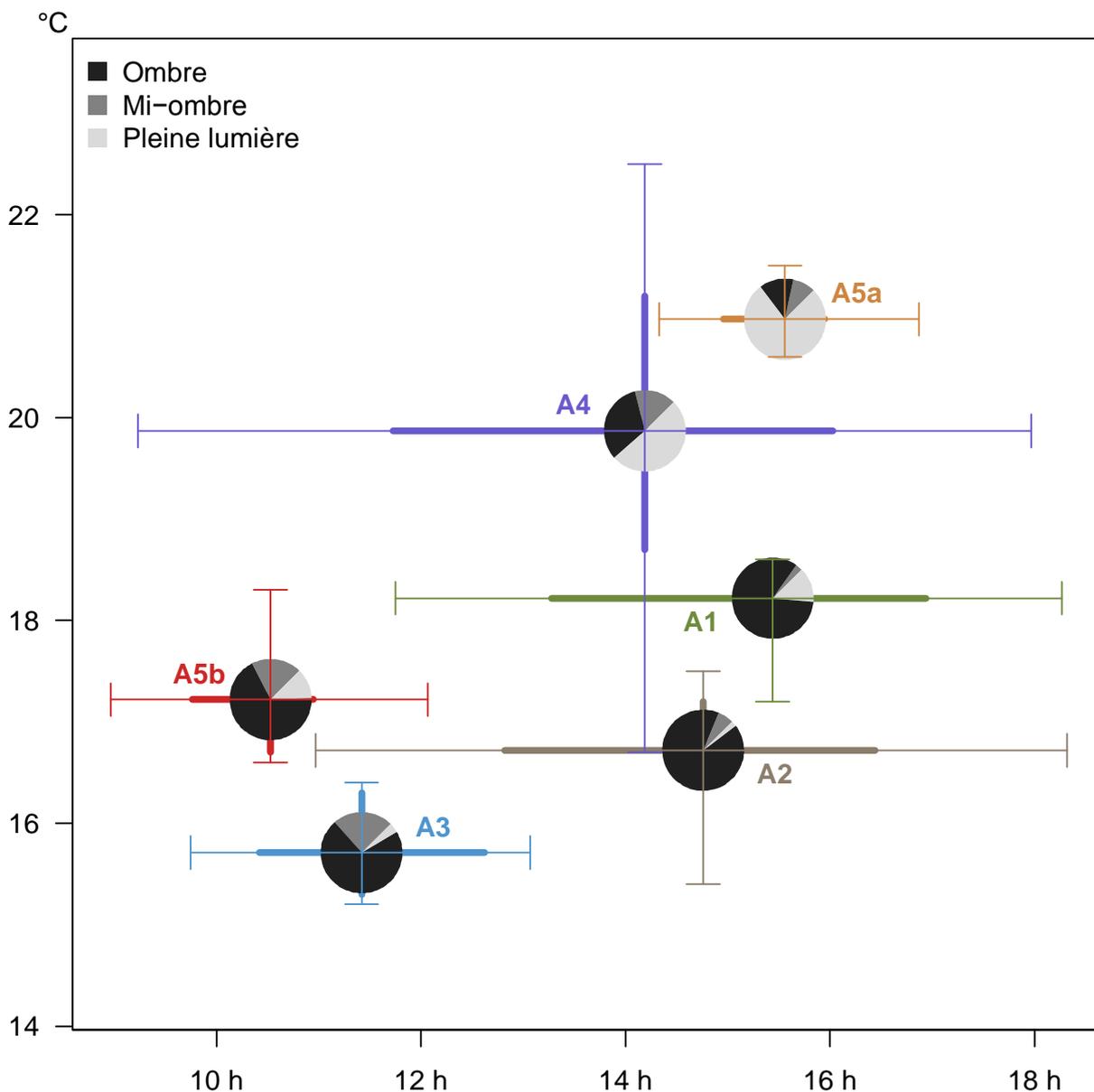


Figure 5 Représentation graphique des mesures ponctuelles de température dans les ambiances. Les diagrammes en secteurs représentent le caractère plus ou moins ombragé (nuages, ripisylve) des ambiances pendant les pêches. Les diagrammes sont positionnés aux valeurs moyennes des températures et heures des pêches. Les quartiles 25% et 75% sont représentés en traits gras.

Enfin des enregistreurs de température Hobo Water Temp Pro V2 modèle U22-001 ont été implantés dans les stations après chaque intervention et laissés sur place pendant au moins une semaine avec une fréquence de mesure d'une minute. Ces enregistrements ont une période commune du 17 juin 2014 : 09h00 au 26 juin 2014 : 09h26, ce qui nous permet une comparaison des stations a priori pertinente pour le mois de juin lors des échantillonnages compte tenu de la stabilité météorologique rencontrée.

Tableau II Enregistrements thermiques en continus dans les stations, du 17 juin 2014 : 09h00 au 26 juin 2014 : 09h26. Statistiques journalières moyennes (valeurs extrêmes, amplitudes et moyennes), et extremums sur la chronique mesurée.

	A3	A2	A1	A5b	A5a	A4
minimum moyen	15.7°C +/- 0.9	15.6°C +/- 0.9	15.8°C +/- 0.9	15.4°C +/- 0.9	15.8°C +/- 0.6	16.1°C +/- 0.6
maximum moyen	18.4°C +/- 1.2	17.8°C +/- 1.0	17.6°C +/- 0.9	18.0°C +/- 1.3	19.3°C +/- 1.3	19.6°C +/- 1.2
moyenne journalière	17.0°C +/- 0.9	16.7°C +/- 0.8	16.6°C +/- 0.8	16.6°C +/- 1.0	17.1°C +/- 0.6	17.5°C +/- 0.6
amplitude moyenne	2.6°C +/- 1.0	2.2°C +/- 0.8	1.7°C +/- 0.7	2.6°C +/- 1.1	3.5°C +/- 1.5	3.6°C +/- 1.3
minimum	14.4°C	14.3°C	14.6°C	14.1°C	14.9°C	15.2°C
maximum	20.1°C	19.2°C	18.8°C	19.9°C	21°C	20.9°C

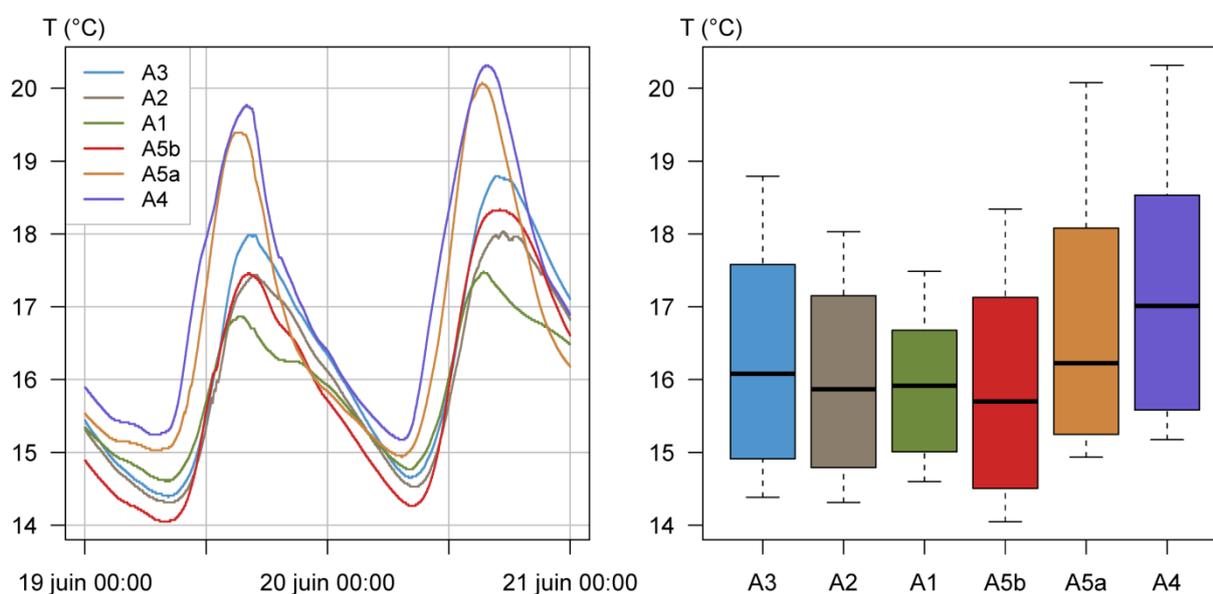


Figure 6 Enregistrements thermiques en continus dans les stations, "zoom" sur les journées des 19 et 20 juin, valeurs brutes et boîtes à moustaches.

Au mois de juin, la station A4 à l'aval du Paillon de l'Escarène est la plus chaude et présente la plus grande amplitude thermique (Tableau II, Figure 6). Mais globalement les stations suivies ont présentées un comportement thermique similaire avec une température moyenne en juin

2014 de l'ordre de 17°C avec une amplitude thermique inférieure à 4°C. Ces relevés thermiques ne sont toutefois pas généralisables en dehors de la période de mesure dans ce milieu karstique et dans d'autres conditions hydrologiques.

I.4 Les relevés de de granulométrie

Pour chaque ambiance, la granulométrie du substrat a été décrite par l'élément le plus grossier et les substrats dominants et accessoires en utilisant la nomenclature de l'Annexe 4.

L'histogramme de la Figure 7 présente les pourcentages des relevés selon les catégories granulométriques. Il apparaît que le substrat des Paillons est à dominance de blocs, de pierres et de cailloux et que les relevés effectués dans le Paillon de Contes présentent une dominance de blocs plus importante que ceux effectués dans le Paillon de l'Escarène.

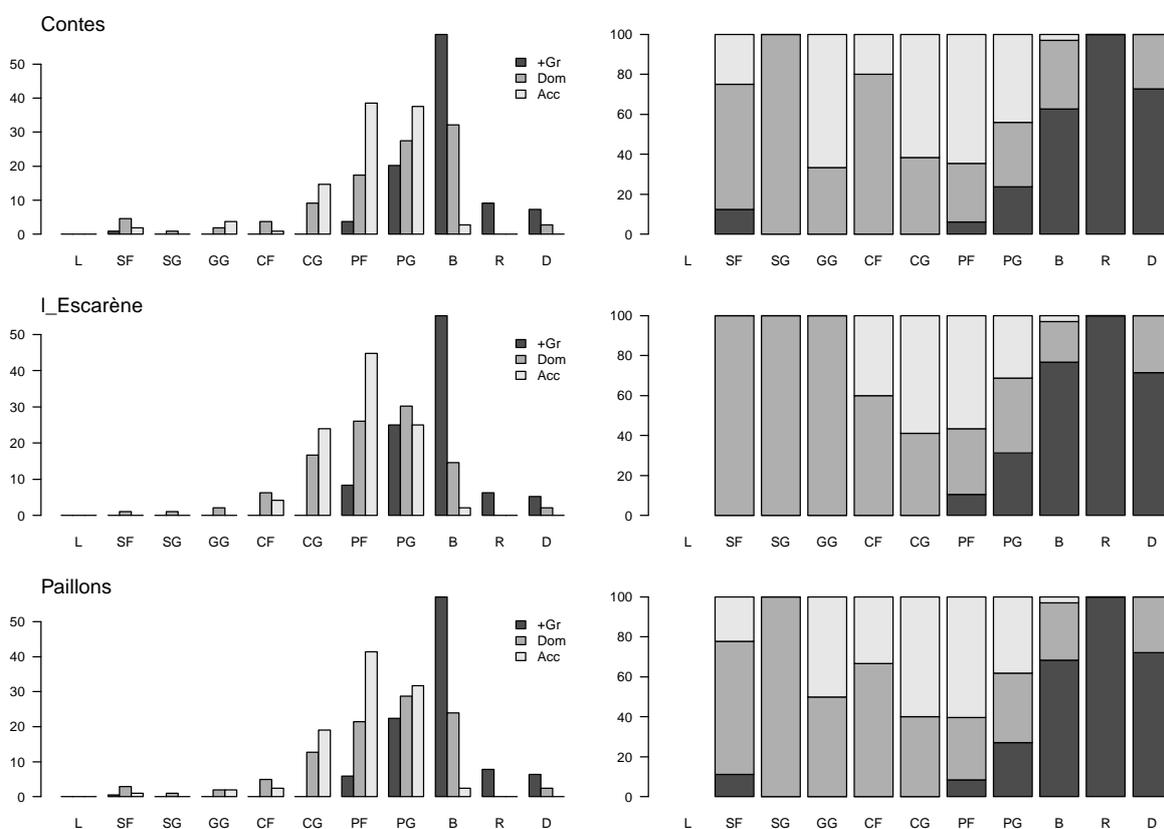


Figure 7 Relevés de granulométries effectués dans les Paillons de Contes, de l'Escarène et de l'ensemble des ambiances. Coloration selon leur représentativité : Plus gros (+G), Dominant (Dom), Accessoire (Acc) / limon (L), sable (S), gravier (G), cailloux (C), pierre (P), bloc (B), rocher (R), dalle (D). La deuxième lettre correspond au caractère fin (F) ou grossier (G), unité des ordonnées %.

II. Calculs morphohydrauliques des ambiances de pêches

Avec le logiciel Irstea vbExchange 3.0.17 et des fichiers informatiques du tachéomètre et des Pocket PC nous avons:

- effectué les calculs topographiques des coordonnées des verticales
- affecté à chaque verticale sa vitesse moyenne et sa hauteur d'eau en utilisant le numéro de point des verticales.
- défini autant d'objets polygones que d'ambiances en utilisant comme sommets les verticales situées à leurs contours.

Les ambiances ont été maillées en TIN dans le plan xy (Triangular Irregular Network : réseau de triangles irréguliers), à partir des verticales situées à l'intérieur des ambiances et de celles définissant leur contour et du logiciel Triangle disponible sur internet. Chaque ambiance est donc décomposable en 3 dimensions en éléments finis. Ce sont des solides à 5 faces avec deux bases triangulaires situées respectivement à la surface de l'eau et au fond de la rivière, dont les sommets sont reliés entre eux par des verticales constituées des hauteurs d'eau mesurées. Comme chaque verticale est associée à une vitesse moyenne, chaque ambiance de pêche peut être caractérisée par une signature morpho-hydraulique (LE COARER, 2007). Cette quantification de la richesse morpho-hydraulique par le calcul des pourcentages en aire ou en volume de classes de couples profondeur/vitesse moyenne a été effectuée en utilisant la même norme de définition des classes. Les «hydrosignatures» ont été calculées par ambiance et pour l'ensemble des ambiances réalisées dans chaque station. Ces calculs ont été effectués à l'aide de la version 3.0.15 du logiciel «HydroSignature» téléchargeable sur le site Web Irstea.

Un contrôle d'intégrité des données a été effectué en vérifiant le caractère possible de la surface de l'eau de chaque ambiance. En effet, le maillage de la surface de l'eau résulte d'altitudes de points qui sont une addition de l'altitude du sol au droit de la verticale calculée par topographie et de la hauteur d'eau mesurée puis transcrite et associée par l'équipe hydraulique. En cas d'erreur humaine dans la chaîne de traitement, la surface de l'eau de l'ambiance visualisée en 3 dimensions ne présente plus de caractère plan et incliné dans le sens amont-aval. Notons qu'il faut effectuer une amplification de la dimension verticale pour bien apprécier la précision des mesures. Le synoptique des calculs morphohydrauliques est présenté en Annexe 5.

Le logiciel HydroSignature fournit pour chaque ambiance, non seulement l'hydrosignature selon les classes hydrauliques définies par l'utilisateur, mais aussi l'aire, le volume et les valeurs moyennes de la hauteur d'eau, de la vitesse moyenne, du nombre de Froude, ainsi que les valeurs maximales et minimales de ces grandeurs hydrauliques.

Ces calculs ont permis ainsi de caractériser globalement les 205 ambiances:

- Surface moyenne 7.5 m²
- Hauteur d'eau moyenne 0.25 m ; hauteur d'eau maximale 1.99 m

- Vitesse moyenne 0.28 m/s ; vitesse moyenne maximale 1.55 m/s

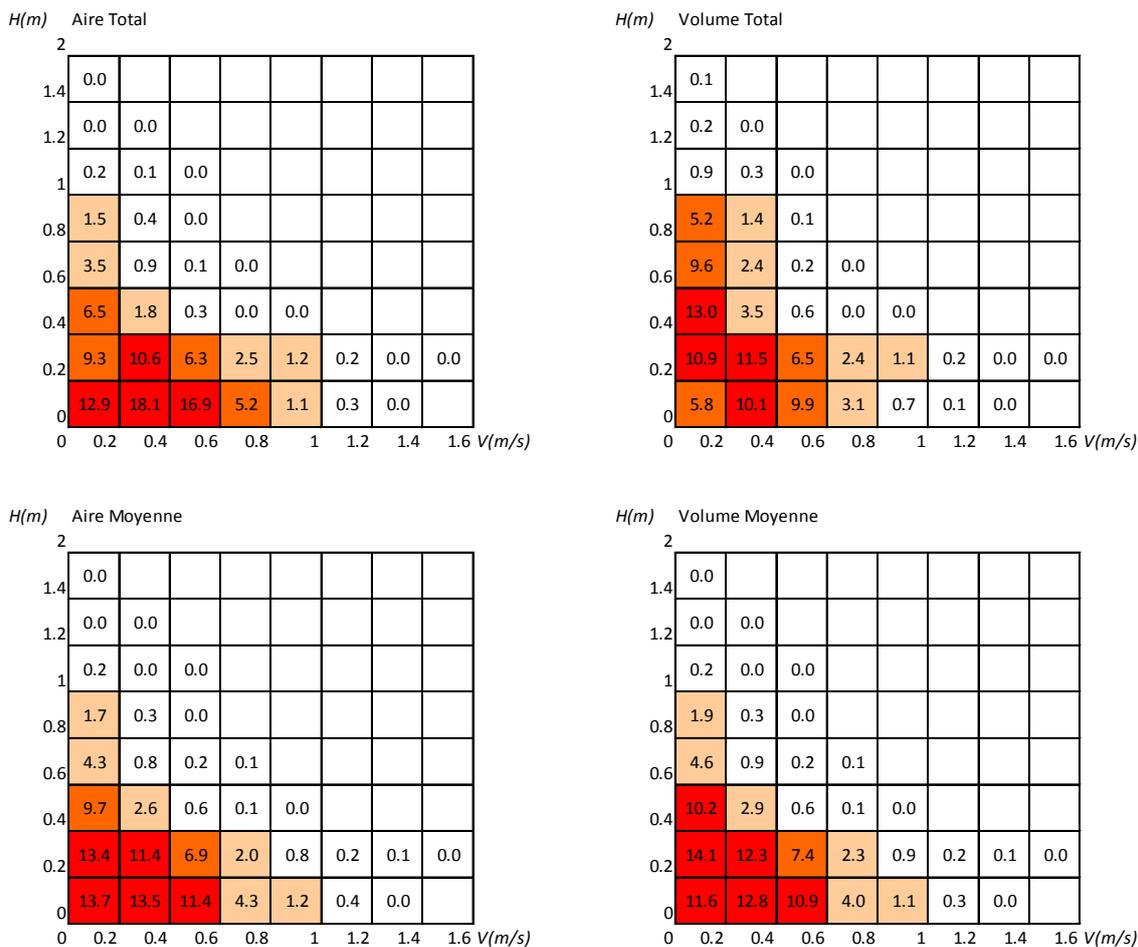


Figure 8 : Hydrosignature totale des ambiances et moyenne des hydrosignatures des ambiances, représentation en aire et en volume.

La Figure 8 présente en aire et en volume l'hydrosignature totale des ambiances de pêches. Elle présente aussi la moyenne des hydrosignatures (l'aire des ambiances n'est pas prise en compte). Selon l'analyse qui suit c'est ce deuxième résultat qui est le plus représentatif des conditions hydrauliques des Paillons. Pour la suite du rapport nous présenterons uniquement des hydrosignatures en aires, a priori plus indiquées pour le barbeau méridional qui est une espèce benthique. Des raisonnements à l'aide d'hydrosignatures en volumes ne changeraient en rien nos conclusions.

Nous avons utilisé l'indice de comparaison HSC [$k_1=1$, $k_2=1$] (SCHARL & LE COARER, 2005). Celui-ci varie entre 0 et 100 ; sa valeur est de 0 pour 2 hydrosignatures identiques, et de 100 pour 2 hydrosignatures complètement différentes. Dans notre cas, compte-tenu des grilles de définition des hydrosignatures utilisées et des coefficients de comparaison utilisés, nous estimons que 2 hydrosignatures sont proches hydrauliquement pour des valeurs inférieures à 20. Dans ce qui suit, pour des raisons de lisibilité les valeurs de HSC présentées ont été arrondies à l'unité.

Les Tableau III et Tableau IV présentent la comparaison des hydrosignatures totales et la comparaison des hydrosignatures moyennes des stations de Contes et de l'Escarène. Les hydrosignatures totales montrent plus de différences entre elles que les hydrosignatures moyennes. Il en est de même si l'on fait cet exercice en comparant les hydrosignatures de l'Escarène, de Contes et de l'ensemble des ambiances nommé Paillons (Tableau V & Tableau VI). Notons que l'écart HSC maximum rencontré compare les stations A5b et A4 qui sont précisément celles qui présentent les débits jaugés les plus dissemblables, respectivement 99 L/s et 374 L/s.

Tableau III Comparaison des hydrosignatures totales et comparaison des hydrosignatures moyennes des stations de Contes.

HS Totales	A3	A2	A1	Contes
A3	0	6	12	5
A2	6	0	12	4
A1	12	12	0	8
Contes	5	4	8	0

Moyenne	Ecart_type	Minimum	Maximum
8	3	4	12

HS Moyennes	A3	A2	A1	Contes
A3	0	10	8	6
A2	10	0	10	5
A1	8	10	0	5
Contes	6	5	5	0

Moyenne	Ecart_type	Minimum	Maximum
7	2	5	10

Tableau IV Comparaison des hydrosignatures totales et comparaison des hydrosignatures moyennes des stations de l'Escarène.

HS Totales	A5b	A5a	A4	Escarène
A5b	0	27	41	32
A5a	27	0	17	10
A4	41	17	0	9
Escarène	32	10	9	0

Moyenne	Ecart_type	Minimum	Maximum
23	12	9	41

HS Moyennes	A5b	A5a	A4	Escarène
A5b	0	13	32	19
A5a	13	0	20	9
A4	32	20	0	13
Escarène	19	9	13	0

Moyenne	Ecart_type	Minimum	Maximum
18	7	9	32

Tableau V Comparaison des hydrosignatures totales de Contes, de l'Escarène et des 2 Paillons

Total	Escarène	Contes	Paillons
Escarène	0	10	4
Contes	10	0	6
Paillons	4	6	0

Tableau VI Comparaison des hydrosignatures moyennes de Contes, de l'Escarène et des 2 Paillons

Moyennes	Escarène	Contes	Paillons
Escarène	0	4	2
Contes	4	0	2
Paillons	2	2	0

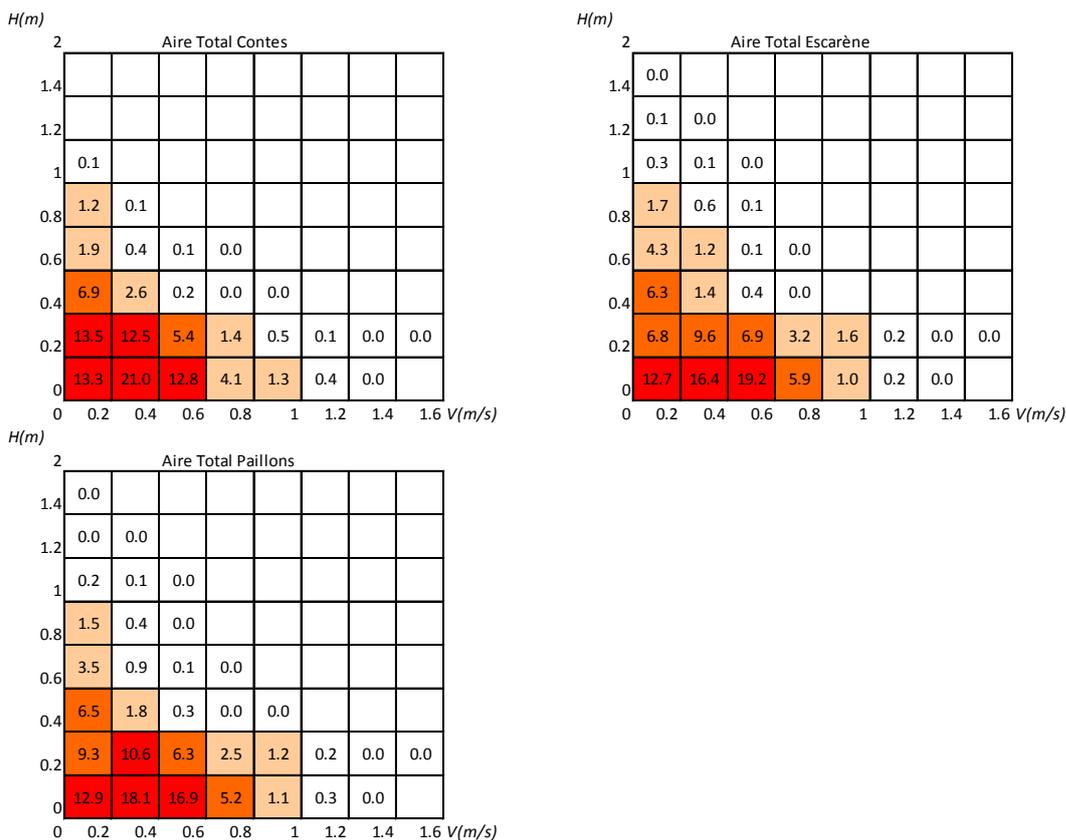


Figure 9 : Hydrosignatures totales des ambiances en aire des Paillons de Contes, de l’Escarène et de l’ensemble.

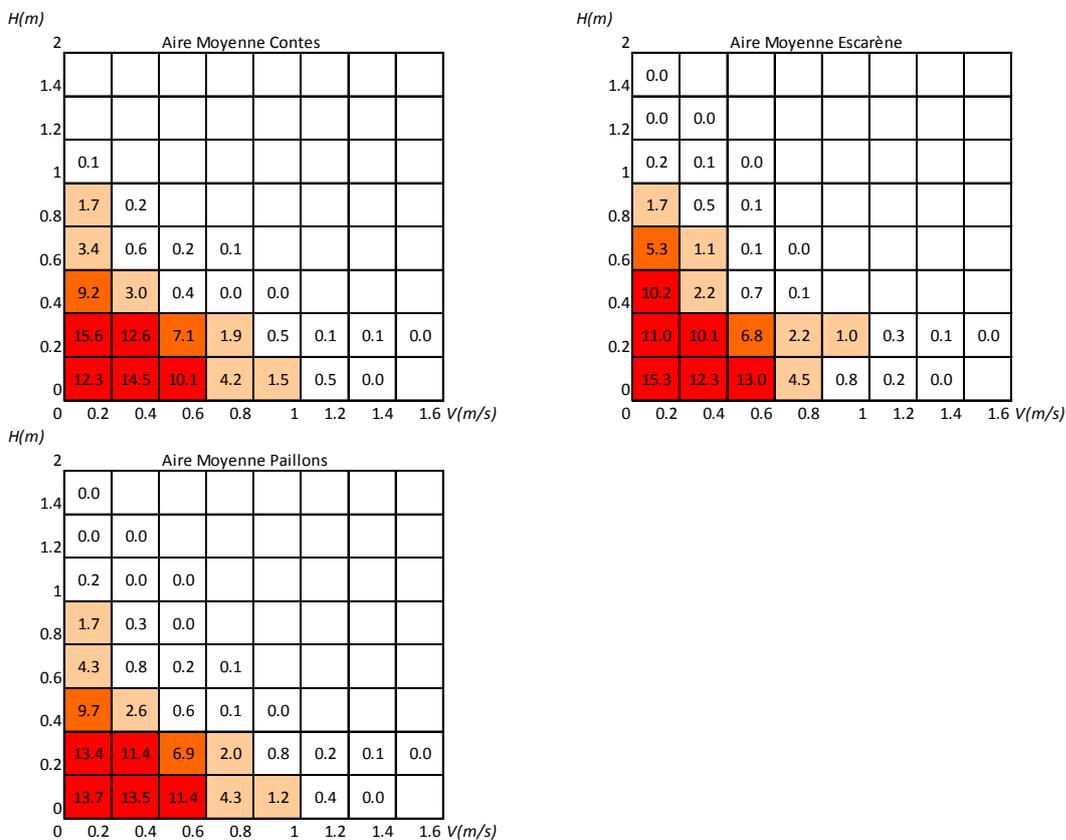


Figure 10 : Moyenne des hydrosignatures des ambiances en aire des Paillons de Contes, de l’Escarène et de l’ensemble.

Les Figure 9 & Figure 10 qui présentent respectivement les hydrosignatures totales et les moyennes des hydrosignatures de Contes, de l'Escarène et de l'ensemble des Paillons permettent au lecteur d'apprécier visuellement la véracité des Tableau V & Tableau VI présentant leurs indices de comparaisons.

Nous en concluons que pour décrire au mieux globalement par station ou par cours d'eau les habitats hydrauliques échantillonnés, il est préférable d'utiliser les moyennes des descriptions hydrauliques des ambiances plutôt que de les agglomérer entre elles. En effet les moyennes des hydrosignatures fournissent un résultat moins variable et plus représentatif que le total des hydrosignatures.

Les hydrosignatures moyennes de Contes et de l'Escarène sont hydrauliquement très semblables entre elles et conséquemment à l'ensemble de ces 2 Paillons.

III. Analyse piscicole

III.1 Biologie du barbeau méridional (*Barbus meridionalis*)

Le barbeau méridional est une des seules espèces de cyprinidés à privilégier les zones amont avec des eaux vives et oxygénées, il est naturellement présent entre 200 m et 1000 m d'altitude. Sa résistance face aux assèchements partiels temporaires marqués (associés à une hausse de la température et à une baisse de l'oxygène dissous) ainsi qu'aux épisodes de crues violentes le définit comme une espèce particulièrement adaptée à la spécificité du régime méditerranéen (BERREBI et al. 1988).

Son régime alimentaire est principalement constitué d'organismes benthiques : vers, larves d'insectes, crustacés, mollusques, et peut être complété par des algues et débris végétaux, ainsi que des œufs de poissons, voire de petits poissons (JACQUES, BRUSLE et al. 2013)

Les zones d'abris sous roches et blocs lui permettent de résister aux crues. Une altération des zones d'habitats ainsi qu'une modification de l'hydrologie naturelle des cours d'eau qu'il fréquente peut lui être néfaste (BERREBI et al. 1988).

Les peuplements importants du barbeau méridional sont situés dans des vallées très resserrées et peu accessibles. On constate aussi que sa répartition se fait sous forme de colonies isolées, ce qui peut être un risque pour l'espèce. En effet, si une colonie est détruite, il est alors impossible qu'elle soit reconstruite de façon naturelle à partir de peuplement voisins. Cette répartition discontinue est vraisemblablement un facteur majeur expliquant sa rareté (DORIER 1957).

Nous avons pu constater lors de notre reconnaissance du 5 mai 2014 la présence de couples de barbeaux se reproduisant sur des taches sableuses retournées. Une simple pression sur l'abdomen nous a permis de constater que le mâle était spermiant et que la femelle produisait des ovules. Les tailles minimales constatées pour les individus se reproduisant étaient d'environ 8 cm pour les mâles et 12 cm pour les femelles. A la mi-juin 2014 lors de notre intervention la reproduction n'était pas totalement terminée.

III.2 Données piscicoles

Au total, 1410 poissons appartenant à 6 espèces et à 3 familles ont été capturés au cours de la campagne du 10 au 17 juin 2014.

Le peuplement piscicole compte six espèces que l'on peut classer par effectifs capturés : vairon, barbeau méridional, anguille, blageon, chevaine et truite commune. Ce peuplement est typique d'un cours d'eau côtier méditerranéen français. Le barbeau méridional (BAM) apparaît comme une espèce constante sur les Paillons avec la plus grande fréquence d'occurrence rencontrée soit 62 % (il a été échantillonné dans 128 ambiances sur les 205 pêchées).

Les vairons qui composent plus de la moitié de l'effectif pêché ne semblent pas présents sur le Paillon de Contes. A l'inverse les 3 truites capturées provenaient seulement du Paillon de l'Escarène.

Tableau VII : Effectifs bruts des pêches par ambiances

Effectifs Poissons												
Code	Famille	nom commun	A3	A2	A1	Contes	A5b	A5a	A4	Escarène	Total	Occurrence
ANG	Anguillidae	Anguille	6	3		9	7	6	46	59	68	40/205
BAM	Cyprinidae	Barbeau méridional	50	92	67	209	47	48	189	284	493	128/205
BLN	Cyprinidae	Blageon			39	39	6	1	13	20	59	24/205
CHE	Cyprinidae	Chevaine			3	3			14	14	17	8/205
VAI	Cyprinidae	Vairon					148	42	580	770	770	66/205
TRF	Salmonidae	Truite commune	2	1		3					3	3/205
		Total	58	96	109	263	208	97	842	1147	1410	
		Richesse spécifique	3	3	3	5	4	4	5	5	6	

Effectifs Ecrevisses												
Code	Famille	nom commun	A3	A2	A1	Contes	A5a	A5b	A4	Escarène	Total	Occurrence
APP	Astacidae	Ecrevisse à pieds blancs			4	4					4	3/205
		Total			4	4					4	
		Richesse spécifique			1	1					1	

Tableau VIII : Synthèse des captures, moyennes des densités par espèces

Poissons : moyennes des densités									
	A3	A2	A1	Contes	A5b	A5a	A4	Escarène	Total
nb ambiances	25	48	36	109	25	22	49	96	205
densité TOUTES ESPECES 100 m ²	84	51	109	78	205	93	249	202	136
densité VAI 100 m ²					147	39	183	141	66
densité BAM 100 m ²	76	49	74	63	42	47	42	43	54
densité BLN 100 m ²			32	11	9	0.8	6	5	8
densité ANG 100m ²	6	2		2	8	6	15	11	6
densité CHE 100 m ²			3	1			3	1	1
densité TRF 100 m ²	2	0.7		0.7					0.4
Aire totale m ²	126	278	155	559	150	159	662	972	1531
Aire moyenne m ²	5	6	4	5	6	7	14	10	7
Hauteur moyenne m	0.28	0.25	0.30	0.24	0.31	0.28	0.27	0.26	0.25
Vitesse moyenne m/s	0.25	0.30	0.30	0.29	0.16	0.27	0.37	0.29	0.29

Ecrevisses : moyennes des densités									
	A3	A2	A1	Contes	A5b	A5a	A4	Escarène	Total
nb ambiances	25	48	36	109	25	22	49	96	205
densité APP 100 m ²			4	1					0.7

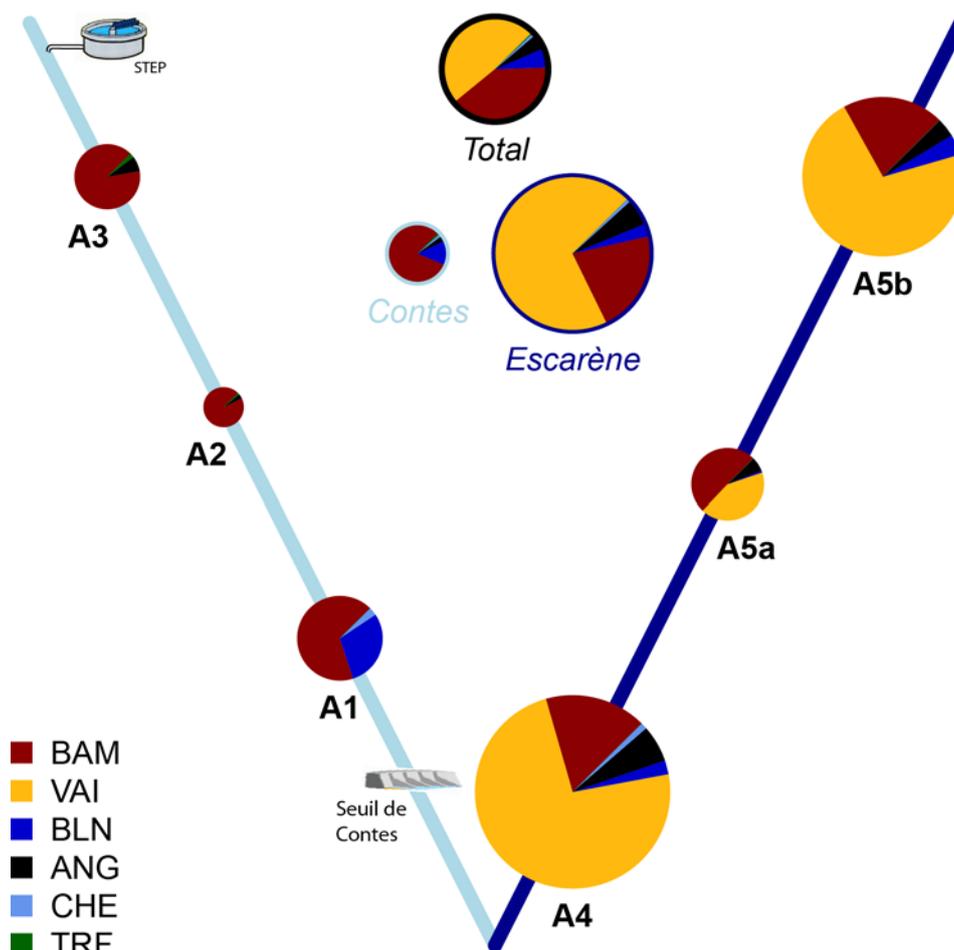


Figure 11 : Moyennes des densités par espèces par station, pour les Paillons de Contes, de l'Escarène et de l'ensemble. La surface des diagrammes en secteurs est proportionnelle à la somme des moyennes des densités

Le Tableau VIII et la Figure 11 présentent la moyenne des densités par espèce dans les stations, par Paillon et pour l'ensemble des ambiances pêchées. Pour effectuer ce calcul pour un groupe d'ambiances, une station par exemple, nous avons calculé la densité de chaque ambiance en divisant le nombre de poissons capturés par l'aire de l'ambiance puis calculé la moyenne des densités des ambiances de la station.

Une autre façon de procéder consiste à calculer une densité moyenne par espèce, ce qui pour une station consiste à diviser le nombre total de poissons capturés dans la station par la somme des surfaces des ambiances. Ce type de résultat est présenté à l'Annexe 7. On notera que ces valeurs de densités apparaissent sensiblement inférieures. Ceci est lié, selon notre analyse, à la technique de prospection employée, puisque dans les conditions d'habitats homogènes la taille de l'ambiance était augmentée en cas de faible quantité de captures pour améliorer la précision de la mesure ponctuelle de densité.

Il apparaît plus judicieux d'utiliser les moyennes des densités plutôt que les densités moyennes pour rendre compte de la réalité du milieu, car les hydrosignatures moyennes sont plus représentatives de celui-ci que les hydrosignatures totales. Ceci afin de prendre en compte l'analyse de la représentativité hydraulique des ambiances du chapitre IV et effectuer ainsi une démarche similaire de choix de calculs pour extrapoler de l'échantillonnage au cours d'eau.

Les histogrammes des classes de tailles par station et par espèce sont présentés de l'Annexe 8 à l'Annexe 13.

Les vairons (VAI) constituent 54% des effectifs de poissons pêchés pendant la campagne mais ils n'ont été capturés que dans le Paillon de l'Escarène. Cette espèce explique à elle seule une densité piscicole échantillonnée sur l'Escarène de plus du double de celle de Contes.

Le barbeau méridional (BAM) avec 35 % des effectifs pêchés est la seule espèce à avoir été échantillonnée dans toutes les stations prospectées. Il est possible que les anguilles aient un impact de prédation sur les BAM. Ceci pourrait être confirmé par des analyses tissulaires isotopiques.

Les densités de blageon (BLN) les plus fortes ont été pêchées dans la station A1 en l'absence d'anguilles.

L'anguille (ANG) est bien présente sur toutes les stations à l'exception notable de A1. Les plus fortes densités sont rencontrées dans la station A4. C'est dans cette station aval de l'Escarène que l'on trouve toutes les anguilles pêchées d'une taille inférieure à 39 cm, soit la moitié des captures (23 individus sur 46 pêchés).

Dix-sept chevesnes (CHE) ont été pêchés dans les stations aval des Paillons A1 et A4 ou l'on a constaté l'essentiel des captures (14 individus en A4).

Trois truites fario (TRF) ont été pêchées dans les 2 stations amont du Paillon de Contes.

Quatre écrevisses (APP) à pieds blancs ont été capturées dans la station aval du Paillon de Contes.

IV. Calculs des préférences EVHA du BAM

IV.1 Définition des classes de tailles du barbeau méridional pour les stades adulte, juvénile, alevin

Pour une espèce donnée, les poissons occupent des habitats différents au cours de leur développement car leurs exigences évoluent en fonction de leur taille/morphologie. La méthode des microhabitats propose de partitionner la croissance des poissons, en quatre stades discrets : la « fraie » qui est l'acte de reproduction des géniteurs sur le lieu de ponte, le stade « alevin » (0+, ALE) qui regroupe les individus de moins d'un an, le stade « juvénile » (1+, JUV) qui comprend les individus d'un an ou plus non encore en âge de se reproduire, et le stade « adulte » (ADU) , capable de se reproduire. Afin de pouvoir utiliser cette méthode, les courbes de préférence pour les variables d'habitats (H,V,S) doivent être définies pour chacun de ces stades.

Pour disposer de résultats robustes et plus transférables a priori d'un cours d'eau à l'autre, nous avons regroupé les échantillonnages de barbeaux méridionaux des Paillons à ceux du Loup effectués en 2010. Les caractéristiques globales des échantillonnages de ces deux cours d'eau sont regroupées dans l'Annexe 17. Il est nécessaire de fixer des classes de tailles pour pouvoir effectuer la partition des individus en stades qui sont associés aux variables d'habitats des ambiances dans lesquels ils ont été pêchés; ceci afin d'effectuer les calculs.

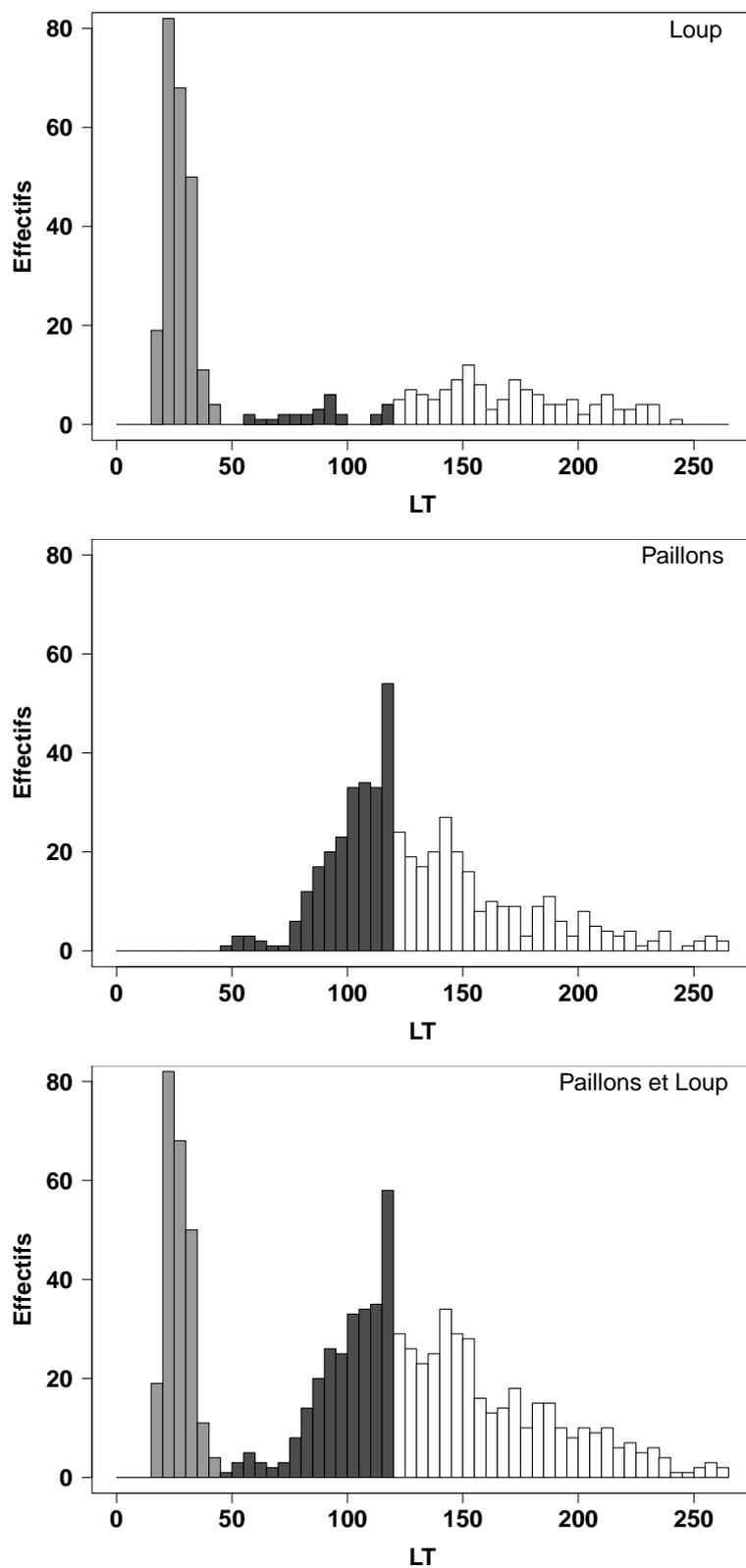


Figure 12 : Histogrammes des tailles des barbeaux méridionaux échantillonnés dans le Loup, les Paillons et l'ensemble des cours d'eau.

Les mâles et femelles 0+ à 2+ présentent des tailles et poids similaires (Soric et Jankovic 1989), mais à partir de la troisième année de vie (>2+) le ratio mâle/femelle diminue fortement. Les femelles atteignent leurs maturités sexuelles entre 2 et 3 ans (100 à 140 mm) alors que les mâles généralement plus petits peuvent prendre part à la ponte dès leur première année correspondant à une taille de 78 mm (Soric & Jankovic, 1989). Ces données de la littérature scientifique nous ont été confirmées par C BARLA (com. pers.), qui précise que selon ses observations les mâles sont spermiant à 80 mm et les femelles sont matures lors de leurs troisièmes années de vie correspondant à une taille moyenne de 120 mm (2+ : 100 à 138 mm).

Lorsqu'il analyse l'histogramme des classes de tailles du BAM de la Figure 12, notre collègue ichtyologue Irstea Georges CARREL identifie :

- une première classe d'âge 0+ jusqu'à 45 mm ainsi qu'elle apparaît par défaut dans l'histogramme des tailles des Paillons qui ne comporte pas d'alevins,
- puis une seconde classe 1+ pour des tailles variant entre 45 et 120mm.

Après débat avec nos deux collègues cités précédemment, nous avons validé la taille limite de 120 mm pour la limite adulte au sens loi sur l'eau c'est-à-dire en "garantissant une reproduction possible" à partir de cette classe de taille.

Tableau IX : Découpage en taille (en mm) des trois stades ontogéniques alevin, juvénile et adulte

Stade ontogénique	ALEVIN	JUVENILE	ADULTE
Découpage (en mm)	[0 – 45[[45 – 120[≥ 120

La Figure 12 semble montrer à l'instar de l'étude de classes d'âge de SORIC & JANKOVIC (1989) que les barbeaux méridionaux échantillonnés sur le Loup et les Paillons ont une longévité de 7 à 8 ans. Notons aussi la taille maximale de BAM mesurée sur le Paillon de 263 mm qui est similaire à celle de 270 mm citée par NEOPHITOU (1987) et référencée dans le site web fishbase.

IV.2 Données biologiques disponibles pour calcul des courbes de préférence pour les stades adulte, juvénile, alevin du barbeau méridional

Tableau X : Synthèse des captures du barbeau méridional ; moyennes des densités

Barbeaux méridionaux : moyennes des densités									
	A3	A2	A1	Contes	A5b	A5a	A4	Escarène	Total
nb BAM	50	92	67	209	47	48	189	284	493
nb BAM ALE									
nb BAM JUV	29	42	47	118	15	19	91	125	243
nb BAM ADU	21	50	20	91	32	29	98	159	250
densité BAM 100m ²	76	49	74	63	42	47	42	43	54
densité BAM ALE 100m ²									
densité BAM JUV 100m ²	39	21	46	33	14	18	19	17	26
densité BAM ADU 100m ²	37	28	27	30	29	28	23	26	28
nb ambiances	25	48	36	109	25	22	49	96	205
nb ambiances BAM absent	8	20	11	39	13	8	17	38	77
nb ambiances BAM présent	17	28	25	70	12	14	32	58	128
nb ambiances BAM ALE									
nb ambiances BAM JUV	12	17	20	49	5	10	25	40	89
nb ambiances BAM ADU	9	22	10	41	10	10	22	42	83
% ambiances BAM absent	32	42	31	36	52	36	35	40	38
% ambiances BAM présent	68	58	69	64	48	64	65	60	62
Aire totale m ²	126	278	155	559	150	159	662	972	1531
Aire moyenne m ²	5	6	4	5	6	7	14	10	7
Hauteur moyenne m	0.28	0.25	0.30	0.24	0.31	0.28	0.27	0.26	0.25
Vitesse moyenne m/s	0.25	0.30	0.30	0.29	0.16	0.27	0.37	0.29	0.29

Le Tableau X présente la moyenne des densités de barbeaux méridionaux dans les stations, par Paillon et pour l'ensemble des ambiances pêchées. Rappelons que cette approche est plus représentative des densités effectivement rencontrées dans le milieu qu'une approche par densité moyenne toutefois exposée en Annexe 14. L'Annexe 17 présente ce même type de tableau pour l'ensemble des données composées du Loup en 2010 et des Paillons en 2014. De même l'Annexe 15 et l'Annexe 16 présentent respectivement les caractéristiques du substrat échantillonné et les moyennes des hydrosignatures des ambiances pour chaque cours d'eau et pour l'ensemble des données.

IV.3 Méthode de calcul des courbes de préférence pour les stades adulte, juvénile, alevin du barbeau méridional

La critique de la méthode des microhabitats et des méthodes de construction des courbes de préférence qu'elle met en œuvre dépasse largement le cadre de cette étude. Ces courbes de préférence représentent des profils écologiques pour les poissons aux stades : adulte, juvénile et alevin, vis-à-vis de variables physiques : hauteur d'eau, vitesse moyenne du courant et granulométrie du substrat. Pour calculer les préférences d'habitat du barbeau méridional nous avons pris le parti de calculer des courbes similaires à celles de la catégorie III (BOVEE, 1983) les plus utilisées en France pour la mise en œuvre de la méthode des microhabitats qui est pour l'heure une référence Nationale. Précisons que le jeu de données dont nous disposons maintenant sur le barbeau méridional pourra permettre d'autres approches/méthodes de calculs pour la nouvelle génération de modélisations habitats/poissons.

Pour les calculs nous avons utilisé la méthode des log-densités (LLD) (LAMOUROUX et al., 1999). Décrivons maintenant les modalités de mise en œuvre que nous avons utilisées.

Pour chaque stade ADU, JUV, ALE et pour chaque ambiance, nous calculons un LLD.

$$LLD = \ln(1000 \cdot d + 1)$$

Avec d la densité soit le nombre d'individus par unité d'aire.

Nous définissons des classes pour les valeurs moyennes des variables (H, V, S) : **H**auteur d'eau, **V**itesse moyenne, **S**ubstrat : tous les 15 cm pour H, tous les 15 cm/s pour V, et utilisons les 8 classes de substrats définies à l'Annexe 4. Pour un stade et une variable donnés, les ambiances sont réparties dans les classes de cette variable. Puis pour chaque classe la somme des LLD est divisée par le nombre d'ambiances de la classe. Les résultats obtenus sont ensuite normés à 1 par division par la valeur maximale rencontrée. Pour un stade donné, la série de valeurs obtenues $\in [0,1]_{\mathbb{R}}$ par classe de variable d'habitat peuvent être interprétées comme des préférences d'habitat du fait de leur mode de construction.

Cette méthode de transformation logarithmique constitue un compromis entre une approche par densité et une approche binaire en présence/absence. Elle permet de limiter les effets de bancs : lorsque l'on rencontre une forte densité dans une ambiance celle-ci peut gommer numériquement tout le signal des densités des autres ambiances. Elle permet cependant de prendre en compte cette variation de densité à la différence d'une approche en présence/absence. Cette dernière serait selon notre expertise plus pertinente sur une longue chronique mais avec un très grand nombre d'ambiances dont nous ne disposons pas. Nous avons aussi effectué et analysé les calculs en présence/absence et en densité pour analyser la véracité de l'approche LLD que nous avons finalement retenue pour notre jeu de données.

Substrat

Nous avons calculé des préférences pour les trois catégories de substrat (+G) plus gros, (D1) Dominant 1, (D2) Dominant 2. C'est la fraction grossière du substrat qui a été considérée comme la plus explicative de la répartition des poissons dans leur habitat (POUILLY, 1994). Nous lui avons affecté une pondération de 0.6, les substrats dominants D1 et D2 ont été affectés d'une pondération de 0.2. Si l'on note $p(S) \in [0,1]_{\mathbb{R}}$ la préférence pour le substrat d'un stade donné nous avons calculé :

$$p(S) = 0.6 \cdot p(+G) + 0.2 \cdot p(D1) + 0.2 \cdot p(D2)$$

Puis nous avons normé à 1 les valeurs de $p(S)$ calculées.

Vitesse moyenne

Pour les préférences de vitesses nous n'avons pris en compte que les ambiances hors abris car les calculs se sont avérés fortement influencés par les abris et parce que les modélisations de type EVHA ne les prennent pas en compte.

Stades

Pour le stade ALE, seule la campagne du Loup est prise en compte puisque compte tenu des dates de pêches nous n'avons pas échantillonné d'alevins sur les Paillons. Pour les stades ADU et JUV nous avons effectué des calculs de préférences séparément pour le Loup, les Paillons et l'ensemble des deux campagnes. Sur le Loup les effectifs échantillonnés s'avèrent trop faible pour obtenir une réponse stable lorsque l'on modifie les intervalles de classes ou que l'on utilise des filtres par classes avec des nombres minimum par classes d'ambiances ou d'ambiances non vides d'individus. La campagne des Paillons s'avère plus robuste pour les réponses aux calculs car présentant un nombre de captures plus important : 90% des juvéniles pêchés et 66% des adultes (effectifs Paillons/Loup : ALE 0/234 JUV 243/27 ADU 250/129). Par suite il ne nous a pas été possible d'utiliser la moyenne des préférences normée à 1 entre les campagnes. Cette technique non utilisable dans notre cas permet de bénéficier d'un résultat plus généralisable, et ceci d'autant plus que le nombre de campagnes est important. Les préférences fournies dans ce rapport sont calculées à partir de l'ensemble des deux campagnes dont les hydrauliques sont similaires (Annexe 16).

La distribution en classe de tailles dans les stades influe sur les résultats. Surtout pour la classe adulte avec une gamme de taille "étendue" ou a priori les grands adultes moins nombreux recherchent des profondeurs et des vitesses plus importantes que les petits adultes. Le type de calcul utilisé qui les regroupent en un seul stade ADU produisant alors des courbes de petits adultes. Nous avons testé l'influence des petits adultes [120 mm, 140 mm] sur la forme des courbes de préférence et constaté dans notre cas la quasi stabilité des calculs.

Résultats

Les courbes de préférence au format du logiciel EVHA (BAM.PRF) à coder en ANSI sont présentées à l'Annexe 18. Rappelons les recommandations Irstea : l'utilisation de ces courbes nécessite une réflexion sur le domaine de validité et sur l'interprétation des résultats qu'elles permettent d'obtenir.

La modélisation habitat poissons reste une entreprise très difficile car il s'agit de "mettre la vie en équation" et que la présence d'un poisson dans un habitat donné dépend de l'histoire du milieu et de nombreux paramètres avec des lois non linéaires (eg : un poisson peut avoir un besoin croissant de vitesse d'écoulement pour s'oxygéner mais à l'extrême il sera délogé dès que celle-ci dépassera sa vitesse de nage). Dans notre cas comme souvent, les jeux de données ne sont pas suffisants pour tester l'influence d'autres facteurs biotiques tels que la température ou la qualité de l'eau ou abiotiques tels que la compétition intra ou inter spécifique. Dans notre cas il est possible que les anguilles soient des prédateurs des barbeaux méridionaux et que leurs présence influent sur la sélection de leurs habitats. Des recherches se poursuivent à l'Irstea notamment pour prendre en compte la non indépendance des variables hydrauliques en utilisant des modèles multivariés mais aussi en cherchant à intégrer la notion d'habitat fonctionnel (repos, alimentation, nutrition,...).

V. Conclusion

Nous avons calculé des courbes de préférence du barbeau méridional pour les stades adulte, juvénile et alevin à partir des échantillonnages de deux fleuves côtiers aux abords de Nice : le Loup en septembre 2010 et les Paillons en juin 2014. Ces courbes monovariées pour les paramètres de profondeur, de vitesse d'écoulement et de substrat sont désormais utilisables pour la mise en œuvre de la méthode des microhabitats qui est la plus utilisée en France pour la préconisation des débits écologiques.

Rappelons qu'avant les études Loup et Paillons nous ne disposions d'aucunes données en France pour la compréhension/modélisation des préférences d'habitat du barbeau méridional. Nous ne doutons pas que les données récoltées seront valorisées dans le futur par les équipes de recherches qui font évoluer les modélisations et qu'elles seront utiles in fine aux gestionnaires pour préserver cette espèce menacée.

VI. Sites Webs

<http://www.cs.cmu.edu/~quake/triangle.html> Logiciel Triangle : “A Two-Dimensional Quality Mesh Generator and Delaunay Triangulator” Jonathan Richard Shewchuk, Computer Science Division, University of California at Berkeley, Berkeley, California 94720-1776.

<http://hydrosignature.aix.cemagref.fr> Logiciel HydroSignature.

<http://www.irstea.fr/evha> Logiciel EVHA Evaluation de l'habitat physique des poissons en rivière.

<http://www.iucnredlist.org/details/2567/0> The IUCN Red List of Threatened species

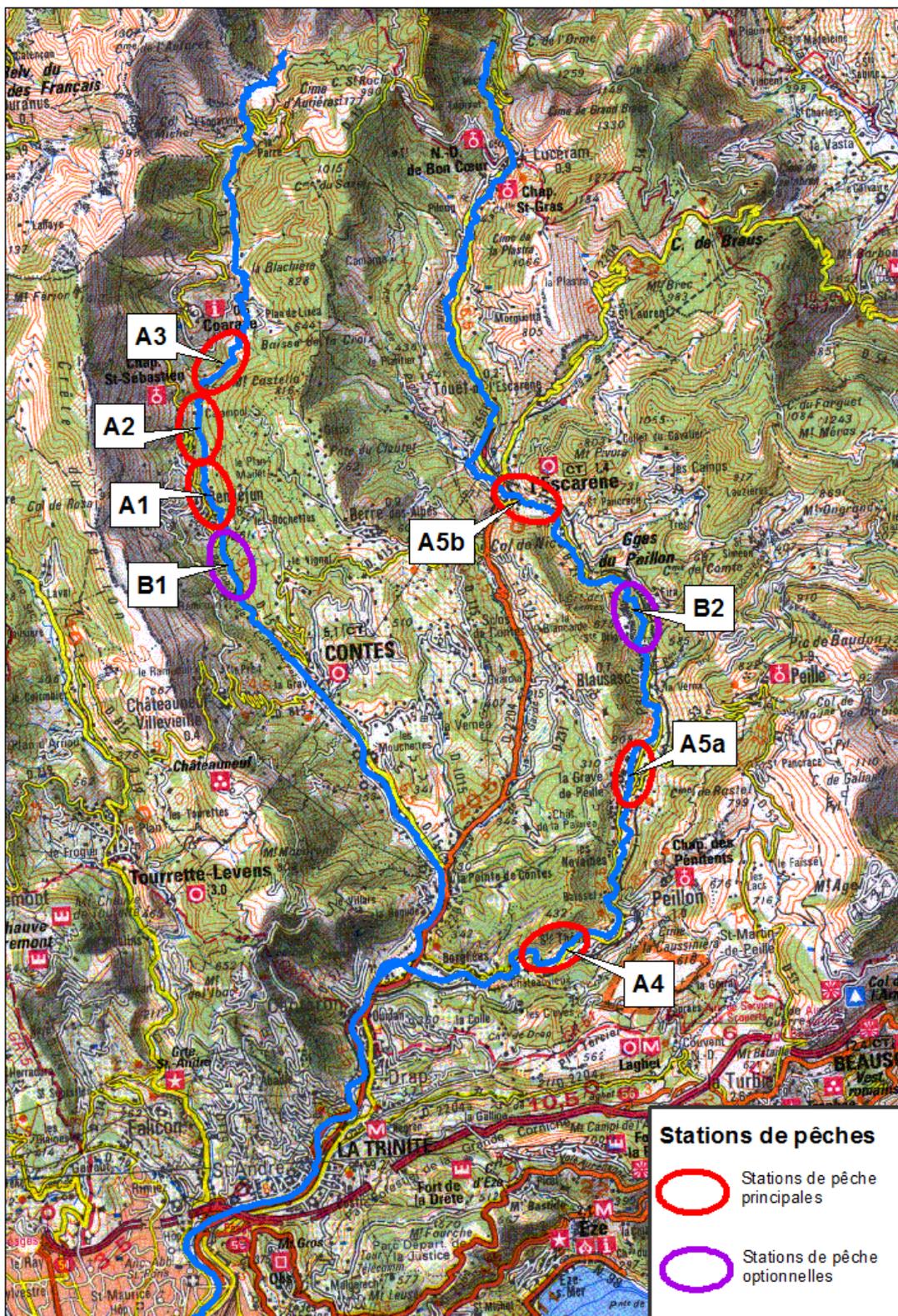
<http://www.fishbase.org/summary/5424> Fishbase : *Barbus meridionalis*

Bibliographie

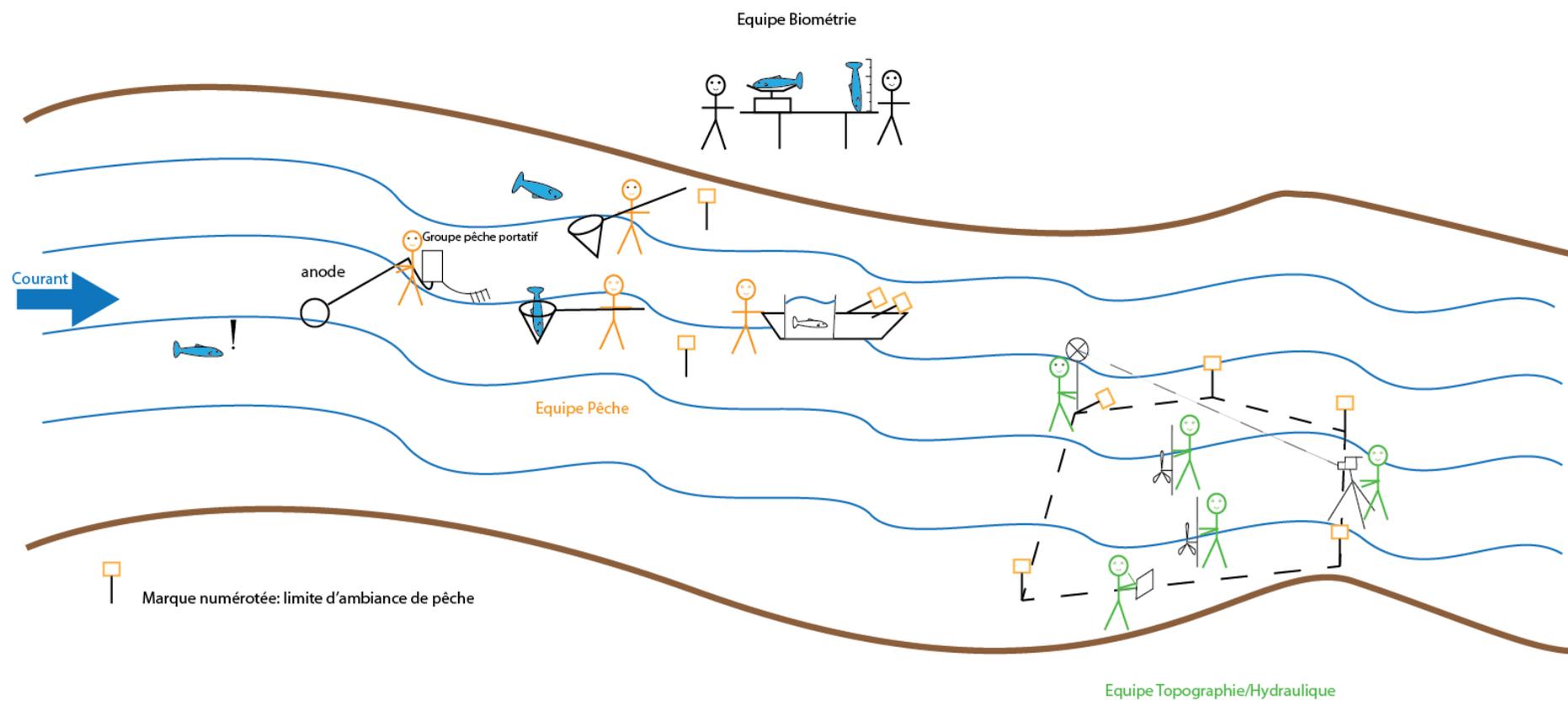
- BERREBI, P., G. LAMY, G. CATTANEO-BERREBI & J. RENNO, F., 1988. Variabilité génétique de *Barbus meridionalis* Risso (Cyprinidae) : une espèce quasi monomorphe. Bull Fr Pêche Piscic(310):77-84.
- BLANCK, A. & N. LAMOUREUX, 2007. Large-scale intraspecific variation in life-history traits of European freshwater fish. J Biogeogr 34(5):862-875.
- BOVEE K.D, 1986. Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology. Instream Flow Information Paper 21, U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, DC.
- DEMBSKI, S., G. MASSON, D. MONNIER, P. WAGNER & J. C. PIHAN, 2006. Consequences of elevated temperatures on life-history traits of an introduced fish, pumpkinseed *Lepomis gibbosus*. J Fish Biol 69(2):331-346.
- DORIER, A., 1957. Répartition du barbeau méridional (*Barbus meridionalis* Risso) dans le Sud-Est de la France. Travaux du Laboratoire d'Hydrobiologie et de Pisciculture de l'Université de Grenoble 48/49(1):141-149.
- JACQUES, BRUSLÉ et JEAN-PIERRE, QUIGNARD. Biologie des poissons d'eau douce européens (2e éd.). Lavoisier, 2013.
- LAMOUREUX, N., H. CAPRA, M. POUILLY & Y. SOUCHON, 1999. Fish habitat preferences in large streams of southern France. Freshwat Biol 42(4):673-687.
- LE COARER, Y., 2007. Hydraulic signatures for ecological modelling at different scales. Aquat Ecol 41:451-459.
- LE COARER, Y. & O. DELAIGUE (eds), 2008. CYPREF - Préférences d'habitats des cyprinidés. Projet MAITRISE, Cemagref Aix-en-Provence, U.R. Hydrobiologie.
- LE COARER, Y., T. MARTINEAU, T. PEYROUX & J. BEGUIN, 2012. Contribution à la définition des débits minimum biologiques sur le Loup. Irstea, UR Hydrobiologie, Aix-en-Provence.
- NEOPHITOU, C., 1987. A study of some autoecological parameters of southern barbel (*Barbus meridionalis* R.) in the Rentina stream, Greece. J Appl Ichthyol 3(1):24-29 doi:10.1111/j.1439-0426.1987.tb00445.x.
- POUILLY, M., 1994. Relations entre l'habitat physique et les poissons des zones à cyprinidés rhéophiles dans trois cours d'eau du bassin rhodanien : vers une simulation de la capacité d'accueil pour les peuplements. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard - Lyon I.
- SCHARL, A. & Y. LE COARER, 2005. Morphohydraulic quantification of non spatialized datasets with the "Hydrosignature" software. In HARBY, A., et al. (eds) Proceedings, Final COST 626 European Aquatic Modelling Network meeting in Silkeborg, Denmark 19-20 May 2005. National Environmental Research Institute, 313-326.
- SORIC, V. & D. JANKOVIC, 1989. Characteristics of growth and sexual maturity of *Barbus meridionalis*. Ichthyologia 21(1):27-37.

Annexes

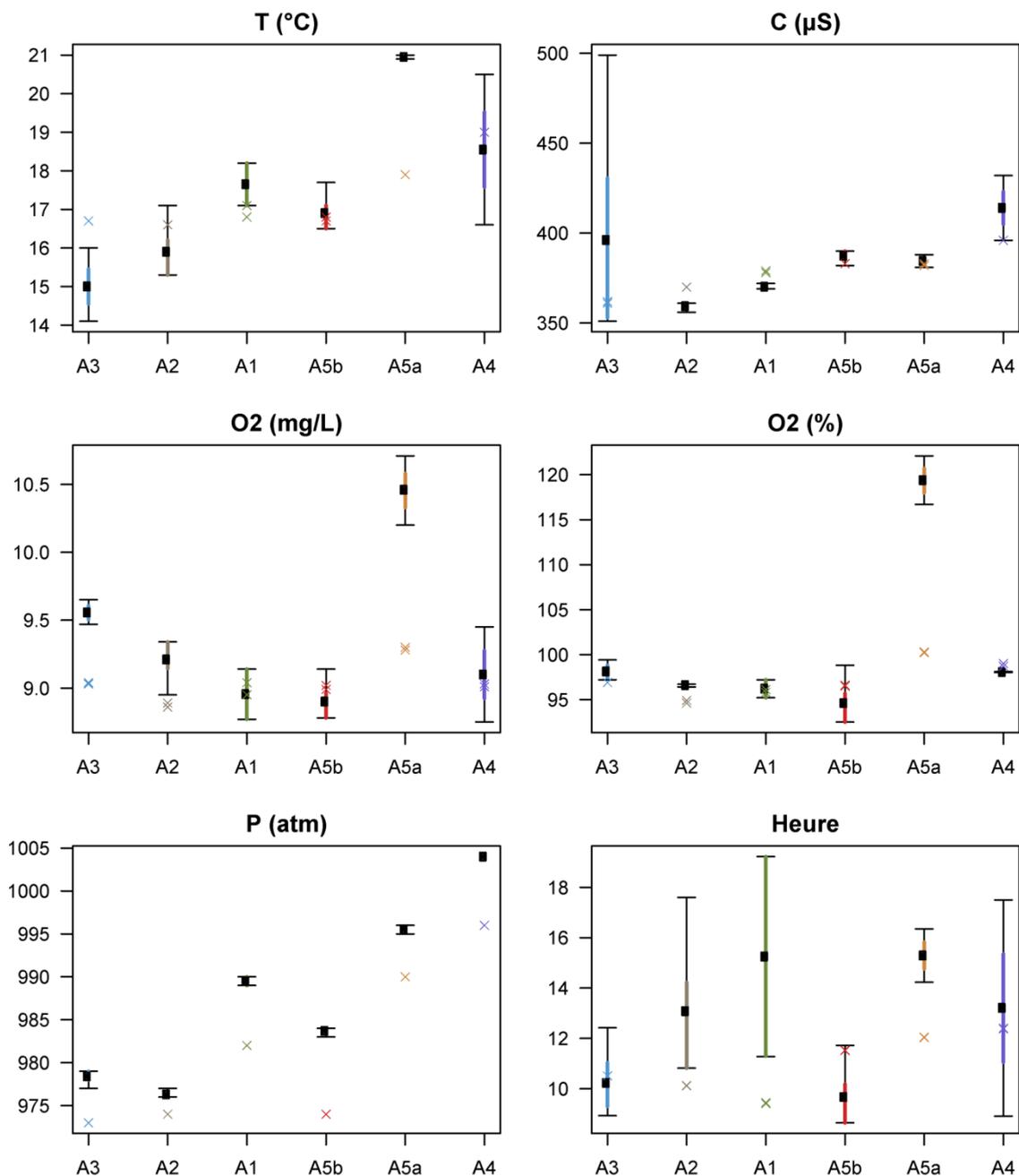
Annexe 1 : Localisation des stations de pêches planifiées



Annexe 2 : Méthodologie de pêche par ambiances



Annexe 3 : Mesures ponctuelles de température, de conductivité et d'oxygène dissous, de saturation en oxygène dissous et de pression atmosphérique relevées à l'aide d'un analyseur électrochimique numérique portable Hach Lange HQ40d.



Annexe 4 : Tableau de codage de description du substrat

CODE EVHA	BOVEE 1992 (IFIM)	EVHA Ø (mm)
1	Plant détritit	Litière / Prairie (T, H)
2	Mud / soft clay	Limon < 0.062 (L)
3	Silt < 0.062mm	Sables Fins 0.062 – 0.5 (SF) Sables Grossiers 0.5– 2 (SG)
4	Sand 0.062 à 2 mm	Graviers Fins 2 – 8 (GF) Graviers Grossiers 8 – 16 (GG)
5	Gravel 2 à 64 mm	Cailloux Fins 16 – 32 (CF) Cailloux Grossiers 32 – 64 (CG)
6	Cobble / Rubble 64 à 250 mm	Pierres Fines 64 – 128 (PF) Pierres Grossières 128 – 256 (PG)
7	Boulder 250 à 4000 mm	Blocs / Rochers > 256 mm (B, R, E)
8	Bedrock (solid rock)	Dalle (D, A)

Les tailles indiquées correspondent au diamètre perpendiculaire au plus grand axe de l'élément de substrat.

Annexe 5 : Synoptique des calculs morphohydrauliques

1 Relevé de terrain

A l'intérieur de chaque ambiance et pour chaque verticale:
 -> Mesure \bar{V} et H
 -> Relevé position avec tachéomètre

2 Calculs topographie à partir des données tachéomètre

-> Calcul x, y et zfond pour chaque verticale et association des H et \bar{V} correspondantes

3 Constuction contour polygone

Maillage sous contrainte

4 Contrôle d'intégrité des données topographiques

-> Projection des points sur un axe
 Contrôle planéité de la surface

$Z_{fond} + H = Z_{surface}$

5 Contrôle de l'intégrité des données hydrauliques

-> Définition des classes hydrauliques

Contrôle 3D

-> Découpe du maillage en hydroéléments de même classe hydraulique (interpolations)

Contrôle 2D

6 Calcul de l'hydrosignature

H(m)	Aire					
0.8						
0.6						
0.4	4.2	31.1	3.7			
0.2	18.5	29.6	12.6	0.3		
0						
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1

H(m)	Volume					
0.8						
0.6						
0.4	5.3	45.5	3.8			
0.2	9.8	25.1	10.3	0.2		
0						
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1

-> Calcul des paramètres:
 \bar{V} , \bar{H} , Aire, Froude...

Annexe 6 : Nomenclature piscicole

Code espèce	Nom commun	Nom latin
ANG	Anguille	<i>Anguilla anguilla</i>
BAM	Barbeau méridional	<i>Barbus meridionalis</i>
BLN	Blageon	<i>Leuciscus (Telestes) soufia</i>
CHE	Chevaine	<i>Leuciscus cephalus</i>
TAC	Truite arc-en-ciel	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
TRF	Truite de rivière	<i>Salmo trutta fario</i>
VAI	Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i>

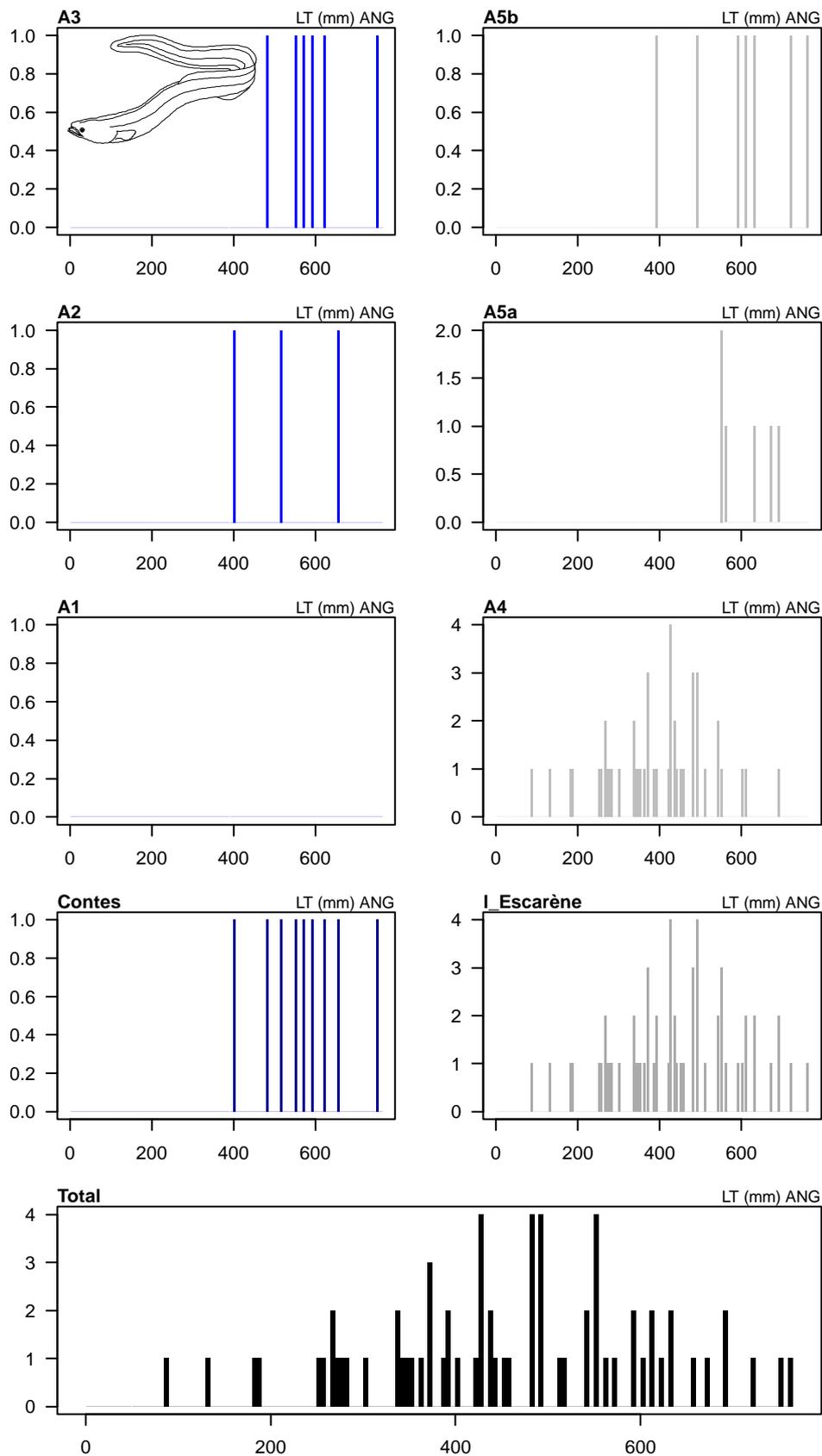
Annexe 7 : Synthèse des captures ; densités moyennes par espèces

Poissons : densités moyennes									
	A3	A2	A1	Contes	A5b	A5a	A4	Escarène	Total
nb ambiances	25	48	36	109	25	22	49	96	205
densité TOUTES ESPECES 100m ²	46	34	70	47	138	61	127	118	92
densité VAI 100 m ²					98	26	88	79	50
densité BAM 100 m ²	40	33	43	37	31	30	29	29	32
densité ANG 100 m ²	5	1		2	5	4	7	6	4
densité BLN 100 m ²			25	7	4	0.6	2	2	4
densité CHE 100 m ²			2	0.5			2	1	1
densité TRF 100 m ²	2	0.4		0.5					0.2
Aire totale m ²	126	278	155	559	150	159	662	972	1531
Hauteur moyenne m	0.23	0.22	0.29	0.24	0.33	0.24	0.25	0.26	0.25
Vitesse moyenne m/s	0.23	0.27	0.26	0.26	0.11	0.28	0.34	0.29	0.28

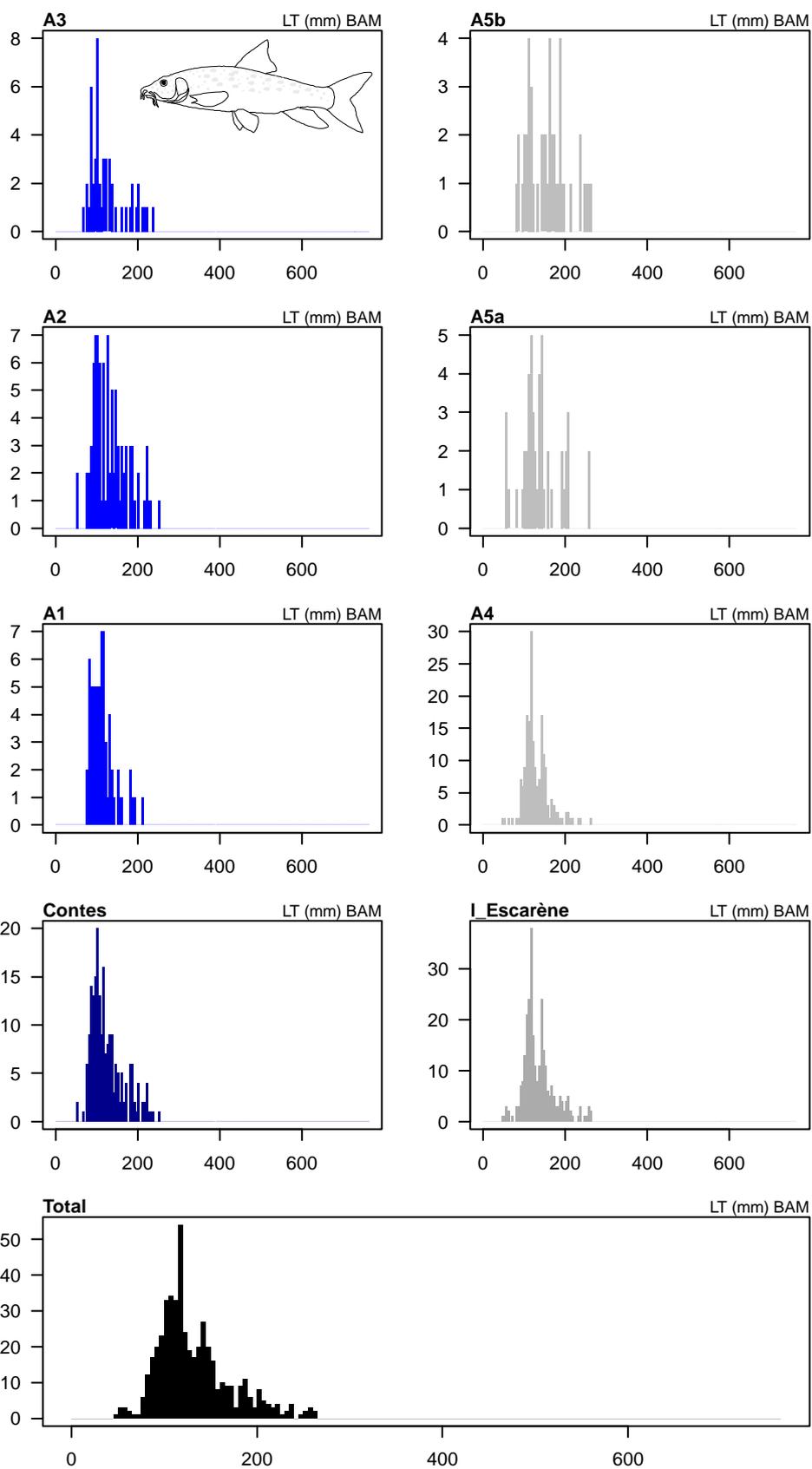
Ecrevisses : densités moyennes									
	A3	A2	A1	Contes	A5b	A5a	A4	Escarène	Total
nb ambiances	25	48	36	109	25	22	49	96	205
densité APP 100 m ²			3	0.7					0.3

ATTENTION préférer à cette annexe le Tableau VIII de moyennes des densités par espèces plus représentatif des conditions réelles du milieu.

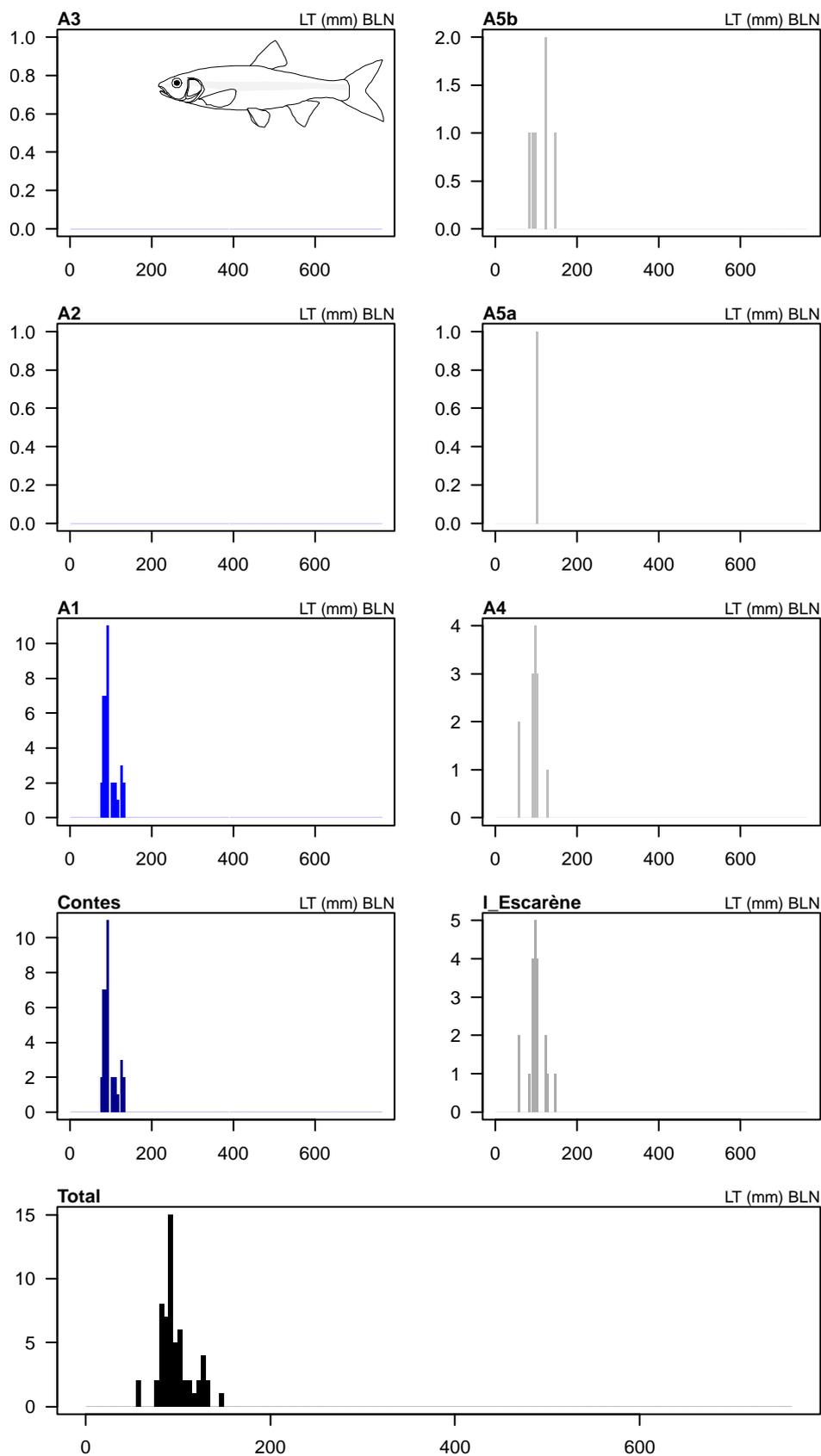
Annexe 8 : Histogrammes des classes de tailles de l'anguille



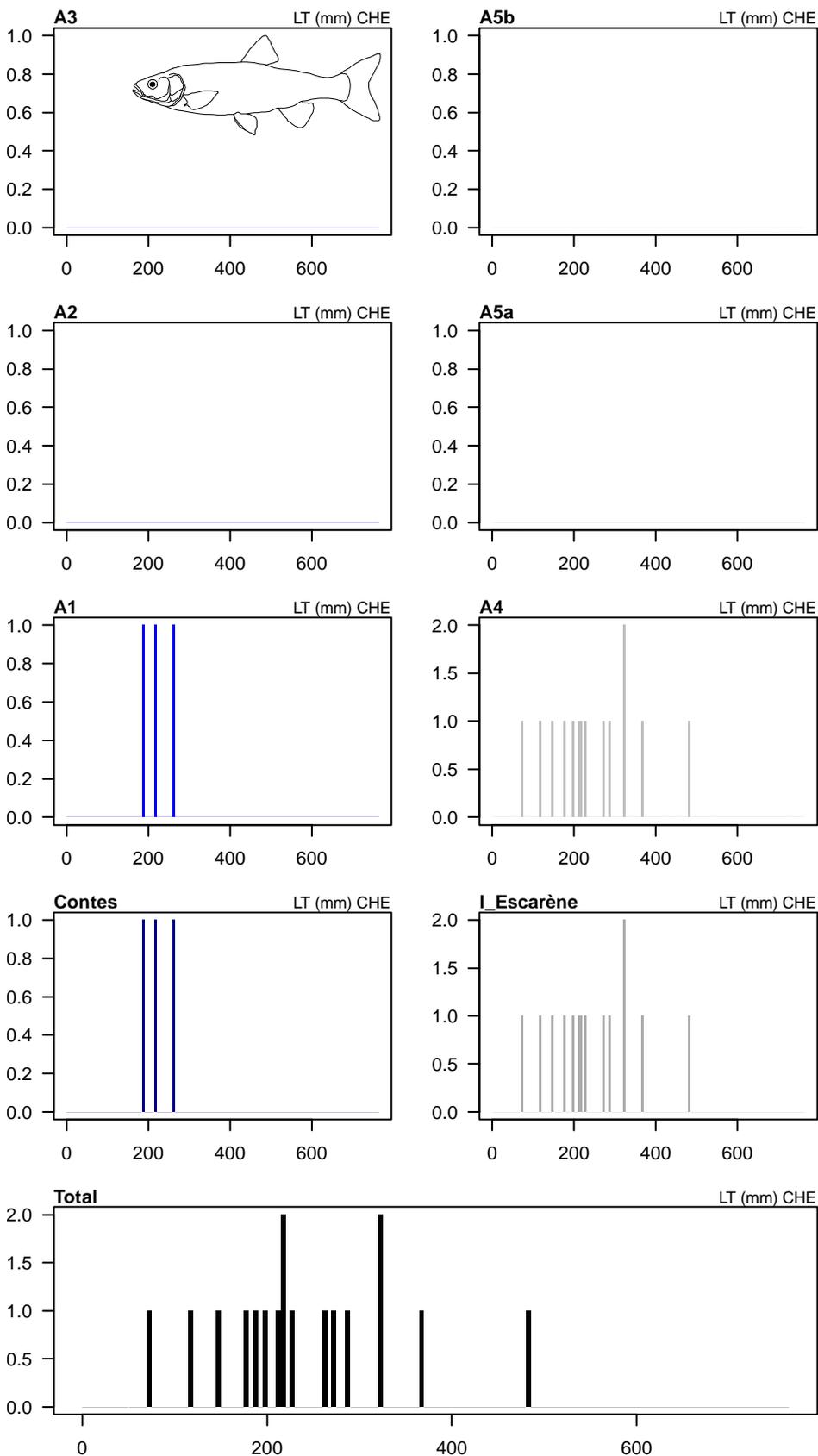
Annexe 9 : Histogrammes des classes de tailles du barbeau méridional



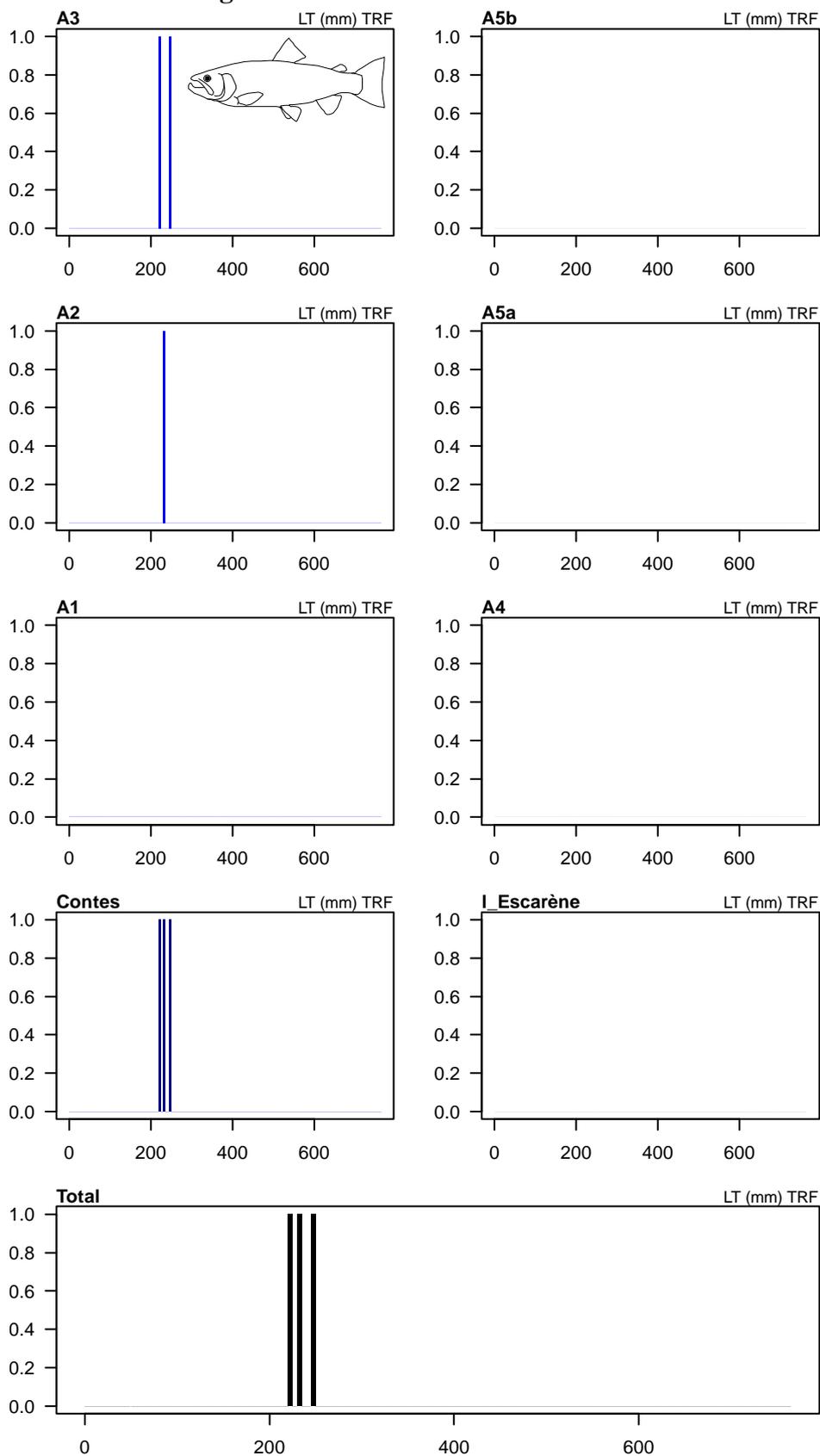
Annexe 10 : Histogrammes des classes de tailles du blageon



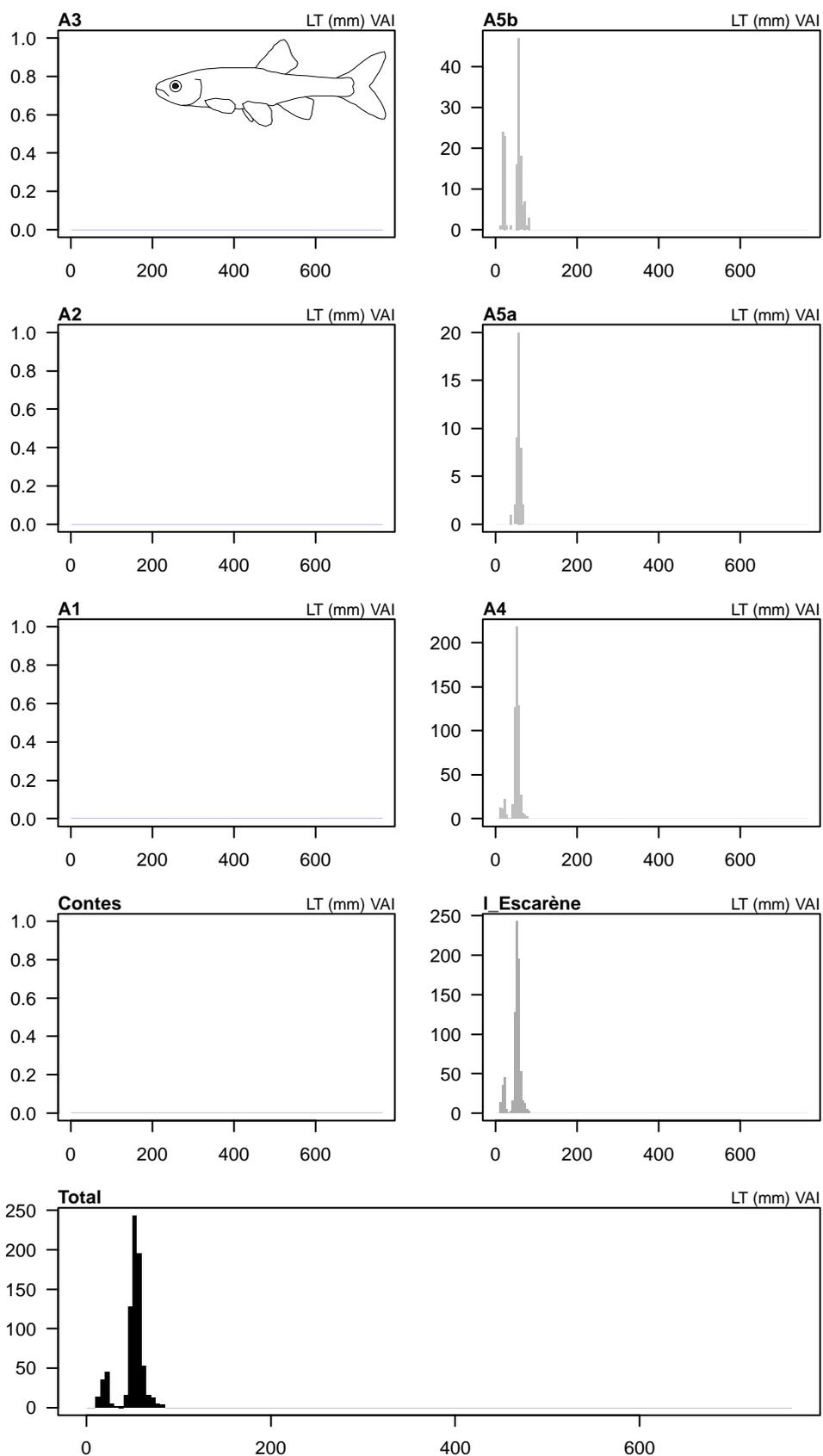
Annexe 11 : Histogrammes des classes de tailles du chevine



Annexe 12 : Histogrammes des classes de tailles de la truite de rivière



Annexe 13 : Histogrammes des classes de tailles du vairon

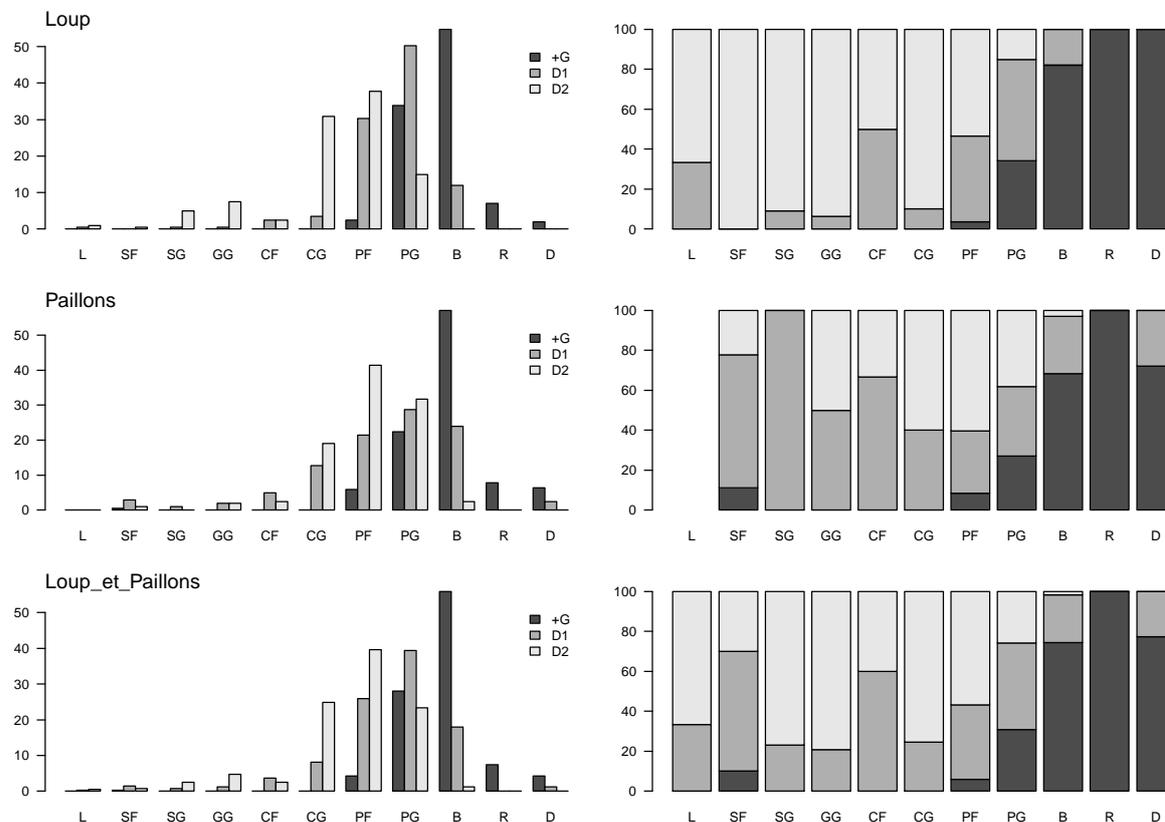


Annexe 14 : Synthèse des captures du barbeau méridional ; densités moyennes

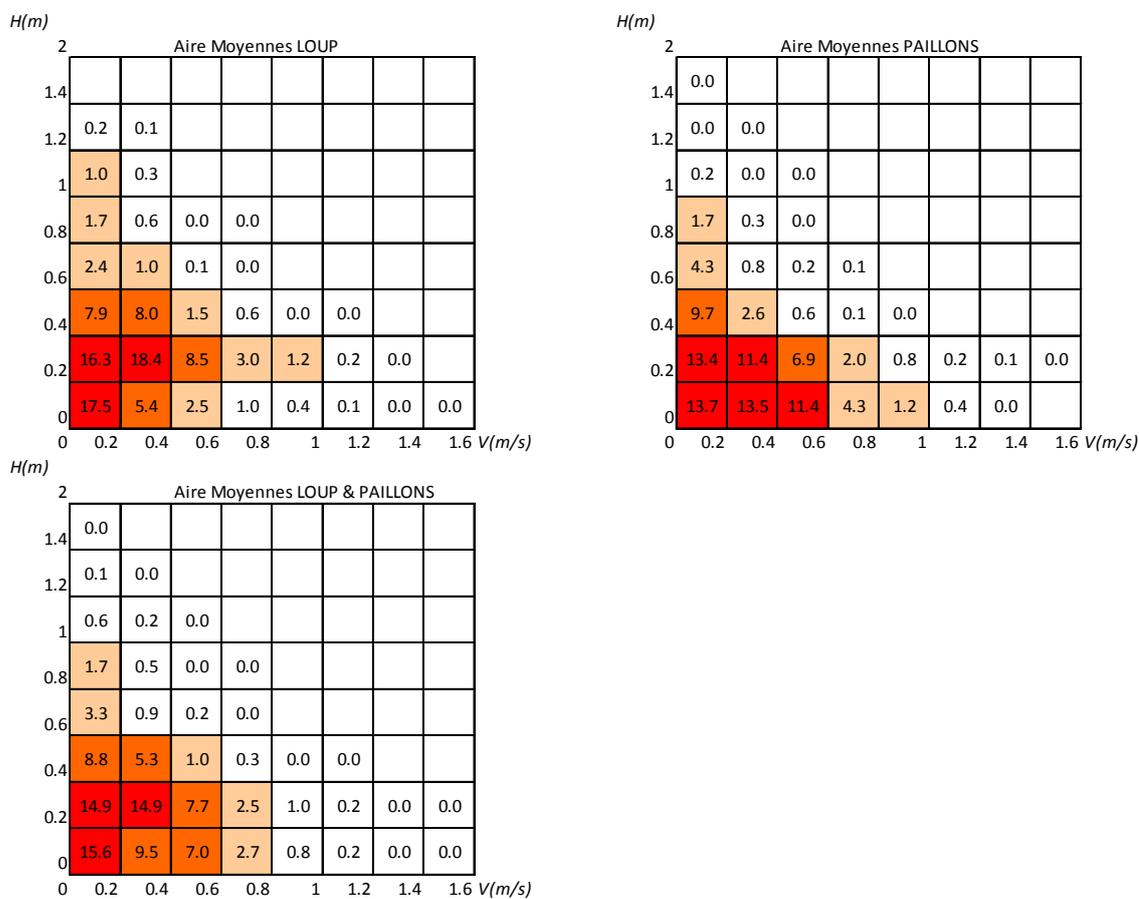
Barbeaux méridionaux : densités moyennes									
	A3	A2	A1	Contes	A5b	A5a	A4	Escarène	Total
nb BAM	50	92	67	209	47	48	189	284	493
nb BAM ALE									
nb BAM JUV	29	42	47	118	15	19	91	125	243
nb BAM ADU	21	50	20	91	32	29	98	159	250
densité BAM 100 m ²	40	33	43	37	31	30	29	29	32
densité BAM ALE 100 m ²									
densité BAM JUV 100 m ²	23	15	30	21	10	12	14	13	16
densité BAM ADU 100 m ²	17	18	13	16	21	18	15	16	16
nb ambiances	25	48	36	109	25	22	49	96	205
nb ambiances BAM absent	8	20	11	39	13	8	17	38	77
nb ambiances BAM présent	17	28	25	70	12	14	32	58	128
nb ambiances BAM ALE									
nb ambiances BAM JUV	12	17	20	49	5	10	25	40	89
nb ambiances BAM ADU	9	22	10	41	10	10	22	42	83
% ambiances BAM absent	32	42	31	36	52	36	35	40	38
% ambiances BAM présent	68	58	69	64	48	64	65	60	62
Aire totale m ²	126	278	155	559	150	159	662	972	1531
Hauteur moyenne m	0.23	0.22	0.29	0.24	0.33	0.24	0.25	0.26	0.25
Vitesse moyenne m/s	0.23	0.27	0.26	0.26	0.11	0.28	0.34	0.29	0.28

ATTENTION préférer à cette annexe le Tableau X de moyennes des densités de barbeaux méridionaux plus représentatif des conditions réelles du milieu.

Annexe 15 : Caractéristiques globales des échantillonnages des barbeaux méridionaux des Paillons, du Loup et de l'ensemble de ces cours d'eau. Relevés de granulométries effectués dans les ambiances, coloration selon leur représentativité : +G plus gros, D1 Dominant 1, D2 Dominant 2 / limon (L), sable (S), gravier (G), cailloux (C), pierre (P), bloc (B), rocher (R), dalle (D). La deuxième lettre correspond au caractère fin (F) ou grossier (G). Unité des ordonnées %.



Annexe 16 : Moyenne des hydrosignatures des ambiances en aire sur le Loup en 2010, sur les Paillons en 2014 et sur l'ensemble des deux fleuves côtiers.

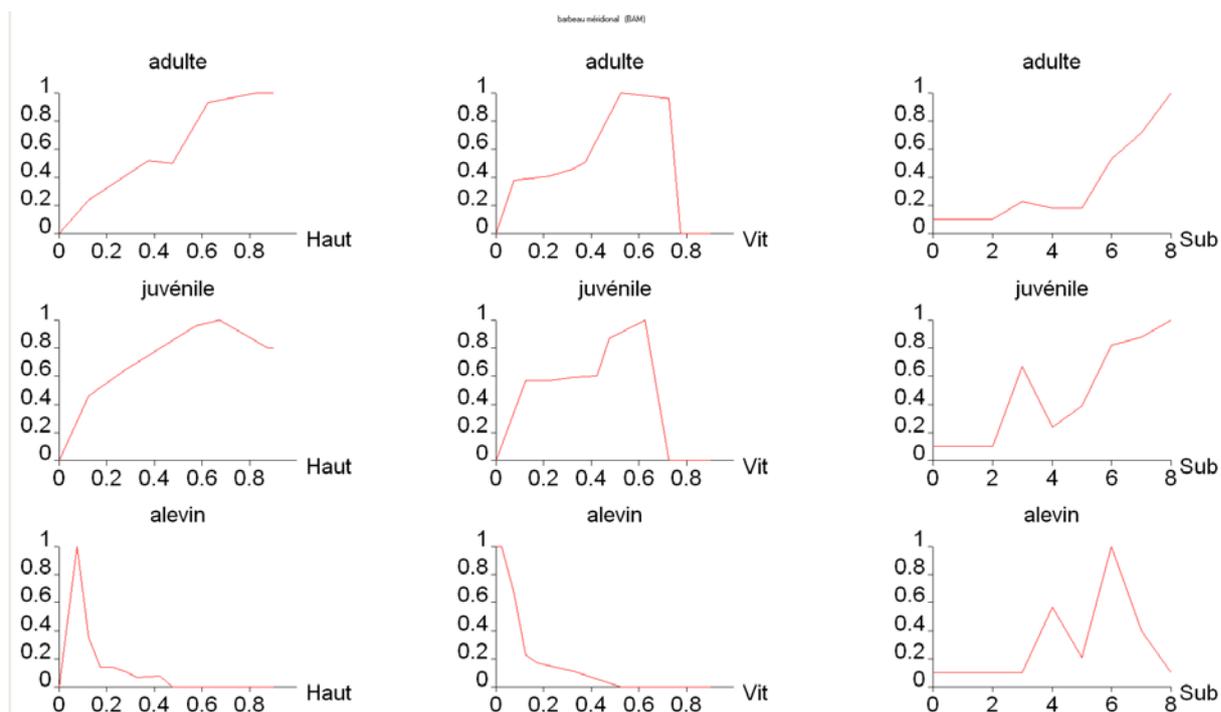


A noter que la valeur de **11,86** de l'indice de comparaison HSC [$k_1=1$, $k_2=1$] entre les Moyenne des hydrosignatures du Loup en 2010 et des Paillons en 2014.

Annexe 17 : Synthèse des captures du barbeau méridional, moyennes des densités, sur le Loup en 2010, sur les Paillons en 2014 et sur l'ensemble des deux fleuves côtiers.

Barbeaux méridionaux : moyennes des densités des ambiances			
	Loup	Paillons	Total
nb BAM	390	493	883
nb BAM ALE	234		234
nb BAM JUV	27	243	270
nb BAM ADU	129	250	379
densité BAM 100m ²	60	54	57
densité BAM ALE 100m ²	42		21
densité BAM JUV 100m ²	2	26	14
densité BAM ADU 100m ²	16	28	22
nb ambiances	201	205	406
nb ambiances BAM absent	147	77	224
nb ambiances BAM présent	54	128	182
nb ambiances BAM ALE	25		25
nb ambiances BAM JUV	14	89	103
nb ambiances BAM ADU	27	83	110
% ambiances BAM absent	73	38	55
% ambiances BAM présent	27	62	45
Aire totale m ²	1965	1531	3496
Aire moyenne m ²	9.8	7.5	8.6
Hauteur moyenne m	0.34	0.25	0.30
Vitesse moyenne m/s	0.26	0.29	0.27

Annexe 18 : Courbes de préférence au format EVHA du barbeau méridional à partir de pêches par ambiances avec et sans abris (BAM.PRF)



BAM barbeau méridional

Origine: Pêches électriques réalisées sur le Loup et les Paillons(406 ambiances)

Irstea Aix en Provence, CG et Fédération de pêche des Alpes Maritimes, ONEMA.

Traitement de base de données et calculs de préférences faits par l'Irstea.

Surface moyenne des ambiances : 9.6 m² ; min : 0.5 m² ; max : 65.8 m².

Profondeur moyenne de l'ensemble : 0.30 m , et vitesse moyenne : 0.27 m/s.

Vitesse maximale dans les ambiances : 1.55 m/s ; Hauteur maximale : 1.99 m.

Alevins: sujets de moins d'un an, de moins de 45 mm.

Juvéniles: sujets de plus d'un an non encore reproductifs (45 à 120 mm)

Adultes: sujets en âge de se reproduire (45 à 120 mm)

Mode de calcul : LLD (log(1000*densité+1)), et hydrosignatures.

Ambiances où des barbeaux méridionaux ont été prélevés :

182 ambiances avec et sans-abris, 883 poissons

\$3 ALE JUV ADU

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	0.10
0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	0.10
0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	0.10
1.00	0.10	1.00	0.10	1.00	0.10
2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10
3.00	0.10	3.00	0.67	3.00	0.23
4.00	0.57	4.00	0.24	4.00	0.18
5.00	0.21	5.00	0.39	5.00	0.18
6.00	1.00	6.00	0.82	6.00	0.53
7.00	0.40	7.00	0.88	7.00	0.72
8.00	0.10	8.00	1.00	8.00	1.00