UNIVERSITÀ DI CORSICA - PASQUALE PAOLI

ECOLE DOCTORALE ENVIRONNEMENT ET SOCIETE UMR CNRS 6134 SPE

Thèse présentée pour l'obtention du grade de

DOCTEUR en Physiologie et biologie des organismes – Populations – Interactions

Mention : Biologie des populations et écologie

Soutenue publiquement par

François COLONNA

Le 03 Décembre 2021

Les conséquences du changement climatique sur les ressources en eau et le peuplement piscicole des cours d'eau de Corse

Directeur :

M. ORSINI Antoine, Dr-HDR, Université de Corse

Rapporteurs :

M. DELIEGE Jean-François, Professeur, Université de Liège
M. LEJEUNE Pierre, Dr HDR, Université de Liège

Jury :

M. DELIEGE Jean-François, Professeur, Université de Liège
M. LEJEUNE Pierre, Dr HDR, Université de Liège
M. ORSINI Antoine Dr HDR, Université de Corse
M. PERGENT Gérard, Professeur, Université de Corse

Remerciements

Ces travaux de recherche et la rédaction de cette thèse de doctorat n'auraient pas pu être accomplis sans l'appui inconditionnel des nombreuses personnes qui m'ont entourées du début du projet jusqu'à ces derniers mois de rédaction. Il me sera très difficile de remercier tout le monde et de n'oublier personne. Je souhaite remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont pu m'aider et me permettre de mener cette thèse à son terme.

Mes premiers remerciements sont adressés à mon directeur de Thèse, Monsieur Antoine ORSINI. Je ne serai jamais assez long et précis pour lui témoigner toute la reconnaissance nécessaire. Au-delà d'un directeur de thèse pragmatique, disponible et inépuisable scientifiquement, il est mon mentor et est très certainement à l'origine de ma passion pour cette magnifique discipline qu'est l'hydrobiologie depuis plus de dix. Il m'a toujours accompagné et rassuré dans la construction scientifique de ces travaux. Que mon beau-père trouve à travers ces quelques mots toute la reconnaissance et l'affection qui lui sont dues pour son accompagnement, tant scientifique que dans ma vie quotidienne.

J'adresse mes sincères remerciements aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'évaluer ce travail. Messieurs Jean-François DELIEGE, Professeur à l'Université de Liège et Pierre LEJEUNE, Docteur HDR à l'Université de Liège ont accepté d'être rapporteurs de mes travaux de recherche sans aucune hésitation, pour cela j'aimerai leur témoigner une reconnaissance particulière.

Je remercie vivement Monsieur Gérard PERGENT, Professeur à l'Università di Corsica Pasquale PAOLI d'être présent et d'endosser le rôle de Président du Jury de cette thèse.

De nombreuses personnes ont joué un rôle dans le bon déroulement de ces années de thèse, que ce soit sur l'aspect fondamental comme sur les nombreuses journées de terrain plus appliquées. Comment ne pas citer Monsieur Christophe MORI, pour nos longues discussions passionnées autour de la problématique de la thèse ainsi qu'autour de nos nombreuses anecdotes aussi hilarantes que variées.

Je remercie également l'ensemble des personnes rencontrées à la Fédération de la Corse pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques. L'accueil reçu et les souvenirs gardés sont simplement excellents. Je tiens à remercier Monsieur le Président Antoine BATTESTINI et Madame la Directrice Catherine D'ORNANO de m'avoir confié différentes missions avec toute leur confiance pour représenter la structure ainsi que pour toutes ces années passées ensemble. J'adresse un grand merci à, Alain, Paul-Jean, José et Olivier, mes anciens collègues gardes de pêche pour tous ces moments passer ensemble.

Merci à Monsieur Stéphane MURACCIOLE, Responsable Environnement à l'ONF détaché partiellement à la FCPPMA pour son soutien et son intérêt porté à mes travaux de recherche. Je ne saurai oublier les différents élus de cette association avec qui j'ai pu longuement échanger.

Je tiens à remercier les nombreuses personnes qui ont mis à disposition leurs temps et leurs ressources, notamment Monsieur Camille ALBERTINI, Chef du service départemental de Haute-Corse de l'Agence Française de la Biodiversité (ex ONEMA) mais aussi les différents salariés de cette agence qui ont accompagnés mes journées de terrain. Sans oublier les agents du Parc Naturel Régional de la Corse qui sont venus nous prêter main forte à de nombreuses reprises. Merci à Olivier, Louis, Dumè, Franck, José, Anthony ainsi qu'à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la partie opérationnelle.

J'adresse également un grand merci à Monsieur Patrick REBILLOUT, climatologue et Directeur du centre régional Météo-France, pour la production de millions de données météorologiques qui ont mis à mal le système d'exploitation de mon ordinateur portable.

Un grand merci également à Monsieur Antoine FOLACCI, Professeur à l'Université de Corse, pour le temps passé à mes côtés lors des calculs mathématiques.

Je remercie également l'ensemble de l'équipe de l'Ecole Doctorale pour son accompagnement durant ces années de thèse, notamment Monsieur David MOUNGAR.

Un grand merci à mes collègues de l'Afpa avec qui une relation de confiance s'est créée et qui m'ont toujours encouragé pour concrétiser mon projet de thèse malgré le contexte salarié.

Je remercie chaleureusement ma famille, mes parents, ma sœur, ma belle-famille au complet, qui n'ont eu de cesse de croire en moi, de me motiver dans la concrétisation de ces travaux de recherche et de m'apporter un soutien et un amour inestimable dans la vie de tous les jours.

Je tiens à remercier tout particulièrement Sophie, ma femme, qui m'accompagne au quotidien dans tout ce que j'entreprends. Nous partageons cette même passion pour l'hydrobiologie, dès la première journée de terrain jusqu'aux échanges scientifiques fondamentaux. Cette passion commune nous a rassemblé et nous a mené ensemble à l'autre bout du monde. Merci pour ton soutien à l'égard de mes travaux comme dans la vie que nous partageons quotidiennement.

Je remercie enfin mes chers amis qui ont tant d'importance pour moi et que j'ai fatalement un peu délaissé dans cette période intense de rédaction. Leur soutien inébranlable a su me motiver pour accomplir au mieux ces travaux de recherche et pouvoir les retrouver de la plus belle manière que ce soit, tous ensemble.

Table des matières

Chapitre I Introduction générale 10
1.1. Problématique 10
1.2. Le changement climatique : bilan des connaissances et tendances futures 12
1.3. Les poissons d'eau douce : état de l'art 20
1.3.1. Les poissons, d'excellents bio-indicateurs 23
1.4. Les principales zonations longitudinales des cours d'eau 24
1.5. Endémisme des poissons d'eaux douces de Corse, le cas de la truite de Corse 36
1.5.1. Généralités 36
1.5.2. Biologie 38
1.5.3. Ecologie 40
1.5.3.1. La nutrition 40
1.5.3.2. La reproduction 40
Chapitre II Matériel et méthodes 41
2.1. Présentation générale de la Corse 41
2.1.1. Géographie et topographie 41
2.1.2. Géologie 42
2.1.3. Climatologie de la Corse 44
2.1.4. Limnologie physique de la Corse 50
2.1.4.1. Les principaux fleuves et rivières de Corse 50
2.1.4.2. Les lacs d'altitude de Corse 53
2.1.4.2.1. La notion de lac en corse 53
2.1.4.2.2. Origine des lacs 54
2.1.4.2.3. Formation des lacs 55
2.1.4.2.4. Localisation des lacs 56
2.1.4.3. Lacs et retenues artificiels de Corse 59
2.1.5. Flore et Végétation de la Corse 61
2.2. Nouvelle synthèse climatique de la Corse entre 1960 et 2020 71
2.2.1. La chaîne SAFRAN-ISBA-MODCOU 71
2.2.2. Le système d'analyse SAFRAN 72
2.2.3. Le logiciel Mathematica 74

2.2.4. Evolution des composantes journalières entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020 75
2.2.5. Evolution des diagrammes et des aires ombrothermiques entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020 76
2.3. Les principaux types de cours d'eau en Corse 79
2.3.1. Typologie des cours d'eau de Corse selon ORSINI (2008) 79
2.3.1.1. Typologie basée sur les paramètres morpho-topographiques 79
2.3.1.2. Typologie basée sur les paramètres hydrologiques 82
2.3.1.3. Typologie basée sur les paramètres physico-chimiques 83
2.3.2. Essai d'une nouvelle typologie des cours d'eau de Corse 86
2.4. Les données faunistiques 86
2.4.1. Les inventaires piscicoles mis à contribution 86
2.4.2. Les recensements piscicoles complémentaires 87
2.4.3. Méthode de prélèvement 87
2.5. Vitesse de croissance des populations de truite commune des cours d'eau de Corse 89
2.5.1. Comparaison de deux méthodes d'étude des classes d'âges 89
2.5.2. Détermination des classes d'âges par les polygones des fréquences cumulées croissantes 90
2.5.3. Comparaison de la vitesse de croissance de la truite commune 91
2.6. Développement d'un outil d'aide à la décision 91
2.6.1. Recherche, compilation et uniformisation des données 92
2.6.2. Localisation et caractéristiques des stations 93
2.6.3. Traitement statistique des données par analyses multivariées 95
2.6.3.1. Analyse en Composantes Principales 95
2.6.4. Mise au point de l'outil d'aide à la décision 96
Chapitre III Résultats et discussion 98
3.1. Climatologie : influence du changement climatique 98
3.1.1. Nouvelle synthèse climatique de la Corse 98
3.1.2. Evolutions des diagrammes ombrothermiques entre 1960-1984 et 1985-2020107
3.1.1. Evolutions des aires ombrothermiques entre 1960-1984 et 1985-2020 117
3.1.3. Evolution temporelle des écarts de température 126
3.2. Essai d'une nouvelle typologie des cours d'eau de Corse 131
3.3. Le peuplement piscicole 136

3.3.1. Composition du peuplement piscicole des hydrosystèmes aquatiques de Corse 136
3.3.1.1. Le peuplement piscicole des écosystèmes lentiques 138
3.3.1.1.1. Dans les lacs naturels 138
3.3.1.1.2. Dans les lacs artificiels 139
3.3.1.2. Le peuplement piscicole des écosystèmes lotiques 140
3.3.2. Richesse spécifique et évolution des limites altitudinales 142
3.3.2.1. Richesse spécifique piscicole 142
3.3.2.2. Evolution des limites altitudinales supérieures 145
3.3.3. Menaces directes sur les peuplements piscicoles 149
3.3.4. Structure du peuplement piscicole des cours d'eau de Corse 153
3.3.4.1. Comparaison entre le polygone des fréquences cumulées croissantes et la scalimétrie 153
3.3.4.2. Variabilité spatiale des vitesses de croissance de la truite commune (*S. trutta*) 160
3.3.4.3. Variabilité temporelle des vitesses de croissance de la truite commune *(S.trutta*) 162
3.4. Proposition d'un outil d'aide à la décision 167
Chapitre IV Conclusion générale et perspectives 177
Références bibliographiques 182
Annexes 207
Annexe 1 208
Annexe 2 210
Annexe 3 215

Liste des figures

Figure 1 : Evolution des anomalies de température moyenne annuelle de surface terrestre à l'échelle mondiale par rapport à la moyenne du 20ème siècle sur la période 1880 à 2020 (Source : Centres nationaux d'information environnementale de la NOAA) 12
Figure 2 : Moyennes décennales de la température globale de l'air à une hauteur de deux mètres, changement estimé depuis la période préindustrielle selon différents ensembles de données : (C3S / ECMWF)..... 13
Figure 3 : Evolution des anomalies de température moyenne annuelle de surface terrestre à l'échelle européenne par rapport à la moyenne du 20ème siècle sur la période 1910 à 2020 (Source : Centres nationaux d'information environnementale de la NOAA)..... 14
Figure 4 : Evolution des anomalies de température moyenne annuelle de surface terrestre en France métropolitaine par rapport à la référence 1961-1990 sur la période 1900 à 2020 (Source : Météo France) 15
Figure 5 : Evolution des anomalies de température moyenne annuelle de surface terrestre à Bastia par rapport à la référence 1961-1990 sur la période 1900 à 2020 (Source : Météo France) 16
Figure 6 : Evolution des anomalies de température moyenne annuelle de surface terrestre à Aiacciu par rapport à la référence 1961-1990 sur la période 1900 à 2020 (Source : Météo France)..... 16
Figure 7 : Evapotranspiration (en mm) à Aiacciu et Bastia entre 1970 et 2016 (*in* MORI *et al*., 2017)..... 19
Figure 8 : Découpage des six zones biogéographiques pour les faunes de poissons (*in* BERRA. T-M., 2001) 22
Figure 9 : Biocénotypes de Verneaux (*in* VERNAUX, 1973)..... 30
Figure 10 : Mise en correspondance des zonations écologiques et typologiques des cours d'eau (*in* ONEMA, 2010) 31
Figure 11 : Organisation du réseau hydrographique en tête de bassin (d'après Benda *et al*., 2005) 32
Figure 12 : Zonation piscicole des cours d'eau de Corse et principales espèces de poissons (*in* ROCHE, 1987)..... 35
Figure 13 : Morphologie d'une truite de Corse, ici prélevée dans la Calderamolla (source : FCPPMA, 2007)..... 38

Figure 14 : Différents phénotypes de truite de Corse observés dans plusieurs rivières : 1. Manica – 2. Sant'Antone – 3. Ese – 4. Chjuvone (Crédit photo : FCPPMA) 39
Figure 15 : Aquarium permettant d'étudier le phénotype des truites en une seule prise de vue (*in* ECOGEA, 2011) 39
Figure 16 : La Corse dans le bassin méditerranéen (*in* ORSINI, 2007) 41
Figure 17 : Carte géologique simplifiée de la Corse (*in* MAGOTT, 2016) 43
Figure 18 : Diagrammes ombrothermiques de Calvi et Evisa (*in* ORSINI, 2008) 50
Figure 19 : Carte du réseau hydrographique de Corse (*in* Atlas des paysages de la Corse) 51
Figure 20 : Carte des différentes retenues d'eau de Corse (modifiée d'après https://www.oehc.corsica) 61
Figure 21 : Cartographie de la répartition des différents étages de végétation de la Corse (*in* GAMISANS, 1991) 66
Figure 22 : Diagramme de la chaîne SIM (*in* HABETS *et al*., 2008) 72
Figure 23 : Diagramme de fonctionnement de SAFRAN (adapté de QUINTANA-SEGUI, 2008) 74
Figure 24 : Regroupement des stations SAFRAN selon une classification spatiale et altitudinale 78
Figure 25 : Présentation synthétique des cours d'eau de Corse (*in* ORSINI, 2008) 81
Figure 26 : Localisation des stations inventoriées 93
Figure 27 : Evolution du nombre de jours frais entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020 102
Figure 28 : Evolution du nombre de jours avec gel entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020 103
Figure 29 : Evolution du nombre de jours très froid entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020 103
Figure 30 : Evolution du nombre de jours de pluie entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020 104
Figure 31 : Evolution du nombre de jours très chauds entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020 105
Figure 32 : Taux de variation du nombre de jours très chauds entre les deux périodes 106
Figure 33 : Evolution du nombre de jours chauds entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020 106
Figure 34 : Taux de variation du nombre de jours chauds entre les deux périodes 107
Figure 35 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques des zones des extrémités de l'île entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020 109

Figure 36 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques de la zone Ouest de 0 à 100 m 110
Figure 37 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques de la zone Ouest de 101 à 600 m 111
Figure 38 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques de la zone Ouest de 601 à 1 400 m 112
Figure 39 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques de la zone Est de 0 à 100 m 113
Figure 40 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques de la zone Est de 101 à 600 m 114
Figure 41 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques de la zone Est de 601 à 1 400 m 115
Figure 42 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques de la zone centrale supérieure à 1 400 m 116
Figure 43 : Evolution temporelle des aires ombrothermiques des zones des extrémités de l'île entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020 119
Figure 44 : Evolutions altitudinales et temporelles des aires ombrothermiques de la zone Ouest de la Corse entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020 120
Figure 45 : Evolutions altitudinales et temporelles des aires ombrothermiques de la zone Est de la Corse entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020 121
Figure 46 : Evolution temporelle des aires ombrothermiques de la zone centrale supérieure à 1 400 m 122
Figure 47 : Variation spatio-temporelle des aires ombrothermiques de la zone Ouest 124
Figure 48 : Variation spatio-temporelle des aires ombrothermiques de la zone Est 124
Figure 49 : Evolution des taux de variation des aires ombrothermiques des zones Ouest et Est 125
Figure 50 : Evolution des box plots des températures moyennes journalières selon un gradient altitudinal pour la période 1960-1984 126
Figure 51 : Evolution des box plots des températures moyennes journalières selon un gradient altitudinal pour la période 1985-2020 127
Figure 52 : Evolution des box plots des températures moyennes journalières pour chaque altitude entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020 128
Figure 53 : Evolution des écarts des amplitudes thermiques de chaque zone altitudinale observés entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020 130

Figure 54 : Polygone des fréquences cumulées croissantes de *S.trutta* de la RTP de Sant'Antone 154
Figure 55 : Polygone des fréquences cumulées croissantes de *S.trutta* de la RTP d'Ese..... 155
Figure 56 : Polygone des fréquences cumulées croissantes de *S.trutta* de la RTP du Veraculongu 156
Figure 57 : Polygone des fréquences cumulées croissantes de *S.trutta* de la RTP des Pozzi de Marmanu 157
Figure 58 : Polygone des fréquences cumulées croissantes de *S.trutta* de la RTP du Chjuvone 158
Figure 59 : Evolution de la taille *de S. trutta* en fonction de l'âge pour des cours d'eau de groupes typologiques différents 161
Figure 60 : Polygone des fréquences cumulées croissante pour la période 1996-2001 163
Figure 61 : Polygone des fréquences cumulées croissante pour la période 2002-2007 163
Figure 62 : Polygone des fréquences cumulées croissante pour la période 2007-2013 164
Figure 63 : Evolution temporelle des tailles moyennes de *S. trutta* 164
Figure 64 : Projection des individus et des variables sur le plan F1-F2 pour le groupe 2 168
Figure 65 : Evolution de la densité de truite *(S.trutta*) en fonction de l'altitude 170
Figure 66 : Evolution de la biomasse de truite *(S.trutta*) en fonction de l'altitude..... 170
Figure 67 : Projection des individus et des variables sur le plan F1-F2..... 171
Figure 68 : Evolution de la densité de truite *(S.trutta*) en fonction de l'altitude 172
Figure 69 : Evolution de la biomasse de truite *(S.trutta*) en fonction de l'altitude..... 173
Figure 70 : Evolution de la densité d'anguille (*A. anguilla*) en fonction de l'altitude..... 173
Figure 71 : Cas de modélisation impossible pour les anguilles (*A. anguilla*) du groupe 5.... 175

Liste des tableaux

Tableau I : Exemples de zonations, selon un gradient amont /aval (liste non exhaustive) (complété d'après WASSON (1989) et MALAVOI & BRAVARD (2010)). 26
Tableau II : Régimes pluviométriques en Corse (modifié d'après Bruno *et al*., 2001) 45
Tableau III : Régimes thermiques en Corse (modifié d'après Bruno *et al*., 2001) 46
Tableau IV : Durée d'insolation en Corse pour 2020 (source : Météo-France) 47
Tableau V : Liste non exhaustive des cours d'eau de Corse (modifié d'après https://www.sandre.eaufrance.fr/ et http://hydro.eaufrance.fr/) 51
Tableau VI : Liste des principaux lacs d'altitude classés par surface décroissante (modifié d'après GAUTHIER *et al.*, 1984) 59
Tableau VII : Classification française des barrages (*in* ORSINI, 2020) 60
Tableau VIII : Caractéristiques des stations étudiées nécessaires au traitement statistique 94
Tableau IX : Evolution des cumuls annuels moyen de précipitations journalières pour les deux périodes 98
Tableau X : Evolution des écarts et des taux de variation des cumuls moyens annuels de précipitation entre les deux périodes 99
Tableau XI : Le régime thermique de la Corse pour les deux périodes 100
Tableau XII : Ecarts observés et taux de variation entre les moyennes des températures moyennes, minimales et maximales pour les deux périodes 101
Tableau XIII : Evolution spatio-temporelle des aires ombrothermiques de chaque zone 123
Tableau XIV : Valeurs minimales et maximales des températures moyennes journalières de chaque zone altitudinale pour les deux périodes et écarts associés 129
Tableau XV : Amplitudes thermiques (°C) de chaque zone altitudinale pour les périodes 1960-1984 et 1985-2020 129
Tableau XVI : Essai de nouvelle typologie des cours d'eau de Corse 132
Tableau XVII : Inventaire des espèces de poissons présentes en Corse 137
Tableau XVIII : Liste des espèces introduites présentes dans les plans d'eau de Corse 140
Tableau XIX : Liste des poissons autochtones présents dans les cours d'eau de Corse 141
Tableau XX : Liste des poissons introduits présents dans les cours d'eau de Corse 141
Tableau XXI : Comparaison des classes d'âge obtenues par les deux méthodes citées pour Sant'Antone 155

Tableau XXII : Comparaison des classes d'âge obtenues par les deux méthodes citées pour l'Ese 156
Tableau XXIII : Comparaison des classes d'âge obtenues par les deux méthodes citées pour le Veraculongu 157
Tableau XXIV : Comparaison des classes d'âge obtenues par les deux méthodes citées pour les Pozzi de Marmanu 158
Tableau XXV : Comparaison des classes d'âge obtenues par les deux méthodes citées pour le Chjuvone 159
Tableau XXVI : Comparaison entre les limites de taille inférieures et supérieures chez *S.trutta* entre les deux stations 160
Tableau XXVII : Tailles moyennes en mm de *S. trutta* de chaque classe d'âge 164
Tableau XXVIII : Les différents groupes typologiques et les cours d'eau associés 167
Tableau XXIX : Correspondance entre les groupes typologiques proposés et les groupes typologiques proposés par ORSINI (2008) 168
Tableau XXX : Matrice des corrélations de Pearson pour le groupe 2 169
Tableau XXXI : Matrice des corrélations de Pearson pour le groupe 3 172
Tableau XXXII : Feuille de calcul de l'outil d'aide à la décision montrant l'ensemble des corrélations utilisées et les coefficients associés 174

Chapitre I Introduction générale

1.1. Problématique

Selon le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), le climat désigne généralement les conditions moyennes observées dans un endroit donné souvent nommé « le temps moyen ». En d'autres termes, le climat désigne l'ensemble des facteurs météorologiques (variables de surface comme la température, les précipitations et le vent) qui caractérisent un endroit donné, pendant une période donnée. Cette présentation synthétique du comportement de l'atmosphère au-dessus d'une région choisie s'appuie sur des statistiques à long terme (30 ans au minimum) selon la définition donnée par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM).

La circulation atmosphérique, la circulation océanique, le relief et l'énergie solaire reçue par la surface terrestre sont autant de paramètres qui influencent le climat. Cette énergie solaire entraîne une circulation atmosphérique sur l'ensemble du globe qui permet de distinguer différents types de climats allant des plus chauds qualifiés de subtropicaux aux plus froids des cercles polaires. Une série de nuances s'intercale entre ces deux extrêmes, influencées principalement par la position des latitudes. Il est donc commun de parler de (i) climat subtropical sec dans la Vallée de la Mort en Californie, (ii) de climat subtropical humide à Tokyo, Hong Kong ou Sidney, (iii) de climat méditerranéen : Barcelone, Ajaccio ou Athènes, (iv) de climat tempéré océanique à Cologne, Londres ou Paris, (v) de climat tempéré continental autour de New York, Montréal ou bien Shanghai, (vi) de climat subarctique à Moscou (vii) ainsi que de climat polaire au Groenland ou en Antarctique [1].

Cette hiérarchisation climatique selon des parallèles bien établies est amenée à évoluer car l'existence d'un dérèglement climatique n'est plus une fabulation de quelques alarmistes mais bel et bien un fait reconnu par de nombreux scientifiques à travers le monde.

En écologie, la température est un des facteurs les plus importants. Elle a une influence directe ou indirecte sur de nombreux paramètres physiques, chimiques ou biologiques (STEVENS & GREEN, 1978 ; EATON *et al*., 1995). Pour les milieux aquatiques, son rôle est prépondérant dans la répartition, la structure et la diversité des peuplements associés (GRENOUILLET *et al*., 2001 ; EBERSOLE *et al*., 2003 ; DAUFRESNE & BOET, 2007).

L'analyse des réponses de ces peuplements aux perturbations affectant le fonctionnement des cours d'eau est fondamentale (VERNEAUX, 1976). Evaluer la gravité d'un impact implique nécessairement une approche écosystémique, reliant les modifications des composantes abiotiques à leurs conséquences sur les composantes biotiques.

L'objectif de ces recherches consiste à appréhender la vulnérabilité de différentes zones à l'échelle de la Corse, région au centre d'une zone méditerranéenne fortement impactée par le changement climatique. La diminution des précipitations moyennes et l'augmentation importante des températures, en particulier en été conduiront, à une diminution des ressources en eau et à une augmentation de la sévérité des sécheresses et des canicules.

Ces travaux de recherche consistent à étudier les conséquences du changement climatique sur les ressources en eau et le peuplement piscicole des cours d'eau de Corse.

La première partie de ce mémoire fait un bilan des connaissances sur les conséquences du changement climatique à l'échelle mondiale, européenne, nationale et régionale. Les conséquences observées par plusieurs auteurs sont explicitées pour ces différentes échelles. Une synthèse bibliographique sur la faune piscicole des écosystèmes d'eau douce est réalisée. Les enjeux liés à l'étude du peuplement piscicole sont abordés. Cette partie présente les principales grandes zonations des cours d'eau et explique la nécessaire prise en compte des facteurs environnementaux locaux pour y développer des zonations précises.

Dans un deuxième chapitre, nous présentons la Corse dans son ensemble pour appréhender au mieux les différents compartiments qui influent sur le fonctionnement des milieux aquatiques. Les typologies des cours d'eau de Corse sont explicitées. Une présentation des stations prises en compte dans notre étude est effectuée. Le matériel et les méthodes employés pour mener à bien nos travaux sont ensuite exposés.

Les résultats obtenus sont traités et discutés au sein d'une troisième partie nous permettant de présenter une synthèse climatique à l'échelle régionale en s'attardant sur l'évolution de la température et des précipitations locales. Une nouvelle typologie des cours d'eau de Corse est proposée, ainsi que la présentation d'un outil d'aide à la gestion des ressources piscicoles se basant sur l'ensemble des données disponibles au niveau régional.

1.2. Le changement climatique : bilan des connaissances et tendances futures

Depuis des décennies, nombreuses sont les organisations qui étudient les anomalies moyennes de température de surface à l'échelle mondiale. L'OMM a compilé plusieurs données provenant de différentes sources internationales[1]

Augmentation de la température :

L'un des signaux les plus évidents du changement climatique est l'augmentation de la température moyenne mondiale au cours des dernières décennies. Les 5 dernières décennies sont le témoin d'une augmentation de ces anomalies moyennes de 0,4 °C par rapport à la moyenne du 20ème siècle.

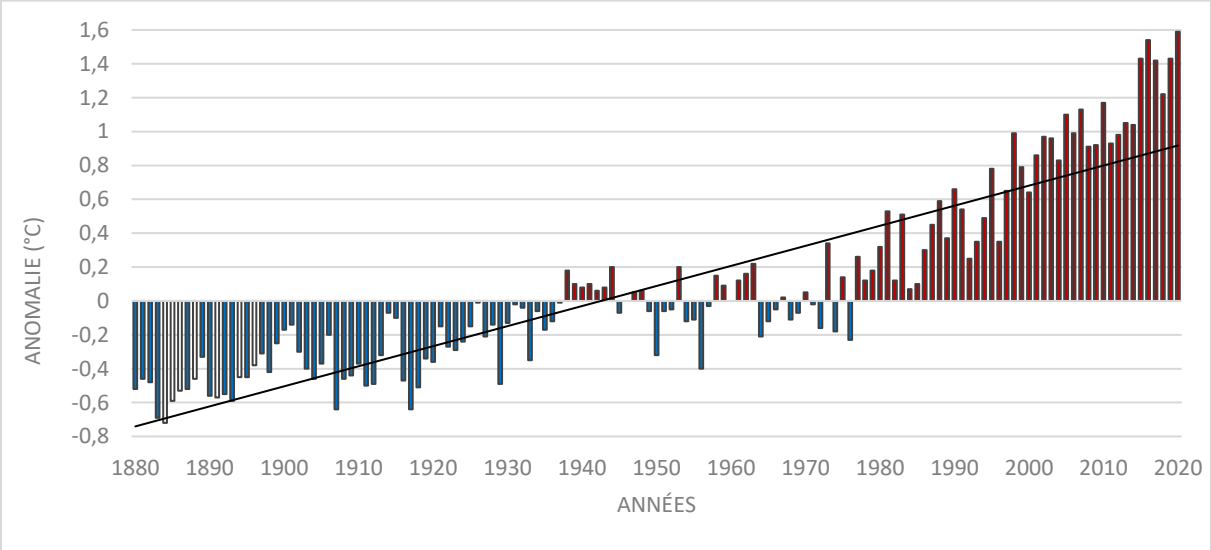


Figure 1 : Evolution des anomalies de température moyenne annuelle de surface terrestre à l'échelle mondiale par rapport à la moyenne du 20ème siècle sur la période 1880 à 2020 (Source : Centres nationaux d'information environnementale de la NOAA)

L'analyse des différentes données compilées par le C3S [2], relatives aux températures de l'air à la surface du globe, montre que :

- À l'échelle mondiale, les valeurs pour l'année 2020 ont égalé le record de 2016,

1 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), NASA Goddard Institute for Space Studies (NASA GISS), Met Office and University of East Anglia (Met Office/UEA), Copernicus Climate Change Service (C3S) et Japan Meteorological Agency (JMA).

- 2020 était 0,6 °C plus chaud que la période de référence standard 1981- 2010 et environ 1,25 °C au-dessus de la période préindustrielle 1850-1900,
- Cela fait des six dernières années les six plus chaudes jamais enregistrées.

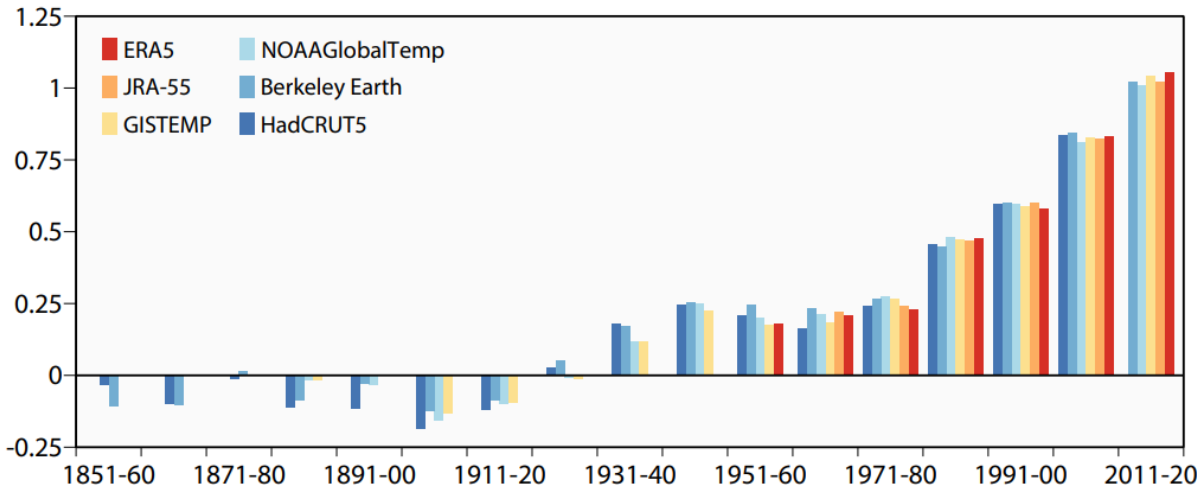


Figure 2 : Moyennes décennales de la température globale de l'air à une hauteur de deux mètres, changement estimé depuis la période préindustrielle selon différents ensembles de données [2]: (C3S / ECMWF)

Certaines zones de l'Arctique et du nord de la Sibérie ont connu en 2020 les plus grands écarts de température annuelle par rapport à la moyenne de 1981-2010. Une grande région enregistrant des écarts allant jusqu'à 3 °C et dans certains endroits même supérieurs à 6 °C

Cette augmentation de la température moyenne mondiale est à corréler avec la brutale élévation de la concentration de gaz à effet de serre (GES). Les études ont montré que la concentration reste assez stable (autour des 280 ppm) sur les derniers 10 000 ans pour initier une augmentation à partir des années 1750 et ensuite observer une brusque élévation autour de 1960 jusqu'à une concentration de 395 ppm (GIEC, 2007). Les activités humaines en sont à l'origine. Le transport et l'industrie sont les principales activités à l'origine de ces rejets, mais les différentes activités agricoles intensives (déboisement, libération de protoxyde d'azote à travers l'utilisation d'engrais azotés, méthane provenant des ruminants) y contribuent également de manière significative.

Cette élévation de la concentration en GES a pour conséquence une modification du bilan radiatif de l'atmosphère accompagnée, selon les lois de la physique, d'une augmentation

[2] ERA5 (ECMWF / C3S) ; GISTEMPv4 (NASA) ; HadCRUT5 (Met Office Hadley Center) ; NOAAGlobalTempv5 (NOAA) ; JRA-55 (JMA) et Berkeley Earth.

de la température atmosphérique et d'une modification du taux d'évaporation, de l'humidité atmosphérique et des processus de condensation.

En collaboration avec le Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS), le C3S expose également les résultats des mesures par satellite des concentrations atmosphériques mondiales de CO_2. Ces dernières ont continué d'augmenter d'environ 2,3 ± 0,4 ppm/an depuis 2010, pour atteindre un maximum de 413 ppm en mai 2020 (BUCHWITZ *et al*., 2019)

Le constat est tout aussi affligeant en Europe, qui connait son année la plus chaude jamais enregistrée en 2020 avec 1,6 °C au-dessus de la période de référence 1981-2010 et 0,4 °C au-dessus de 2019 qui était alors l'année la plus chaude précédente.

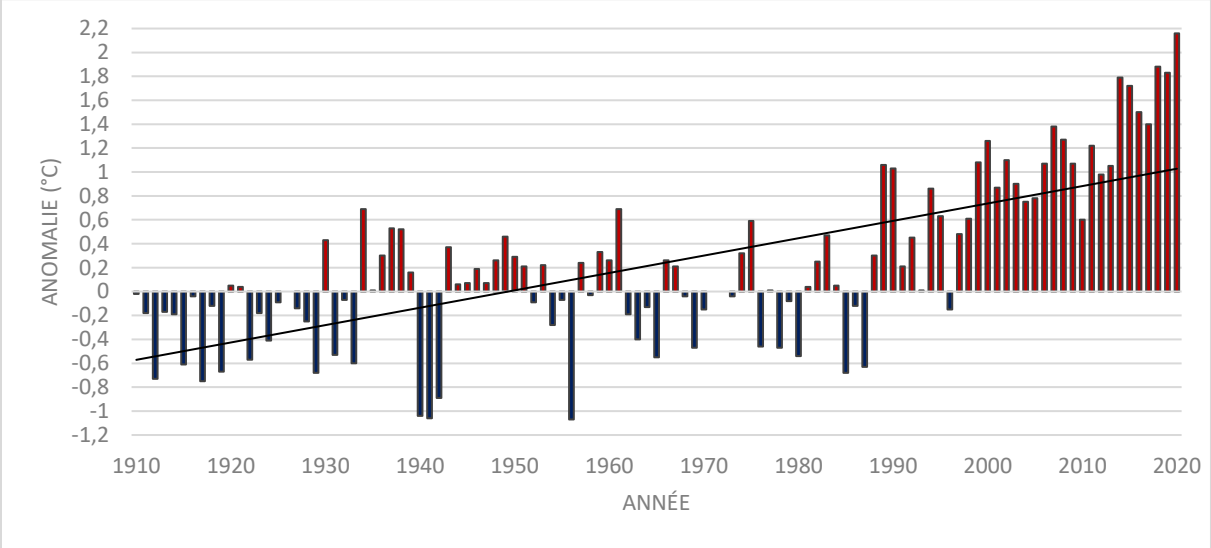


Figure 3 : Evolution des anomalies de température moyenne annuelle de surface terrestre à l'échelle européenne par rapport à la moyenne du 20ème siècle sur la période 1910 à 2020 (Source : Centres nationaux d'information environnementale de la NOAA)

A l'échelle européenne, une synthèse des études montre une tendance à l'intensification des phénomènes extrêmes (MADSEN *et al*., 2014 ; JACOB *et al*., 2014 ; LANG *et al*., 2014 ; OUZEAU *et al*., 2014).

La région méditerranée a été référencée comme l'une des régions les plus réactives au changement climatique et a été définie comme un « hot-spot » principal par GIORGI (2006), sur la base des résultats des scénarios de projection du changement climatique mondial.

La température de l'air dans le bassin méditerranéen avait déjà augmenté de 1,5 °C à 4 °C selon la sous-région au cours du 20ème siècle. La mer Méditerranée représente une source importante d'énergie et d'humidité pour l'atmosphère. Les anomalies de température de surface

de la mer sont responsables, du moins en partie, des anomalies de température de l'air et des précipitations dans les zones terrestres des régions avoisinantes (PNUE/PAM, 2016).

En France, selon le bilan réalisé par AUBE (2016), à l'échelle nationale, au cours du XX^{ème} siècle, la tendance moyenne de l'augmentation des températures est de 0,1 °C par décennie. L'analyse d'un nouveau jeu de données homogénéisé sur la période 1959-2009 montre une accélération du phénomène à la fin du XX^{ème} siècle avec un réchauffement moyen sur la période de 0,3 °C par décennie (Figure 4). Cette tendance est principalement expliquée par une augmentation des températures printanières et estivales et une accélération du réchauffement depuis les années 70 (GIBELIN *et al.*, 2014). Les différents scénarios climatiques réalisés sur la France s'accordent sur une augmentation généralisée des températures (PEINGS *et al.*, 2011 ; OUZEAU *et al.*, 2014).

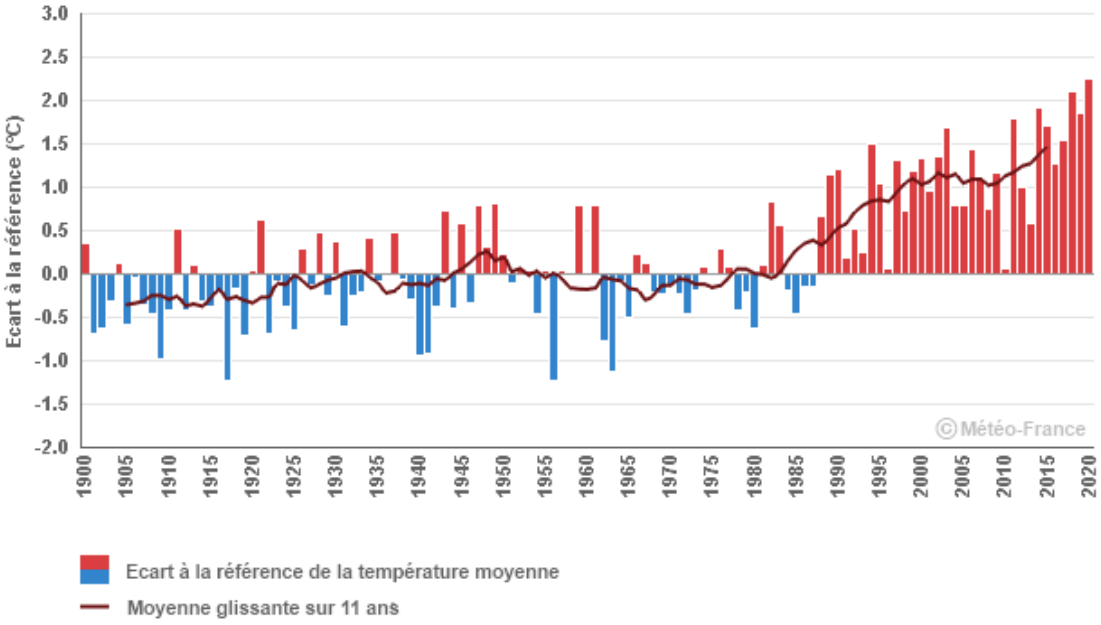


Figure 4 : Evolution des anomalies de température moyenne annuelle de surface terrestre en France métropolitaine par rapport à la référence 1961-1990 sur la période 1900 à 2020 (Source : Météo France)

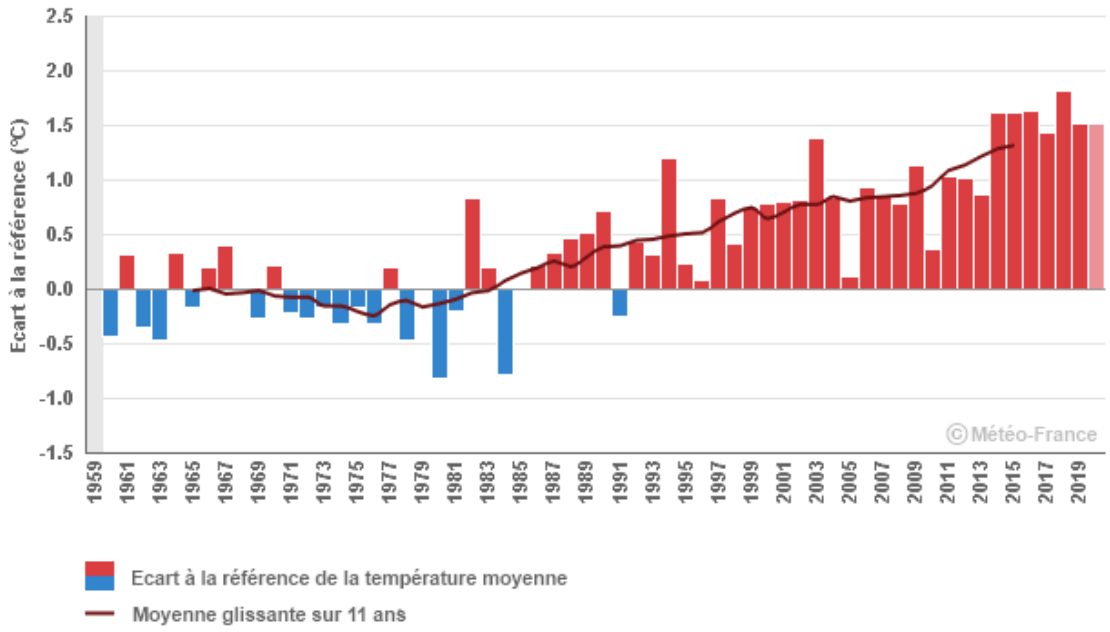


Figure 5 : Evolution des anomalies de température moyenne annuelle de surface terrestre à Bastia par rapport à la référence 1961-1990 sur la période 1900 à 2020 (Source : Météo France)

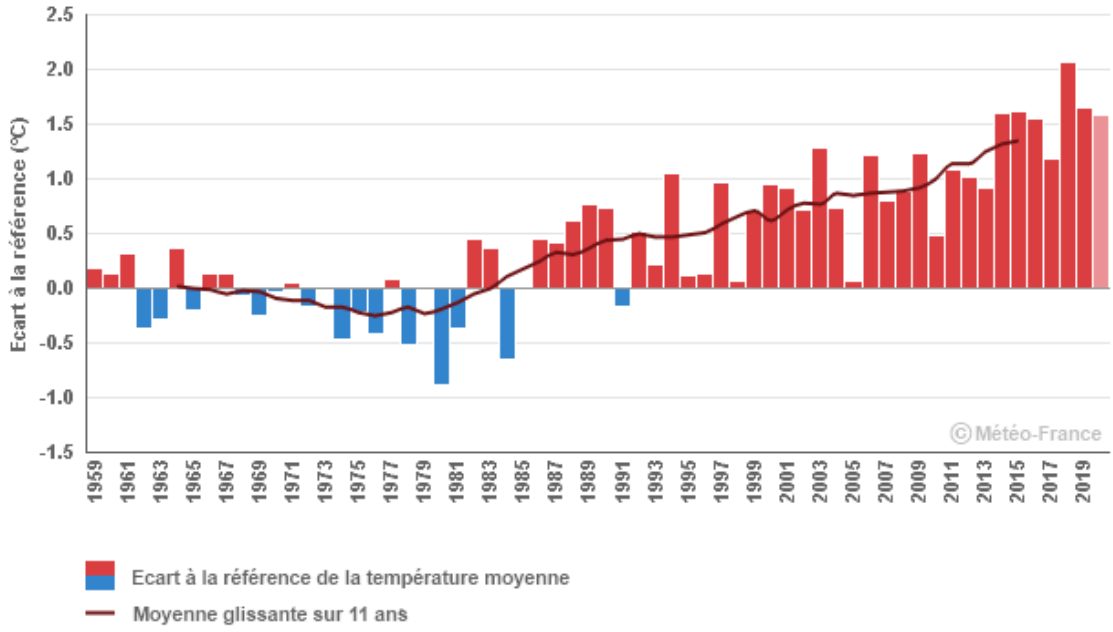


Figure 6 : Evolution des anomalies de température moyenne annuelle de surface terrestre à Aiacciu par rapport à la référence 1961-1990 sur la période 1900 à 2020 (Source : Météo France)

En Corse (Figure 5 et 6), l'évolution annoncée par les approches modélisées est semblable à ce qui est annoncé par OUZEAU *et al.*, (2014) à l'échelle française, avec une augmentation de 1 à 1,5 °C de la température moyenne annuelle à un horizon proche (2021-2050) et de 1,5 à 2,5 °C à un horizon lointain (2071-2100).

Selon le bilan de PELTE (2017), l'augmentation des températures depuis 1950 est confirmée par Météo France (Météo France / ClimatHD) qui observe sur la période 1959-2009, une tendance des températures moyennes annuelles proche de +0,2 °C par décennie. Les figures ci-dessus révèlent que les quatre années les plus chaudes depuis 1959 en Corse ont été observées au XXIème siècle et sont fortement rapprochées à savoir 2015, 2016, 2018 et 2019.

Une hydrologie perturbée :

Depuis la synthèse de FABRE (2012), deux travaux à échelle nationale ont projeté l'impact du changement climatique sur l'hydrologie : EXPLORE 2070, projet porté par le ministère de l'environnement et DAYON (2015) dans ses travaux de thèse.

Les projections d'évolution des débits au droit de 1 522 points sur le réseau hydrographique national montrent de façon générale : (i) une diminution significative globale des débits moyens annuels à l'échelle du territoire de -10 à -40% ; (ii) une diminution prononcée des débits d'étiages pour une majorité des cours d'eau ; (iii) une évolution hétérogène et globalement moins marquée des crues.

De nombreux auteurs ont mis en évidence un avancement du pic du débit printanier (ZAMPIERI *et al*., 2015 ; RAHMAN *et al*., 2015). D'autres études projettent également une avancée et une diminution du pic de crue printanière sous l'effet du changement climatique (SCHNEIDER *et al*., 2013 ; VAN VLIET *et al*., 2013).

A l'échelle de la France, MAGAND (2014) fait état d'une diminution significative des débits moyens et d'une augmentation de la sévérité et de la durée des étiages au cours du XXI^{ème} siècle.

En Corse, MORI *et al*. (2017) et ORSINI *et al*. (2017) ont constaté un allongement de la période d'étiage qui commence plus tôt (en juin) et se prolonge jusqu'au mois d'octobre pour certains cours d'eau, un fort abaissement des débits d'étiage, illustré par une baisse de 16 % en moyenne sur huit stations de suivis hydrologiques disposant de 40 ans de données (Barchetta, Bivincu, Vecchiu, Fium'altu, Liamone, Taravu, Rizzanese, avant la mise en service du barrage et Fangu) ainsi qu'une diminution significative des modules, illustrée par une baisse de 6 % en moyenne sur ces huit cours d'eau.

DAYON, 2015 explique que les changements seront plus marqués durant la période estivale, avec une diminution générale des débits sur tout le territoire national. Sur le bassin de

Corse, la diminution des débits moyens correspond à la tendance nationale de l'ordre de 10 à 40 %. Une analyse plus fine des résultats proposée par PELTE, 2017 fait ressortir que les diminutions de débits seraient plus marquées en période printanière et automnale, la période estivale présentant déjà des débits très faibles. La conséquence en serait une extension de la période de basses eaux qui démarrerait plus tôt et finirait plus tard. Une sévérité accrue de cette période est fortement suspectée. Nous nous attarderons par la suite sur cette problématique d'évolution de période (biologiquement) sèche en Corse. Il semblerait que l'augmentation de l'évapotranspiration soit la cause principale de cette tendance. La diminution des débits étant plus corrélée à l'augmentation des températures qu'à la diminution des précipitations.

En Méditerranée, les cours d'eau deviendraient plus intermittents avec une augmentation des assecs à l'horizon 2050, principalement induite par une diminution des précipitations de 23 % (SCHNEIDER *et al*., 2013).

D'après VAUTARD *et al*. (2015), la région méditerranéenne ressort comme une zone plus marquée par l'intensification des variations de précipitations.

En Corse, la variabilité saisonnière marquée des précipitations se traduit sur l'hydrologie ; en effet, la Corse comporte des spécificités, notamment avec des débits hivernaux exceptionnellement élevés et des débits d'étiage particulièrement faibles. Les formes des précipitations changent avec plus d'eau sous forme liquide et moins de stockage dans les têtes de bassins sous forme solide (MORI *et al*., 2017 ; ORSINI *et al*., 2017).

L'analyse des projections du CMIP5[3] sur la France réalisée par TERRAY & BOE (2013) montre une tendance marquée à la diminution des précipitations estivales. En hiver, les projections montrent une tendance à une augmentation progressive des précipitations au cours du XXI^{ème} siècle. En Corse, Météo France constate sur son site ClimatHD une grande variabilité des précipitations d'une année à l'autre. Une tendance à une diminution faible des précipitations annuelles peut néanmoins être observée sur la période 1959-2009, correspondant à une diminution des cumuls hivernaux. En été, les résultats des projections fournies par DRIAS[4] pour la Corse ne donnent pas d'évolution marquée. Concernant les pluies extrêmes, la Corse peut s'attendre à une légère tendance à l'intensification des précipitations extrêmes sur le territoire. Mais les incertitudes sont fortes du fait de la difficulté de modéliser ces phénomènes

[3] Phase five of the Coupled Model Intercomparison Project.
[4] Service de projections climatiques pour l'adaptation de nos sociétés.

et du manque de tendance marquée par le passé (LANG *et al.*, 2014 ; JACOB *et al.*, 2014 ; OUZEAU *et al.*, 2014).

CASTEBRUNET *et al.* (2014) projettent une modification de la nature des précipitations entraînant une diminution de la part des précipitations neigeuses de 30 à 50 % et une augmentation des précipitations neigeuses humides qui apparaîtraient plus tôt dans la saison.

L'évapotranspiration est une variable clé du cycle hydrologique. Elle conditionne l'humidité des sols, facteur régulant le partage des précipitations entre infiltration et ruissellement, ainsi que la recharge des eaux souterraines (PELTE, 2017). Une tendance à l'augmentation de l'évapotranspiration est mise en évidence. Le GIEC montre des tendances à la diminution de la vitesse moyenne du vent, notamment en Europe, mais la confiance est jugée faible du fait des fortes incertitudes sur les données (GIEC, 2013). Les projections du GIEC montrent une augmentation de l'évaporation de surface quasi généralisée à la surface des océans.

En Corse, MORI *et al.* (2017) ont observé une augmentation des moyennes annuelles de l'évapotranspiration à Aiacciu et à Bastia entre le milieu des années 70 et 2016 (Figure 7). Ils constatent également qu'au niveau de ces deux villes l'évapotranspiration dépasse les précipitations, en moyennes annuelles, alimentant la tendance à l'assèchement.

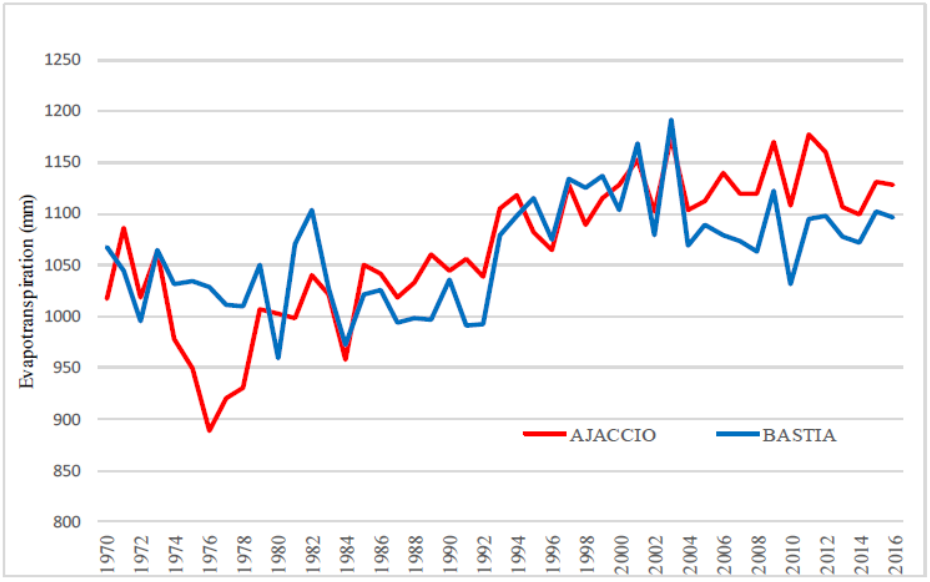


Figure 7 : Evapotranspiration (en mm) à Aiacciu et Bastia entre 1970 et 2016 (*in* MORI *et al.*, 2017)

De nombreuses projections confirment la tendance dégagée par SOUBEYROUX *et al.* (2015) en montrant une tendance à l'augmentation au cours du XXI^{ème} siècle de toutes les

caractéristiques des sécheresses (intensité, durée, fréquence, sévérité) quel que soit le scénario climatique. En Corse, le site ClimatHD de MétéoFrance ne montre pas d'évolution nette dans la fréquence des sécheresses mais précise néanmoins que la sécheresse peut, soit se prolonger vers les saisons automnales voire hivernales, soit être précoce dès les saisons printanières.

Ces modifications ont des conséquences sur la température de l'eau des cours d'eau, impactant également les usages anthropiques (HANNAH & GARNER, 2015). L'un des impacts attendus du changement climatique sur la qualité de l'eau est le risque d'eutrophisation via l'augmentation de la température et la diminution des débits (ROMERO *et al*., 2013 ; MOLINA-NAVARRO *et al*., 2014).

Même si aujourd'hui la compréhension du phénomène et ses conséquences sont acquises, ces dernières restent néanmoins difficiles à quantifier pour tous les compartiments (ORSINI, 2020). Les coûts associés à la mauvaise gestion des ressources en eau peuvent être conséquents. Un captage excessif réduit le débit des rivières et le niveau des eaux souterraines et entraîne l'assèchement des zones humides. Il est estimé que le changement climatique va causer une augmentation des pénuries d'eau dans la région méditerranée (AEE, 2012). Toutes ces tendances ont un impact négatif sur les écosystèmes d'eau douce (AEE, 2015). Face à la raréfaction de la ressource en eau, la nécessité de concilier tous les usages tout en préservant la qualité de la ressource est fondamental, objectif essentiel de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau et les prescriptions de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006.

1.3. Les poissons d'eau douce : état de l'art

Les milieux aquatiques abritent une véritable richesse écologique, constituent un patrimoine culturel unique et une ressource économique importante pour la société (BAPTIST *et al*., 2014).

Les organismes inféodés aux milieux aquatiques d'eau douce sont parmi les plus en péril à l'échelle planétaire (JENKINS & BOULTON, 2003) alors qu'ils représentent environ 40% de la diversité des eucaryotes (STRAYER & DUDGEON, 2010).

Bien que le nombre précis d'espèces de poissons reste à déterminer, il existe actuellement près de 32 500 espèces décrites dans le monde (FROESE & PAULI, 2013 ; https://www.fishbase.fr/search.php), ce qui représente plus de la moitié des espèces de vertébrés connus. Les poissons d'eau douce constituent près de la moitié des espèces de poissons (entre

40 et 43% selon ESCHMEYER (2005) et NELSON (2006), près de la moitié pour LEVEQUE *et al*., 2008 ; FROESE & PAULI, 2013).

Environ 16 000 espèces de poissons colonisent les milieux dulçaquicoles qui ne couvrent que 1% de la surface de la Terre (HERMOSO *et al*., 2011 ; HILTON-TAYLOR *et al.,* 2009). Selon l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN, 2014), 25% de ces espèces évaluées sont considérées comme menacées d'extinction.

À l'heure actuelle, la pêche représente le premier pôle d'exploitation des ressources vivantes dans le monde, avec 150 millions de tonnes de poissons pêchés en 2010 (FAO, 2012), en particulier dans les pays en développement (FAO 2007).

Les poissons d'eau douce représentent plus de 40% des apports protéiques dans plusieurs grands pays d'Asie du Sud (BRIONES, 2006 ; FAO, 2012). En plus d'être une ressource alimentaire indispensable aux populations les plus pauvres, les poissons d'eau douce sont également sous pression commerciale importante. L'aquariophilie génère entre 10 et 20 milliards d'euros de chiffre d'affaire pour 350 millions de poissons vendus chaque année (SALES & JANSSENS, 2003 ; HELFMAN, 2007). De même, on estime que la pêche récréative compte pour 4% environ des prises de poissons dans le monde, pour une valeur de 100 milliards d'euros par an (HELFMAN, 2007).

À l'échelle globale, la diversité taxonomique des poissons d'eau douce est très inégalement répartie (OBERDORFF *et al*., 1997 ; ZHAO *et al*., 2006 ; HABIT *et al*., 2012). Six zones biogéographiques ont été identifiées sur la base de leur ressemblance en termes de composition spécifique. Chaque zone abrite une faune distincte (LEVEQUE *et al*., 2008) qui résulte de leur isolement au cours de l'histoire géologique de la Terre. La séparation des zones biogéographiques par des océans, par des montagnes ou par des déserts a eu pour conséquences d'isoler la faune piscicole d'eau douce qui a connu une évolution distincte au cours du temps, conduisant à la diversité taxonomique observée aujourd'hui (LEVEQUE *et al*., 2008).

La grande majorité des espèces de poissons d'eau douce vit dans les zones tropicales et subtropicales (Néotropicale, Afrotropicale et Orientale). La zone Néotropicale (qui regroupe l'Amérique centrale et l'Amérique du Sud) possède la plus grande richesse en espèces (4 035 selon LEVEQUE *et al*., 2008), soit plus d'1/3 des espèces de poissons d'eau douce connues (NELSON, 2006). La zone Afrotropicale (Afrique sub-saharienne et Madagascar) et la zone Orientale (Asie du Sud et du Sud-Est) abritent également une forte diversité taxonomique (2 938 et 2 345 espèces, respectivement). Les zones tempérées ont au contraire une diversité

taxonomique faible (1 844 espèces en zone Paléarctique et 1 411 en zone Néarctique). Enfin la zone Australasienne abrite une très faible diversité (261 espèces). Les frontières de chaque zone sont indiquées dans la Figure 8 en traits gras, telles que définies par LEVEQUE *et al*. 2008 et BALIAN *et al.* 2008.

La plupart des clades de poissons (ordres ou familles) n'existent que dans une ou deux zones biogéographiques. Les Characiformes, par exemple, regroupent des espèces tropicales uniquement présentes dans les zones Néotropicale et Afrotropicale. À l'inverse les Salmonidés, regroupent des espèces d'eau froide, adaptées aux climats tempérés des zones Paléarctique et Néarctique. Seuls quelques groupes très diversifiés ont une distribution plus large, comme les Siluriformes (poisson-chats), les Perciformes présents dans les six zones biogéographiques ou les Cypriniformes (absents uniquement en zone Néotropicale). Ces trois ordres de poissons représentent, à eux seul, plus de 50 % des espèces de poissons d'eau douce.

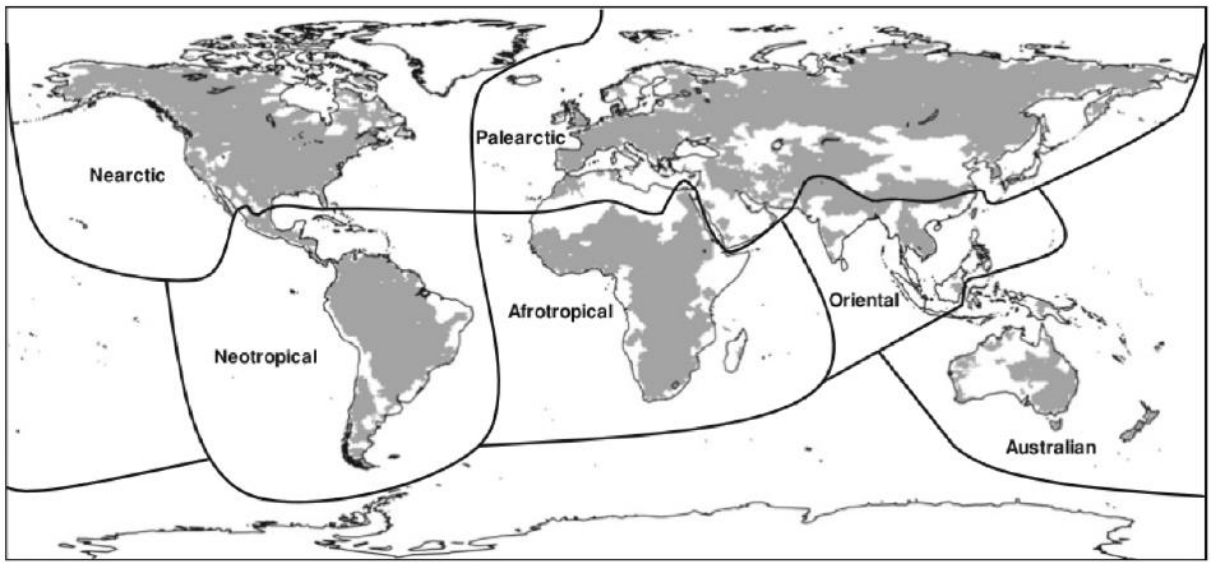


Figure 8 : Découpage des six zones biogéographiques pour les faunes de poissons (*in* BERRA. T-M., 2001)

Au sein de chaque zone biogéographique, la diversité taxonomique est, elle aussi, très inégalement répartie. Certains grands cours d'eau renferment une très forte diversité taxonomique. L'Amazone (le plus grand et le plus riche) abrite plus de 1 800 espèces. Quelques autres grands fleuves dans le monde abritent une forte richesse spécifique, le Congo avec environ 800 espèces, le Mékong et ses 700 espèces environ, le Yangtze environ 350 espèces ou encore le Mississippi avec environ 250 espèces (LEVEQUE *et al*., 2008 ; OBERDORFF *et al.*, 2011).

La dispersion des poissons d'eau douce d'un bassin versant à un autre est un phénomène rare. Les bassins versants sont séparés les uns des autres par des barrières infranchissables aux

espèces comme les montagnes ou les bras de mer et peuvent être considérés comme « des îles dans un océan de continents » (OBERDORFF *et al.*, 2011).

Ainsi la recolonisation post-glaciaire au sein de l'Europe a été plus difficile. Au sein de la zone paléarctique, l'Europe compte seulement entre 250 et 550 espèces de poissons d'eau douce, selon si l'on considère les espèces euryhalines ou non (LEVEQUE *et al*., 2008 ; KOTTELAT & FREYHOF, 2007). La France qui se retrouve à l'extrême Ouest de l'Europe abrite une richesse taxonomique native relativement pauvre par rapport aux zones d'Europe centrale, notamment celles proches du Danube. Certaines absences naturelles d'espèces ne sont donc pas dues à une incompatibilité environnementale mais à une recolonisation incomplète de l'Ouest de l'Europe par ces espèces (KEITH *et al*., 2020). Basé sur cette théorie, le nombre d'espèces présentes au sein d'un bassin versant peut-être appréhendé comme le résultat de conditions environnementales passées et actuelles qui a structuré les assemblages d'espèces (JACKSON *et al*., 2001).

Il est relativement compliqué de tenir à jour un inventaire du peuplement piscicole. En France métropolitaine, 117 espèces ont été recensées. Six d'entre elles ont disparu et huit ont été introduites mais sont probablement disparues, ce qui porte le total à 103 espèces présentes dans les cours d'eau de France. Parmi ces 103 espèces, 25 espèces sont des espèces introduites soit environ une espèce sur quatre. La Région Rhône-Alpes ne compterait qu'environ 50 espèces.

1.3.1. Les poissons, d'excellents bio-indicateurs

Les poissons, organismes emblématiques des cours d'eau et ressource pour nombre d'activités humaines, figurent parmi les espèces potentiellement concernées par le changement climatique. Les différentes communautés piscicoles se retrouvent sous forçage climatique et sont contraintes de subir des changements importants pour continuer à coloniser les niches écologiques qu'elles fréquentent.

La faune ichtyologique est menacée par un large éventail de facteurs, mais les perturbations anthropiques, en particulier les introductions et les transferts d'espèces, la retenue des rivières, la pollution, la dégradation de l'habitat et la surexploitation, semblent être à l'origine du déclin et de l'extinction de nombreuses espèces (ORSINI, 2020).

Bien que des mesures aient été prises pour remédier à certaines situations précaires, les méthodes traditionnelles de gestion de la conservation telles que la réglementation de

l'exploitation, la désignation de réserves naturelles, les programmes d'élevage en captivité pour l'amélioration des stocks, ne semblent pas être aussi efficaces pour les poissons d'eau douce que pour les autres animaux.

Du fait de son positionnement à des niveaux élevés des chaînes trophiques et de sa large répartition dans les cours d'eau, le poisson se révèle être un organisme intégrateur par excellence. C'est un modèle d'intérêt pour évaluer la qualité des milieux aquatiques

Les poissons constituent des modèles biologiques particulièrement intéressants pour évaluer l'amplitude des changements en cours dans les milieux aquatiques (BAPTIST *et al.,* 2014) et les capacités d'adaptation des organismes (acclimatation, migration, disparition…).

Colonisant la quasi-totalité des eaux de surface, ils intègrent aussi bien les différents types de pressions anthropiques que l'ensemble des facteurs caractérisant la qualité des milieux (habitats, hydrodynamique, disponibilité trophique, physico-chimie…).

Ils se révèlent ainsi être d'excellents indicateurs pour l'évaluation de la qualité biologique des milieux aquatiques (DAUFRESNE & BOET, 2007). En effet, ils sont très sensibles à la pollution, mais aussi à la détérioration de la qualité hydro-morphologique et à la présence d'obstacles à la migration. Dans leur travaux, CHOVANEC *et al*. (2003) exposent que la faune piscicole est un indicateur crucial de l'intégrité écologique des systèmes aquatiques à différentes échelles, du micro-habitat au bassin versant, notamment en raison de ses besoins complexes en matière d'habitat. Ainsi, l'état des peuplements piscicoles constitue un des éléments de qualité permettant l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau.

1.4. Les principales zonations longitudinales des cours d'eau

A l'échelle globale :

Il est nécessaire pour réaliser des comparaisons entre différents cours d'eau d'un territoire aussi riche et varié que celui de la Corse de prendre en compte les précédents travaux ayant aboutis à l'élaboration des grandes zonations des cours d'eau à l'échelle globale, (i) la typologie géodynamique fonctionnelle et (ii) les zonations écologiques et typologiques des cours d'eau.

La typologie géodynamique fonctionnelle permet de mettre en lumière la mobilité et la capacité de réajustement morphologique d'un cours d'eau. Nous ne nous attarderons pas sur

cette dernière dans nos travaux. Les zonations écologiques et typologiques des cours d'eau ont pour objectif d'identifier la structure et la nature des peuplements aquatiques.

Historiquement, la typologie des cours d'eau ne tenait compte que d'une classification géographique et de la topographie. On peut distinguer alors :

- Les sources ou crénon, qui sont dans la continuité des eaux souterraines
    - Source vraie (eucrénon), issues de la nappe ou de la fonte des glaciers
    - Émergences karstiques, résurgence d'un cours d'eau

Les sources pourraient faire l'objet d'une typologie tant il existe de particularités :

- Le ruisseau ou hypocrénon (issu de sources), que l'on définit en fonction de la minéralisation et des vitesses de courant
- Les rivières pour lesquelles on distingue 2 grandes catégories en fonction du couple érosion / sédimentation
    - Le rhithral : l'érosion est dominante, température faible (zone généralement à salmonidés)
    - Le potamal : les cours d'eau de plaine à sédimentation dominante et grande amplitude thermique annuelle (zone à cyprinidés).
- L'estuaire, l'embouchure sur la mer où la salinité est variable. Par conséquent, l'estuaire n'est généralement pas inclus dans la typologie des eaux douces

Cependant, chaque cours d'eau possède une différenciation longitudinale très progressive et il est difficile de mettre des limites entre le ruisseau, la rivière, les cours d'eau de plaine et les estuaires.

L'écoulement unidirectionnel des eaux, des sources vers la mer, est une des particularités des écosystèmes lotiques. Cette singularité fonctionnelle conditionne la répartition des êtres vivants et permet d'observer, de l'amont vers l'aval, un gradient longitudinal. Des têtes de bassin vers les estuaires, on observe une évolution des caractéristiques morphologiques (réduction de la pente, réduction de la taille des particules, augmentation de la largeur du cours d'eau) et hydrauliques (diminution de la vitesse du courant, augmentation des hauteurs d'eau). Ces modifications créent des conditions locales particulières autour desquelles les communautés animales et végétales vont s'organiser.

La notion de biotypologie vient donc compléter naturellement ce qui vient d'être présenté. La zonation ne se base plus seulement que sur le gradient amont-aval mais sur la

biologie des cours d'eau en fonction des composantes physiques et chimiques du système. Plusieurs auteurs se sont déjà penchés sur le sujet depuis le début du 20ème siècle (Tableau I).

On trouve dans la littérature plusieurs descriptions des cours d'eau selon des paramètres écologiques de la source à l'embouchure (DAJOZ, 1996).

FRITSCH (1872) (in MALAVOI et BRAVARD, 2010) identifie des zones piscicoles en fonction des caractères physiques de la rivière.

LEGER (1909) traite de la capacité biogénique des cours d'eau en considérant une production potentielle en kilogrammes de poissons en fonction du type de rivière et d'un coefficient.

THIENEMANN (1925) est un des premiers à établir une zonation piscicole en parlant de zone salmonicole et zone cyprinicole qui sera alors largement reprise en pisciculture. Mais cette classification reste empirique.

HUET (1949) dans son texte a délimité les zones du cours d'eau en fonction de deux facteurs, la pente et la largeur du lit. Ces paramètres fondamentaux conditionnent la vitesse du courant, la température et l'oxygénation de l'eau (DAJOZ, 1996).

VANNOTE *et al*. (1980) et STATZNER & HIGLER (1986) basent leurs recherches sur les invertébrés benthiques.

ROCHE (1986) étudie la répartition des oiseaux le long du cours d'eau.

Le Tableau I propose une liste non exhaustive de différentes zonations longitudinales des cours d'eau. Certaines ayant attirées notre attention seront explicitées ci-après.

Tableau I : Exemples de zonations, selon un gradient amont /aval (liste non exhaustive) (complété d'après WASSON (1989) et MALAVOI & BRAVARD (2010)).

Année	Communautés étudiées	Zone d'étude	Zones (répartition amont / aval)	Paramètres pris en compte dans la typologie	Références
1872	Poissons	no data (n.d.)	Truite, Barbeau, Silure	n.d.	Fritsch (1872)
1925	Poissons	n.d.	Sources, ruisselets de sources, régions à truites, ombre, barbeau, brème et d'eaux saumâtres	n.d.	Thienemann (1925)

1928	Poissons	Grande-Bretagne	Poissons Parties montagnarde des cours d'eau : tête de bassin, ruisseau à truite	n.d.	Carpenter (1928)
	Poissons		Cours d'eau de plaine : secteur à vairon, parties supérieure et inférieure, eaux saumâtres		
1949	Poissons	Europe de l'Ouest	Truite, ombre, barbeau, brème	Pente et largeur	Huet (1949)
1963	Invertébrés aquatiques	Europe (Allemagne)	Crénon), Rhitron (épi-, méta-, hypo-), Potamon (épi-, méta-, hypo-)	Confluences principales	Illies et Botosaneanu (1963)
1973	Poissons et invertébrés	Est de la France	9 types (Figure 9)	Température, dureté de l'eau, section mouillée à l'étiage, pente et largeur du cours d'eau.	Verneaux (1973)
1980	Invertébrés aquatiques	Zones biogéographiques tempérées à moyennement froides	Broyeurs, collecteurs, brouteurs, prédateurs	Réduction de la pente et de la taille des particules du substrat et augmentation de la matière organique et de la température de l'eau	Vannote *et al*., (1980)
1982	Végétation aquatique	n.d.	Périphyton, macrophytes, phytoplancton		
1986	Oiseaux	Bassin de la Saône	Cincle, guignette, sterne, foulque	n.d.	Roché J. (1986)
1986	Invertébrés aquatiques	n.d.	Rhéocrène, hélocrène, limnocrène	Conditions hydrauliques et grandes confluences	Statzner et Higler (1986)
1987	Poissons	Corse	n.d.	Altitude/distance à la mer Inventaires piscicoles	Roché B. (1987)

Par la suite, plusieurs autres auteurs tous aussi talentueux exposèrent différentes typologies. Ces dernières visent à décrire la zonation des espèces aquatiques dans les cours d'eau.

Quatre zonations communément admises décrivent, de l'amont vers l'aval la répartition théorique des espèces en l'absence de perturbation. Cette organisation des espèces correspond aux peuplements de référence observés dans les milieux non dégradés.

- **La zonation piscicole de HUET (1949)**

« Dans un territoire biogéographique déterminé, des eaux courantes comparables en largeur, en profondeur et de pente de même ordre, présentent des caractères biologiques analogues, particulièrement pour les populations piscicoles ». Ces affirmations ont pris le nom de Règle des pentes ou « règle de Huet ». Ce dernier distingue 4 grandes zones de communautés piscicoles qui se succèdent de l'amont vers l'aval :

  - La zone à truite, qui comme son nom l'indique, abrite comme espèce repère la truite fario (*Salmo trutta*) et/ou le saumon atlantique (*Salmo salar*) et leurs espèces dites d'accompagnement (vairons (*Phoxinus sp*), lamproie de planer (*Lampetra planeri*)).
  - La zone à ombre où l'on trouve des communautés mixtes à *salmonidae* à savoir l'ombre commun (*Thymallus thymallus*), la truite (*S. Trutta*) et ses espèces d'accompagnement, quelques *cyprinidae* comme le goujon (*Gobio gobio*), le hotu (*Chondrostoma nasus*) mais aussi la loche franche (*Barbatula barbatula*) et la lamproie de rivière (*Lampetra fluviatilis*).
  - La zone à barbeau qui abrite une population mixte à *cyprinidae* dominant (barbeau fluviatile (*Barbus barbus*), chevaine (*Squalius cephalus*)) et quelques cyprins d'accompagnement comme la vandoise (*Leuciscus leuciscus*), le gardon (*Rutilus rutilus*), le rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*), ainsi qu'une espèce carnassière la perche fluviatile (*Perca fluviatilis*).
  - La zone à brème dominée par les *cyprinidae* limnophiles (eaux lentes et stagnante) tels que la carpe (*Cyprinus carpio*), la tanche (*Tinca tinca*), la brème (*Abramis brama*) et des *cyprinidae* d'accompagnement (vandoise (*L. leuciscus*), gardon (*R. rutilus*), rotengle (*S. erythrophthalmu)*) ainsi que par des espèces piscivores (brochet (Esox lucius), perche (*Perca fluviatilis*), sandre (*Sander lucioperca*)).

Une cinquième zone, souvent nommée zone à flet correspondant aux eaux saumâtres et aux estuaires, a été ajoutée par de nombreux auteurs. Parmi les espèces qui la composent, on peut citer (i) des espèces euryhalines marines (capables de supporter une grande variation de salinité) telles que le gobie (*Gobio sp*), l'épinoche (*Gasterosteus aculeatus*), la plie (*Pleuronectes platessa*), le bar (*Dicentrarchus labrax*) … (ii) des espèces dulçaquicoles (eau

douce) tels que la brème (*Abramis brama*), le gardon (*Rutilus rutilus*)… (iii) mais aussi des espèces migratrices (anguille européenne (*Anguilla anguilla*), flets (*Platichthys flesus*)…).

Toutefois, il n'y a pas de prise en compte des facteurs essentiels que sont la température, ou encore la minéralisation. Ainsi les observations de Huet ne sont valables que pour la zone biogéographique où il a réalisé son étude en Europe de l'Ouest.

ARRIGNON en 1976 va faire évoluer le modèle en fonction d'autres secteurs géographiques tels que l'Europe occidentale ou encore l'Europe centrale. De plus, le choix des espèces repères peut être discutable. La truite peut ainsi tout à fait être présente dans la zone à ombre. La présence d'une espèce n'est donc pas suffisante pour conclure que l'observation de celle-ci correspond à une zone définie du cours d'eau. C'est l'association de plusieurs espèces, bien davantage que la présence ou l'absence d'une quelconque espèce, même dominante, qui est caractéristique d'un type de milieu et significative de son état général.

- **La zonation de ILLIES & BOTOSANEANU (1963)**

Ces auteurs ont classifié les différentes zones d'un cours d'eau en prenant en compte les invertébrés benthiques. Ils décrivent alors trois zones « universelles » :

- Le crénon (zones des sources),
- Le rhitron (cours supérieur, rapide),
- Le potamon (cours inférieur, lent).

Chacune de ces zones abrite des peuplements qualitativement homogènes. Les limites entre ces différentes subdivisions se situent au niveau des confluences principales.

- **La biotypologie de VERNEAUX (1973)**

La structure des peuplements d'un cours d'eau (poissons, invertébrés…) est définie en fonction de la température moyenne mensuelle du mois le plus chaud (utilisé aussi chez ILLIES & BOTOSANEANU, 1963) qui augmente de l'amont vers l'aval, de la dureté de l'eau, de la section mouillée à l'étiage, de la pente et de la largeur du cours d'eau (comme dans les travaux de HUET (1949). Les travaux de VERNEAUX (1973) ont montré que, dans un cours d'eau théorique, des niveaux typologiques se succèdent longitudinalement et correspondent chacun à une structure particulière de la biocénose, définis par la nature, le nombre et l'abondance des espèces.

En conséquence, 10 biocénotypes ont été définis (notés de B0 à B9), correspondant chacun à un groupement d'espèces typologiquement proches, dont les caractéristiques écologiques sont voisines.

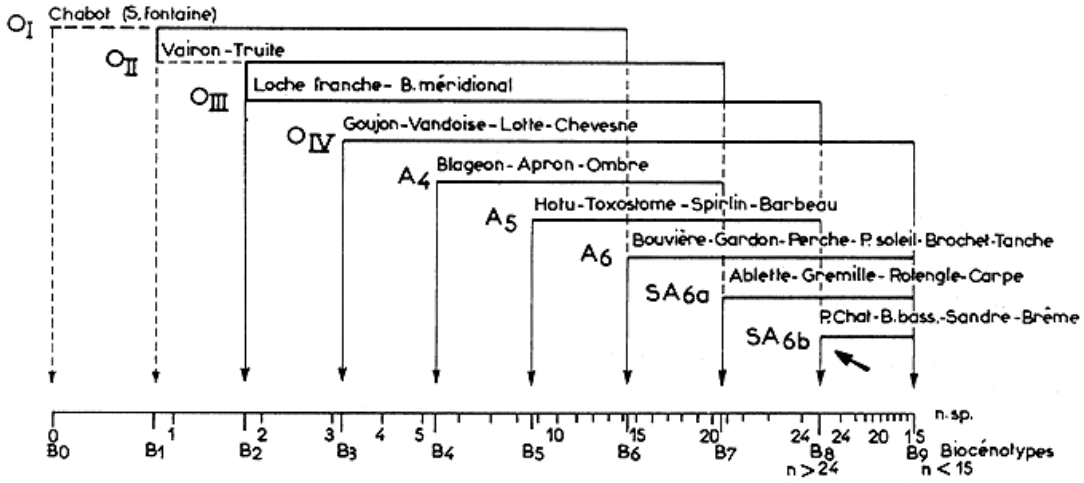


Figure 9 : Biocénotypes de Verneaux (*in* VERNAUX, 1973)

- **Le concept de continuum fluvial ou River continuum concept**

Le régime alimentaire des invertébrés conditionne leur répartition longitudinale. Quatre grands groupes fonctionnels sont identifiés :

- Les broyeurs se nourrissent de grosses particules encore peu décomposées (litière forestière) ou directement de macrophytes ;
- Les collecteurs récupèrent des particules plus fines issues d'une décomposition plus avancée de la matière, soit dans la colonne d'eau, soit à la surface du benthos ;
- Les brouteurs se nourrissent de périphyton (organismes aquatiques fixés à la surface des substrats immergés qu'ils soient minéraux ou biologiques) ;
- Les prédateurs se nourrissent de proies.

Le concept de continuum fluvial (VANNOTE *et al.*, 1980) est le plus connu et souligne que la répartition des communautés biologiques (poissons, invertébrés …) s'explique par un gradient de l'amont vers l'aval des structures géologiques, physiques et biotiques. Il décrit les changements structurels et fonctionnels continus des communautés aquatiques le long de ce gradient longitudinal dans les milieux lotiques. S'il a essentiellement été développé à partir de communautés d'invertébrés aquatiques, il est néanmoins très utilisé par les ichtyologues (VERNEAUX *et al.*, 2003).

VANNOTE *et al.*, 1980) ont théorisé un concept déjà utilisé par de nombreux auteurs. Son étude est basée sur des cours d'eau n'ayant pas été impactés par l'homme (régions boisées du nord-ouest des États-Unis). Il ne s'agit pas d'étudier la rivière isolément, mais en fonction des échanges de matières qu'elle peut avoir avec son bassin versant (DAJOZ, 1996).

Dans une de ces nombreuses synthèses, l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) (2010) propose une comparaison (Figure 10) des zonations écologiques et typologiques des cours d'eau dans une forme au graphisme plus attractif qu'un tableau synthétique. Cette comparaison des différentes zonations est complétée avec l'ordination des rangs de STRAHLER. Cette dernière fait référence à la méthode de détermination du rang d'un cours d'eau, méthode communément retenue car simple à mettre en œuvre.

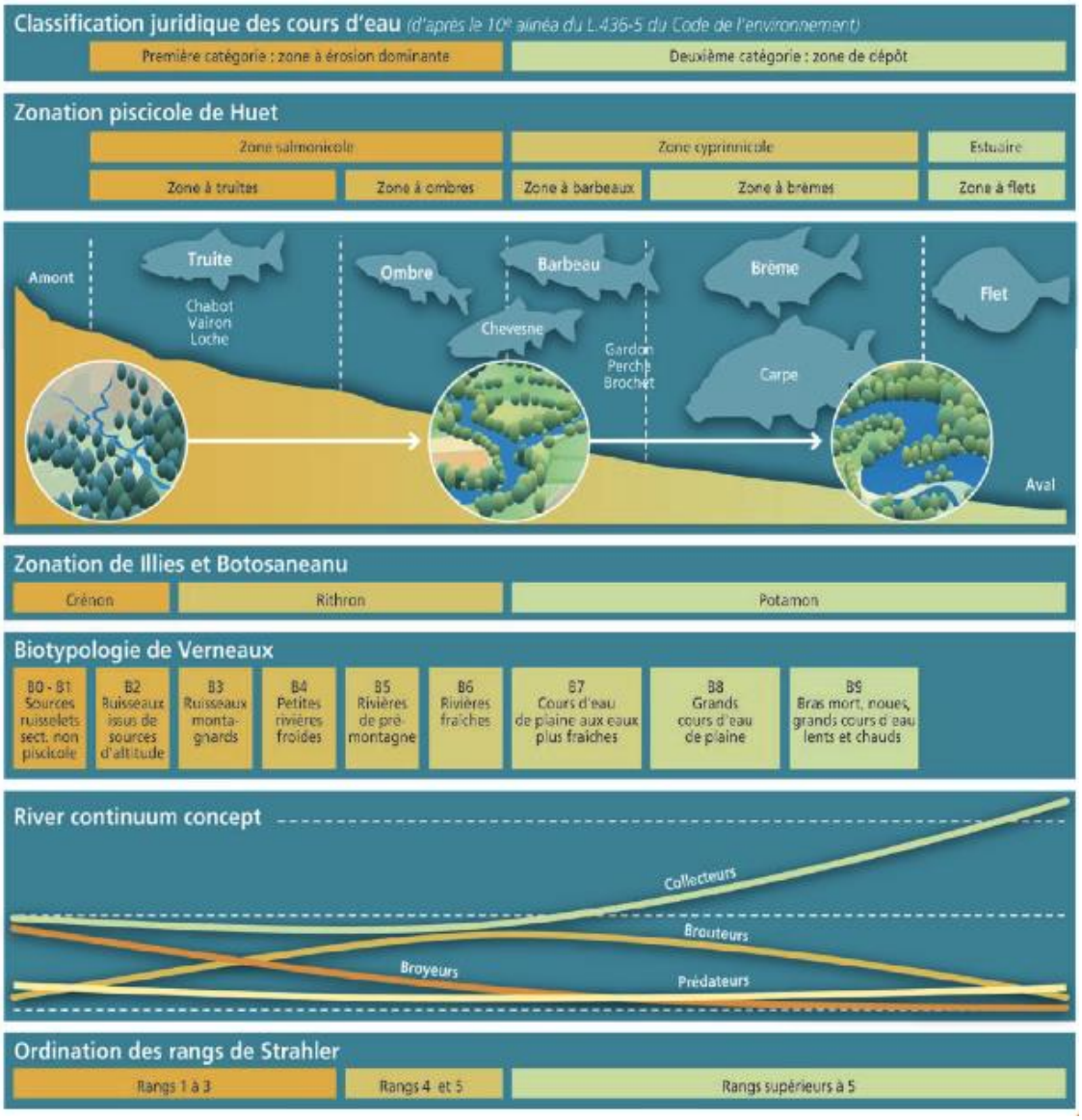


Figure 10 : Mise en correspondance des zonations écologiques et typologiques des cours d'eau (*in* ONEMA, 2010)

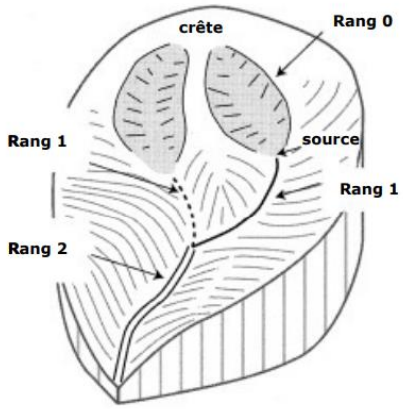


Figure 11 : Organisation du réseau hydrographique en tête de bassin (d'après Benda *et al*., 2005)

Dans cette méthode, deux tronçons de même ordre qui se rejoignent forment un tronçon d'ordre supérieur, tandis qu'un segment qui reçoit un segment d'ordre inférieur conserve le même ordre. Les rangs 0 (zones de sources) sont définis comme les aires d'alimentation directes des cours d'eau (BENDA *et al*., 2005), puis lorsque les écoulements superficiels sont suffisamment concentrés pour produire de l'érosion et creuser un lit aux bordures distinctes, l'ordination commence à partir du rang 1 et évolue tout au long du profil longitudinale du cours d'eau selon la règle citée ci-dessus.

A l'échelle de la France :

Les zonations longitudinales des cours d'eau ont le mérite d'être très explicites. Elles sont assez pratiques et synthétisent correctement l'évolution des peuplements piscicoles de l'amont vers l'aval. Toutefois, elles ne traduisent pas fidèlement les réalités observées sur l'ensemble des rivières (LASNE *et al*., 2007a). Les limites entre ces différentes zones sont diffuses. Il n'y pas nécessairement de rupture de population soudaine entre deux zones distinctes. Tout au long du profil longitudinal, une rivière évolue doucement ce qui implique que certaines espèces régressent puis disparaissent quand d'autres apparaissent. Il est donc plus probable que l'évolution des peuplements se déroule sous forme de transition ou de "continuum" plutôt que de zonation. Certaines espèces indicatrices de ces zonations ne sont pas présentent sur tout le territoire. C'est le cas de l'ombre commun (*Thymallus thymallus*) qui est absent dans de nombreux bassins versants.

Dans ce contexte, il semble préférable de parler d'assemblages d'espèces caractéristiques. Cependant, les études menées sur les cours d'eau français montrent que les processus expliquant la composition locale des assemblages d'espèces piscicoles varient entre

les différents cours d'eau. La structure locale de l'environnement y joue un rôle prépondérant (HENRIQUES-SILVA *et al*., 2018)

Il a ainsi été proposé à l'échelle française, 9 assemblages de poissons caractéristiques de 9 secteurs particuliers. Ces assemblages se caractérisent par des espèces communes (présentes dans la majorité des sites où se trouvent ces assemblages) et des espèces accompagnatrices.

- L'assemblage A1 est caractéristique des grands bassins versants et des secteurs les plus amonts.
- L'assemblage A2 est caractéristique des têtes de bassin versants côtiers des côtes atlantiques et de la mer du Nord.
- L'assemblage B1 tend à dominer dans les grands bassins versants au niveau des Pyrénées, des Alpes et du Massif Central mais peut aussi être présent dans les petits bassins côtiers.
- L'assemblage B2 peut surtout être observé au niveau des plaines de la Seine, de la Loire et de la Garonne et dans les petits bassins versants côtiers.
- L'assemblage B3 est typique des zones proches de la mer
- Les 4 derniers assemblages sont typiques des secteurs plus lentiques, C1 et D2 plutôt du nord et C2 et D1 du sud de la France

A l'échelle de la Corse :

Jusqu'au milieu du 20ème siècle, peu de travaux avait été entrepris sur la faune ichtyologique des eaux courantes de Corse. ROULE (1924) et SPILLMANN (1961) proposaient un inventaire faunistique constitué de cinq espèces. DE FRESCHVILLE (1964) dressaient une liste de 17 espèces dont 10 sont d'origine marines. Ce n'est qu'au début des années 80 que ROCHE (1983) proposera un bilan des premiers inventaires piscicoles réalisés par le SRAE en 1982 et 1983 avant de proposer une zonation quelques années plus tard.

ROCHE (1987) fait le même constat que l'ensemble des auteurs précédents. Le long d'un cours d'eau, plusieurs zones écologiques se succèdent sans réelle discontinuité. En Corse, il propose la succession suivante, qui se basent sur les résultats de 77 recensements piscicoles réalisés sur 46 stations réparties sur un grands nombre de rivière (29) et réparties dans une large gamme d'altitude (de 14 m à 1 410 m). De l'amont vers l'aval, on y distingue quatre zones principales :

- **La zone des sources et des petits ruisselets**, située près des sommets montagneux. L'eau y est très froide et très pure. La ripisylve est dominée par l'aulne nain et la végétation aquatique par des algues diatomées. De nombreuses espèces animales endémiques y ont été observées : beaucoup d'invertébrés aquatiques mais aussi deux amphibiens urodèles (avec queue), la salamandre de Corse (*Salamandra corsica*) et l'euprocte de Corse (*Euproctus montanus*).
- **La zone à truite** : elle peut être divisée en deux zones. La zone à truites supérieure et la zone à truite inférieure.
    - **La zone à truites supérieure** est située au-dessus de 800 m d'altitude. Il s'agit de torrents, riches en cascades et trous d'eau, aux eaux froides et oxygénées. C'est là que se situent les principales frayères à truites, où grossissent préférentiellement les alevins et les truitelles. L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) est généralement absente. Parmi les autres animaux, un petit oiseau (de la taille d'un merle), le cincle plongeur (*Cinclus cinclus*), est présent ainsi qu'un amphibien anoure (sans queue), le discoglosse corse (*Discoglossus montalentii*). La ripisylve est caractérisée par la présence de l'aulne cordé accompagné du pin laricio et/ou du hêtre
    - **La zone à truites inférieure** : elle se situe entre 800 et 200 m d'altitude. La truite (*Salmo trutta*), espèce la plus abondante, et l'anguille (*Anguilla anguilla*) composent le peuplement. De nombreuses larves d'invertébrés aquatiques sont présentes dans l'eau. Au-dessus de la surface, des espèces d'Odonates peuvent être observées : l'æschne paisible (*Boyeria irene*) et les demoiselles agrion. La nuit, une chauve-souris particulièrement adaptée à la capture des insectes volants au-dessus de la surface, le murin d'Aubanton (*Myotis daubentonii*), parcourt le lit du cours d'eau. Deux amphibiens anoures endémiques cyrno-sardes se rencontrent : le discoglosse sarde (*Discoglossus sardus*) et la rainette cyrno-sarde (*Hyla arborea sarda*). Dans l'eau, les diatomées sont toujours très abondantes tout comme l'aulne glutineux l'est sur les berges
- **La zone à anguilles** : il s'agit du cours inférieur, ou partie aval des rivières située en dessous de 200 m d'altitude, dans les fonds de vallées et les plaines. La température y est plus chaude l'été et le courant moyen et lent. La granulométrie est composée de galets et d'éléments fins (sables). Le poisson dominant est l'anguille (*A. anguilla*) dans la partie haute ou zone à anguille supérieure. Au-dessous de 100 m, dans la zone à anguilles inférieure, un petit poisson à peau nue, la blennie fluviatile (*Salaria fluviatilis*)

accompagne l'anguille (*Anguilla anguilla*). Le héron cendré (*Ardea cinerea*) et la cistude d'Europe (*Emys orbicularis*) sont aussi observés. Saules, peupliers, aulnes glutineux et essences du maquis constituent la ripisylve. Potamots et renoncules composent la végétation aquatique.

- **La zone d'influence marine** est le cours d'eau terminal des rivières. La zone d'embouchure assure la transition entre le milieu dulçaquicole et le milieu marin. Les eaux sont douces à saumâtres et chaudes. La granulométrie est très fine : sables et limons. Les poissons dominants sont les anguilles (*Anguilla anguilla*), les mulets, les athérines (*Atherina boyeri*) et les gambusies (*Gambusia affinis*). Les autres vertébrés rencontrés fréquemment sont la poule d'eau (*Gallinula chloropus*), le petit gravelot (*Charadrius dubius*) et le crapaud vert (*Bufo viridis*). La végétation de la ripisylve est représentée par la canne de Provence, le roseau (*phragmites sp*) et le tamaris.

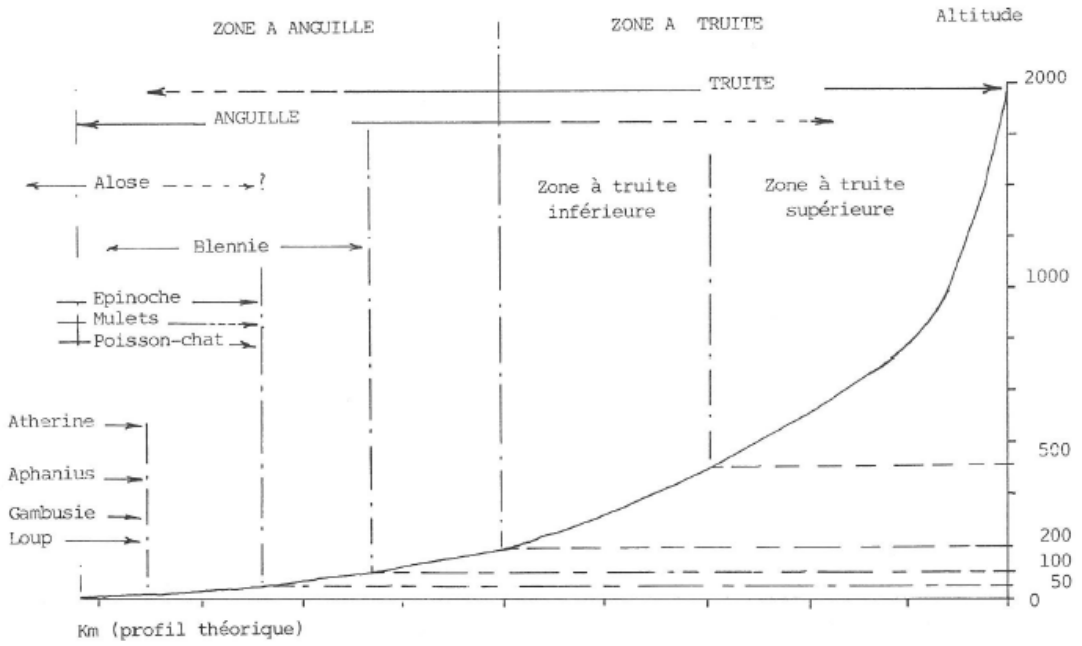


Figure 12 : Zonation piscicole des cours d'eau de Corse et principales espèces de poissons (*in* ROCHE, 1987)

1.5. Endémisme des poissons d'eaux douces de Corse, le cas de la truite de Corse

1.5.1. Généralités

La truite endémique corse (*Salmo trutta* de type *macrostigma*) est le poisson emblématique des rivières de l'île. En effet, la *macrostigma* a très probablement été la première truite à arriver sur l'île. Elle a fait le bonheur de plusieurs générations de corses à la fois comme poisson agréable à pêcher, comme repas très apprécié dans les fêtes familiales ou comme source de nourriture pour les habitants des villages de l'intérieur. La truite, présente dans toutes les rivières de montagne, était bien souvent le seul poisson connu, longtemps appelé en Corse « a pescia », (le poisson), comme s'il n'y en avait qu'un (FCPPMA, 2007). Cependant, malgré son intérêt patrimonial, la *macrostigma* fait aujourd'hui partie, comme l'alose feinte ou l'anguille européenne (*A. anguilla*) des espèces qui demeurent menacées. La régression des effectifs de *macrostigma* est essentiellement liée à l'activité humaine : braconnage, surpêche, hybridation avec la truite atlantique (introduite pendant des décennies), modifications de ses habitats engendrées par des travaux anarchiques en rivière, et dans certains cas, pollution. Les conséquences du changement climatique sont probablement à l'origine de contraintes qui s'appliquent sur cette souche endémique notamment l'augmentation de la température et la diminution des débits.

La sauvegarde d'une espèce, quelle qu'en soit sa valeur pour l'Homme, est gage du respect que nous portons à notre environnement, trop souvent maltraité par ignorance ou par appât du gain. C'est pourquoi la Fédération de la Corse pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques (FCPPMA) et ses partenaires (la Commission Européenne, la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), l'Office de l'environnement de la Corse (OEC), l'Office Français de la Biodiversité, le Parc naturel régional de la Corse (PNRC), l'Office National des Forêts (ONF)) ont décidé de s'unir afin de sauvegarder cette truite emblématique aujourd'hui menacée. Ainsi est né le programme LIFE « Conservation de la truite *macrostigma* en Corse ». Il a été mis en place pour la période 2003-2009, duquel en ont découlé des Plans de gestion de la truite de Corse pour les périodes 2008-2012, 2013-2017 et actuellement 2018-2022.

L'inventaire de toutes les publications européennes décrivant les truites a conduit KOTTELAT (1997) à relever l'existence de 27 espèces taxonomiques qui n'ont pas été, pour la plupart, réanalysées par des techniques modernes, et qui restent donc à confirmer ou infirmer.

En réalité, la science actuelle considère que la truite européenne est constituée d'une espèce dominante, *Salmo trutta* (la truite commune), occupant toute l'Europe et l'Afrique du Nord, composée de cinq principales formes géographiques génétiquement définies par l'ADN mitochondrial, un marqueur particulièrement adapté aux reconstitutions de l'histoire des lignées (BERNATCHEZ et al. 1992). Cette espèce est donc constituée d'un immense agrégat de formes géographiques inter-fertiles, qui ne sont pas considérées comme des sous-espèces, comprenant les truites atlantiques, méditerranéennes, adriatiques, marbrées et danubiennes (BERNATCHEZ, 2001).

De nombreux auteurs se sont relayés dans le temps pour décrire au mieux la truite de Corse. En Corse, DUMERIL (1858), ROULE (1933), puis SPILLMAN (1961) ont qualifié les truites sauvages de nos rivières comme appartenant à la sous-espèce *macrostigma* sur la base de leurs caractéristiques morphométriques et principalement leurs ponctuations. Ces descriptions, si intéressantes qu'elles furent, ont mené à rattacher de manière erronée la truite de Corse à la *macrostigma*. Cette conclusion a été souvent invoquée sans que des analyses génétiques ne viennent infirmer ou confirmer la description.

KRIEG et GUYOMARD en 1983 commence à travailler sur la génétique et c'est à cette date que la particularité des truites de Corse est enfin indubitablement démontrée. GUYOMARD et KRIEG en 1986 ont continué leurs travaux, suivis par OLIVARI et BRUN en 1988, puis par GUYOMARD en 1989.

BERNATCHEZ *et al*. (1992) analysent deux échantillons corses par l'ADN mitochondrial.

BERREBI (1995) publie un rapport de synthèse réunissant les analyses génétiques basées sur les allozymes et appliquées à 25 stations (échantillonnées en 1993 et 1994) qui sont distribuées sur l'ensemble du territoire corse.

Il existe aujourd'hui dans les cours d'eau insulaires quatre taxons de truites correspondant à deux espèces :

- La truite commune ou fario (*Salmo trutta*) présente dans toute l'Europe et représentée dans l'île par trois souches (atlantique, méditerranéenne et corse) ;
- La truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), d'origine nord-américaine.

Parmi ces quatre taxons, deux sont présents naturellement dans l'île (corse et méditerranéen) et deux ont été introduits par l'homme (atlantique et arc-en-ciel).

1.5.2. Biologie

La truite de rivière présente un corps compressé latéralement, élancé et fusiforme. La tête, assez grosse, porte deux yeux moyens. La bouche largement fendue est dotée de deux mâchoires puissantes possédant chacune une rangée de dents pointues. Généralement, la mâchoire supérieure dépasse la mâchoire inférieure. La peau, recouverte de minuscules écailles est enduite d'un mucus protecteur. Le corps se termine par une nageoire caudale au bord externe concave, bien développée (Figure 13).

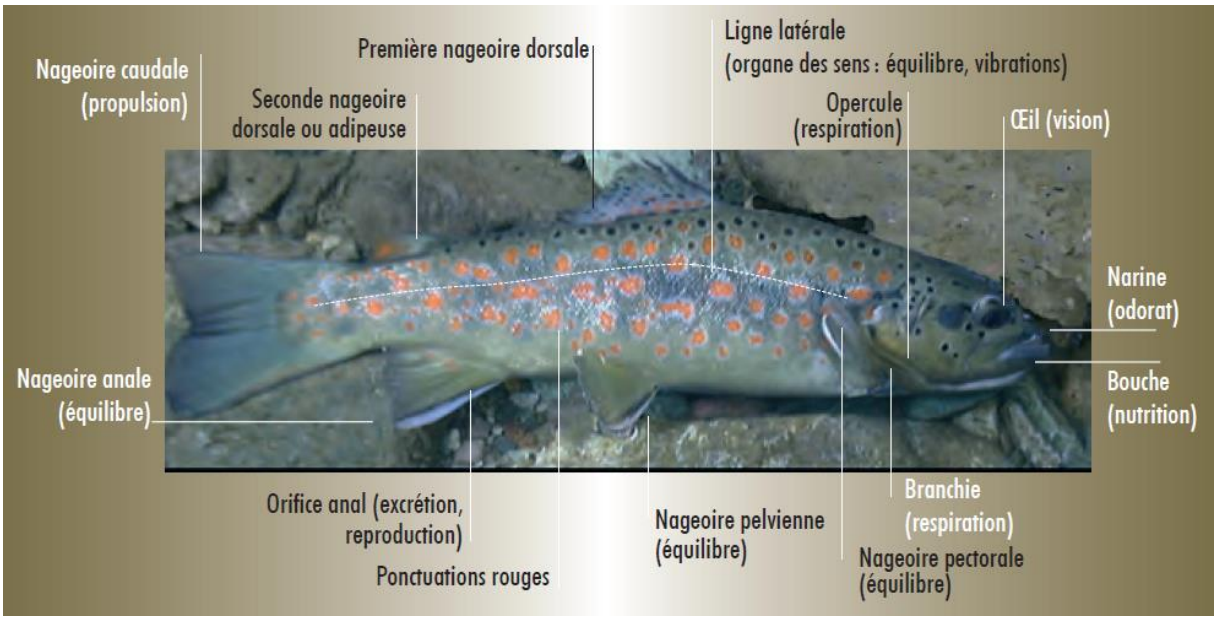


Figure 13 : Morphologie d'une truite de Corse, ici prélevée dans la Calderamolla (source : FCPPMA, 2007)

Les études du LIFE montrent que le phénotype ou la robe des truites pures *macrostigma* varie d'un bassin versant à un autre, voire d'une rivière à une autre. Cela s'explique par le fait que le phénotype est lié au biotope et que ces populations sont isolées les unes des autres depuis des milliers d'années. Ainsi, chacune de ces populations isolées a développé une robe particulière liée à son environnement. La Figure 14 en est la parfaite illustration.



Figure 14 : Différents phénotypes de truite de Corse observés dans plusieurs rivières : 1. Manica – 2. Sant'Antone – 3. Ese – 4. Chjuvone (Crédit photo : FCPPMA)

Certains dispositifs permettent après tranquillisation de l'individu d'obtenir des clichés remarquablement précis. Mis au point par ROCHE dans les années 90, cet aquarium muni de deux miroirs formant entre eux un angle de 90° permet sur un même cliché de distinguer les deux flancs et le dos du poisson (Figure 15).



Figure 15 : Aquarium permettant d'étudier le phénotype des truites en une seule prise de vue (*in* ECOGEA, 2011)

1.5.3. Ecologie

La truite de Corse (*Salmo trutta* de type *macrostigma*) est une variété de la truite commune (*Salmo trutta*). Les différentes et très nombreuses séries d'analyses génétiques menées en Corse a conforté la distinction entre la truite de Corse et les autres types identifiés (atlantique, méditerranéenne et arc-en-ciel) sans pour autant identifier cette truite comme la *macrostigma* décrite en Algérie par DUMERIL (1858).

1.5.3.1. La nutrition

La truite fario, et donc la *macrostigma*, est un carnassier redoutable faisant preuve d'un comportement territorial très prononcé lorsqu'elle se trouve sur son poste de chasse : tout intrus est attaqué. La truite est strictement carnivore. Elle exploite toutes les ressources animales de la rivière. Son régime alimentaire varie ainsi en fonction des saisons et des heures de la journée : larves d'insectes, mollusques, petits batraciens tels que les euproctes. Avec l'âge, les grosses truites capturent parfois des alevins et des truitelles. La truite chasse à vue et sélectionne ses proies en fonction de critères visuels, olfactifs et gustatifs. Le choix du poste de chasse est directement lié à la dérive des invertébrés et à la vitesse du courant. Cependant, dans certaines zones plus calmes la truite « mouche », c'est-à-dire, elle gobe certains insectes volants qui s'approchent tout près de la surface.

1.5.3.2. La reproduction

Le cycle de reproduction de la truite se déroule entièrement en eau douce. La période de reproduction, appelée « frai », se déroule en hiver, de novembre à janvier, dans une eau froide (5 °C à 10 °C) et bien oxygénée. Cette période est précédée de la remontée des adultes vers les frayères situées dans le cours supérieur des rivières. La maturité sexuelle est atteinte à 2 ans pour les mâles et à 3 ans pour les femelles. Ces dernières produisent 1 à 1,5 œuf par gramme de poids vif. À l'aide de sa nageoire caudale, la femelle creuse une petite dépression dans une gravière et elle y dépose ses œufs que les mâles fécondent tout de suite en expulsant leur laitance. À l'éclosion, après une durée d'incubation qui varie en fonction de la température de l'eau, les alevins mesurent entre 1,5 et 2,5 cm et présentent sous leur corps un sac vitellin. En grandissant, les juvéniles développent un comportement territorial marqué. Un système de hiérarchie se met en place avec le temps pour l'occupation des meilleurs postes de chasse. Les jeunes truites quittent progressivement la zone de reproduction pour des zones mieux adaptées à leur taille et à leurs besoins. Elles repeuplent ainsi les zones inférieures des cours d'eau.

Chapitre II Matériel et méthodes

2.1. Présentation générale de la Corse

2.1.1. Géographie et topographie

La méditerranée, une mer intercontinentale presque entièrement fermée. Elle ne représente qu'une toute petite partie de l'étendue marine planétaire à savoir 1/180ème (3 millions de km²) et seulement 1/35ème de l'océan Atlantique (KAISER, 1996), qui l'alimente par le détroit de Gibraltar d'une largeur de 14 km. Mesurée le long du 35° de latitude Nord, elle se développe sur 3 800 km environ entre Tanger et Beyrouth. Sa plus grande largeur est de 800 km Gênes et Bizerte. Sa plus petite largeur est de 138 km entre la Sicile et la Tunisie, où un seuil de 135 m de profondeur sépare deux bassins bien individualisés : l'occidental et l'oriental.



Figure 16 : La Corse dans le bassin méditerranéen (*in* ORSINI, 2007)

Le bassin oriental, le plus vaste, touche le Moyen-Orient. Le bassin occidental est plus réduit. Dans ce dernier, la Corse et la Sardaigne occupent une position méridienne délimitant la mer Tyrrhénienne.

La Corse fait partie des grandes îles de la Méditerranée occidentale. Avec 1 012 km de côtes pour 183 km de long et 84,5 km dans sa plus grande largeur, elle a une superficie de 8 748 km². Allongée dans le sens nord-sud, elle est distante de la Provence d'environ 160 km, tandis que 82 km la séparent de la Toscane et 12 km seulement de la Sardaigne (ORSINI, 2007).

La Corse, située entre 41° 22' (Ile de la Giraglia) et 43° 01' (Iles Lavezzi) de latitude Nord et 8°38' (Ile de Gargalu) à 9°34' (Tour d'Alisgiani) de longitude Est, est la plus septentrionale de ces grandes îles méditerranéennes.

Elle forme, par rapport à l'alignement de la Sicile, de la Sardaigne et des Baléares, comme un ouvrage avancé tournant sa pointe vers le Nord. Le bras de mer entre la Corse et la Sardaigne est peu profond (inférieur à 100 m) ; celui qui la sépare de l'archipel toscan est plus marqué (400 à 500 m de profondeur) tandis qu'ailleurs les fonds bordant la Corse sont importants, parfois équivalents aux plus hauts sommets de l'île (jusqu'à 2 500 m de fond).

Elle est la plus montagneuse de toutes, à défaut d'être la plus haute avec le Monte Cintu culminant à 2 706 m étant dépassé par l'Etna (3 350 m) en Sicile. L'altitude moyenne est de 568 m. 19 % de la superficie du territoire est situé au-dessus de 1 000 m, 39 % au-dessus de 600 m. L'île dénombre au moins de 120 sommets dépassant 2 000 m d'altitude, dont 15 à plus de 2 500 m. Les dénivellations y sont importantes puisque les plus hautes cimes ne sont pas à plus de 40 km de la mer (22,5 km pour le Monte Cintu).

2.1.2. Géologie

RATZEL (1899) dans son étude anthropogéographique qualifie la Corse d'une montagne dans la mer. Un siècle plus tard, GAUTHIER (1998) précise que « la Corse était en réalité constituée, tant sur le plan de la géologie que sur celui de l'histoire, voire de l'occupation des sols, de deux montagnes dans la mer » :

- Une montagne occidentale élevée (Corse hercynienne), granitique et rhyolitique : la terre des seigneurs,
- Une montagne orientale (Corse alpine), moins élevée et schisteuse : la terre du commun.

La géologie de la Corse est qualifiée de très complexe et diversifiée (SIMI, 1981 ; CONCHON & GAUTHIER, 1985 ; MAGOTT, 2016) grâce à la juxtaposition de ces deux blocs, séparés par un sillon central, zone déprimée de plus faible altitude, d'axe Nord/Nord-

Ouest - Sud/Sud-Est, entre la Balagne au nord et la région de Sulinzara au sud, en passant par la région de Corti, au centre.

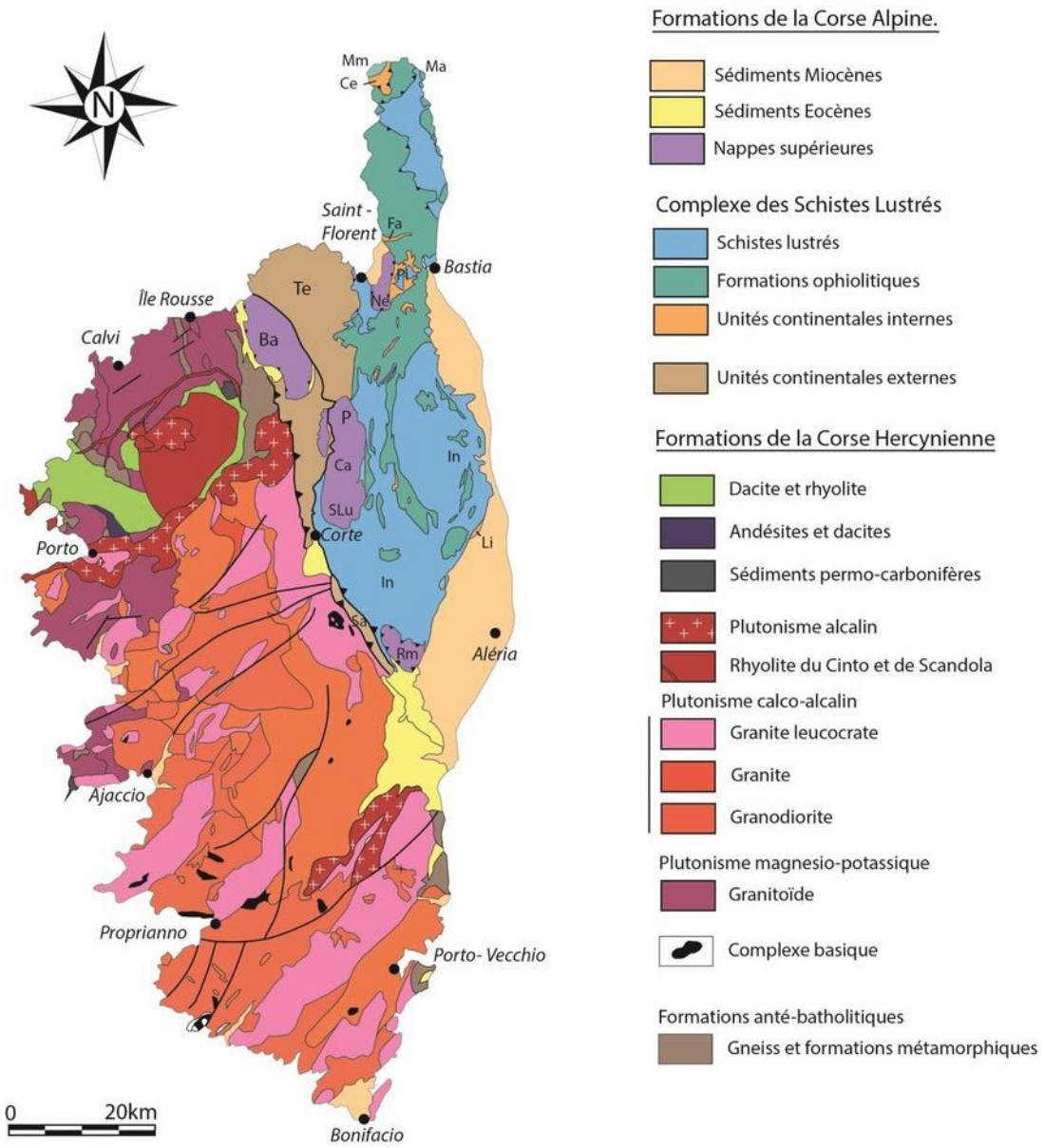


Figure 17 : Carte géologique simplifiée de la Corse[5] (*in* MAGOTT, 2016)

On distingue quatre unités géologiques principales séparées les unes des autres par d'importants accidents tectoniques :

- La plus ancienne (ère primaire) et la plus étendue couvre les deux tiers Sud-Ouest de l'île : il s'agit de la « Corse hercynienne » ou « Corse ancienne » constituée

[5] Les unités secondaires sont annotées : Te : Unité de Tenda ; Fa : Unité de Farinole ; Ba : Unité de Balagne ; SLu : Unité de Santa-Lucia ; Ce : Unité continentale de Centuri ; I : Unité de l'Inzecca ; Mm : Unité du Monte-Maggiore ; Ca : Unité de Caporalino ; Pi : Unité de PignoOlivaccio ; P : Unité ophiolitique de Pineto ; Ma : Unité de Macinaggio ; Rm :Unité du Rio Magno ; Sa : Sampolo

essentiellement de roches plutoniques (granites, diorites, gabbros) et d'un complexe volcanique rhyolitique dans les massifs du Cintu et d'Osani.

- Le tiers Nord-Est de l'île est appelé « Corse alpine » du fait de l'âge tertiaire de la nappe des schistes lustrés qui la constitue. On y retrouve des ophiolites (laves basiques) et un cortège très diversifié de roches métamorphiques : schistes sériciteux, parasinites, cipolins, quartzites, serpentinites, gneiss…
- La dépression centrale ou zone de Corti jalonne le contact entre les deux ensembles précédents. Cette zone présente des faciès très divers, hachés par de nombreux et profonds accidents tectoniques déterminant des structures en écailles.
- Une dernière unité est formée par les terrains sédimentaires tertiaires et quaternaires des plaines orientales et des bassins calcairo-gréseux de San Fiurenzu et de Bunifaziu.

2.1.3. Climatologie de la Corse

BRIGODE *et al*., (2019) écrivent que « la Corse est une île méditerranéenne de contrastes et d'extrêmes ». Son climat méditerranéen classique n'échappe pas à la règle et est soumis à de fortes variations saisonnières et interannuelles des températures et des précipitations. Avec sa sœur sarde, ces deux îles sont situées sur la trajectoire de masses d'air venues d'une part de l'Atlantique et d'autre part du Sahara. La Sardaigne, moins montagneuse, voit passer les masses nuageuses qui s'accumuleront sur le relief corse nettement plus prononcé. RONDEAU (1964) signale « que les précipitations en Corse sont en grande partie orographiques ».

L'altitude joue un rôle important dans la pluviométrie. Cette dernière, couplée à la direction générale de la ligne de crête principale et à l'influence de la mer, constituent les principaux facteurs qui déterminent l'originalité climatique de la Corse (BRUNO *et al*., 2001). Les hivers sont relativement doux et pluvieux (ROME & GIORGETTI, 2007). Les étés chauds et secs se caractérisent par l'occurrence de sécheresses prononcées, entrainant des étiages marqués durant les mois de juillet, d'août et de septembre.

Le régime pluviométrique :

Les précipitations tombent souvent sous forme d'averses réparties sur 50 à 80 jours seulement, avec deux apports principaux, l'un en fin d'automne (octobre à décembre), l'autre en début d'hiver et de printemps (janvier à mars), périodes durant lesquelles les principales

crues sont observées. Les précipitations sont caractérisées par une variabilité (i) dans l'espace et (ii) dans le temps.

Dans l'espace, l'altitude a une forte influence sur le régime pluviométrique. En effet, les hauteurs annuelles moyennes d'eau passent de 500 mm au niveau de la mer à 2 000 mm au-dessus de 1 500 m d'altitude (Tableau II).

Tableau II : Régimes pluviométriques en Corse (modifié d'après Bruno *et al.*, 2001)

Période d'observations 1961 – 1990	Hauteur moyenne (mm)	Nombre de jours de pluie
0 à 600 m	500 à 1 000	60 à 90
600 à 1 500 m	1 000 à 1 600	80 à 120
> 1 500 m	1 600 à 2 000	> 120

Dans le temps, les quantités de pluies annuelles sont très variables d'une année sur l'autre. Cette variabilité interannuelle est très caractéristique du climat méditerranéen. L'automne et l'hiver sont les saisons les plus arrosées.

La sécheresse est un phénomène complexe qui résulte de l'effet combiné de plusieurs facteurs, notamment le régime pluviométrique, la nature du sol et le stade de développement végétatif des plantes. La quantité de l'approvisionnement en eau par les précipitations en constitue l'élément déterminant. L'intensité du phénomène dépend d'autre facteurs météorologiques : les températures, la durée de l'insolation et le vent (BRUNO *et al.*, 2001).

La neige :

La Corse étant l'île la plus montagneuse de la Méditerranée présente en hiver un manteau neigeux important.

Du littoral à 300 m d'altitude, la neige est rare et exceptionnelle.

De 300 à 600 m (600 à 900 m en versant sud), l'enneigement se produit normalement chaque hiver, la couche atteint fréquemment 20 à 30 cm d'épaisseur, les périodes de fonte totale succèdent aux épisodes neigeux.

De 1 100 m à 1 500 m d'altitude (1 400 à 1 800 m en face sud) l'enneigement est plus continu, les chutes se produisent d'octobre à avril et le cumul peut dépasser 2 mètres d'épaisseur.

Au-dessus de 1 500 m (1 800 m en face sud) l'augmentation du manteau neigeux est progressive, l'épaisseur moyenne est de 2 mètres avec un maximum de 6 mètres. A ces altitudes l'action du vent est prépondérante et favorise la formation de plaques à vent, de zones de forte accumulation et de corniches (BRUNO *et al.*, 2001) ; la fonte y est très lente et il n'est pas rare d'y rencontrer, jusqu'à la fin juillet, des plaques de neige importantes sur les versants exposés au nord.

Le manteau neigeux joue un rôle important dans le fonctionnement hydrologique des cours d'eau de Corse ayant des altitudes de points culminants de leur bassins versants élevées en réduisant l'amplitude et la sévérité de leur étiage.

Le régime thermique :

Par sa situation géographique, la Corse est, selon les saisons, sous l'influence des masses d'air d'origine tropicale, océanique ou continentale. Le relief et l'influence maritime jouent, une nouvelle fois, un rôle important : le relief accentue les écarts de température alors que la mer les tempère (BRUNO *et al.*, 2001). La température moyenne annuelle passe de 14-16 °C, en plaine, à 8-10 °C, en montagne (Tableau III). La brise marine joue un rôle important sur la moyenne des températures maximales annuelles. En effet, la brise marine « relativise les températures maximales par un apport d'humidité et limite une bonne partie de la frange côtière à des valeurs maximales moyennes de 18 à 20 °C (BRUNO *et al.*, 2001).

Tableau III : Régimes thermiques en Corse (modifié d'après Bruno *et al.*, 2001)

Période d'observations 1961 - 1990	0 à 600 m	600 à 1 500 m	> 1 500 m
Température moyenne	14 à 16 °C	10 à 14 °C	8 à 10 °C
Température mini moyenne	9 à 12 °C	6 à 9 °C	2 à 6 °C
Température maxi moyenne	20 à 22 °C	17 à 20 °C	11 à 17 °C
Nombre de jours :			
Très chauds (T.maxi ≥ 30 °C)	12	17	9
Chauds (T.maxi ≥ 25 °C)	90	74	62
Frais (T.mini ≤ 5 °C)	80	143	165
Avec gel (T.mini ≤ 0 °C)	12	89	104

La durée d'insolation :

L'ensoleillement, caractérisé par la durée d'insolation, se définit par l'intervalle de temps pendant lequel le soleil est nettement apparent au-dessus de l'horizon tout en ayant une intensité de rayonnement suffisante pour créer des ombres bien nettes (BRUNO *et al.*, 2001).

Avec un cumul annuel de 2 769 heures en 2020 (Tableau IV), la Corse bénéficie d'une durée d'ensoleillement privilégiée (la moyenne annuelle nationale s'élève à 2 129 heures pour 2020). Le versant occidental (2 750 heures environ) est plus ensoleillé que la façade orientale (2 650 heures environ). L'insolation est minimale en décembre (120 à 130 heures), les plus fortes valeurs sont enregistrées en juillet (360 à 380 heures).

Tableau IV : Durée d'insolation en Corse pour 2020 (source : Météo-France)

	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Heures d'ensoleillement (h)	429	877	979	484
Moyenne nationale (h)	380	727	737	285
Equivalent jours de soleil (j)	18	37	41	20
Moyenne nationale (j)	16	30	31	12

Les vents :

Par son insularité, la Corse est particulièrement sensible aux régimes des vents qui soufflent sur cette partie du bassin méditerranéen, tant pour les grands courants que pour les brises locales (BRUNO *et al.*, 2001).

En hiver (circulation d'ouest), les masses d'air tempérées, provenant de l'Atlantique, se gorgent d'humidité en traversant la Méditerranée ; le flux est donc frais et humide (exemple du Mistral). En été (circulation de sud-est), les masses d'air subtropicales provenant du Sahara, génèrent un flux chaud et sec (exemple du Sirocco).

L'influence du relief sur les vents se traduit par des effets orographiques. L'accélération du vent par l'effet Venturi a deux origines : (i) le resserrement vertical (entre les sommets et la limite inférieure de la tropopause) et (ii) le resserrement horizontal (dans les vallées, entre les reliefs principaux). Les reliefs secondaires et les effets de composition avec les phénomènes de brises, perturbent l'écoulement du vent provoquant des turbulences et des déviations (BRUNO *et al.*, 2001).

La carte des vents locaux observés en Corse montre la manifestation de sept vents différents :

- U grecale, de composante Nord-Est, est un grand vent tyrrhénien. Il est fréquent en automne et au printemps et très lié à des tempêtes en Méditerranée. Il amène beaucoup de pluies sur la face orientale de la Corse.
- U levante est le vent d'Est ; lorsque qu'il est très soutenu, il est fréquent qu'il franchisse la ligne des sommets de la Corse et qu'il atteigne les côtes occidentales.
- U libecciu est le grand vent de la Corse ; ces effets se font sentir sur toute l'île mais à des degrés différents. De direction Sud-Ouest sur le sud de la Corse, il devient, du fait de l'orientation du relief, un vent d'Ouest en Balagne et sur le Cap Corse occidental. En été, il est généralement sec alors qu'en hiver il se charge d'humidité et devient porteur de pluies principalement sur les versants occidentaux.
- U maestrale, de direction Nord-Ouest, est un vent brusque, violent, sec en été et plus humide en hiver.
- U punente est le vent d'Est ; il se mélange souvent au libecciu.
- U sciroccu est un vent de Sud, chaud et humide ; il est souvent accompagné de poussières rouges d'origine saharienne, de brumes et de brouillards côtiers.
- A tramuntana est le grand vent du Nord, violent, sec et froid ; il sévit en hiver en longues rafales et purifie l'air.

Les climats de la Corse

Les variations importantes de la température et des précipitations, lorsqu'on passe du littoral aux sommets de l'île, permettent de séparer les climats. SIMI (1964) propose d'en distinguer trois selon un étagement altimétrique :

- De 0 à 600 m, *un climat méditerranéen doux et humide* à températures moyennes annuelles variant de 14 à 17 °C, des pluies abondantes mais irrégulières, une longue saison sèche en été.
- De 600 à 1 200 m, *un climat méditerranéen d'altitude* à températures moyennes annuelles variant de 10 à 13 °C, des pluies abondantes et une saison sèche moins marquée.
- Au-dessus de 1 200 m, *un climat à tonalité alpine*, à hiver rigoureux, caractérisé par des contrastes de températures et des précipitations très importantes en particulier sous forme de neige.

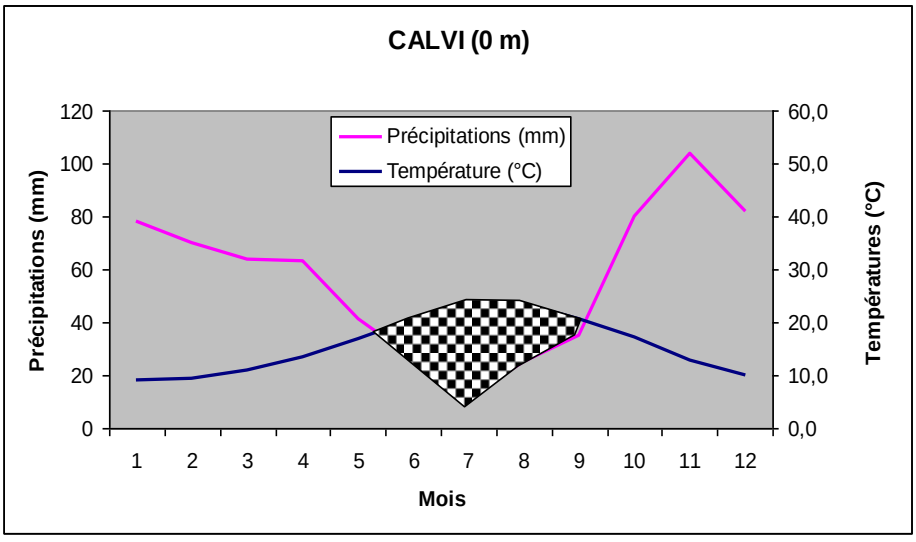
GAMISANS (1991) parle de climat méditerranéen de haute altitude car la tonalité alpine proposée par SIMI (1964) ne repose en fait que sur des critères thermiques (hivers rigoureux) ; les précipitations n'ont pas une tonalité alpine mais bien encore une tonalité méditerranéenne, même si elle est atténuée.

Synthèse bioclimatique

Pour GAMISANS (1991), la Corse apparaît nettement marquée climatiquement par un creux estival important des précipitations, ce qui autorise l'attribution d'un label général de climat méditerranéen.

Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS & GAUSSEN (1953) met en évidence la période biologiquement sèche, pendant la saison estivale, phénomène caractéristique de ce climat méditerranéen.

Les diagrammes ombrothermiques réalisés par ORSINI (2008) montrent l'évolution de l'amplitude de la période biologiquement sèche lorsqu'on passe du littoral aux sommets de l'île. Sur les côtes (Calvi), la période sèche estivale est longue (16 à 17 semaines). A 600 et 850 m d'altitude (Evisa) la saison sèche est moins marquée (4 à 6 semaines), c'est le climat méditerranéen d'altitude. Au-dessus de 1 500 m d'altitude, la tonalité méditerranéenne est atténuée, la période sèche est inférieure à 4 semaines.



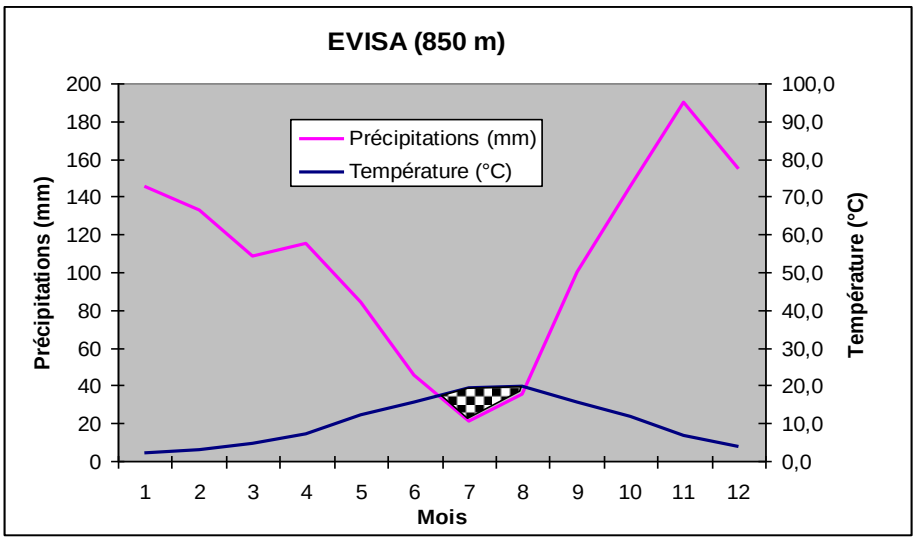


Figure 18 : Diagrammes ombrothermiques de Calvi et Evisa (*in* ORSINI, 2008)

Nous nous attarderons plus tard sur une comparaison des intensités des périodes biologiquement sèches sur l'ensemble de la Corse grâce au calcul des aires ombrothermiques et à leur évolution depuis 1960.

2.1.4. Limnologie physique de la Corse

2.1.4.1. Les principaux fleuves et rivières de Corse

Le réseau hydrographique de l'île est dense. Il est caractérisé par de nombreux cours d'eau descendant de la chaîne centrale vers la mer avec des régimes très irréguliers. Les sources se situent souvent à des altitudes élevées, à seulement quelques kilomètres de la mer, ce qui confère à ces cours d'eau de fortes pentes accentuant les crues brusques et dévastatrices.

Le Golu et le Tavignanu, situés sur le versant oriental, sont les cours d'eau les plus importants de l'île, tant par leur longueur (respectivement 93 et 80 km) que par la superficie de leur bassin versant (1 065 et 802 km²). Ces deux bassins versants représentent à eux seuls 1/5ème de la surface de l'île.

Sur le versant occidental, les bassins versants sont parallèles et présentent une orientation Nord-Est - Sud-Ouest. Le Cap Corse constitue une unité hydrologique particulière. Celle-ci est composée d'une vingtaine de bassins versants dont la superficie n'excède pas 30 km².

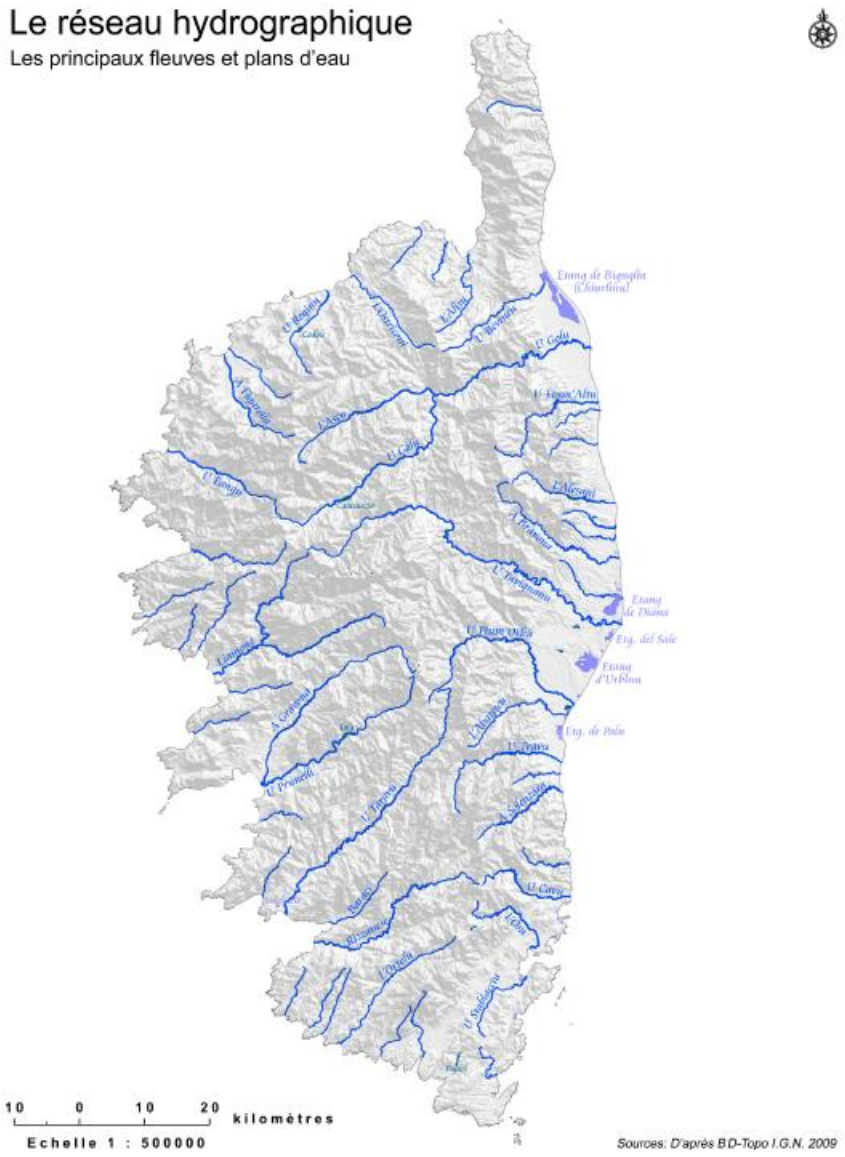


Figure 19 : Carte du réseau hydrographique de Corse (*in* Atlas des paysages de la Corse)

Le Tableau V recense une grande majorité des cours d'eau de Corse. Avec plus de 1 700 km cumulés de longueur de cours d'eau, la Corse dispose d'un réseau hydrographique relativement fournit comme stipulé plus haut.

Tableau V : Liste non exhaustive des cours d'eau de Corse (modifié d'après https://www.sandre.eaufrance.fr/ et http://hydro.eaufrance.fr/)

Cours d'eau	Longueur (km)	Superficie BV (km²)	Rang de Strahler
Golu	89,6	1036	6
Tavignanu	89	693	5
Taravu	65,6	482	5
Gravona	46,5	320	5
Fium'Orbu	45,8	275	5

Prunelli	44,3	276	6
Rizzanese	44,1	392	5
Liamone	40,9	367	4
Bravona	37,1	180	4
Tagnone	35,3	105	3
Ascu	34,1	365	4
Travu	32,5	130	4
Ortolu	31,9	150	4

Fium'Altu	30,9	128	5
Tartagine	30,2	250	3
Bevincu	28,1	53,6	4
Cruzzini	27,7	128	3
Casaluna	25,3	n.d.	5
Abatescu	24,9	111	5
Alisgiani	24,6	67	4
Chjuvone	24,4	n.d.	4
Corsigliese	24,3	n.d.	4
Fiumicicoli	24,1	99	3
Vecchiu	24,1	162	4
Figarella	24	132	5
Portu	23,6	134	4
Osu	23,4	90	3
Ostriconi	23,2	135	4
Fangu	22,6	129	5
Solenzara	22	100	4
Cavu	21,9	49	4
Sagone	21,8	62	3
Ese	21,1	120	2
Alisu	20,6	131	5
Fiumicellu	20,1	260	3
Reginu	19,4	137	5
Criviscia	19,2	n.d.	4
Guagnu	18,6	194	3
Restonica	18,1	n.d.	3
Stabiacciu	17,8	173	4
Codi	17,6	n.d.	4
Varagnu	16,8	n.d.	3
Baraci	16,5	n.d.	3
Canella	16,4	n.d.	3
Chiuni	15,8	n.d.	4
Fiume Seccu	15,8	n.d.	5
Saltarucciu	15	n.d.	2
Marcuggiu	13,6	n.d.	3
Bala	13,3	n.d.	3
Liscia	12,9	n.d.	4
Ruvoli	12,7	n.d.	3
Lava	12,6	n.d.	4
Impennatu	12,5	n.d.	3
Chiosura	12,2	n.d.	3
Butturacci	11,9	n.d.	2
Alistru	11,8	n.d.	4
Chiola	11,6	n.d.	2
Petrosu	11,3	n.d.	2

Francolu	11,2	n.d.	3
Ercu	11,2	n.d.	1
Luri	11	n.d.	3
Morgone	11	n.d.	3
Cavallu Mortu	11	n.d.	4
Molina	10,9	n.d.	3
Liscu	10,7	n.d.	4
Buggiu	10,1	n.d.	3
Campu Longu	10	n.d.	2
Buccatoghju	9,9	n.d.	4
Fiume Santu	9,9	n.d.	3
Pietracorbara	9,5	n.d.	3
Ronca	9,4	n.d.	4
Guadu Grande	9,4	n.d.	2
Ventilegne	9,3	n.d.	3
Acqua Tignese	8,7	n.d.	1
Fium'Albinu	7,7	n.d.	2
Lagunienu	7,3	n.d.	2
Olmeta	7,3	n.d.	3
Dardu	6,9	n.d.	2
Pughjolu	6,9	n.d.	2
Siscu	6,5	n.d.	3
Cannone	5,8	n.d.	1
Purcaraccia	5,6	n.d.	1
Stagnolu	3,9	n.d.	2

2.1.4.2. Les lacs d'altitude de Corse

2.1.4.2.1. La notion de lac en corse

GAUTHIER *et al* (1984) rappellent qu'il est nécessaire de s'attarder sur la définition retenue pour qualifier un lac d'altitude en Corse. En effet en fonction de la définition choisie, le nombre des pièces d'eau méritant le nom de lac sera plus ou moins important. Dans leurs travaux de recherche, ces derniers proposent d'exposer les différentes définitions proposées par des limnologues de renom tels que SIRE (1957) qui expose qu'un lac, du latin *lacus* est une grande étendue d'eau entourée de terres de tous côtés ; un étang, du latin *stagnum* est une étendue d'eau peu profonde et sans écoulement, située à l'intérieur des terres ; une mare est un petit amas d'eau dormante, elle peut être temporaire. La végétation peut envahir totalement la surface d'un étang pas celle d'un lac.

Pour VIVIER (1961) un étang est un lac sans profondeur qui peut être colonisé sur toute son étendue par la flore littorale d'un lac. D'autre part, les lacs contiennent des salmonidés, les étangs, dont la plupart sont artificiels, des cyprinidés. Pour FOREL (1892) la profondeur moyenne d'un étang est inférieure à 5 m, alors que dans un lac cette profondeur moyenne excède 5 m. Enfin DUSSART (1966) réserve, quant à lui, le terme d'étang aux lacs artificiels plus ou moins vidangeables utilisés ou non par l'homme.

GAUTHIER *et al* (1984) précise qu'en se basant sur le critère bathymétrique, pour une profondeur moyenne supérieure à 5 mètres il existerait moins d'une dizaine de lacs en Corse. Si l'on considère comme lac les pièces d'eau ayant une profondeur maximale supérieure à 5 mètres alors ce nombre est proche de la vingtaine. En se basant sur les paramètres physico-chimiques des eaux (température, pH, teneur en oxygène dissous) et sur des paramètres biologiques tels que l'absence de végétation aquatique au centre de la pièce d'eau, ou la présence possible de salmonidés, « ce qui ne veut pas dire qu'il y a des truites dans toutes ces pièces d'eau mais qu'on pourrait à la rigueur en rencontrer si la profondeur et les communications avec un réseau fluviatile étaient suffisantes », ce nombre de lac oscille entre trente et quarante.

Sont exclus de cette définition les lacs artificiels et des étendues d'eau peu profondes susceptibles de s'assécher en été ou ne possédant pas d'écoulement en été, plutôt qualifiées de mares.

Un programme d'étude, initié par l'Office de l'Environnement de la Corse en 2006, avait choisi, pour retenir le nom de lac, d'appliquer deux critères : (i) une profondeur maximale supérieur à 3 m et (ii) une superficie au moins égale à 0,5 ha.

En répondant à ces critères il n'existerait qu'une quinzaine de lacs en Corse. Ainsi, certaines formations comme le lac de l'Oriente (décrit ci-après), ayant une profondeur moyenne de moins d'un mètre, ne seraient pas qualifiées de lac stipulent GAUTHIER *et al* (1984). Si l'on prend soit l'un soit l'autre de ces deux critères, le nombre avoisine la trentaine.

Quant aux pozzines (terme introduit par BRIQUET en 1910), formations détaillées ci-après et qui se rencontrent fréquemment en bordure des lacs, constituent souvent l'avant dernier stade du comblement du cirque glaciaire ou de la cuvette lacustre et ne rentrent pas en considération dans la définition des lacs d'altitude.

2.1.4.2.2. Origine des lacs

Au cours de l'ère quaternaire, la haute montagne corse a été recouverte plusieurs fois par des neiges permanentes et des glaciers, notamment durant la dernière phase du Würm, il y a environ 20 000 ans. Les glaciers ont pu laisser leurs différentes empruntes (polissage et abandon de blocs erratiques, stries glaciaires, moraines latérales comme frontales, creusement de cuvettes…) et sont largement responsables de l'aspect alpin de la haute montagne. Le rapide réchauffement de la Terre au cours des millénaires suivants a permis leur fonte il y a moins de 15 000 ans. Des lacs se sont ainsi formés dans les cuvettes où derrière les moraines.

Tous les lacs corses d'altitude ont une origine glaciaire. On peut, tout d'abord, opposer les lacs situés dans les vallées en auge (lac de Ninu, lac de Goria et surtout lac de Vitalaca) aux lacs de cirque. Les vallées à forme typiquement glaciaire sont assez nombreuses dans l'ile (vallée de la Restonica), mais seules les hautes vallées du Tavignanu et du Prunelli possèdent encore des lacs, d'autres vallées contiennent seulement des pozzines précisent GAUTHIER *et al.*, (1984).

La grande majorité des lacs est donc localisée dans des cirques. De beaux exemples sont fournis par le lac du Ritondu ou de Capitellu… Ces lacs occupent souvent des zones de surcreusement derrière une barre rocheuse qui jouent le rôle d'un verrou, à moins que le cirque ne soit fermé à l'aval par une moraine derrière laquelle l'eau s'est accumulée. Quelques cas où coexistent verrou et moraine seront cités ci-après.

2.1.4.2.3. Formation des lacs

Les lacs derrière verrou

La pièce d'eau occupe tout ou partie d'une dépression entre deux ruptures de pente. Dans le cas le plus simple du Capitellu, le lac est entouré par les crêtes déchiquetées du cirque qui présentent parfois des versants à pente très forte. En aval, la rupture de pente est souvent constituée par de grandes dalles sur lesquelles il est possible d'observer les stries glaciaires ou les figures d'arrachement et de compression dues aux déplacements écoulement glaciaires. Tel est le cas des roches en aval du lac de Melu, sous le lac de Scapucciole ou le lac du Ritondu... On observe souvent également des roches polies, moutonnées ou des cannelures

Les lacs derrière moraine

Plusieurs lacs corses doivent leur existence à la présence d'une moraine qui ferme le cirque. Deux exemples nets sont fournis par le grand lac d 'Oru, et le lac de Sorbi, mais c'est aussi le cas du lac de Scapucciole, des lacs de Rina, du lac de Bastani… Certains petits lacs sont même complètement inclus dans un bourrelet morainique. Il s'agit en général de moraines très fraiches qui correspondent aux derniers épisodes glaciaires.

Les autres cas

Plusieurs lacs présentent au niveau de leur exutoire une combinaison entre verrou et moraine. C'est le cas du lac du Cintu, du lac de Bracca, du lac de Scapucciole. Cela signifie dans ce cas qu'au moins deux épisodes glaciaires se sont succédé (i) dans un premier temps, creusement de la cuvette et formation du verrou, (ii) puis, au cours d'un stade de régression glaciaire, abandon d'une moraine au niveau du verrou (GAUTHIER *et al.,* 1984). Dans certains cas comme le lac du Ritondu, la moraine a été en partie démantelée et des ensembles de blocs persistent sur le verrou. Il est également possible qu'il s'agisse de blocs erratiques. Enfin, quelques rares lacs n'ont pas une forme typiquement glaciaire comme le lac de Crenu et ce n'est que par la prise en compte d'indices secondaires que l'on peut rapporter leur formation au phénomène glaciaire.

La succession des lacs

Il est fréquent que plusieurs lacs se succèdent dans la même vallée et que l'on rencontre une superposition de plusieurs pièces d'eau. Les ensembles Capitellu-Melu, Scapucciole-

Cavacciole, lac de Galiera (ou Gardiola) et de l 'Oriente, lac de Bracca et de Vitalaca, lacs de Rina, grand et petit lacs d'Oru. GAUTHIER *et al.*, (1984) font remarquer que dans le couple lacustre, le lac supérieur est toujours le plus profond : 42 mètres pour Capitellu contre 15 m pour Melu, 6,5 m pour Braca contre 3,5 m pour Vitalaca.

2.1.4.2.4. Localisation des lacs

Les lacs sont situés entre 1 310 mètres, pour Crenu, le plus bas de tous, et 2442 mètres pour Galiera (ou Gardiola), le plus haut.

La majorité d'entre eux étant située toutefois entre 1 700 et 2 300 mètres. Six fleuves présentent des lacs sur leur bassin versant.

Drainant le flanc occidental de la grande dorsale :

- La Figarella, avec les petits lacs du Ceppu et de la Muvrella ;
- Le Liamone, avec le lac de Crenu, les mares des bergeries de l'Arata et de Rinella (près de Manganu) ;
- Le Prunelli, avec les lacs de Bracca et de Vitalaca.

Sur le versant oriental :

- Le Golu, avec les lacs du Cintu, le lac Maggiore, les lacs du Lancone, celui de la Paglia Orba et d'Argentu, le lac d'Altore, celui de Laviglioli ;
- Le Fium'Orbu, avec les lacs d'Alzeta, de Bastani, de Niellucciu, de Rina Sopranu et Suttanu ;
- Le Tavignanu, qui, à lui seul, draine la moitié des lacs de l'île vers la mer tyrrhénienne : Ninu, Sorbu, Goria, Capitellu, Melu, grand et petit Rinosu, Cavacciole et Scapucciole, Oriente, Ritondu, Pozzolu, Gialicatapianu, petit et grand lac d'Oru.

GAUTHIER *et al* (1984) proposent la répartition de l'ensemble des pièces d'eau selon les trois secteurs suivants :

Le secteur nord, au nord du col de Verghju :

Il comporte deux lacs importants et une douzaine de taille plus modeste.

- Le lac du Cintu, d'une superficie d'un hectare pour une profondeur maximale de 15 m.
- Le lac Maggiore, d'une superficie d'un peu plus d'un hectare, et d'une profondeur maximale de 8 m, est la source, à 2275 m, de la Ruda, affluent du Golu.

- Les trois petits lacs du Lancone, dont la profondeur ne dépasse pas 2 m, se trouvent à proximité, aux altitudes de 2180, 2170 et 2150 m. Ces trois « lacs » sont bordés par des pozzines, ce qui est exceptionnel dans le massif du Cintu.
- Tous les autres lacs de ce secteur sont en réalité, de très petites pièces d'eau, peu profondes :
  - Le lac de la Paglia Orba (altitude 1520 m), à proximité d'une bergerie ruinée sous l'imposante face est de la Paglia Orba ;
  - Les pièces d'eau à l'est du Capu Larghja (2320 m et 2490 m) et celle à l'ouest de la Torre Manica. Les deux premières sont sans doute celles qui dégèlent le plus tardivement ;
  - Le lac Perdu (2035 m), à proximité de l'ancien refuge d'Altore et en contrebas de la Bocca Tumasginesca ;
  - Le lac de la Muvrella (1850 m), longé par le GR 20 ;
  - Le lac du Ceppu (1835 m), dominant la maison forestière de Bunifatu, dans un cirque sauvage où l'on peut observer des mouflons ;
  - Le lac d'Argentu (2350m), au pied de la face nord du Cintu.

Le secteur centre, entre le col de Verghju et le col de Vizzavona :

C'est dans ce secteur qu'existe le plus grand nombre de lacs, mais aussi les plus grands, les plus profonds et les plus fréquentés. Ils sont tous localisés sur la carte IGN Monte d'Oru - Monte Ritondu. Du Nord au Sud, en ne citant que ceux qui sont baptisés :

- Le lac de Ninu (1743m), source du Tavignanu, recouvert partiellement par une végétation aquatique avec potamots et ményanthes, se poursuivant par de très belles pozzines sur lesquelles on peut rencontrer chevaux, ovins, bovins et porcs ;
- Le lac de Crenu (1310 m), le seul lac à être entouré d'une forêt de pins laricio et qui présente sur une partie de sa pelouse une station de la petite plante carnivore drosera ;
- Le lac de Sorbu (2060m) à proximité du Capu à i Sorbi ;
- Le lac de Goria (1852 m), profond de 7 m, protégé par la brèche du même nom ;
- Le lac de Capitellu (1930 m) le plus profond de tous (42 m), le quatrième par la superficie (5,5 ha) et sans doute l'un des plus spectaculaires ;
- Le lac de Melu (1711 m), profond de 16 m, le troisième pour la superficie (6,2 ha) et le plus fréquenté des lacs insulaires (plus de 50000 visiteurs en été).

En remontant les vallons qui rejoignent la vallée de la Restonica :

- Le vallon de Cavacciole qui abrite le lac de même nom (2015 m) au-dessus de la cascade en face des bergeries des Gruttelle, et celui de Scapucciole (2388 m) en forme de cœur.
- Le vallon de Riviseccu, en tête duquel se trouve le lac de Puzzolu (2403 m), vallon par lequel fut réalisée la première ascension touristique du Monte Ritondu en 1802 par André François Miot, pensant gravir le plus haut sommet de Corse.
- Le vallon de Timozzu, où l'on trouve, au pied de la face nord du Ritondu, le grand (1 ha) mais peu profond (1,8 m) lac de l'Oriente et, à proximité de la brèche du Ritondu le lac de Galiera (2422 m)
- Le vallon du Rinosu avec, côte à côte, dominés par le GR 20, le grand et le petit Rinosu (2065 et 2082 m).

C'est sur le versant sud du Ritondu, que l'on rencontre le plus grand lac de Corse (7,4 ha) et le second pour la profondeur (35 m), le lac du Ritondu (ou de Bettaniella ou pour IGN de Belle e Buone).

Nettement plus au sud, trois pièces d'eau terminent l'inventaire du centre :

- Le lac de Gialicatapianu (1523 m), seul lac avec celui de Ninu à être partiellement recouvert de potamots ;
- Les deux lacs d'Oru, en face nord du Monte d'Oru. Le premier, le grand lac d'Oru, à 1970 m, sous le col des Porcs, est bien visible depuis le sommet ; le second, le petit lac d'Oru, à 1563 m, blotti sous de grandes dalles granitiques, a un accès très bien défendu par des fourrés d'aulnes difficilement pénétrables.

De très jolies pozzines occupent, tout autour du massif, d'anciennes dépressions glaciaires et plusieurs pièces d'eau de petite taille parsèment çà et là les contreforts des principaux sommets.

Le secteur sud, entre le col de Vizzavona et le col de Verde.

Autour du Monte Renosu on rencontre six lacs :

- Le plus grand d'entre eux est celui de Bastani (2089 m, 4,4 ha) : c'est aussi le troisième pour la profondeur (24 m),
- À proximité et en contrebas, au pied de la face est du Monte Renosu, le lac de Niellucciu (1919 m), se trouve au fond d'un cirque escarpé,

- Sur ce même versant est de la chaîne, les deux lacs de Rina Supranu (1882 m) et Suttanu (1806 m) donnent naissance au ruisseau de Lischettu. Ils sont tous les deux à un stade très avancé de comblement (profondeur comprise entre 1 m et 50 cm).
- Sur le versant occidental, deux lacs participent à l'alimentation du haut Prunelli : le lac de Bracca (2075 m), divisé en deux parties inégales par une presqu'île granitique, et le lac de Vitalaca (1777 m), vestige d'une plus grande pièce d'eau qui devait occuper la totalité de la belle vallée en auge.

Tableau VI : Liste des principaux lacs d'altitude classés par surface décroissante (modifié d'après GAUTHIER *et al.*, 1984)

Nom	Altitude	Périmètre	Surface (Ha)	Profondeur max	Surface BV	Altitude point culminant	Commune
Ritondu	2321	1200	7,4	35	50,4	2622	Venacu
Ninu	1743	1000	6,5	11,5	104	2327	Corti
Melu	1711	930	6,2	16	172	2342	Corti
Capitellu	1930	916	5,5	42	47	2342	Corti
Bastani	2084	925	4,38	24	32,4	2352	Ghisoni
Goria	1852	900	3,5	7	121	2267	Corti
Niellucciu	1919	491	1,15	15	18,5	2352	Ghisoni
Oru	1970	?	1,1	15 (?)	17,8	2389	Vivariu
Rinosu	2065	400	1	12	13,6	2342	Corti
Cintu	2289	400	1	15	28	2706	Lozzi

2.1.4.3. Lacs et retenues artificiels de Corse

La Corse compte 48 retenues recensées à ce jour. Parmi celles-ci, 12 sont issues de barrages dits de classe A. Le plus récent est celui du Rizzanese, dont la mise en service date de 2013 et dont l'objectif principal est d'accentuer la sécurité énergétique de l'île avec ses 55 MW de puissance.

La majorité de ces ouvrages sont exploités par :

- EDF, à des fins de production d'électricité,
- L'OEHC (Office de l'Equipement Hydraulique de Corse), à des fins de soutien d'étiage, d'irrigation et d'alimentation en eau potable.

La Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB) définit un « grand barrage » comme un barrage dont la hauteur par rapport au point le plus bas des fondations est supérieure à 15 mètres. En France, le décret du 11 décembre 2007 répartit les barrages en quatre classes en fonction des risques qu'ils font courir à l'aval.

Tableau VII : Classification française des barrages (*in* ORSINI, 2020)

Classe de l'ouvrage	Caractéristiques géométriques
A	H >= 20
B	Ouvrage non classé en A et pour lequel : H >= 10 et H^2 x √V >= 200
C	Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel : H >= 5 et H^2 x √V >= 20
D	Ouvrage non classé en A, B ou C et pour lequel : H >= 2
Avec : H la hauteur de l'ouvrage, exprimée en mètres et définie comme la plus grande hauteur mesurée verticalement entre le sommet de l'ouvrage et le terrain naturel à l'aplomb de ce sommet ; V le volume retenu exprimé en millions de mètres cubes et défini comme le volume qui est retenu par le barrage à la cote de retenue normale.	

L'hydroélectricité en Corse

En Corse, l'hydroélectricité représente 200 MW, soit 25 % de la capacité électrique totale installée dans l'île. Cette production, gérée par EDF, est issue de quatre sites :

- L'aménagement hydroélectrique du Prunelli (Corse du Sud) d'une puissance totale de 44 MW, constitué du barrage de Tolla (32 Mm^3) et des usines hydroélectriques de Tolla, Ocana et Pont de la Vanna ;
- L'aménagement hydroélectrique du Golu (Haute-Corse) d'une puissance totale de 60 MW, constitué des barrages de Calacuccia (25 Mm^3) et de Corscia (0,2 Mm^3) et des usines hydroélectriques de Sovenzia (utilisant l'eau du Tavignanu), de Corscia et de Castirla ;
- L'aménagement hydroélectrique du Fium'Orbu (Haute-Corse) d'une puissance totale de 43 MW, constitué du barrage de Sampolu (2 Mm^3) et de l'usine hydroélectrique de Trevadine ;
- L'aménagement hydroélectrique du Rizzanese (Corse du Sud) d'une puissance totale de 55 MW, constitué du barrage du Rizzanese (1,3 Mm^3) et de l'usine hydroélectriques de Santa-Lucia-de-Tallà.

L'OEHC dispose d'un parc de 12 barrages (dont 42 % ont plus de 40 ans), 7 de classe A, 3 de classe B et 2 de classe C.

Des tableaux synthétisant les caractéristiques des barrages et retenues gérés par EDF et l'OEHC en Corse sont présentés en Annexe 1 et Annexe 2. La Figure 20 présente la localisation des différentes retenues de barrage en Corse

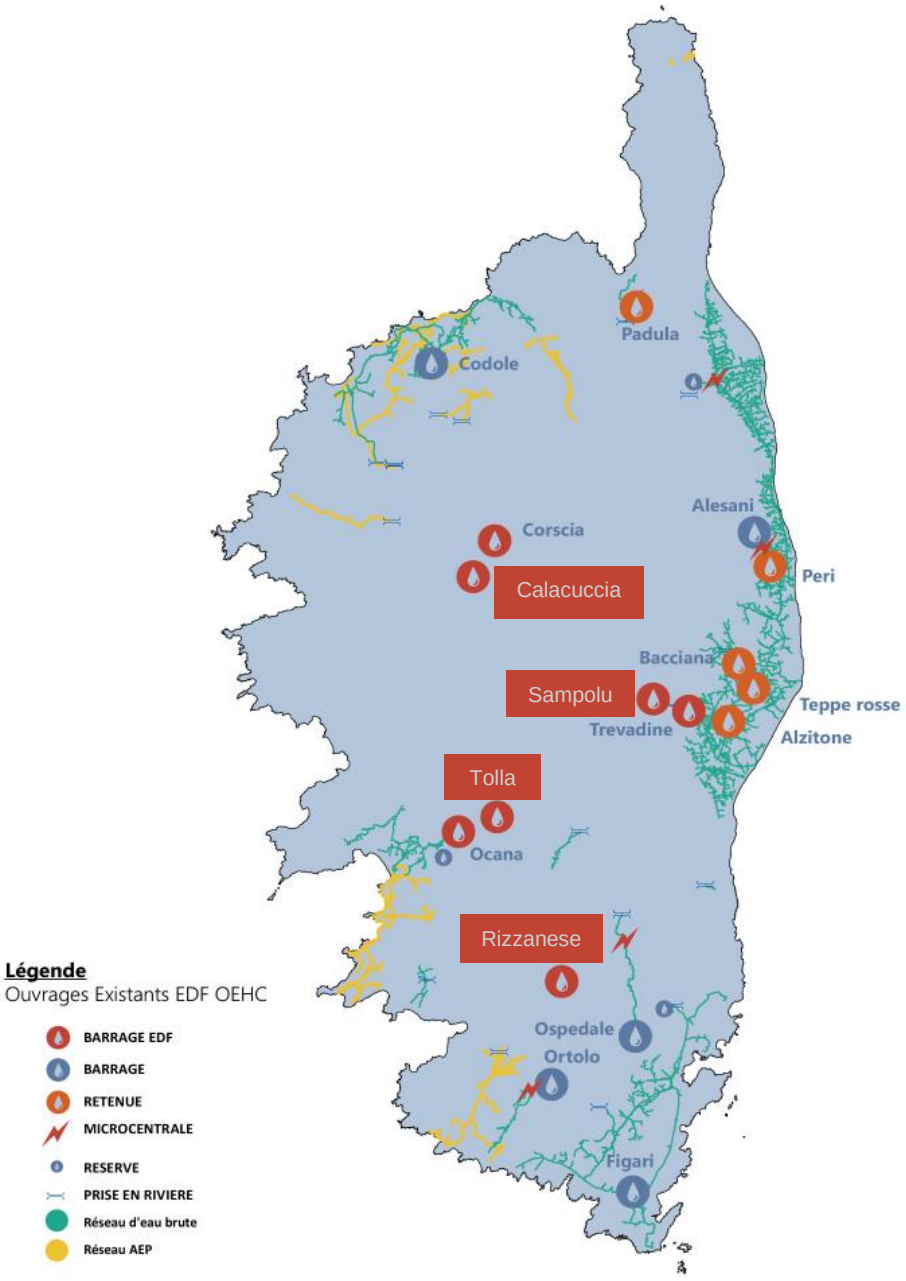


Figure 20 : Carte des différentes retenues d'eau de Corse (modifiée d'après https://www.oehc.corsica)

2.1.5. Flore et Végétation de la Corse

La végétation et le type de sol sont intimement liés et leurs actions combinées influencent singulièrement l'écoulement en surface. Le couvert végétal retient, selon sa densité, sa nature et l'importance de la précipitation, une proportion variable de l'eau atmosphérique (ORSINI, 2020). Cette eau d'interception est en partie soustraite à l'écoulement. Une végétation dense intercepte une partie de l'averse par sa frondaison. Elle exerce une action limitatrice importante sur le ruissellement superficiel. Elle va régulariser le débit des cours d'eau et amortir

les crues de faibles et moyennes amplitudes. Cependant, son action sur les débits extrêmes causés par des crues catastrophiques est réduite. A l'inverse, le sol nu, de faible capacité de rétention favorise un ruissellement très rapide.

Données statistiques sur la flore

La flore vasculaire de la Corse compte 2 978 taxons ; les taxons introduits sont au nombre de 454 et les indigènes (ou naturels) de 2 524. Ces derniers se répartissent en 2 092 espèces, 264 sous-espèces, 89 variétés et 82 hybrides (GAMISANS & JEANMONOD, 1993).

Les recensements floristiques permettent de bien connaître la répartition actuelle des espèces, c'est à dire leur chorologie. Ils font ressortir l'importance de l'endémisme (12.2 % de la flore indigène) et une presque égalité entre les éléments méditerranéens (39.5 %) et eurosibérien (37.9 %) (GAMISANS & JEANMONOD, 1995, GAMISANS & MARZOCCHI, 1996).

Le groupe des endémiques (296 taxons) est composé d'éléments à distribution géographique très localisée (GAMISANS & MARZOCCHI, 1996). On distingue : (i) les endémiques strictement corses (131), (ii) les corso-sardes (75), (iii) les corso-sardes-archipel toscan (14), (iv) les baléaro-cyrno-sardes (11) et (v) les autres endémiques (65).

Les étages de végétation en Corse

L'analyse chorologique de la flore corse a permis de distinguer deux sous-secteurs floristiques : l'un « méditerranéo-corse » relevant de la région florale méditerranéenne, l'autre « oro-corse » présentant des affinités avec les montagnes eurosibériennes. Cette dualité situe les montagnes corses dans l'ensemble des montagnes dites subméditerranéennes (GAMISANS, 1991). Elle est ainsi à l'origine d'une juxtaposition de deux systèmes d'étagement de la végétation : le méditerranéen et l'eurosibérien. Les étages de basse altitude sont climatiquement et floristiquement de type méditerranéen ; vers les sommets, le cortège floristique eurosibérien domine (GAMISANS & MARZOCCHI, 1996). L'existence d'un climat méditerranéen caractérisé par des précipitations importantes d'origine orographique favorise la régénération rapide des différentes strates végétales.

En Corse, GAMISANS (1991) a défini les étages suivants :

- **L'étage thermoméditerranéen** à l'adret, de 0 à 100 m d'altitude. La température moyenne est supérieure ou égale à 16 °C. Les espèces caractéristiques sont l'euphorbe

arborescente (*Euphorbia dendroides*), la germandrée arbustive (*Teucrium fruticans*), l'asperge blanche (*Asparagus albus*), la clématite à vrilles (*Clematis cirrhrosa*), le lentisque (*Pistacia lentiscus*) et le genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*).

Cet étage est matérialisé par (i) des formations à lentisque dominant, (ii) des maquis et des bois de chêne vert et (iii) divers autres groupements.

- **L'étage mésoméditerranéen** où la température moyenne est comprise entre 13 et 16 °C. Le passage du thermoméditerranéen au mésoméditerranéen est marqué par la disparition des espèces thermophiles telles que la clématite à vrilles (*Clematis cirrhrosa*), l'asperge blanche (*Asparagus albus*), la germandrée arbustive (*Teucrium fruticans*), l'euphorbe arborescente (*Euphorbia dendroides*).

Cet étage est matérialisé par (i) des maquis à bruyère (*Erica arborea*) et arbousier (*Arbutus unedo*), (ii) des forêts de chêne vert (*Quercus ilex*), de chêne liège (*Quercus suber*), de pin maritime (*Pinus pinaster subsp. hamiltonii*), de chêne pubescent (*Quercus pubescens*), et de châtaignier (*Castanea sativa*), (iii) des fruticées basses à lavande des îles d'Hyères (*Lavandula stoechas*), à romarin (*Rosmarinus officinalis*), à genêt corse (*Genista corsica*), à épiaire poisseuse (*Stachys glutinosa*), à herbe aux chats (*Teucrium marum*), (iv) de cistaies à ciste de Montpellier (*Cistus monspeliensis*), à ciste à feuilles de sauge (*C. salviifolius*), à ciste velu (*C. creticus*).

Dans **l'étage mésoméditerranéen** on distingue deux horizons :

  - **L'horizon inférieur** (de 100 à 600 m, à l'adret et de 0 à 400 m, à l'ubac) est caractérisé par l'abondance du chêne vert (*Quercus ilex*), du myrte (*Myrtus communis*), du lentisque (*Pistacia lentiscus*), du cytise de Montpellier (*Teline monspessulana*), et du calycotome velu (*Calycotome villosa*).
  - **L'horizon supérieur** (de 600 à 1 000 m, à l'adret et de 400 à 700 m, à l'ubac) est marqué par la disparition des espèces précédentes et l'apparition ou l'augmentation d'importance du chêne pubescent (*Quercus pubescens*), du charme-houblon (*Ostrya carpinifolia*), du buis (*Buxus sempervirens*), du genêt à balai (*Cytisus scoparius*), du genêt de Salzmann (*Genista lobelii* var. *salzmannii*), du peucédan en panicule (*Peucedanum paniculatum*).

- **L'étage supraméditerranéen** (de 1 000 à 1 300 m, à l'adret et de 700 à 1 000 m, à l'ubac) ; la température moyenne varie de 10 à 13 °C.

Le passage du mésoméditerranéen supérieur au supraméditerranéen est marqué par la disparition de l'arbousier (*Arbutus unedo*), du ciste de Montpellier (*Cistus monspeliensis*), du romarin (*Rosmarinus officinalis*), de la lavande des îles d'Hyères (*Lavandula stoechas*). On note l'apparition ou l'augmentation d'importance du chêne sessile (*Quercus petraea*), du pin laricio (*Pinus nigra subsp. laricio*), de l'aulne cordé (*Alnus cordata*), du tremble (*Populus tremula*), du thym corse (*Thymus herba-barona*)...

Cet étage est matérialisé par (i) des chênaies caducifoliées de chêne sessile et chêne pubescent, (ii) des yeuseraies (chêne vert et houx), (iii) des forêts de pin laricio, (iv) des châtaigneraies, (v) des bois mixtes à aulne cordé, (vi) des formations à if et houx, (vii) des maquis à bruyère arborescente, (viii) des fruticées naines à genêt de Salzmann.

- **L'étage montagnard** (de 1 300 à 1 800 m, à l'adret et de 1 000 à 1 600 m, à l'ubac) où la température moyenne oscille entre 7 et 10 °C.

Le passage du supraméditerranéen au montagnard est marqué par la disparition du chêne vert (*Quercus ilex*), du chêne pubescent (*Quercus pubescens*), du pin maritime (*Pinus pinaster*), du châtaignier (*Castanea sativa*), des bruyères (*E. arborea* et *E. scoparia*). On note l'apparition ou l'augmentation de l'importance du sapin (*Abies alba*), du hêtre (*Fagus sylvatica*), de l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*), du genévrier nain (*Juniperus communis subsp. alpina*), de l'épine-vinette de l'Etna (*Berberis aetnensis*), du genêt faux-lobel (*Genista lobelii* var. *lobelioides*), de la rue corse (*Ruta corsica*), du thym corse (*Thymus herba-barona*).

Cet étage est matérialisé par (i) des hêtraies, (ii) des sapinières, (iii) des forêts de pin laricio, (iv) des bosquets d'if et houx, (v) des fruticées naines à genévrier nain, épine-vinette de l'Etna, genêt faux-lobel, (vi) des pelouses où dominent les espèces vivaces.

- **L'étage cryo-oroméditerranéen** est défini uniquement sur les adrets et les crêtes entre 1 800 à 2 200 m d'altitude ; la température moyenne varie de 3 à 7 °C.

Le passage du montagnard au cryo-oroméditerranéen est marqué par la disparition des forêts de pin laricio.

Cet étage est matérialisé par (i) des fruticées naines à genêt faux-lobel (Genista *lobelii* var. *lobelioides*), épine-vinette de l'Etna (*Berberis aetnensis*), genévrier nain (*Juniperus communis subsp. alpina*), anthyllide faux Hermannia (*Anthyllis hermanniae*), astragale du Gennargentu (*Astragalus sirinicus subsp. genargenteus*), thym corse (*Thymus herba-barona*) et (ii) des

pelouses à armérie à têtes multiples (*Armeria multiceps*), pâturin violacé (*Bellardiochloa variegata*)...

- **L'étage subalpin** est défini uniquement sur les ubacs entre 1 600 à 2 100 m ; la température moyenne est comprise entre 3 et 7 °C.

Le passage du montagnard au subalpin est marqué par la disparition des hêtraies ou des forêts de pin laricio et leur remplacement par des formations denses et étendues à aulne odorant (*Alnus viridis subsp. suaveolens*) où on note la présence de quelques pieds isolés de sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia subsp. praemorsa*), d'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*) ou de bouleau (*Betula pendula*). Dans quelques rares secteurs on note la présence de sapinières (*Abies alba*). Les clairières naturelles ou artificielles (coupes, pâturage) de l'aulnaie odorante sont occupées soit par des pelouses à benoîte des montagnes (*Geum montanum*) et à sagine corso-sarde (*Sagina pilifera*), soit par des fruticées à genévrier nain (*Juniperus communis subsp. alpina*) et épine-vinette de l'Etna (*Berberis aetnensis*). Les groupements de pozzines (tourbières corses), floristiquement inclus dans l'étage subalpin sont décrits plus loin.

- **L'étage alpin** occupe la tranche altitudinale culminale, comprise entre 2 100 m (ubacs) ou 2 200 (adrets) et les sommets et ce, uniquement dans les massifs du Cintu (2 707 m), du Ritondu (2 625 m) et du Renosu (2 357 m). La température moyenne varie de 3 à -1 °C.

Le passage du subalpin à l'alpin est marqué par la disparition (i) aux ubacs, des formations denses à aulne odorant et (ii) aux adrets, des fruticées naines à épine-vinette de l'Etna (*Berberis aetnensis*), anthyllide faux Hermannia (*Anthyllis hermanniae*), genêt faux-lobel (*Genista lobelii* var. *lobelioides*).

Cet étage est matérialisé par un ensemble de groupements spécialisés de parois rocheuses, d'éboulis, de rocailles humides et de sols plus ou moins élaborés pour ce qui concerne les pelouses. Ces dernières sont peuplées (i) aux adrets par le pâturin violacé (*Bellardiochloa variegata*), la marguerite tomenteuse (*Leucanthemopsis alpina subsp. tomentosa*), le calament corse (*Acinos corsicus*), le myosotis corse (*Myosotis corsicana*) ; (ii) aux ubacs par la benoîte des montagnes (*Geum montanum*) et le gnaphale nain (*Gnaphalium supunum*).

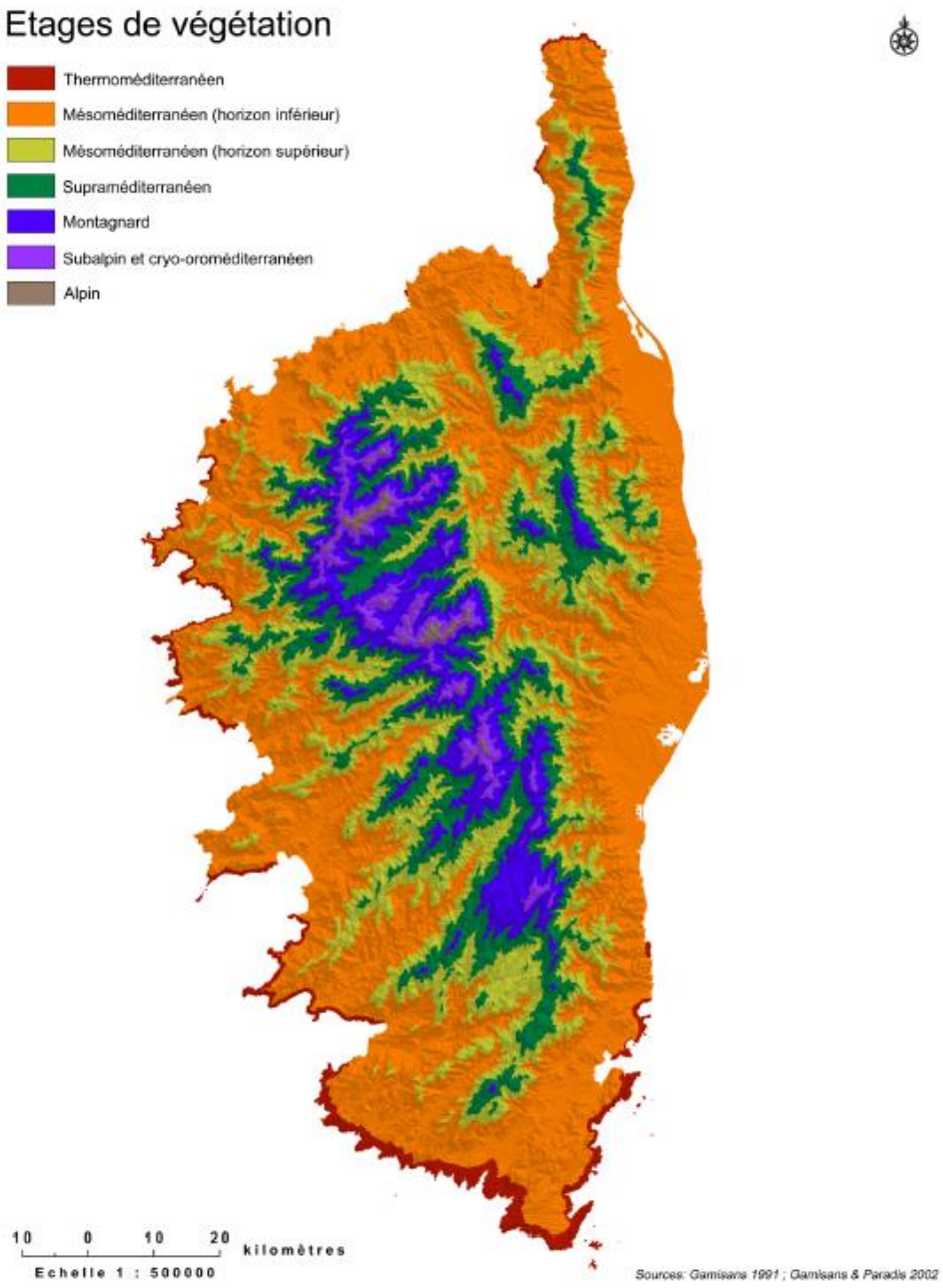


Figure 21 : Cartographie de la répartition des différents étages de végétation de la Corse (*in* GAMISANS, 1991)

Les pozzines

Les pozzines sont des groupements hygrophiles spécialisés, situés dans l'étage subalpin ou exceptionnellement montagnard. Ces tourbières corses sont présentes dans la haute vallée des principaux cours d'eau : Golu, Tavignanu, Restonica, Fium'Orbu, Prunelli, Rizzanese, Travu.

Selon BRIQUET (1910), « Les pozzines sont des tourbières acides, mais planes, sur sous-sol imperméable (boue glaciaire) à feutre tourbeux imbibé d'eau et essentiellement formé par les organes souterrains de Graminées, Cypéracées et Joncacées naines, à Sphagnum (sphaignes) formant seulement des taches et manquant souvent. Les localités...où la tourbière est trouée de mares

profondes sont désignées par les habitants sous le nom de pozzi (puits); nous avons tiré de ce dernier terme le mot pozzine par contraction : pozz(i formation alp)ine. Mais il va sans dire que les pozzines se trouvent aussi en l'absence de pozzi ».

Selon GAMISANS (1991), « cette définition originelle visait essentiellement les pelouses hygrophiles et méso-hygrophiles installées sur des substrats issus du comblement plus ou moins complet de lacs d'origine glaciaire. Ce sont là les pozzines de fond, terme proposé par LITARDIERE & MALCUIT (1926) par opposition aux pozzines de pente, floristiquement très affines mais présentant une pente plus ou moins accentuée et localisées sur les bords redressés de cuvettes lacustres, mais également, çà et là, en bordure de torrents et de ruisselets ».

Ces pozzines sont largement peuplées d'espèces eurosibériennes (65 % environ), accompagnées d'un nombre non négligeable d'espèces endémiques (35 %). Ces sols tourbeux constituent un milieu difficile pour de nombreux végétaux car ils sont asphyxiques, faiblement minéralisés, et très pauvres en particulier en azote assimilable. C'est pourquoi ils portent une flore peu riche et nettement spécialisée (GAMISANS, 1991). C'est le cas (i) des myrtilles (*Vaccinium sp.*) qui présentent des mycorhizes, c'est à dire une association d'un champignon inférieur avec les racines de la plante ; (ii) des droséras (*Drosera sp.)* qui se nourrissent d'insectes (plantes dites « carnivores » ou plus justement insectivores).

Les pozzines sont constituées de trois ensembles physionomiquement distincts (GAMISANS, 1991) :

- Un marais à laîches (*Caricetum intricatae caricetosum*) où dominent la laîche sombre (*Carex nigra f. intricata*), le pâturin tout petit (*Poa supina*), la violette des marais (*Viola palustris*) ainsi que d'autres espèces de laîches (*C. echinata, C. ovalis, C. nevadensis* et *C. palluscens var. orophila*).
- Un marais à grassette et à scirpe cespiteux (*Pinguiculo-Trichophoretum cespitosi*) où les espèces dominantes sont : la grassette corse (*Pinguicula corsica*), le scirpe cespiteux (*Scirpus cespitosus*), la laîche sombre (*Carex nigra f. intricata*) et le pâturin tout petit (*Poa supina*).
- Une pelouse à nard (*Caricetum intricatae plantaginetosum*) ; la state herbacée est dominée par le nard (*Nardus stricta*) et la sagine corso-sarde (*Sagina pilifera*).

Ce milieu asphyxique, plus ou moins acide, est très défavorable à la présence de micro-organismes responsables de la dégradation et de la minéralisation des débris végétaux morts. La matière organique non dégradée (la tourbe) s'accumule depuis une période postérieure au retrait des derniers glaciers, soit environ douze mille ans. La couche de tourbe peut atteindre 3 à 6 mètres

d'épaisseur, le pH des horizons supérieurs est toujours acide, compris entre 5 et 5.7 (GAMISANS, 1991). Cette tourbe accumulée renferme en particulier des grains de pollen dont l'identification (au niveau générique ou spécifique), permet de reconstituer des paléo-environnements (REILLE, 1975).

Dans ses travaux sur la végétation de la Corse, GAMISANS (1991) évoque l'origine et l'évolution des groupements de pozzines.

Le retrait des glaciers des dernières phases climatiques froides a entraîné le creusement de cuvettes et la mise en place de lacs. Le processus de sédimentation, par apport d'alluvions torrentielles, se met progressivement en marche dans ces lacs. Les premiers bancs de graviers et de boues lacustres à émerger sont alors colonisés par des pelouses à grassette corse (*Pinguicula corsica*) et à scirpe cespitueux (*Scirpus cespitosus*). Une pelouse marécageuse à laîche sombre (*Carex nigra f. intricata*) s'installe ensuite peu à peu.

Dans ces lacs glaciaires, les eaux atteignant 1 à 1.5 m de profondeur sont peuplées par des potamots (*Potamogeton natans*) ; sur les bords, où la profondeur n'excède pas 20 à 30 cm, s'installent soit des peuplements de littorelles (*Littorella uniflora*) et de rubaniers (*Sparganium minimum*), soit une ceinture de trèfles d'eau (*Menyanthes trifoliata*). Ces groupements végétaux sont encore en place au lac de Ninu.

Ainsi, peu à peu, les alluvions et les pelouses qui les recouvrent gagnent du terrain sur l'eau libre. Ce processus a conduit à la formation de tourbe et parfois au morcellement du lac glaciaire en plusieurs bassins ou « pozzi » reliés entre eux par un réseau de canaux. Ce stade est bien illustré au Pozzi de Marmanu dans le massif du Renosu.

Si le processus de sédimentation et de progression de la végétation se poursuit, les « pozzi » peuvent être comblés. Certains, isolés du circuit général de l'eau courante, ne jouent plus que le rôle de mares temporaires. Lorsque le comblement est quasi complet, ils sont colonisés par la laîche sombre (*Carex nigra f. intricata*). On en arrive ainsi à un paysage d'étendues planes uniformément couvertes de végétation herbacées, où les pelouses à nard (*Nardus stricta*) sont dominantes ; quelques petits ruisselets drainant l'ensemble. Ce stade final, de l'évolution des pozzines d'origine lacustre, est bien illustré aux pozzi du plateau du Coscione.

Les ripisylves

En hydrobiologie, la prise en compte des ripisylves est indispensable car la végétation riveraine a un impact sur les composantes thermiques, chimiques et biologiques des cours d'eau.

Les feuilles en décomposition constituent l'alimentation de base des Invertébrés aquatiques détritivores (les fragmenteurs). EGGLISHAW (1968), MACAN (1974) et ORSINI (1986) ont mis en évidence des relations entre l'abondance des Invertébrés aquatiques et l'accumulation des feuilles mortes. En Corse, GAMISANS (1991) a décrit l'évolution altitudinale de la composition floristique des ripisylves.

De 0 à 100 m d'altitude :

- Les aulnaies d'embouchures de fleuves, de type ripicole (*Hyperico-Alnetum vitietosum*), bien représentées dans le Liamone et le Fangu, sont fortement anthropisées dans la plaine orientale. Les espèces arborescentes dominantes sont : l'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*), le saule cendré (*Salix cinerea*) et le laurier-sauce (*Laurus nobilis*).
- Les ripisylves à frênes et peupliers de la plaine orientale (*Hyperico-Alnetum fraxinetosum*, Gamisans 1991), installée dans le cours inférieur du Golu, du Tavignanu, de la Bravona et du Fium'Orbu, sont dégradées par l'homme. La pente faible et des rives terreuses sont propices à l'installation d'une végétation dense (Gamisans 1991). Le frêne à feuilles aiguës (*Fraxinus angustifolia subsp. oxycarpa*), l'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*), le chêne pédonculé (*Quercus rubor*), le saule cendré (*Salix cinerea*), le chêne pubescent (*Quercus pubescens*), le saule blanc (*Salix alba*), l'orme champêtre (*Ulmus minor*), le peuplier noir (*Populus nigra*) et le peuplier blanc (*Populus alba*) sont les arbres les mieux représentés.
- Les saulaies pionnières sur alluvions caillouteuses (*Dittrichio-Salicetum purpureae*, Gamisans 1991). Dans les secteurs du lit des rivières où se sont accumulés des sédiments grossiers mêlés aux sables et limons, et régulièrement remaniés par les crues, des peuplements de saules s'installent. Elles sont caractérisées par l'osier rouge (*Salix purpurea subsp. purpurea*), le saule blanc (*Salix alba*), le saule cendré (*Salix cinerea*), le saule fragile (*Salix fragilis*), le peuplier noir (*Populus nigra*), le houx (*Ilex aquifolium*), l'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*) et le figuier (*Ficus carica*).

De 100 à 800 m d'altitude :

- Les ripisylves des étages mésoméditerranéen et supraméditerranéen inférieur (*Hyperico-Alnetum glutinosae*, Gamisans 1991) où dominent, dans la strate arborescente l'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*), l'aulne cordé (*Alnus cordata*), le frêne à fleurs (*Fraxinus ornus*), le noyer (*Juglans regia*) et le figuier (*Ficus carica*) ; dans la strate arbustive : le millepertuis

à odeur de bouc (*Hypericum hircinum*), la bruyère terminale (*Erica terminalis*) et le buis (*Buxus sempervirens*).

De 700 à 1 300 m

Au-dessus de 700 m, les cours d'eau corses voient leur caractère torrentiel s'accentuer et les rives rocailleuses ou rocheuses dominent. Les ripisylves, qui ne dépassent pas 1 300 m d'altitude, y sont étroites et discontinues ; les arbres forestiers locaux (hêtre, pin laricio, sapin) atteignent le bord des cours d'eau (GAMISANS 1991).

Les ripisylves des étages supraméditerranéen et montagnard inférieur (*Hyperico-Alnetum glutinosae*) sont caractérisées par l'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*), l'aulne cordé (*Alnus cordata*), le frêne à fleurs (*Fraxinus ornus*), le houx (*Ilex aquifolium*), le hêtre (*Fagus sylvatica*), le sapin (*Abies alba*) et l'if (*Taxus baccata*) ; dans la strate arbustive les espèces les mieux représentées sont le millepertuis à odeur de bouc (*Hypericum hircinum*), la bruyère terminale (*Erica terminalis*) et l'aulne odorant (*Alnus viridis subsp. suaveolens*).

De 1 300 à 2 000 m

Au-dessus de 1 300 m d'altitude, l'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*) et l'aulne cordé (*Alnus cordata*) disparaissent. Des conditions édaphiques et thermiques défavorables semblent expliquer cette disparition. GAMISANS (1991) évoque le manque de sols hydromorphes et des températures trop basses pour expliquer la disparition des aulnes arborescents.

La végétation riveraine des torrents est dominée par l'aulne odorant (*Alnus viridis subsp. suaveolens*). Les lits rocheux ou rocailleux des torrents sont colonisés par la doronic corse (*Doronicum corsicum*) et la Narthecium de Reverchon (*Narthecium reverchoni*) tandis que les bords terreux des ruisselets et des sources portent le millepertuis corse (*Hypericum quadrangulum subsp. corsicum*) et le myosotis de Soleirol (*Myosotis soleirolii*) (GAMISANS 1991).

Au-dessus de 2 000 m

Sur les bords des ruisselets et des sources la strate muscinale est bien développée à côté de la strate herbacée où dominent la saxifrage étoilée (*Saxifraga stellaris subsp. alpigena*) et la renoncule de Marschlins (*Ranunculus marschlinsii*), espèce endémique corse (GAMISANS 1991).

2.2. Nouvelle synthèse climatique de la Corse entre 1960 et 2020

Pour réaliser cette synthèse climatique à l'échelle de la Corse, nous nous sommes rapprochés des services de Météo-France en Corse qui a mis à disposition l'ensemble des données obtenues par le système d'analyse SAFRAN (DURAND *et al.*, 1993). L'objectif est d'étudier l'évolution des précipitations mensuelles, des températures moyennes journalières et l'évolution des aires ombrothermiques en répartissant les données en plusieurs zones (i) selon un gradient altitudinal et (ii) en fonction de leur répartition spatiale.

2.2.1. La chaîne SAFRAN-ISBA-MODCOU

La chaîne SAFRAN-ISBA-MODCOU (SIM) a été développée dans le cadre d'une coopération entre le CNRM-GAME et le Centre de géosciences de Mines ParisTech. Elle simule sur la France les flux d'eau et d'énergie à la surface, ainsi que l'évolution du débit des rivières et des principales nappes. Ce modèle a été porté en 2003 dans l'environnement opérationnel de Météo-France et continue à être utilisé dans de nombreuses actions de recherche. La chaîne hydrométéorologique SIM a été validée sur l'ensemble de la France par HABETS *et al*. (2008) par comparaison à des observations quotidiennes de débit, hauteurs de nappes et hauteurs de neige sur la période 1995-2005.

La chaîne est composée de 3 modèles (Figure 22) :

- SAFRAN France est un système d'analyse à méso-échelle de variables atmosphériques près de la surface. Il utilise des observations de surface, combinées à des données d'analyse de modèles météorologiques pour produire les paramètres horaires nécessaires au fonctionnement d'ISBA au pas de temps horaire. Ces paramètres (température, humidité, vent, précipitations solides et liquides, rayonnement solaire et infrarouge incident), sont analysés par pas de 300 m d'altitude. Ils sont ensuite interpolés sur une grille de calcul régulière (8 x 8 km).
- ISBA (Interaction sol-biosphère-atmosphère) simule les échanges d'eau et d'énergie entre le sol et l'atmosphère. La version utilisée dans la chaîne SIM utilise trois couches de sol (surface, zone racinaire, zone profonde), et deux températures (température de surface globale du continuum sol-végétation et température profonde). ISBA simule l'ensemble des flux d'eau avec l'atmosphère (interception, évaporation, transpiration) et avec le sol (ruissellement des précipitations et drainage dans le sol). Son pas de temps est de 5 minutes.

- MODCOU, est un modèle hydrologique distribué. Il utilise en entrée le ruissellement et drainage d'ISBA pour calculer l'évolution des nappes (actuellement seules les nappes de la Seine et du Rhône sont représentées) et le débit des rivières (900 points simulés actuellement). Sa maille de calcul varie de 64 à 1 km en fonction de la limite des bassins versants et du réseau hydrographique. Son pas de temps est de trois heures.



Figure 22 : Diagramme de la chaîne SIM (*in* HABETS *et al*., 2008)

2.2.2. Le système d'analyse SAFRAN

Ce Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Adaptés à la Nivologie (DURAND *et al*., 1993), initialement développé au CNRM/CEN pour des besoins d'estimation opérationnelle des risques d'avalanche en zone montagneuse, est une application particulièrement bien adaptée pour alimenter les modèles de surface à base physique nécessitant des données météorologiques complètes. Il est aussi utilisé opérationnellement pour le suivi hydrologique et l'estimation des débits sur toute la France métropolitaine. Ses principales caractéristiques sont l'utilisation d'une grille non régulière et une grande flexibilité dans les domaines d'analyse et les observations utilisées ainsi que la possibilité de tourner sur de petites configurations informatiques. SAFRAN est aussi un outil de recherche et de développement qui est à la base de nombreuses études sur la climatologie et l'impact du changement climatique.

Ce système d'analyse permet de reconstruire des profils verticaux de l'atmosphère sur des zones climatiquement homogènes, à partir d'observations au sol et de produits de modèles de circulation générale à grande échelle. Ces profils sont ensuite projetés spatialement et

verticalement sur une grille régulière de 8 km sur la France. La figure 16 présente le schéma de fonctionnement de SAFRAN pour l'analyse horaire des différents paramètres atmosphériques.

Le système SAFRAN, développé à l'origine pour la prévision d'avalanches sur les Alpes (DURAND *et al.*, 2009), a été ultérieurement étendu à l'ensemble du territoire français et a fait l'objet d'une validation approfondie (LE MOIGNE, 2002 ; QUINTANA-SEGUI *et al.*, 2008). Dans le cadre du projet ClimSec, SAFRAN a été exécuté sur la période courant du 1 août 1958 au 31 juillet 2008 à partir de l'ensemble des observations au sol disponibles dans la base de données climatologique de Météo-France et des produits de réanalyse grande échelle du Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme (UPPALA *et al.*, 2005 ; BECHTOLD *et al*., 2008).

En entrée, SAFRAN utilise comme ébauche des profils verticaux provenant d'un modèle météorologique (prévu ou analysé) et de nombreuses sources d'observations, manuelles ou automatiques.

Les paramètres analysés sont :

- Température, vent, humidité au voisinage de la surface et hors des effets de couche limite ;
- Nébulosité (partielle sur 3 couches), précipitation (quantité et phase - liquide ou solide) ;
- Les autres paramètres comme les rayonnements solaires directs et diffus ou le rayonnement infrarouge descendant sont évalués à partir des variables préalablement analysées.

La première méthode d'analyse utilisée est une interpolation optimale toutes les 6 heures (sauf pour les précipitations qui restent à ce niveau en pas de 24h) avec l'ébauche du modèle météorologique (ou une climatologie pour les précipitations) et une grande partie des observations manuelles (notamment celles issues du réseau nivo-météorologique). Les valeurs au pas horaire sont ensuite obtenues par une seconde analyse de type variationnel sur ces fenêtres de 6h utilisant toute l'information disponible, notamment celle de l'observation automatique d'altitude, ainsi qu'un ajustement lié à la variation diurne de la température.

En sortie, les variables analysées ou prévues sont au pas horaire ; la principale difficulté résidant dans l'estimation horaire des précipitations ainsi que de leur phase qui est réalisée notamment par l'utilisation des paramètres de temps présent et passé des observations synoptiques et l'apport éventuel d'observations radar.

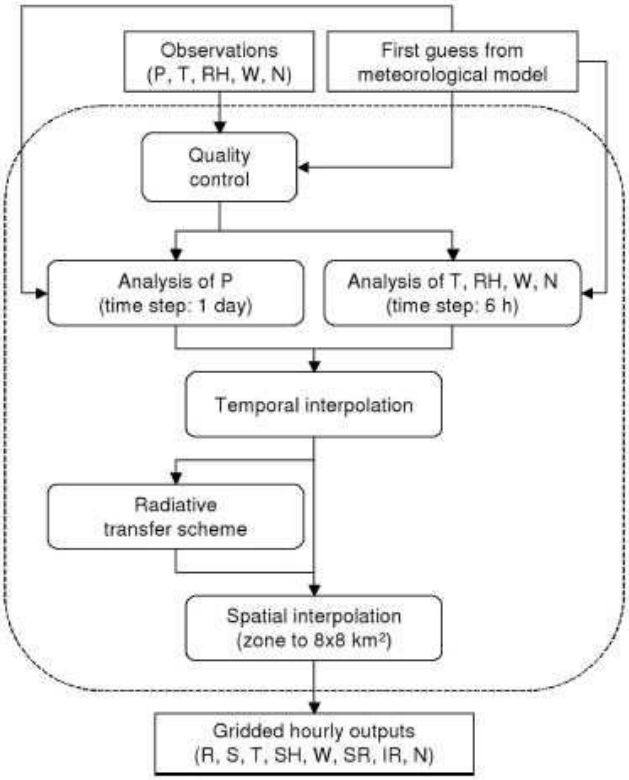


Figure 23 : Diagramme de fonctionnement de SAFRAN (adapté de QUINTANA-SEGUI, 2008)

Les variables météorologiques sont les précipitations quotidiennes (P), les lames d'eau (R), la précipitation neigeuse (S), la température de l'air (T), la vitesse du vent (W), l'humidité relative (RH), l'humidité spécifique (SH), le rayonnement solaire incident (SR), le rayonnement infrarouge incident (IR) et la nébulosité (N).

2.2.3. Le logiciel Mathematica

Mathematica est un logiciel de calcul développé par Wolfram Research en 1988. Il permet essentiellement de faire du calcul formel (manipulation d'expressions mathématiques sous forme symbolique comme des calculs de dérivées, de primitives, simplification d'expressions, etc.) et du calcul numérique (évaluation d'expressions mathématiques sous forme numérique comme des calculs des premières décimales du nombre Π, une évaluation approchée d'intégrales, etc.).

Mathematica incorpore un langage de programmation sophistiqué et permet aussi de faire des graphiques. C'est un logiciel très utilisé en enseignement, dans la recherche scientifique et dans l'industrie. Nous utiliserons ce logiciel afin de calculer les aires ombrothermiques se dessinant comme des formes géométriques libres caractérisant la période biologiquement sèche des diagrammes ombrothermiques. Pour cela nous avons considéré P comme une fonction en escalier et 2T comme une fonction linéaire par morceaux.

2.2.4. Evolution des composantes journalières entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020

En s'inspirant des constats effectués par SIMI (1964), GAMISANS (1991) ou encore BRUNO *et al.* (2001), nous proposons la répartition altitudinale suivantes pour l'ensemble des stations :

- 0 à 100 m
- 101 à 600 m
- 601 à 1 400 m
- Au-dessus de 1 400 m

En se basant sur le découpage altitudinal proposé par BRUNO *et al.* (2001), à savoir (i) 0 à 600 m, (ii) 600 à 1 500 m et (iii) au-dessus de 1 500 m, il nous serait impossible de comparer les zones de plaine ou côtières avec celles de montagne. En effet, la grande plage altitudinale de 0 à 600 m compare des zones qui ne fonctionnent pas du tout de la même manière, avec des conditions météorologiques et climatologiques très différentes (notamment aux bornes de la plage altitudinale). Afin d'amoindrir ce biais, nous utiliserons le découpage proposé ci-dessus.

Les coordonnées GPS des 142 stations ont été fournies avec l'ensemble des données. Elles correspondent au centre de symétrie du carré de 8 km de côté. Elles permettent également de connaitre l'altitude de ce point. Pour chaque année depuis 1960 jusqu'à 2020 inclus, nous avons dû classer les données journalières de température et de précipitation de chaque station selon les zones altitudinales définit supra, afin d'exploiter convenablement les données. L'objectif est de pouvoir comparer l'évolution entre 1960-1984 et 1985-2020 des :

- Nombre de jours de pluie ($P > 0$ mm)
- Nombre de jours de gel ($T.mini \leq 0$ °C)
- Nombre de jours de frais ($T.mini \leq 5$ °C)
- Nombre de jours de chauds ($T.maxi \geq 25$ °C)
- Nombre de jours de très chauds ($T.maxi \geq 30$ °C)

2.2.5. Evolution des diagrammes et des aires ombrothermiques entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020

Les données météorologiques obtenues par le système d'analyse SAFRAN (DURAND *et al*., 1993) sur toute la Corse, (142 stations réparties sur l'ensemble de l'île), ont également permis d'étudier l'évolution des diagrammes ombrothermiques et des aires ombrothermiques associées entre 1960 et 1984, période antérieure aux conséquences du changement climatique dans les cours d'eau de Corse et depuis 1985, année à partir de laquelle les cours d'eau sont soumis aux conséquences du changement en cours, mises en évidence par MORI *et al*. (2017) et ORSINI *et al*. (2017) jusqu'à 2020 inclus.

Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS & GAUSSEN (1953) a survécu à un ensemble de tentatives sur le même modèle. BIROT (1953) préférait P=4T ; P=3T fut aussi utilisé. L'utilisation des courbes P/4T, P/3T et P/2T a permis de distinguer 3 types de sécheresse : (i) atmosphérique (4T), (ii) pédologique (3T) et (iii) hydrologique (2T) (LAMBERT, 1979)

Pour PEGUY (1970), le rapport entre P et T ne suit pas une fonction linéaire. Il expose judicieusement que, pour les besoins en eau ou encore la quantité d'oxygène dissous, la différence entre 30 °C et 31 °C est bien plus importante que la différence entre 5 °C et 6 °C. Ces variations signifient qu'il y a différentes intensités à la sécheresse, et pas seulement un seuil d'apparition.

Nous retiendrons le modèle proposé par BAGNOULS & GAUSSEN (1953), comme cela est très souvent fait en écologie mais surtout car nous sommes situés en plein cœur de la mer Méditerranée. Cette méthode est applicable dans nos régions car elle correspond à des limites botaniques en milieu méditerranéen. En s'occupant de végétation méditerranéenne, GAUSSEN créa ce modèle et justifiait son utilisation dans l'espace qu'il étudiait, en raison du rôle de la durée de la saison sèche sur la végétation. WALTER (1954) précise que « le grand avantage de cette méthode est sa simplicité. En même temps, les courbes sont claires et donnent rapidement un aperçu des relations climatiques et en font une méthode remarquable. Le climat des météorologistes n'est pas le climat de la végétation. ».

En effet, la flore d'une localité est moins gênée par des changements interannuels qu'inter-saisonniers car elle développera des adaptations au fil du temps. Mais les périodes

biologiquement sèches évoluant mensuellement seront plus contraignantes et à l'origine de profonds bouleversements sur la distribution de certaines espèces.

Dans le diagramme ombrothermique, les ordonnées précipitations (de 20 en 20 mm) et les ordonnées températures (de 10 en 10 °C) sont ajustées graphiquement de sorte que P = 2T. Cela permet de représenter le déroulement annuel des précipitations, des températures et laisser apprécier le rapport entre précipitations et températures, puisque la période biologiquement sèche apparaît quand la courbe de température passe au-dessus de la courbe des précipitations.

Nous avons ainsi travaillé sur les données mensuelles de température et de précipitation pour chaque année des deux périodes retenues. Données essentielles à la création des diagrammes ombrothermiques, nécessaires à l'étude de l'évolution des aires ombrothermiques dans le temps et l'espace.

Pour les aires ombrothermiques, nous avons utilisé les mêmes données que pour le diagramme, à la différence que nous proposons une projection graphique à un seul axe pour les ordonnées, de sorte que les histogrammes de P et la courbe créée de P = 2T évoluent en fonction de l'altitude. Ainsi, il a été possible de créer une aire ombrothermique calculable lorsque la courbe de P = 2T passe sous les histogrammes des précipitations (P). L'aire de la période biologiquement sèche correspond à une forme géométrique libre définit par la surface formée par l'intersection des deux courbes (précipitations et températures moyennes). La valeur de l'aire a été calculée grâce au logiciel de calcul Mathematica. Son fonctionnement a été explicité au paragraphe 2.2.3.

En plus de la dimension temporelle, la dimension spatiale est aussi prise en compte. Plusieurs zones ont été déterminées afin de pouvoir recueillir les informations nécessaires pour répondre à certaines questions : (i) les extrémités de l'île sont-elles plus sévèrement touchées par le changement climatique ? (ii) Comment évoluent les aires ombrothermiques des zones de montagne ? (iii) L'effet versant Est/Ouest influence-t-il l'évolution des aires ombrothermiques des zones situées de part et d'autre de la barrière centrale ?

Pour tenter de répondre au mieux à ces questions, nous avons déterminé plusieurs zones qui regrouperont l'ensemble des points GPS concernés :

- Deux zones regroupant l'extrême Sud de l'île (12 points SAFRAN) ainsi que l'ensemble Cap Corse-Balagne (12 points SAFRAN). Afin d'avoir un nombre suffisant de point dans ces zones, aucune limite altitudinale n'est proposée ici.

- Une zone dont les points sont situés entre 0 et 1 400 m d'altitude dont les bassins versants coulent vers l'Ouest de la Corse (56 points SAFRAN).
- Une zone dont les points sont situés entre 0 et 1 400 m d'altitude dont les bassins versants coulent vers l'Est de la Corse (49 points SAFRAN).

Nous avons créé trois sous-ensembles pour ces deux zones :

  - Les points situés entre 0 et 100 m d'altitude,
  - Les points situés entre 101 et 600 m d'altitude,
  - Les points situés entre 601 et 1 400 m d'altitude,
- Une zone dont les points sont situés au-dessus de 1 400 m d'altitude parcourant une très grande partie de la barrière centrale (13 points SAFRAN).

La Figure 24 présente une carte de la Corse avec les différentes zones déterminées pour mener à bien cette étude comparative. L'ensemble des points se trouvant dans ces zones ont été regroupés comme expliqué ci-dessus. Leurs données mensuelles ont été analysées pour les deux périodes 1960-1984 et 1985-2020.

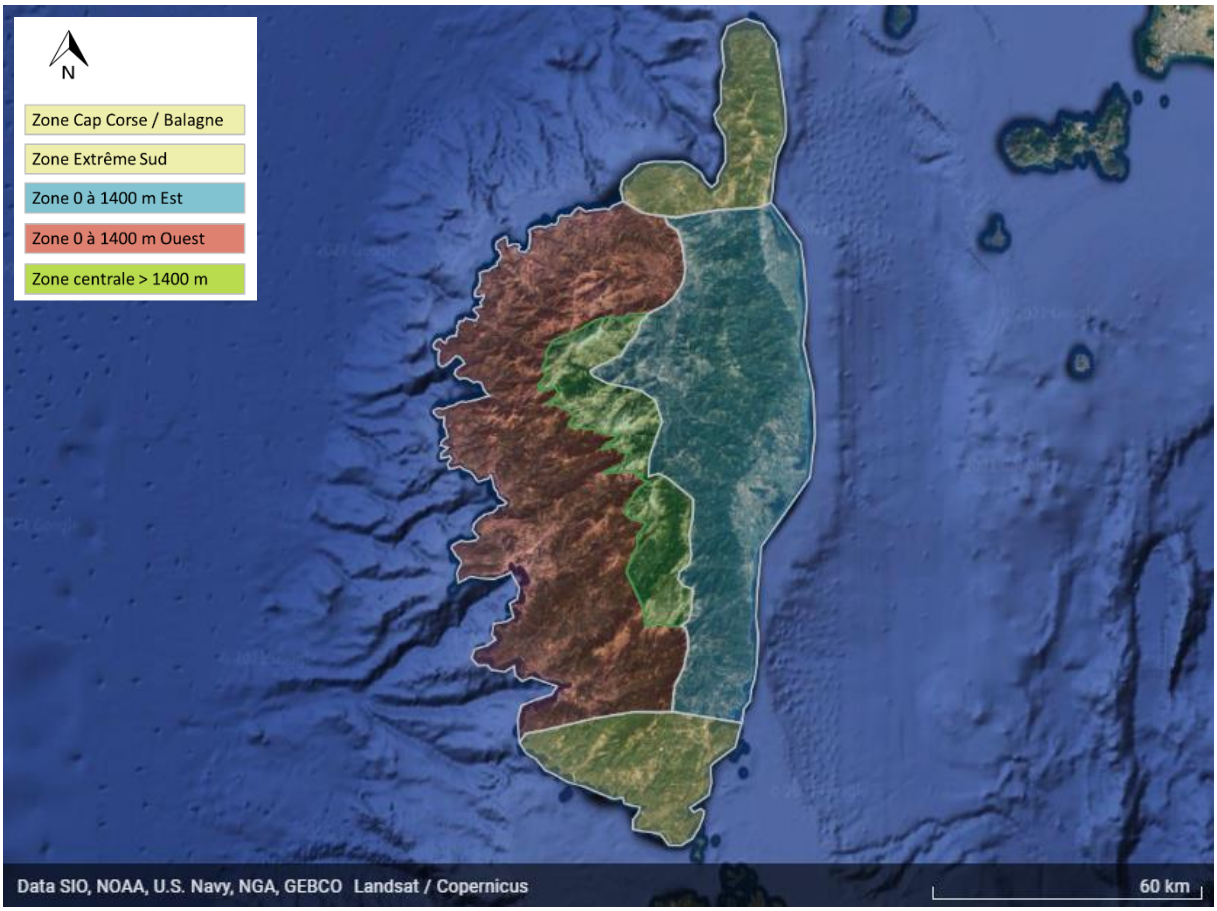


Figure 24 : Regroupement des stations SAFRAN selon une classification spatiale et altitudinale

2.3. Les principaux types de cours d'eau en Corse

2.3.1. Typologie des cours d'eau de Corse selon ORSINI (2008)

Certains dictionnaires définissent le mot typologie de la sorte : « démarche, souvent scientifique fondée sur une étude, consistant à définir un certain nombre de types afin de faciliter l'analyse, la classification et l'étude de réalités complexes » ou encore « classification des types qui s'exerce aussi bien sur les individus humains (envisagés du point de vue physique ou psychologique) que sur les espèces animales ou même les plantes et les simples phénomènes de la nature ».

Dans ces travaux de recherche, ORSINI (2008) apporte une contribution à la connaissance du fonctionnement du réseau hydrographique de la Corse intéressante. Il y propose une série de typologies des cours d'eau de Corse basées sur différents compartiments. Dans le compartiment abiotique, l'essentiel des paramètres morpho-topographiques de plusieurs cours d'eau de Corse est analysé. Les caractéristiques hydrologiques ont aussi fait l'objet d'un traitement statistique afin de classer les cours d'eau étudiés par leurs caractéristiques hydrologiques que leur confèrent leurs bassins-versants. La physico-chimie de l'eau est également étudiée afin de proposer une typologie en se basant sur les corrélations obtenues.

2.3.1.1. Typologie basée sur les paramètres morpho-topographiques

Les caractéristiques morpho-topographiques des principaux cours d'eau de Corse (longueur, superficie du bassin versant, altitudes de la source et du point culminant, pente) ont été relevées par ORSINI (2008). Ces données ont été traitées par une Analyse en Composantes Principales (ACP). La surface cumulée des bassins versants des 24 rivières retenues dans ces travaux représente près de 70 % de la superficie de l'île. Cette typologie est donc relativement représentative de l'ensemble de l'île. La matrice des données prend en compte des informations relatives à la géologie du bassin versant et à la direction de l'écoulement des eaux.

Lors de l'analyse des contributions sur les axes, il y révèle sur le premier axe une opposition entre les grands fleuves de Corse, dont la longueur, la surface du bassin versant et l'altitude de la source sont élevées mais la pente faible, et les cours d'eau plus petits mais présentant des pentes plus fortes. Sur le second axe, les cours d'eau coulant sur du granite (dans

la direction de l'Ouest) s'opposent aux cours d'eau les cours d'eau de la Corse schisteuse, acheminant les eaux vers la côte Est.

Cette analyse multivariée permet de distinguer, en Corse, six principaux types de cours d'eau, que l'on peut caractériser de la sorte :

- Groupe 1 : Le Golu et le Tavignanu sont les fleuves les plus importants de l'île tant par leur longueur que par la superficie de leur bassin versant. Ils prennent naissance sur le versant Est de la Corse hercynienne ; l'altitude du point culminant de chaque bassin versant est très élevée (2 622 et 2 707 m). Ces cours d'eau traversent ensuite la dépression centrale, puis les schistes et les roches vertes de la Corse alpine et enfin les terrains de la plaine orientale avant de se jeter dans la mer Tyrrhénienne. La pente moyenne est d'environ 2 % ; la faible pente du cours inférieur (0,3 à 0,4 %) traduit la présence d'une plaine alluviale sur les terrains sédimentaires de la plaine orientale.
    - Le Fium'Orbu, comme le Golu et le Tavignanu, traverse, d'Ouest en Est, les quatre unités géologiques. Le point culminant du bassin versant est de 2 352 m, son parcours de 46 km (pente moyenne de 3,8 %) se finit dans la mer Tyrrhénienne.
- Groupe 2 : Le Travu, la Solenzara, l'Osu et le Cavu prennent naissance sur le versant Est de la Corse hercynienne. Le substrat dominant est le granite. L'altitude du point culminant du bassin versant est élevée (de 1 377 m à 2 134 m), la longueur est comprise entre 21 et 32 km. La pente moyenne est comprise entre 4,3 et 6,3 %.
- Groupe 3 : Le Taravu, le Rizzanese, la Gravona, le Prunelli et le Liamone sont les cours d'eau majeurs du versant Ouest de la Corse hercynienne (41 à 65 km de long et 276 à 490 km² de bassin versant). La pente moyenne varie de 2,2 à 4,4 % ; l'altitude du point culminant du bassin versant, où dominent les granites, est élevée (de 2 041 m à 2 352 m).

Les groupes 4 et 5 comprennent les petites rivières du versant Ouest de la Corse hercynienne où dominent les granites. La longueur de ces cours d'eau varie de 18 à 33 km, la superficie des bassins versants n'excède pas les 250 km².

- Groupe 4 : L'Alisu, l'Ortolu, l'Ostriconi et le Reginu présentent les caractéristiques suivantes : altitude du point culminant (1 314 m à 1 680 m), pente moyenne (3,1 à 5,6 %), pente du cours inférieur (0,3 à 0,8 %).
- Groupe 5 : Le Fangu, la Figarella et le Portu se distinguent des cours d'eau du groupe 4 par (i) une altitude élevée du point culminant du bassin versant (2 108 m à 2 547 m), (ii)

une pente moyenne élevée (6,3 à 9,1 %), (iii) une pente du cours supérieur très importante (10,4 à 25,3 %) et (iv) la présence de rhyolites dans le bassin versant.

- Groupe 6 : L'Alisgiani, le Bivincu, la Bravona et le Fium'Altu sont les cours d'eau marquants de la Corse alpine où dominent les schistes et les roches vertes. Les caractéristiques principales sont les suivantes : longueur (24 à 37 km), superficie du bassin versant (70 à 180 km²), altitude du point culminant (1 469 m à 1 767 m), pente moyenne (4,1 à 5,2 %).
    - Le Luri est une petite rivière du cap Corse de 11 km de long qui se distingue des cours d'eau du groupe 6 par une pente du cours supérieur élevée (16,7 %)

Grâce au traitement informatique des données relatives aux principaux cours d'eau de Corse, ORSINI (2008) propose une ébauche de typologie présentée dans la Figure 25.

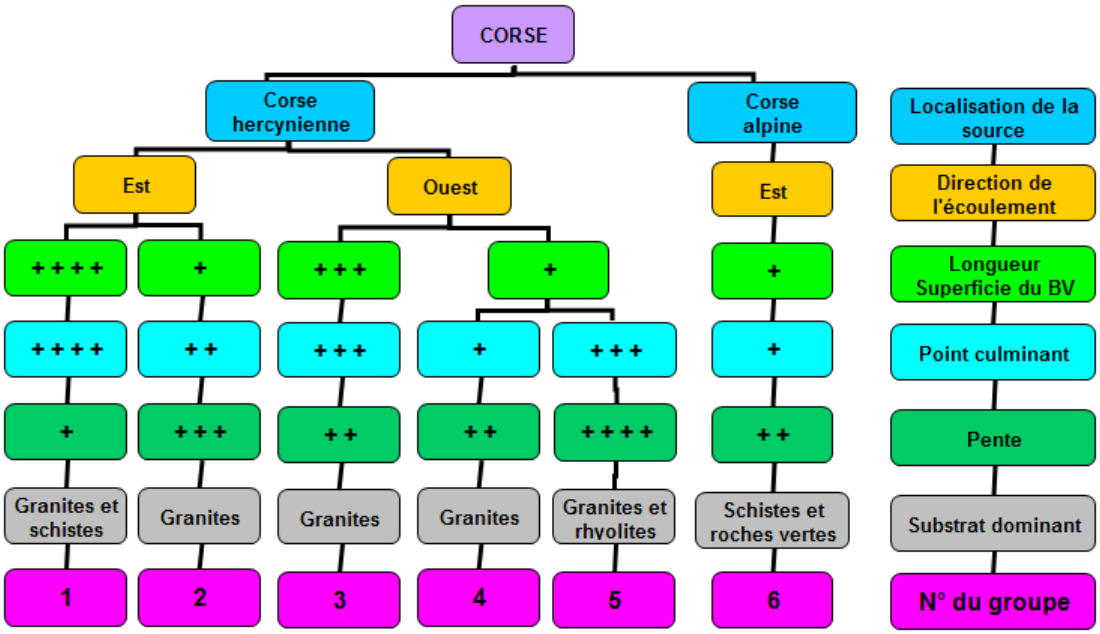


Figure 25 : Présentation synthétique des cours d'eau de Corse (*in* ORSINI, 2008)

Les cours d'eau de la Corse hercynienne coulent soit vers l'Est, soit vers l'Ouest. Sur la façade Est on peut distinguer deux types de cours d'eau, (i) les grands fleuves de l'île qui traversent la dépression centrale puis les schistes et les roches vertes de la Corse alpine et enfin la plaine orientale et (ii) des rivières de caractéristiques morphologiques plus réduites qui coulent uniquement sur des granites. Sur les versants Ouest, on peut distinguer deux types de cours d'eau, les grandes rivières (substrat granitique) et les cours d'eau plus petits. Ces derniers peuvent se séparer en deux groupes en fonction de l'altitude du point culminant du bassin versant. Lorsque cette dernière est relativement peu élevée, la pente est relativement faible ; ce type de rivière

coule sur les granites. Si le point culminant est élevé, la pente est forte ; le bassin versant est formé de granites et de rhyolites.

Les principaux cours d'eau qui prennent naissance dans la Corse alpine se jettent tous en Méditerranée sur la côte Est (exceptés quelques petits ruisseaux majoritairement temporaires du Cap Corse qui coulent vers la façade Ouest). Ils sont de dimensions faibles et coulent sur les schistes et les roches vertes.

2.3.1.2. Typologie basée sur les paramètres hydrologiques

Les données hydrologiques des principaux cours d'eau de Corse ont été traitées également par une Analyse en Composantes Principales. Les valeurs du débit moyen annuel, (noté QM et exprimé en $m^3.s^{-1}$) sont compilées sur une période variant de 15 à 45 ans (en fonction des données existantes). Afin de comparer des cours d'eau de tailles différentes, ORSINI (2008) a également calculé le débit spécifique moyen annuel (q en $l.s^{-1}.km^{-2}$).

La valeur du coefficient mensuel de débit (C1, C2, …, C12), qui est le rapport entre le débit spécifique moyen mensuel et le débit spécifique moyen annuel, permet de quantifier l'importance d'un mois sur l'année. La matrice des données comprend aussi des informations relatives aux caractéristiques morpho-topographiques des cours d'eau (longueur, surface du bassin versant et altitude du point culminant) et à la direction de l'écoulement des eaux.

Cette analyse multivariée permet de distinguer, en Corse, cinq principaux types de cours d'eau, que l'on peut caractériser de la sorte :

- Groupe 1 : Le Golu et le Tavignanu sont les fleuves les plus importants de Corse (longueur et surface du bassin versant importantes). Le débit moyen (QM) est égal à 13,40 $m^3.s^{-1}$ ± 1,41, le débit spécifique moyen annuel (q) est de 18,60 $l.s^{-1}.km^{-2}$ ± 431. Le coefficient mensuel de débit est élevé en mai (C5 = 1,45 ± 0,07), il traduit l'importance de la fonte des neiges dans le fonctionnement hydrologique de ces fleuves.
- Groupe 2 : La Gravona, le Liamone, le Rizzanese et le Taravu sont les grands cours d'eau du versant Ouest de la Corse granitique (longueur = 51,50 km ± 8,58). Si le débit moyen est deux fois moins élevé par rapport aux fleuves précédents (QM = 6,44 $m^3.s^{-1}$ ± 2,40), le débit spécifique annuel est 1,5 fois plus important (q = 26,67 $l.s^{-1}.km^{-2}$ ± 3,27). Ces chiffres traduisent l'importance de l'exposition du bassin versant sur le régime hydrologique des cours d'eau de l'île.

- Groupe 3 : Le Fangu et le Portu sont des petits cours d'eau de la façade Ouest de la Corse (longueur = 23,45 km ± 0,78 ; QM = 2,14 $m^3.s^{-1}$ ± 0,42), mais le débit spécifique annuel (q = 18,69 $l.s^{-1}.km^{-2}$ ± 3,52) est aussi élevé que celui du Golu et du Tavignanu. La valeur faible du coefficient mensuel de débit en janvier (C1 = 1,30 ± 0,05) traduit l'importance de l'étiage hivernal.
- Groupe 4 : Le Bivincu, la Bravona et le Fium'Altu prennent naissance sur les hauteurs de la Corse alpine et se jettent en Méditerranée sur la côte Est de l'île. Ces modestes cours d'eau (longueur = 27,42 km ± 3,09 ; QM = 0,89 $m^3.s^{-1}$ ± 0,35 ; q = 11,49 $l.s^{-1}.km^{-2}$ ± 0,20) présentent un coefficient mensuel de débit élevé en mars (C3 = 1,80 ± 0,11) à mettre en relation avec les situations dites de « retour d'Est », fréquentes en hiver sur les versants orientaux.
- Groupe 5 : L'Alisu, le Luri et l'Ortolu sont des petits cours d'eau des extrémités de l'île, secteurs les moins arrosés. Le débit moyen annuel et le débit spécifique annuel sont faibles (QM = 0,22 $m^3.s^{-1}$ ± 0.03 et q = 9,25 $l.s^{-1}.km^{-2}$ ± 2,53). Ces cours d'eau n'ont pas d'étiage hivernal (C1 = 2,19 ± 0,37) et l'étiage estival est très marqué (C9 = 0,14 ± 0,03) ; ces caractéristiques sont celles du régime pluvial méditerranéen.

2.3.1.3. Typologie basée sur les paramètres physico-chimiques

En Corse, la diversité et la complexité de la nature géologique se traduisent par la présence de roches diverses : granites, diorites, gabbros, rhyolithes, ophiolites, schistes sériciteux, prasinites, cipolins, quartzites, serpentines, gneiss, calcaires, marnes. La charge ionique des eaux courantes peut être acquise de multiples façons, la plus importante étant l'altération des minéraux constitutifs des roches par l'acide carbonique de l'atmosphère (POURRIOT & MEYBECK, 1995) et les acides organiques des eaux de percolation des sols (Berner & Berner, 1987). L'altération des roches conduit généralement à des eaux bicarbonatées, même si celles-ci ne sont pas calcaires ou dolomitiques (POURRIOT & MEYBECK, 1995).

Pour mener à bien cet essai de typologie, ORSINI (2008) a mesuré le pH et la conductivité des eaux sur le terrain (à l'aide d'un pHmètre et d'un conductimètre). Le calcium, le magnésium et les sulfates sont dosés par absorption atomique ; le sodium, le potassium et la silice par spectrométrie de flamme. La méthode volumétrique de Charpentier-Volhard est utilisée pour déterminer la concentration en chlorures. L'alcalinité bicarbonique des eaux est obtenue par titrimétrie.

Les analyses physico-chimiques des eaux concernent 73 stations réparties sur 25 cours d'eau de Corse étudiés depuis l'année 1984. Pour chaque station, la valeur utilisée pour les paramètres retenus, correspond à la moyenne obtenue à partir de plusieurs analyses : 14 pour les stations du Rizzanese, de la Restonica, de l'Orta, du Zingaghju, 12 pour la Bravona et la Presa, 5 pour le Golu et 3 pour les autres stations soit au total 465 analyses. Les résultats obtenus ont été traités par l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

Cette analyse multivariée permet de distinguer, en Corse, quatre principaux types de cours d'eau, que l'on peut caractériser de la sorte :

- Le groupe 1 comprend les stations du cours supérieur du Tavignanu et de ses affluents (Restonica et Vecchiu) ; du Golu et de l'Ascu (un de ses affluents) ; du cours supérieur du Fium'Orbu. Ces cours d'eau, prenant naissance sur le versant Est de la Corse hercynienne, coulent sur des terrains granitiques. Les eaux y sont faiblement minéralisées (la conductivité moyenne est de 46,3 $\mu S.cm^{-1}$ ± 13,9) et légèrement acides (pH = 6,5 ± 0,6) ; ces valeurs se situent respectivement dans les classes 2 (minéralisation très faible) et 3 (acidité faible) de NISBET & VERNEAUX (1970).
- Le groupe 2 rassemble les rivières qui traversent les granites du versant Ouest de la Corse hercynienne (Gravona, Fangu, Taravu, Rizzanese et ses affluents). Les eaux sont légèrement plus minéralisées que dans le groupe 1, la conductivité moyenne est de 89,6 $\mu S.cm^{-1}$ ± 23,8 (classe 3 [minéralisation faible] de NISBET & VERNEAUX (1970), et le pH est proche de la neutralité (7,0 ± 0,3).

Les concentrations en chlorures (14,8 $mg.l^{-1}$ ± 3,0), en sodium (9,1 $mg.l^{-1}$ ± 2,5) et en magnésium (2,4 $mg.l^{-1}$ ± 0,7) sont deux fois plus élevées que celles notées dans les cours d'eau du groupe 1. Ces valeurs résultent des apports atmosphériques d'origine marine sur la façade occidentale de l'île, marquée par le flux d'ouest. Les aérosols marins sont une source importante de Na^+, Mg^{2+}, et Cl^- sur les bassins côtiers (POURRIOT & MEYBECK, 1995). L'influence marine se traduit donc par une modification de la composition ionique de l'eau des rivières des versants granitiques occidentaux de la Corse.

- Le groupe 3 est composé de deux types de cours d'eau : (i) ceux qui ont leur source dans les granites de la Corse hercynienne et qui traversent les schistes de la Corse alpine (cours moyen du Tavignanu et deux affluents l'Orta et le Zingaghju, cours inférieur du Fium'Orbu) et (ii) les rivières qui prennent naissance sur les schistes comme le Bivincu, le Fium'Altu, le cours supérieur et moyen de la Bravona (et son affluent majeur, la

Presa). Les eaux sont bien minéralisées (conduct. = 218,6 $\mu S.cm^{-1}$ ± 71,0) et légèrement alcalines (pH = 7,9 ± 0,3) ; ces valeurs se situent respectivement dans les classes 5 de la minéralisation (assez forte) et 5 de l'alcalinité (faible) de NISBET & VERNEAUX (1970).

La composition chimique de l'eau est essentiellement influencée par la nature géologique du substrat ; les concentrations en HCO_3^- (122,9 $mg.l^{-1}$ ± 58,1) et en Ca^{2+} (30,2 $mg.l^{-1}$ ± 17,1) sont six fois supérieures à celles relevées en zone granitique. La présence de calcschistes, formations riches en carbonate de calcium et caractéristiques des schistes lustrés, explique ces teneurs plus élevées.

Dans le ruisseau de Zingaghju (affluent du Tavignanu) la présence d'affleurements calcaires se traduit par une valeur de la conductivité des eaux d'environ 600 $\mu S.cm^{-1}$.

- Le groupe 4 comprend le cours inférieur du Tavignanu et de la Bravona, ainsi que des cours d'eau mineurs de la Corse alpine (Bellu Russignulu, Bucatoghju, Chebbia, Gaglia, Micole, Orsaticcia, Querciolu). Ces rivières coulent sur les terrains sédimentaires de la plaine orientale. Les eaux sont très minéralisées (conduct. = 301,2 $\mu S.cm^{-2}$ ± 36,1) et légèrement alcalines (pH = 8,1 ± 0,3), la valeur de la conductivité correspond à la classe 6 (minéralisation forte) de NISBET & VERNEAUX (1970). Les concentrations en HCO_3^- (195,4 $mg.l^{-1}$ ± 34,4) et en Ca^{2+} (57,6 $mg.l^{-1}$ ± 9,9) traduisent l'importance des calcschistes et des marnes dans les terrains traversés.

Les teneurs de l'eau en chlorures (16,4 $mg.l^{-1}$ ± 2,9) et en sodium (8,0 $mg.l^{-1}$ ± 2,3) résultent, dans ce secteur de l'île, plus de l'activité humaine que des aérosols marins. En effet, le rapport $[Cl^-]/[Na^+]$ est égal à 2,05 alors que pour (i) l'eau de mer, (ii) le Cusson (ruisseau des landes influencé par les apports marins, MEYBECK *et al.*, 1992) et (iii) les cours d'eau du groupe 1 (versant Ouest), les valeurs sont respectivement de 1,79, 1,81 et 1,63.

NISBET & VERNEAUX (1970) ont constaté, depuis les années 60, une augmentation de la teneur en chlorures dans la majorité des cours d'eau français, en relation avec le degré d'eutrophisation lié à l'anthropisation. En aval des zones urbanisées brésiliennes, BIGGS *et al.* (2002) notent une augmentation des teneurs en chlorures, en sulfates et en sodium de l'eau de l'Amazone.

2.3.2. Essai d'une nouvelle typologie des cours d'eau de Corse

Les travaux explicités dans la partie précédente ont servi de base de travail pour regrouper de manière logique, factuelle et non aléatoire, les différents cours d'eau de l'île. Il s'avère que certains cours d'eau se classent de manière différente en fonction du compartiment étudié. Certains sont à cheval entre plusieurs typologies sans toutefois y être intégrés de manière franche. Ces mêmes raisons nous ont poussés à mettre en place un travail de réflexion comparative entre ces différentes typologies proposées par ORSINI (2008).

L'objectif est de réussir à regrouper un maximum de cours d'eau en évitant d'en isoler certains ou à l'inverse de regrouper certaines rivières en se basant sur des typologies ne prenant en considération uniquement la pente, ou le rapport distance à la source / longueur, ou d'autres compartiments. Le relief si chaotique de la Corse, sa grande barrière centrale bloquant les apports d'Ouest, sa diversité géologique, son hydrodynamisme évoluant différemment selon la direction d'écoulement des eaux… sont autant de paramètres différents qui confèrent des caractéristiques différentes aux cours d'eau qui y sont soumis.

En synthétisant les résultats obtenus sur les typologies se basant sur les paramètres morpho-topographiques, physico-chimiques et hydrologiques, nous proposons une nouvelle typologie faisant apparaitre des groupements de cours d'eau différents, tout en gardant la rigueur de classification obtenue grâce au traitement statistique des données par ACP.

2.4. Les données faunistiques

2.4.1. Les inventaires piscicoles mis à contribution

Un travail de recherche et de compilation de l'ensemble des données existantes a été effectué dans le but de créer une matrice les regroupant toutes. Un inventaire complet avec l'ensemble des résultats des différents recensements piscicoles réalisés par des prestataires où gestionnaires différents a été créé. Ainsi et naturellement, l'intégralité des résultats de pêches électriques de la FCPPMA ont été mis à contribution. Un nombre considérable d'inventaires réalisés par l'ONEMA (nouvellement Office Français de la Biodiversité) en Corse ont été mis à disposition chaleureusement. Certains bureaux d'études environnementales ont également mis à disposition leurs inventaires effectués sur des cours d'eau dont la FCPPMA est propriétaire des droits de pêche. Un travail de compilation et d'uniformisation des données a donc été lancé. Certains paramètres mésologiques étaient absents des inventaires. Nous avons donc comblé ces lacunes par un travail de bibliographie quand cela suffisait mais nous avons

également complété certaines lacunes par des observations et des mesures effectuées sur le terrain.

2.4.2. Les recensements piscicoles complémentaires

Malgré un nombre important de stations inventoriées au cours de ces décennies d'étude, les différents gestionnaires n'ont pas pu échantillonner l'intégralité des cours d'eau de Corse, notamment les zones les moins accessibles. Une fois les différents inventaires compilés dans une seule et même matrice, des lacunes de recensement piscicole dans certaines zones de Corse ont été mises en évidence. Une grande partie de ces lacunes a été comblée en effectuant des pêches électriques supplémentaires là où nous manquions d'information. Cela concernait principalement des zones de montagne. Nous avons ciblé ces cours d'eau et déterminer la localisation des stations de pêche électrique en fonction des contraintes du terrain. L'accessibilité de la station de pêche avec du matériel lourd et volumineux a été la première des contraintes, ainsi que la pertinence de la localisation de la station pour l'étude. Certaines pêches devaient être effectuées en altitude. L'accessibilité du cours supérieur des rivières corses n'étant pas simple en règle générale, cela rajoutait une contrainte supplémentaire pour trouver des stations pertinentes.

2.4.3. Méthode de prélèvement

Afin d'étudier de manière précise la structure du peuplement piscicole des stations choisies, nous avons compilé tous les résultats disponibles de tous les recensements existants depuis l'année 1988. Ces données ont été mises à disposition surtout par la FCPPMA et l'Office Français de la Biodiversité. Ces très nombreux inventaires sont répartis un peu partout sur l'ensemble du territoire. Ils intègrent un recul temporel conséquent et nécessaire à une bonne prise en compte des évolutions dans le temps du peuplement piscicole.

Des lacunes existaient, notamment spatiales car aucun recensement n'avait été effectué jusqu'à ce jour. Cela concernait essentiellement le haut des bassins versants, la partie la plus montagnarde des cours d'eau étudiés. En fonction de l'accessibilité par la route et des données manquantes, nous avons effectué des recensements supplémentaires afin de compenser ce manque de données.

Les stations ont été prospectées sur une longueur égale à 20 fois la largeur moyenne afin de rendre compte du peuplement et se sont déroulées de l'aval vers l'amont. Ces recensements pratiqués par les salariés de la FCPPMA et ses partenaires répondent aux contraintes

réglementaires encadrant la pratique de la pêche à l'électricité (arrêté ministériel du 2 février 1989 et circulaire CSP n°008/2000 du 23 octobre 2000) qui imposent notamment l'utilisation de matériel conforme, ainsi qu'un nombre minimum de personnes pour assurer la sécurité de la zone de prélèvements. La FCPPMA s'est également appuyée sur les préconisations du « Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité » (ONEMA, 2012).

Le matériel utilisé est le Héron® de Dream Electronique, une société française basée à Pessac. Les prélèvements ont été effectués en appliquant la norme d'échantillonnage NF EN 14011 - Echantillonnage de poissons à électricité T90-358. C'est un appareil de pêche à l'électricité, dont les réglages permettent de travailler à l'électrode dans des eaux allant de 15 à 2 000 $\mu S.cm^{-1}$, c'est-à-dire, toutes les eaux douces.

Un générateur produit un courant continu d'intensité réglable entre 170 et 1 000 volts. La phase négative est mise à l'eau via une grille métallique (cathode). La phase positive est connectée à une anode de pêche (manche isolant terminé par un anneau d'acier inoxydable), qui va être manipulée par un opérateur.

Une fois plongée dans l'eau, l'anode ferme le circuit électrique et le phénomène de pêche se produit. Un champ électrique à ondes sphériques d'intensité décroissante à mesure que l'on s'en éloigne, va rayonner autour de l'anode et influencer le comportement de tout poisson se trouvant dans le champ. Les terminaisons nerveuses présentes sur les flancs des poissons (les lignes latérales) sont des récepteurs sensibles à ce stimulus. La différence de potentiel appliquée à ces lignes latérales va déterminer une modification de comportement chez le poisson, qui va nager vers le gradient de potentiel le plus élevé. C'est ce que l'on appelle la nage forcée ou galvanotaxie ou encore réaction anodique. Une fois arrivé à proximité de l'anode, là où le champ électrique est le plus élevé, le poisson entre en électronarcose (une sorte de perte de connaissance) et est capturé rapidement dans une épuisette.

Une fois qu'il n'est plus soumis au champ électrique, le poisson recouvre sa mobilité très rapidement et ne garde aucune séquelle. Au cours de la réaction anodique, les muscles du poisson se contractent et le poisson s'élève automatiquement. Si autour de l'anode, la tension est supérieure à la tension critique, le poisson ne peut pas atteindre l'anode car il est en état de choc. Dans ce cas, il revient à la surface ou il coule. Pour éviter une telle situation, on règle la tension en modifiant la distance entre la cathode et l'anode.

La pêche électrique est réalisée de l'aval vers l'amont, avec une seule électrode qui balaye la totalité de la surface échantillonnée sur un seul passage. Deux ou trois épuisettes

permettent de recueillir les poissons avant de les stocker dans des viviers distincts. Les individus récupérés lors de la pêche ont été identifiés, comptabilisés, mesurés et pesés avant une étape de tranquillisation en vivier immergés et enfin leur remise en liberté.

Biométrie

La phase de biométrie correspond à l'identification des poissons à l'espèce et au relevé des mensurations (taille et poids) de chaque individu. Pour les espèces à très forts effectifs, celles-ci seront pesées par lots. Afin de faciliter la manipulation des anguilles (*A. anguilla*), une solution d'eugénol est utilisée comme anesthésiant. A la fin de chaque pêche, tous les poissons sont relâchés vivants sur le site de capture. Les poissons anesthésiés sont laissés dans l'eau douce suffisamment longtemps pour qu'ils puissent nager de nouveau efficacement sans perte d'équilibre.

2.5. Vitesse de croissance des populations de truite commune des cours d'eau de Corse

2.5.1. Comparaison de deux méthodes d'étude des classes d'âges

Afin de connaitre les classes d'âge des individus capturés lors de recensements piscicoles par pêche électrique, il est possible d'utiliser plusieurs méthodes. Nous présenterons et comparerons deux méthodes différentes, la scalimétrie et la méthode du polygone des fréquences cumulées croissantes

La scalimétrie :

Une étude scalimétrique permet de déterminer l'âge des poissons à partir de leurs écailles, plus précisément à partir des stries de croissance qu'elles affichent. Les écailles évoluent en effet en même temps que l'individu par adjonction de couches concentriques. Ainsi, les rythmes saisonniers de croissance se traduisent sur les écailles. En période de forte croissance, les crêtes circulaires, appelées *circuli*, formées sur l'écaille sont espacées et en période de faible croissance hivernale, elles se resserrent, constituant un anneau hivernal ou *annulus*. C'est en comptant ces anneaux que l'on peut donner l'âge du poisson.

Les écailles sont prélevées après anesthésie des individus capturés par pêche électrique. La zone de prélèvement se situe généralement pour la truite commune de part et d'autre de la ligne latérale et comprise entre l'arrière de la nageoire dorsale et l'avant de la nageoire anale

(ECOGEA, 2011). Un antiseptique local cicatrisant est appliqué au niveau de la zone prélevée de chaque poisson.

Une étude scalimétrique sur les truites de Corse commandée par la FCPPMA, dont les résultats ont été mis à disposition permettra de récupérer des classes d'âge déterminé par scalimétrie au niveau de certaines réserves temporaires de pêche (RTP). Nous disposons également des recensements de contrôle des effectifs effectués au niveaux de ces tronçons classés réserve à savoir (i) le Sant'Antone en 2011 (ii) ; l'Ese en 2011 ; (iii) le Veraculongu en 2011 ; (iv) les Pozzi de Marmanu en 2011 ; (v) le Chjuvone en 2011 ; et pourront ainsi comparer la méthode scalimétrique avec la méthode du polygone des fréquences cumulées croissantes

Le polygone des fréquences cumulées :

Les données de mensurations individuelles ont permis de déterminer les classes d'âge des individus capturés, par la méthode du polygone des fréquences cumulées croissantes. La distribution des tailles d'une population étant formée de l'addition de plusieurs lois normales (une par cohortes), le graphique des fréquences cumulées croissantes fait apparaître plusieurs segments de droites séparés par des décrochements, correspondant chacun à la limite entre deux cohortes (ORSINI, 2020). Nous avons donc repéré les décrochements et en avons déduit les cohortes supposées et les classes d'âge correspondantes.

2.5.2. Détermination des classes d'âges par les polygones des fréquences cumulées croissantes

La proposition d'une nouvelle typologie des cours d'eau de Corse se basant sur la comparaison des typologies proposées par ORSINI (2008) permet de regrouper l'ensemble des stations d'inventaire piscicole en sous-groupes cohérents. Ces regroupements ont servi de base pour développer un outil d'aide à la décision, mais aussi pour pouvoir comparer certaines caractéristiques entre elles à l'échelle des stations. A altitude égale, les différentes stations d'un même groupe sont censées comporter de fortes similitudes, notamment d'ordre morpho-topographique ainsi que sur la chimie des eaux. Ainsi, au sein d'un même groupe typologique, les vitesses de croissance d'individus de la même espèce devraient être sensiblement identiques. Pour chaque recensement de chaque groupe, nous avons déterminé les classes d'âges des truites communes (*S. trutta*), d'anguille européenne (*A. anguilla*) et de blennie fluviatile (*S. fluviatilis*). Une comparaison de ces vitesses de croissance est proposée pour certaines stations ayant des recensements nous permettant d'intégrer la dimension spatiale et temporelle.

2.5.3. Comparaison de la vitesse de croissance de la truite commune

Une comparaison est proposée à altitude proche, dans des stations se situant dans des groupes complètement différents, afin d'y étudier les variations spatiales de la vitesse de croissance des truites communes (*S. trutta)*. Puisque les différentes caractéristiques de ces cours d'eau ont permis de les opposer, il était nécessaire d'opposer également les classes d'âge de truite commune (*S. trutta*) des stations se situant dans des groupes différents.

Les limites inférieures et supérieures de la taille des individus recensés pour chaque année sont relevées par la méthode des polygones de fréquence cumulées croissantes. Ces deux limites forment une classe de taille donnant l'âge des individus de chaque recensement. La moyenne des valeurs obtenues est calculée. L'écart entre chaque limite est quantifié et renseigne sur la différence de taille des individus de même âge pour ces deux stations afin de savoir si la localisation spatiale a un effet sur les vitesses de croissance de la truite commune (*S. trutta*).

Une étude comparative et évolutive de la vitesse de croissance de cette espèce est également proposée en prenant en considération la dimension temporelle. En regroupant l'ensemble de toute les données existantes et disponibles, nous avons pu compiler un nombre conséquent de données quantitatives sur les poissons d'eau douce de Corse. Pour certaines de ces stations de recensement, nous disposons de plusieurs séries de données s'étalant sur environ 10 ans. La plus longue série concerne 19 années consécutives de recensement par pêche électrique. Nous avons ainsi pu reconstituer une population virtuelle pour les stations concernées en scindant en plusieurs périodes l'intégralité du recul temporel. Le nombre d'individu de chaque taille a été cumulé pour reconstituer cette population virtuelle. En moyenne, la durée des périodes est comprise entre 6 et 7 ans. Pour chaque période, un polygone des fréquences cumulées croissantes est proposé et interprété.

2.6. Développement d'un outil d'aide à la décision

Certains auteurs ont clairement démontré l'importance de la prise en compte de variables locales qui influent de manière fondamentale sur la distribution des différentes espèces inféodées au milieu naturel (JACKSON *et al*., 2001 ; ORSINI, 2008 ; TOUSSAINT, 2016). Les cours d'eau sont bien évidemment assujettis à cette règle. La partie la plus appliquée de ces travaux de recherche consiste en l'élaboration d'un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires des cours d'eau de Corse, applicable dans ces derniers.

Afin de mettre en place une gestion efficace des ressources piscicoles et des milieux aquatiques dans ce contexte contraignant de changement et d'adaptation, la nécessité d'améliorer les connaissances et d'affiner les modèles déjà utilisés est une priorité. Guider au mieux les gestionnaires et décideurs vers une gestion optimale, en leur apportant des outils concrets, simples à utiliser, en tentant d'être les plus fiables possibles. Telles sont les ambitions portées par les différents outils d'aide à la décision. Il s'agit là, par une série d'analyse de l'ensemble des données disponibles, d'interpeller le gestionnaire sur une situation inhabituelle, d'éventuels écarts par rapport à ce qui a été connu sur des sites semblables et comparables entre eux.

Pour les écosystèmes d'eaux douce de Corse, le seul outil disponible est la zonation piscicole des cours d'eau de Corse proposé par ROCHE (1987) dans un rapport du Service Régional de l'Aménagement des Eaux de la Corse explicitée précédemment. On y trouve également une composition numérique et pondérale qui évoluent le long de la zonation proposée par le même auteur. Même si le travail est conséquent et de grande qualité, il n'avait pas la possibilité d'intégrer la dimension temporelle car les 77 prélèvements effectués l'ont été sur 46 stations réparties à l'échelle régionale. Certaines stations, (les plus accessibles) permettent d'avoir un recul temporel de 4 années mais elles ne sont pas très nombreuses.

Une partie des résultats présents dans ce manuscrit proposera un outil d'aide à la décision qui prend en considération l'ensemble des résultats des recensements piscicoles disponibles. Ils sont regroupés de manière logique en se basant sur des travaux de recherche intégrant la complexité et la variabilité des facteurs environnementaux fortement présentes sur notre île.

2.6.1. Recherche, compilation et uniformisation des données

La première étape et la plus conséquente a été de se plonger dans les archives disponibles afin de retrouver un maximum de données de recensement piscicole sur l'ensemble du réseau hydrographique de Corse. Les archives les plus anciennes de la FCPPMA, souvent au format papier, ont été ensuite transcrites au format informatique, devant correspondre aux contraintes qu'imposent le fonctionnement des logiciels de traitement et d'analyses statistiques.

Les résultats des inventaires réalisés dans le cadre du programme LIFE « Conservation de la truite *macrostigma* en Corse » et des Plans de gestion de la truite de Corse ont également été mis à disposition ainsi que divers autres résultats d'études scientifiques menées dans le cadre

des programmes de conservation. De nombreux recensements ont été aussi récoltés par le biais du site http://www.image.eaufrance.fr/ alimenté principalement par l'OFB. D'autres données de recensement nous ont été fournies, directement au format informatique, par l'ONEMA région Corse à l'époque, (actuellement l'OFB).

L'ensemble des résultats de ces recensements piscicoles a ensuite été retranscrit dans une matrice générale, nécessitant l'utilisation de codes pour identifier facilement les différentes stations de pêche, l'année et le mois de réalisation de l'inventaire. Une extraction de cette matrice est présentée en Annexe 3 ainsi que la fiche de codage des stations (Annexe 2) permettant de synthétiser les différentes localisations et caractéristiques de chaque station de pêche.

2.6.2. Localisation et caractéristiques des stations

L'ensemble des données regroupées dans une matrice globale exposent les résultats obtenus sur 120 stations de pêches entre 1988 et 2015. Ces stations sont réparties sur l'ensemble de la Corse. 52 sont situées en Corse du Sud et 68 en Haute Corse.

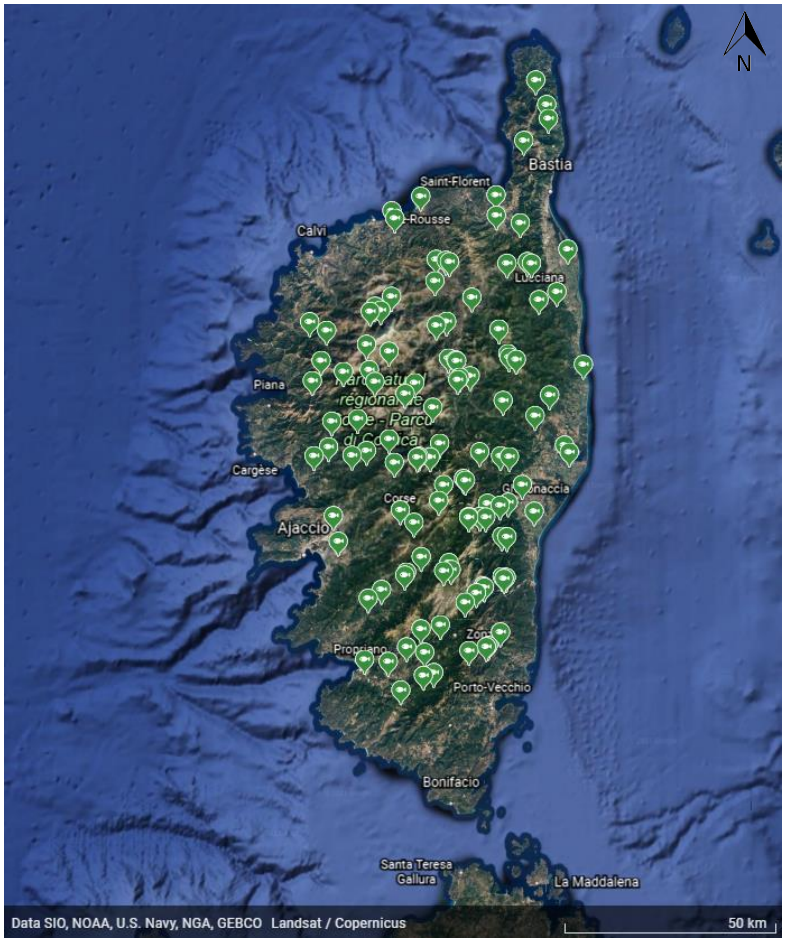


Figure 26 : Localisation des stations inventoriées

Certaines stations font partie de réseaux de surveillance nationaux ou régionaux, de programme de conservation ou ont fait l'objet d'une attention particulière des gestionnaires à la suite d'évènements ponctuels (souvent d'ordre climatique). Certaines de ces stations ont été inventoriées plusieurs fois, apportant ainsi un suivi temporel de ces dernières. Pour 120 stations de pêche, nous disposons donc de 427 inventaires (en moyenne 4 années par station). La Figure 26 illustre la position de chacune de ces stations à l'échelle de la Corse.

Les inventaires mis à disposition ont apporté des renseignements sur le nombre et la masse (densité et biomasse calculée grâce à la surface prospectée) des espèces retrouvées dans les stations prospectées. Certains inventaires mentionnent l'altitude de la station, ainsi que dans quelques rares cas, la distance à la source du point de pêche mais cela n'était pas systématique.

Notre connaissance du terrain nous a aussi interpellé quant à l'exactitude de certaines de ces données. Pour ne laisser place à aucune erreur possible, nous avons recherché, pour chaque station, l'ensemble des paramètres qu'il était nécessaire d'apporter à la matrice de données destinée au traitement par analyse statistique. Les différentes caractéristiques des stations sont présentées dans le Tableau VIII.

Certaines informations (notamment des données de conductivité) étaient soit présentes, soit absentes en fonction de l'organisme ayant effectué la pêche électrique. Pour compenser ces lacunes, nous avons aussi utilisé des données récoltées par le laboratoire d'hydrobiologie de l'UCPP[6], car certaines localisations des stations de pêche correspondaient à des tronçons où les invertébrés benthiques avaient également été étudiés par ce même laboratoire au même période.

Tableau VIII : Caractéristiques des stations étudiées nécessaires au traitement statistique

Caractéristiques de chaque station	Unités
Altitude de la station	Mètre (m)
Altitude de la source	Mètre (m)
Distance à la source	Kilomètre (km)
Pente moyenne sur 1 km en amont	Pourcentage (%)
Conductivité	$\mu S.cm^{-1}$
Le sens d'écoulement	Est ou Ouest
La nature géologique du bassin versant	Granites ou Schistes
Espèces recensées	Nombre de taxons

[6] Università di Corsica Pasquale Paoli

Espèces introduites	Nombre de taxons
Nombre d'individu recensés	Individus
Masse totale	Grammes (g)
Densité	Individu par hectare (ind.ha^{-1})
Biomasse	Kilogramme par hectare (kg.ha^{-1})

2.6.3. Traitement statistique des données par analyses multivariées

2.6.3.1. Analyse en Composantes Principales

Encore connue sous le nom de transformée de Karhunen-Loève ou de transformée de Hotelling, l'Analyse en Composante Principale (ACP) a été de nouveau développée et formalisée dans les années 30 par Harold Hotelling. C'est une méthode statistique d'analyse multivariée décrite par PEARSON (1901) consistant à transformer des variables liées entre elles (dites « corrélées ») en nouvelles variables indépendantes les unes des autres (dites « non corrélées »). On appelle parfois ces facteurs des « dimensions latentes », du fait qu'ils sont « l'expression de processus généraux dirigeant la répartition de plusieurs phénomènes qui se retrouvent ainsi corrélés entre eux » (BEGUIN & PUMAIN, 2000). Ces nouvelles variables sont nommées « composantes principales », ou axes. Elle nous permettra de réduire l'information en un nombre de composantes plus limité que le nombre initial de variables. Cette méthode statistique, basée sur la métrique du $\chi 2$, est traitée par le logiciel XLStat©.

Pour les analyses multivariées, le regroupement des points-observations est réalisé à partir du résultat d'une Classification Ascendante Hiérarchique (C.A.H.) qui produit un arbre binaire de classification appelé dendrogramme. Cette méthode fait intervenir la notion de similarité entre les différents points traités et permet d'associer les objets par ordre de similarité (JENKINS *et al*., 1984). Les objets les plus semblables sont appariés formant des groupes qui s'agglutinent entre eux à mesure que l'on diminue le coefficient de similarité. Une césure est effectuée à l'endroit où la partition paraît la plus homogène.

L'ACP permet d'explorer des jeux de données multidimensionnels constitués de variables quantitatives. Elle est largement utilisée en biostatistique et en écologie (BENZECRI, 1973 ; BLANC *et al*., 1976 ; BEFFY, 1992).

L'ACP peut être considérée comme une méthode de projection qui permet de projeter les observations depuis l'espace à p dimensions des p variables vers un espace à k dimensions ($k < p$) tel qu'un maximum d'information soit conservée (l'information est ici mesurée au

travers de la variance totale du nuage de points) sur les premières dimensions. Si l'information associée aux 2 ou 3 premiers axes représente un pourcentage suffisant de la variabilité totale du nuage de points, on pourra représenter les observations sur un graphique à 2 ou 3 dimensions, facilitant ainsi grandement l'interprétation.

Il existe plusieurs applications pour l'ACP, parmi lesquelles :

- L'étude et la visualisation des corrélations entre les variables, afin d'éventuellement limiter le nombre de variables à mesurer par la suite ;
- L'obtention de facteurs non corrélés qui sont des combinaisons linéaires des variables de départ afin d'utiliser ces facteurs dans des méthodes de modélisation telles que la régression linéaire, la régression logistique ou l'analyse discriminante ;
- La visualisation des observations dans un espace à deux ou trois dimensions, afin d'identifier des groupes homogènes d'observations, ou au contraire des observations atypiques.

L'ACP utilise une matrice indiquant le degré de similarité entre les variables pour calculer des matrices permettant la projection des variables dans le nouvel espace. Il est commun d'utiliser comme indice de similarité le coefficient de corrélation de Pearson, ou la covariance. La corrélation de Pearson et la covariance présentent l'avantage de donner des matrices semi-définies positives dont les propriétés sont utilisées en ACP.

2.6.4. Mise au point de l'outil d'aide à la décision

L'objectif ici est de soumettre la matrice globale et les caractéristiques de chaque station à une série d'analyses statistiques multivariées qui nous permettra d'obtenir, des corrélations entre variables et individus. Le choix de l'outil d'analyse doit être en adéquation avec les contraintes auxquelles nous étions soumis, à savoir un nombre important d'observations (ou individus, à savoir chaque pêche électrique dans notre cas) et de variables, à la fois biotiques et abiotiques (présentées en Tableau VIII).

Nous avons décidé d'utiliser l'ACP car elle est principalement utilisée quand le nombre de variable et d'individu est important. Un de ces objectifs est de simplifier une représentation graphique en dimensions $n = n_{individus} \times n_{variables}$ en une représentation graphique dans un plan en 2 dimensions.

On identifie les axes principaux de la matrice de covariance correspondant aux plus grandes valeurs propres de façon à garder le plus de dispersion et on projette le nuage de points dans les plans factoriels correspondant.

A l'aide de ces projections on tente d'identifier : (i) quels individus se ressemblent ou s'opposent, (ii) quelles variables se ressemblent ou s'opposent, sont indépendantes ou corrélées, (iii) quelles variables ou quels individus influent le plus sur les dispersions.

Les inventaires faunistiques et les caractéristiques des stations de pêche d'un même groupe de corrélation ont été regroupés dans des sous-matrices correspondantes aux groupes typologiques utilisés. Nous nous sommes basés sur la typologie des cours d'eau de Corse obtenue par ORSINI (2008) grâce à l'analyse de paramètres morpho-topographiques et hydrologiques pour créer les nouveaux groupements.

Il s'agit ici d'un travail de recherche appliquée, qui a pour objectif de doter les gestionnaires des cours d'eau de Corse d'un outil qui leur permettra d'être interpellés par une situation tendant à s'écarter des prévisions d'un modèle. Ces prévisions ne pouvaient pas être proposées par un seul modèle sur l'ensemble de la région. Les cours d'eau de Corse ne fonctionnent pas tous de la même manière. Ils diffèrent même beaucoup les uns des autres en fonction de leur localisation. De ce fait, la composante biotique ne peut pas être comparée et modélisée en une seule fois de la pointe du Cap Corse jusqu'aux bouches de Bunifaziu.

Ce choix de ne pas utiliser les résultats de l'essai de typologie présentés en partie 3.2 n'est motivé que par la volonté de simplifier l'utilisation de l'outil, et ainsi de le rendre plus intuitif. En effet, la multiplication des groupes typologiques peut entrainer une confusion dans le choix à effectuer pour utiliser l'outil mais aussi un découpage en plusieurs parties des zones étudiées. Le nombre de stations existantes pour lesquelles nous disposions d'inventaires piscicoles était trop faible pour certains groupes typologiques. La représentativité des individus n'était donc pas suffisante pour proposer des corrélations valables. En prenant en considération les groupements obtenus lors de l'analyse des paramètres morpho-topographiques et hydrologiques, nous avons réussi à intégrer l'ensemble des stations de pêche tout en gardant des regroupements préconisés par les corrélations obtenues par analyses multivariées.

Pour les stations bénéficiant d'un suivi temporel des effectifs, nous avons considéré la médiane des valeurs obtenues dans le temps et par station. L'utilisation des médianes nous permet d'écarter les résultats aberrants.

Chapitre III Résultats et discussion

3.1. Climatologie : influence du changement climatique

3.1.1. Nouvelle synthèse climatique de la Corse

Nous avions présenté au paragraphe 2.1.3 des éléments permettant de mieux appréhender le climat de la Corse. Plusieurs auteurs ont apporté leur contribution. Les différentes données utilisées proviennent du système d'analyse SAFRAN. En Corse, 142 points, centres de symétrie d'un carré de 8 km de côté, sont répartis sur tout le territoire.

Nous comparons ici deux périodes qui sont les témoins d'apparition de conséquences du changement climatique dans les cours d'eau de Corse, à savoir 1960 et 1984, période antérieure au dérèglement climatique dans les cours d'eau de Corse et 1985, date à partir de laquelle les cours d'eau sont soumis au réchauffement en cours, mises en évidence par MORI *et al*. (2017) et ORSINI *et al*. (2017).

Le Tableau IX présente les cumuls annuels moyens des précipitations journalières sur les deux périodes.

Tableau IX : Evolution des cumuls annuels moyen de précipitations journalières pour les deux périodes

	Altitude (m)			
Période d'observation	**0-100**	**101-600**	**601-1400**	**>1400**
1960-1984	751,0	891,0	1131,2	1376,2
1985-2020	716,4	863,1	1093,6	1332,4

Nous observons que les cumuls annuels moyen de précipitations journalières augmentent avec l'altitude pour les deux périodes étudiées. En effet, la pluviométrie est moins importante en plaine qu'en montagne. Pour la période 1960-1984, les cumuls de précipitation évolue progressivement de 751 mm dans la zone 0 – 100 m jusqu'à 1376, 2 mm dans la zone centrale supérieure à 1 400 m. Il en est de même pour la période 1985-2020 où les conséquences du changement climatique commencent à se faire ressentir dans les cours d'eau de Corse selon ORSINI *et al.*, 2017. Les cumuls évoluent de 716,4 mm (entre 0 et 100 m d'altitude) à 1 332,4 mm (au-dessus de 1 400 m).

Dans leur contribution à la connaissance du climat de Corse, BRUNO *et al.*, 2001 ont démontré que la pluviométrie augmentait avec l'altitude. Il en est de même pour la majorité des

régions à l'échelle mondiale. TRABOULSI (2010) a montré qu'au Liban les précipitations augmentent rapidement avec l'altitude avec un gradient très fort de pluviométrie notamment dans les massifs montagneux. ZAHARIA & BELTRANDO (2006) relèvent également que spatialement, la distribution des précipitations est dépendante de l'altitude en Roumanie avec un gradient pluviométrique d'environ 40 mm pour 100 m.

En corse, cette variabilité due à l'altitude est accentuée par la présence d'un relief important. Les sommets de la Corse cristalline forment un écran aux nuages (ORSINI, 2008) ce qui provoque une condensation sur les reliefs. Le GIEC, dans son rapport de 2013 (GIEC, 2013), ne précise pas de tendances évidentes sur l'évolution des précipitations moyennes à l'échelle de la planète même si une amplification des contrastes pluviométriques est constatée depuis les 50 dernières années.

Tableau X : Evolution des écarts et des taux de variation des cumuls moyens annuels de précipitation entre les deux périodes

		Altitude (m)			
	Unités	**0-100**	**101-600**	**601-1400**	**>1400**
Ecarts de cumul de précipitations moyennes annuelles (P.moy)	mm	-34,7	-27,9	-37,6	-43,8
Taux de variation P.moy	%	-5	-3	-3	-3

Le Tableau X montre les écarts observés entre les deux périodes ainsi que les taux de variations entre ces valeurs. En comparant les deux périodes d'étude, nous observons que les cumuls annuels moyens de précipitations journalières ont globalement diminué. La diminution n'est pas trop importante mais se situe entre 3 et 5 % de moins sur l'ensemble du territoire de la Corse. La plus forte diminution des cumuls de hauteur de précipitation touche les stations situées au-dessus de 1 400 m avec 43,8 mm reçu en moins pour la période 1985-2020.

Les synthèses de Météo-France stipulent qu'en Corse, les précipitations annuelles présentent une légère baisse depuis 1960 et sont caractérisées par une grande variabilité d'une année sur l'autre. Ces résultats confirment la tendance à la baisse générale des précipitations à l'échelle de l'ensemble du bassin méditerranéen comme l'ont déjà montré ALPERT *et al*. (2002), GIORGI (2002), BRUNETTI *et al*. (2004), KLEIN TANK & KONNEN (2003), KOSTOPOULOU & JONES (2005), NORRANT & DOUGUEDROIT (2006), TORETI *et al*. (2010) ou encore TRAMBLAY *et al*. (2013).

Ce changement de la distribution des précipitations coïnciderait avec un réchauffement qui se manifesterait à la fois aux échelles saisonnière et annuelle. DRIOUECH (2010) a constaté qu'au Maroc, outre la forte variabilité interannuelle des précipitations et l'augmentation de la fréquence des sécheresses depuis le début des années 1980, la distribution des précipitations a bien connu un changement au cours de la période 1961-2008.

L'analyse des données journalières récoltées par le réseau SAFRAN nous a permis de nous pencher sur l'évolution du régime thermique de la Corse. Le Tableau XI en fait la synthèse et le Tableau XII nous permet d'étudier les écarts entre les moyennes des températures moyennes, minimales et maximales journalières des deux périodes.

Tableau XI : Le régime thermique de la Corse pour les deux périodes

		Altitude (m)			
Période	**Composantes**	0-100	101-600	601-1400	>1400
1960 - 1984	Moyenne ± Ecart-type T.moy (°C)	14,9 ± 5,6	13,4 ± 5,5	11,2 ± 5,9	8,2 ± 6,1
	Moyenne ± Ecart-type T.mini (°C)	11,9 ± 5,5	11,0 ± 5,3	9,4 ± 5,7	6,8 ± 6,1
	Moyenne ± Ecart-type T.maxi (°C)	18,6 ± 5,8	16,2 ± 5,9	13,1 ± 6,1	9,5 ± 6,2
	Nombre de jours :				
	Très chauds (T.maxi ≥ 30 °C)	3,6	1,0	0,2	0,0
	Chauds (T.maxi ≥ 25 °C)	64,0	25,0	6,1	0,6
	Frais (T.mini ≤ 5 °C)	37,1	51,0	92,1	155,7
	Avec gel (T.mini ≤ 0 °C)	2,2	3,1	14,2	50,1
1985 - 2020	Moyenne ± Ecart-type T.moy (°C)	15,8 ± 6,1	14,2 ± 6,4	11,8 ± 6,7	8,5 ± 6,6
	Moyenne ± Ecart-type T.mini (°C)	12,6 ± 6,0	11,2 ± 6,1	9,2 ± 6,4	6,3 ± 6,3
	Moyenne ± Ecart-type T.maxi (°C)	19,9 ± 6,4	18,3 ± 6,9	15,3 ± 7,4	11,2 ± 7,1
	Nombre de jours :				
	Très chauds (T.maxi ≥ 30 °C)	19,4	15,3	6,5	0,2
	Chauds (T.maxi ≥ 25 °C)	93,3	76,0	41,7	8,1
	Frais (T.mini ≤ 5 °C)	38,2	63,7	106,7	165,8
	Avec gel (T.mini ≤ 0 °C)	3,8	8,6	24,8	63,7

A l'échelle de la Corse, nous pouvons sans équivoque affirmer que la température moyenne journalière augmente et ceci pour toutes les altitudes étudiées. La zone 0-100 m subit une augmentation de sa température moyenne journalière de 0,9 °C entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020. Cette température augmente respectivement de 0,8 °C, 0,6 °C et 0,3 °C pour les zones comprises entre 101-600 m, 601-1400 m et au-dessus de 1 400 m.

L'augmentation de la moyenne de la température maximale journalière semble être la composante qui présente la plus grande variation. La zone 0-100 m présente la plus faible augmentation, avec tout de même 1,3 °C de plus pour la période 1985-2020. Le plus grand écart observé concerne la zone 601-1 400 m avec une augmentation de 2,2 °C. Les zones 101-600 m et supérieures à 1 400 m suivent de près avec une augmentation respective de 2,1 °C et 1,7 °C de plus que pour la période 1960-1984.

Tableau XII : Ecarts observés et taux de variation entre les moyennes des températures moyennes, minimales et maximales pour les deux périodes

		Altitude (m)			
	Unités	**0-100**	**101-600**	**601-1400**	**>1400**
Moyenne T.moy[7]	°C	+0,9	+0,8	+0,6	+0,3
Moyenne T.mini[8]	°C	+0,6	+0,2	-0,2	-0,5
Moyenne T.maxi[9]	°C	+1,3	+2,1	+2,2	+1,7
Taux de variation T.moy	%	+6	+6	+6	+4
Taux de variation T.mini	%	+5	+2	-2	-8
Taux de variation T.maxi	%	+7	+13	+17	+18

Le taux de variation de la moyenne des températures maximales journalières entre les deux périodes attire également notre attention car ce dernier possède les valeurs les plus élevées. Ces valeurs évoluent de manière croissante avec l'altitude. Le taux de variations de cette donnée météorologique est de 7 % pour la zone 0-100 m tandis qu'il évolue jusqu'à 18 % pour la zone supérieure à 1 400 m (Tableau XII).

L'étude de la moyenne des températures minimales journalières met en exergue une diminution des températures pour les zones dépassant les 601 m. Ce résultat attire toute notre

[7] T.moy : Température moyenne journalière
[8] T.mini : Température minimale journalière
[9] T.maxi Température maximale journalière

attention car dans une dynamique générale de réchauffement des températures, nous observons ici une diminution de cette composante thermique, certes faible mais existante.

Les figures suivantes montrent l'évolution du nombre de jours frais, avec gel et très froids entre les deux périodes retenues pour l'ensemble des 142 points du réseau SAFRAN en Corse. Leurs interprétations nous permettront d'expliquer en partie cette diminution des températures pour les zones dépassant les 601 m dans un contexte de réchauffement global.

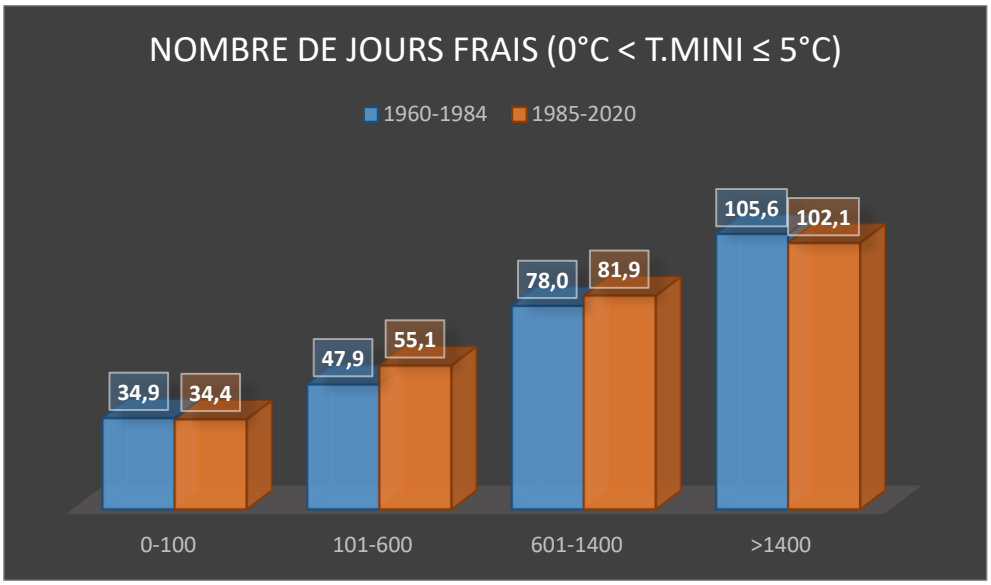


Figure 27 : Evolution du nombre de jours frais entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020

Nous observons sur les figures 27 à 30 que l'évolution du nombre de jours frais, avec gel et très froids suit une logique altitudinale notamment pour les deux derniers. Ils augmentent avec l'altitude. Cette observation reste cohérente. Nous observons aussi une augmentation de ce nombre de jours entre les deux périodes. Pourtant 1985-2020 est une période soumise au réchauffement des températures. Le nombre de jours avec gel et le nombre de jours très froids augmentent dans toutes les zones altitudinales pour la période 1985-2020 par rapport à la période 1960-1984. Ceci est à mettre en corrélation avec la diminution des moyennes des températures minimales journalières observée pour les zones supérieures à 601 m entre les deux périodes.

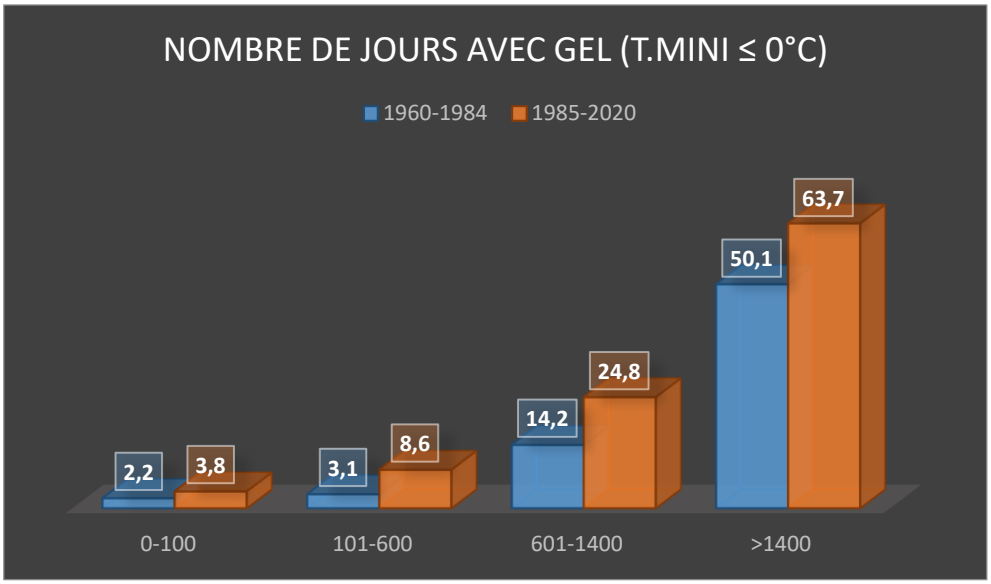


Figure 28 : Evolution du nombre de jours avec gel entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020

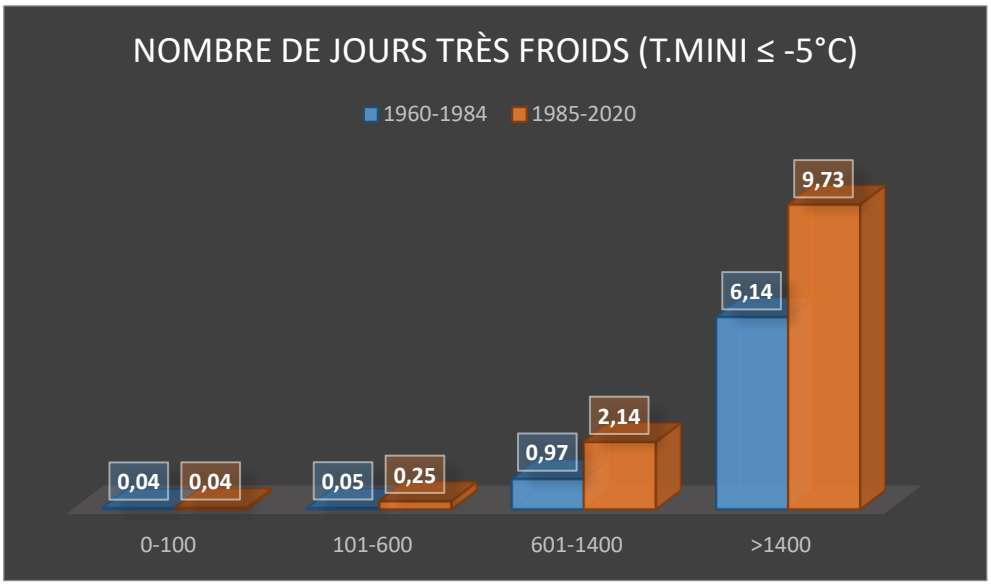


Figure 29 : Evolution du nombre de jours très froid entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020

La variabilité interannuelle des composantes du climat méditerranéen en Corse est une piste qui peut expliquer ces observations. En effet, les quelques épisodes de froids intenses connus au cours de cette période pèsent lourds dans l'effectif des moyennes des températures minimales journalières. Dans un entretien avec P. REBILLOUT, climatologue et directeur du centre Météo France d'Ajaccio (communication personnelle, 2021), cette variabilité interannuelle a bien été évoquée et serait à l'origine, selon le climatologue, de cette augmentation du nombre de jours très chauds mais aussi très froids en illustrant son propos à l'aide d'histogrammes et autres figures présentées sur le centre régional d'Ajaccio.

L'utilisation des médianes auraient écarté ces valeurs dites extrêmes mais nous aurions perdu ce genre d'informations pourtant importantes à révéler. Ces épisodes font parties des phénomènes extrêmes, dont la fréquence d'apparition tend à augmenter et pour lesquels de nombreux auteurs ont déjà abordé cette intensification notamment dans le pourtour méditerranéen (LANG *et al.*, 2014 ; SOUBEYROUX *et al.*, 2015 ; VAUTARD *et al.*, 2015). Un des rapports du GIEC en fait déjà état « depuis les années 90 » (GIEC, 1992).

Concernant le nombre de jours de pluie, le signal n'est pas très clair avec un nombre qui augmente pour chaque tronçon altitudinal mais cette augmentation ne varie pas avec l'altitude. Les cumuls reçus subissent une très faible diminution tandis qu'il pleut un peu plus souvent pour la période 1985-2020.

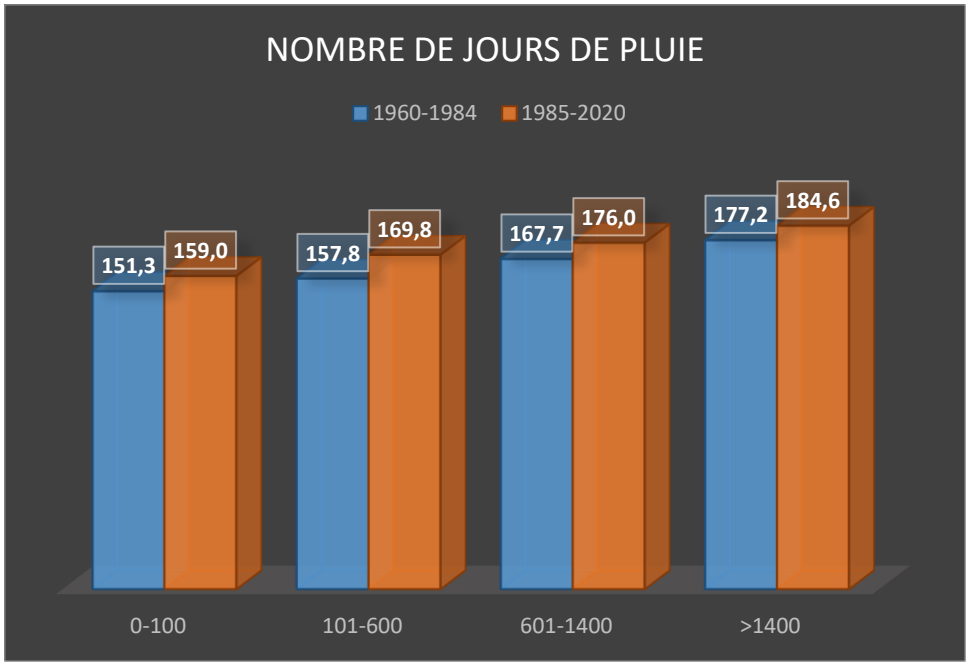


Figure 30 : Evolution du nombre de jours de pluie entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020

RAYMOND *et al.* (2016) stipulent que les tendances significatives de l'occurrence des jours de pluie par saison montrent de manière quasi généralisée une diminution pour le bassin méditerranéen. Sachant que le nombre de jours de pluie dépend des valeurs des moyennes des cumuls de précipitation journalière par tronçon altitudinal et par période retenue, ce résultat n'est pas si surprenant que cela. Nous avons considéré un jour de pluie comme un jour ayant son cumul de précipitation strictement supérieur à 0 mm. Ainsi le moindre bruit au niveau des occurrences des précipitations sur la période 1985-2020 peut expliquer cette très légère augmentation du nombre de jours de pluie. P. REBILLOUT nous indique que l'antenne

régionale de Météo-France utilise le terme de « pluie significative lorsque le cumul journalier moyen dépasse 5 mm de hauteur » (communication personnelle, 2021).

Nous rappelons tout de même que malgré cette augmentation du nombre de jour de pluie, le cumul des précipitations de toutes les zones étudiées subit une faible diminution à l'échelle régionale.

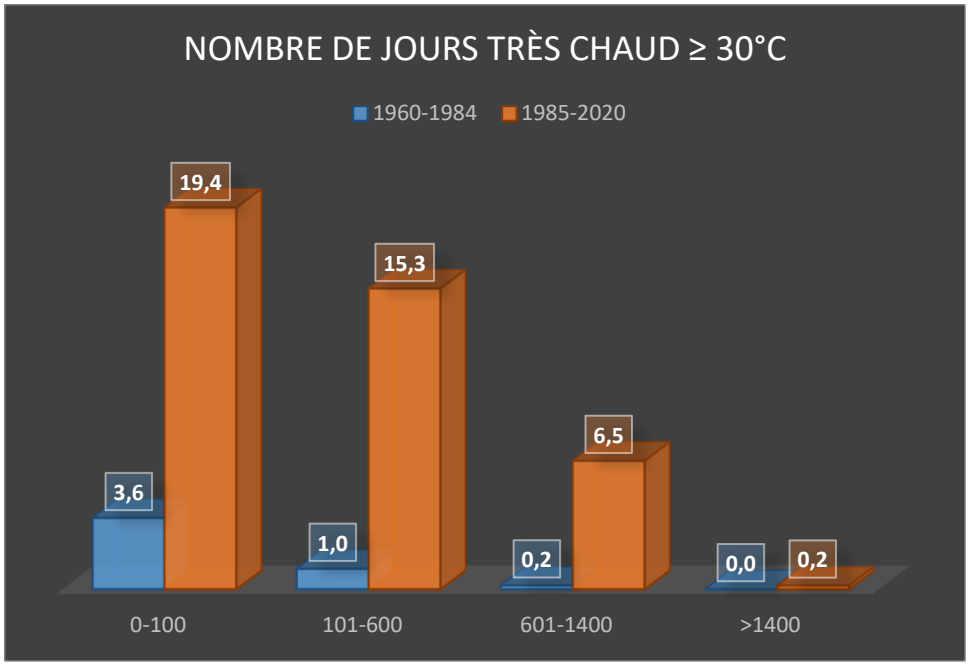


Figure 31 : Evolution du nombre de jours très chauds entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020

La Figure 31 montre que le nombre de jours très chauds diminue pour les deux périodes avec l'altitude, ce qui est tout à fait normal et logique. Notre attention est attirée sur la différence du nombre de jours entre les deux périodes pour chaque tronçon altitudinal. Le nombre de jours où la température maximale a dépassé les 30 °C a subi une forte augmentation. Les taux de variation sont très importants et triple quasiment entre chaque zone, progressant de 436 % pour la zone 0-100 m ; à 1 377 % pour 101-600 m jusqu'à 3 304 % pour 601-1 400 m. Pour la zone supérieure à 1 400 m, aucun taux de variation ne peut être calculé (Figure 32) car il n'y avait aucun jour ayant dépassé cette valeur pour la période 1960-1984. En valeur absolue, pour l'ensemble des points sur toute la période d'observation 1985-2020, cette valeur de température maximale a été dépassée à 86 reprises.

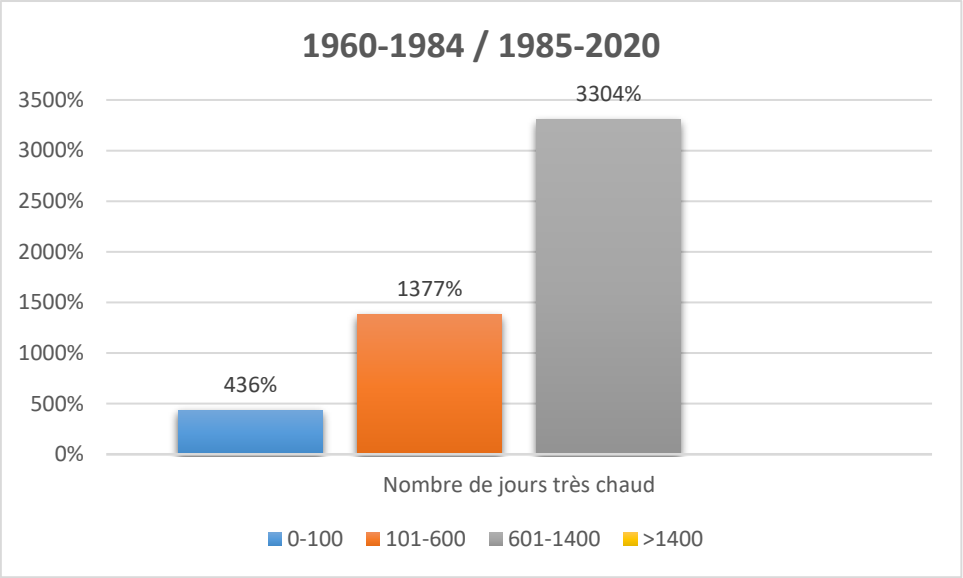


Figure 32 : Taux de variation du nombre de jours très chauds entre les deux périodes

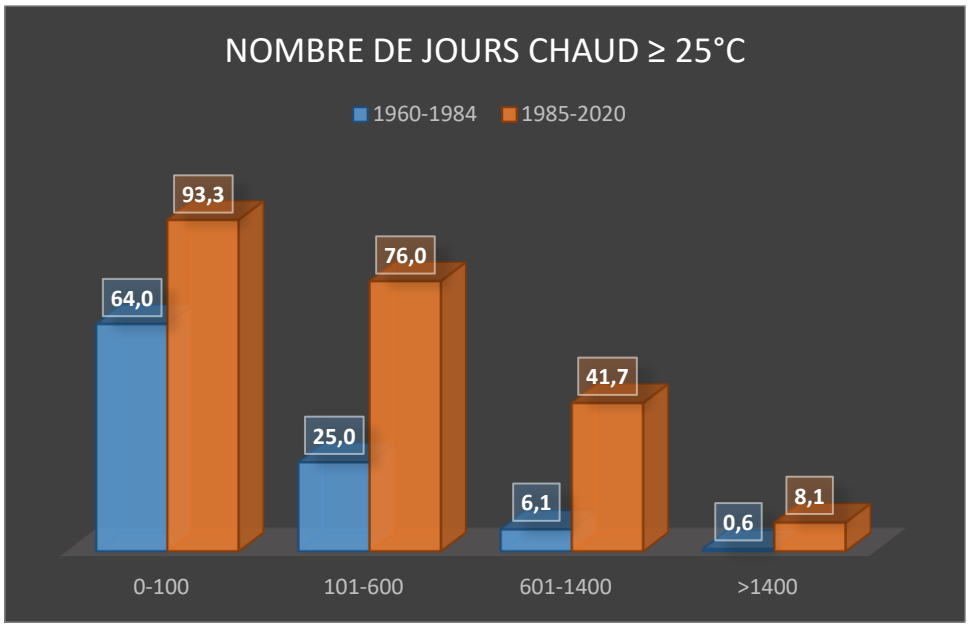


Figure 33 : Evolution du nombre de jours chauds entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020

Le nombre de jours chauds évolue de manière similaire au nombre de jours très chauds, avec un taux de variation entre les deux périodes encore une fois très élevés qui s'accentue fortement avec l'altitude. Le taux de variation pour la zone où l'altitude dépasse les 1 400 m (1 237 %) est 27 fois plus élevées que pour la zone comprise entre 0 et 100 m (46 %). En passant successivement des zones 101-600 m, puis 601-1 400 m et celles supérieures à 1 400 m, les taux de variation sont plus que doublés (204 %, 581 % et 1 237 % respectivement. Les changements sont donc plus marqués en altitude qu'en plaine entre les deux périodes.

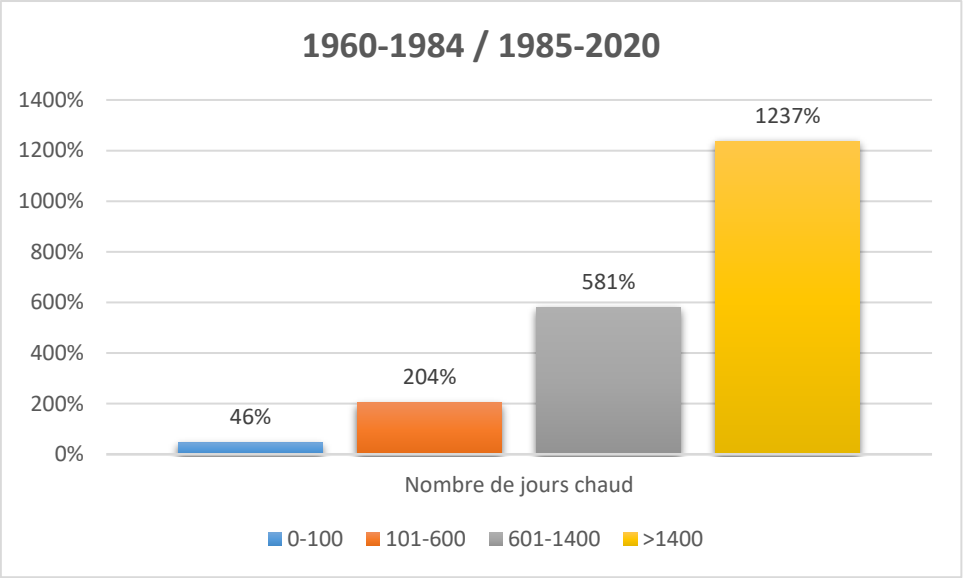


Figure 34 : Taux de variation du nombre de jours chauds entre les deux périodes

Nous sommes bien en présence d'un réchauffement généralisé à l'échelle régionale avec des zones d'altitude (supérieures à 601 m) qui sont très touchées et sont ainsi fortement mises sous contraintes tandis que ces zones sont qualifiées de très vulnérables aux conséquences du changement climatique et représentent des secteurs à forts enjeux patrimoniaux. MYERS *et al*. (2000) décrivent les écosystèmes montagnards comme des réservoirs du quart de la biodiversité terrestre connue et de la moitié des hotspots de biodiversité à l'échelle planétaire. D'autres travaux comme ceux menés par WILLIAMS *et al*. (2003), POUNDS & PUSCHENDORF (2004), ANDREONE *et al*. (2005) et POUNDS *et al*. (2006) ont signalé le danger considérable qui pèse sur les écosystèmes de montagne quant au risque d'extinction, en particulier d'espèces endémiques, sensibles aux changements climatiques, actuels et à venir, qui altèrent leurs niches écologiques.

3.1.2. Evolutions des diagrammes ombrothermiques entre 1960-1984 et 1985-2020

Dans un contexte de changement climatique, les nombreux scénarios d'évolution connus, comme ceux réalisés par le GIEC (1992, 2013 et 2014), s'appuient principalement sur des modèles globaux et ne permettent pas de traiter les échelles régionales et locales.

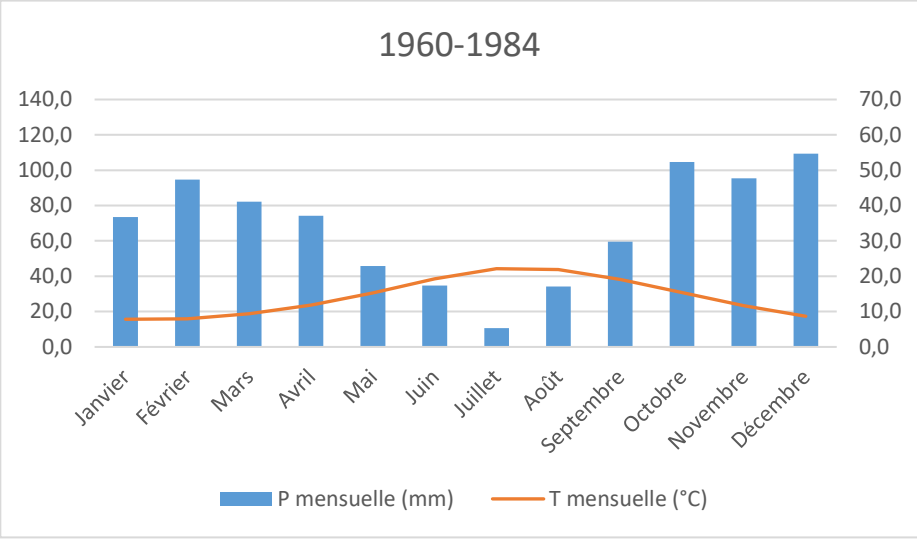
De nombreux auteurs ont déjà eu recours à ce mode d'analyse afin de mettre en évidence l'impact d'un changement climatique (ETCHEVERS & MARTIN, 2002 ; PAGE *et al*., 2008 ; CHAOUCHE *et al*., 2010).

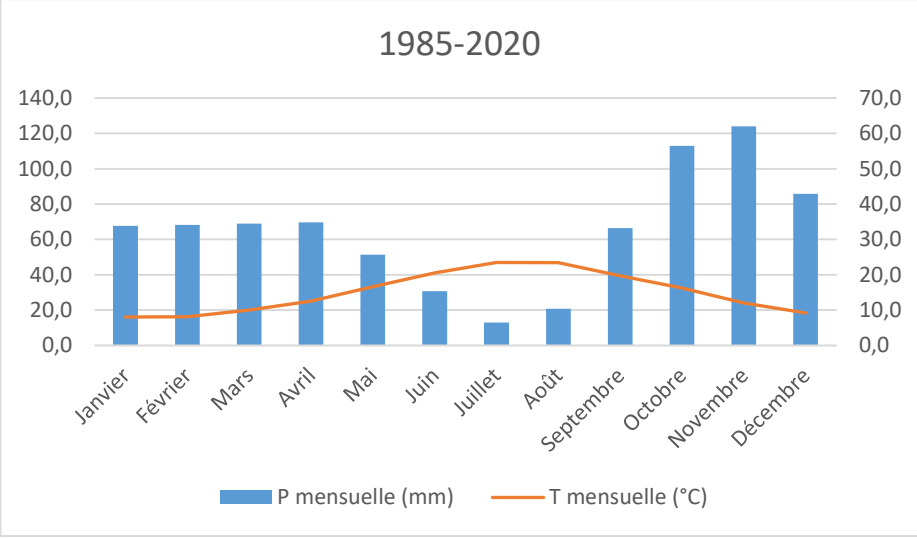
Ainsi, pour chacune des 5 zones citées au 2.1.1, nous avons créé des diagrammes ombrothermiques de l'ensemble des stations du réseau SAFRAN se trouvant dans les zones énoncées. Une comparaison de la durée de la période biologiquement sèche, de 1960 à 1984 et celle de 1985 à 2020 est proposée de la Figure 35 à la Figure 42. L'intensité de la période est également interprétée graphiquement. Un calcul de cette intensité est proposé par la suite grâce à la comparaison de l'évolution des aires ombrothermiques entre les deux périodes.

Concernant les extrémités de l'île (Figure 35), en comparant sur les deux diagrammes de la zone Cap Corse/Balagne et ceux de l'Extrême Sud, la période biologiquement sèche ne s'allonge pas au sens de BAGNOULS & GAUSSEN (1953) ; mais nous nous apercevons que les températures sont plus importantes et les précipitations le sont moins. Pour Cap Corse/Balagne, en comparant les caractéristiques de la période sèche, la moyenne des températures mensuelles passe de 21,1 °C pour 1960-1984 à 22,5 °C (+1,4 °C) pour 1985-2020 tandis que la moyenne des précipitations mensuelles diminue de 26,5 mm à 21,5 mm. L'intensité de cette période sèche semble plus marquée graphiquement. L'analyse des aires ombrothermiques tentera d'apporter une réponse précise à ce phénomène.

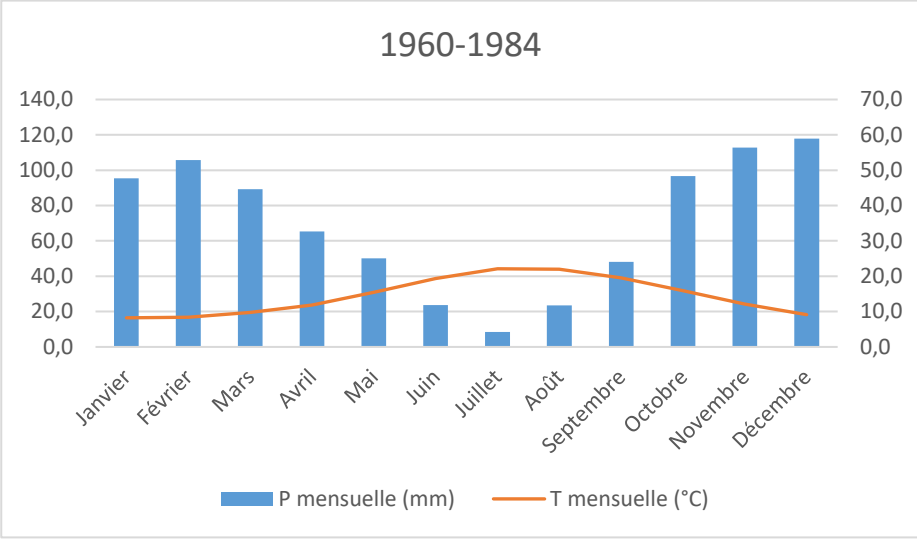
Concernant la zone Extrême Sud, la durée de la période biologiquement sèche ne semble pas plus longue ou très peu. Son intensité semble être plus prononcée graphiquement. La moyenne des températures mensuelles passe de 21,2 °C pour 1960-1984 à 22,9°C (+1,7 °C) pour 1985-2020. Pour le mois d'août la température mensuelle subit une forte hausse de +1,9 °C entre les deux périodes passant de 22 °C à 23,9 °C.

Zone Extrémité de l'île – Cap Corse/Balagne





Zone Extrémité de l'île – Extrême Sud



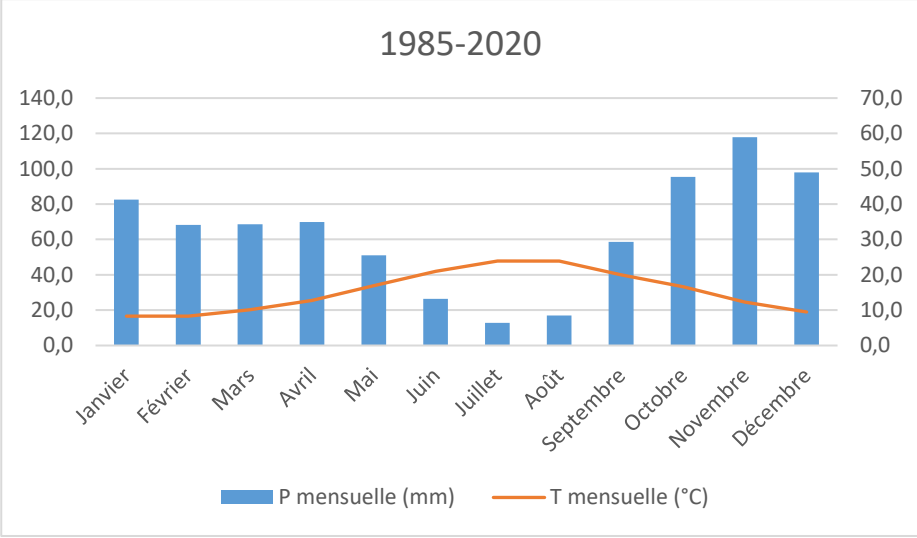


Figure 35 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques des zones des extrémités de l'île entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020

Pour les zones Est et Ouest, les stations SAFRAN ont été réparties en tronçons altitudinaux afin de comparer les évolutions entre les deux périodes de référence dans chacun de ces tronçons et ainsi connaitre les zones les plus touchées de cette analyse spatio-temporelle.

Zone Ouest - 0 à 100 m

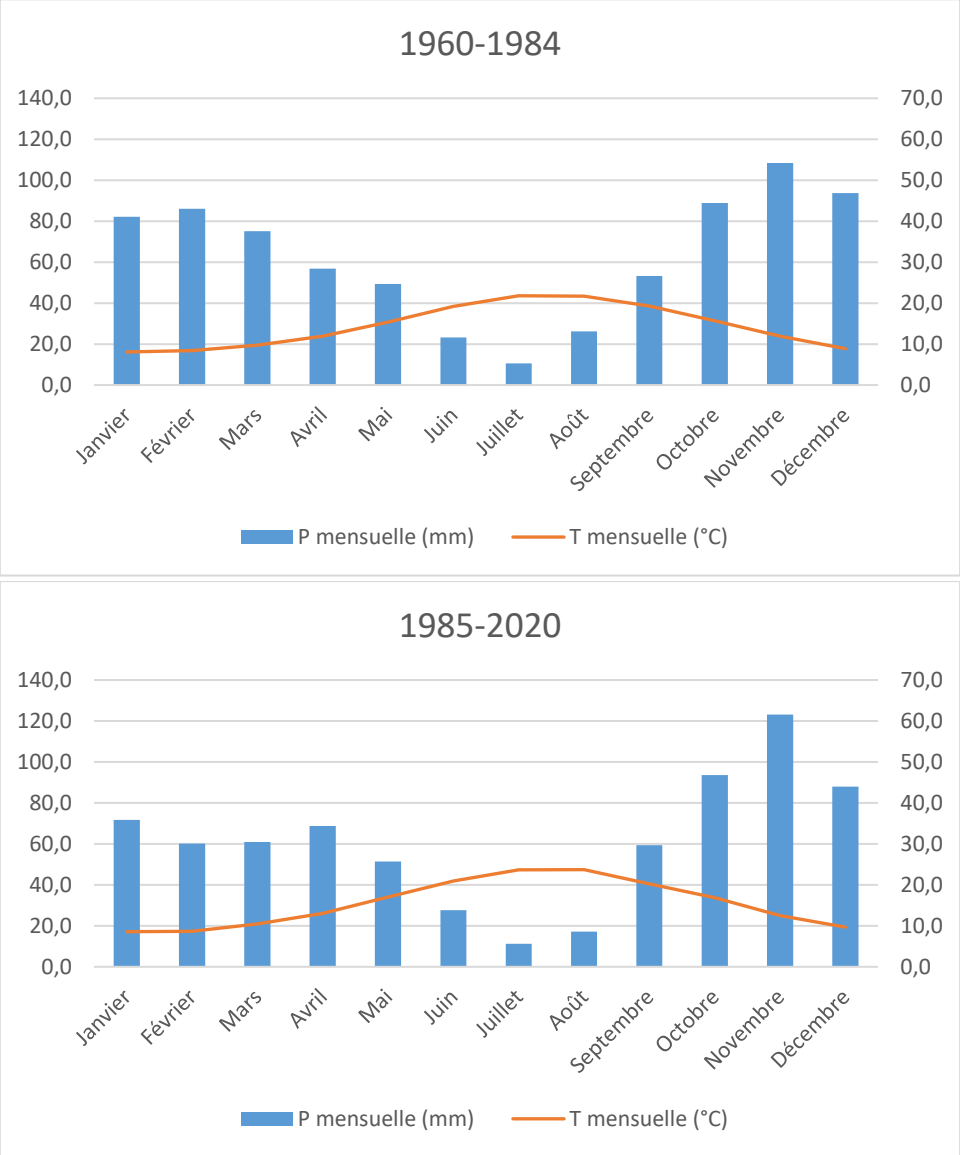


Figure 36 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques de la zone Ouest de 0 à 100 m

Pour la zone de 0 à 100m, la période biologiquement sèche s'étale sur 3 mois (de Juin à Août inclus), cela pour les deux périodes analysées. Graphiquement, son intensité semble être plus prononcée. Pour cette période sèche, la moyenne des températures mensuelles passe de 20,9 °C pour 1960-1984 à 22,8 °C (+1,9 °C) pour 1985-2020. Pour le mois d'août, la température mensuelle subit une forte hausse de +2 °C entre les deux périodes passant de 21,7 °C à 23,7 °C. La moyenne des précipitations subit une diminution de 6% pour 1985-2020 par rapport à 1960-1984.

Zone Ouest - 101 à 600 m

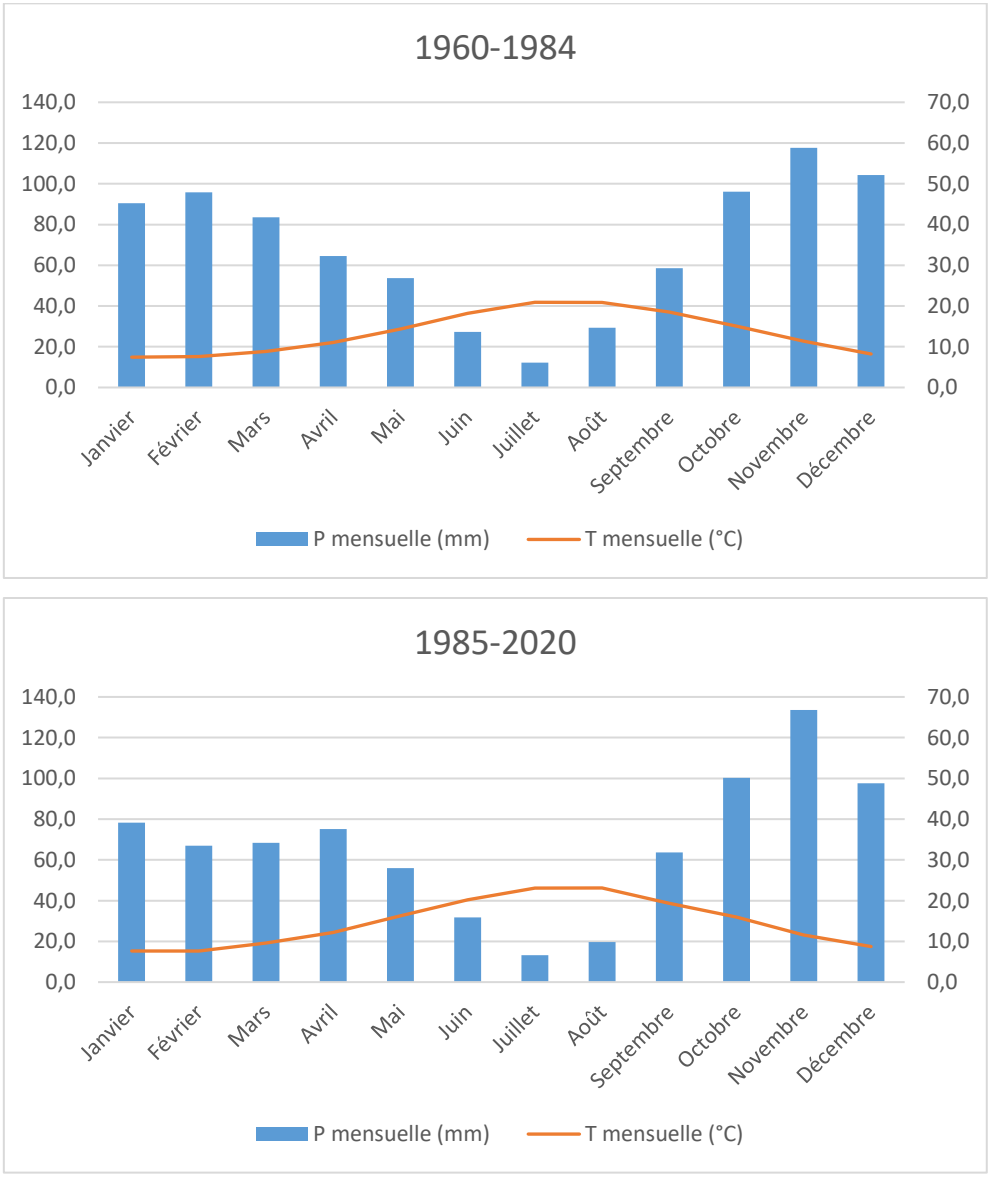


Figure 37 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques de la zone Ouest de 101 à 600 m

Entre 101 m et 600 m, la durée de la période biologiquement sèche (3 mois) ne semble pas évoluer tandis que son intensité parait graphiquement plus grande. La moyenne des températures mensuelles de cette période biologiquement sèche augmente considérablement. Elle passe de 20 °C pour 1960-1984 à 22,1 °C (+2,1 °C) pour 1985-2020. Cette augmentation est plus importante que celle observée entre 0-100 m dans la zone Ouest. La température moyenne mensuelle tend donc à augmenter avec l'altitude. La moyenne des précipitations mensuelles baisse très légèrement de l'ordre de -6%.

Zone Ouest - 601 à 1 400 m

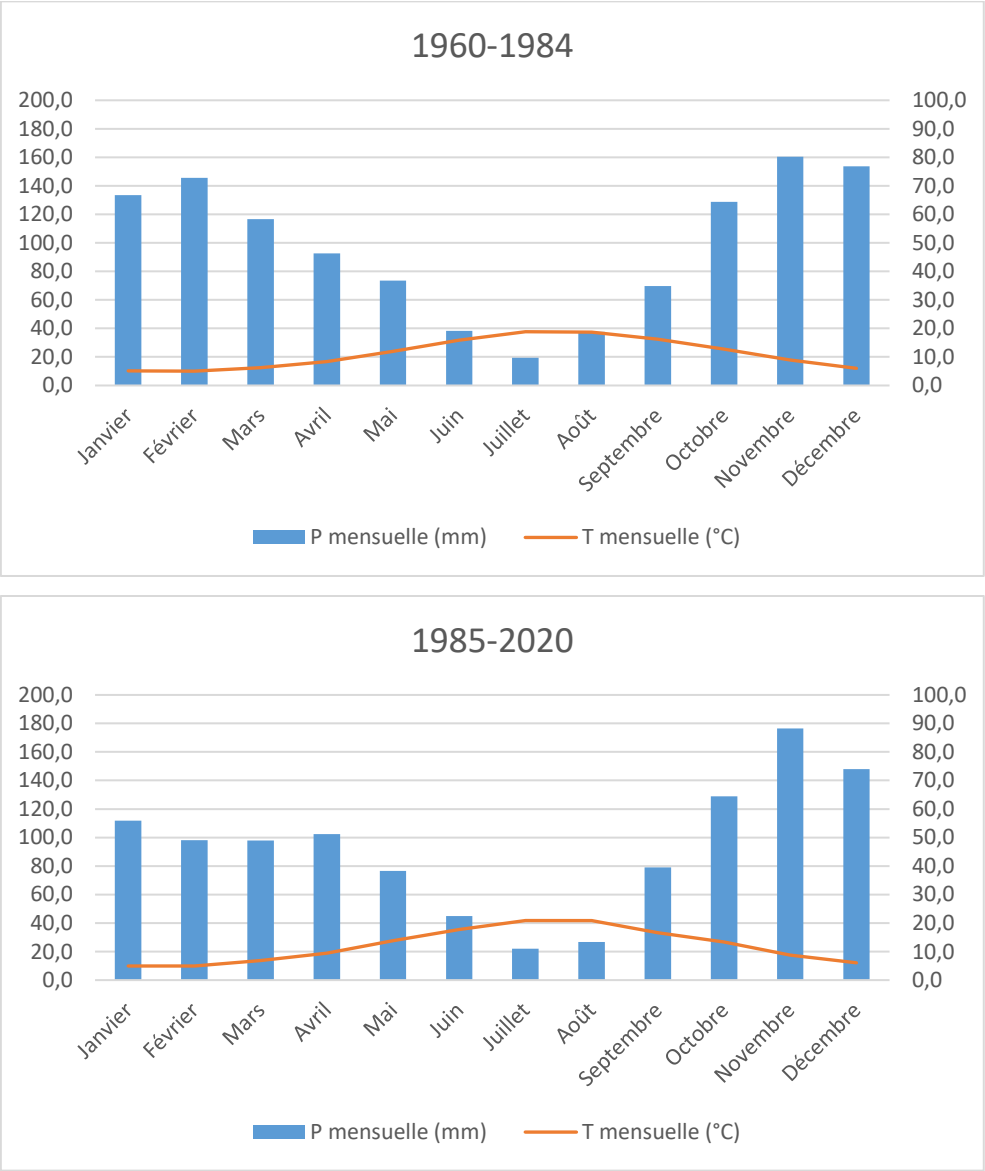


Figure 38 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques de la zone Ouest de 601 à 1 400 m

Nous nous situons ici en altitude. La durée de la période biologiquement sèche passe de 1 mois pour 1960-1984 à 2 mois d'été pour 1985-2020. Dans les tranches altitudinales précédentes, nous n'observions pas ou peu d'évolution à la hausse de la durée de ces périodes. Graphiquement, l'intensité de cette période semble également évoluer de manière importante. Le calcul de l'aire ombrothermique apportera des éléments factuels à cette tendance. La moyenne des températures mensuelles de la période sèche augmente de 2,1 °C entre 1960-1984 et 1985-2020. La moyenne des précipitations mensuelles diminue également.

Zone Est - 0 à 100 m

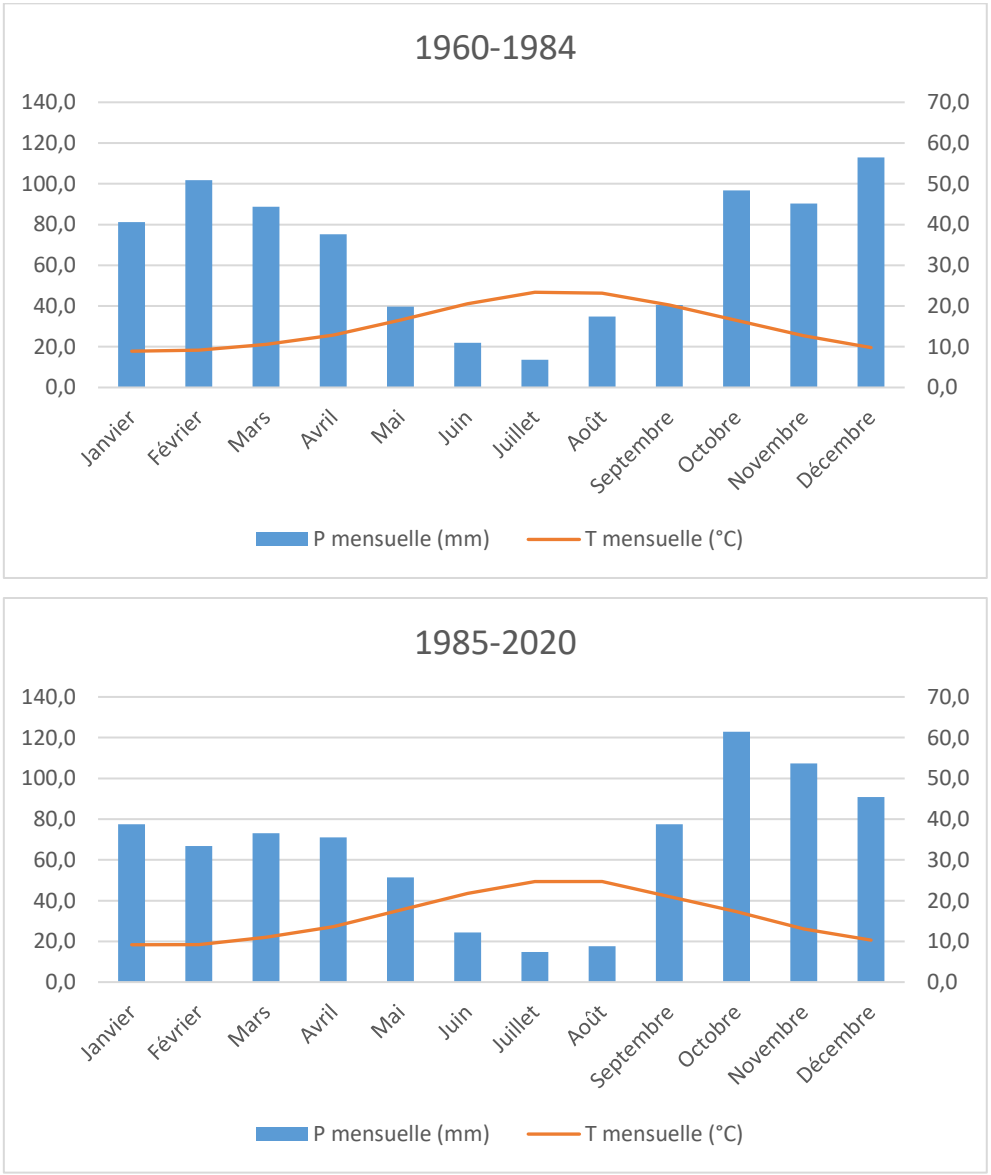


Figure 39 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques de la zone Est de 0 à 100 m

Pour la zone de 0 à 100m, la période biologiquement sèche s'étale sur 3 mois ici aussi, cela pour les deux périodes analysées. Graphiquement, son intensité semble être plus prononcée. Pour cette période sèche, la moyenne des températures mensuelles passe de 22,3 °C pour 1960-1984 à 23,7 °C (+1,4 °C) pour 1985-2020. La moyenne des précipitations reçues en période sèche subit une diminution de 19% pour 1985-2020 par rapport à 1960-1984. Le mois d'Août est le plus contraignant de la période sèche concernant l'évolution de la température moyenne mensuelle et surtout des précipitations moyennes mensuelles. On y note une diminution de plus 98 %, donc quasiment de moitié des cumuls reçus pour ce mois entre les deux périodes.

Zone Est - 101 à 600 m

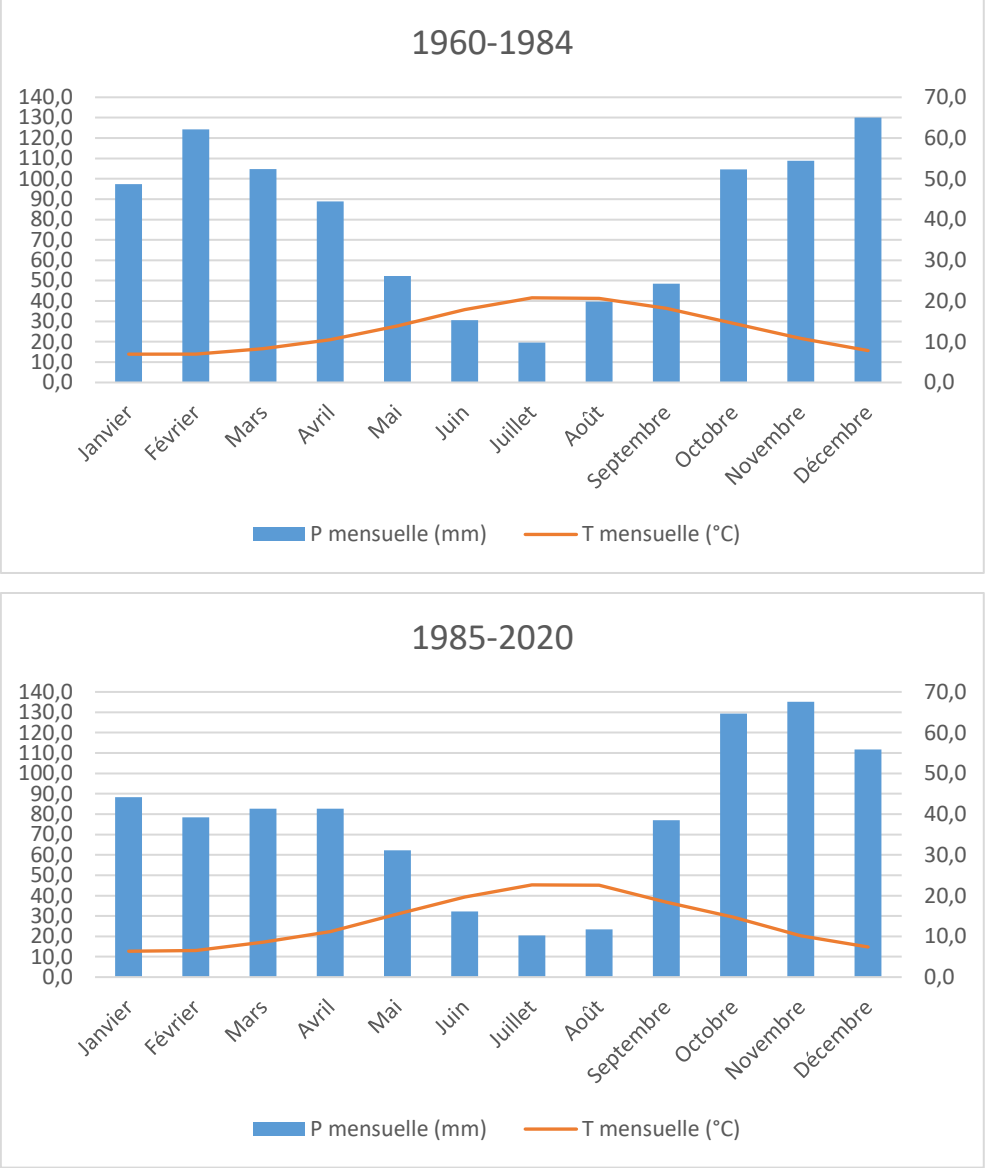


Figure 40 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques de la zone Est de 101 à 600 m

La période biologiquement sèche de la zone de 101 m à 600 m d'altitude évolue avec le temps. Elle passe de deux mois (la courbe de température touche très légèrement le pallier de précipitation du mois d'Août) pour 1960-1984 à trois mois pour 1985-2020. Pour cette période sèche, la moyenne des températures mensuelles augmente de manière conséquente en passant de 19,3 °C pour 1960-1984 à 21,6 °C (+2,3 °C) pour 1985-2020. La moyenne des précipitations reçues en période sèche subit une diminution de 15% pour 1985-2020 par rapport à 1960-1984.

Zone Est - 601 à 1 400 m

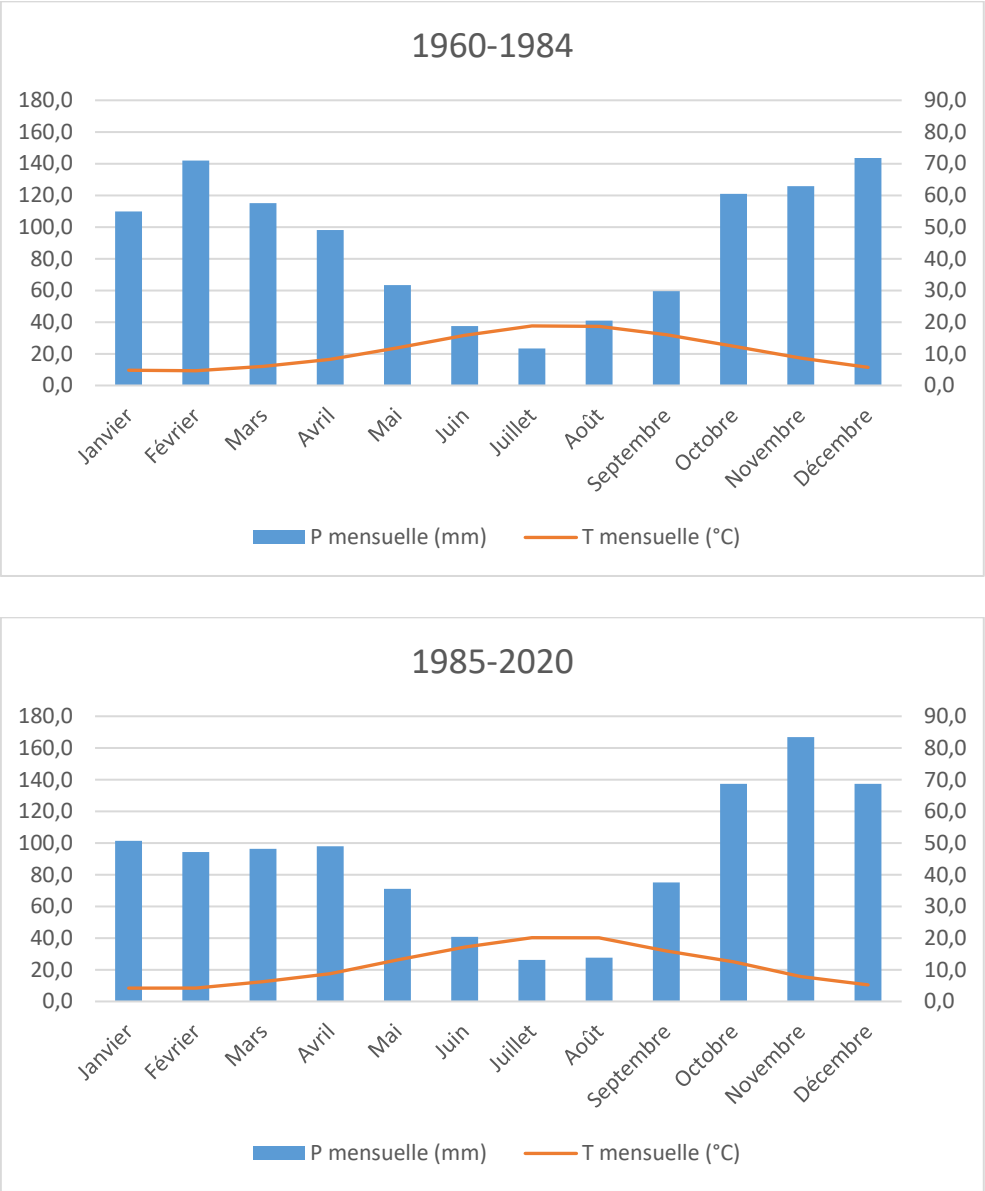


Figure 41 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques de la zone Est de 601 à 1 400 m

La période biologiquement sèche de la zone de 601 m à 1 400 m d'altitude augmente entre 1960-1984 et 1985-2020. Elle passe respectivement d'un mois (Juillet) à deux mois (Juillet et Août). Le calcul de l'aire formée par le croisement des courbes nous apportera des précisions sur l'évolution de l'intensité de la période sèche. En comparant 1960-1984 à 1985-2020, on s'aperçoit que la moyenne des températures mensuelles pour la période sèche augmente de 1,4 °C. Le mois d'Août semble être le mois le plus impacté avec 1,5 °C de plus sur la température mensuelle et surtout une diminution de 32% des précipitations mensuelles entre les deux périodes.

Zone Centrale – supérieure à 1 400 m

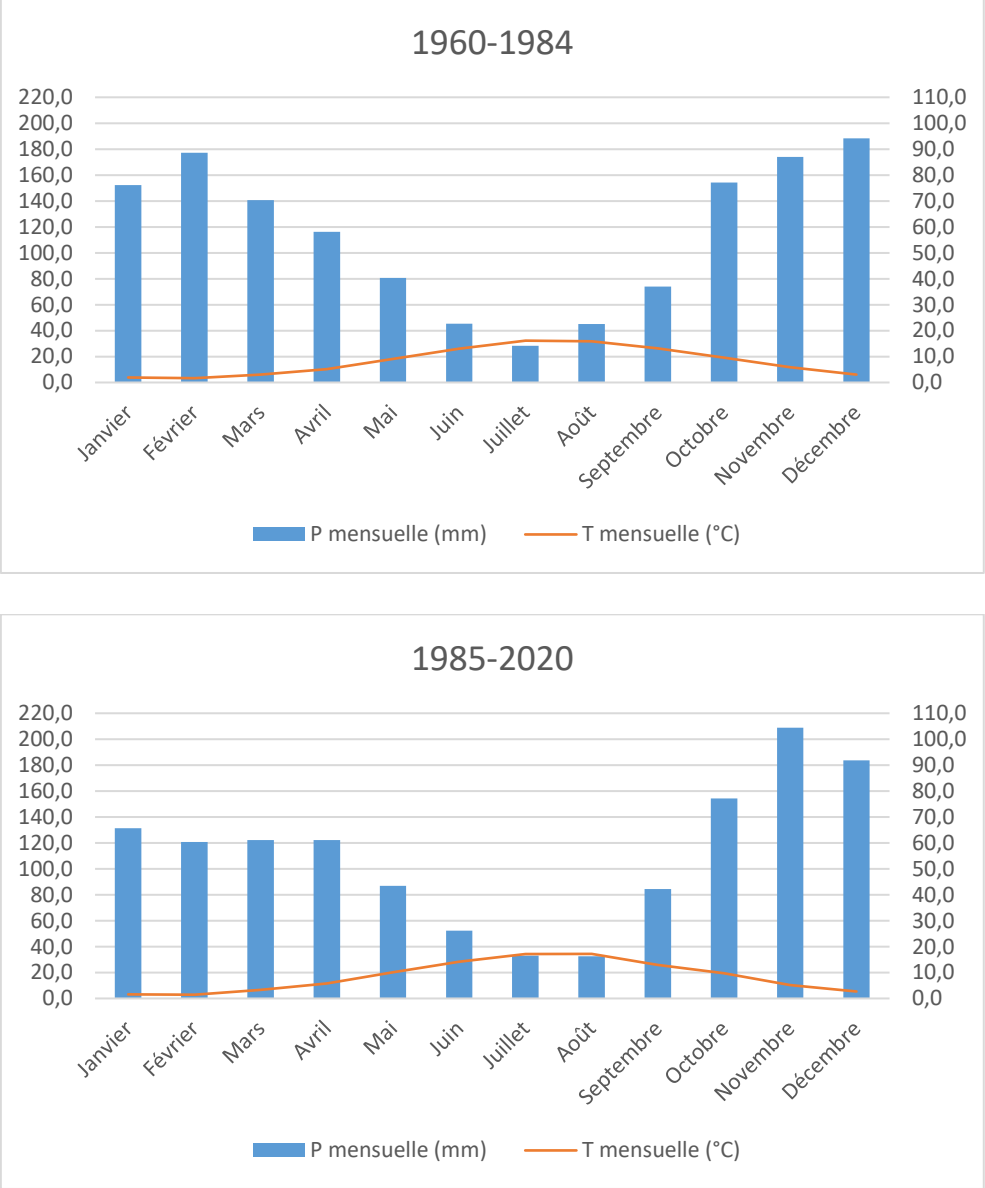


Figure 42 : Evolution temporelle des diagrammes ombrothermiques de la zone centrale supérieure à 1 400 m

Pour les stations situées au-dessus de 1 400 m, il est difficile d'interpréter graphiquement l'évolution des périodes biologiquement sèches au cours du temps. Nous constatons que le mois de Juillet est le seul mois de la saison sèche pour 1960-1984. Concernant 1985-2020, les précipitations du mois de Juillet sont légèrement plus importantes que la période précédente mais celles d'Août ont subi une diminution de 28%. Les températures mensuelles des mois de la période sèche augmentent de 1,2 °C en moyenne. Cela tendrait à faire rentrer le mois d'Août dans la période sèche mais il nous est très difficile de dire si la courbe des températures touche les blocs de précipitations.

Les diagrammes ombrothermiques mettent tous en évidence une période biologiquement sèche pendant la saison chaude, peu importe l'altitude et la zone prise en compte. Ce phénomène est caractéristique d'un climat méditerranéen (ROME & GIORGETTI, 2007 ; COLMET-DAAGE *et al.* 2019).

En synthétisant l'ensemble des résultats obtenus sur la comparaison des diagrammes ombrothermiques à l'échelle de la Corse, nous voyons une évolution vers un réchauffement global des températures en toutes zones. Que ce soit à l'Est de la Corse, comme à l'Ouest en passant par la barrière centrale et sans oublier les extrémités de l'île, les températures se sont réchauffées entre les deux périodes observées.

Ceci reste en parfaite cohérence avec la tendance à la hausse de la température observée à l'échelle globale (GIEC, 2013 et 2014). Dans son rapport de 2013, le GIEC identifie la Méditerranée comme l'une des régions les plus vulnérables au monde vis-à-vis des impacts du réchauffement climatique (GIEC, 2013). Le contexte du réchauffement climatique renforce la nécessité d'évaluer les conséquences possibles de ce changement sur cette région sensible qui est susceptible de devenir plus chaude et plus sèche (GIEC 2007, 2013). Il est d'autant plus cohérent de faire les observations précédentes sur les résultats obtenus connaissant la position de la Corse dans le bassin méditerranéen.

Dans leurs travaux dans l'Hérault, TONDUT *et al*. (2006) ont fait le même constat affligeant en étudiant l'évolution des températures depuis 1986 avec les mêmes conclusions, la tendance est à la hausse des températures. Les différents scénarios climatiques réalisés sur la France s'accordent sur une augmentation généralisée des températures (PEINGS *et al*., 2011 ; OUZEAU *et al*., 2014).

3.1.1. Evolutions des aires ombrothermiques entre 1960-1984 et 1985-2020

Les diagrammes ombrothermiques présentés précédemment nous ont apporté des précisions uniquement sur la durée de la période biologiquement sèche. Le climat méditerranéen auquel est soumis la Corse lui confère une période sèche pour les mois les plus estivaux de l'année. Nous avons également pu nous rendre compte de l'évolution de ces même périodes sèches selon un gradient altitudinal et également en prenant en considération la dimension spatiale. Malgré cela, le diagramme ombrothermique ne nous permet pas de

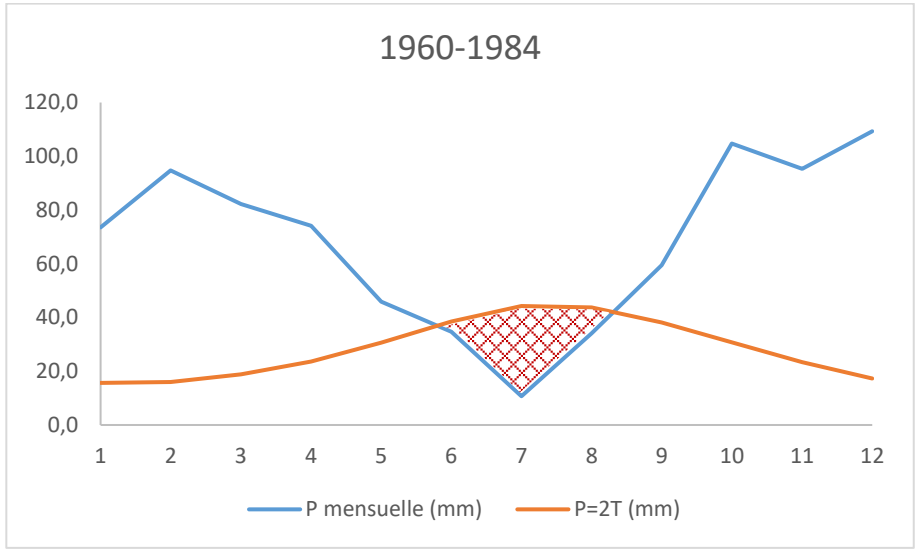
comparer les intensités de ces périodes sèches en fonction d'une part de l'altitude et d'autre part de la localisation sur l'île.

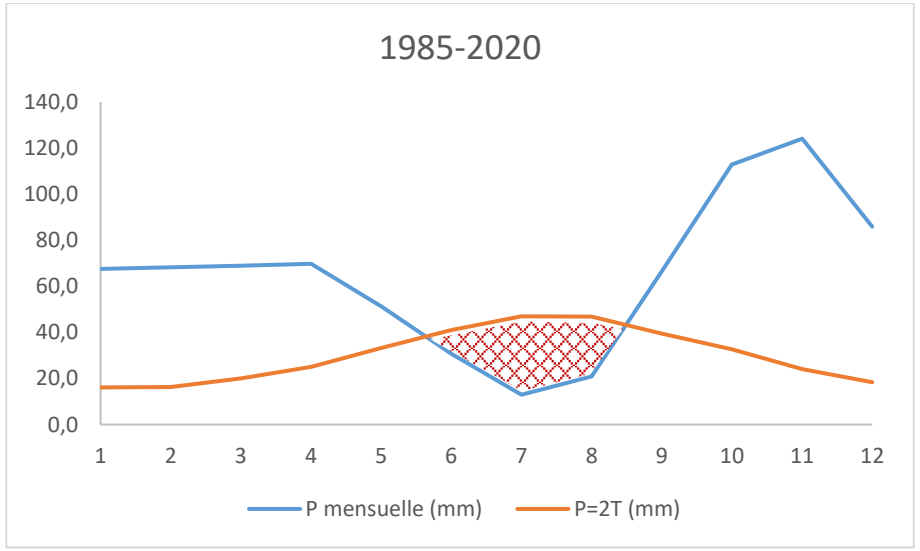
Afin de rester cohérent avec le modèle proposé par BAGNOULS & GAUSSEN (1953), nous avons calculé, pour les périodes 1960-1984 et 1985-2020, la valeur de l'aire délimitée par la forme géométrique libre, qui apparait sur le graphique, lorsque la courbe des précipitations passe sous celle de P=2T. Le logiciel Mathematica nous a permis de calculer les aires ombrothermiques pour les cinq zones déjà étudiées et pour chaque tronçon altitudinal. Plus la valeur de l'aire calculée est grande et plus la période biologiquement sèche est intense. Les résultats obtenus sont présentés de la Figure 43 à la Figure 46 avec les mois en abscisse et les précipitations en ordonnées.

Concernant les extrémités de l'île, plus particulièrement la zone Cap Corse/Balagne, l'observation visuelle de l'aire ombrothermique de 1960-1984 et celle de 1985-2020 semble présenter une augmentation pour la deuxième période. L'aire calculée pour la période 1960-1984 est de 45,4 mm.mois^{-1}, la période 1985-2020 présente une aire ombrothermique plus importante avec 68,4 mm.mois^{-1}. Le taux de variation entre les deux périodes est de 51 %, donc la période biologiquement sèche est plus intense pour la période 1985-2020, comme ont pu le démontrer MORI *et al*. (2017) et ORSINI *et al*. (2017) à l'échelle régionale.

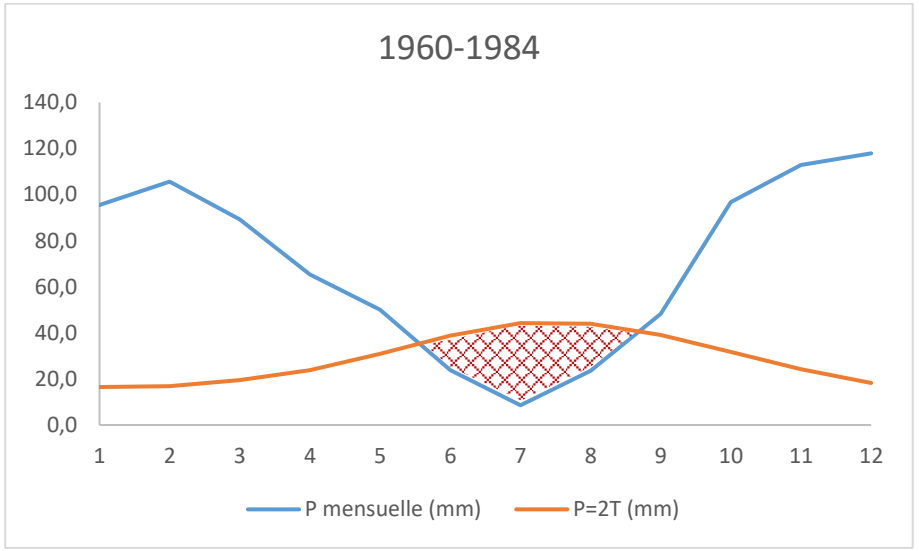
Pour la zone de l'Extrême Sud, l'observation ne révèle pas de variation nette de l'aire ombrothermique pour 1985-2020 (Figure 43). Mais la comparaison des aires ombrothermiques calculées montre une faible augmentation entre 1960-1984 et 1985-2020 avec respectivement 69,6 mm.mois^{-1} et 79,4 mm.mois^{-1} et un taux de variation de 14%. La comparaison des aires ombrothermiques des extrémités de l'île confirme l'augmentation dans le temps de cette composante avec des phénomènes plus marqués pour la zone Cap Corse/Balagne au Nord que pour l'Extrême Sud de l'île.

Zone Extrémité de l'île – Cap Corse/Balagne





Zone Extrémité de l'île – Extrême Sud



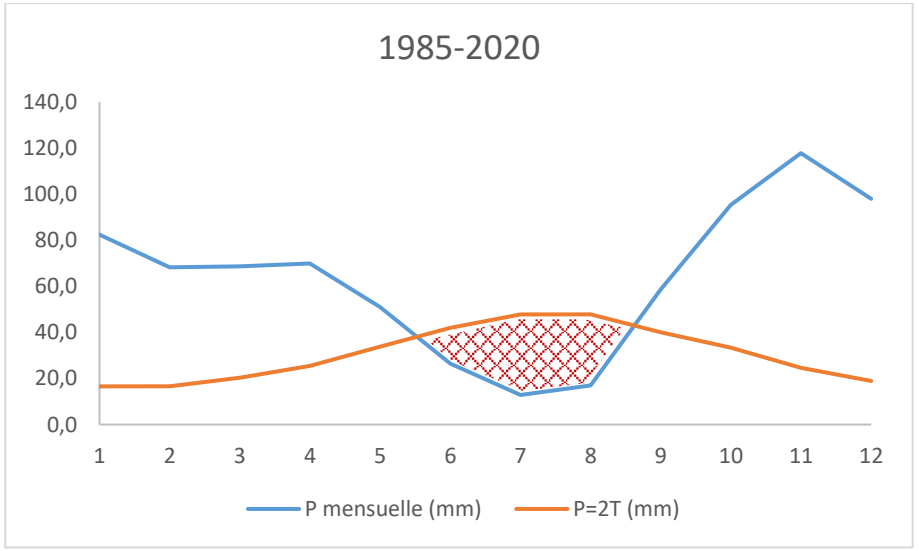


Figure 43 : Evolution temporelle des aires ombrothermiques des zones des extrémités de l'île entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020

Zone Ouest - 0 à 100 m	Zone Ouest - 101 à 600 m	Zone Ouest - 601 à 1 400 m

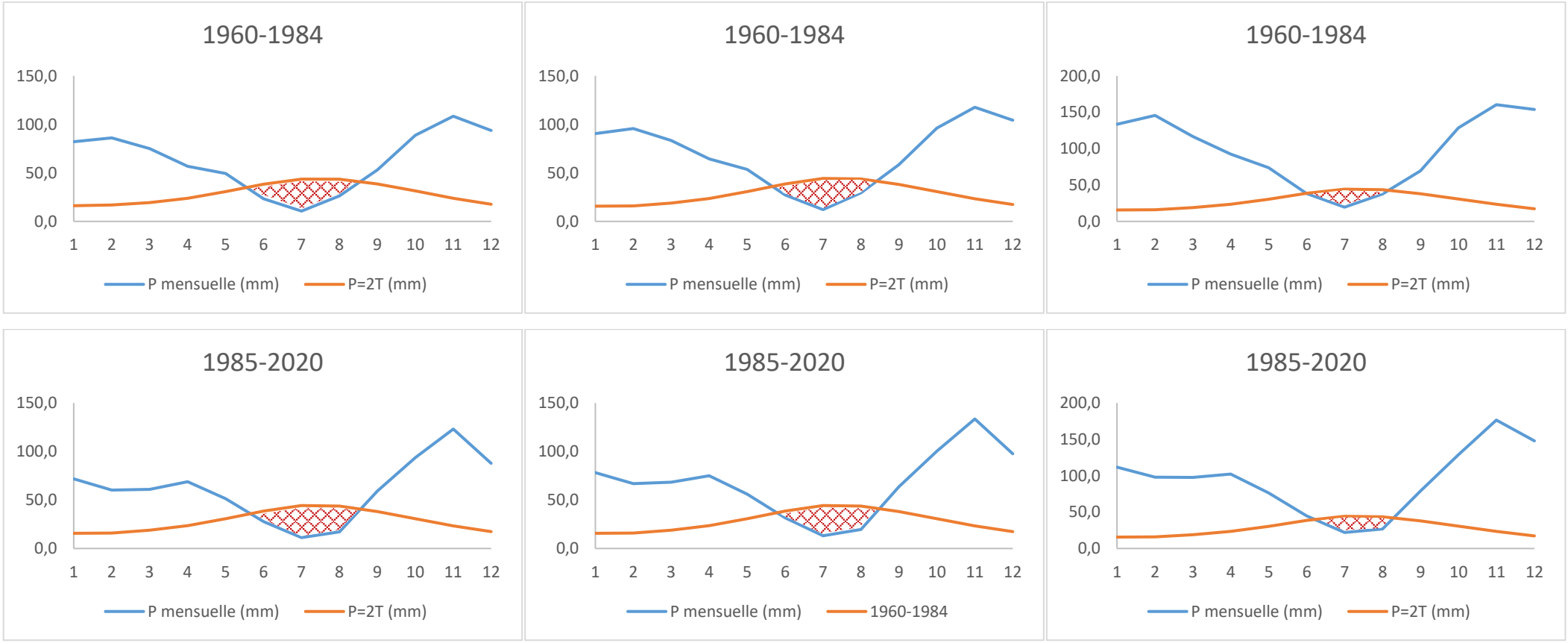


Figure 44 : Evolutions altitudinales et temporelles des aires ombrothermiques de la zone Ouest de la Corse entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020

La Figure 44 compare l'évolution de la période biologiquement sèche sur un gradient altitudinal. Pour les deux périodes, plus l'altitude augmente et plus la période sèche perd en intensité, ce qui est normal. Si l'on compare à altitude égale les deux périodes, nous observons une augmentation de l'intensité de la période sèche. Nous constatons également dans cette zone que plus nous montons en altitude et plus les taux de variations entre les aires des deux périodes augmentent. On relève 23% pour 0-100 m, 33% de 101 à 600 m et enfin 89% pour la zone allant de 601 à 1 400 m.

Zone Est - 0 à 100 m	Zone Est - 101 à 600 m	Zone Est - 601 à 1 400 m

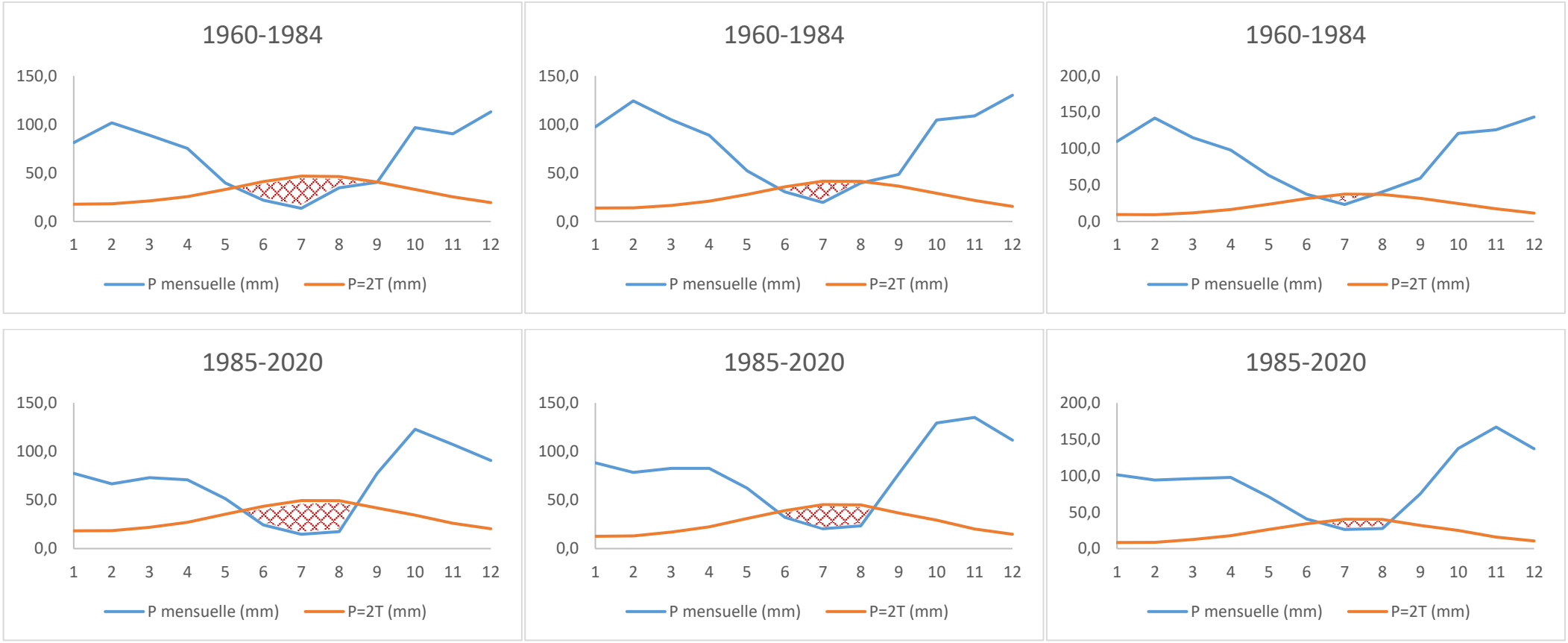


Figure 45 : Evolutions altitudinales et temporelles des aires ombrothermiques de la zone Est de la Corse entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020

Le constat observé dans la zone Est (Figure 45) est semblable au précédent. Les aires ombrothermiques diminuent avec l'altitude. Pour la dimension temporelle, l'intensité des périodes biologiquement sèches augmente entre les deux périodes et ceci pour tous les tronçons altitudinaux. Le taux de variation de l'aire de la zone 0-100 m est proche de 35% tandis que pour les zones 101-600 m et 601-1 400 m, il s'élève respectivement à 88% et 84%. Les zones d'altitudes sont également plus marquées que les zones de plaine pour la zone Est.

Zone Centrale – supérieure à 1 400 m

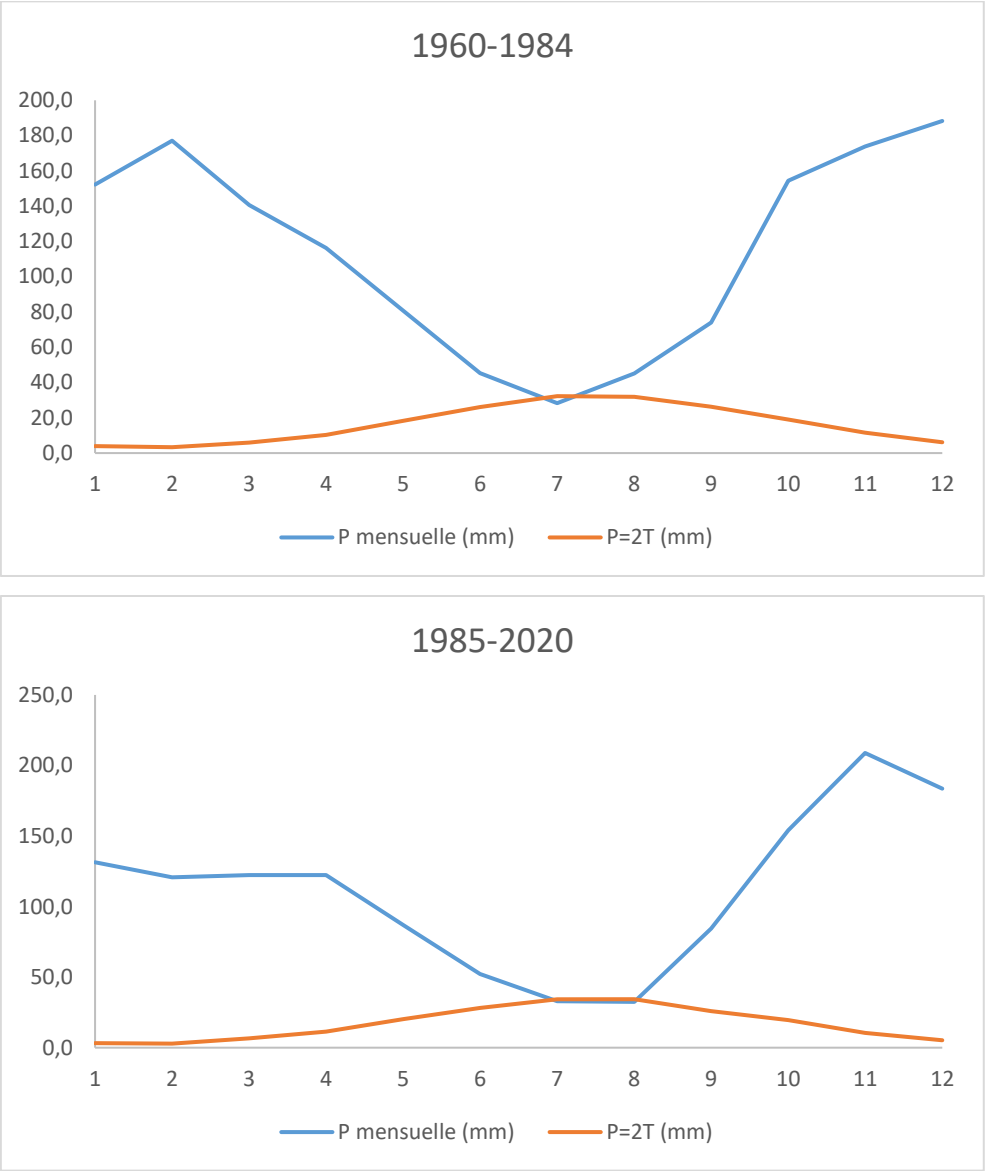


Figure 46 : Evolution temporelle des aires ombrothermiques de la zone centrale supérieure à 1 400 m

En s'attardant sur les aires ombrothermiques de la zone centrale de la Corse et ses stations situées au-dessus de 1 400 m d'altitude, nous observons des périodes sèches de faibles intensités voire inexistantes. La forme des aires confirme l'observation faite au paragraphe précédent sur les diagrammes ombrothermiques. Pour la période 1960-1984, nous avons une aire qui ne touche qu'un seul mois (Juillet) et qui est très petite. Pour la période 1985-2020, les valeurs de l'aire obtenue sont très faibles. Mais cette dernière tendrait à durer sur deux mois à la place d'un seul sur la période antérieure. Le logiciel de calcul nous donne un résultat mais nous alerte sur la pertinence de ce dernier. En effet nous sommes ici dans les limites de fonctionnement de l'équation permettant de calculer la valeur des aires ombrothermiques grâce à sa projection graphique. De ce fait le moindre petit changement de valeur dans les données

de précipitations ou de température fait varier le résultat du calcul. La valeur des aires est donnée à titre indicatif en prenant en considération que nous sommes en limite de fonctionnement du système. Pour la période 1960-1984 nous avons une aire ombrothermique de 3,1 mm.mois^{-1} et pour la période 1985-2020, la valeur est de 1,4 mm.mois^{-1}.

L'ensemble des résultats de calcul des aires ombrothermiques ainsi que les taux de variations entre les deux périodes est présenté dans le Tableau XIII.

Tableau XIII : Evolution spatio-temporelle des aires ombrothermiques de chaque zone

Zone	Altitude	Aires ombrothermiques (en mm.mois^{-1}) entre 1960 et 1984	Aires ombrothermiques (en mm.mois^{-1}) entre 1985 et 2020	Taux de variation (%)
Cap / Balagne	-	45,4	68,4	51%
Extrême Sud	-	69,6	79,4	14%
Ouest	0-100	63,8	78,6	23%
	101-600	49,7	66,3	33%
	601-1400	17,4	32,9	89%
Est	0-100	62,0	84,0	35%
	101-600	27,3	51,3	88%
	601-1400	13,4	24,7	84%

Le taux de variation nous donne une indication en pourcentage de l'évolution d'une donnée (à la hausse ou à la baisse) entre deux périodes. Pour toutes les zones étudiées, les taux de variations montrent une augmentation de l'aire ombrothermique qui traduit une intensification de la période biologiquement sèche. En plus de tendre à se rallonger globalement, la période biologiquement sèche est plus intense sur la période 1985-2020 que sur la période 1960-1984. Pour les extrémités de l'île, la zone Cap Corse/Balagne est plus touchée par ce phénomène que la zone Extrême Sud. Le taux de variation est relativement élevé (51%) mais est surtout quasiment le quadruple de celui observé pour l'Extrême Sud. En valeur absolue, les aires ombrothermiques sont plus grande dans le Sud mais leur variation d'une période à une autre est moins marquée.

L'impact du changement climatique s'avère être plus marquée pour la zone Ouest que la zone Est, avec des précipitations et des températures moyennes mensuelles qui augmentent

entre les deux périodes. Sur les figures suivantes, nous observons une diminution des aires ombrothermiques avec l'altitude, constatations déjà faites supra, mais surtout la position des courbes prouve sans équivoque que les aires ombrothermiques d'Ouest en Est sont plus grandes pour la période 1985-2020 que pour 1960-1984.

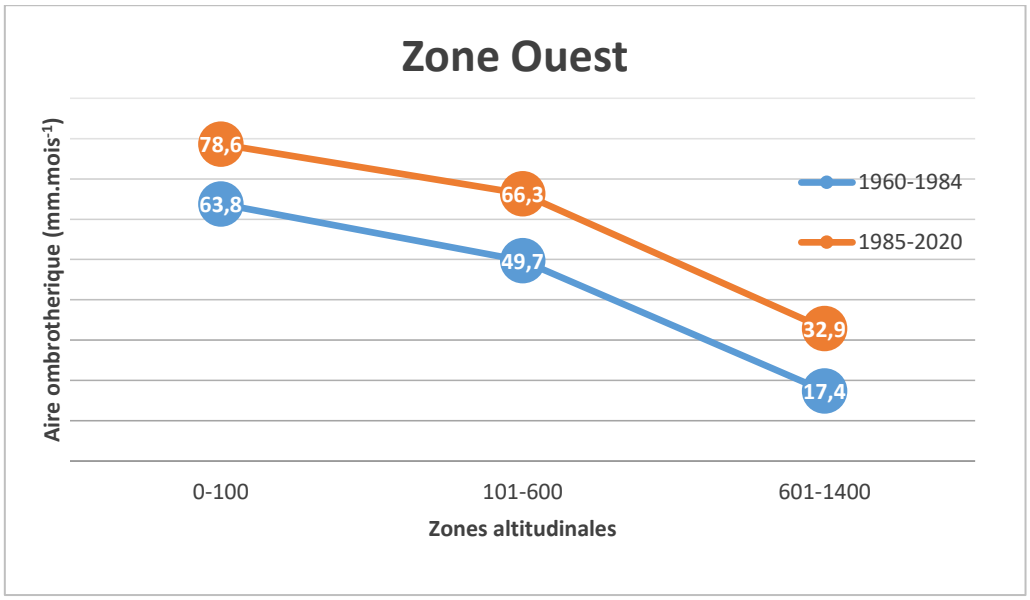


Figure 47 : Variation spatio-temporelle des aires ombrothermiques de la zone Ouest

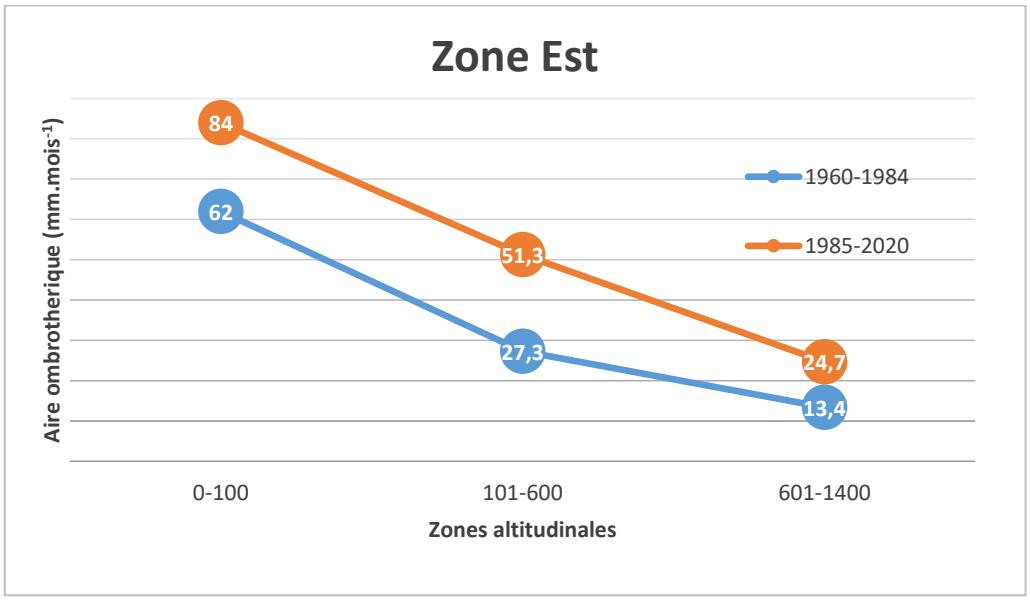


Figure 48 : Variation spatio-temporelle des aires ombrothermiques de la zone Est

Pour l'Ouest comme pour l'Est de la Corse, les zones d'altitude sont les témoins d'une intensification de la sècheresse entre les deux périodes. Les aires ombrothermiques de l'Ouest sont, de base, plus grandes que celle de l'Est, ceci pour les deux périodes mais elles possèdent, les unes comme les autres, un taux de variation d'autant plus important que l'altitude augmente.

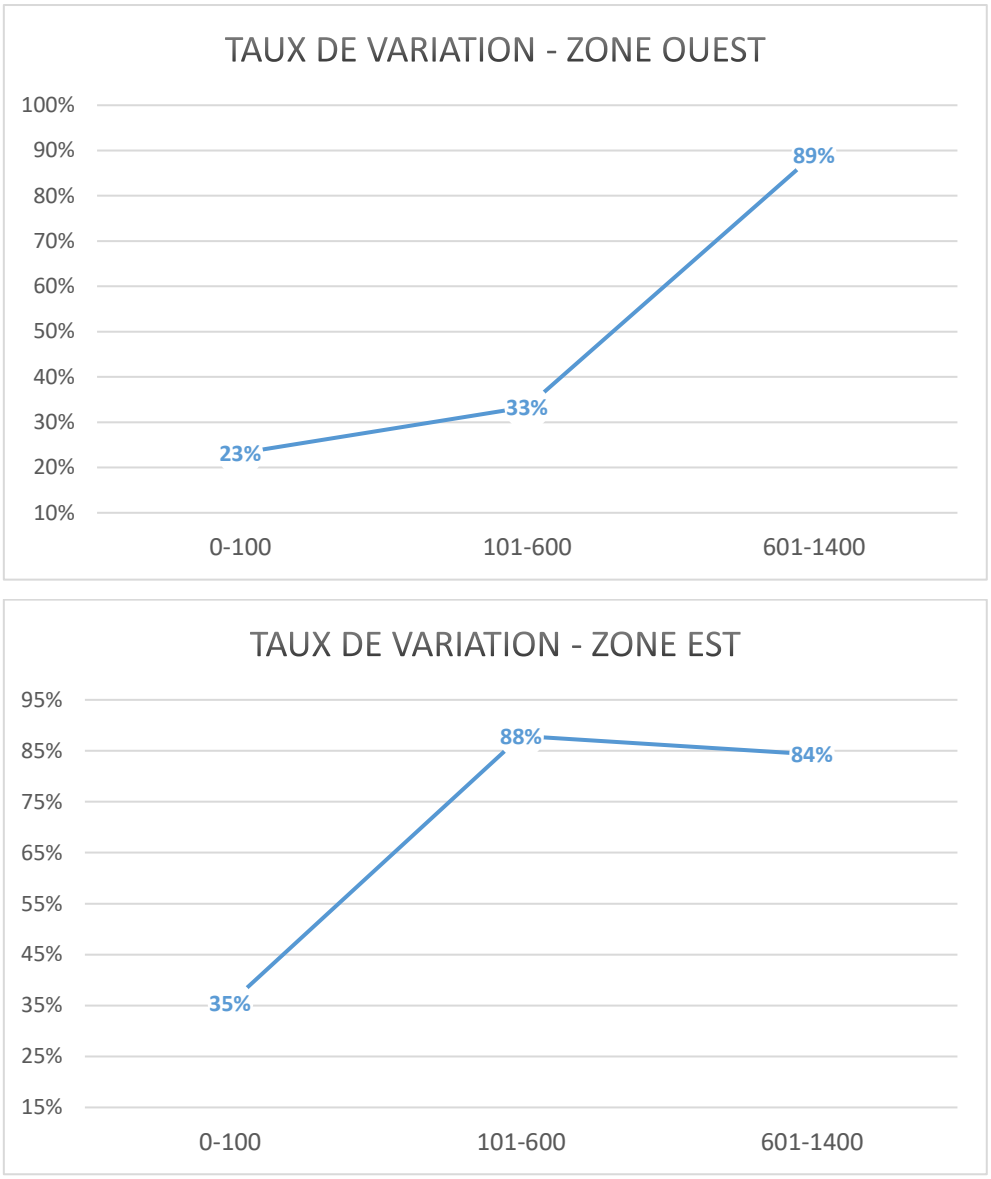


Figure 49 : Evolution des taux de variation des aires ombrothermiques des zones Ouest et Est

L'évolution des taux de variation des aires ombrothermiques en fonction de l'altitude mettent en évidence une exposition plus prononcée des zones d'altitude aux conséquences du changement climatique. En effet, même si les aires sont plus petites en altitude, leurs variations respectives entre les deux périodes sont très importantes, ainsi les contraintes associées à ses variations également.

La durée des périodes biologiquement sèches augmente, les précipitations diminuent et les températures moyennes augmentent sans oublier les maximales de température qui augmentent considérablement entre les deux périodes.

Si l'on veut comparer ces résultats en Corse notamment sur les données d'altitude, à d'autres régions, EINHORN *et al.* (2015) observe que l'augmentation des températures depuis

1950 dans les Alpes n'est pas homogène spatialement. Elle est plus marquée dans les Préalpes et les Alpes du nord que dans les Alpes du sud avec une augmentation respective moyenne de +2,1 °C, +1,8 °C et +1.6 °C.

Concernant les Alpes, les différentes projections de GOBIET *et al*. (2014) tendent vers une augmentation des températures d'environ +1,5 °C pour le milieu du siècle et de +2 °C à +4 °C pour la fin du siècle selon les scénarios par rapport à la période 1960-1990. Ces auteurs stipulent aussi que l'élévation des températures serait plus importante aux hautes altitudes dans les Alpes. Pour des altitudes supérieures à 3 500 m, GILBERT & VINCENT (2013) expose des taux d'élévation de +0,14 °C/décennie sur la période 1900-2004 ; +0,35 °C/décennie sur la période 1960-2004 et +0,56 °C/décennie sur 1985-2004.

3.1.3. Evolution temporelle des écarts de température

L'interprétation des box plots (boites à moustaches) réalisés pour les périodes 1960-1984 et 1985-2020 pour chaque tronçon altitudinal permet de constater l'évolution de la dispersion des températures. Afin d'étudier l'évolution de l'amplitude thermique constituée de la différence en valeurs absolues des température extrêmes (représentées graphiquement par les extrémités des moustaches).

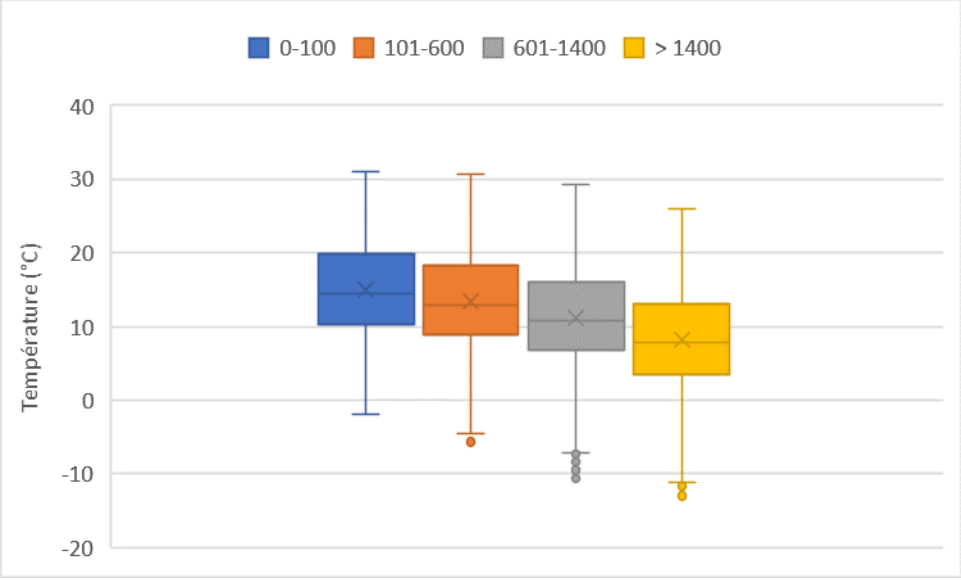


Figure 50 : Evolution des box plots des températures moyennes journalières selon un gradient altitudinal pour la période 1960-1984

La Figure 50 montre que la valeur des médianes des températures moyennes journalières diminuent avec l'altitude avec 14,4 °C pour la zone 0-100 m, 12,8 °C pour la zone 101-600 m, 10,7 °C pour la zone 601-1 400 m et 7,8 °C pour la zone supérieure à 1 400 m d'altitude.

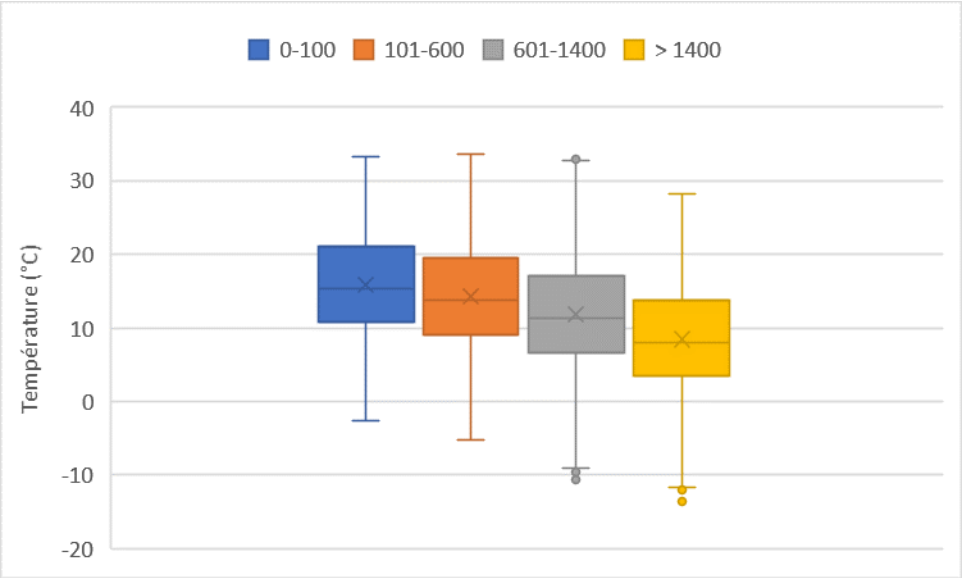


Figure 51 : Evolution des box plots des températures moyennes journalières selon un gradient altitudinal pour la période 1985-2020

La Figure 51 permet de tirer les mêmes conclusions quant à l'évolution des médianes pour la période 1985-2020. Elles diminuent avec l'altitude ce qui est normal ici encore. Nous observons pour cette période une médiane de 15,3 °C pour la zone 0-100 m, 13,7 °C pour la zone 101-600 m, 11,3 °C pour la zone 601-1 400 m et 8 °C pour la zone supérieure à 1 400 m d'altitude.

La comparaison de l'écart des médianes pour chaque altitude des deux périodes retenues montre que toutes les valeurs augmentent. Avec l'altitude, l'écart entre les médianes des deux périodes diminuent. Il est de +0,9 °C pour les deux zones 0-100 m et 101-600 m ; de +0,6 °C pour 601-1 400 m ; de +0,2 °C pour les zones supérieures à 1 400m.

Les extrémités des moustaches obtenues attirent notre attention et nous poussent à comparer pour chaque zone altitudinale les box plots obtenus pour les deux périodes dans la Figure 52. On observe que les températures extrêmes pour chaque zone altitudinale augmentent entre les deux périodes. Elles sont systématiquement plus importantes pour la période 1985-2020, tant pour les valeurs extrêmes basses que pour les valeurs extrêmes hautes. Avec une tendance à ce que les écarts des températures extrêmes positives entre les deux périodes soient plus prononcées que les écarts des températures extrêmes négatives. La tendance est bien au réchauffement en toutes zones. Une des conséquences du dérèglement climatique est l'augmentation de la fréquence et de l'amplitude des évènements extrêmes, notamment sur les valeurs de la température.

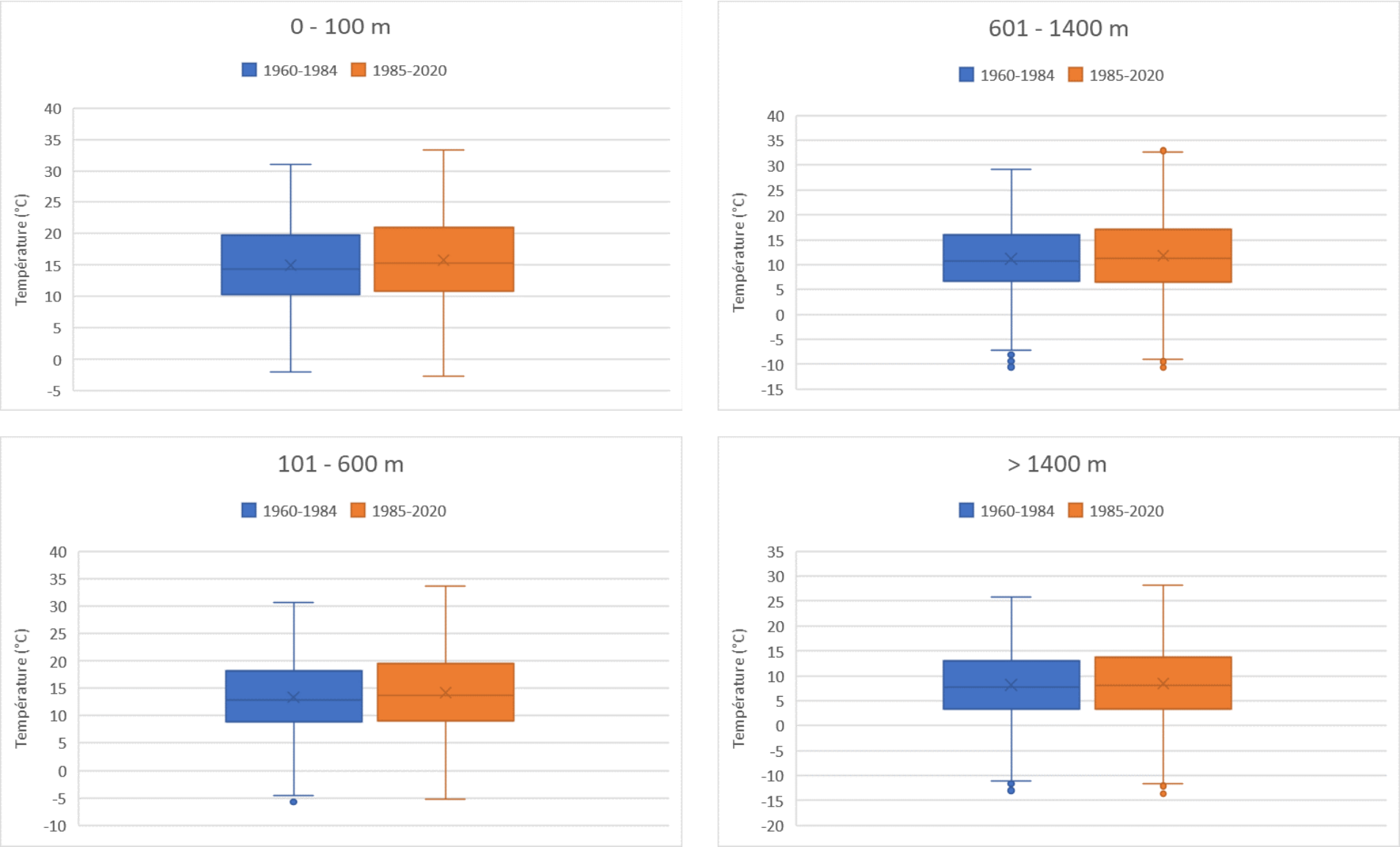


Figure 52 : Evolution des box plots des températures moyennes journalières pour chaque altitude entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020

Tableau XIV : Valeurs minimales et maximales des températures moyennes journalières de chaque zone altitudinale pour les deux périodes et écarts associés

	0-100 m		101-600 m		601-1400 m		> 1400 m	
	Maxi Tmoy (°C)	Mini Tmoy (°C)	Maxi Tmoy (°C)	Mini Tmoy (°C)	Maxi Tmoy (°C)	Mini Tmoy (°C)	Maxi Tmoy (°C)	Mini Tmoy (°C)
1960-1984	31,0	-2,0	30,7	-4,6	29,2	-7,2	25,9	-11,1
1985-2020	33,3	-2,7	33,6	-5,3	32,7	-9	28,2	-11,7
Ecarts (°C)	2,3	0,7	2,9	0,7	3,5	1,8	2,3	0,6

Les valeurs minimales et maximales des températures moyennes journalières sont présentées dans le Tableau XIV. Les écarts sont plus prononcés pour les valeurs maximales des températures moyennes. Les journées chaudes, voire très chaudes, sont donc plus intenses pour la période 1985-2020 que pour la période précédente. Nous constatons également, même si les écarts sont moins intenses, que les minimums de températures moyennes sont plus froids pour la période 1985-2020 que pour 1960-1984. Les valeurs des deux extrêmes sont donc plus importantes, avec un caractère plus prononcé pour les valeurs hautes, montrant un réchauffement conséquent.

Tableau XV : Amplitudes thermiques (°C) de chaque zone altitudinale pour les périodes 1960-1984 et 1985-2020

	0-100 m	101-600 m	601-1400 m	> 1400 m
1960-1984	33,0	35,3	36,4	37,0
1985-2020	36,0	38,9	41,7	39,9

La Figure 52 permet de calculer les amplitudes thermiques de toutes les zones pour chaque période. Le Tableau XV regroupe l'ensemble des amplitudes thermiques obtenues par différence entre les valeurs absolues des deux extrêmes de température de chaque zone altitudinale pour chaque période. Ces dernières, pour toutes les zones altitudinales de la période 1985-2020, sont toutes supérieures à leurs homologues de la période 1960-1984. Les valeurs extrêmes rencontrées sont donc plus importantes.

En s'attardant sur l'évolution des écarts entre les amplitudes thermiques des différentes zones altitudinales des deux périodes (Figure 53), nous constatons une augmentation de plus en plus forte de 0 à 1 400 m d'altitude. Les écarts des amplitudes thermiques pour la zone 601-1 400 m sont presque deux fois plus grands que ceux observés pour des altitudes comprises entre 0 et 100 m passant de +3 °C à +5,3 °C. Pour la partie située au-dessus de 1 400 m d'altitude, l'écart est de +2,9 °C.

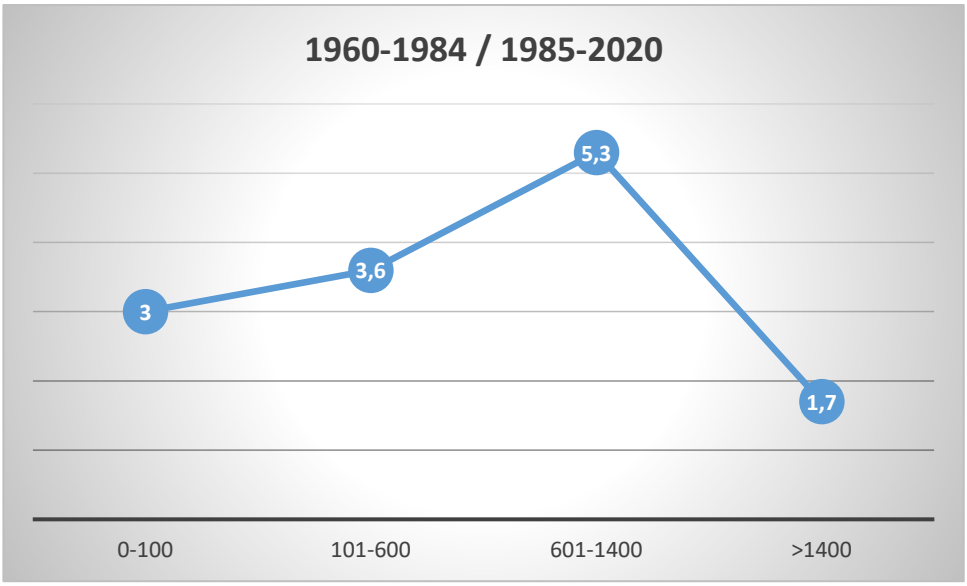


Figure 53 : Evolution des écarts des amplitudes thermiques de chaque zone altitudinale observés entre les périodes 1960-1984 et 1985-2020

Les valeurs minimales et maximales des températures moyennes journalières sont toutes plus importantes pour la période 1985-2020 que pour 1960-1984. Les écarts entre les valeurs extrêmes positives sont bien plus prononcés en toutes zones ayant des fortes répercussions sur les amplitudes thermiques. La température de l'air influe fortement sur celle de l'eau. Plusieurs études montrent qu'il existe une relation linéaire entre la température de l'eau et de l'air (MOHSENI & STEFAN, 1999 ; KINOUCHI *et al*., 2007). La compréhension des régimes thermiques des cours d'eau (températures minimales, maximales, moyenne et amplitude thermique annuelle) est primordiale en écologie. BOISNEAU *et al*. (2008).

La température de l'eau est principalement déterminée par l'altitude, l'agitation ou la stagnation de l'eau, la profondeur, l'exposition au rayonnement solaire, l'apport d'eau souterraine (PERSAT & PATTEE, 1981 ; DOLEDEC, 1986). Le développement de la ripisylve (en fonction de son coefficient de recouvrement) joue également un rôle important dans la régulation de la température et donc dans le maintien de la diversité des espèces aquatiques.

En effet, la canopée fermée de la strate arborescente de la végétation rivulaire, en limitant la pénétration du rayonnement solaire, empêche une forte élévation de la température de l'eau en été. L'influence de l'ombrage est dépendante de la largeur et de l'orientation du chenal, de la position du soleil et du type d'espèces arborées présentes (LI *et al*., 2012). La présence de ripisylve permet également de réduire la vitesse du vent ce qui limite les échanges de chaleur sensible et latente (STORY *et al*., 2003). Les précipitations influencent la température de l'eau localement même si les échanges observés sont assez faibles (OUELLET

et al., 2014). Les décalages temporels de la thermie sont à l'origine de perturbations des cycles biologiques (CARREL *et al*., 2003), les organismes ne retrouvant plus les signaux thermiques rythmant une phase de leur cycle de vie (LOWNEY, 2000).

Les travaux de MIN *et al*. (2011) font état d'un accroissement des phénomènes pluvieux extrêmes sur l'hémisphère nord pendant cette même période et démontrent son origine anthropique.

A l'échelle de la France, MAGAND (2014) fait état d'une diminution significative des débits moyens et d'une augmentation de la sévérité et de la durée des étiages au cours du XXI^{ème} siècle. Le débit des cours d'eau est étroitement lié à la pluviométrie. Ce constat a été fait par de nombreux auteurs dont SERVAT *et al*., (2003) et KOUASSI *et al*. (2008).

Les phénomènes météorologiques extrêmes sont à l'origine d'un contraste fortement marqué entre les périodes biologiquement sèches, plus intense et tendant à se rallonger, et les périodes de crues engendrées par une pluviométrie importante. Ces dernières causant autant de dégâts sur les milieux aquatiques et les peuplements qui y vivent que sur les infrastructures publiques et mettant en péril la sécurité des biens et des personnes. Les épisodes de précipitations extrêmes deviendront très probablement plus intenses et fréquents sur les continents de moyenne latitude et dans les régions tropicales humides d'ici la fin de ce siècle, en lien avec l'augmentation de la température moyenne (STOCKER *et al*., 2013).

3.2. Essai d'une nouvelle typologie des cours d'eau de Corse

En partant des résultats obtenus par ORSINI (2008) dans ses travaux sur les typologies des cours d'eau de Corse, nous proposons une nouvelle ébauche de typologie des cours d'eau de Corse mêlant des paramètres morpho-topographiques, hydrologiques et physico-chimiques et en y intégrant une logique de zonation longitudinale des invertébrés benthiques.

Tableau XVI : Essai de nouvelle typologie des cours d'eau de Corse

Groupes	Indications	Sous-Groupes	Indications	Cours d'eau	Longueur (km)	Altitude point culminant (m)	Direction de l'écoulement	Localisation source	Substrat dominant	Pente (%)			Conductivité moyenne (µS.cm-1)	QM (m3.s-1)
										moyenne	cours sup.	cours inf.		
1	CE coulent à l'Est, grande longueur avec bassins polylithologiques, 1500 m< altitude du point culminant < 2500m, hydrologie sous forte influence de la fonte des neiges	1.1	CE aménagés, chimie et hydrologie tamponnées par la présence d'infrastructures	Golu	92	2700	Est	Corse hercynienne	Granites / schistes	2 à 2,2	15	0,4	100	13,40 ± 1,41
		1.2	Cours supérieur des CE prenant naissance sur versant Est de la Corse hercynienne, coulant sur terrains granitiques, eaux faiblement minéralisées et légèrement acide	Tavignanu jusqu'à 240 m Restonica / Vecchiu Golu jusqu'à Calacuccia Ascu Fium'Orbu	18 à 35	2200 à 2700	Est	Corse hercynienne	Granites	2 à 2,5	7 à 15	< 1,5	60	10,5 ± 0,86
		1.3.a	CE ayant la source dans les granites de la Corse hercynienne traversant les schistes de la corse alpine minéralisation assez forte et alcalinité faible	Cours moyen du Tavignanu + Orta / Zincaghju Cours inférieur du Fium'Orbu	15 à 50	2200	Est	Corse hercynienne	Granites	2 à 3	5 à 9	0,5 à 3	160	n.d.
		1.3.b	CE ayant la source dans les schistes, minéralisation assez forte et alcalinité faible	Bevincu Fium'Altu Cours sup et moy de la Bravona + Presa	25 à 37	1500 à 1800	Est	Corse alpine	Schistes	4 à 5	8 à 11	0,5 à 2	250	0,89 ± 0,35
		1.4	Cours inf du TAVIGNANU et BRAVONA CE mineurs de la Corse alpine coulant sur terrains sédimentaires, Eaux très minéralisées	Tavignanu Bravona Alisgiani Abatescu	22 à 37	1501 à 1800	Est	Corse alpine	Terrains sédimentaires	4 à 5	8 à 11	0,5 à 1,5	> 300	0,89 ± 0,35
2	CE principaux de Corse qui traversent les granites du versant Ouest de la corse hercynienne, hydrologie marquée par l'exposition du BV aux flux d'Ouest avec influence saline, Minéralisation faible et pente moyenne entre 2 et 5 %			Rizzanese Taravu Prunelli Gravona Liamone	40 à 65	2000 à 2400	Ouest	Corse hercynienne	Granites	2,2 à 4,4	4,5 à 13	< 1	90	6,44 ± 2,4
3	Petites rivières coulant à l'Ouest où domine les granites	3.1	Forte altitude du point culminant du BV, pente moyenne elevée, Pente du cours supérieur très forte, Présence de rhyolites, Hydrologie marquée par le flux d'Ouest	Fangu Portu Figarella	20 à 35	2100 à 2700	Ouest	Corse hercynienne	Granites / rhyolites	6 à 9	10 à 25	1 à 3	70 à 130	2,14 ± 0,07
		3.2	Petits CE des extrémités de l'île, Pente moyenne faible, Altitude point culminant faible	Alisu Ortolu Ostriconi Reginu	10 à 35	1300 à 1600	Ouest	Corse hercynienne	Granites	3 à 5	8 à 14	< 1	n.d.	0,22 ± 0,03
	Petites rivières coulant à l'Est où domine les granites	3.3	Pente moyenne modérée, Pente du cours supérieur importante, Surface BV et altitude point culminant moins importante que 3.1	Cavu Osu Sulinzara Travu	20 à 30	1300 à 2100	Est	Corse hercynienne	Granites	4 à 6	9 à 16	0,5 à 1,5	< 120	n.d.
4	Cours d'eau du Cap Corse Petit BV Altitude du point culminant faible			Siscu / Luri Petracurbara Olmeta	5 à 12	1100 à 1300	Est	Corse alpine	Schistes et roches vertes	3 à 6	10 à 16	0,5 à1,5	250 à 450	0,18 ± 0,05

Cet essai de nouvelle typologie des cours d'eau de Corse permet de rassembler, dans des groupes distincts, des cours d'eau ou tronçons de cours d'eau qui fonctionneraient de la même manière. Les regroupements ayant été faits, pour l'ensemble des résultats de chaque typologie proposée par ORSINI (2008), grâce aux corrélations exprimer à travers un traitement statistique par ACP. Certains groupes ont été scindés en sous-groupes. C'est le cas pour les grands fleuves de Corse coulant vers l'Est et traversant des socles polylithologiques. En effet les paramètres morpho-topographiques comme la physico-chimie des eaux ainsi que la répartition des organismes vivant évoluent le long du profil longitudinal (LARSEN *et al.*, 1996). Nous avons fait l'état de l'art des grands principes de zonations longitudinales et il est donc logique de morceler le linéaires (important) de ce type de cours d'eau. Par exemple, en citant un cours d'eau faiblement anthropisé et ne présentant pas de grands barrages sur son cheminement, le Tavignanu traverse dans son cours supérieur les granites de la Corse hercynienne. Puis se faufile sur les schistes du Centre Corse dans son cours moyen pour terminer son chemin sur les terrains sédimentaires de la plaine orientale. La pente évolue également en diminuant. La nature de ses différents affluents change à son tour. La répartition des invertébrés benthiques et la faune piscicole associée évoluent elles aussi (GIUDICELLI, 1968 et DEGANI *et al.*, 1992). Le nombre de taxons augmente et parmi eux de nombreuses espèces introduites. Elles se font de plus en plus nombreuses car les conditions hydrologiques, hydrodynamiques et thermiques permettent leur installation et leur développement en étant moins contraignantes et plus accueillantes en termes d'habitat et de ressources. Certains cours d'eau de taille inférieure à ces grands fleuves peuvent être regroupé avec les différents tronçons des cours d'eau de grande longueur car ils possèdent de nombreuses corrélations (ORSINI, 2008).

Il nous était donc impossible de tenter de classer les cours d'eau de Corse en un seul et même groupe. Les petits cours d'eau du Cap Corse dont l'hydrologie ne dépend que des apports pluviaux ne se comportent pas comme ceux situés dans les granites et autres rhyolites du versant Ouest de la Corse hercynienne soumis à un régime pluvio-nival à tendance méditerranéenne. Cet essai de nouvelle typologie fait apparaitre quatre grands groupes, parmi lesquels certains d'entre eux renferment des sous-groupes afin de préciser la modélisation et de gagner en pertinence dans cet essai de typologie.

Le groupe 1 est un ensemblier des cours d'eau principaux de l'île qui coulent vers l'Est de la Corse. Ils traversent souvent des bassins polylithologiques. L'altitude du point culminant des bassins versants associés se situe entre 1 500 m et 2 500 m d'altitude. L'hydrologie est sous forte influence de la fonte des neiges tombées aux saisons froides. La localisation de la source peut être à la fois dans la Corse hercynienne comme dans la Corse alpine. Afin de gagner en précision sur cet essai de nouvelle typologie, nous avons scindé le groupe 1 en cinq sous-groupes :

Sous-groupe 1.1 : concerne les grands cours d'eau anthropisés et aménagés, présentant des barrages sur le profil longitudinal (Golu après la retenue de Calacuccia et Fium'orbu après la retenue de Sampolu). En effet, de nombreux auteurs ont déjà démontré l'impact des ouvrages hydroélectriques important comme les barrages (SOUCHON & NICOLAS, 2011 ; XU, 2013 ; CASADO *et al*., 2016), notamment sur la physico-chimie des eaux (BAYRAM *et al*., 2012 ; CHANUDET *et al*., 2016). Cette dernière serait tamponnée sur le linéaire impacté par le barrage. Les faibles débits alternés avec les phénomènes des éclusées à la suite des turbinages entrainent une homogénéisation de la chimie de l'eau notamment à cause du prélèvement de l'eau à une cote NGF haute, eau qui dévale à toute allure dans une conduite forcée pour être turbinée en aval éloigné. N'ayant ni le temps ni le substrat adéquat pour éroder le socle géologique et se charger en minéraux, les eaux présentent une conductivité faible et homogène sur plusieurs dizaines de kilomètre de cours d'eau. ORSINI (2008) en fait le constat dans le Golu. La conductivité reste faible (40 $\mu S.cm^{-1}$) sur près de 40 km. Avant la mise en service du barrage les valeurs de la conductivité du cours inférieurs du Golu oscillaient entre 100 et 250 $\mu S.cm^{-1}$ correspondant pour la première valeur aux périodes de hautes eaux printanières et automnales et pour la seconde aux deux périodes d'étiages hivernal et estival laissant le temps à la faible lame d'eau de se charger le long de son chemin. L'impact du complexe hydroélectrique de Calacuccia-Corscia se traduit par une homogénéisation de la minéralisation des eaux dont la valeur de la conductivité depuis son implantation oscille autour de 100 $\mu S.cm^{-1}$ toute l'année.

- **Sous-groupe 1.2 :** concerne le cours supérieur des rivières principales de l'île qui coulent vers l'Est. Notamment le Tavignanu jusqu'à 240 m et de ses affluents (Restonica et Vecchiu) ; le Golu dans sa partie supérieure en amont du barrage de Calacuccia et l'Ascu (un de ses affluents) ; le cours supérieur du Fium'Orbu en amont du groupement hydroélectrique. Ces cours d'eau, prenant naissance sur le versant Est

de la Corse hercynienne, coulent sur des terrains granitiques. La pente évolue entre 7 et 15 %. Les eaux y sont faiblement minéralisées (la conductivité moyenne est de 46,3 $\mu S.cm^{-1}$ ± 13,9) et légèrement acides (pH = 6,5 ± 0,6) ; ces valeurs se situent respectivement dans les classes 2 (minéralisation très faible) et 3 (acidité faible) de NISBET & VERNEAUX (1970).

- **Sous-groupe 1.3a :** comprend le cours moyen des cours d'eau ayant leur source dans les granites de la Corse hercynienne et qui traversent les schistes de la Corse alpine comme le Tavignanu et ses affluents l'Orta et le Zingaghju cours inférieur du Fium'Orbu.
- **Sous-groupe 1.3b :** concerne les rivières qui prennent naissance sur les schistes. On peut citer le Bivincu, le Fium'Altu, les cours supérieur et moyen de la Bravona (et son affluent principal, la Presa). Bonne minéralisation des eaux (conductivité maxi de 280 $\mu S.cm^{-1}$) légèrement alcalines (pH = 7,9 ± 0,3) ; ces valeurs se situent respectivement dans les classes 5 de la minéralisation (assez forte) et 5 de l'alcalinité (faible) de NISBET & VERNEAUX (1970).
- **Sous-groupe 1.4 :** comprend le cours inférieur du Tavignanu et de la Bravona, ainsi que des cours d'eau mineurs de la Corse alpine. Ces rivières coulent sur les terrains sédimentaires de la plaine orientale. Les eaux sont très minéralisées (conductivité > 300 $\mu S.cm^{-1}$).

Le groupe 2 rassemble les cours d'eau qui traversent les granites du versant Ouest de la Corse hercynienne (Gravona, Liamone, Prunelli, Rizzanese, Taravu et leurs affluents). 40 à 65 km de long et des bassins versants allant jusqu'à 500 km². La pente moyenne varie de 2,2 à 4,4 % ; l'altitude du point culminant du bassin versant, où dominent les granites, est élevée (2 000 m à 2 400 m). Les eaux sont légèrement plus minéralisées que dans le groupe 1, la conductivité moyenne est de 90 $\mu S.cm^{-1}$ ± 24 (classe 3 [minéralisation faible] de NISBET & VERNEAUX (1970), et le pH est proche de la neutralité (7,0 ± 0,3).

Le groupe 3 comprend les petites cours d'eau de 20 à 35 km de long du versant Ouest de la Corse hercynienne où dominent les granites.

- **Sous-groupe 3.1 :** Le Fangu, la Figarella et le Portu se distinguent des cours d'eau des autres sous-groupes par (i) une altitude élevée du point culminant du bassin versant (2 100 à 2 700 m), (ii) une pente moyenne élevée (6,3 à 9,1 %), (iii) une pente du cours supérieur très importante (10 à 25 %) et (iv) la présence de rhyolites dans le bassin

versant. L'influence du flux d'ouest est bien présente, l'hydrologie est fortement impactée par la pluviométrie et le débit spécifique annuel est très important (aussi élevé que celui du Golu et du Tavignanu). Le socle est très dur, les pentes très fortes et le relief du bassin versant imposant, bloquant les nuages et apportant très rapidement de grandes quantités d'eau qui finiront aussi vite à la mer.

- **Sous-groupe 3.2 :** on y retrouve des petits cours d'eau des extrémités de l'île comme l'Alisu, l'Ortolu, l'Ostriconi et le Reginu avec une altitude moyenne du point culminant (1 300 à 1 600 m), une pente moyenne située entre 3,1 et 5,6 % (avec une pente du cours inférieur faible de moins de 1 %). Les débits y sont faibles car l'altitude du point culminant est faible, ces cours d'eau sont soumis à un régime pluvial méditerranéen.
- **Sous-groupe 3.3 :** renferme les petites rivières coulant à l'Est (Cavu, Osu, Sulinzara, Travu) où domine les granites. La pente moyenne est modérée, la pente du cours supérieur importante (9 à 16 %), les surfaces des bassins versants ainsi que l'altitude du point culminant sont moins importantes que les sous-groupe 3.1.

Groupe 4 concerne les petits cours d'eau du Cap Corse (Luri, Siscu, Petracurbara…) avec une longueur faible comprise entre 5 et 12 km. La pente moyenne est comprise entre 3 et 6 %. Le débit est faible résultant d'une altitude du point culminant faible (entre 1 100 et 1 300 m). Les eaux sont fortement minéralisées du fait du substrat constitué de schistes et de roches vertes. Le Luri s'y distingue légèrement grâce à sa pente du cours supérieur élevée (16,7 %).

3.3. Le peuplement piscicole

3.3.1. Composition du peuplement piscicole des hydrosystèmes aquatiques de Corse

L'ensemble des données qui ont été récoltées puis complétées par les différents inventaires piscicoles effectués en complément pour combler des lacunes comme ceux effectués au cours de notre activité professionnelle au sein de la FCPPMA, font l'état d'un recensement piscicole relativement complet. Les derniers recensements datent de l'année 2015.

En Corse, la faune piscicole n'échappe pas à la règle des lacunes faunistiques, accentuée par son insularité. Peu d'espèces autochtones sont présentes dans les cours d'eau de Corse. Mais au total, ce sont tout de même 33 espèces qui sont dénombrées dans les cours d'eau (principalement) et certaines retenues artificielles.

L'inventaire piscicole comprend :

- 12 espèces autochtones dont 4 sont dulçaquicoles et 1 qui vit en eaux saumâtres,
- 21 espèces introduites (toutes dulçaquicoles) soit deux tiers de la totalité de la richesse spécifique insulaire.

Les introductions se sont accélérées au cours des 30 dernières années du XXIème siècle. En 1970, la Corse comptait 8 espèces introduites dans ses cours d'eau, puis 12 en 1980, 15 en 1990, pour arriver à 21 espèces depuis 2010. Toutes ces introductions sont d'origine anthropique. Le Tableau XVII dresse une liste des espèces présentes dans les cours d'eau de Corse. Comme tout inventaire, il n'est probablement pas exhaustif mais fait le bilan de l'ensemble des résultats de recensements scientifiques jusqu'en 2015. Notons que la carpe miroir (*Cyprinus carpio ssp. carpio*) ne figure pas dans nos listes car c'est une sous-espèce de la carpe commune (*Cyprinus carpio*).

Tableau XVII : Inventaire des espèces de poissons présentes en Corse

Historique		Nom commun (*nom latin*)	Descripteurs
Espèces autochtones	Dulçaquicoles	Blennie fluviatile (*Salaria fluviatilis*)	Asso, 1801
		Epinoche *(Gasterosteus aculeatus)*	Linnaeus, 1758
		Truite commune (*Salmo trutta*)	Linnaeus, 1758
	Eau saumâtre	Aphanius de Corse (*Aphanius fasciatus)*	Valenciennes, 1821
	Amphibiotique thalassotoque	Anguille européenne (*Anguilla anguilla)*	Linnaeus, 1758
	Amphibiotiques potamotoques	Alose feinte (*Alosa fallax)*	Lacépède, 1803
		Athérine (*Atherina boyeri*)	Risso, 1810
		Loup (*Dicentrarchus labrax*)	Linnaeus, 1758
		Mulet doré (*Chelon aurata*)	Risso, 1810
		Mulet à grosses lèvres (*Chelon labrossus)*	Risso, 1827
		Mulet porc (*Chelon ramada)*	Risso, 1827
		Mulet à tête plate (Mugil cephalus)	Linnaeus, 1758
Espèces introduites	Amphibiotiques potamotoques	Esturgeon commun (*Acipenser sturio*)	Linnaeus, 1758
	Dulçaquicoles	Achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*)	Lacépède, 1802
		Brochet commun (*Esox lucius*)	Linnaeus, 1758
		Carassin commun (*Carassius carassius*)	Linnaeus, 1758

		Carassin doré (*Carassius auratus*)	Linnaeus, 1758
		Chevaine (*Squalius cephalus*)	Linnaeus, 1758
		Carpe commune (*Cyprinus carpio*)	Linnaeus, 1758
		Gambusie (*Gambusia holbrooki*)	Girard, 1859
		Gardon (*Rutilus rutilus*)	Linnaeus, 1758
		Goujon asiatique (*Pseudorasbora parva*)	Temminck & Schlegel, 1846
		Goujon commun (*Gobio gobio*)	Linnaeus, 1758
		Grémille (*Gymnocephalus cernuus*)	Linnaeus, 1758
		Saumon (ou omble) de fontaine (*Salvelinus fontinalis)*	Mitchill, 1814
		Perche (*Perca fluviatilis*)	Linnaeus, 1758
		Poisson chat (*Ictalurus punctatus*)	Rafinesque, 1818
		Rotengle (*Scardinius erythrophtalmus*)	Linnaeus, 1758
		Sandre (*Sander lucioperca*)	Linnaeus, 1758
		Silure glane (*Silurus glanis*)	Linnaeus, 1758
		Tanche *(Tinca tinca)*	Linnaeus, 1758
		Truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*)	Walbaum, 1792
		Vairon de la Manche (*Phoxinus phoxinus*)	Linnaeus, 1758

3.3.1.1. Le peuplement piscicole des écosystèmes lentiques

3.3.1.1.1. Dans les lacs naturels

Au début du XX^{ème} siècle, seuls les lacs de Ninu et de Melu étaient connus pour leur population de truite fario (*Salmo trutta*). Les autres lacs étaient considérés comme stériles pour les poissons probablement à tort. En effet, le lac de Gialicatapianu, qui n'a pas été concerné par des opérations d'alevinage, présente une belle population de truite fario (*Salmo trutta*). La connexion avec le ruisseau de Manganellu, un affluent du Vecchiu (affluent du Tavignanu) peut expliquer cette situation. D'autres lacs de montagne en Corse sont peut-être dans le même cas.

En 1958, une opération d'alevinage en truite fario est effectuée aux lacs de Crenu et Vitalaca. En 1971, un alevinage de 24 000 truites fario (*Salmo trutta*) et de 6 000 ombles (ou saumons) de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) a été réalisé : (i) dans le massif du Ritondu aux lacs de Melu, Capitellu, Goria, Bellebone (ou Ritondu, ou Betaniella) et Oriente ; (ii) dans le massif du Rinosu aux lacs de Bastani, Bracca et Vitalaca (GAUTHIER *et al*, 1984).

En 1980, une inversion du rapport espèce introduite / espèce autochtone modifie les conditions de cohabitation des espèces au profit de l'espèce introduite qu'est le saumon de fontaine (*Salvelinus fontinalis*). Dans certains lacs comme le lac de Melu, l'espèce introduite a éliminé les espèces autochtones, de poissons d'abord avec la truite fario (*Salmo trutta*), car les ombles de près de 40 cm de longueur sont très voraces. Cette introduction est très probablement responsable de la baisse importante des effectifs de l'euprocte de Corse (*Euproctus montanus*), comme ça a déjà été le cas pour des batraciens dans certains lacs des Pyrénées (DELACOSTE *et al.*, 1997).

De nos jours, aux lacs de Ninu, Vitalaca, Gialicatapianu, Oriente, Crenu et Braca, le peuplement piscicole n'est représenté que par la truite fario (*Salmo trutta*). La faune piscicole des lacs d'Oriente, de Crenu et de Braca est en voie de disparition. *S. fontinalis* est l'unique espèce de poisson présente aux lacs de Melu, Bastani et Capitellu.

L'absence de poisson dans les lacs de Cavacciole, Maggiore, Niellucciu et Oru est probablement due à la très faible minéralisation des eaux. La valeur de la conductivité, qui reflète la minéralisation des eaux, est de 42 $\mu S.cm^{-1}$ au lac de Ninu. Celles relevées à Cavacciole, Maggiore, Niellucciu et Oru (13 à 26 $\mu S.cm^{-1}$) sont plus faibles, elles sont caractéristiques des eaux très faiblement minéralisées. Cette dernière est déterminante et joue un rôle important dans le développement des organismes peuplant le milieu notamment en étant fortement corrélée avec la production primaire. L'échec de l'alevinage à Goria et Bellebone (ou Ritondu, ou Betaniella) pourrait avoir la même explication.

3.3.1.1.2. Dans les lacs artificiels

Les retenues de barrages ainsi que les retenues collinaires et les gravières, forment des hydrosystèmes où se développent une faune dites lacustres. Cette dernière est composée des espèces autochtones simplement de passage dans cet hydrosystème le temps de trouver le chemin (dans l'idéal où l'ouvrage ne représente pas un obstacle à la migration de l'espèce) de la montaison ou de la dévalaison. Ces espèces autochtones sont très souvent bloquées par ces ouvrages. Il s'agit seulement de deux espèces autochtones dont une souvent retrouvée à savoir la truite fario (*Salmo trutta*). Pour l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), les seuls individus qui peuvent être encore présents seraient de vieux individus bloqués leur de leur dévalaison pour rejoindre la Mer des Sargasses. En absence de passe à anguilles (*A. anguilla*), les individus ne peuvent plus dévaler et sont ainsi bloqués. Il en resterait dans le barrage du Rizzanese vu la

date récente de sa mise en eau, mais il est peu probable de retrouver des anguilles (*A. anguilla*) dans les autres retenues artificielles en l'absence de passe à poisson.

L'accessibilité et la fréquentation humaine de ces plans d'eau facilite l'introduction d'espèces. Qu'elles soient involontaires ou motivées par diverses raisons, les introductions sont nombreuses en Corse malgré son insularité. Ainsi de nombreux plans d'eau renferment de nombreuses espèces introduites de poissons. Le Tableau XVIII expose, selon les dernières prospections effectuées, la liste des espèces introduites dans les lacs artificiels de Corse.

Tableau XVIII : Liste des espèces introduites présentes dans les plans d'eau de Corse

Nom commun (*nom latin*)	Descripteurs
Achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*)	Lacépède, 1802
Brochet commun (*Esox lucius*)	Linnaeus, 1758
Carassin commun (*Carassius carassius*)	Linnaeus, 1758
Carassin doré (*Carassius auratus*)	Linnaeus, 1758
Chevaine (*Squalius cephalus*)	Linnaeus, 1758
Carpe commune (*Cyprinus carpio*)	Linnaeus, 1758
Gambusie (*Gambusia holbrooki*)	Girard, 1859
Gardon (*Rutilus rutilus*)	Linnaeus, 1758
Goujon asiatique (*Pseudorasbora parva*)	Temminck & Schlegel, 1846
Goujon commun (*Gobio gobio*)	Linnaeus, 1758
Grémille (*Gymnocephalus cernuus*)	Linnaeus, 1758
Perche (*Perca fluviatilis*)	Linnaeus, 1758
Poisson chat (*Ictalurus punctatus*)	Rafinesque, 1818
Rotengle (*Scardinius erythrophtalmus*)	Linnaeus, 1758
Sandre (*Sander lucioperca*)	Linnaeus, 1758
Silure glane (*Silurus glanis*)	Linnaeus, 1758
Tanche *(Tinca tinca)*	Linnaeus, 1758
Truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*)	Walbaum, 1792
Vairon de la Manche (*Phoxinus phoxinus*)	Linnaeus, 1758

3.3.1.2. Le peuplement piscicole des écosystèmes lotiques

Qu'elles soient autochtones ou introduites, certaines espèces fréquentent à la fois les écosystèmes lentiques et lotiques. Elles arrivent à se développer dans les deux milieux car elles retrouvent les conditions nécessaires à leur expansion ou arrivent à développer, si ce n'est des

adaptations, une certaine accoutumance aux nouvelles conditions de ce milieu d'accueil. Le Tableau XIX dresse la liste des espèces peuplant les cours d'eau de Corse.

Tableau XIX : Liste des poissons autochtones présents dans les cours d'eau de Corse

Historique		Nom commun (*nom latin*)	Descripteurs
Espèces autochtones	Dulçaquicoles	Blennie fluviatile (*Salaria fluviatilis*)	Asso, 1801
		Epinoche *(Gasterosteus aculeatus)*	Linnaeus, 1758
		Truite commune (*Salmo trutta*)	Linnaeus, 1758
	Eau saumâtre	Aphanius de Corse (*Aphanius fasciatus)*	Valenciennes, 1821
	Amphibiotique thalassotoque	Anguille européenne (*Anguilla anguilla)*	Linnaeus, 1758
	Amphibiotiques potamotoques	Alose feinte (*Alosa fallax(*	Lacépède, 1803
		Athérine (*Atherina boyeri*)	Risso, 1810
		Loup (*Dicentrarchus labrax*)	Linnaeus, 1758
		Mulet doré (*Chelon aurata*)	Risso, 1810
		Mulet à grosses lèvres (*Chelon labrossus(*	Risso, 1827
		Mulet porc (*Chelon ramada)*	Risso, 1827
		Mulet à tête plate (Mugil cephalus)	Linnaeus, 1758

De nouvelles introductions ont pu avoir lieu entre l'année 2015 et la date de rédaction de nos travaux mais les derniers recensements effectués par les gestionnaires et certains bureaux d'études privés pratiquant des recensements piscicoles fréquents dans diverses zones de Corse ne comprennent pas d'espèce supplémentaire. (OFB ; FCPPMA ; SO CONSULTANT ; données non publiées) :

Tableau XX : Liste des poissons introduits présents dans les cours d'eau de Corse

Esturgeon commun (*Acipenser sturio*)	Linnaeus, 1758
Brochet commun (*Esox lucius*)	Linnaeus, 1758
Carassin commun (*Carassius carassius*)	Linnaeus, 1758
Chevaine (*Squalius cephalus*)	Linnaeus, 1758
Carpe commune (*Cyprinus carpio*)	Linnaeus, 1758
Gambusie (*Gambusia holbrooki*)	Girard, 1859
Gardon (*Rutilus rutilus*)	Linnaeus, 1758
Goujon commun (*Gobio gobio*)	Linnaeus, 1758
Grémille (*Gymnocephalus cernuus*)	Linnaeus, 1758
Perche (*Perca fluviatilis*)	Linnaeus, 1758

Poisson chat (*Ictalurus punctatus*)	Rafinesque, 1818
Rotengle (*Scardinius erythrophtalmus*)	Linnaeus, 1758
Silure glane (*Silurus glanis*)	Linnaeus, 1758
Tanche *(Tinca tinca)*	Linnaeus, 1758
Truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*)	Walbaum, 1792
Vairon de la Manche (*Phoxinus phoxinus*)	Linnaeus, 1758

3.3.2. Richesse spécifique et évolution des limites altitudinales

La compilation de l'ensemble des recensements piscicoles permet de relever, dans ce contexte de réchauffement climatique y compris à l'échelle régionale abordé en paragraphe 3.1, les évolutions dans la répartition altitudinale d'espèces de poissons en Corse. Par rapport à ce qu'a pu exposer ROCHE (1987) dans la zonation piscicole des cours d'eau de Corse, un certain nombre de changement peuvent être mis en avant. Une double problématique se pose alors : (i) les introductions de nombreuses espèces de poissons d'eau douce, toutes d'origine anthropique (car les bassins versants insulaires ne permettent pas la circulation d'espèces entre eux, agissant comme de véritables barrières infranchissables) font augmenter la richesse spécifique des cours d'eau de Corse ; (ii) dans une dynamique de réchauffement global de tous les compartiments et d'augmentation des épisodes météorologiques à caractère extrême, ces espèces introduites colonisent des milieux différents et occupent des niches écologiques plus étendues.

3.3.2.1. Richesse spécifique piscicole

Avec 21 espèces introduites, dont 16 dans les cours d'eau, les hydrosystèmes de Corse ont vu leur richesse spécifique augmenter. La quasi-totalité de ces espèces introduites fréquente le cours inférieur des rivières. L'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) est uniquement présent dans les lacs de montagne et à l'aval de leur déversoir. ROCHE (1987) faisait état de la présence de la gambusie (*Gambusia holbrooki*) et du poisson chat (*Ictalurus punctatus*) aux alentours des 50 m d'altitude dans sa zone d'influence marine. Actuellement, 10 autres espèces sont inventoriées à ces altitudes. La compilation de l'ensemble des recensements piscicoles montre que certaines de ces espèces sont capables de remonter au-delà de cette zone d'influences marine et de coloniser le cours moyen de certaines rivières.

C'est le cas pour le chevaine (*Squalius cephalus*) que l'on retrouve dans de nombreux cours d'eau de Corse avec des densités assez conséquentes (4 360 ind.ha^{-1}). Ce poisson est

ubiquiste et s'adapte à de nombreux types d'habitats, mais occupe préférentiellement la « zone à ombre » ou la partie supérieure de la « zone à barbeau » selon HUET (1949). Il fréquente des eaux claires courantes. Il tolère des valeurs élevées de température de l'eau (30 °C) si les conditions d'oxygénation sont bonnes, ainsi qu'une certaine dégradation de la qualité de l'eau et de l'habitat. Il côtoie la truite fario (*Salmo trutta*), et toutes les espèces rhéophiles avec lesquelles il entre en compétition. Le chevaine adulte a tendance à chasser les juvéniles de ces espèces et ceux de *Salmo trutta* [3]. Les conséquences du changement climatique peuvent exacerber cette compétition interspécifique.

En effet, EATON & SCHELLER (1996) estiment que la grande majorité des poissons d'eau froide perdraient 50% de leurs habitats qui leur sont favorables actuellement dans un contexte de réchauffement climatique. Pour les espèces thermophiles, toutes les études ne s'accordent pas entre elles. Certaines prédisent que les poissons d'eau chaude pourraient perdre 14% d'habitats favorables (EATON & SCHELLER, 1996) alors que d'autres estiment qu'un gain d'habitat pourrait atteindre 31% (MOHSENI *et al*., 2003).

Le cas du vairon de la Manche (*Phoxinus phoxinus*) est à citer car il se retrouve dans quasiment tout le cours inférieur des rivières de Corse. Il colonise de plus en plus le cours moyen, jusqu'à environ 500 m d'altitude. L'évolution du climat et notamment l'augmentation des températures moyennes ainsi que les diminutions des débits ont forcément un impact sur l'extension de sa niche écologique. On le retrouve très fréquemment à des altitudes comprise entre 150 et 350 m avec des densités remarquable de 2 500 à 10 000 ind.ha^{-1}.

Une station de recensement située sur le cours inférieur du Prunelli fait partie des stations pour lesquelles nous pouvons intégrer la dimension temporelle dans la structure de son peuplement piscicole. Nous disposons de 17 années consécutives de recensements sur ce point et nous notons que cette portion située à 15 m d'altitude a toujours renfermé beaucoup d'espèces introduites. Le vairon de la Manche (*Phoxinus phoxinus*) a fait son apparition dans ce cours d'eau seulement en 2010.

De nombreux cours d'eau de Corse ont été colonisés par des espèces exogènes de poissons. Après des épisodes de crues importantes, le Fiume di Reginu compte parmi ses nouvelles espèces de poisson depuis 2011, la carpe commune (*Cyprinus carpio*) et la carpe miroir (*Cyprinus carpio carpio*). Ces taxons n'étaient pas recensés les années précédentes et ont très probablement été expulsés de la retenue d'E Cotule, plan d'eau où ils sont présents.

Plusieurs observations des agents de l'OEHC exploitant le barrage ainsi que celles du personnel de la FCPPMA témoignent du passage des carpes par l'évacuateur de crues.

L'achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*) est également présent dans ce plan d'eau et il est à redouter qu'il ne suive le chemin des carpes communes car ce poisson est un carnassier vorace redoutable et rusé qui peut avoir un fort effet de prédation sur des espèces indigènes et affaiblir les populations de poissons et d'amphibiens.

Le Fium'Orbu dans son cours inférieur a connu l'apparition du goujon commun (*Gobio gobio*) à partir de 2009. Il n'était pas présent avant et les recensements effectués aux mêmes stations de pêches électriques à partir de cette date confirment sa présence constante dorénavant dans le Fium'Orbu.

Dans le cours inférieur du Tavignanu, les espèces autochtones dulçaquicoles et les amphibiotiques (potamotoques et thalassotoques) cohabitent. Se mêlent à ces espèces, les nombreux poissons introduits et cela depuis le milieu des années 70. La tanche (*Tinca tinca*) par exemple a déjà été pêchée dans le cours inférieur du Tavignanu sur la commune de Piedicorte di Gaghju selon des témoignages de pêcheurs ayant été marqués par la présence de cette espèce jamais rencontrée dans ce fleuve jusque-là. Les seuls points connus et encadrés de déversement de cette espèce dans les années 70 sont les quelques retenues collinaires de la plaine orientale de l'île (BATTESTINI, communication personnelle, 2017). La probabilité de son expulsion lors d'épisodes pluvieux importants sur la plaine orientale mettant en charge les retenues de Bacciana ou/et de Teppe Rosse est fortement suspectée, sans écarter son introduction directement par la main de l'Homme.

Plus haut dans la vallée, une récente information a été relayée par plusieurs pêcheurs qui ont observé et pêché des saumons de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) dans la Restonica en aval du lac du Melu à 1 480 m. Cette espèce, recensée dans les lacs de Melu et Capitellu ainsi que dans les pozzines du Melu et le ruisseau reliant les deux lacs, n'a jamais été observée dans la Restonica. Le recensement le plus haut que nous avions effectué dans la Restonica est situé à 1 386 m d'altitude au niveau des bergeries des Grutelle et nous n'avions pas retrouvé cette espèce en 2014 et 2015. Il serait pertinent de prospecter ce tronçon afin de confirmer cette observation.

3.3.2.2. Evolution des limites altitudinales supérieures

Dans un contexte de changement climatique et de l'apparition de ses conséquences préoccupantes sur de nombreux compartiments, nous avons étudié l'évolution temporelle des limites altitudinales supérieures de certaines espèces. Dans sa zonation prenant en considération environ 80 points de recensement piscicole, ROCHE (1987) propose une zonation piscicole en tenant compte des limites altitudinales de l'aire de répartition des espèces.

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) :

Selon ROCHE (1987) cette espèce est absente au-delà de 800 m d'altitude en Corse. Ce même auteur stipule qu'elle peut se rencontrer jusqu'à 1 100 m mais cela reste marginal (ROCHE, 2001). A ces altitudes, les conditions mésologiques sont particulières ; les pentes sont plus importantes ; la température de l'eau y est plus fraîche ; les habitats et les ressources disponibles plus difficiles à exploiter. Cette limite altitudinale (800 m) a servi de repère pendant plusieurs années. Les recensements utilisés par ROCHE (1987) concernent la période 1983-1987. Afin d'étudier les variations spatio-temporelles de la présence de l'anguille (*A. anguilla*), nous avons compilé les recensements effectués entre 1988 et 2015.

Dans le Vecchiu, à une altitude de 957 m, l'anguille européenne (*A. anguilla*) est recensée tous les ans depuis 1997. Les densités observées sont faibles (environ 20 ind.ha^{-1}) mais l'espèce y est présente, avec un décalage de +157 m par rapport à la limite altitudinale de référence.

Un recensement piscicole unique a été effectué en 2005 dans le bassin versant du Golu, et plus précisément dans le cours supérieur de l'Ascu. La présence de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) a été constaté à une altitude de 1 062 m, avec une densité proche de 100 ind.ha^{-1}. Cet unique recensement ne permet pas d'étudier l'évolution temporelle de la présence de l'anguille (*A. anguilla*) dans ce cours d'eau.

Dans le bassin versant du Tavignanu, nous avons recensé l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) entre 2018 et 2020 à des densités variant entre 10 et 31 ind.ha^{-1}. Le point de recensement se situe à 1 085 m d'altitude.

Concernant la Restonica, connue des plus anciens pour ces eaux fraiches et son débit constant même à l'étiage estival, nous bénéficions d'un recul temporel sur une station située à 1 110 m d'altitude dans le cours axial de la Restonica. Depuis 2003 et jusqu'en 2014 (période d'échantillonnage), nous recensé l'anguille européenne (*A. anguilla*)à cette altitude. On note un

décalage de +310 m entre ce qui est observée depuis bientôt 20 ans et ce qui a pu être relevé par ROCHE (1987). Nous avons également effectué, dans un affluent permanent en rive droite de la Restonica, le Timozzu, des prospections piscicoles qui nous ont montré la présence de l'anguille (*A. anguilla*) à une altitude de 1 158 m.

Tous ces cours d'eau se situe dans des bassins versants ayant leur source située entre 1 700 et 2 400 m d'altitude, avec des altitudes du point culminant relativement élevées. Le régime hydrologique de ces cours d'eau est donc d'influence pluvio-nivale à caractère méditerranéen. Nous avons vu dans une nouvelle synthèse climatique que les zones d'altitude sont plus touchées par les conséquences du changement climatique notamment, l'augmentation des températures avec de nombreux jours où la température maximale dépasse les 30 °C dans la période 1985-2020. La température des eaux se réchauffe également. L'évapotranspiration augmente aussi considérablement et les zones de montagne sont particulièrement touchées (MORI *et al.,* 2017) ce qui accentue les phénomènes de sécheresse et de diminution de débit.

Toutes ces constatations affligeantes participent à faire évoluer les limites altitudinales de certaines espèces, qui en fonction de leur capacité d'adaptation à ces changements seront confrontées à des phénomènes de compétitions à la fois relatifs aux habitats et aux ressources trophiques disponibles. Soit, elles restent au même endroit et s'adaptent, soit elles sont contraintes de migrer pour retrouver des conditions plus favorables. Plusieurs travaux traitent de l'évolution de la distribution des poissons à l'échelle du réseau hydrographique. COMTE *et al*. (2013) expliquent qu'une grande partie des espèces se déplace vers l'amont. Des phénomènes de « contraction d'habitat » apparaissent car « la perte d'habitat favorable à l'aval n'étant pas compensée par les gains à l'amont ».

L'évolution des aires de distribution dans le temps permet de déterminer les gains et les pertes des habitats potentiels. Ce qui permet de déterminer la vulnérabilité et le risque d'extinction des espèces de poissons face aux changements attendus (EXPLORE 70, 2012). Les résultats de ce projet piloté par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie convergent vers les tendances observées actuellement, à savoir ce glissement des aires de répartition des espèces vers les zones amont. Les auteurs affirment que les espèces d'eau froide présentent les plus fortes vulnérabilités car elles sont actuellement situées en tête de bassin versant. Nous relevons les changements des caractéristiques abiotiques et biotiques des cours d'eau à partir de 600 m d'altitude. Le risque d'extinction est amplifié pour les bassins versants de faible et moyenne altitude. A l'inverse, les espèces présentes dans les cours moyen

et inférieur verront leur aire de répartition augmenter. L'évolution de la répartition des espèces introduites vers les zones plus en amont est au centre des réflexions des gestionnaires locaux, notamment en Corse où des espèces à fortes valeurs patrimoniales sont présentes dans les têtes de bassin comme les truites (*Salmo trutta*) de Corse et méditerranéenne ainsi que des stocks relativement conséquents d'anguilles européennes (*Anguilla anguila*).

Au niveau européen, la chute des effectifs de l'anguille européenne (*A. anguilla*) est constatée dès les années 50 au Danemark (MORIARTY, 1996) et les années 60 en Suède (RIGAUD, 1998 ; DEKKER, 1998). En France, le déclin de l'espèce est relevé au début des années 1980 (CASTELNAUD *et al.*, 1994).

ORSINI (2020) liste les menaces auxquelles est exposée l'anguille européenne (*A. anguilla*). Elles sont nombreuses, parmi lesquelles :

- La surpêche pratiquée pour la satisfaction des besoins croissante de la population humaine nuit gravement à la survie de l'espèce (ICES, 2018 ; DROUINEAU *et al*., 2018). Aux stades de civelle et d'anguille argentée (*A. anguilla*), l'espèce est très exploitée par les asiatiques et les européens (KOTTELAT & FREYHOF, 2007).
- Les pêches non professionnelles : sur l'Adour, en 1996, le nombre de captures réalisées par les pêcheurs amateurs dépassaient celle des pêcheurs professionnels (PROUZET, 1998) ;
- Le braconnage, une autre source de prélèvement majeure, bien que difficilement quantifiable (MUCHIUT *et al.*, 2002) ;
- Les parasitoses des adultes car l'anguille (*A. anguilla*) peut héberger un grand nombre de parasites, 46 espèces de parasites ont été identifiées dans les anguilles (*A. anguilla*) d'un lac danois (KOIE, 1988). En Italie, les anguilles (*A. anguilla*) sont infestées par des protozoaires, trématodes et nématodes (PAGGI *et al.*, 1988). Les anguilles (*A. anguilla*) pouvant également être infestées de bactéries (BRUSLE, 1994 ; BELLET *et al.*, 1998). Des auteurs évoquent des pathologies multifactorielles car il existe une synergie entre pollution et parasitose (HALSBAND *et al.*, 1985) ;
- L'altération de la qualité de l'eau par (i) les éléments traces (BRUSLE, 1990 ; CANTIN, 1996 ; MORIARTY & DEKKER, 1997 ; CLAUSS & MEUNIER, 1998 ; BLANCHARD, 2001) ; (ii) les pesticides (AUBERT *et al.* 1977 ; HAMILTON, 1985 ; BRUSLE, 1991 ; LUNEAU, 1998) ; (iii) les hydrocarbures (AWAD, 1979 ; LOPEZ *et al*., 1981 ; GONY-LEMAIRE, 1990).

- Les étiages sévères (CRIVELLI, 1998 ; BRUSLE, 1994) ;

Face au déclin inquiétant de la population d'anguilles européennes (*A. anguilla*), la commission européenne a publié en septembre 2007 un règlement ambitieux qui institue des mesures de reconstitution du stock d'anguilles (*A. anguilla*) et impose à chaque État membre de soumettre un plan de gestion de sauvegarde de l'espèce.

Conformément au règlement, la France a envoyé son plan national en Décembre 2008. Son élaboration, a été pilotée par les ministères en charge des pêches maritimes et de l'écologie.

Les mesures portent sur les différents types de pêcheries, les obstacles à la circulation des anguilles (*A. anguilla*), le repeuplement, la restauration des habitats et les contaminations. Ces mesures sont porteuses d'objectifs ambitieux en matière de réduction des mortalités par la pêche ou liées aux infranchissables. La France a mis en œuvre ce plan de gestion depuis Juillet 2009 (AFB, 2018).

Parmi les différents volets du Plan de Gestion Anguille français (PGA), celui de la Corse a été approuvé par la Commission européenne en Février 2010. Le périmètre de l'unité de gestion anguille (*A. anguilla*) est constitué par les bassins hydrographiques limités en amont par l'altitude de 1 000m et par les obstacles infranchissables. En prenant en considération ce qui est énoncé plus haut, une réflexion peut être menée concernant les périmètres de ce type de programmes de gestion et de sauvegarde d'une espèce qui tendrait à élargir sa niche écologique vers des zones plus en amont dans les bassins versant car elle y trouve des conditions semblables à ce qu'elle connaissait un peu plus bas dans la vallée.

Nous avons ici proposé un focus sur l'anguille européenne (*A. anguilla*). Mais dans un tel contexte, les conditions mésologiques changent pour l'ensemble du peuplement piscicole y compris pour les espèces introduites, qui auront tendances à voir leur niche écologique s'agrandir. Elles pourront coloniser plus de surface car les nouvelles conditions mésologiques sont plus clémentes pour certaines espèces et moins pour d'autres. Cette capacité de dispersion n'est pas acquise chez toutes les espèces. Les espèces qui ont une mauvaise capacité de dispersion peuvent être fortement limitées voire incapables de se déplacer dans l'espace pour compenser les modifications mésologiques subies à cause du changement climatiques (SORDELLO *et al.,* 2014). En particulier lorsque le milieu est mis sous contraintes par des modifications d'origine anthropique (pollution, ouvrage infranchissable, fragmentation et destruction des habitats…). Les changements observés ont été relativement rapides. Cette plasticité écologique est susceptible de favoriser les espèces généralistes, plus ubiquistes et

moins sensibles. A l'inverse, elle peut nuire à des espèces très spécialisées adaptées à une niche écologique se réduisant.

A l'échelle européenne, les modifications de la structure des peuplements piscicoles en lien avec le changement climatique, ont fait l'objet de nombreuses études. PLETTERBAUER *et al*. (2014) l'ont étudié en considérant un indicateur de la richesse spécifique : le Fish Zone Index (FiZI). Cet indice est basé sur l'observation de l'abondance des individus de chaque espèce dans des environnements spécifiques le long du gradient amont aval. L'évolution de la répartition des populations est analysée sous trois scénarios de changement climatique (B1, A2 et A1b) aux horizons 2050 et 2080.

Les résultats montrent un changement inévitable des peuplements de poissons. Trois mécanismes sont identifiés pour l'expliquer (i) un remplacement de certaines espèces (ii) un changement des aires de répartitions et (iii) une disparition d'autres espèces. L'étude cible la température comme le facteur principal modifiant la structure des peuplements le long du profil longitudinal. La zone méditerranéenne présente les plus forts changements de l'indice quel que soit le scénario choisi. PLETTERBAUER *et al*. (2015) l'expliquent par la forte augmentation des températures et des sécheresses hydrologiques en Méditerranée.

3.3.3. Menaces directes sur les peuplements piscicoles

Les activités humaines sont responsables de la perte de biodiversité la plus importante depuis 65 millions d'années. Depuis plusieurs millénaires et l'avènement de l'agriculture au Néolithique, les Hommes ont une emprise sans commune mesure avec aucun autre animal sur l'environnement (PIMM *et al*., 1995 ; VITOUSEK *et al.*, 1997a, b ; CHAPIN *et al.*, 2000). Les habitats naturels, transformés en habitats urbains et agricoles, subissent une forte pression anthropique sous forme de fragmentation et de destruction (VITOUSEK *et al.*, 1997b ; BUTCHART *et al*., 2010). À cela s'ajoute la pollution de l'environnement et le réchauffement climatique (SANDERSON *et al*., 2002 ; MEA 2005) à travers les rejets de nutriments tels que l'azote ou le phosphore, les pluies acides, l'acidification des océans, la redistribution des ressources en eau et l'augmentation du dioxyde de carbone atmosphérique (VITOUSEK *et al*., 1997b).

Parallèlement aux extinctions d'espèces, les échanges commerciaux, ont favorisé l'introduction d'espèces dans des écosystèmes où elles n'étaient pas présentes naturellement (MOONEY *et al*., 1986 ; VITOUSEK *et al.*, 1997b ; SALA *et al.*, 2000 ; LEPRIEUR *et al*.,

2008a). En corse, l'année 1900 marque le début de l'introduction d'espèces de poissons avec la gambusie (*Gambusia holbrooki*) dans le cadre d'un programme de lutte contre le paludisme. Ce poisson était censé se nourrir de larves de diptères *Culicidae*, qui une fois au stade adulte, sont les principaux vecteurs de transmission du paludisme. Ce poisson se développe plus rapidement qu'il ne se nourrit de larve de diptères variées entre autres de larves de moustiques (BOUALLAM *et al.*, 1998). Ce poisson a proliféré dans le cours inférieur des rivières de Corse.

Certains pêcheurs qui pratiquaient la pêche au vif lorsqu'elle était autorisée, ont relâché les individus non utilisés à la fin de leur partie de pêche. Ainsi le vairon de la Manche (*Phoxinus phoxinus*) se retrouva partout en Corse. Il se développe très rapidement et colonise une grande partie des cours d'eau. Il constitue un soutien en tant que poisson fourrage soumis à la prédation des truites (*Salmo trutta*) mais il est également responsable de la destruction des œufs déposés dans les frayères de cette espèce (KEITH *et al*, 2020).

D'autres personnes, ne pratiquant pas la pêche, sont aussi à l'origine d'introductions d'espèces exogènes notamment dans la retenue du barrage de Tolla (Prunelli). Nous pouvons citer entre autres l'introduction du silure glane (*Silurus glanis*) ou du sandre (*Sander lucioperca*) ou encore le goujon asiatique (*Pseudorasbora parva*), dernier introduit en Corse dans le lac de Calacuccia.

Certaines opérations encadrées par les gestionnaires locaux sont à l'origine d'introduction d'espèce également censées être maitrisées et effectuées en milieu fermé, comme les retenues collinaires de la plaine orientale. Cela a été notamment le cas, dans les années 70, où les fédérations départementales de pêche ont introduit en Corse, des poissons comme la carpe commune (*Cyprinus carpio*), le gardon (*Rutilus rutilus*), le brochet (*Esox lucius*). Ces opérations s'inscrivaient dans une logique de repeuplement des cours d'eau et lacs classés en 2ème catégorie piscicole au niveau national. Les problèmes sont apparus à la suite de crues importantes qui ont expulsé plusieurs individus de ces espèces par les évacuateurs de crues des différents ouvrages. Elles se retrouvent en aval et réussissent à circuler grâce à des petits ruisseaux temporaires pour ensuite coloniser des portions de cours d'eau avoisinants.

Ce phénomène est aussi responsable de la présence notamment du chevaine (*Squalius cephalus*), du silure glane (*Silurus glanis*), du goujon (*Gobio gobio*), du gardon (*Rutilus rutilus*) en amont et en aval des gravières de la Gravona. Des recensements piscicoles effectués par pêche électrique ont révélé la présence d'individus de taille moyenne (140 cm pour une dizaine de kilogrammes) ainsi que des individus plus jeunes, signe d'une reproduction, très probable

dans le milieu environnant. Il en est de même dans le Fiume di Reginu avec la présence de carpe commune (*Cyprinus carpio*), expulsée de la retenue du barrage d'E Cotule en Balagne.

Un autre cas accidentel a été recensé lors d'un épisode de crue catastrophique saccageant une pisciculture dans la Gravona dans laquelle l'esturgeon commun (*Acipenser sturio*) y était élevé. Ce poisson s'y est acclimaté. L'espèce est classée « en danger critique d'extinction » en France tout comme au niveau mondial est notamment inscrit aux annexes II et IV de la Directive européenne « Habitats » (1992) et à l'annexe I de la Convention de Washington sur le commerce international des espèces menacées de 1973 [4]. Mais cela rajoute une espèce introduite à un inventaire déjà conséquent.

Dans une même logique nationale, des actions de repeuplement piscicole ont aussi été effectuées dans les lacs d'altitude. La Corse n'y a pas échappé. Le saumon de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) a été introduit au début des années 70 dans quelques lacs de montagne.

La truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) est déversée régulièrement dans les cours d'eau de Corse par la FCPPMA à la veille de l'ouverture de la pêche, dans des zones où l'accès est facile, pour supporter la première pression de pêche lors de l'ouverture. Cette espèce ne peut pas s'hybrider avec les souches de truite locales (*Salmo trutta*) à la différence de la souche atlantique de truite fario (*Salmo trutta fario*).

Cette souche de pisciculture provoque une introgression en créant des hybrides avec les souches ancestrales corse et méditerranéennes. Les résultats du programme LIFE « Conservation de la truite *macrostigma* en Corse » ont permis de déceler un fort taux d'hybridation entre les souches locales et celles introduites lors d'action d'alevinage des parties supérieures des cours d'eau de Corse. Des millions d'alevins de truites (*Salmo trutta*) de pisciculture étaient déversés dans les rivières de Corse. Les travaux entrepris au cours du programme LIFE ainsi que ceux des plans de gestion successifs permettent de suivre les effectifs des populations ancestrales ainsi que d'effectuer des suivis génétiques et parasitologiques dans les tronçons classés réserves temporaires de pêche.

Ces introductions et autres alevinages n'ont plus lieu aujourd'hui, le fait que la FCPPMA se soit dotée d'un conseil scientifique et pilote des programmes de gestion et de conservation d'espèce patrimoniale n'y est sans doute pas étranger.

Par simple divertissement ou par stratégie de gestion manquant de retour scientifique, l'ensemble de ces gestes rallonge l'inventaire des espèces introduites et peut être lourd de

conséquences, d'autant plus dans un contexte de changement climatique et d'évolution de la répartition spatiale des poissons.

Ces modifications de composition des assemblages d'espèces à travers les introductions et les extirpations d'espèces se sont produites à l'échelle mondiale à un rythme très rapide (quelques centaines d'années), à l'opposé des rythmes évolutifs de spéciation et d'extinction (en milliers voire en millions d'années) (VITOUSEK *et al*., 1997a). En effet, il faut plus de temps pour qu'une espèce disparaissent d'un environnement que pour qu'une population d'une autre espèce s'y installe. Ce retard du processus d'extinction par rapport au processus d'introduction amène aujourd'hui à observer une augmentation de la richesse spécifique locale dans de nombreux assemblages à travers le monde (BARNOSKY *et al*., 2011).

LEPRIEUR *et al*. (2008a) précisent que ce phénomène est particulièrement bien illustré chez les poissons d'eau douce, où la plupart des assemblages ont vu leur richesse spécifique augmenter sous l'effet des introductions d'espèces non-natives alors que le nombre d'espèces éteintes reste faible.

Plusieurs menaces liées à ces introductions existent pour les poissons autochtones emblématiques tels que la truite de Corse *(S. trutta)* et l'anguille européenne (*A. anguilla*). Au-delà de la prédation et de la compétition interspécifique, ces introductions peuvent également être à l'origine de transmission de germes pathogènes (bactéries et virus) et de parasites.

L'agent rosette (*Sphareothecum destruens*), un organisme parasite, a été identifié dans des poissons de la retenue du barrage de Calacuccia (GOZLAN, 2019). Les espèces concernées sont le goujon asiatique (*P. parva*) et le vairon (*P. phoxinus)*, deux espèces introduites en Corse. Le goujon asiatique (*P. parva*) est une espèce de poisson originaire de Chine. Cet agent pathogène infectieux intracellulaire eucaryote, à la frontière champignon-animal, serait à l'origine de mortalités dans la population de rotengle présente dans ce grand lac artificiel du Niolu.

Ce pathogène multi-hôtes concerne non seulement le goujon asiatique (*P. parva*) et le vairon (*P. phoxinus)* mais aussi d'autres poissons introduits dans les eaux douces de Corse comme la brème (*Abramis brama)*, la carpe commune (*Cyprinus carpio)*, le goujon (*Gobio gobio)*, le gardon (*Rutilus rutilus)*, le perche (*Perca fluviatilis)*, la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss)* et le saumon de fontaine (*Salvelinus fontinalis)*.

En France continentale, l'agent rosette touche aussi les élevages de bar (*Dicentrarchus labrax*), poisson marin qui bénéficie, en Corse du Label Rouge. Cet agent pathogène infectieux pourrait, à l'avenir, menacer cette filière aquacole de Corse.

Sur le continent, la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss)* est mise en cause dans la dissémination de maladies virales comme la septicémie hémorragique virale et la nécrose hématopoïétique infectieuse (PASCAL *et al*., 2006). Ce sont deux rhabdoviroses car les virus impliqués sont du genre *Novirhabdovirus*.

La carpe (*Cyprinus carpio)* est touchée par le virus de la virémie printanière et l'herpès virus de la carpe Koï (UCHII *et al*., 2009). La carpe est aussi porteuse de parasites monogènes (*Diplozoon nipponicum*) et cestodes (*Bothriocephalus acheilognathi*) (DENIS *et al.*, 1983). Ce dernier touche aussi la gambusie.

Le gardon (*Rutilus rutilus)* est le vecteur de l'agent d'une maladie parasitaire, la ligulose due à *Ligula intestinalis*. (LOOT *et al.*, 2001).

Le Sandre (*Sander lucioperca*) est l'hôte d'un parasite trématode responsable de la bucéphalose larvaire (BLANC, 1997 ; LAMBERT, 1997).

L'Achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*) est sensible à la septicémie hémorragique virale dont il peut être vecteur. Son introduction peut-être à l'origine de la présence de parasites monogènes branchiaux d'origine nordaméricaine, dont il serait porteur.

3.3.4. Structure du peuplement piscicole des cours d'eau de Corse

3.3.4.1. Comparaison entre le polygone des fréquences cumulées croissantes et la scalimétrie

Nous disposons des résultats biométriques obtenus lors de recensements piscicoles de truite commune (*Salmo trutta*) effectués de la cadre du programme LIFE porté par la FCPPMA. Les inventaires ont tous été réalisés selon le même mode opératoire avec le même matériel et la même équipe de pêche. Quelques écailles de certains individus ont été prélevées afin de pouvoir effectuer une étude scalimétrique. Les résultats mis à disposition ont permis de pouvoir comparer cette méthode d'analyse de la croissance des individus avec l'étude graphique des polygones des fréquences cumulées croissantes (PFCC) réalisée à l'aide des résultats bruts des recensements. Les 5 stations étudiées sont toutes des réserves temporaires de pêche où domine

la souche corse de la truite fario (*Salmo trutta fario*). Elle se situent toutes en altitude entre 1 140 m et 1 788 m.

Sant'Antone 2011 : 1 140 m

La Figure 54 présente le polygone des fréquences cumulées croissantes pour les individus inventoriés dans la RTP de Sant'Antone en 2011, située dans le haut Taravu. Le regroupement des individus s'effectue en recherchant des ruptures de pentes. Ces dernières symbolisent le changement de cohorte lié à la taille des individus et nous permet de rajouter une année supplémentaire au groupe d'individus à chaque changement.

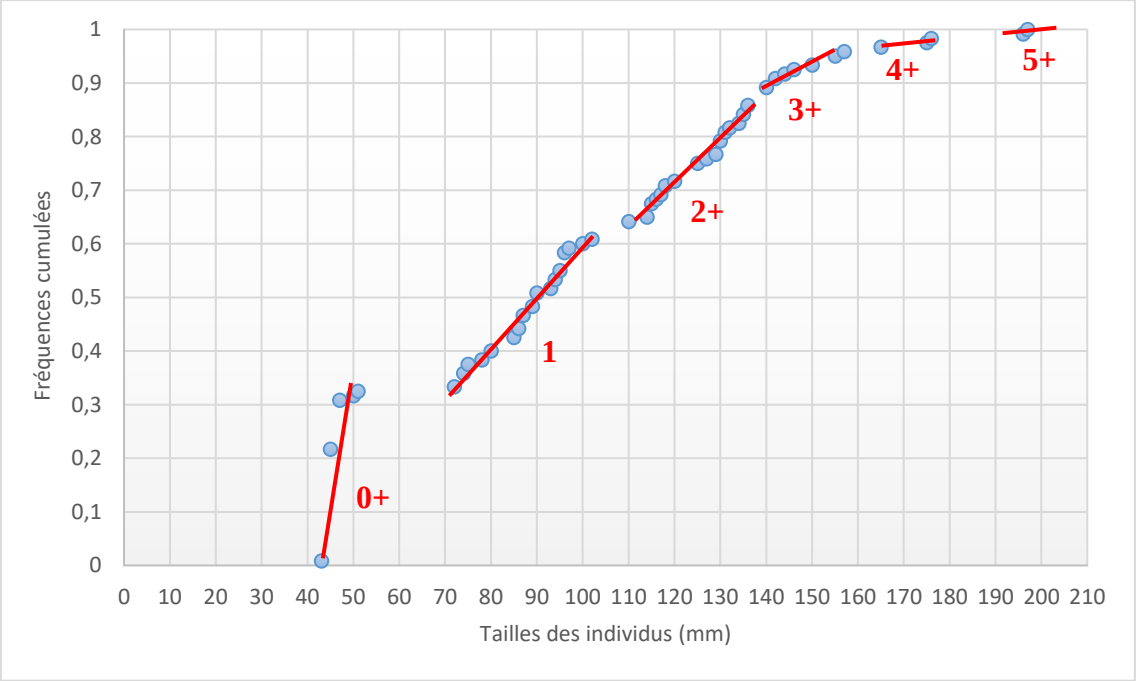


Figure 54 : Polygone des fréquences cumulées croissantes de *S.trutta* de la RTP de Sant'Antone

Des limites inférieures et supérieures apparaissent graphiquement pour chaque groupe et nous permettent de déterminer l'amplitude de chaque classe d'âge. La totalité des individus recensés sont considérés (120) dans l'analyse des PFCC. La scalimétrie prend en considération les écailles prélevées sur 60 individus. La méthode de PFCC révèle des classes d'âge allant de 0+ à 5+. La scalimétrie propose une ordination des âges allant jusqu'à 7+. Le

Tableau XXI propose une comparaison entre les résultats obtenus par cette méthode et ceux obtenus par étude scalimétrique. Dans ce cas, la méthode des PFCC semble sous-estimer l'âge des individus. L'écart le plus important (27 mm) entre les deux méthodes est obtenu pour la classe d'âge 5+.

Tableau XXI : Comparaison des classes d'âge obtenues par les deux méthodes citées pour Sant'Antone

	Fréquence cumulée				Scalimétrie (ECOGEA, 2012)		
Age	Limite inf (mm)	Limite sup (mm)	Taille moy (mm)	Nb. Ind.	Plage de variation (mm)	Taille moy (mm)	Nb. ind.
0+	43	51	47	39	43-51	48	3
1+	72	102	87	34	80-115	92,7	24
2+	110	136	123	30	110-131	121,2	17
3+	140	157	149	12	125-142	135,1	8
4+	165	176	171	3	142-157	150	5
5+	196	197	197	2		170	1
6+						176	1
7+						196	1

Ese 2011 : 1 628 m

La population de truite de Corse de la RTP du ruisseau d'Ese a été analysé par scalimétrie en 2011 et les données brutes du recensement sont analysées par le PFCC dans la Figure 55. Elle montre les limites inférieures et supérieures de chaque classe de tailles pour la population recensée (375 individus). Les classes de taille mises en évidence par cette méthode varient de la classe 0+ (alevins) à la classe 6+. Cette population ne contenait aucun individu compris entre 230 et 280 mm. Un seul de taille 285 mm n'a été recensé, il est probable que cet individu appartienne à la classe 9+ selon les résultats obtenus sur les classes de taille inférieures et ceux de la scalimétrie. Cette dernière base ses résultats sur l'étude d'écaille de 102 individus.

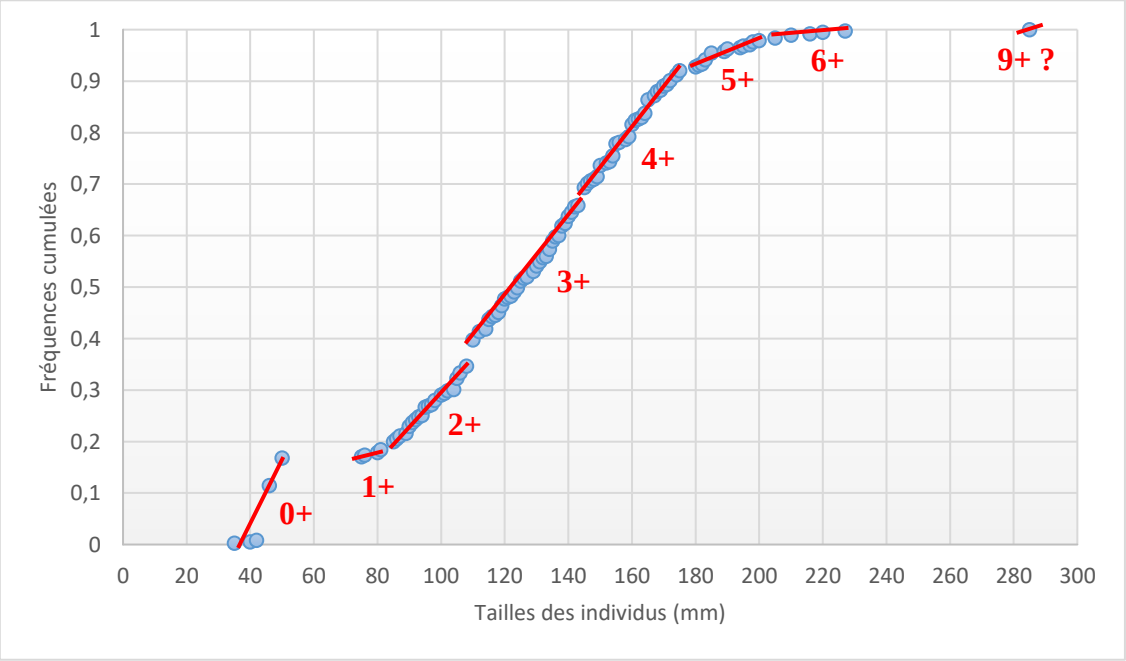


Figure 55 : Polygone des fréquences cumulées croissantes de *S.trutta* de la RTP d'Ese

La comparaison obtenue dans le Tableau XXII montre que la distribution des classes de taille diffère légèrement entre les deux méthodes. Pour l'ensemble des classes d'âge cette différence est de 25 mm au maximum.

Tableau XXII : Comparaison des classes d'âge obtenues par les deux méthodes citées pour l'Ese

	Fréquence cumulée				Scalimétrie (ECOGEA, 2012)		
Age	Limite inf (mm)	Limite sup (mm)	Taille moy (mm)	Nb. Ind.	Plage de variation (mm)	Taille moy (mm)	Nb. ind.
0+	35	50	43	63	35-46	40,3	3
1+	75	81	78	6	75-110	93,2	21
2+	85	108	97	61	102-124	114,5	22
3+	110	143	127	117	123-139	132,9	17
4+	145	175	160	98	140-168	148,1	15
5+	180	200	190	22	158-197	171,8	19
6+	205	227	216	7	185-198	191,5	2
7+					200-210	205	3
8+							
9+		285	285	1			

Veraculongu 2011 : 1 425 m

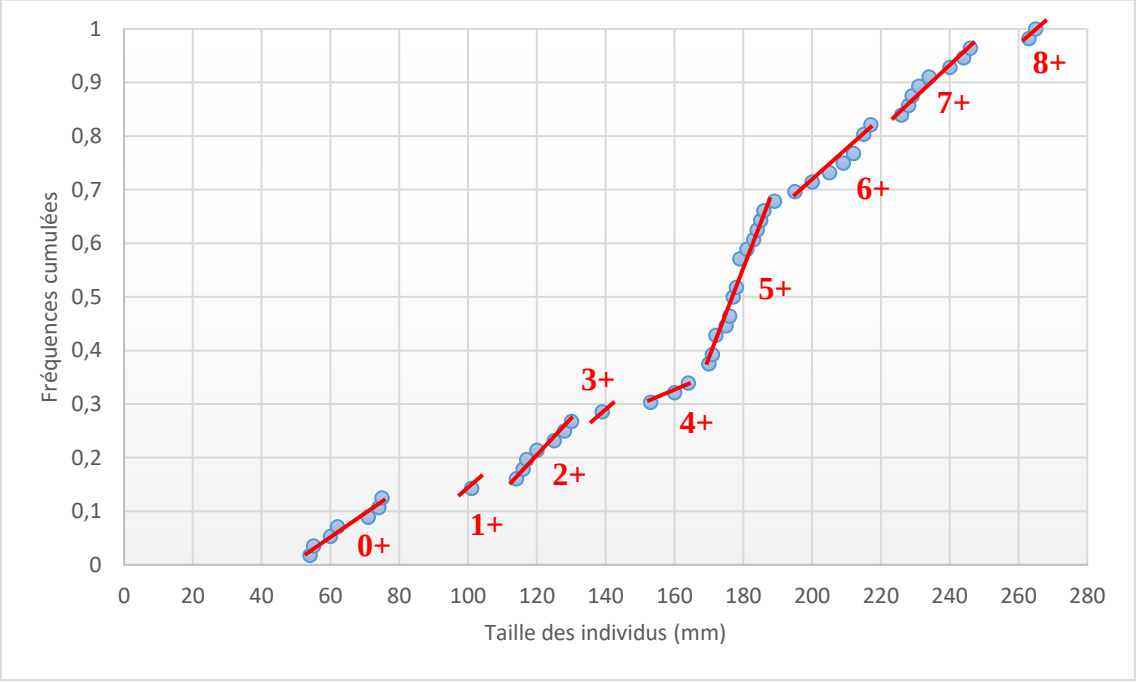


Figure 56 : Polygone des fréquences cumulées croissantes de *S.trutta* de la RTP du Veraculongu

La Figure 56 présente le résultat de l'analyse des classes de taille par les PFCC sur les 56 individus recensés. Le Tableau XXIII compare les résultats obtenus avec cette méthode et ceux de la scalimétrie, basée sur les écailles de 52 individus. Pour la population du Veraculongu, les

résultats sont très semblables pour les deux méthodes, avec une différence maximale de taille moyennes de 12 mm pour une classe d'âge élevée (6+). Les classes d'âge observées pour cette station varient de la 0+ à la 8+ pour les deux méthodes. Le PFCC présente une bonne succession des différentes classes d'âge car la majorité des tailles des individus recensés se suivent sans présenter de lacune. Entre le plus petit individu et le plus grand, l'ensemble des tailles sont recensées ce qui confère au diagramme des polygones une forme plus simple à interpréter.

Tableau XXIII : Comparaison des classes d'âge obtenues par les deux méthodes citées pour le Veraculongu

	Fréquence cumulée				Scalimétrie (ECOGEA, 2012)		
Age	Limite inf (mm)	Limite sup (mm)	Taille moy (mm)	Nb. Ind.	Plage de variation (mm)	Taille moy (mm)	Nb. ind.
0+	54	75	65	7	54-75	64,4	7
1+		101	101	1	101-114	107,5	2
2+	114	130	122	7	116-125	119,5	4
3+		139	139	1	128-139	132,3	3
4+	153	164	159	3	153-160	156,5	2
5+	170	189	180	19	164-189	176,9	19
6+	195	217	206	8	195-234	218,1	11
7+	226	246	236	8	240-246	243,3	3
8+	263	265	264	2		265	1

Pozzi de Marmanu 2011 : 1 788 m

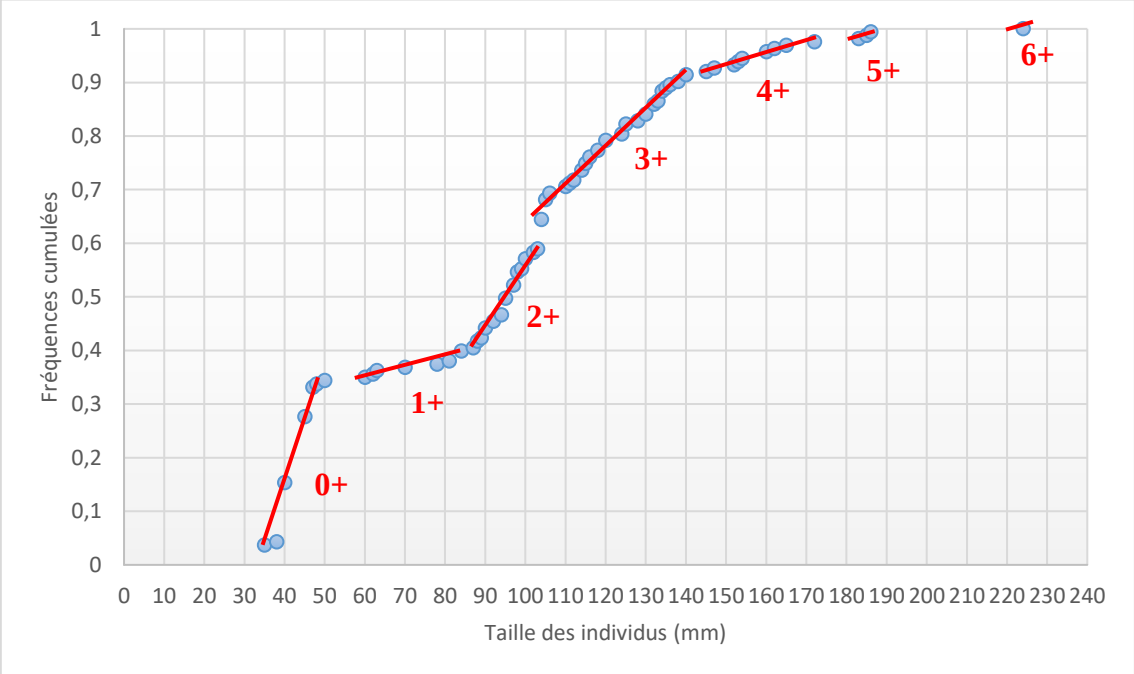


Figure 57 : Polygone des fréquences cumulées croissantes de *S.trutta* de la RTP des Pozzi de Marmanu

Dans cette série de données de recensement piscicole des Pozzi de Marmanu, les classes d'âge s'étalent de la 0+ à la 6+ à l'aide des PFCC (0+ à 5+ pour la scalimétrie). 163 individus sont utilisés dans l'analyse des PFCC. La scalimétrie est basée sur des écailles prélevées sur 96 individus. L'écart maximal des taille moyennes obtenues par les deux méthodes pour les différentes classes d'âge est de 30,7 mm

Tableau XXIV : Comparaison des classes d'âge obtenues par les deux méthodes citées pour les Pozzi de Marmanu

	Fréquence cumulée				Scalimétrie (ECOGEA, 2012)		
Age	Limite inf (mm)	Limite sup (mm)	Taille moy (mm)	Nb. Ind.	Plage de variation (mm)	Taille moy (mm)	Nb. ind.
0+	35	50	43	56	35-70	50,6	10
1+	60	84	72	9	78-120	100,4	56
2+	87	103	95	31	114-140	125,7	11
3+	104	140	122	53	125-160	141,4	13
4+	145	172	159	10	162-186	171,3	4
5+	183	186	185	3	185-224	204,5	2
6+		224	224	1			

Chjuvone 2011 : 1 458 m

La Figure 58 présente les différentes classes d'âge obtenues par la méthode de PFCC pour 358 individus. La scalimétrie a été effectuée sur les écailles de 78 poissons.

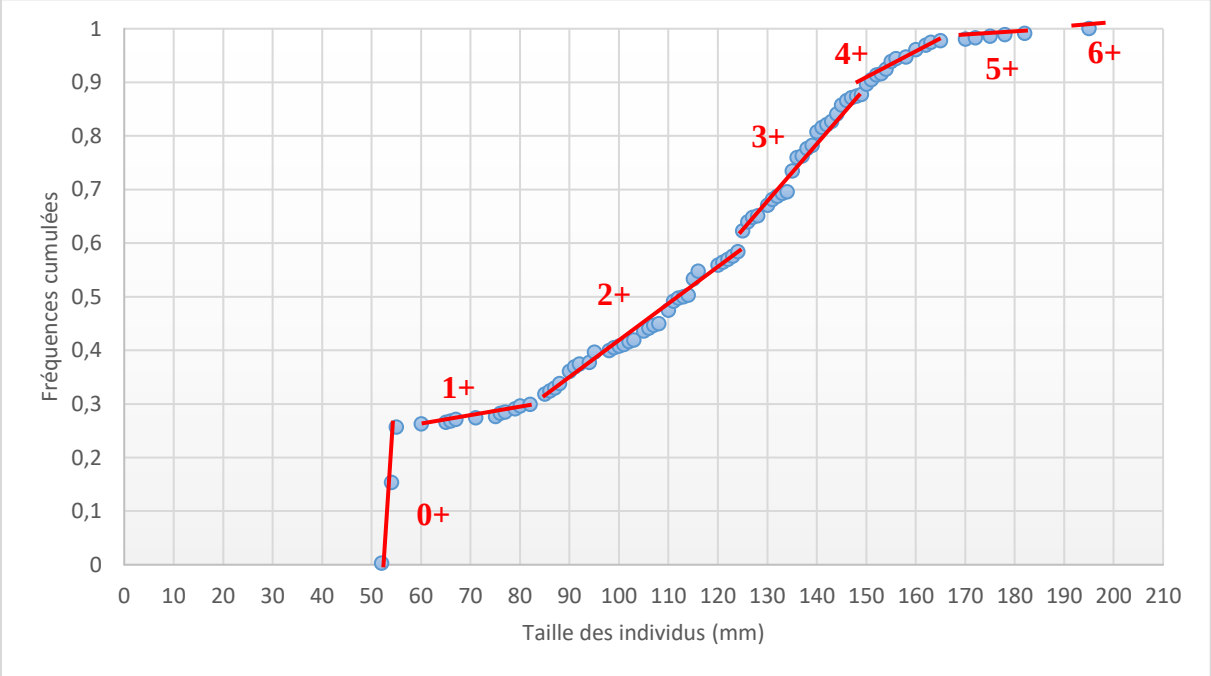


Figure 58 : Polygone des fréquences cumulées croissantes de *S.trutta* de la RTP du Chjuvone

Les classes d'âge allant de 0+ à 6+ sont représentées pour les deux méthodes. Le diagramme des PFCC est homogène et ne présente pas de lacunes dans les tailles d'individus, ce qui nous permet d'observer une bonne succession des classes d'âge. L'écart maximal des tailles moyennes est de 29 mm pour la classe 1+.

Tableau XXV : Comparaison des classes d'âge obtenues par les deux méthodes citées pour le Chjuvone

	Fréquence cumulée				Scalimétrie (ECOGEA, 2012)		
Age	Limite inf (mm)	Limite sup (mm)	Taille moy (mm)	Nb. Ind.	Plage de variation (mm)	Taille moy (mm)	Nb. ind.
0+	52	55	54	92	52-71	58,6	5
1+	60	82	71	15	79-115	100,2	23
2+	85	124	105	102	108-126	120,8	6
3+	125	149	137	105	122-138	131,5	19
4+	150	165	158	36	130-163	146,2	19
5+	170	182	176	5	150-163	157,7	3
6+		195	195	3	182-195	190,7	3

La comparaison entre la méthode des polygones des fréquences cumulées croissantes et l'étude scalimétrique a permis de relever les avantages et les limites des deux méthodes. Les PFCC permettent d'utiliser l'intégralité des individus recensés tandis qu'il est très compliqué et couteux de prélever des écailles sur chaque individu pour étudier son âge par la lecture des écailles. Au-delà du surcoût engendré par un tel volume d'écaille prélevé, la question de la pertinence de prélever du matériel biologique sur tous les individus peut se poser. D'un point de vue scientifique, il est indéniable que d'avoir plus d'écailles augmenterait la pertinence des résultats et permettrait de connaitre assez précisément l'âge de chaque individu. La lecture d'écaille est également soumise à la qualité de la manipulation car certaines écailles peuvent être illisibles et ne renseignent pas sur l'âge du poisson. L'aspect sanitaire rentre aussi en considération car chaque prélèvement comporte des risques de blessures et d'infection des individus. Nous précisons qu'un protocole strict par du personnel formé est respecté quant à la manipulation des poissons et que chaque acte de prélèvement est suivi d'une application d'antiseptique local et de cicatrisant.

L'étude de l'âge des individus par la scalimétrie prend plus de temps. Les nombreuses étapes entre celles effectuées sur le terrain et celles effectuées en laboratoire rallongent forcement les délais d'obtention de résultats définitifs. L'analyse des PFCC permet, en ayant les résultats de la biométrie des individus recensés, d'analyser la répartition des individus et de créer des cohortes selon les classes de taille marquées graphiquement par une rupture de pente.

Cette méthode, en plus de se rapprocher fortement des résultats d'étude scalimétrique, permet d'avoir une idée relativement précise de la distribution des classes d'âge pour une population donnée, sans surcout d'exploitation et sans délai d'attente supplémentaire. De plus les cohortes se succèdent les unes après les autres et aucune classe d'âge ne se chevauchent. Les individus trouvent tous leur place dans chaque classe de taille. La scalimétrie montre que de nombreuses classes d'âge présentaient des conflits entre la limite supérieure d'une classe d'âge donnée et la limite inférieure de la classe d'âge suivante.

3.3.4.2. Variabilité spatiale des vitesses de croissance de la truite commune (*S. trutta*)

Nous avons comparé deux stations situées à des altitudes voisines mais qui s'opposent dans notre essai de nouvelle typologie des cours d'eau de Corse. La première est située dans la Bravona à 990 m, cours d'eau appartenant au groupe 1.3b de notre essai de typologie. Rivière de moyenne longueur coulant vers l'Est dans la Corse alpine, traversant des schistes en majorité qui leur confèrent une forte minéralisation. La seconde station est située dans l'Aitone à 1 140 m d'altitude, également un cours d'eau de moyenne longueur mais partant du versant Ouest de la Corse hercynienne et coulant sur des granites avec une très faible minéralisation. Les pentes y sont presque deux fois plus élevées et le point culminant du bassin versant y est nettement plus haut.

Sur les quatre années étudiées, la moyenne des individus recensés pour ces deux stations est de 169 individus. Après avoir créé les PFCC et identifié les classes d'âge de chaque année pour les deux stations, nous proposons, dans le Tableau XXVI, une évolution des plages de variations de la taille des individus de chaque classe d'âge.

Tableau XXVI : Comparaison entre les limites de taille inférieures et supérieures chez *S.trutta* entre les deux stations

	Aitone - Gr 3.1		Bravona - Gr 1.3b		Ecarts Bravona/Aitone	
Age	Lim inf (mm)	Lim sup (mm)	Lim inf (mm)	Lim sup (mm)	Lim inf (mm)	Lim sup (mm)
0+	45,0	57,5	66,7	75,0	+21,7	+17,5
1+	67,5	82,5	85,0	105,0	+17,5	+22,5
2+	93,3	115,0	115,0	135,0	+21,7	+20,0
3+	120,0	147,5	145,0	172,5	+25,0	+25,0
4+	140,0	160,0	185,0	205,0	+45,0	+45,0
5+	170,0	210,0				
6+	210,0					

A âge égal, les poissons de la Bravona sont plus grands que ceux de l'Aitone. En effet, pour les quatre classes d'âge, comprises entre 0+ et 3+, les limites inférieures et supérieures des classes de taille de *S. trutta*, présentent un écart moyen de +21 mm pour la population de la Bravona. Pour la classe 4+, l'écart est deux fois plus important (+45 mm).

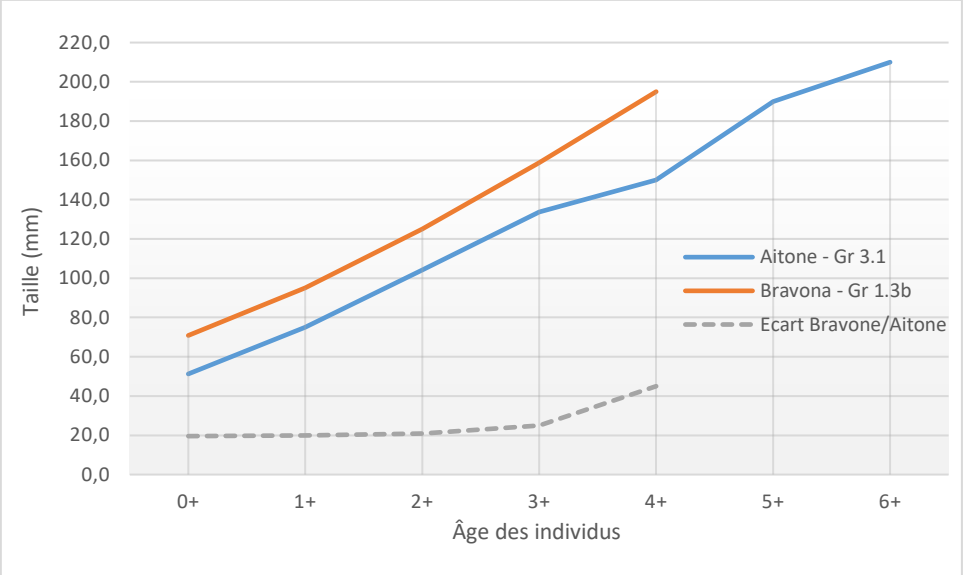


Figure 59 : Evolution de la taille *de S. trutta* en fonction de l'âge pour des cours d'eau de groupes typologiques différents

La Figure 59 montre l'évolution des tailles moyennes des individus pour chaque classe d'âge. La courbe de taille des individus de la Bravona se situe au-dessus de celle de l'Aitone. Les individus ont donc une taille moyenne plus grande. Les truites *(S.trutta*) de 200 mm de l'Aitone sont des 6+ alors que celles de la Bravona sont des 4+ pour cette taille.

Nous observons ici une différence d'ordre spatiale de la vitesse de croissance de *S. trutta*, qui a tendance à s'accentuée avec les classes d'âge. En Corse, la variabilité du socle géologique traversé confère des caractéristiques différentes aux cours d'eau. En effet, la minéralisation est très dépendante de la nature du substrat. Les différences entre la nature des ripisylves de chaque station jouent également un rôle important. L'Aitone coule au milieu d'une forêt de résineux dont les apports allochtones de matière organique issue de la ripisylve sont plus faibles que ceux qu'offre la forêt de feuillus de la Bravona.

Ainsi les ressources trophiques n'évoluent pas de la même manière dans les deux rivières. La Bravona permet aux organismes aquatiques de se développer plus facilement car les conditions mésologiques y sont plus favorables (pH moins agressif, apports de la ripisylve plus important, minéralisation plus forte). L'influence des apports allochtones de matière

organique issue de la ripisylve sur les peuplements piscicoles des cours d'eau forestiers a été mise en évidence par BILBY & BISSON (1992), ALLAN *et al.* (2003) et ORSINI (2008).

La compétition intraspécifique vis-à-vis de la ressource trophique peut également être une des explications.

Dans les cours d'eau de Corse, la croissance de la truite *(S.trutta*)est inférieure à 5 cm par an en moyenne, conséquence d'une minéralisation des eaux peu élevée (teneurs en calcium et en bicarbonates faibles) et du caractère oligotrophe des eaux (les biomasses en invertébrés sont faibles). Dans le Massif central, où la minéralisation est faible, BEAUDOU & CUINAT (1990) font état de tailles, à trois ans, comprises entre 14,8 et 27,8 cm ; les valeurs mesurées en Corse (CHAPPAZ, 1997) sont comprises entre 13,6 et 17,1 cm. Cet auteur a montré que la croissance de la truite *(S.trutta*), dans les cours d'eau de Corse, est contrôlée non seulement par la température de l'eau mais aussi par la densité des invertébrés benthiques (CHAPPAZ *et al.*, 1996). Véritable mécanisme contrôlant la densité de poissons (HORTON, 1961 ; LE CREN, 1965 ; FROST *et al*., 1967).

Le développement de ces organismes aquatiques dépend de la nature géologique, de l'altitude, des apports anthropiques, de la nature de la ripisylve (feuillus ou résineux), de la température mensuelle maximale (BARAN *et al*., 1993).

3.3.4.3. Variabilité temporelle des vitesses de croissance de la truite commune *(S.trutta*)

La vitesse de croissance des truites fario (*Salmo trutta fario*) a été étudiée dans sa dimension temporelle. Nous d'étudions la variation de la vitesse de croissance de cette espèce dans le temps sur une même station. Cette dernière est située dans le cours supérieur du Vecchiu à 957 m d'altitude. Nous disposons de recensements piscicoles qui s'étalent sur 18 ans (entre 1996 et 2013). Trois périodes, de 6 années chacune, ont été créées afin de cumuler les effectifs et calculer les polygones de fréquences cumulées croissantes. Nous créons ainsi une population virtuelle. Cela donne du poids à notre comparaison en se basant sur un nombre important d'individus mais surtout cela évite de perdre de l'information en utilisant des moyennes.

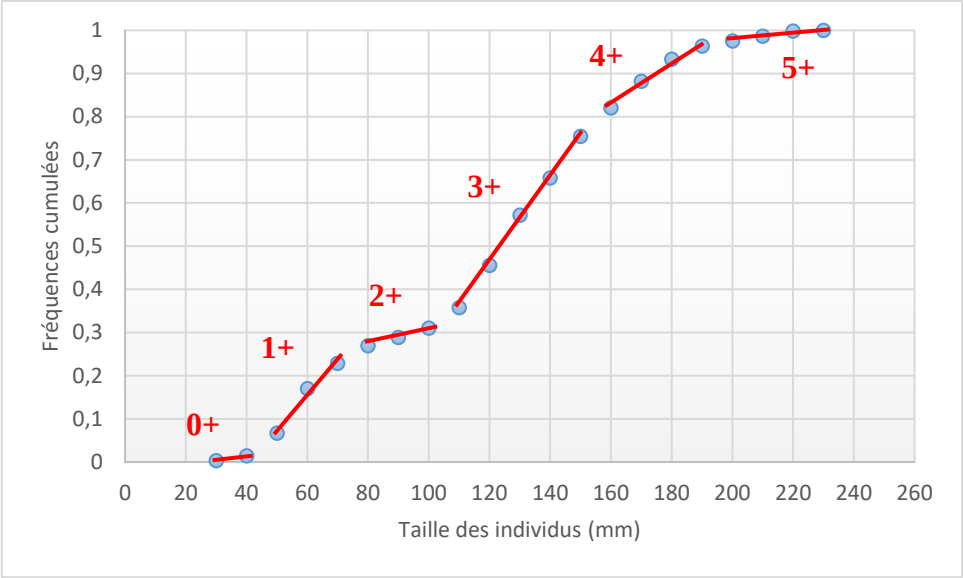


Figure 60 : Polygone des fréquences cumulées croissante pour la période 1996-2001

La Figure 60 présente le diagramme des PFCC pour la période 1996-2001 où 612 individus ont été recensés. Les classes d'âge représentées s'étendent de la 0+ à la 5+. Nous avons ainsi déterminé les limites de taille de chaque classe d'âge et calculer la taille moyenne des individus pour chaque classe d'âge.

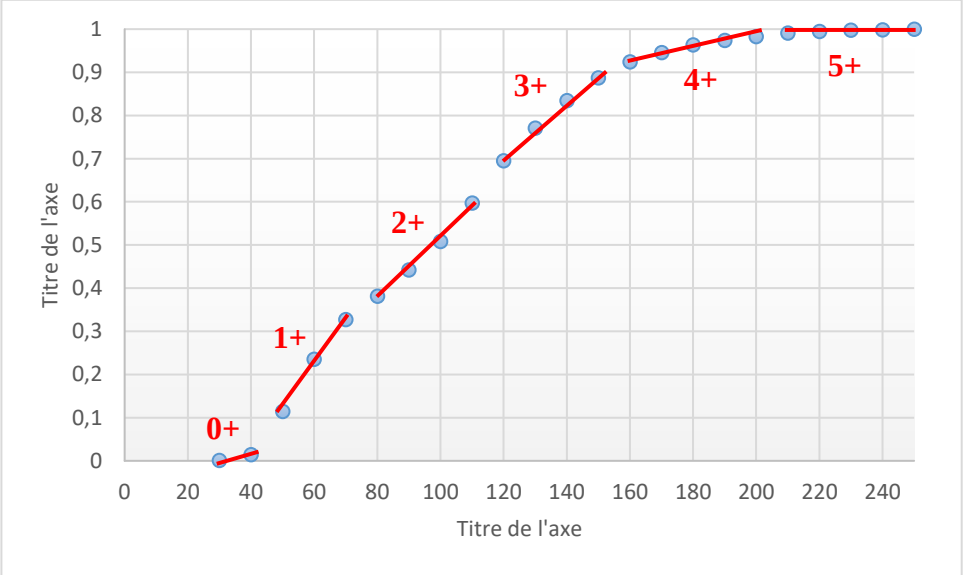


Figure 61 : Polygone des fréquences cumulées croissante pour la période 2002-2007

La Figure 61 classe les 1 222 individus recensés entre 2002 et 2007 qui se répartissent au sein de cohortes représentant les classes d'âge allant de 0+ à 5+. La Figure 62 réparti les 1 227 individus recensés entre 2008 et 2013 dans des classes d'âge allant de 0+ à 5+ également.

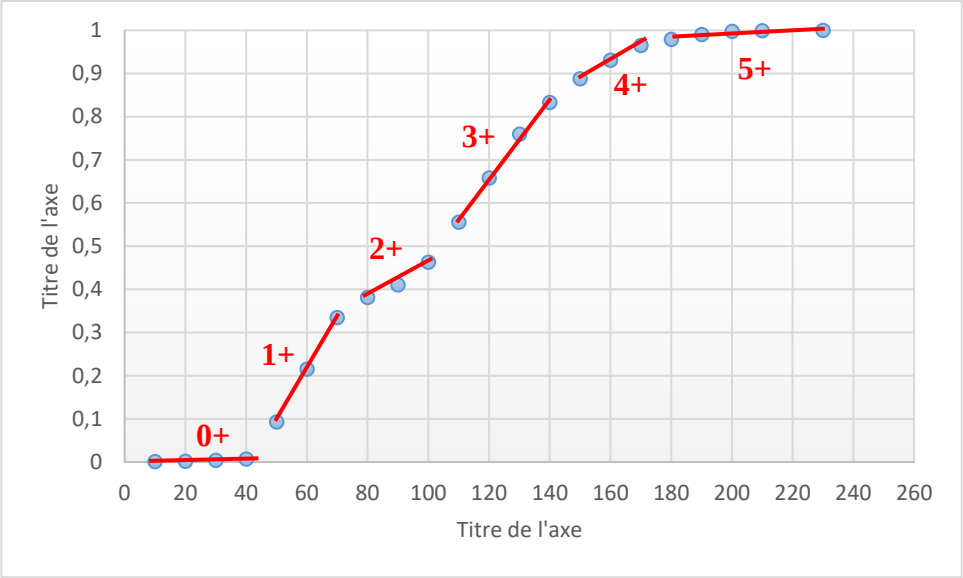


Figure 62 : Polygone des fréquences cumulées croissante pour la période 2007-2013

En relevant toutes les limites des 6 classes d'âge représentées dans cette station pour les trois périodes, nous calculons les tailles moyennes des individus appartenant à ces différentes classes d'âge. Pour les trois périodes considérées, l'évolution temporelle des tailles moyennes est présentée dans le Tableau XXVII et la Figure 63.

Tableau XXVII : Tailles moyennes en mm de *S. trutta* de chaque classe d'âge

	0+	1+	2+	3+	4+	5+
1996-2001	35	60	90	130	175	215
2002-2007	35	60	95	135	180	230
2008-2013	35	60	90	125	160	205

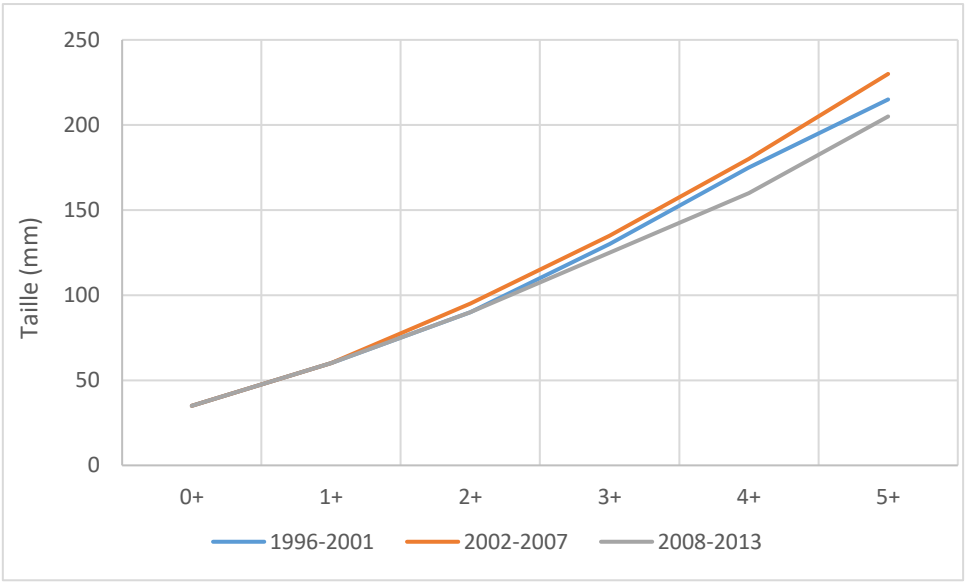


Figure 63 : Evolution temporelle des tailles moyennes de *S. trutta*

Dans les premières classes d'âge, les tailles moyennes ne présentent que peu de différence, les courbes sont très proches jusqu'à 110 mm. A partir de le classe 3+, une différence apparait. Les plus gros spécimens ont été recensés pour la période intermédiaire de 2002-2007. Les valeurs sont très proches de celles obtenues pour la période 1996-2001 sauf pour la classe d'âge 5+ ou une différence de 15 mm est décelée.

La courbe de la période 2008-2013 est la courbe présentant les tailles moyennes les plus faible des trois périodes, notamment à partir des individus 3+. Les différences s'accentuent pour les 4+ et les 5+ avec des individus présentant une taille moyenne inférieure respectivement de 20 mm et 25 mm à la plus grande taille moyenne observée pour ces classes d'âge.

Les derniers recensements présentent des effectifs de plus petite taille notamment pour les âges où la compétition pour les ressources trophiques et les habitats commence à s'accentuer chez *S. trutta*. Plusieurs auteurs ont déjà observé que certains effets du changement climatique expliqueraient cette tendance à la diminution de la taille des individus adultes même s'il est difficile de distinguer les effets du changement climatique des pressions anthropiques en condition naturelle. Des études montrent que la physiologie (et la répartition des espèces de poissons déjà abordé supra) seront impactées par le changement climatique notamment à cause de l'augmentation des températures et des modifications des conditions hydro-morphologiques principalement. La diminution de la section mouillée engendre une moindre disponibilité en habitats qualifiés d'énergétiquement favorable à la nutrition. Couplée à une disponibilité trophique souvent plus réduite dans ces secteurs (RADER & BELISH, 1999), ceci peut perturber l'alimentation des Salmonidés et influencer négativement leur croissance (FILBERT & HAWKINS, 1995).

Une tendance à la diminution de la taille des individus adultes sous l'effet de l'augmentation de la température est observée en milieux contrôlé ainsi qu'en milieu naturel (BAPTIST *et al.*, 2014). Ceci serait dû à l'augmentation du processus de maturation, stade où la croissance ralentit et entrainent inévitablement une diminution de la taille moyenne des individus (SOUCHON & TISSOT, 2012).

La température de l'eau a un rôle majeur sur la croissance de la truite commune *(S.trutta*) (MC FADDEN & COOPER, 1962 ; EKLÖV *et al.*, 1999). MANGEL (1994), dans son étude sur le changement climatique et la variation du cycle de vie des salmonidés, a indiqué que le changement climatique entraîne une diminution globale de la disponibilité de nourriture, engendrant des répercussions sur la taille des individus.

Pour PIFFADY (2010) et SOUCHON & TISSOT (2012), le métabolisme, le taux d'ingestion et de digestion, la nage ou encore la reproduction (donc quasiment l'ensemble des fonctions vitales) sont dépendantes des conditions environnementales et notamment de la température de l'eau. Ce changement de température est crucial dans la maturation sexuelle et déclenche la formation des gamètes (élévation ou baisse, atteinte d'une valeur seuil, phénomènes liés au cycle diurne/nocturne). Il en est de même pour l'ensemble des étapes de la reproduction telles que la migration, la ponte ou le développement des œufs (MIGAUD *et al*. 2002). La quantité d'oxygène dissout diminue très rapidement avec l'augmentation de la température. La température est donc un facteur limitant pour de nombreuses espèces piscicole ayant besoin d'un taux d'oxygène dissout important.

Les variations saisonnières du climat déterminent de nombreux évènements périodiques chez les poissons telle que la migration reproductive. Elles déterminent également l'élaboration des périodes d'ouverture et de fermeture de la pêche de certaines espèces, mais si les cycles se décalent, il sera primordial d'adapter ces périodes au nouveau rythme observé afin de ne pas mettre en péril les périodes de reproduction de ces espèces.

Certains auteurs se sont attardés sur la phénologie et mettent en évidence les réponses temporelles des poissons à des changements environnementaux. Pour PARMESAN & YOHE (2003), c'est durant les dernières décennies que des modifications phénologiques ont été observées dans de nombreuses régions du globe. ROOT *et al*. (2003) évoquent des modifications phénologiques pour plusieurs groupes taxonomiques comme les papillons, les amphibiens, les oiseaux, les mammifères, ainsi que de nombreuses espèces de plantes ligneuses ou herbacées.

Pour la faune piscicole, les études sont plus rares du fait de la faible disponibilité de longues séries temporelles. Nous n'avions que très peu de station bénéficiant d'un suivi temporel d'une vingtaine d'année. WEDEKIND *et al*. (2010) mettent en évidence une avancée de trois semaines de la période de ponte chez l'ombre commun (*Thymallus thymallus*) sur 62 années de suivi, en réponse à l'augmentation de la température de l'eau. SCHNEIDER *et al*. (2010) décrivent des phénomènes semblables pour le doré jaune (*Sander vitreus*) sur un suivi de 69 ans.

Une autre conséquence évoquée par plusieurs auteurs (MARTIN 2007 ; HELLAND *et al*., 2009) s'apparente à une perte de synchronie trophique entre les espèces, entrainant une restructuration des réseaux trophiques.

Les peuplements aquatiques des écosystèmes lentiques présentent ce type de modifications. Dans une étude prenant en considération 45 ans de données (1960-2004) récoltées sur un lac tempéré nord-américain, WINDER & SCHINDLER (2004) mettent en avant que le bloom phytoplanctonique des diatomées (au printemps habituellement) est décalé dans le temps. Ce décalage temporel est problématique pour la prolifération des populations de daphnies qui s'en nourrissent et qui sont contraintes d'adapter leur régime alimentaire pour survivre. L'augmentation des températures printanières jouerait un rôle conséquent dans ces observations modifiant la dynamique de ce lac et son rythme de miction.

3.4. Proposition d'un outil d'aide à la décision

Les résultats de plusieurs analyses multivariés de type ACP ont permis de trouver des corrélations entre les individus (résultats de chaque recensement piscicole par station) et les variables utilisées dans nos matrices. Comme énoncé plus haut, nous nous sommes basés sur un regroupement des stations suivant les typologies construites à partir de critères morpho-topographiques et hydrologiques des cours d'eau de Corse proposées par ORSINI (2008). Les sous-matrices obtenues ont fait l'objet de plusieurs essais pour mettre au point des modèles cohérents. L'objectif de ces travaux de recherche appliquée est de fournir aux gestionnaires des cours d'eau de Corse, un outil leur permettant d'être alertés en cas de fort écart à une valeur dite de référence en fonction du paramètre à renseigner en entrée et surtout du type de cours d'eau pour lequel ils veulent comparer leurs données. Le Tableau XXVIII liste les différents cours d'eau que l'on retrouve dans les groupes typologiques.

Tableau XXVIII : Les différents groupes typologiques et les cours d'eau associés

Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5	Groupe 6	-	-
Tavignanu	Rizzanese	Portu	Bravona	Ortolu	Osu	Ascu	Fium'orbu
Golu	Taravu	Aitone	Bivincu	Siscu	Cavu		
	Gravona	Lonca	Fium'altu	Alisu	Sulinzara		
	Prunelli	Fangu		Luri	Travu		
	Liamone			Petracurbara			
				Olmeta			

Cette liste ne comprend pas tous les cours d'eau de Corse qui peuvent répondre à ce regroupement. Les différentes caractéristiques de chaque groupe ont été présentées en 2.3.1.1 et 2.3.1.2. Le Tableau XXIX expose la correspondance entre les groupes proposés dans cette typologie et les groupes proposés par ORSINI (2008). Lors d'une utilisation future de l'outil d'aide à la décision par les gestionnaires, il sera impératif de connaitre la place du cours d'eau

étudié dans un des groupes typologiques proposés. En connaissant les paramètres morpho-topographiques du tronçon étudié, sa situation géographique et son cours d'eau d'appartenance, l'utilisateur aura la capacité de trouver le bon modèle à utiliser. Il pourra s'aider des données présentées en matériel et méthodes issues des différents résultats des essais de typologie proposés par ORSINI (2008).

Tableau XXIX : Correspondance entre les groupes typologiques proposés et les groupes typologiques proposés par ORSINI (2008)

Groupes typologiques utilisés	Groupes morpho-topographiques (ORSINI, 2008)	Groupes hydrologiques (ORSINI, 2008)
1	1	1
2	3	2
3	5	3
4	6	4
5	4	5
6	2	-
Ascu	-	-
Fium'Orbu	-	-

Les résultats de l'ensemble des recensements piscicoles de chaque station sont regroupés dans des sous-matrice correspondant à chaque groupe. Nous présentons seulement quelques résultats des ACP obtenus pour certains groupes. La matrice des corrélations de Pearson présente les corrélations des variables entre-elles.

Groupe 2 :

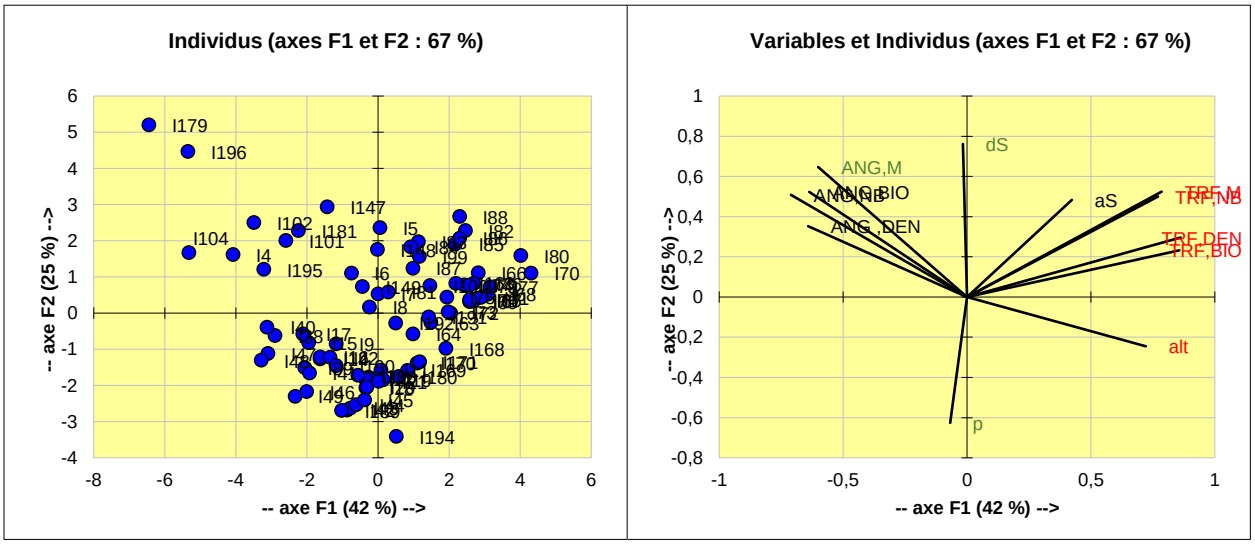


Figure 64 : Projection des individus et des variables sur le plan F1-F2 pour le groupe 2

La Figure 64 présente la projection des individus (les stations) et des variables (densité et biomasse de truites *(S.trutta*) et d'anguilles *(Anguilla anguilla)*, distance à la source, altitude de la source, pente, altitude de la station) sur le plan F1-F2. Les deux premiers axes de l'analyse ont été retenus et cumulent plus de 67 % de l'information contenue dans la matrice des données.

En rouge, sont notées les variables les plus contributives sur l'axe 1 ; en vert, les plus contributives sur l'axe 2. Les variables qui contribuent le plus du côté positif de l'axe 1 sont les données relatives à la truite *(S.trutta*), à savoir la densité et la biomasse avec respectivement 14,63 % et 14,46 %. L'altitude y contribue à 10,26 %. A elles trois, ces variables contribuent à plus du tiers de l'interprétation de l'axe F1. Du côté négatif de l'axe F1, s'individualisent les valeurs relatives à l'anguille (*Anguilla anguilla*) qui ont une forte contribution sur l'axe F1. Ce dernier indique l'évolution amont-aval de la composition du peuplement piscicole, montrant une distribution inverse de la truite *(S.trutta*) et de l'anguille *(Anguilla anguilla)*.

L'axe F2 oppose la distance à la source et la pente qui sont les variables qui contribuent le plus à cet axe, respectivement 19,28 %, 13,04 %. La masse des anguilles *(Anguilla anguilla)* y contribue également avec 13,91 %. Le côté positif de l'axe F2 fait apparaitre le cours inférieur des rivières (éloignés des sources). Tandis que la partie négative de l'axe isole les zones à forte pente et donc les zones proches des sources.

Sur les deux axes sélectionnés, les paramètres qui influent significativement sur les densités et les biomasses des deux espèces piscicoles étudiées sont l'altitude, la distance à la source et la pente. Il existe de fortes corrélations entre ces variables. Le Tableau XXX apporte des précisions sur les corrélations entre les variables.

Tableau XXX : Matrice des corrélations de Pearson pour le groupe 2

	alt	p	dS	aS	TRF, NB	TRF, M	TRF, DEN	TRF, BIO	ANG, NB	ANG, M	ANG, DEN	ANG, BIO
alt	1	0,07	**-0,37**	**0,29**	**0,32**	**0,37**	**0,57**	**0,64**	**-0,53**	**-0,48**	**-0,45**	**-0,46**
p	0,07	1	**-0,46**	-0,11	**-0,34**	**-0,36**	-0,17	-0,08	-0,21	**-0,29**	-0,10	-0,14
dS	**-0,37**	**-0,46**	1	**0,29**	**0,41**	**0,42**	0,06	-0,02	**0,25**	**0,45**	0,08	**0,23**
aS	**0,29**	-0,11	**0,29**	1	**0,40**	**0,46**	**0,48**	**0,50**	-0,05	0,12	-0,12	0,07
TRF,NB	**0,32**	**-0,34**	**0,41**	**0,40**	1	**0,92**	**0,83**	**0,69**	**-0,31**	-0,20	**-0,29**	**-0,27**
TRF,M	**0,37**	**-0,36**	**0,42**	**0,46**	**0,92**	1	**0,77**	**0,79**	**-0,30**	-0,16	**-0,31**	**-0,26**
TRF,DEN	**0,57**	-0,17	0,06	**0,48**	**0,83**	**0,77**	1	**0,91**	**-0,38**	**-0,32**	**-0,32**	**-0,31**
TRF,BIO	**0,64**	-0,08	-0,02	**0,50**	**0,69**	**0,79**	**0,91**	1	**-0,40**	**-0,33**	**-0,33**	**-0,29**
ANG,NB	**-0,53**	-0,21	**0,25**	-0,05	**-0,31**	**-0,30**	**-0,38**	**-0,40**	1	**0,80**	**0,71**	**0,65**
ANG,M	**-0,48**	**-0,29**	**0,45**	0,12	-0,20	-0,16	**-0,32**	**-0,33**	**0,80**	1	**0,43**	**0,76**
ANG ,DEN	**-0,45**	-0,10	0,08	-0,12	**-0,29**	**-0,31**	**-0,32**	**-0,33**	**0,71**	**0,43**	1	**0,71**
ANG,BIO	**-0,46**	-0,14	**0,23**	0,07	**-0,27**	**-0,26**	**-0,31**	**-0,29**	**0,65**	**0,76**	**0,71**	1

*En **gras**, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral)*

L'altitude présente des corrélations élevées avec la densité et la biomasse de truite *(S.trutta)* et d'anguille (*A. anguilla*). Les valeurs notées en gras et rouge montrent les corrélations entre les variables citées. La corrélation est positive entre l'altitude et les composantes de la truite *(S.trutta)*. Cela signifie que la densité et la biomasse de truite *(S.trutta)* évolue positivement avec l'altitude. A l'inverse la densité et la biomasse d'anguille (*A. anguilla*) présentent des corrélations négatives.

Ces résultats sont logiques avec les différentes zonations piscicoles connues et utilisées par de nombreux auteurs, notamment dans celle proposée par ROCHE (1987). Nous avons testé des courbes de corrélation afin de créer un modèle fiable selon l'interprétation des résultats apportés par l'ACP et par la matrice de corrélation des variables.

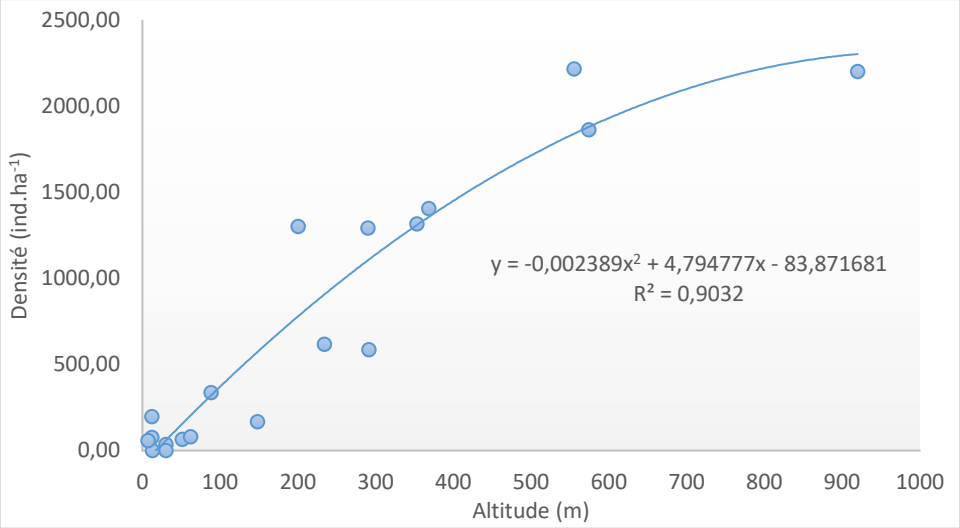


Figure 65 : Evolution de la densité de truite *(S.trutta)* en fonction de l'altitude

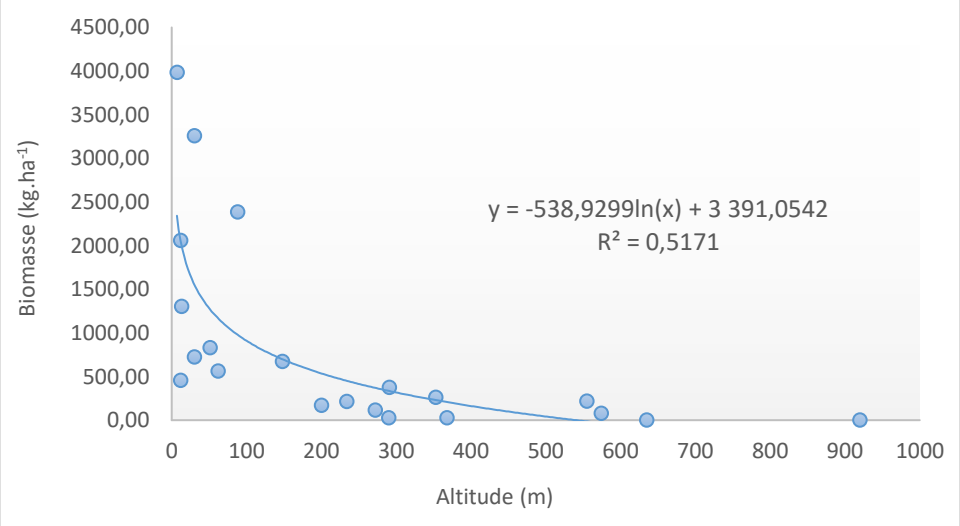


Figure 66 : Evolution de la biomasse de truite *(S.trutta)* en fonction de l'altitude

Pour ce groupe 2, la corrélation est très bonne entre l'altitude et la densité de truite *(S.trutta*). Le modèle semble fiable eu égard au coefficient de corrélation de la courbe de tendance de la Figure 65. Les corrélations entre l'altitude et la biomasse de truite *(S.trutta*) sont moins élevées mais restent tout de même fortement acceptable notamment en écologie. Le nombre de point correspond aux médianes des valeurs obtenues pour chaque recensement, représente les 84 recensements utilisés dans ce groupe. Chaque point correspond donc ici à une station (19 stations au total). Certaines d'entre elles ont été recensées sur plusieurs années. Les modèles proposés avec la même méthodologie et une interprétation des résultats similaire intègre à la fois la dimension temporelle et mais également la dimension spatiale pour chaque groupe typologique.

Groupe 3 :

La Figure 67 présente la projection des individus (les stations) et des variables (densité et biomasse de la truite *(S.trutta*) et de l'anguille (*A. anguilla*), distance à la source, altitude de la source, pente, altitude de la station) sur le plan F1-F2. Les deux premiers axes de l'analyse ont été retenus et cumulent plus de 85 % de l'information contenue dans la matrice des données.

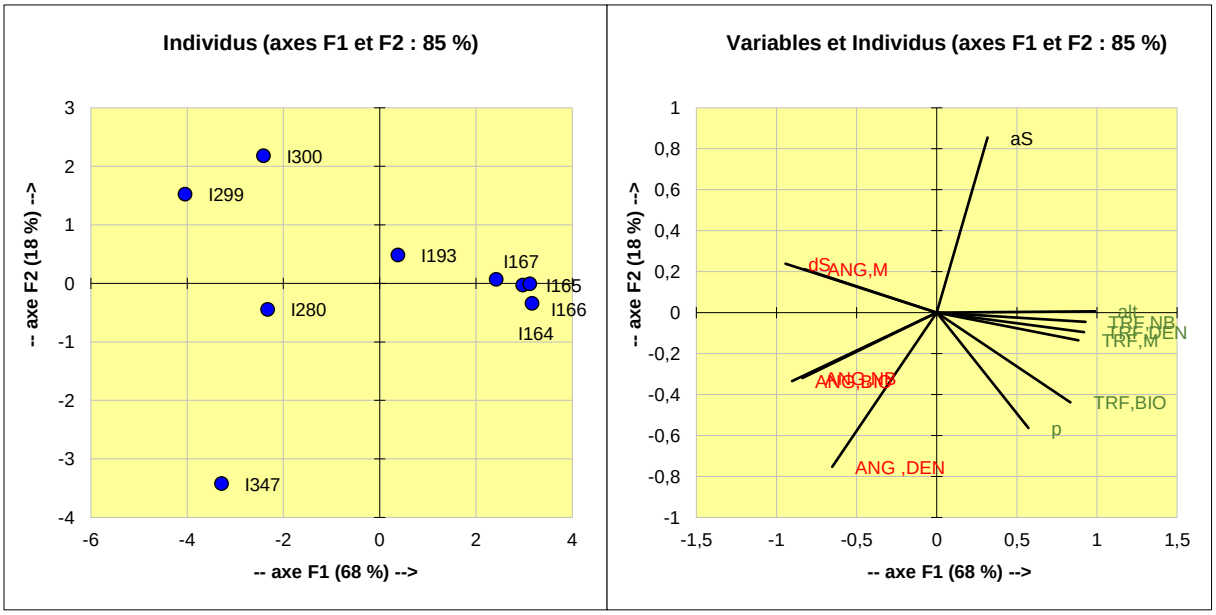


Figure 67 : Projection des individus et des variables sur le plan F1-F2

En rouge, sont notées les variables les plus contributives sur l'axe F1 ; en vert, les plus contributives sur l'axe F2. La distance à la source a la plus forte contribution sur l'axe F1 avec 15,62 %. Les variables qui tirent fortement l'axe F1 du côté négatif sont les données relatives à l'anguille (*A. anguilla*) (biomasse, densité, nombre et masse avec respectivement 15,05 %, 14,78 % et 15,54 % pour les deux dernières). Ces variables contribuent aux trois quarts de la

construction de l'axe F1. Pour l'axe F2, la variable truite *(S.trutta)* contribue fortement sur l'axe, la biomasse de la truite *(S.trutta)* représente 17,33 % de l'information. L'altitude contribue à la fois à l'explication des deux axes F1 et F2.

Tableau XXXI : Matrice des corrélations de Pearson pour le groupe 3

	alt	p	dS	aS	TRF, NB	TRF, M	TRF, DEN	TRF, BIO	ANG, NB	ANG, M	ANG, DEN	ANG, BIO
alt	1	0,10	**-0,88**	0,25	**0,87**	**0,67**	**0,87**	**0,66**	-0,43	-0,44	-0,50	-0,46
p	0,10	1	0,20	0,09	0,36	0,60	0,37	0,62	**0,76**	**0,70**	**0,74**	**0,75**
dS	**-0,88**	0,20	1	0,01	**-0,67**	-0,40	**-0,67**	-0,44	**0,72**	**0,75**	**0,71**	**0,75**
aS	0,25	0,09	0,01	1	0,29	0,26	0,24	-0,03	0,11	0,21	-0,16	0,08
TRF,NB	**0,87**	0,36	**-0,67**	0,29	1	**0,80**	**0,92**	**0,75**	-0,08	-0,10	-0,16	-0,11
TRF,M	**0,67**	0,60	-0,40	0,26	**0,80**	1	**0,65**	**0,86**	0,31	0,27	0,23	0,26
TRF,DEN	**0,87**	0,37	**-0,67**	0,24	**0,92**	**0,65**	1	**0,77**	-0,16	-0,18	-0,22	-0,18
TRF,BIO	**0,66**	0,62	-0,44	-0,03	**0,75**	**0,86**	**0,77**	1	0,23	0,16	0,24	0,20
ANG,NB	-0,43	**0,76**	**0,72**	0,11	-0,08	0,31	-0,16	0,23	1	**0,99**	**0,96**	**1,00**
ANG,M	-0,44	**0,70**	**0,75**	0,21	-0,10	0,27	-0,18	0,16	**0,99**	1	**0,92**	**0,99**
ANG ,DEN	-0,50	**0,74**	**0,71**	-0,16	-0,16	0,23	-0,22	0,24	**0,96**	**0,92**	1	**0,97**
ANG,BIO	-0,46	**0,75**	**0,75**	0,08	-0,11	0,26	-0,18	0,20	**1,00**	**0,99**	**0,97**	1

*En **gras**, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral)*

Le Tableau XXXI met en évidence les fortes valeurs de corrélation (en gras et rouge) entre d'une part l'altitude et d'autres part, la densité et la biomasse de truite *(S.trutta)*. La variable altitude est également corrélée, mais négativement, avec la densité et la biomasse d'anguille (*A. anguilla*). La distance à la source est corrélée positivement avec la densité et la biomasse d'anguille (*A. anguilla*).

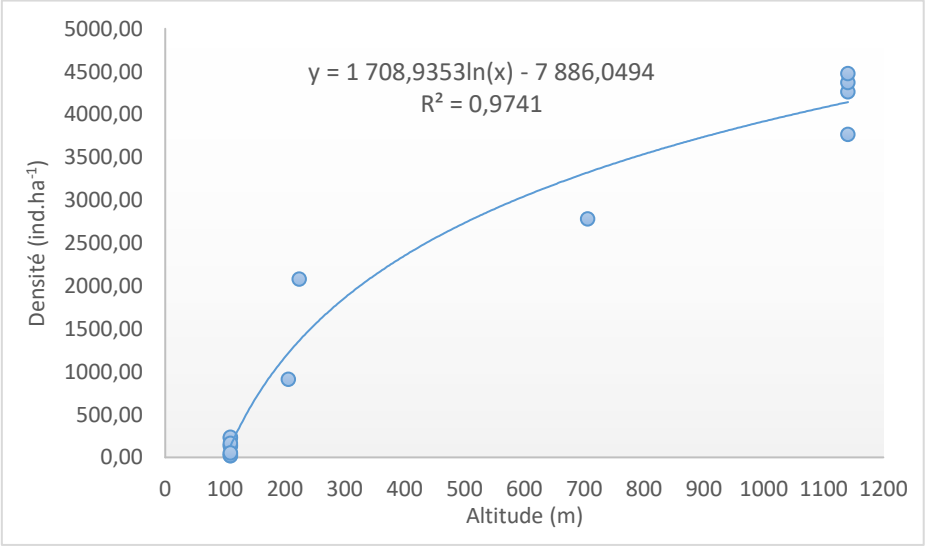


Figure 68 : Evolution de la densité de truite *(S.trutta)* en fonction de l'altitude

La Figure 68 et la Figure 69 représentent respectivement l'évolution de la densité et de la biomasse de truite *(S.trutta)* dans le groupe 3 en fonction de l'altitude. Ces corrélations ont été mises en évidence par l'analyse des résultats des ACP et le modèle fonctionne correctement

avec des coefficients de corrélations relativement bons. Nous n'avons pas utilisé les médianes ici car cela nous faisait perdre en représentativité en diminuant fortement le nombre de points. Les coefficients de corrélations n'y étaient pas meilleurs pour autant donc les moyennes ont été utilisées ici.

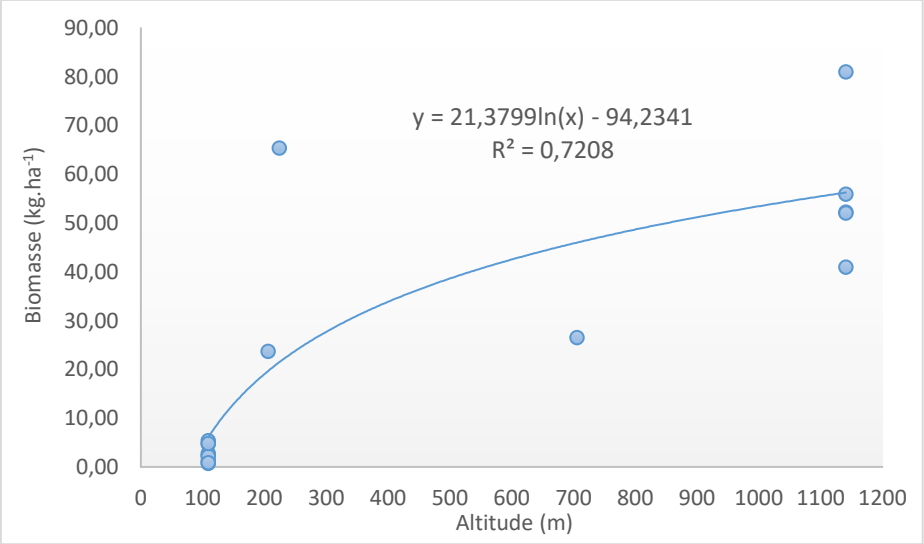


Figure 69 : Evolution de la biomasse de truite *(S.trutta)* en fonction de l'altitude

La Figure 70 montre qu'il a été impossible de construire un modèle précis et fiable pour la densité et la biomasse d'anguille (*A. anguilla*) du groupe 3 avec l'altitude. Le coefficient de corrélation est bien trop faible et l'utilisation des médianes amoindrit le nombre de point (seulement 5 points) ce qui rend le modèle mathématique assez fragile.

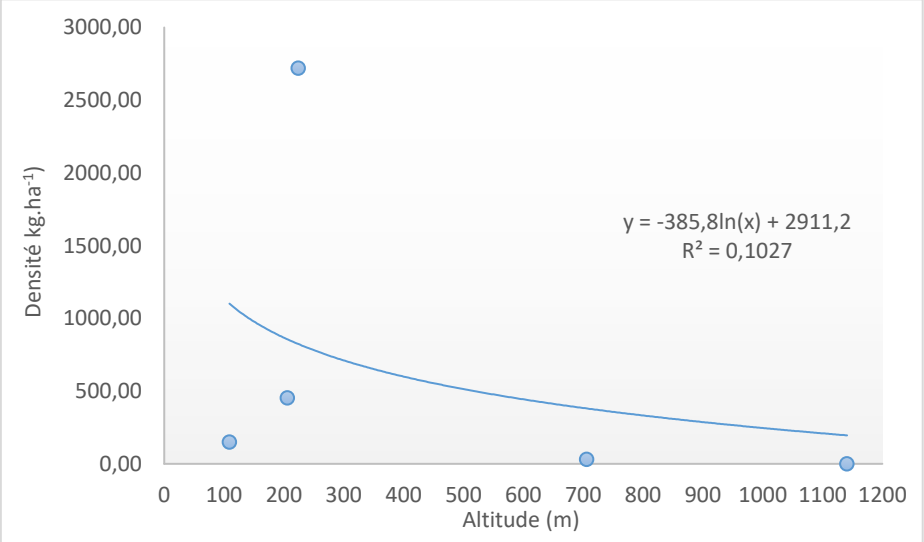


Figure 70 : Evolution de la densité d'anguille (*A. anguilla*) en fonction de l'altitude

Nous avons ainsi construit de manière itérative les différents modèles mathématiques pour chaque groupe typologique.

Tableau XXXII : Feuille de calcul de l'outil d'aide à la décision montrant l'ensemble des corrélations utilisées et les coefficients associés

		Paramètres d'entrée		Modèles à appliquer			
		x = Altitude (m)	x = Dist-source (km)	Densité (ind.ha^{-1})	R^2	Biomasse (kg.ha^{-1})	R^2
Groupe 1	**TRF**	x		4,674.x - 248,423	**0,9284**	0,092.x + 12,594	**0,7420**
			x	-1 796,406.ln(x) + 7 628,493	**0,9373**	-34,041.ln(x) + 163,396	**0,7979**
	ANG						
Groupe 2	**TRF**	x		-0,002.x^2 + 4,795.x - 83,872	**0,9032**	-0,00015.x^2 + 0,195.x - 2,395	**0,8377**
	ANG	x		-538,929.ln(x) + 3 391,054	**0,5171**	-27,888.ln(x) + 188,862	**0,3992**
Groupe 3	**TRF**	x		1 708,935.ln(x) - 7 886,049	**0,9741**	21,380.ln(x) - 94,234	**0,7208**
	ANG						
Groupe 4	**TRF**	x		-0,028.x^2+30,081.x-1607,165	**0,7184**	-0,0005.x^2 + 0,575.x - 19,383	**0,8694**
	ANG						
Groupe 5	**TRF**						
	ANG	x		-911,865.ln(x) + 5 541,023	**0,4599**		
Groupe 6	**TRF**	x		986,218.ln(x) - 4 722,754	**0,8746**	39,048.ln(x) - 188,245	**0,8084**
	ANG	x		-453,097.ln(x) + 2 882,449	**0,9804**	-16,604.ln(x) + 107,816	**0,7194**
Ascu	**TRF**		x	-869,625.ln(x) + 3 702,149	**0,599**	-55,389.ln(x) + 187,116	**0,7587**
	ANG		x	38,638.ln(x) - 12,409	**0,7170**	5,518.ln(x) - 1,475	**0,6465**
Fium'orbu	**TRF**		x	-1 815,801.ln(x) + 6 375,711	**0,7708**	-50,814.ln(x) + 186,652	**0,7358**
	ANG	x		-640,869.ln(x) + 4 237,536	**0,9136**	-24,591.ln(x) + 168,244	**0,9494**

Le Tableau XXXII montre les différentes corrélations effectuées et recense l'ensemble des équations et leur coefficient de corrélation permettant de calculer les valeurs de densité et de biomasse de truite commune (*S. trutta*) et d'anguille européenne (*A. anguilla*). Les paramètres d'entrée sont les paramètres à renseigner, ceux de la localisation où le gestionnaire souhaite connaitre l'estimation de densité et de biomasse de l'espèce concernée.

En règle générale, ce sont les variables « altitude » et « distance à la source » qui présente le plus de corrélation avec la densité et la biomasse de truite commune (*S. trutta*) et d'anguille européenne (*A. anguilla*). L'outil fonctionne donc avec ces deux paramètres. Lorsque les coefficients de corrélation n'étant pas suffisants, il nous était impossible de proposer un modèle fiable. Les paramètres qui ne sont pas utiliser dans le modèle apparaissent en hachuré gris dans le tableau ci-dessus.

Pour certains groupes, lorsque le modèle entier ne fonctionne pas (Figure 71), l'utilisateur est bloqué et est alerté visuellement par la présence d'une zone hachurée rouge. Cela signifie que pour l'altitude et la distance à la source, il n'existait aucune corrélation fiable pour indiquer une valeur de densité et/ou de biomasse proche de la courbe de tendance proposée.

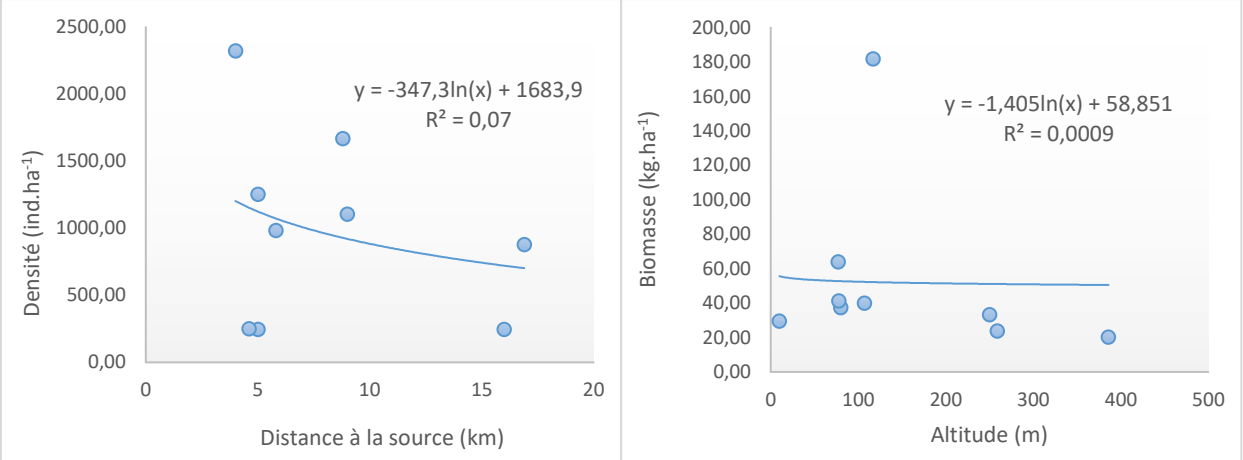


Figure 71 : Cas de modélisation impossible pour les anguilles (*A. anguilla*) du groupe 5

Les modèles proposés sont donc utilisables pour les cours d'eau qui correspondent aux caractéristiques de chaque groupe. L'objectif visé par un outil d'aide à la décision de ce type est d'alerter le gestionnaire sur un éventuel écart par rapport aux modèles observé lors d'un recensement piscicole. Le but est de créer une réflexion chez l'utilisateur, le pousser à se poser les bonnes questions sur l'écart constaté.

L'écart peut avoir plusieurs origines. Les populations de truites *(S. trutta)* ou d'anguille (*A. anguilla*) souffrent essentiellement de conséquences liées à l'hydrologie des cours d'eau, qu'il s'agisse d'une crue ou d'une période de sécheresse intense. Les résultats obtenus en partie 3.1 sont malheureusement en la défaveur du peuplement piscicole car nous avons vu qu'une des conséquences du changement climatique à l'échelle de la Corse est l'augmentation de la fréquence des épisodes extrêmes. Les cours d'eau passent violemment d'une période de sécheresse à une période où l'hydrologie est très active. L'effet négatif des crues sur les jeunes

stades de truite a été largement décrit dans la littérature (LATTERELL *et al*., 1998 ; JENSEN & JOHNSEN, 1999 ; CATTANEO *et al*., 2002). En outre, NIHOUARN (1983) évoque un ralentissement de l'activité de reproduction de la truite, causé par les fortes crues.

Les gestionnaires peuvent être amenés à réfléchir sur la présence d'actes de braconnage, notamment dans les zones où l'hydrologie n'a pas été spécialement marquée par des épisodes extrêmes.

Dans les zones de montagne, certaines observations sur les densités de truite avaient poussé la FCPPMA à suivre l'évolution des températures de l'eau afin de savoir si ce paramètre devenait un facteur limitant en subissant des variations suspectées dans ce contexte de changement climatique.

Une baisse des effectifs peut aussi être due à des problèmes sanitaires touchant la population inféodée à cette station. Bactéries, virus et autres parasites peuvent être à l'origine d'un fort déclin des effectifs de truites *(S. trutta)* où d'anguille (*A. anguilla*) qui sont des espèces fortement touchées par ces perturbations d'origine biologique. Dans une étude parasitologique commandée par la FCPPMA au laboratoire de parasitologie de l'Università di Corsica Pasquale Paoli, les résultats montrent que les souches patrimoniales de truites de Corse seraient plus fragiles que les souches de pisciculture.

L'efficacité du recensement par pêche électrique peut aussi être remise en question. Mais ce paramètre est facilement quantifiable en testant la fonctionnalité du matériel et en pratiquant à nouveau un recensement piscicole dans les mêmes conditions au même endroit.

Cet essai de mise au point d'un outil d'aide à la décision a été mené dans l'objectif de répondre à une problématique posée par nos travaux de recherche appliquée et aboutit à la création de modèles assez fiables. Ces derniers ne demandent qu'à évoluer dans le temps et qu'à être actualisés assez souvent pour s'adapter au mieux à l'évolution des conditions mésologiques et aux réponses des espèces piscicoles vis-à-vis de ces évolutions climatiques de plus en plus contraignantes.

Chapitre IV Conclusion générale et perspectives

Tout au long de cette étude, nous avons tenté d'exposer clairement de quelle manière la Corse est touchée par le changement climatique au niveau de l'évolution de son climat et quelles sont les répercussions sur les espèces inféodées aux milieux aquatiques.

En Corse, les premiers signes de dérèglement ont été observés dans les années 80, où la communauté scientifique a constaté des changements de température et de débit dans de nombreux cours d'eau.

Afin de caractériser au mieux les effets de ce réchauffement, une première approche a été de présenter à l'échelle régionale les différentes composantes du secteur étudié. En effet, la Corse présente une forte diversité, sur l'implantation de son relief, sur la nature géologique de ce dernier, sur la climatologie et la limnologie physique conférant aux hydrosystèmes corses un fonctionnement très différent.

L'étude de l'évolution du climat à l'échelle régionale a été menée. Une nouvelle synthèse climatique mettant en évidence un régime climatique modifié est présentée. Les résultats obtenus ont mis en évidence une tendance à la hausse des températures et une diminution des précipitations en tout point de l'île depuis 1985 jusqu'à ce jour, qui s'accentuent considérablement avec l'altitude, montrant la vulnérabilité des zones de montagne, plus affectées par le changement climatique. Les écarts entre la période 1985-2020 et les données de 1960-1984 sont considérables. Les températures moyennes journalières augmentent. Les amplitudes thermiques sont nettement plus prononcées, les écarts entre les valeurs positives des deux périodes retenues sont plus importants que pour les valeurs négatives, témoignant ainsi d'une augmentation de la fréquence et de l'amplitude des phénomènes extrêmes et des épisodes de chaleur importante.

La pluviométrie est également impactée avec des cumuls annuels moyens en baisse pour la période 1985-2020. Ainsi les périodes biologiquement sèches prenant en considération la pluviométrie et les moyennes des températures mensuelles sont plus marquées pour la période 1985-2020. Les conséquences du changement climatique sur cette composante sont également valables pour toutes les zones altitudinales de l'ensemble de la Corse. Un réchauffement global est en place et les périodes de sécheresse sont plus intenses. Nos recherches pourraient donc être complétées par une étude approfondie des données de pluviométrie lors des épisodes

extrêmes connus. L'objectif pourrait être de quantifier de quelle manière a évolué précisément la fréquence de ces épisodes extrêmes ; ainsi que les quantités moyennes reçues et d'identifier les zones qui sont le plus soumises à ces phénomènes extrêmes. L'année 2020 a battu les précédents records de 2016. Les six dernières années ont été les plus chaudes jamais enregistrées, 2020 semble être l'année la plus touchée par les conséquences du changement climatique. Mais la fréquence et l'amplitude des phénomènes extrêmes (crues, étiages sévères, chaleur intense, précipitations extrêmes) augmentent.

Dans son rapport de 2018, le GIEC (GIEC, 2018) fait acte de l'ampleur des conséquences potentielles du réchauffement climatique sur la biodiversité.

Aujourd'hui, face à l'allongement des périodes de sécheresse et à l'augmentation de la fréquence des crues dans les cours d'eau de Corse, le constat effectué par les scientifiques demeure très inquiétant. Les espèces endémiques semblent être davantage impactées par le changement climatique. Leur valeur patrimoniale n'est plus à prouver et elles sont déjà, étant donné leur statut, relativement vulnérables. Pour autant, cette vulnérabilité pourrait être accentuée car les aires de répartition des espèces d'altitude diminuent tandis que celles des zones de plaine augmentent. Une migration des espèces piscicoles vers les têtes de bassins est en cours dans la majorité des cours d'eau de l'île.

Une étude sur l'évolution des limites altitudinales de toutes les espèces piscicoles pourrait compléter nos travaux de recherche. Il s'agirait sous un même mode opératoire (recensement piscicole identique pratiqué de la même manière avec le même matériel) de recenser, le long du profil altitudinal d'un grand nombre de cours d'eau de Corse, les espèces qui sont présentes et de quantifier leur déplacement éventuel dans l'espace.

Des inventaires ont été proposés et fournissent un ratio entre les espèces autochtones et les espèces introduites. Sur les 33 espèces présentes dans les hydrosystèmes de Corse, 21 sont introduites. Au-delà de constater une augmentation de la richesse spécifique induite par l'action de l'Homme, nos travaux dressent également le constat de l'évolution des limites altitudinales supérieures de certaines espèces qui ont tendance à remonter les cours d'eau. Avec cette augmentation de la richesse spécifique par introduction d'espèces exogènes, le spectre de la prolifération de parasites et autres germes pathogènes associés aux individus introduits est bel et bien présent. Ces menaces sont à prendre en considération et une étude parasitologique dans

les zones où les espèces introduites et les espèces autochtones tentent de cohabiter pourrait avoir du sens.

Nous pourrions également envisager de combiner nos recherches à une approche génétique des individus, afin de vérifier la part de l'environnement et de l'hérédité dans l'adoption d'une tactique ou stratégie particulière pour s'adapter à ce dérèglement climatique.

L'évolution spatio-temporelle de la vitesse de croissance de la truite commune (*S. trutta*) est présentée afin de vérifier si un impact au niveau de ce paramètre biotique est réel dans ce contexte de changement climatique. De nombreuses stations présentent des individus de truite de plus en plus petits pour des âges identiques, notamment lors des dernières années de recensements. De nombreux auteurs déjà cités ont mis en exergue cette conséquence du changement climatique. Son origine viendrait d'une diminution des ressources trophiques disponibles, d'une phénologie modifiée pour certaines espèces bouleversant ainsi la chaîne alimentaire dans son intégralité ou encore d'une augmentation de la compétition (inter et intraspécifique) pour l'utilisation des ressources trophiques.

Dans un dernier chapitre de nos travaux de recherche plus appliqués, un outil d'aide à la décision a été développé et y est présenté. Cet outil, à destination des gestionnaires des cours d'eau de Corse, permet de les interpeler quant à un écart observé aux modèles proposés. Modèles tous construits avec la même méthode, en cherchant d'abord des corrélations entre les paramètres utilisés et en se basant ensuite sur une typologie des cours d'eau de Corse. Le but étant de comparer les données piscicoles d'un même type de cours d'eau. L'objectif est de prendre en considération la variabilité de fonctionnement des cours d'eau de Corse, évoluant dans un contexte de changement climatique et intégrant une dimension temporelle.

Cet outil sera assurément évolutif au fil du temps. Il sera nécessaire d'actualiser avec d'autres recensements piscicoles, plus contemporains qui permettront d'affiner les modèles avec la réalité du terrain intégrant les conséquences d'un changement climatique de plus en plus marquées.

ORSINI (2020) écrivait que l'adaptation au changement climatique est nécessaire pour en limiter ses conséquences et anticiper ses impacts. Les politiques locales n'ayant montré aucune réaction à cette heure doivent initier une réorientation significative du développement et de l'aménagement de leur secteur sous contrainte de l'impact du changement climatique

(SALLES & LE TREUT, 2017). Il est fondamental de tenir compte de la préservation de la ressource en eau et des milieux aquatiques dans tout projet d'aménagement.

Dans le projet de Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux de Corse 2022-2027, certaines dispositions sont clairement énoncées et traitent de stratégies d'adaptation concrètes. L'Assemblée de Corse s'est déjà engagée dans la lutte contre le dérèglement climatique en adoptant le 24 septembre 2018 son Plan de Bassin d'Adaptation au Changement Climatique (PBACC) ; avec la nécessité d'élaborer des stratégies d'adaptation par territoire, tels que les Projets de Territoire pour la Gestion de l'Eau (PTGE). Les PTGE s'appuient sur un principe d'action efficace et intégratrice de l'ensemble des enjeux identifiés dans le plan de bassin d'adaptation au changement climatique.

Les principes d'action sont les suivants : réduire les causes de vulnérabilité au changement climatique, remettre l'eau au cœur des décisions publiques, animer le partage équitable de l'eau et la solidarité entre les usagers, aller vers des usages plus économes en eau et enfin éviter la mal-adaptation.

Les incidences du changement climatique en Corse nécessitent que des mesures de gestion soient prises, proportionnées aux vulnérabilités. Ces dernières dépendent à la fois de l'intensité du changement climatique et de la sensibilité des territoires à ces changements.

Certaines orientations fondamentales du projet de SDAGE 2022-2027 s'appuient sur la nécessité d'anticiper et de s'adapter au changement climatique. Il est reconnu que l'impact des activités anthropiques sur la biodiversité aquatique devrait rester supérieur à celui du changement climatique. Mais nous avons vu que ce dérèglement climatique apporte une pression supplémentaire sur cette biodiversité. Il a des conséquences directes sur la faune aquatique notamment une évolution des zones de répartition, une augmentation de la richesse spécifique, le développement d'espèces exotiques envahissantes, une dégradation sanitaire de certaines populations piscicoles également.

Les zones amont des cours d'eau deviendront des espaces refuges pour de nombreuses espèces. Nous avons noté qu'un déplacement est en cours vers ces zones. Cela renforce le besoin de conservation et d'accessibilité de ces espaces.

D'autres orientations fondamentales de ce document mettent l'accent sur la nécessité de préserver et restaurer les milieux aquatiques, humides et littoraux en respectant leur fonctionnement. Il s'agit ici (i) d'assurer la préservation des milieux aquatiques et humides en

renforçant la prise en compte de leur espace de bon fonctionnement ; (ii) d'améliorer la continuité écologique pour la circulation des poissons et le transit des sédiments ; (iii) de restaurer la continuité écologique des milieux aquatiques.

Les orientations fondamentales sur les milieux aquatiques comprennent également la prise en considération de la faune et la flore associées. Cette gestion des espèces vivantes doit être au centre des politiques de gestion de l'eau et transcrite dans des actions permettant d'élaborer et mettre en œuvre des plans de gestion du patrimoine piscicole en prenant en compte les objectifs environnementaux et respecter les principes suivants :

- Les souches des espèces indigènes, en particulier des endémiques, doivent être préservées, notamment dans les réservoirs biologiques. Les 21 espèces introduites doivent être surveillées et les espèces exotiques envahissantes susceptibles de remettre en cause la pérennité de ces populations doivent être éradiquées ou maîtrisées grâce à des stratégies de lutte pertinentes. Le développement des espèces exotiques envahissantes peut dans certaines situations remettre en cause l'atteinte du bon état voire, dans des cas particuliers, la pérennisation de populations d'espèces patrimoniales (endémiques, rares, vulnérables ou menacées), comme déjà énoncé pour la truite *macrostigma*, l'euprocte de Corse ou la cistude d'Europe.
- Les masses d'eau en très bon état ne doivent pas être soumises à des campagnes d'empoissonnement à des fins de développement des populations, sauf cas particuliers limités aux situations où il est admis que la demande piscicole n'entraîne pas de dégradation de leur très bon état ;
- Les masses d'eau en bon état pourront être soumises à des campagnes d'empoissonnement, dans la mesure où elles ne provoquent pas d'altération de l'état de la masse d'eau et des populations indigènes, en maitrisant totalement les différentes étapes de ces actions.

Face à ces constats, l'adaptation au changement climatique réclame une réponse ferme tout en étant proportionnée et graduée dans le temps. Elle passe d'abord par des actions de réduction des causes de vulnérabilité aux effets du changement climatique et par le développement de capacités à faire face. Il est possible d'agir et d'envisager des stratégies d'adaptation pour rendre le système plus résilient et capable de supporter les changements annoncés de manière durable et efficace.

Références bibliographiques

ALLAN J.D., WIPFLI M., CAOUETTE J., PRUSSIAN A. & RODGERS J. (2003). Influence of streamside vegetation on inputs of terrestrial invertebrates to salmonid food webs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **60**, **3**.

ALPERT P., BEN-GAI T., BAHARAD A., BENJAMINI Y., YEKUTIELI D., COLACINO M., DIODATO l., RAMIS C., HOMAR V., ROMERO R., MICHAELIDES S., MANES A. (2002). The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, vol. 29, N° 10, 31-1–31-4.

ANDREONE F., CADLE JE., COX N., GLAW F., NUSSBAUM R.A., RAXWORTHY C.J., VENCES M. (2005). Examen par espèce des risques d'extinction des amphibiens à Madagascar : conclusions de l'évaluation mondiale des amphibiens. *Conservation Biology*, **19**(6), p. 1790-1802.

AUBE D. (2016). *Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse - Bilan actualise des connaissances*. Collection « eau & connaissance ». Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 114 p.

BAGLINIERE J.L. & MAISSE G. (1991). La truite. *Biologie et écologie. Editions Quae.*

BAGNOULS F. & GAUSSEN H. (1953). Saison sèche et indice xérothermique. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, **88**, p 193-239.

BALIAN E. V., SEGERS H., MARTENS K., & LÉVÉQUE C. (2008). The freshwater animal diversity assessment: an overview of the results. In *Freshwater Animal Diversity Assessment*. Springer Netherlands. pp. 627-637l

BAPTIST F., GUILLON M., POULET N., SEON-MASSIN N., FAHRNER G. (2014) Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et pistes pour l'adaptation, **13**, *Comprendre pour Agir*, ONEMA, 131 p

BARAN P. (1995). *Analyse de la variabilité des abondances de truites communes (Salmo trutta L.) dans les Pyrénées centrales françaises. Influence des échelles d'hétérogénéité d'habitat*. [Thèse de Doctorat], Institut National Polytechnique de Toulouse, 147 p.

BARAN P., DELACOSTE M., LASCAUX J.M., BELAUD A. (1993). Relations entre les caractéristiques de l'habitat et les populations de truites communes (*Salmo trutta L.*) de la vallée de la Neste d'Aure ». *Bull. Fr. Pêche Piscic*, **331,** p. 321-340.

BARAN P., DELACOSTE M., POIZAT G. (1995). Approche multi-échelles des relations entre les caractéristiques d'habitat et les populations de truite commune (*Salmo trutta* L.) dans les Pyrénées centrales. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, **337-338-339**, p. 399-406.

BARNOSKY A.D., MATZKE N., TOMIYA S., Wogan G.O.U., SWARTZ B., QUENTAL T.B., MARSHALL C., MCGUIRE J.L., LINDSEY E.L., MAGUIRE K.C., MERSEY B. & FERRER E. A. (2011) Has the Earth's sixth mass extinction already arrived ? *Nature* - 471, pp. 51–57.

BATES B.C., KUNDZEWICZ Z.W., WU S., PALUTIKOF J.P. (2008). Le changement climatique et l'eau, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, *Secrétariat du GIEC, Genève*, 236 p.

BAYRAM A., HIZIR Ö., KÖMÜRCÜ M.İ., BULUT V.N. (2012). Effects of Torul Dam on Water Quality in the Stream Harşit (Turkey). *Environmental Earth Sciences* **65(**3), p. 713-723.

BEAUDOU D. & CUINAT R., 1990. Relation entre croissance de la truite commune (*Salmo trutta fario* L.) et caractéristiques du milieu, dans les rivières du Massif Central. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, **318** : 82-88.

BEEBEE TJC. (1995). Amphibian breeding and climate. *Nature* - 374 : pp. 219-220.

BEFFY J.L. (1992). Application de l'analyse en composantes principales à trois modes pour l'étude physico-chimique d'un écosystème lacustre d'altitude : perspectives en écologie. *Revue de statistique appliquée*, **40**(1), p. 37-56.

BELLET C. & DANIEL P. (1998). Infestation de l'anguille européenne sur le bassin de l'Adour et sur certains cours d'eau côtiers des départements des Landes et des Pyrénées Atlantiques. *Doc. Migradour – G.D.S.A.A.*, 29 p.

BENDA L., HASSAN M.-A., CHURCH M. & MAY C.-L, (2005), Geomorphology of steepland headwaters : the transition from hillslopes to channels, Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), 41 (4), pp. 835-851

BENISTON M., FOX D.G., ADHIKARY S., ANDRESSEN R., GUISAN A., HOLTEN J., INNES J., MAITIMA J., PRICE M., and TESSIER L. (1996). – "The Impacts of Climate Change on Mountain Regions". In Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Chapter 5, Cambridge University Press, pp. 191-213.

BENZECRI, J.P. (1973). L'analyse des données. **2**, p. l.

BERNATCHEZ L. (2001): The evolutionary history of brown trout (Salmo trutta L.) inferred from phylogeographic, nested clade, and mismatch analyses of mitochondrial DNA variation. Évolution, 55, pp. 351-379.

BERNATCHEZ L., GUYOMARD R., BONHOMME F. (1992). DNA sequence variation of the mitochondrial control region among geographically and morphologically remote European brown trout Salmo trutta populations. *Molecular Ecology* 1. pp. 161-173

BERRA T. M. (2001). Freshwater fish distribution. *Academic Press*.

BERREBI P., 1995. Étude génétique des truites de Corse. Rapport final 1995. Université Montpellier II, 36p.

BILBY R.E. & BISSON P.A. (1992). Allochthonous versus Autochthonous Organic Matter Contributions to the Trophic Support of Fish Populations in Clear-Cut and Old-Growth Forested Streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **49**, **3**.

BIROT. P. (1953). La Méditerranée occidentale (*in* Birot et Dresch, La Méditerranée et le Moyen Orient, coll. Orbis, Paris, P.U.F.).

BLANC F., BLANC-VERNET L., LAUREC A., LE CAMPION J., PASTOURET L. (1976). Application paléoécologique de la méthode d'analyse factorielle en composantes principales : Interprétation des microfaunes de foraminifères planctoniques quaternaires en Méditerranée. III. Les séquences paléoclimatiques. Conclusions générales. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* **20**(4), p. 277-296.

BLANC G., 1997. Introduction des agents pathogènes dans les écosystèmes aquatiques : aspects théoriques et réalités. *Bull. Fr. Pêche Piscic*., **344/345** p. 489-515.

BLANCHARD D. (2001). Contaminants en tous genres. *Le pêcheur professionnel*, **35**, p. 2-6.

BOISNEAU C., MOATAR F., BODIN M., BOISNEAU, P. (2008). Does global warming impact on migration patterns and recruitment of Allis shad (*Alosa alosa L*.) young of the year in the Loire River, France. *Fish and Diadromy in Europe (ecology, management, conservation)*, p. 179-186

BOUALLAM S., MAAROUF A., BOUZIDI A. & BADRI A. (1998). Efficacité des traitements chimique et biologique sur les *Culicidae :* effet létal du téméphos et taux de consummation par *Gambusia affinis. Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* , Volume 34 , Issue 1, pp. 99 - 105

BOUCHER O., BELLASSEN V., BENVENISTE H., CIAIS P., CRIQUI P., GUIVARCH C., LE TREUT H., MATHY S., SÉFÉRIAN R. (2016). Opinion: In the wake of Paris Agreement,

scientists must embrace new directions for climate change research. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **113**(27), p. 7287-7290.

BRIGODE P., LILAS D., ANDRÉASSIAN V., NICOLLE P., LE MOINE N., PERRIN C., GREMMINGER S. & AUGEARD B. (2019). Une cartographie de l'écoulement des rivières de Corse. *La Houille Blanche* – pp. 68–77

BRIONES, R. M. (2006). Projecting future fish supplies using stock dynamics and demand. *Fish and Fisheries*, 7, pp. 303-315.

BROSSE S., BEAUCHARD O., BLANCHET S., Dürr H., GRENOUILLET G., HUGUENY B., LAUZERAL C., LEPRIEUR F., TEDESCO P., VILLÉGER S. & OBERDORFF T. (2013). Fish-SPRICH: a database of freshwater fish species richness throughout the World. Hydrobiologia, 700, pp. 343-349.

BRUNETTI M., MAUGERI M., NANNI T. (2001) Changes in total precipitation, rainy days and extrem events in northeastern Italy. *International Journal of Climatology*, vol. 21, pp. 861–871

BRUNO C., DUPRÉ G., GIORGETTI G., GIORGETTI J.P., ALESANDRI J., (2001). *Chì tempu face ? Météorologie, climat et microclimats de la Corse.* Centre Régional de la Documentation Pédagogique, Ajaccio, France, 118p.

BRUSLE J. (1990). Effects of heavy metals on eel, *Anguilla* sp. *Aquat. Living Resour.*, **3,** p. 131-141.

BRUSLE J. (1991). The eel (*anguilla* sp.) and organic chemical pollutants. *Sci. Tot. Environ*., **102** p. 1-19.

BRUSLE J. (1994). L'anguille européenne *Anguilla anguilla*, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. *Bull. Fr. Pêche Piscic*., **335** p. 237- 260.

BUCHWITZ M., REUTER M., NOËL S., BRAMSTEDT K., SCHNEISING O., HILKER M., FUENTES ANDRADE B., BOVENSMANN H., BURROWS J.P., DI NOIA A., BOESCH H., WU L., LANDGRAF J., ABEN I., RETSCHER, C., O'DELL C.W., CRISP D. (2021). Can a regional-scale reduction of atmospheric CO_2 during the COVID-19 pandemic be detected from space ? A case study for East China using satellite XCO_2 retrievals, *Atmos. Meas. Tech*., 14, pp. 2141–2166

BUCHWITZ M., REUTER M., NOEL S., GIER B., SCHNEISING O., BOVENSMANN H., BURROWS J.P., BOESCH H., ABEN I., HASEKAMP O.P., WU L., VEEFKIND P., DE HAAN J. (2019). Satellite observations of atmospheric carbon dioxide for Copernicus services. *Geophysical Research Abstracts*. **21**, 1p

BUISSON L., & GRENOUILLET G. (2009). Contrasted impacts of climate change on stream fish assemblages along an environmental gradient. *Diversity and Distributions*, **15**(4), p. 613-626.

BUTCHART et al. (2010). Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science*, 328, pp. 1164–1168.

CANTIN C. (1996). Contamination du milieu marin par les micropolluants. Résultats du RNO de 1979 à 1994, l'estuaire de la Gironde. *Ifremer*, 46 p.

CARDINALE B.J., DUFFY J.E., GONZALEZ A., HOOPER D.U., PERRINGS C., VENAIL P., NARWANI A., MACE G.M., TILMAN D., WARDLE D. A., KINZIG A.P., DAILY G.C., LOREAU M., GRACE J.B., LARIGAUDERIE A., SRIVASTAVA D.S. & NAEEM S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486, pp. 59–67.

CARREL G., OLIVIER J.M., POIREL A., BREIL P. (2003). Variabilité interannuelle de la reproduction des poissons *cyprinidae* dans le Rhône à l'aval de Lyon : rôle de la température, Conséquences potentielles du changement climatique sur les biocénoses aquatiques et riveraines françaises, Ministère de l'Environnement, Paris.

CASADO A., PEIRY J.L., CAMPO A.M. (2016). Geomorphic and vegetation changes in a meandering dryland river regulated by a large dam, Sauce Grande River, Argentina. *Geomorphology*, **268**, p.21-34.

CASAMAJOR (de) M.N., LECOMTE-FINIGER R., PROUZET P. (2001). Détermination de l'état d'amaigrissement des civelles (*Anguilla anguilla*) en migration en zones côtière et estuarienne. *CR Acad. Sci. Paris*, **324** p. 345-353.

CASTEBRUNET H., ECKERT N., GIRAUD G., DURAND Y., MORIN S. (2014). Projected changes of snow conditions and avalanche activity in a warming climate: the French Alps over the 2020-2050 and 2070-2100 periods. *Cryosphere* **8**, p. 1673–1697.

CASTELNAUD G., GUERAULT D., DESAUNAY Y., ELIE P. (1994). Production et abondance de la civelle en France au début des années 90. *Bull. Fr. Pêche Piscic*., **335**, p. 263-287.

CATTANEO F. & LAMOUROUX N., *et al*. (2002). The influence of hydrological and biotic processes on brown trout (*Salmo trutta*) population dynamics. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **59,** p. 12-22.

CHANUDET V., GUEDANT P., RODE W., GODON A., GUERIN F., SERÇA D., DESHMUKH C., DESCLOUX S. (2016). Evolution of the Physico-Chemical Water Quality in the Nam Theun 2 Reservoir and Downstream Rivers for the First 5 Years after Impoundment. *Hydroécologie Appliquée*, **19**, p. 27-61.

CHAOUCHE K., NEPPEL L., DIEULIN C., PUJOL N., LADOUCHE B., MARTIN E., SALAS D., YVAN CABALLERO Y. (2010). Analyses of precipitation, temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change. *Comptes Rendus Geoscience*, **342**(3), p. 234-243.

CHAPIN F.S., SALA O.E., BURKE I.C., GRIME J.P., HOOPER D.U., LAUENROTH W.K., LOMBARD A., MOONEY H.A., MOSIER A.R., NAEEM S., PACALA S.W., Roy J., STEFFEN W.L., TILMAN D. (1998). Ecosystem consequences of changing biodiversity. *Bioscience*, 48, pp. 45-52.

CHAPIN F.S., ZAVALETA E.S., EVINER V.T., NAYLOR R.L., VITOUSEK P.M., REYNOLDS H.L., HOOPER D.U., LAVOREL S., SALA O.E., HOBBIE S.E., MACK M.C. & DÍAZ S. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405, pp. 234–242.

CHAPPAZ R. (1997). *Mémoire pour présenter l'Habilitation à Diriger des Recherches*. Université d'Aix-Marseille I, 134 p.

CHAPPAZ R., OLIVARI G., BRUN G. (1996). Food availability and growth rate in natural populations of the brown trout (*Salmo trutta*) in Corsican streams. *Hydrobiologia*, **331** : 63-69.

CHARRE J. (1997) Dessine-moi un climat. Que penser du diagramme ombrothermique ? *MappeMonde*, **2**, pp. 29-31.

CHOVANEC A., HOFER R., SCHIEMER F. (2003). Fish as bioindicators - *Bioindicators and Biomonitors*. 38p

CHRISTENSEN J.H. & CHRISTENSEN O.B. (2003). Climate modelling: severe summertime flooding in Europe. *Nature*, **421**(6925), p. 805.

CLAUSS T. & MEUNIER F. (1998). L'alevinage de « Sandoz » en demi-teinte. *Eaux libres*, **24,** p. 34- 35.

COLMET-DAAGE R., MALET N., DUFRESNE C. (2019) Changement climatique et données météorologiques infra-régionales en méditerranée occidentale. Intégration des connaissances pour les projets « eaux de transition en Méditerranée ». ODE/UL/LER-PAC/19-02. pp.16-33

COMTE L., BUISSON L., DAUFRESNE M., GRENOUILLET G. (2013). Climate-induced changes in the distribution of freshwater fish: observed and predicted trends. *Freshw. Biol*. **58**, p. 625–639.

CONCHON O. & GAUTHIER A. (1985). Phénomènes naturels exceptionnels en Corse. Intérêt pour l'étude géologique de la période Quaternaire. *Bull. Soc. Se. hist, et nat. Corse,* 648, pp. 141- 165.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S) (2021) European state of the climate – Summary 2020. 36p

CRIVELLI A. (1998). L'anguille dans le bassin Rhone-Méditérranée-Corse. *COGEPOMI du bassin Rhône-Méditerranée-Corse*. 83 p.

DAJOZ R. (1996). Précis d'écologie. Paris, *Dunod*, 551 p

DAUFRESNE M. & BOET P. (2007). Climate change impacts on structure and diversity of fish communities in rivers. *Global Change Biology*. **13(**12).

DAYON G. (2015). *Evolution du cycle hydrologique continental en France au cours des prochaînes décennies.* [Thèse de doctorat], Université de Toulouse. 223p.

DE FRESCHEVILLE J. (1964). Identification des poissons d'eau douce de la Corse. *Bull. Soc. Se. hist, et nat. Corse* ,571, pp. 47–57

DE JONG Y., VERBEEK M., MICHELSEN V., DE PLACE BJØRN P., LOS W., STEEMAN F., HAGEDORN G. (2014). Fauna Europaea–all European animal species on the web. *Biodiversity Data Journal*, (2).

DELACOSTE M., BARAN P., LASCAUX J. M., ABAD N. & BESSON J. P. (1997). Bilan des introductions de salmonidés dans les lacs et ruisseaux d'altitude des Hautes-Pyrénées. *Bull. Fr. Pêche Piscic*. **344-345**. pp. 205-219.

DE LURY D. B. (1947). On the estimation of biological populations. *Biométries*, 3 (4), pp. 145-167.

DE MARTONNE E. Aréisme et indice d'aridité. — *Comptes rendus Académie des Sciences*, vol. 181, 1926, pp. 1395-1398.

DEGANI G., HERBST G.N., ORTAL R., BROMLEY H.J., LEVANON D., GLAZMAN H., REGEV Y. (1992). Faunal relationships to abiotic factors along the River Dan in northern Israel. *Hydrobiologia*, **246(**1), pp. 69-82.

DEKKER W. (1998). La position Hollandaise. *Eaux Libres*, **24,** pp. 58-59.

DENIS A., GABRION C., LAMBERT A. (1983.) Présence en France de deux parasites d'origine est-asiatique : *Diplozoon nipponicum* Goto, 1891 (Monogenea) et *Bothriocephalus acheilognathi* Yamaguti, 1934 (Cestoda) chez *Cyprinus carpio* (*Teleostei*, *Cyprinidae*). *Bull. Fr. Piscic.*, **289,** pp. 128-134.

DOLEDEC S. (1986). *Les peuplements de macroinvertébrés benthiques du cours inférieur de l'Ardèche. Dynamique spatio-temporelle*. [Thèse de Doctorat], Université de Lyon 1, 153 p.

DRIOUECH F. (2010). *Distribution des précipitations hivernales sur le Maroc dans le cadre d'un changement climatique : descente d'échelle et incertitudes*. [Thèse de Doctorat], Université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, 164 p.

DROUINEAU H., DURIF C., CASTONGUAY M. *et al*., (2018). Freshwater eels: A symbol of the effects of global change. *Fish Fish*; pp.1–28.

DURAND Y., BRUN E., MERINDOL L., GUYOMARC'H G., LESAFFRE B., MARTIN E. (1993). A meteorological estimation of relevant parameters for snow models. *Annals of glaciology*, **18**, pp. 65-71.

DURAND Y., GIRAUD G., LATERNSER M., ETCHEVERS P., MERINDOL L., LESAFFRE B. (2009). Reanalysis of 47 years of climate in the French Alps (1958–2005) : climatology and trends for snow cover. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **48**, pp. 2487-2512.

EATON J.G., SCHELLER R.M. (1995). Effects of climate warming on fish thermal habitat in streams of the United States. *Limnology and Oceanography*. 4l, pp. 109-1115.

EBERSOLE J., LISS W., FRISSEL C. (2003). Thermal heterogeneity, stream channel morphology, and salmonid abundance in northeastern Oregon streams. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* **60**.

ECOGEA (2012). Etude scalimétrique de la croissance des truites de 12 rivières de Corse. *Rapport d'étude pour la FCPPMA.* 40p

EEA. (2015). The European environment - state and outlook 2015 : synthesis report.

EGGLISHAW H.J. (1968). The quantitative relationship between bottom fauna and plant detritus in streams of different calcium concentrations. *Journal of Applied Ecology*, **5,** pp. 731-740.

EINHORN B., ECKERT N., CHAIX C., RAVANEL L., DELINE P., GARDENT M., BOUDIERES V., RICHARD D., VENGEON J.- M., GIRAUD G. (2015). Changements climatiques et risques naturels dans les Alpes. Impacts observés et potentiels sur les systèmes physiques et socio-économiques. *J. Alp. Res. Rev. Géographie Alp*.

EKLÖV A.G., GREENBERG L.A., BRÖNMARK C., LARSSON P., BERGLUND O. (1999). Influence of water quality, habitat and species richness on Brown trout populations. *J. Fish Biol.*, **54**, p. 33-43.

EL AGBANI M.A. (1984). *Le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Bou Regreg (plateau central marocain) : essai de biotypologie* [Thèse de Doctorat], Université Claude Bernard, Lyon, France, 147 p.

ESCHMEYER W. (2005). Ichthyology-Catalog of fishes, *California Academy of Sciences*

ETCHEVERS P. & MARTIN E. (2002). Impact d'un changement climatique sur le manteau neigeux et l'hydrologie des bassins versants de montagne. *L'eau en montagne*, **8**.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA.) (2012). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012 — an indicator-based report, EEA Report N° 12/2012.

EXPLORE 2070 (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie) (2012). Vulnérabilité des milieux aquatiques et de leurs écosystèmes, étude de la répartition des poissons d'eau douce. *Projet Explore 2070. Rapport de synthèse*. 81 p.

FABRE J. (2012). *Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse, bilan des connaissances*. Rapport de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 65 p.

FAO. (2012). Agriculture organization of the united nations. The state of food insecurity in the world.

FCPPMA (2007). Guide de gestion de la truite macrostigma. 80p

FILBERT R.B. & HAWKINS C.P. (1995). Variation in condition of rainbow trout in relation to food, temperature, and individual length in the Green River, Utah. *Trans. Am. Fish. Soc*., **124**, p. 824-835.

FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). (2007). Agriculture organization of the united nations. The state of food insecurity in the world.

FRAGNOUD E. (1987). *Préférences d'habitat de la truite fario (Salmo trutta fario L) en rivière : quelques cours d'eau du Sud-Est de la France* [Thèse de doctorat], Univ. Lyon 1.

FRITSCH A. J., 1872, "Die Wirbeltiere Böhmens. Ein Verzeichnis aller bisher in Böhmen beobachteten Säugetiere, Vögel, Amphibien und Fische.," *Arch. Naturwissensch Landes durch forsch Böhmen*, 2, 152p.

FROESE R. & PAULY D. (2009). Fishbase: World Wilde Web electronic publication.

FROST W.E., BROWN M.E., VARLEY M.E. (1967). *The trout*. **21**. Ed. Collins.

GAMISANS J. (1991). Compléments au prodrome de la flore corse. *La végétation de la Corse, Annexe 2*. Conservatoire et Jardin botaniques, Genève, 391 p.

GAMISANS J. (1991). La végétation de la Corse. Compléments au prodrome de la flore corse, Annexe 2. *Conservatoire et Jardin botaniques*, Genève, 391 p.

GAMISANS J., JEANMONOD D., 1993. Catalogue des plantes vasculaires de la Corse (2ème édition). *In* Compléments au Prodrome de la Flore Corse, annexe 3, Jeanmonod D., Burdet H.M. (*Eds*), *Conservatoire et Jardin botaniques*, Genève, 258 p.

GAMISANS J., JEANMONOD D., 1995. La flore de Corse : bilan des connaissances, intérêt patrimonial et état de conservation. *Ecologia Méditerranea*, **21**, pp. 135-148.

GAMISANS J., MARZOCCHI J.F., 1996. La flore endémique de la Corse. *Sud Eds*, 208p.

GAUTHIER A., ROCHE B., FRISONI G-F. (1984). Contribution à la connaissance des lacs d'altitude de la corse – PNRC – *CRDP*, 222 p.

GIBELIN A.L., DUBUISSON B., CORRE L., DEAUX N., JOURDAIN S., LAVAL. L., PIQUEMAL J.M., MESTRE O., DENNETIERE D., DESMIDT S., TAMBURINI A. (2014). Évolution de la température en France depuis les années 1950. Constitution d'un nouveau jeu de séries homogénéisées de référence. *La Météorologie*, N° 87,

GIEC (1992). Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment [HOUGHTON J.T., CALLANDER B.A., VARNEY S.K.], *Cambridge University Press*, 116 p.

GIEC (2013). Changements climatiques 2013 : les bases des sciences physiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [STOCKER, T.F, QIN D., PLATTNER G.K., TIGNOR M., S.K ALLEN S.K., BOSCHUNG J., NAUELS A., XIA Y., BEX V. MIDGLEY P.M.]. *Cambridge University Press*, 1535 p.

GIEC (2014). Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [PACHAURI R.K., MEYER L.A.], 151 p.

GIEC (2018). Réchauffement planétaire de 1,5 °C. Un rapport spécial du GIEC sur les impacts du réchauffement climatique de 1,5 °C au-dessus des niveaux préindustriels et les voies d'émission mondiales de gaz à effet de serre associées, dans le contexte du renforcement de la

réponse mondiale à la menace du changement climatique, du développement durable et des efforts pour éradiquer la pauvreté. *Organisation météorologique mondiale,* 32 p.

GILBERT A., VINCENT C., 2013. Atmospheric temperature changes over the 20th century at very high elevations in the European Alps from englacial temperatures. *Geophys. Res. Lett*. 40, pp. 2102–2108

GIORGI F. (2002). Variability and trends of sub-continental scale surface climate in the twentieth century. Part I: observations. *Climate Dynamics*, vol. 18, pp. 675–691.

GIORGI F. (2006). Climate change hot-spots. G*eophysical Research Letters,* vol. 33, L08707. 4p.

GIORGI F., BI X., PAL J. (2004). Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II : climate change scenarios (2071–2100). *Climate Dynamics*, **23**(7-8), p. 839-858.

GIUDICELLI J. (1968). *Recherches sur le peuplement, l'écologie et la biogéographie d'un réseau hydrographique de la Corse centrale*. [Thèse d'Etat], Université d'Aix-Marseille III, 437 p.

GOBIET A., KOTLARSKI S., BENISTON M., HEINRICH G., RAJCZAK J., STOFFEL M. (2014). 21st century climate change in the European Alps. *Sci. Total Environ*. 493, pp. 1138–1151.

GONY-LEMAIRE S. (1990). *Etude expérimentale de l'action du cadmium sur les juvéniles (civelles et anguillettes) de l'anguille européenne Anguilla anguilla : analyse structurale et fonctionnelle de certains organes-cibles*. [Thèse de Doctorat], Université de Paris 6, 173 p.

GOZLAN R. (2019). Détection de l'agent rosette *Sphareothecum destruens* dans les communautés piscicoles de France (Rosetta). Rapport de l'IRD pour l'AFB. 35p.

HABIT E., GONZALEZ J., RUZZANTE D. E., & WALDE S. J. (2012). Native and introduced fish species richness in Chilean Patagonian lakes: inferences on invasion mechanisms using salmonid-free lakes. *Diversity and Distributions*, 18, pp. 1153-1165.

HAMILTON R.M. (1985). Discharges of pesticides to the rivers Mole and Taw, their accumulation in fish flesh and possible effects on fish stocks. *J. Fish. Biol*., **27** p. 139-149.

HANNAH D.M. & GARNER G. (2015). River water temperature in the United Kingdom Changes over the 20th century and possible changes over the 21st century. *Progress in Physical Geography*, **39**, pp. 68–92.

HELFMAN G. S. (2007). Fish conservation: a guide to understanding and restoring global aquatic biodiversity and fishery resources. *Island Press*.

HELLAND I.P., FINSTAD A.G., FORSETH T, HESTHAGEN T, UGEDAL O. (2011). Ice-cover effects on competitive interactions between two fish species. *Journal of Animal Ecology* 80, pp. 539-547.

HENRIQUES-SILVA *et al*., (2018). A comprehensive examination of the network position hypothesis across multiple stream metacommunities. *Ecography*

HERMOSO V. & CLAVERO M. (2011) Invasive species and habitat degradation in Iberian streams: an analysis of their role in freshwater fish diversity loss. *Ecological applications*, 21, pp. 175–188.

HERMOSO V., LINKE S., PREND J., & POSSINGHAM, H. P. (2011). Addressing longitudinal connectivity in the systematic conservation planning of fresh waters. *Freshwater Biology*, 56, pp. 57-70.

HILTON-TAYLOR C., POLLOCK C. M., CHANSON J. S., BUTCHART S. H., OLDFIELD T. E., & KATARIYA V. (2009). State of the world's species. Wildlife in a Changing World–An Analysis of the 2008 IUCN Red List of Threatened Species. 15p.

HORTON P.A. (1961). La bionomique de la truite brune dans un ruisseau du Dartmoor. *Journal of Animal Ecology*, p. 311-338.

HUET M. (1949). Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Schweiz. Z. Hydrologie*, **11**, pp. 332–351.

HUET M. (1959). Profiles and biology of Western European streams as related to fish management. *Trans. Amer. Fish. Soc*., **88**, p. 155-163.

ILLIES J. & BOTOSANEANU L. (1963). Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. *Verhandlungen der Internationale Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie*, **12,** pp. 1-57.

International Council for the Exploration of the Sea (ICES) (2018). Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eels (WGEEL), Gdańsk, Poland. *ICES CM 2018/ACOM* : **15**. 152p.

JACKSON D.A., PERES-NETO P.R., & OLDEN J.D. (2001). What controls who is where in freshwater fish communities the roles of biotic, abiotic, and spatial factors. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 58, pp.157-170.

JACOB D., PETERSEN J., EGGERT B., ALIAS A., CHRISTENSEN O.B., BOUWER L.M., BRAUN A., COLETTE A., DÉQUÉ M., GEORGIEVSKI G., *et al* (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, **14**, pp. 563–578.

JENKINS K. M., & BOULTON A. J. (2003). Connectivity in a dryland river: short-term aquatic microinvertebrate recruitment following floodplain inundation. *Ecology*, 84, pp. 2708-2723.

JENSEN A.J. & JOHNSEN B.O (1999). The functional relationship between peak spring floods and survival and growth of juvenile Atlantic Salmon (*Salmo salar*) and Brown Trout (*Salmo trutta*). *Functional Ecology*, **13**(6), p. 778-785.

JONES M P. & HUNT W F. (2010). Effect of Storm-Water Wetlands and Wet Ponds on Runoff Temperature in Trout Sensitive Waters. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **136**(9), p. 656-661.

KAYSER B. (1996). Méditerranée, une géographie de la fracture. 132 p.

KEITH P., ALLARDI J., MOUTOU B. (1992). Livre rouge des espèces menaces de poissons d'eau douce de France et bilan des introductions. *Collections Patrimoines Naturels, Volume 10, Secrétariat de la faune et de la flore, Muséum National d'Histoire Naturelle, CSP, CEMAGREF, Min. Env. Paris,* 111 p.

KEITH P., POULET N., DENYS G., CHANGEUX T., FEUNTEUN É. & PERSAT H. (2020). Les poissons d'eau douce de France. *Deuxième édition. Muséum national d'Histoire naturelle*, Paris ; Biotope, Mèze, 704 p.

KINOUCHI T., YAGI H., MIYAMOTO M. (2007). Increase in stream temperature related to anthropogenic heat input from urban wastewater. *Journal of Hydrology*, **335**(1-2), pp. 78-88.

KISHI D, MURAKAMI M, NAKANO S, MAEKAWA K. (2005). Water temperature determines strength of top-down control in a stream food web. *Freshwater Biology* 50, pp. 1315-1322.

KJELLSTRÖM E. (2004). Recent and future signatures of climate change in Europe. *AMBIO : A Journal of the Human Environment*, **33**(4), pp. 193-199.

KLEIN TANK A. M. G., KONNEN G. P. (2003). Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946-99, *Journal of Climate*, vol. 16, pp. 3665–3680

KOIE M. (1988). Parasites in European eel *Anguilla anguilla* (L.) from Danish freshwater, brackish and marine localities. *Ophelia,* **29.** pp. 93-118.

KOSTOPOULOU E., JONES P. D., 2005, "Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean", Meteorology and Atmospheric Physics, vol. 89, 69–85.

KOTTELAT M. & FREYHOF J. (2007). Handbook of European freshwater fishes. *Publications Kottelat, Cornol and Freyhof,* Berlin. 646p

KOTTELAT M. (1997). European freshwater fishes. An heuristic checklist of the freshwater fishes of Europe (exclusive of former USSR), with an introduction for non-systematists and comments on nomenclature and conservation. *Biologia*, **52**, pp. 1-271.

KUNDZEWICZ Z.W., RADZIEJEWSKI M., PINSKWAR I. (2006). Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Climate Research,* **31**(1), pp. 51-58.

LAMBERT A. (1997). Introduction de poissons dans les milieux aquatiques continentaux : « Quid de leurs parasites ? ». *Bull. Fr. Pêche Piscic*., **344/345,** pp. 323-333.

LAMBERT R. (1979). Cours d'hydrologie. ISP/BUKAVU, inédit.

LANG M., ARNAUD P., CARREAU J., DEAUX N., DEZILEAU L., GARAVAGLIA F., LATAPIE A., NEPPEL L., PAQUET E., RENARD B. (2014). Résultats du projet ExtraFlo (ANR 2009-2013) sur l'estimation des pluies et crues extrêmes. *Houille Blanche,* **2**, pp. 5-13.

LARSEN J., BIRKSL H.J.B., RADDUM G.G., FJELLHEIM, A. (1996). Quantitative relationships of invertebrates to pH in Norwegian river systems. *Hydrobiologia,* **328**(1), pp. 57-74.

LASNE E., BERGEROT B., LEK S., LAFFAILLE. P. (2007a) Fish zonation and indicator species for the evaluation of the ecological status of rivers: example of the Loire basin (France). *River Res. Appl.*, 23, pp. 877-890

LATTERELL J.J., FAUSCH K.D., GOWAN C., RILEY S.C. (1998). Relationship of trout recruitment to snowmelt runoff flows and adult trout abundance in six Colorado mountain streams. *Rivers,* **6**(4), p. 240-250.

LE CREN E.D. (1965). Some factors regulating the size of populations of freshwater fish: With 3 figures in the text. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie : Mitteilungen,* **13**(1), p. 88-105.

LE MOIGNE P. (2002). Description de l'analyse des champs de surface sur la France par le système SAFRAN. *Note de centre GMME, Météo-France,* p. 1-30.

LEPRIEUR F., BEAUCHARD O., BLANCHET S., OBERDORFF T. & BROSSE S. (2008a) Fish invasions in the world's river systems: when natural processes are blurred by human activities. *PLoS Biology*, **6**, e28.

LEPRIEUR F., BEAUCHARD O., HUGUENY B., GRENOUILLET G. & BROSSE S. (2008b) Null model of biotic homogenization: a test with the European freshwater fish fauna. *Diversity and distributions*, **14**, pp. 291–300

LÉVÊQUE C., OBERDORFF T., PAUGY D., STIASSNY M. L. J. & TEDESCO P. A. (2008). Global diversity of fish (Pisces) in freshwater. In *Freshwater animal diversity assessment*, pp. 545-567

LI A., WU J., HUANG J. (2012). Faire la distinction entre les changements de végétation induits par l'homme et ceux dus au climat : une application critique de RESTREND en Mongolie intérieure. *Écologie du paysage*, **27**(7), pp. 969-982.

LITARDIERE R. de., MALCUIT G., 1926. Contributions à l'étude phytosociologique de la Corse. Le massif du Renoso. *Paul Lechevalier*, Paris, 143p.

LLASAT M.C. (2001). An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features: application to rainfall intensity in the northeast of Spain. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, **21**(11), pp. 1385-1400.

LOOT G, BROSSE S, LEK S., GUÉGAN J.F. (2001) Behaviour of roach (*Rutilus mtilus* L.) altered by *Ligula intestinalis* (Cestoda: Pseudophyllidea): a field demonstration. *Freshwater Biology* ,**46**, pp. 1219-1227.

LOPEZ E., PEIGNOUX-DEVILLE J., LALLIER F., MARTELLY E., FONTAINE Y.A. (1981). Anguilles contaminées par les hydrocarbures après l'échouage de l'Amoco-Cadiz. Modification histopathologique des ovaires, des branchies et de glandes endocrines. *CR Acad. Sci. Paris*, **292**, pp. 407-411.

LOWNEY C.L. (2000). Stream temperature variation in regulated rivers: Evidence for a spatial pattern in daily minimum and maximum magnitudes. *Water Resources Research*, **36**(10), pp. 2947-2955.

LUNEAU S. (1998). Consommation d'anguilles : gare au P.C.B. *Eaux libres*, **24**, p 14.

MACAN T.T. (1974). Running water. Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, **20**, pp. 301-321.

MADSEN H., LAWRENCE D., LANG M., MARTINKOVA M., KJELDSEN T.R. (2014). Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe. *Journal of Hydrology*, **519**, pp. 3634–3650.

MAGAND C. (2014). *Influence de la représentation des processus nivaux sur l'hydrologie de la Durance et sa réponse au changement climatique*. [Thèse de doctorat]. Sciences de la Terre. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 333 p.

MAGOTT R. (2016) Propagation de la rupture sismique dans la lithosphère océanique : une étude basée sur l'analyse structurale des cataclasites et pseudotachylites jalonnant les failles dans les roches mafiques et ultramafiques accrétées ou obductées sur les continents : L'exemple corse. 278p.

MALAVOI J. R., BRAVARD J. P. (2010). Elements d'hydromorphologie fluviale. *Onema,* 224p.

MANGEL, M. (1994). Climate change and salmonid life history variation. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, **41**(1), p. 75-106.

MARTIN T.E. (2007). Climate correlates of 20 years of trophic changes in a high elevation riparian system. *Ecology* 88, pp. 367-380.

MATTHEEUWS A, GENIN M, DETOLLENAERE A, MICHA J.C. (1981). Etude de la reproduction du gardon (*Rutilus rutilus*) et des effets d'une élévation provoquée de la température en Meuse sur cette reproduction. *Hydrobiologia* 85(3), pp. 271-282.

MC FADDEN J.T. & COOPER E.L. (1962). An ecological comparison of six populations of brown trout (*Salmo trutta*). *Transactions of the American Fisheries Society*, **91**(1), pp. 53-62.

MIGAUD H., FONTAINE P., SULISTYO I., KESTEMONT P., GARDEUR J.N. (2002). Induction of out-of-season spawning in Eurasian perch Perca fluviatilis: effects of cooling and chilling periods on female gametogenesis and spawning. *Aquaculture* 205, pp. 253-267.

MILNER N.J., ELLIOTT J.M., ARMSTRONG J.D., GARDINER R., WELTON J.S., LADLE M. (2003). The natural control of salmon and trout populations in streams. *Fisheries Research*, **62**(2), pp. 111-125.

MIN S. K., ZHANG X., ZWIERS F. W., HEGERL G.C. (2011). Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature*, **470**(7334), 378p.

MOHSENI O., STEFAN H.G., EATON J.G. (2003). Global warming and potential changes in fish habitat in US streams. *Climatic Change*. 59, pp. 389-409.

MOLINA-NAVARRO E., TROLLE D., MARTINEZ-PEREZ S., SASTRE-MERLIN A., JEPPESEN E. (2014). Hydrological and water quality impact assessment of a Mediterranean limno-reservoir under climate change and land use management scenarios. *Journal of Hydrology*, **509**, pp. 354–366.

MOONEY H. A., HAMBURG S. P., & DRAKE J. A. (1986). The invasions of plants and animals into California. *Ecology of biological invasions of North America and Hawaii*, pp. 250-272

MORI C., ORSINI A., COLONNA F., ORSINI S., FAGGIANELLI J. (2017) The consequences of climate change on the mountain environment in Corsica (France). *International symposium on interdisciplinarity – Corte, Track: Global Change,*

MORI C., ORSINI A., COLONNA F., ORSINI S., FAGGIANELLI J. (2017). The consequences of climate change for the mountain environment in Corsica. *Interdisciplinary Symposium, topic global change, 5-6-7 July 2017, University of Corsica, Corti (France)*

MORIARTY C. (1996). The European eel fishery in 1993 and 1994. *Fisheries bulletin*, **14,** 52 p.

MORIARTY C., DEKKER W. (1997). Management of European eel. *Marine Institude, Irish Fisheries Bulletin*, **15**, 110 p.

MUCHUIT S., GALLET F., AUBIN D., BARANGER L., LE BIHAN V., PERRAUDEAU Y. (2002). Principaux facteurs à prendre en compte pour une meilleure gestion de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*. *Observatoire des pêches et des cultures marines du golfe de Gascogne,* 89 p.

MYERS N., MITTERMEIER R.A., MITTERMEIER C.G., DA FONSECA G.A.B., KENT J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, **403**, pp. 853-858.

NELSON J. S. (2006). Fishes of the World. *John Wiley & Sons*.

NIHOUARN A. (1983). *Étude de la Truite commune, Salmo trutta L., dans le bassin du Scorff : Morbihan : démographie, reproduction, migrations.* [Thèse de doctorat] Science Vie Envir. Univ. Rennes I, 72 p.

NISBET M., VERNEAUX J. (1970). Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annales de Limnologie,* **6**(2), pp. 161-190.

NORRANT C., DOUGUEDROIT A. (2006). Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950–2000), *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 83, pp. 89–106.

OBERDORFF T., TEDESCO P.A., HUGUENY B., LEPRIEUR F., BEAUCHARD O., BROSSE S., & DÜRR H. H. (2011). Global and regional patterns in riverine fish species richness. *A review. International Journal of Ecology.*

OBERDORFF, T., HUGUENY, B., & GUÉGAN, J.F. (1997). Is there an influence of historical events on contemporary fish species richness in rivers? Comparisons between Western Europe and North America. *Journal of biogeography*, 24, pp. 461-467.

ONEMA (2009). Plan de gestion Anguille de la France. Application du règlement R (CE) n° 1100/2007 du 18 septembre 2007. Volet national. Rapport, 115p.

ORSINI A. (1986). *Influence du couvert végétal du bassin versant sur les caractéristiques thermiques, chimiques et biologiques des cours d'eau de Corse*. [Thèse de Doctorat], Université d'Aix-Marseille III, 230 p.

ORSINI A. (2008). *Les cours d'eau de Corse : caractérisation et anthropisation*. [Habilitation à Diriger des Recherches], Université de Corse, 172 p.

ORSINI A., MORI C., COLONNA F., ORSINI S., FAGGIANELLI J. (2017). The pozzines of Corsica. *International symposium on interdisciplinarity – Corte, Track : Global Change.*

ORSINI S. (2020). *Modification des paramètres abiotiques et biotiques du Rizzanese : Impact de l'aménagement hydroélectrique et/ou des conséquences du changement climatique*. [Thèse de Doctorat], Université de Corse, 254 p.

OUELLET V., SECRETAN Y., ST-HILAIRE A., MORIN J. (2014). Modélisation de la température de l'eau en environnement contrôlé : étude comparative d'équations du bilan thermique. *Processus hydrologiques*, **28** (2), pp. 279-292.

OUZEAU G., DEQUE M., JOUINI M., PLANTON S., VAUTARD R. (2014). *Le climat de la France au XXIème siècle. Volume 4. Scénarios régionalisés*. Editions 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer. Rapport direction général de l'énergie et du climat. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. 64 p.

OVIDIO M. (1999). *Tactiques et stratégies individuelles d'utilisation spatio-temporelle de l'habitat et des ressources alimentaires chez la truite commune (Salmo trutta L.) : étude par radio-pistage dans l'Aisne et l'Ourthe.* [Thèse de doctorat], Université de Liège, 223 p.

PAGE C., TERRAY L., BOE J. (2008). Projections climatiques à échelle fine sur la France pour le 21ème siècle : les scénarii SCRATCH08. *Climate Modeling and Global Change, CERFACS.*

PAGGI L., ORECCHIA P., CATALINI R., DI CAVE D. (1988). Indagine sulla parassitofauna delle specie ittiche eurialine di interesse commerciale : aspetti parasilogici. *Ministere delle marina mercantile, Consiglio regionale delle ricerche*, **4** pp.1927-1940.

PARMESAN C, YOHE G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: pp. 37-42.

PASCAL M., LORVELEC O., VIGNE J.D. (2006). Invasions Biologiques et Extinctions : 11 000 ans d'histoire des Vertébrés en France. *Coédition Belin - Quæ, Paris.* 350 p.

PAUL P., DAVID B. S. (2006), Anaysis of historical precipitaion sums of Sulina Station by means spectra in relation to Sibiu Station and NAO and SOI Index, *Geographia Technica* Nr.2/2006, pp. 99-104,

PEGUY Ch.P. (1970). Précis de climatologie. *Masson, Paris*, 468 p

PEINGS Y., JAMOUS M., PLANTON S., LE TREUT H. (2011). Scénarios climatiques : indices sur la France métropolitaine pour les modèles français ARPEGE-Climat et LMDZ et quelques projections pour les DOM-COM. *Le climat de la France au XXIe siècle - Rapport de la mission Jean Jouzel. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement,* **1**, 139 p.

PELTE T. (2017). *Synthèse des connaissances sur les impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur le bassin de corse.* Agence de l'eau Rhône Méditerranée & Corse. 47 p.

PERSAT H. & PATTEE E. (1981). Le taux de croissance des ombres jeunes dans certaines rivières françaises : avec 3 chiffres et 2 tableaux dans le texte. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, **21**(2), pp.1270-1275.

PIFFADY J. (2010). Etudes des réponses des assemblages de poissons aux variations de l'environnement par modélisation hiérarchique bayésienne : Application aux juvéniles de cyprinidés du Haut-Rhône. *Thèse*. 249 p.

PIMM S. L., RUSSELL G. J., GITTELMAN L., BROOKS T. M. (1995). The future of biodiversity. *Science*, 269, pp. 347-350.

PLANTON S., DEQUE M., DOUVILLE H., SPAGNOLI B. (2005). Impact du réchauffement climatique sur le cycle hydrologique. *Comptes Rendus Geoscience*, **337**(1-2), pp. 193-202.

PLETTERBAUER F., MELCHER A.H., FERREIR, T., SCHMUTZ S., (2015). Impact of climate change on the structure of fish assemblages in European rivers. *Hydrobiologia* 744, pp. 235–254

PLETTERBAUER, F., MELCHER, A.H., FERREIRA, T., SCHMUTZ, S. (2015). Impact of climate change on the structure of fish assemblages in European rivers. *Hydrobiologia*, **744**, pp. 235–254.

PNUE/PAM (2016). Programme des Nations unies pour l'environnement / Plan d'Action Méditerranéen - Background document to the Regional Climate Change Adaptation Framework

POUNDS J.A. & PUSCHENDORF R. (2004). Ecology: clouded futures. *Nature*, **427**(6970), p. 107.

POUNDS J.A., BUSTAMANT, M.R., COLOMA L.A., CONSUEGRA J.A., FOGDEN M.P., FOSTER P.N., RON S.R. (2006). Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, **439**(7073), p. 161.

QUINTANA-SEGUI P., LE MOIGNE P., DURAND Y. (2008). Analysis of near-surface atmospheric variables: Validation of the SAFRAN analysis over France. *Journal of applied meteorology and climatology*, **47**(1), pp. 92-107.

RADER R.B. & BELISH T.A. (1999). Influence of mild to severe flow alterations on invertebrates in three mountain streams. *Regulated Rivers: Research & Management*, **15**, pp. 353-363.

RAHMAN K., DA SILVA A.G., TEJEDA E.M., GOBIET A., BENISTON M., LEHMANN A. (2015). An independent and combined effect analysis of land use and climate change in the upper Rhone River watershed, Switzerland. *Appl. Geogr*. **63**, pp. 264–272.

RATZEL F. (1899). La Corse. In: *Annales de Géographie*, t. 8, n°40, pp. 304-329.

RAUP D.M. (1991) Extinctiom Bad Genes or Bad Luck ? *Norton*, New York. 210p.

RAYMOND F., ULLMANN A., CAMBERLIN P. (2016) Précipitations intenses sur le Bassin Méditerranéen : quelles tendances entre 1950 et 2013 ? *Revue européenne de géographie*

REILLE M., 1975. Contribution pollenanalytique à l'histoire de la végétation tardiglaciaire et holocène de la montagne corse. *[Thèse de Doctorat]*, Université d'Aix-Marseille III, 358p.

RIGAUD C. (1998). Les scientifiques prônent le principe de précaution. *Eaux Libres*, **24** pp. 52-53.

ROCHE B. (1987). Poissons dulçaquicoles de la Corse, Etude du peuplement piscicole des eaux courantes et des populations de truites. *Service Régional de l'Aménagement des Eaux de la Corse*, 42 p.

ROCHE J. (1986). Les oiseaux nicheurs des cours d'eau du bassin de la Saône: étude écologique des peuplements le long du gradient amont-aval. Dijon, *Université de Bourgogne*, 187 p.

ROME S., GIORGETTI J.P. (2007). La montagne corse et ses caractéristiques climatiques. La *Météorologie* 8, 39p.

ROMERO E., GARNIER J., LASSALETTA L., BILLEN G., LE GENDRE R., RIOU P., CUGIER P. (2013). Large-scale patterns of river inputs in southwestern Europe: seasonal and

interannual variations and potential eutrophication effects at the coastal zone. *Biogeochemistry*, **113**, pp. 481–505.

RONDEAU A. (1964). *La Corse*. Armand Colin, Paris, 194 p.

ROOT T.L, PRICE J.T, HALL K.R, SCHNEIDER S.H, ROSENZWEIG C, POUNDS J.A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421, pp. 57-60.

ROULE L. (1924). Les poissons d'eau douce de la Corse. *CR Soc. Biogéogr*, pp. 80 – 81

SAINO N, RUBOLINI D, LEHIKOINEN E, SOKOLOV L.V, BONISOLI-ALQUATI A, AMBROSINI R, BONCORAGLIO G, MØLLER A.P. (2009). Climate change effects on migration phenology may mismatch brood parasitic cuckoos and their hosts. *Biology Letters* 5, pp. 539-541.

SALA O. E., CHAPIN F. S., ARMESTO J. J., BERLOW E., BLOOMFIELD J., DIRZO R., HUBER-SANWALD E., HUENNEKE L. F., JACKSON R. B., KINZIG A., LEEMANS R., LODGE D. M., MOONEY H. A., OESTERHELD M., POFF, N. L., SYKES M. T., WALKER B. H., WALKER M., WALL D. H., (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287, pp. 1770-1774.

SALES J., & JANSSENS G.P.J. (2003). The use of markers to determine energy metabolizability and nutrient digestibility in avian species. *World's Poultry Science Journal*, 59, pp. 314-327.

SALLES D. & LE TREUT H. (2017). Comment la région nouvelle aquitaine anticipe le changement climatique ? *Irstea « Sciences Eaux & Territoires »*, **22**, pp. 14-17.

SANDERSON *et al*. (2002). The Human Footprint and the Last of the Wild The human footprint is a global map of human influence on the land surface, which suggests that human beings are stewards of nature, whether we like it or not. *BioScience*, 52, pp. 891-904.

SCHNEIDER C., LAIZÉ C.L.R., ACREMAN M.C., FLORKE M. (2013). How will climate change modify river flow regimes in Europe? *Hydrology and Earth System Sciences*. **17**, pp. 325–339.

SCHNEIDER K.N, NEWMAN R.M, CARD V, WEISBERG S, PEREIRA D.L. (2010). Timing of walleye spawning as an indicator of climate change. *Transactions of the American Fisheries Society* 139, pp. 1198-1210.

SIMI P. (1981). Précis de Géographie physique, humaine, économique, régionale de la Corse. Coll. « Corse d'hier et de demain », *Soc. Se. hist. nat. Corse*, 608p.

SORDELLO R., HERARD K., COSTE S, CONRUYT-ROGEON G. & TOUROULT J. (2014). Le changement climatique et les réseaux écologiques. Point sur la connaissance et pistes de développement. *Rapport MNHN-SPN*. 178p.

SOUBEYROUX J.M., NEPPEL L., VEYSSEIRE J.M., TRAMBLAY Y., CARREAU J., GOUGET V. (2015). Evolution des précipitations extrêmes en France en contexte de changement climatique. *Houille Blanche*, pp. 27–33.

SOUCHON Y. & NICOLAS V. (2011). Barrages et seuils : principaux impacts environnementaux. *Onema-Cemagref, Vincennes, Antony*.

SOUCHON Y. & TISSOT L. (2012). Synthesis of thermal tolerances of the common freshwater fish species in large Western Europe rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. **3**.

SOUCHON Y., SABATON C., DEIBEL R., REISER D., KERSHNER J., GARD M., ... & LAMB B.L. (2008). Detecting biological responses to flow management: missed opportunities; future directions. *River Research and applications*, **24**(5), p. 506-518.

SPILLMANN Ch.J. (1961). Les poissons d'eau douce de la Corse. *CR Soc. Biogéogr*, pp. 80–81

SRINIVASAN U.T., CAREY S.P., HALLSTEIN E., HIGGINS P.A.T., KERR A.C., KOTEEN L.E., SMITH A.B., WATSON R., HARTE J., NORGAARD R.B. (2008) The debt of nations and the distribution of ecological impacts from human activities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, pp. 1768–1773.

STATZNER B., GORE J.A., RESH V.H. (1988). Hydraulic stream ecology: observed patterns and potential applications. *Journal of the North American benthological society*, **7**(4), pp. 307-360.

STATZNER B., HIGLER B. (1986). Stream hydraulics as a major determinant of benthic invertebrate zonation patterns. *Freshwater Biology*, 16, 1, pp. 127–139.

STOCKER T.F., QIN D., PLATTNER G.K., TIGNOR M., ALLEN S.K., BOSCHUNG J., NAUELS A., XIA Y., BEX V., MIDGLEY P.M. (2013). *Technical Summary. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.*

STRAHLER A. (1957). « Quantitative analysis of watershed geomorphology », *Transactions of the American Geophysical Union*, vol. 8, n°6, pp. 913-920.

STRAYER, D. L., & DUDGEON, D. (2010). Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. *Journal of the North American Benthological Society*, 29, pp. 344-358.

TERRAY L. & BOÉ J. (2013). Quantifying 21st-century France climate change and related uncertainties. *Comptes Rendus Geosciences*. **345**, pp. 136–149.

THIENEMANN A. (1925). *Die Binnengewässer Mitteleuropas: eine limnologische Einführung*, 255p

TONDUT J.L., LAGET F., DELOIRE A. (2006). Climat et viticulture : évolution des températures sur le département de l'Hérault : un exemple de réchauffement climatique, *Revue Française d'œnologie*, **219**.

TORETI A., XOPLAKI E., MARAUN D., KUGLITSCH F. G., WANNER H., LUTERBACHER J. (2010). Characterisation of extreme winter precipitation in Mediterranean coastal sites and associated anomalous atmospheric circulation patterns, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 10, pp. 1037–1050.

TOUSSAINT. A (2016). Diversité fonctionnelle des poissons d'eau douce à l'échelle mondiale : patrons, déterminants et impacts des activités humaines. [*Thèse de Doctorat] Biologie animale. Université Paul Sabatier - Toulouse III*, 238p

TRABOULSI M.M. (2010). La pluviometrie moyenne annuelle au Liban interpolation et cartographie automatique. *Lebanese Science Journal* **11**, 16.

TRAMBLAY Y., EL ADLOUNI S., SERVAT E. (2013). Trends and variability in extreme precipitation indices over Maghreb countries, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 13, pp. 3235–3248.

TUKEY J. W. (1977). Exploratory Data Analysis. *Addison-Wesley Publishing Company.*

UCHII K., MATSUI K., IIDA T., KAWABATAZ. (2009). Distribution of the introduced cyprinid herpesvirus 3 in a wild population of common carp, *Cyprinus carpio* L. *Journal of Fish Diseases*, **32**, pp. 857-864.

UICN France (2014). Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France - volume 2.4 : les écosystèmes montagnards. Paris, France.

UPPALA S., KÅLLBERG P. W., SIMMONS A.J. (2005). The ERA-40 re-analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, **131**(612), pp. 2961-3012.

VAN VLIET M.T., FRANSSEN W.H., YEARSLEY J.R., LUDWIG F., HADDELAND I., LETTENMAIER D.P., KABAT P. (2013). Global river discharge and water temperature under climate change. *Glob. Environ. Change*, **23**, pp. 450-464.

VANNOTE R.L., MINSHALL G.W., CUMMINS K.W., SEDELL J.R., CUSHING C.E. (1980). The river continuum concept. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, **37**(1), pp. 130-137.

VAUTARD R., YIOU P., VAN OLDENBORGH G.J., LENDERINK G., THAO S., RIBES A., PLANTON S., DUBUISSON B., SOUBEYROUX J.M. (2015). Extreme Fall 2014 Precipitation in the Cévennes Mountains. *Bulletin of the American Meteorological Society*. **96**, pp.56-60.

VERNEAUX J. (1973). Cours d'eau de Franche-Comté (Massif du Jura). Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie. *Thèse d'état, Besançon*. 257p

VERNEAUX J. (1976). Fondements biologiques et écologiques de l'étude de la qualité des eaux continentales. Principales méthodes biologiques. *Pollution des eaux Continentales*.

VERNEAUX J., SCHMITT A., VERNEAUX V. *et al*. (2003). Insectes et poissons benthiques du bassin du Doubs : traits typologiques et évolution d'un continuum d'espèces dans un cours d'eau théoriquement extrapolé. *Hydrobiologie* 490, pp. 63-74.

VITOUSEK P.M., D'ANTONIO C.M., LOOPE L.L., & WESTBROOKS R. (1997a). Biological invasions as global environmental change. *American Scientist*, 84, pp. 468-478.

VITOUSEK P.M., MOONEY H.A., LUBCHENCO J., & MELILLO J.M. (1997b). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277, pp. 494-499.

WASSON J.G. (1989). Eléments pour une typologie fonctionnelle des eaux courantes. 1. Revue critique de quelques approches existantes. *Bull. Ecol.*, 20, 2, pp. 109-127.

WEDEKIND C. & KUNG C. (2010). Shift of spawning season and effects of climate warming on developmental stages of a Grayling (Salmonidae). *Conservation Biology* 24, pp. 1418-1423.

WIEDERKEHR. E (2012). Apport de la géomatique pour une caractérisation physique multi-échelle des réseaux hydrographiques. Elaboration d'indicateurs appliqués au bassin du Rhône. *[Thèse de Doctorat]. Géographie - ENS LYON, 2012 - Université de Lyon.* 288p

WILLIAMS S.E., BOLITHO E.E., FOX S. (2003). Changement climatique dans les forêts tropicales australiennes : une catastrophe environnementale imminente. *Actes de la Royal Society of London. Série B: Sciences biologiques* , **270** (1527), pp. 1887-1892.

WINDER M, SCHINDLER D.E. (2004). Climate change uncouples trophic interactions in an aquatic ecosystem. *Ecology* 85, pp. 2100- 2106.

XU J. (2013). Complex Response of Channel Fill–Scour Behavior to Reservoir Construction: An Example of the Upper Yellow River, China. *River Research and Applications*, **29**, (5) p. 593-607.

ZAHARIA L. & BELTRANDO G. (2006). Variabilité spatiale et temporelle de la pluviométrie dans la région de Courbure de l'Arc Carpatique. *Bucureşti*, pp.175-184

ZAMPIERI M., SCOCCIMARRO E., GUALDI S., NAVARRA A. (2015). Observed shift towards earlier spring discharge in the main Alpine rivers. *Sci. Total Environ*. **503**, pp. 222–232.

ZHANG X., WAN H., ZWIERS F.W., HEGERL G.C., MIN S.K. (2013). Attributing intensification of precipitation extremes to human influence. *Geophysical Research Letters*, **40**(19), pp. 5252-5257.

ZHANG X., ZWIERS F.W., HEGERL G.C., LAMBERT F.H., GILLETT N.P., SOLOMON S., STOTT P.A., NOZAWA T. (2007). Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature*, **448**(7152) pp. 461–465.

ZHAO S., FANG J., PENG C., TANG Z., & PIAO S. (2006). Patterns of fish species richness in China's lakes. *Global Ecology and Biogeography*, 15, pp. 386-394.

Webographie

[1] « Le climat ». Le site fédéral belge pour une information fiable sur les changements climatiques [en ligne], consulté le 10 janvier 2021, <https://climat.be/changements-climatiques/causes/climat-et-meteo>

[2] « 2020 l'année la plus chaude jamais enregistrée pour l'Europe ». C3S [en ligne], consulté le 22 mars 2021, <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2020-warmest-year-record-europe-globally-2020-ties-2016-warmest-year-recorded>

[3] « Informations Publiques Astacicoles et Piscicoles en Hauts-de--France », consulté le 17 décembre 2020, <http://www.ipap.fr/category/truites-et-especes-daccompagnement/>

[4] « Inventaire National du Patrimoine Naturel », consulté le 8 janvier 2021, < https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/66775/tab/statut>

Annexes

Annexe 1

Barrages et retenues gérés par EDF (Electricité De France)

Nom de l'ouvrage	Volume retenue (Mm^3)	Hauteur (m)	Type	Longueur (m)	Surface retenue (ha)	Surface BV (km^2)	Altitude crête (m)	Usages	Mise en service	Cours d'eau
Tolla	34.7	87	Poids	120	115	132	563	Hydroélectricité Irrigation AEP	1965	Prunelli
Calacuccia	23.4	72	Multi-voûtes	265	119.6	127	794	Hydroélectricité Irrigation	1968	Golu
Corscia	0.2	26	Voûte	50	2.7	162	673	Hydroélectricité	1968	Golu
Sampolu	2.0	32	Poids	93	24.5	128	378	Hydroélectricité Irrigation	1991	Fium'Orbu
Trevadine	0.2	17	Poids	145	5	135	153	Hydroélectricité Irrigation	1991	Fium'Orbu
Rizzanese	1.3	39	Poids	140	11	114	546	Hydroélectricité Irrigation	2012	Rizzanese

Les barrages et retenues gérés par l'OEHC (Office d'Equipement Hydraulique de la Corse)

Nom de l'ouvrage	Volume retenue (Mm^3)	Hauteur (m)	Type	Longueur (m)	Surface retenue (ha)	Surface BV (km^2)	Altitude crête (m)	Usages	Mise en service	Cours d'eau
Alisgiani	11.30	65	Enrochements	155	49	56	165	Irrigation AEP Hydroélectricité	1970	Alisgiani
E Cotule	6.99	28	Enrochements	460	80	39	116	Irrigation AEP	1984	Reginu
Figari	5.60	35	Enrochements	145	68	16.2	52	Irrigation AEP	1993	Ventilegne
Alzitone	5.60	32	Terre	307	49	2.50	62	Irrigation AEP	1965	Pidochina
Teppe Rosse	4.35	16	Terre	900	60	2.35	35	Irrigation AEP	1964	Bacciana
Peri	3.00	28	Terre	180	48	0.8	80	Irrigation AEP	1964	Grotta di Strallerone
Ortolo	2.92	36	Enrochements	143	27	55	176	Irrigation AEP Hydroélectricité	1996	Ortolu
U Spidali	2.86	26	Enrochements	135	46	2.6	951	Irrigation AEP	1979	Palavesani
Bacciana	2.35	15	Terre	890	37	1.14	54	Irrigation AEP	2002	Bacciana
Padula	2.0	17	Terre	190	30	1.90	64	Irrigation	1992	Alisu
Guazza	0.32	8	Terre	210	6	5.5	56	Irrigation AEP Hydroélectricité	1981	Golu

Annexe 2

La colonne **codage** est inspirée des trois derniers chiffres de la codification ONEMA dans le but de mieux reconnaitre les stations mais ne comporte qu'un nombre limité de caractères pour réussir à les distinguer sur les résultats des analyses multivariées.

Le **lieu-dit** apporte des renseignements plus précis sur l'emplacement de la station de pêche. La pente a été calculée sur 1 km en amont de la station à l'aide des outils de calcul fournis par Géoportail®.

Les **coordonnées GPS** sont issues du système géodésique WGS 84 et données DMS avec des latitudes Nord et des longitudes Est.

Liste des stations de recensement piscicole, leurs caractéristiques et leurs codages

Code station Onema	Dép	Commune	Cours d'eau	Codage	Lieu-dit	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Pente (%)
062A0001	2A	SARTÈ	Rizzanese	1	spin'à cavallu	41° 39' 20.34712"	8° 58' 56.76712"	28	0,55
062A0002	2A	LIVIA	Fiumicicoli	2		41° 40' 32.03538"	9° 5' 12.21723"	138	2,5
062A0003	2A	U LIVESE	Taravu	3	Pont traghjettu ghjuvanni	41° 50' 50.71622"	9° 2' 4.36632"	290	3,5
062A0004	2A	BUCUGNÀ	Gravona	4	Amont pont de vignale	42° 4' 53.05377"	8° 59' 58.54349"	353	2,3
062A0005	2A	BUCUGNÀ	Gravona	5	Aval microcentrale bussu	42° 5' 33.80334"	9° 3' 55.23641"	555	7,7
062A0006	2A	AZZÀ	Cruzini	6	Aval pont d'azzana	42° 6' 24.25471"	8° 55' 9.46464"	239	14,1
062A0008	2A	QUENZA	San petru	8	Aff solenzara	41° 48' 53.71164"	9° 15' 26.00774"	470	7
062A0021	2A	SARI-SOLINZARA	Solenzara	21	Piscine amont calzatoiu	41° 49' 58.65262"	9° 18' 50.98264"	139	3,5
062A0023	2A	QUENZA	Solenzara	23	Ruisseau du renaghju pt D268	41° 49' 2.43902"	9° 15' 13.64487"	508	11,8
062A0024	2A	LIVIA	Ortolu	24		41° 37' 58.28276"	9° 6' 47.36793"	386	4,9
062A0025	2A	MUNACIA-D'AUDDÈ	Ortolu	25		41° 35' 39.60197"	9° 1' 6.33742"	80	2
062A0026	2A	MUNACIA-D'AUDDÈ	Ortolu	26		41° 37' 32.68573"	9° 4' 57.55804"	259	2,3
062A0027	2A	ZONZA	Osu	27	Barrage	41° 41' 14.41990"	9° 15' 47.00156"	206	4
	2A	SAN-GAVINU-DI-CARBINI	Piscia	28	Am ospedale Piscia di gallu	41° 40' 46.62168"	9° 12' 46.48460"	867	5,85
062A0029	2A	ZONZA	Marginicciu	29		41° 41' 23.09990"	9° 16' 7.18387"	187	12,6
062A0030	2A	ECCICA-SUARELLA	Prunelli	30	Motel aqua dolce	41° 54' 45.68849"	8° 50' 19.85738"	12	0,55
062A0031	2A	QUENZA	Criviscia	31	Restitution µcentrale	41° 47' 0.35555"	9° 12' 7.59340"	766	4,1

062A0032	2A	CURRÀ	Taravu	**32**	Aval : 40m amont ponte novu	41° 52' 47.95578"	9° 4' 35.92910"	368	2,1
062A0035	2A	ARBURI	Liamone	**35**		42° 5' 42.83061"	8° 46' 4.17220"	12	0,43
062A0039	2A	SURBUDDÀ	Rizzanese	**39**	Piste cucuruzzu	41° 44' 5.33452"	9° 7' 53.13424"	574	1
062A0040	2A	ZOZA	Rizzanese	**40**	Ponte novu zoza	41° 43' 32.39589"	9° 4' 35.18342"	291	2,9
062A0041	2A	SARTÈ	Rizzanese	**41**	Spin'à cavallu	41° 39' 19.77998"	8° 58' 52.94372"	26	0,55
062A0042	2A	ZONZA	Cavu	**42**	Pont de marion	41° 44' 14.66042"	9° 17' 38.07789"	184	2,8
062A0044	2A	OTA	Portu	**44**	Stade	42° 15' 20.05803"	8° 45' 46.75648"	224	6,7
062A0046	2A	PALNECA	Uccialinu	**46**	Réserve	41° 57' 58.74094"	9° 12' 45.79260"	1157	37,6
062A0047	2A	PALNECA	Sant antone	**47**	Réserve	41° 57' 52.76344"	9° 12' 45.98720"	1140	28,7
062A0048	2A	BASTELICA	Calderamolla	**48**	Réserve calderamola	41° 57' 14.55359"	9° 3' 21.47626"	1025	15,3
062A0049	2A	BASTELICA	Ese	**49**	Réserve	42° 0' 2.33511"	9° 7' 37.35934"	1628	5,9
062A0050	2A	ZICAVU	Veraculongu	**50**	Réserve	41° 52' 5.32843"	9° 9' 21.79865"	1425	2,3
062A0051	2A	PITRETU-BICCHISGIÀ	Taravu	**51**	Pont d'abra	41° 48' 35.58414"	8° 57' 46.71186"	148	1,8
062A0052	2A	PUGHJOLU	Guagnu	**52**	Les bains	42° 10' 30.20261"	8° 53' 31.93949"	474	2,6
062A0053	2A	BASTELICA	Pozzi de marmanu	**53**	Réserve	42° 2' 4.13616"	9° 8' 26.91543"	1788	4,5
062A0054	2A	VICU	Liamone	**54**	Pont belfiori	42° 10' 9.26990"	8° 49' 10.08720"	234	1
062A0071	2A	CUTTOLI-CURTICCHIATU	Gravona	**71**	Gravière	41° 58' 2.40212"	8° 49' 27.44138"	13	0,5
062A0072	2A	AZZÀ	Cruzini	**72**	6km aval pont azzana	42° 5' 46.97841"	8° 52' 40.51989"	174	3,3
062A0073	2A	BASTELICA	Prunelli	**73**	Ponte vecchio am tolla	41° 58' 48.35302"	9° 1' 0.55765"	635	3,4
062A0074	2A	EVISA	Aitone	**74**	40m aval pont pompeani	42° 16' 29.51854"	8° 51' 11.48552"	1141	3,3
062A0075	2A	BUCUGNÀ	Gravona	**75**	Pont sellola	42° 5' 33.78322"	9° 6' 10.63698"	920	12,7
062A0083	2A	AIACCIU	Arbitrone	**83**	Aval rejet STEP castellucciu	41° 55' 52.66561"	8° 42' 56.19685"	46	4,2
062A0084	2A	ARBURI	Liamone	**84**	Aval pont trughja	42° 6' 51.55159"	8° 48' 35.59756	45	1,7
062A0086	2A	PITRETU-BICCHISGIÀ	Taravu	**86**	Pont de cassone	41° 47' 26.97105"	8° 55' 29.43090"	62	2
062A0087	2A	ZONZA	Cavu	**87**	Preta stretta av 50m parking	41° 43' 5.56123"	9° 18' 13.81392"	131	1,5
062A0088	2A	PRUPIÀ	Rizzanese	**88**	Renna bianca/zi	41° 39' 34.71214"	8° 54' 53.72522"	7	0,3
062A0089	2A	LURETU-DI-TALLÀ	Rizzanese	**89**	Pianu 500m av ligne HT	41° 41' 11.98705"	9° 2' 7.34250"	88	1,4
062A0092	2A	BUCUGNÀ	Gravona	**92**	Pont sellola	42° 5' 37.46415"	9° 6' 5.83872"	891	12,7
	2A	U LIVESE	Taravu	**93**	Erta conf ru Mezzati et Alzetu	41° 50' 26.09337"	9° 1' 47.61029"	272	1,2
	2A	AUDDÈ	Chjuvone	**94**	Réserve	41° 51' 02.6"	9° 08' 27.1"	1458	5
	2A	ZICAVU	Croci	**95**	Réserve I Croci sous bergerie	41° 51' 12.6"	9° 09' 43.8"	1515	9,4

	2A	U SALCE	Cruzzini	**96**	Sous village ld castellu	42° 07' 54.7"	8° 56' 02.9"	385	29,9
	2A	BUCUGNÀ	Gravona	**97**	Moulin richjusa µcentrale	42° 05' 40.6"	9° 04' 12.2"	610	6,5
	2A	SARRERA	Lonca	**98**	Pont verghe	42° 17' 54.4"	8° 47' 18.1"	706	4
	2A	QUENZA	Tighjeta	**99**	Ruisseau tighjeta am bavella	41° 48' 11.8"	9° 14' 03.1"	850	26,7
062B0007	2B	SULARU	Sulinzara	**7**	Pont de calzatoiu	41° 50' 6.69564"	9° 19' 13.35894"	121	1,4
062B0009	2B	VENTISERI	Travu	**9**		41° 55' 20.15611"	9° 19' 21.44113"	118	1,8
062B0010	2B	SERRA-DI-FIUMORBU	Abatescu	**10**	Bains de pietrapola	41° 59' 23.17155"	9° 18' 11.43969"	193	6,1
062B0011	2B	TALLONE	Bravona	**11**	Ancienne mine de granaiu	42° 13' 31.17030"	9° 26' 48.49439"	95	0,7
062B0012	2B	CORTI	Tavignanu	**12**	Sécurité civile	42° 18' 0.01892"	9° 10' 35.58444"	360	2,2
062B0013	2B	CASTIFAU	Tartagine	**13**	Pont de carnispola	42° 30' 47.40747"	9° 8' 52.01368"	272	0,75
062B0014	2B	CASTIFAU	Tartagine	**14**	Amont pont génois castifau	42° 30' 55.54453"	9° 7' 12.44914"	303	2,5
062B0015	2B	SERRA-DI-FIUMORBU	Abatescu	**15**	Gite castataghju	41° 57' 53.08983"	9° 15' 43.14394"	514	9,4
062B0016	2B	PRUNELLI-DI-FIUMORBU	Abatescu	**16**	Aval lieu dit chiova	41° 59' 45.84470"	9° 19' 32.96505"	129	3,3
062B0017	2B	SAN-GAVINU-DI-FIUMORBU	Codola	**17**		41° 59' 39.09770"	9° 16' 1.91380"	596	36,5
062B0018	2B	SAN-GAVINU-DI-FIUMORBU	Macini	**18**	Aval conf laparu/cardiccia	41° 57' 58.56070"	9° 14' 42.21985"	884	23,4
062B0019	2B	GHISONI	Fium'orbu	**19**	Conf am sampolo	42° 6' 15.67614"	9° 14' 41.11742"	442	2,6
062B0020	2B	LUGO-DI-NAZZA	Fium'orbu	**20**	Pont pinzalone	42° 5' 42.68294"	9° 18' 17.26683"	223	9,2
062B0022	2B	SULARU	Fiumicelli	**22**	Pont de fiumicelli	41° 50' 15.00330"	9° 18' 29.90458"	170	7,2
062B0033	2B	VENACU	Verghellu	**33**	Amont chemin d.f.c.i	42° 11' 56.44979"	9° 6' 37.12316"	957	16,3
062B0034	2B	CORTI	Tavignanu	**34**		42° 17' 54.18577"	9° 10' 43.50709"	355	2,2
062B0036	2B	PRUNELLI-DI-CASACCONI	Golu	**36**		42° 30' 25.03551"	9° 23' 45.74107"	75	1,1
062B0037	2B	CASTIRLA	Golu	**37**	Piove moulin ruiné	42° 22' 57.00337"	9° 9' 0.21840"	328	1,5
062B0038	2B	CORTI	Restonica	**38**	Am pont tragone cadamazzu	42° 15' 5.42931"	9° 3' 30.11441"	1119	8,5
062B0043	2B	GHISUNACCIA	Fium'orbu	**43**	Pont sncf decharge ghiso gare	42° 1' 58.22738"	9° 22' 4.92773"	17	1,1
062B0045	2B	GHISONI	Ariola	**45**		42° 2' 36.92856"	9° 12' 12.35059"	997	24,8
062B0046	2B	SISCU	Siscu	**46**		42° 48' 58.80256"	9° 26' 49.92626"	117	10,2
062B0047	2B	OLMETA-DI-TUDA	Bivincu	**47**	Pont de torreno	42° 35' 35.22844"	9° 21' 49.66407"	300	4,6
062B0048	2B	MANSU	Fangu	**48**	Pont amont mont'estremu	42° 21' 47.92707"	8° 48' 12.45695"	206	3,4
062B0049	2B	GHISONI	Fium'orbu	**49**		42° 2' 48.62516"	9° 11' 54.62438"	850	12,6
062B0051	2B	ASCU	Manica	**51**	Réserve manica	42° 24' 21.39894"	8° 57' 36.91584"	1320	42,4

062B0052	2B	SCATA	Fium'altu	**52**	Ancienne mine d'eau miné	42° 25' 43.26947"	9° 25' 0.17559"	166	4,8
062B0053	2B	CASTIFAU	Tartagine	**53**	1km av pont canispola	42° 30' 37.02934"	9° 9' 29.78133"	256	2,1
062B0054	2B	CASTIRLA	Golu	**54**	Amont : 50m av pont	42° 22' 26.62681"	9° 7' 13.93200"	387	4,3
062B0055	2B	MANSU	Fangu	**55**	Lim am extrémité amont parking	42° 22' 52.88886"	8° 45' 15.53912"	109	1,4
062B0071	2B	ASCU	Ascu	**71**	Pont valentinu	42° 24' 11.03574"	8° 55' 47.59562"	1276	13,1
062B0072	2B	ASCU	Ascu	**72**	Aval : amont restitu µcentrale	42° 24' 50.82296"	8° 56' 37.67580"	1062	12,1
062B0073	2B	CAMBIA	Sarbaiu	**73**	reserve sorbaghja	42° 21' 57.3"	9° 18' 04.1"	744	18,9
062B0074	2B	CAMPITELLU (volpajola)	Golu	**74**	Casa calabrese	42° 30' 24.15292"	9° 19' 29.78982"	122	1,7
062B0076	2B	CORTI	Tavignanu	**76**	reserve ninu	42° 15' 13.8"	8° 56' 37.8"	1751	6,7
062B0077	2B	LUGO-DI-NAZZA	Fium'orbu	**77**	550m av conf ru trevadine	42° 5' 37.16720"	9° 19' 49.23939"	140	0,9
062B0078	2B	PIEDICORTE-DI-GAGHJU	Tavignanu	**78**	Conflu ru d'Ombrone	42° 12' 48.91910"	9° 18' 45.75981"	152	0,6
062B0079	2B	SAN-GAVINU-DI-TENDA	Alisu	**79**	Prise d'eau AEP de Padule	42° 36' 34.59995"	9° 17' 40.75776"	78	1,9
062B0080	2B	OCCHIATANA	Fiume di reginu	**80**	200m amont pont Timothée	42° 37' 10.70815"	8° 59' 29.15616"	20	1,5
062B0081	2B	MOLTIFAU	Ascu	**81**	Aval pont mulindina (d147)	42° 28' 9.44100"	9° 6' 58.12322"	305	2,5
062B0082	2B	CORTI	Tavignanu	**82**	PP2	42° 18' 15.57417"	9° 9' 19.05862"	396	2,7
062B0083	2B	POGHJU-DI-VENACU	Tavignanu	**83**	Pont de torchia	42° 15' 59.23464"	9° 13' 3.07578"	270	0,1
062B0084	2B	POGHJU-DI-VENACU	Minutu	**84**		42° 15' 48.89133"	9° 11' 16.78093"	523	10,2
062B0085	2B	POGHJU-DI-VENACU	Minutu	**85**		42° 15' 30.55099"	9° 10' 56.98226"	588	11,8
062B0086	2B	GAVIGNANU	Casaluna	**86**	Pont de la rd 39	42° 26' 3.42907"	9° 13' 24.20620"	253	1,4
062B0087	2B	PENTA-DI-CASINCA	Fium'altu	**87**	Pont d'acitaia	42° 26' 44.38972"	9° 28' 8.51600"	55	4,8
062B0097	2B	VENTISERI	Travu	**97**	Seuil immediat pont du ghjineparu	41° 55' 24.48123"	9° 18' 29.06735"	165	2,8
062B0098	2B	CASAMACCIOLI	Golu	**98**	Aval pont'altu	42° 19' 6.88333"	8° 59' 2.26168"	920	2,3
062B0099	2B	ALERIA	Tagnone	**99**	Pont d43	42° 6' 9.48779"	9° 30' 10.29273"	6	0,2
062B0100	2B	LURI	Luri	**100**	Amont immédiat rejet STEP	42° 53' 56.90720"	9° 24' 38.84247"	107	3,3
062B0101	2B	PIETRACORBARA	Pietracorbara	**101**	Conf rui de la piscine	42° 50' 47.43842"	9° 26' 31.90170"	77	3,6
062B0102	2B	PALASCA	Ostriconi	**102**	250m av conf rui de pieve	42° 39' 2.00900"	9° 4' 30.51181"	12	0,3
062B0103	2B	SAN-GIULIANU	Alisgiani	**103**	Pont RN	42° 17' 14.50492"	9° 32' 40.18916"	6	0,9
062B0104	2B	ULETTA	Alisu	**104**	am : gué avec passage busé	42° 39' 11.95854"	9° 17' 39.49553"	10	0,4
062B0105	2B	U VISCUVATU	Golu	**105**		42° 32' 12.41121"	9° 30' 6.20621"	2	0,5
062B0106	2B	ALERIA	Tavignanu	**106**	Aval : 265 m aval Pont D43a	42° 7' 3.39492"	9° 29' 23.26924"	7	0,1
	2B	CAMPILE	Golu	**107**	San leonardo	42° 30' 37.43486"	9° 23' 3.37682"	84	0,7
	2B	SERRA DI FIUM'ORBU	Abatescu	**108**	Pont abatescu rn 198	41° 58' 34.93046"	9° 24' 5.76820"	3	0,3

	2B	OCCHIATANA	San clemente	**109**	Pont torenno	42° 36' 13.42243"	8° 59' 59.28475"	71	3,2
	2B	ANTISANTI	Tavignanu	**110**	Pedalba amont conf corsigliese	42° 10' 51.98337"	9° 24' 17.51872"	51	3,4
	2B	VIZZAVONA	Agnone	**111**	Pont sous maison forest	42° 07' 21.6"	9° 07' 46.8"	983	8,1
	2B	PIANELLU	Bravona	**112**	Chapelle St Vincent	42° 18' 03.5"	9° 21' 00.6"	896	4
	2B	PIANELLU	Bravona	**112bis**	Chapelle St Vincent	42° 18' 03.5"	9° 21' 00.6"	896	4
	2B	PIANELLU	Bravona	**112ter**	Source St Vincent amont prise	42° 18' 47.6" N	9° 19' 34.5" E	990	
	2B	PIANELLU	Bravona	**112quar**	Source St Vincent aval prise	42° 18' 22.1" N	9° 19' 45.6" E	957	
	2B	CORTI	Restonica	**113**	Grutelle	42° 13' 42.4"	9° 01' 48.1"	1386	14,1
	2B	CALASIMA	Golu	**114**	Piste au-dessus village	42° 19' 58.9"	8° 55' 09.3"	1180	8,4
	2B	OLMETA DI CAPICORSU	Olmeta	**115**		42° 46' 09.5"	9° 22' 31.5"	250	10,3
	2B	ALBERTACCE	Golu	**116**	Ruisseau colga piste poppaghja	42° 16' 44.3"	8° 55' 38.4"	1184	15,2
	2B	ASCU	Ascu	**117**	Réserve E ventose	42° 26' 06.5"	8° 59' 27.9"	822	29,8

Annexe 3

Seuls les résultats des espèces autochtones les plus représentées dans les cours d'eau de Corse sont présents de ce tableau. Il s'agit d'ici de la truite fario *(S. trutta)*, l'anguille européenne (*A. anguilla*) et la blennie fluviatile (*S. fluviatilis*). Les résultats pour les 22 autres espèces présentes dans les cours d'eau de Corse ne sont pas présentés ici dans un souci de lisibilité des données.

Listes des abréviations utilisées dans ce tableau des recensements piscicoles compilés pour cette étude :

STATION : codification du recensement. Le premier chiffre renvoie au code de la station ; le deuxième nombre renvoie à l'année du prélèvement ; le troisième nombre au mois de prélèvement.

Par exemple 1-88-09 : station 1 prélevée en Septembre 1989 – 23-004-09 : station 23 prélevée en Septembre 2004

PE : codification pour ACP ; **alt** Altitude station (m) ; **dS** Distance à la source (km) ; **aS** : Altitude de la source (m) ; **cond** : conductivité µS.cm^{-1} ; **aut** : nombre espèces autochtones ;

int : nombre espèces introduites : **tot** : nombre total d'espèces , **TRF** : Truite fario ; **ANG** : Anguille européenne ; **BLE** : Blennie fluviatile ; **NB** : nombre total (ind) ; **M** : masse totale (g) ;

DEN : Densité (ind.ha^{-1}) ; **BIO** : Biomasse (kg.ha^{-1}) – *Par exemple le couple TRF,BIO représente la biomasse de truite fario de cette station*

Extraction de la matrice utilisée pour la mise au point de l'outil d'aide à la décision

STATION	PE	alt	dS	aS	cond	aut	int	tot	TRF,NB	TRF,M	TRF,DEN	TRF,BIO	ANG,NB	ANG,M	ANG ,DEN	ANG,BIO	BLE,NB	BLE,M	BLE,DEN	BLE,BIO
1-88-09	1	30	41	1902	200	3	0	3	24,00	1875,00	218,18	17,05	130,00	7170,00	1181,82	65,18	20,00	205,00	181,82	1,86
1-008-10	2	30	41	1902	200	6	0	6	7,00	806,00	74,67	8,60	91,00	5649,00	970,67	60,26	137,00	660,00	1461,33	7,04
1-010-09	3	30	41	1902	200	5	0	5	2,00	18,00	21,33	0,19	68,00	3328,00	725,33	35,50	119,00	614,00	1269,33	6,55
1-013-10	4	30	41	1902	223	3	0	3	10,00	611,00	36,23	2,21	63,00	5907,00	228,26	21,40	204,00	913,00	739,13	3,31
1-014-09	5	30	41	1902	223	3	2	5	7,00	859,00	25,79	3,16	66,00	4875,00	243,15	17,96	174,00	1044,00	641,03	3,85
2-88-09	6	138	17	1204	n.d.	2	0	2	14,00	1320,00	89,74	8,46	85,00	6710,00	544,87	43,01	0,00	0,00	0,00	0,00
3-88-09	7	290	41	1825	n.d.	2	0	2	286,00	8645,00	1294,12	39,12	6,00	2815,00	27,15	12,74	0,00	0,00	0,00	0,00
4-88-09	8	353	15,5	2228	n.d.	2	0	2	116,00	3955,00	1318,18	44,94	23,00	2405,00	261,36	27,33	0,00	0,00	0,00	0,00
5-88-09	9	555	9,3	2228	n.d.	2	0	2	122,00	4120,00	2218,18	74,91	12,00	2175,00	218,18	39,55	0,00	0,00	0,00	0,00
6-88-09	10	239	15	2123	n.d.	2	0	2	144,00	4505,00	2057,14	64,36	16,00	1335,00	228,57	19,07	0,00	0,00	0,00	0,00
8-89-09	11	470	5	1270	n.d.	2	0	2	65,00	1785,00	1625,00	44,63	4,00	1825,00	100,00	45,63	0,00	0,00	0,00	0,00
8-95-05	12	470	5	1270	n.d.	1	0	1	107,00	2104,00	1768,60	34,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8-95-09	13	470	5	1270	n.d.	1	0	1	163,00	2059,00	2963,64	37,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8-96-04	14	470	5	1270	n.d.	1	0	1	101,00	1872,00	1669,42	30,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

STATION	PE	alt	dS	aS	cond	aut	int	tot	TRF,NB	TRF,M	TRF,DEN	TRF,BIO	ANG,NB	ANG,M	ANG ,DEN	ANG,BIO	BLE,NB	BLE,M	BLE,DEN	BLE,BIO
8-96-09	15	470	5	1270	n.d.	2	0	2	67,00	2063,00	1218,18	37,51	2,00	286,00	36,36	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00
21-95-05	16	139	11	1581	n.d.	3	0	3	8,00	216,00	88,89	2,40	5,00	152,00	55,56	1,69	7,00	31,00	77,78	0,34
21-95-09	17	139	11	1581	n.d.	3	0	3	17,00	436,00	188,89	4,84	18,00	839,00	200,00	9,32	15,00	95,00	166,67	1,06
21-96-04	18	139	11	1581	n.d.	3	0	3	13,00	330,00	120,37	3,06	6,00	226,00	55,56	2,09	4,00	36,00	37,04	0,33
21-96-10	19	139	11	1581	n.d.	3	0	3	14,00	742,00	129,63	6,87	25,00	1364,00	231,48	12,63	11,00	98,00	101,85	0,91
23-95-05	20	508	4	1581	89	1	0	1	68,00	1680,00	1261,60	31,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23-95-09	21	508	4	1581	89	1	0	1	80,00	2201,00	2077,92	57,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23-96-04	22	508	4	1581	89	1	0	1	76,00	1761,00	1316,02	30,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23-96-10	23	508	4	1581	89	1	0	1	80,00	2322,00	1731,60	50,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23-004-09	24	508	4	1581	89	2	0	2	13,00	868,00	760,23	50,76	5,00	860,00	292,40	50,29	0,00	0,00	0,00	0,00
24-95-05	25	386	5	1210	n.d.	1	0	1	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	658,00	246,15	20,25	0,00	0,00	0,00	0,00
24-95-09	26	386	5	1210	n.d.	2	0	2	56,00	1094,00	1595,44	31,17	5,00	484,00	142,45	13,79	0,00	0,00	0,00	0,00
24-96-04	27	386	5	1210	n.d.	2	0	2	1,00	48,00	28,49	1,37	5,00	358,00	142,45	10,20	0,00	0,00	0,00	0,00
24-96-10	28	386	5	1210	n.d.	2	0	2	1,00	192,00	33,67	6,46	9,00	840,00	303,03	28,28	0,00	0,00	0,00	0,00
24-000-10	29	386	5	1210	n.d.	2	0	2	16,00	854,00	708,75	37,83	6,00	906,00	265,78	40,13	0,00	0,00	0,00	0,00
25-95-05	30	80	9	1210	n.d.	2	0	2	10,00	660,00	128,21	8,46	52,00	2329,00	666,67	29,86	0,00	0,00	0,00	0,00
25-95-09	31	80	9	1210	n.d.	2	0	2	4,00	548,00	60,61	8,30	94,00	2709,00	1424,24	41,05	0,00	0,00	0,00	0,00
25-96-04	32	80	9	1210	n.d.	1	0	1	0,00	0,00	0,00	0,00	53,00	1506,00	741,26	21,06	0,00	0,00	0,00	0,00
25-96-10	33	80	9	1210	n.d.	2	0	2	2,00	230,00	27,97	3,22	79,00	2667,00	1104,90	37,30	0,00	0,00	0,00	0,00
25-000-10	34	80	9	1210	n.d.	2	0	2	18,00	798,00	287,08	12,73	118,00	3276,00	1881,98	52,25	0,00	0,00	0,00	0,00
26-95-05	35	259	16	1210	n.d.	2	0	2	28,00	1076,00	287,18	11,04	24,00	1536,00	246,15	15,75	0,00	0,00	0,00	0,00
26-95-09	36	259	16	1210	n.d.	2	0	2	33,00	1795,00	488,17	26,55	30,00	1608,00	443,79	23,79	0,00	0,00	0,00	0,00
26-96-04	37	259	16	1210	n.d.	2	0	2	17,00	208,00	201,18	2,46	11,00	736,00	130,18	8,71	0,00	0,00	0,00	0,00
26-96-10	38	259	16	1210	n.d.	2	0	2	30,00	1110,00	461,54	17,08	20,00	1598,00	307,69	24,58	0,00	0,00	0,00	0,00
26-000-10	39	259	16	1210	n.d.	2	0	2	88,00	2594,00	1066,02	31,42	18,00	2102,00	218,05	25,46	0,00	0,00	0,00	0,00
27-95-05	40	206	9	1180	n.d.	1	0	1	0,00	0,00	0,00	0,00	42,00	2702,00	315,79	20,32	0,00	0,00	0,00	0,00
27-95-10	41	206	9	1180	n.d.	1	0	1	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	861,00	90,23	6,47	0,00	0,00	0,00	0,00
27-96-04	42	206	9	1180	n.d.	1	0	1	0,00	0,00	0,00	0,00	58,00	3318,00	319,30	18,27	0,00	0,00	0,00	0,00
27-96-10	43	206	9	1180	n.d.	1	0	1	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	508,00	52,55	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00
28-95-05	44	867	4,5	991	n.d.	1	0	1	4,00	385,00	58,82	5,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28-95-10	45	867	4,5	991	n.d.	1	0	1	17,00	525,00	257,58	7,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28-96-06	46	867	4,5	991	n.d.	1	0	1	24,00	1085,00	363,64	16,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28-96-12	47	867	4,5	991	n.d.	1	0	1	25,00	2046,00	378,79	31,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29-95-05	48	187	4	1038	n.d.	2	0	2	18,00	636,00	375,00	13,25	11,00	595,00	229,17	12,40	0,00	0,00	0,00	0,00
29-95-10	49	187	4	1038	n.d.	2	0	2	16,00	680,00	400,00	17,00	40,00	1425,00	1000,00	35,63	0,00	0,00	0,00	0,00
29-96-06	50	187	4	1038	n.d.	2	0	2	2,00	147,00	50,00	3,68	35,00	1529,00	875,00	38,23	0,00	0,00	0,00	0,00

STATION	PE	alt	dS	aS	cond	aut	int	tot	TRF,NB	TRF,M	TRF,DEN	TRF,BIO	ANG,NB	ANG,M	ANG ,DEN	ANG,BIO	BLE,NB	BLE,M	BLE,DEN	BLE,BIO
29-96-12	51	187	4	1038	n.d.	1	0	1	0,00	0,00	0,00	0,00	13,00	674,00	232,14	12,04	0,00	0,00	0,00	0,00
30-96-08	52	12	38,3	2090	95	2	2	4	14,00	556,00	153,51	6,10	319,00	13556,00	3497,81	148,64	0,00	0,00	0,00	0,00
30-97-07	53	12	38,3	2090	95	3	1	4	78,00	1911,00	783,13	19,19	106,00	3165,00	1064,26	31,78	1,00	2,00	10,04	0,02
30-98-09	54	12	38,3	2090	95	3	1	4	41,00	1283,00	569,44	17,82	55,00	2697,00	763,89	37,46	0,00	0,00	0,00	0,00
30-99-11	55	12	38,3	2090	95	3	1	4	61,00	8271,00	626,03	84,88	46,00	4610,00	472,09	47,31	1,00	8,00	10,26	0,08
30-000-09	56	12	38,3	2090	95	3	2	5	24,00	1260,00	336,61	17,67	15,00	822,00	210,38	11,53	2,00	3,00	28,05	0,04
30-001-08	57	12	38,3	2090	95	2	1	3	64,00	2410,00	934,58	35,19	34,00	1672,00	496,50	24,42	0,00	0,00	0,00	0,00
30-002-10	58	12	38,3	2090	95	3	3	6	13,00	559,00	179,06	7,70	32,00	1893,00	440,77	26,07	1,00	10,00	13,77	0,14
30-003-08	59	12	38,3	2090	95	3	3	6	22,00	983,00	326,80	14,60	29,00	861,00	430,78	12,79	6,00	35,00	89,13	0,52
30-004-09	60	12	38,3	2090	95	3	3	6	5,00	340,00	67,26	4,57	22,00	834,00	295,94	11,22	1,00	2,00	13,45	0,03
30-005-11	61	12	38,3	2090	95	2	3	5	4,00	247,00	53,98	3,33	30,00	1479,00	404,86	19,96	0,00	0,00	0,00	0,00
30-006-11	62	12	38,3	2090	95	2	3	5	5,00	406,00	63,15	5,13	23,00	867,00	290,48	10,95	0,00	0,00	0,00	0,00
30-007-09	63	12	38,3	2090	95	3	2	5	20,00	1294,00	213,33	13,80	54,00	2860,00	576,00	30,51	1,00	16,00	10,67	0,17
30-008-07	64	12	38,3	2090	95	3	2	5	7,00	201,00	74,67	2,14	52,00	2336,00	554,67	24,92	1,00	1,00	10,67	0,01
30-009-09	65	12	38,3	2090	95	2	2	4	14,00	2564,00	149,33	27,35	35,00	3118,00	373,33	33,26	0,00	0,00	0,00	0,00
30-010-09	66	12	38,3	2090	95	2	4	6	17,00	1722,00	181,33	18,37	49,00	4734,00	522,67	50,50	0,00	0,00	0,00	0,00
30-011-09	67	12	38,3	2090	95	3	2	5	16,00	1464,00	170,67	15,62	23,00	1663,00	245,33	17,74	1,00	9,00	10,67	0,10
30-012-09	68	12	38,3	2090	95	3	2	5	67,00	4162,00	253,31	15,74	51,00	3081,00	192,82	11,65	4,00	15,00	15,12	0,06
30-013-10	69	12	38,3	2090	95	3	2	5	23,00	950,00	245,33	10,13	49,00	2540,00	522,67	27,09	4,00	22,00	42,67	0,23
31-96-08	70	766	10,3	1902	103	2	0	2	192,00	4706,00	3356,64	82,27	1,00	232,00	17,48	4,06	0,00	0,00	0,00	0,00
31-97-08	71	766	10,3	1902	103	2	0	2	135,00	3681,00	2454,55	66,93	1,00	170,00	18,18	3,09	0,00	0,00	0,00	0,00
31-98-09	72	766	10,3	1902	103	2	0	2	398,00	7070,00	5414,97	96,19	1,00	24,00	13,61	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
31-99-09	73	766	10,3	1902	103	2	0	2	485,00	7587,00	6598,64	103,22	2,00	1224,00	27,21	16,65	0,00	0,00	0,00	0,00
31-000-08	74	766	10,3	1902	103	1	0	1	358,00	7514,00	5014,01	105,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31-001-08	75	766	10,3	1902	103	1	0	1	339,00	8866,00	5136,36	134,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31-002-09	76	766	10,3	1902	103	1	0	1	408,00	7144,00	5035,17	88,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31-003-08	77	766	10,3	1902	103	1	0	1	452,00	8521,00	8852,33	166,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31-004-09	78	766	10,3	1902	103	1	0	1	341,00	8340,00	4985,38	121,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31-005-07	79	766	10,3	1902	103	1	0	1	234,00	8296,00	2785,71	98,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31-006-10	80	766	10,3	1902	103	2	0	2	276,00	8123,00	2927,20	86,15	1,00	42,00	10,61	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00
31-007-10	81	766	10,3	1902	103	2	0	2	437,00	8065,00	4923,39	90,86	2,00	991,00	22,53	11,16	0,00	0,00	0,00	0,00
31-008-09	82	766	10,3	1902	103	2	0	2	324,00	8149,00	3429,66	86,26	1,00	950,00	10,59	10,06	0,00	0,00	0,00	0,00
31-009-09	83	766	10,3	1902	103	2	0	2	433,00	8369,00	5321,63	102,86	1,00	828,00	12,29	10,18	0,00	0,00	0,00	0,00
31-010-09	84	766	10,3	1902	103	1	0	1	414,00	11469,00	4304,43	119,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31-011-09	85	766	10,3	1902	103	1	0	1	388,00	9028,00	4034,10	93,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31-013-10	86	766	10,3	1902	103	2	0	2	517,00	13126,00	6259,08	158,91	3,00	691,00	36,32	8,37	0,00	0,00	0,00	0,00

STATION	PE	alt	dS	aS	cond	aut	int	tot	TRF,NB	TRF,M	TRF,DEN	TRF,BIO	ANG,NB	ANG,M	ANG ,DEN	ANG,BIO	BLE,NB	BLE,M	BLE,DEN	BLE,BIO
31-014-10	87	766	10,3	1902	103	2	0	2	219,00	8515,00	2190,00	85,00	3,00	591,00	30,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32-96-08	88	368	26,6	1730	126	2	0	2	206,00	6775,00	1100,43	36,19	2,00	54,00	10,68	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00
32-97-08	89	368	26,6	1730	126	2	0	2	783,00	10703,00	4484,54	61,30	3,00	588,00	17,18	3,37	0,00	0,00	0,00	0,00
32-98-09	90	368	26,6	1730	126	2	0	2	463,00	10210,00	2599,30	57,32	5,00	2020,00	28,07	11,34	0,00	0,00	0,00	0,00
32-99-09	91	368	26,6	1730	126	2	0	2	424,00	9902,00	2218,85	51,82	5,00	2026,00	26,17	10,60	0,00	0,00	0,00	0,00
32-000-08	92	368	26,6	1730	126	2	0	2	630,00	11064,00	3684,21	64,70	3,00	164,00	17,54	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00
32-001-08	93	368	26,6	1730	126	2	0	2	710,00	10210,00	4320,05	62,12	4,00	318,00	24,34	1,93	0,00	0,00	0,00	0,00
32-002-09	94	368	26,6	1730	126	2	0	2	431,00	5428,00	3591,67	45,23	3,00	648,00	25,00	5,40	0,00	0,00	0,00	0,00
32-003-09	95	368	26,6	1730	126	2	0	2	691,00	13304,00	3927,03	75,61	11,00	1450,00	62,51	8,24	0,00	0,00	0,00	0,00
32-006-09	96	368	26,6	1730	126	2	0	2	126,00	7498,00	1344,00	79,98	11,00	3343,00	117,33	35,66	0,00	0,00	0,00	0,00
32-007-09	97	368	26,6	1730	126	2	0	2	124,00	2596,00	1322,67	27,69	6,00	1432,00	64,00	15,27	0,00	0,00	0,00	0,00
32-008-09	98	368	26,6	1730	126	2	0	2	132,00	5272,00	1408,00	56,23	6,00	1105,00	64,00	11,79	0,00	0,00	0,00	0,00
32-009-09	99	368	26,6	1730	126	2	0	2	111,00	5784,00	1184,00	61,70	9,00	2606,00	96,00	27,80	0,00	0,00	0,00	0,00
32-010-09	100	368	26,6	1730	126	2	0	2	92,00	4322,00	981,33	46,10	6,00	2416,00	64,00	25,77	0,00	0,00	0,00	0,00
32-011-09	101	368	26,6	1730	126	2	0	2	130,00	4407,00	1386,67	47,01	7,00	2515,00	74,67	26,83	0,00	0,00	0,00	0,00
32-013-09	102	368	26,6	1730	126	2	0	2	85,00	3749,00	214,65	9,47	7,00	1469,00	17,68	3,71	0,00	0,00	0,00	0,00
35-96-08	103	12	39,2	2326	n.d.	3	1	4	8,00	655,00	39,10	3,20	350,00	16183,00	1710,65	79,10	255,00	1847,00	1246,33	9,03
35-97-08	104	12	39,2	2326	n.d.	3	1	4	29,00	641,00	164,40	3,63	363,00	13147,00	2057,82	74,53	463,00	1756,00	2624,72	9,95
35-98-09	105	12	39,2	2326	n.d.	3	1	4	9,00	503,00	48,91	2,73	313,00	9948,40	1701,09	54,07	588,00	2439,00	3195,65	13,26
35-99-09	106	12	39,2	2326	n.d.	3	0	3	15,00	729,00	77,40	3,76	202,00	6703,00	1042,31	34,59	442,00	1846,00	2280,70	9,53
35-000-08	107	12	39,2	2326	n.d.	3	0	3	12,00	602,00	77,22	3,87	492,00	16904,00	3166,02	108,78	512,00	2978,00	3294,72	19,16
35-001-08	108	12	39,2	2326	n.d.	3	0	3	13,00	254,00	89,66	1,75	575,00	22160,00	3965,52	152,83	683,00	2502,00	4710,34	17,26
35-002-09	109	12	39,2	2326	n.d.	3	0	3	6,00	626,00	72,57	7,57	148,00	4295,00	1790,03	51,95	669,00	2154,00	8091,44	26,05
35-003-09	110	12	39,2	2326	n.d.	3	1	4	3,00	273,00	27,75	2,52	400,00	10028,00	3699,59	92,75	428,00	1534,00	3958,56	14,19
35-004-09	111	12	39,2	2326	n.d.	4	1	5	11,00	236,00	88,00	1,89	419,00	18931,00	3352,00	151,45	827,00	4059,00	6616,00	32,47
39-003-10	112	574	10,1	1902	83	2	0	2	471,00	6889,00	4262,44	62,34	9,00	3148,00	81,45	28,49	0,00	0,00	0,00	0,00
39-008-10	113	574	10,1	1902	83	2	0	2	232,00	11056,00	1850,74	88,20	7,00	1016,00	55,84	8,10	0,00	0,00	0,00	0,00
39-014-10	114	574	10,1	1902	83	2	0	2	378,00	12222,00	1865,79	60,33	16,00	4757,00	78,98	23,48	0,00	0,00	0,00	0,00
40-003-10	115	291	17,9	1902	99	2	0	2	96,00	2192,00	896,69	20,47	34,00	6580,00	317,58	61,46	0,00	0,00	0,00	0,00
40-008-06	116	291	17,9	1902	99	2	0	2	30,00	1920,00	278,58	17,83	47,00	8306,00	436,44	77,13	0,00	0,00	0,00	0,00
41-003-10	117	30	41	1902	200	2	1	3	0,00	0,00	0,00	0,00	316,00	13446,00	3259,08	138,68	441,00	1918,00	4548,27	19,78
42-003-08	118	184	9	1290	130	2	0	2	13,00	168,00	414,54	5,36	105,00	1576,00	3348,21	50,26	0,00	0,00	0,00	0,00
44-003-09	119	224	16	2018	148	2	0	2	142,00	4472,00	2077,85	65,44	186,00	11374,00	2721,69	166,43	0,00	0,00	0,00	0,00
46-004-04	120	1157	1,3	1288	60	1	0	1	20,00	814,19	1649,21	67,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46-005-08	121	1157	1,3	1288	60	1	0	1	93,00	1575,00	5086,97	86,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46-006-08	122	1157	1,3	1288	60	1	0	1	70,00	1439,00	3623,19	74,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

STATION	PE	alt	dS	aS	cond	aut	int	tot	TRF,NB	TRF,M	TRF,DEN	TRF,BIO	ANG,NB	ANG,M	ANG ,DEN	ANG,BIO	BLE,NB	BLE,M	BLE,DEN	BLE,BIO
46-007-08	123	1157	1,3	1288	60	1	0	1	56,00	1316,00	4469,27	105,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47-004-04	124	1046	2,7	1627	64	1	0	1	87,00	2005,00	6041,67	139,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47-005-08	125	1046	2,7	1627	64	1	0	1	92,00	1130,00	8527,99	104,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47-006-08	126	1046	2,7	1627	64	1	0	1	102,00	1596,00	5899,36	92,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47-007-08	127	1046	2,7	1627	64	1	0	1	5,00	205,00	398,72	16,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47-008-08	128	1046	2,7	1627	64	1	0	1	26,00	568,00	2985,07	65,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47-009-08	129	1046	2,7	1627	64	1	0	1	43,00	800,00	4936,85	91,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47-010-08	130	1046	2,7	1627	64	1	0	1	73,00	1156,00	8381,17	132,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47-011-08	131	1046	2,7	1627	64	1	0	1	120,00	1596,00	13777,27	183,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47-012-08	132	1046	2,7	1627	64	1	0	1	9,00	177,00	1033,30	20,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47-013-08	133	1046	2,7	1627	64	1	0	1	3,00	180,00	344,43	20,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47-014-08	134	1046	2,7	1627	n.d.	1	0	1	7,00	295,00	803,67	33,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
48-005-08	135	1025	2	1466	40	1	0	1	57,00	1756,00	1946,06	59,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
48-006-09	136	1025	2	1466	40	1	0	1	63,00	1761,00	1386,60	38,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
48-007-08	137	1025	2	1466	40	1	0	1	29,00	1563,00	903,15	48,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49-004-05	138	1628	2	1886	46	1	0	1	247,00	4366,65	3554,98	62,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49-005-08	139	1628	2	1886	46	1	0	1	338,00	6118,00	5709,27	103,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49-006-08	140	1628	2	1886	46	1	0	1	449,00	8992,00	6903,34	138,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49-007-08	141	1628	2	1886	46	1	0	1	588,00	12683,50	9403,49	202,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49-008-08	142	1628	2	1886	46	1	0	1	501,00	10781,00	7634,87	164,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49-009-08	143	1628	2	1886	46	1	0	1	452,00	9690,00	6888,14	147,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49-010-08	144	1628	2	1886	46	1	0	1	323,00	8425,00	4922,28	128,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49-011-08	145	1628	2	1886	46	1	0	1	375,00	9487,00	5714,72	144,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49-012-08	146	1628	2	1886	46	1	0	1	337,00	8735,00	5135,63	133,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49-013-08	147	1628	2	1886	46	1	0	1	347,00	9394,00	5288,02	143,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50-004-06	148	1425	4	1726	70	1	0	1	32,00	1610,00	467,33	23,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50-005-09	149	1425	4	1726	70	1	0	1	45,00	1844,00	603,06	24,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50-006-08	150	1425	4	1726	70	1	0	1	52,00	2838,00	737,38	40,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50-007-08	151	1425	4	1726	70	1	0	1	31,00	2572,00	499,19	41,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50-008-08	152	1425	4	1726	70	1	0	1	160,00	4301,00	2672,90	71,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50-009-08	153	1425	4	1726	70	1	0	1	96,00	2959,00	1603,74	49,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50-010-08	154	1425	4	1726	70	1	0	1	54,00	3794,00	902,10	63,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50-011-08	155	1425	4	1726	70	1	0	1	56,00	2573,00	935,52	42,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50-012-08	156	1425	4	1726	70	1	0	1	119,00	3343,00	1987,97	55,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50-013-08	157	1425	4	1726	70	1	0	1	80,00	4182,00	1336,45	69,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50-014-08	158	1425	4	1726	n.d.	1	0	1	57,00	4075,00	952,22	68,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

STATION	PE	alt	dS	aS	cond	aut	int	tot	TRF,NB	TRF,M	TRF,DEN	TRF,BIO	ANG,NB	ANG,M	ANG ,DEN	ANG,BIO	BLE,NB	BLE,M	BLE,DEN	BLE,BIO
51-004-09	159	148	52	1825	156	3	0	3	19,00	837,00	124,18	5,47	242,00	15584,00	1581,70	101,86	5,00	112,00	32,68	0,73
51-006-09	160	148	52	1825	156	3	0	3	26,00	2504,00	277,33	26,71	72,00	5248,00	768,00	55,98	6,00	66,00	64,00	0,70
51-007-09	161	148	52	1825	156	3	0	3	20,00	1044,00	213,33	11,14	54,00	4118,00	576,00	43,93	4,00	84,00	42,67	0,90
51-013-09	162	148	52	1825	156	3	0	3	18,00	1227,00	37,82	2,58	99,00	5918,00	207,98	12,43	1,00	23,00	2,10	0,05
52-004-09	163	454	15	2326	68	2	0	2	225,00	5791,00	1723,35	44,36	50,00	7215,00	382,97	55,26	0,00	0,00	0,00	0,00
52-011-09	164	454	15	2326	68	2	0	2	271,00	3794,00	3871,43	54,20	39,00	1972,00	557,14	28,17	0,00	0,00	0,00	0,00
52-012-09	165	454	15	2326	68	2	0	2	81,00	3027,00	1361,34	50,87	13,00	1648,00	218,49	27,70	0,00	0,00	0,00	0,00
53-004-07	166	1788	2,5	2188	18	1	0	1	110,00	2921,31	3731,34	99,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53-005-09	167	1788	2,5	2188	18	1	0	1	171,00	4979,00	4573,90	133,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53-006-09	168	1788	2,5	2188	18	1	0	1	163,00	5053,00	4042,06	125,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53-007-08	169	1788	2,5	2188	18	1	0	1	183,00	4692,00	4000,00	102,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53-008-08	170	1788	2,5	2188	18	1	0	1	196,00	4844,00	4683,39	115,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53-009-08	171	1788	2,5	2188	18	1	0	1	212,00	3833,00	5065,71	91,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53-010-08	172	1788	2,5	2188	18	1	0	1	207,00	4106,00	4946,24	98,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53-011-08	173	1788	2,5	2188	18	1	0	1	200,00	5065,00	4778,97	121,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53-012-08	174	1788	2,5	2188	18	1	0	1	162,00	3958,00	3870,97	94,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53-013-08	175	1788	2,5	2188	18	1	0	1	178,00	5728,00	4253,29	136,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
54-005-10	176	234	19	2326	101	2	0	2	41,00	1892,00	630,77	29,11	14,00	879,00	215,38	13,52	0,00	0,00	0,00	0,00
54-006-09	177	234	19	2326	101	2	0	2	58,00	1944,00	618,67	20,74	24,00	1584,00	256,00	16,90	0,00	0,00	0,00	0,00
54-013-09	178	234	19	2326	101	2	0	2	46,00	3512,00	230,00	17,56	26,00	2284,00	130,00	11,42	0,00	0,00	0,00	0,00
71-005-10	179	13	17	2228	140	2	6	8	0,00	0,00	0,00	0,00	160,00	7238,00	1302,08	58,90	12,00	165,00	97,66	1,34
72-005-10	180	174	21	2123	84	2	1	3	117,00	2304,00	1872,00	36,86	23,00	1158,00	368,00	18,53	0,00	0,00	0,00	0,00
72-006-09	181	174	21	2123	84	2	0	2	79,00	2162,00	842,67	23,06	18,00	936,00	192,00	9,98	0,00	0,00	0,00	0,00
72-007-09	182	174	21	2123	84	2	0	2	99,00	1886,00	1056,00	20,12	13,00	1092,00	138,67	11,65	0,00	0,00	0,00	0,00
72-013-09	183	174	21	2123	84	2	1	3	107,00	3262,00	786,76	23,99	14,00	649,00	102,94	4,77	0,00	0,00	0,00	0,00
73-005-10	184	635	17	2090	140	1	0	1	390,00	8144,00	3686,20	76,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
74-007-09	185	1141	3,3	1914	92	1	0	1	189,00	3592,00	4261,94	81,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
74-009-09	186	1141	3,3	1914	92	1	0	1	248,00	3687,00	3764,08	55,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
74-011-09	187	1141	3,3	1914	92	1	0	1	288,00	3443,00	4371,19	52,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
74-013-10	188	1141	3,3	1914	92	1	0	1	159,00	4462,00	1855,29	52,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
74-014-10	189	1141	3,3	1914	92	1	0	1	434,00	4132,00	4476,00	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75-007-09	190	920	5,8	2228	43	1	0	1	235,00	3742,00	4243,41	67,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75-009-09	191	920	5,8	2228	43	1	0	1	86,00	2783,00	1489,95	48,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75-011-09	192	920	5,8	2228	43	1	0	1	173,00	3151,00	2279,31	41,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75-013-09	193	920	5,8	2228	43	1	0	1	159,00	3520,00	2203,74	48,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
83-008-07	194	46	5	555	n.d.	1	0	1	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	979,00	1754,39	85,88	0,00	0,00	0,00	0,00

STATION	PE	alt	dS	aS	cond	aut	int	tot	TRF,NB	TRF,M	TRF,DEN	TRF,BIO	ANG,NB	ANG,M	ANG ,DEN	ANG,BIO	BLE,NB	BLE,M	BLE,DEN	BLE,BIO
84-008-09	195	51	29,1	2326	103	3	0	3	17,00	1364,00	181,33	14,55	195,00	13753,00	2080,00	146,70	157,00	1358,00	1674,67	14,49
84-010-09	196	51	29,1	2326	103	3	0	3	10,00	1830,00	106,67	19,52	141,00	12531,00	1504,00	133,66	181,00	567,00	1930,67	6,05
84-012-10	197	51	29,1	2326	103	3	0	3	17,00	1271,00	25,66	1,92	72,00	6980,00	108,68	10,54	61,00	369,00	92,08	0,56
84-014-09	198	51	29,1	2326	103	3	0	3	15,00	973,00	22,64	1,47	102,00	10348,00	153,97	15,62	49,00	283,00	73,96	0,43
85-008-07	199	64	16,5	1183	147	2	0	2	19,00	1002,00	202,67	10,69	65,00	1590,00	693,33	16,96	0,00	0,00	0,00	0,00
86-008-09	200	62	48,8	1825	155	4	1	5	7,00	610,00	74,67	6,51	89,00	5645,00	949,33	60,21	40,00	600,00	426,67	6,40
86-010-09	201	62	48,8	1825	155	3	0	3	10,00	874,00	106,67	9,32	91,00	6055,00	970,67	64,59	83,00	682,00	885,33	7,27
86-012-09	202	62	48,8	1825	155	3	1	4	34,00	3284,00	85,21	8,23	71,00	6032,00	177,94	15,12	40,00	544,00	100,25	1,36
86-014-09	203	62	48,8	1825	186	3	1	4	6,00	792,00	14,83	1,96	72,00	5253,00	177,91	12,98	55,00	704,00	135,90	1,74
87-008-06	204	131	12,5	1290	103	2	0	2	9,00	391,00	96,00	4,17	61,00	1432,00	650,67	15,27	0,00	0,00	0,00	0,00
87-010-07	205	131	12,5	1290	103	3	0	3	7,00	416,00	74,67	4,44	101,00	2542,00	1077,33	27,11	1,00	1,00	10,67	0,01
88-008-10	206	7	40,7	1902	209	5	1	6	2,00	346,00	31,90	5,52	401,00	24583,00	6395,53	392,07	563,00	842,00	8979,27	13,43
88-013-10	207	7	40,7	1902	209	5	0	5	11,00	2513,00	86,26	19,71	201,00	22194,00	1576,27	174,05	208,00	423,00	1631,17	3,32
89-008-10	208	88	25,8	1902	163	3	1	4	15,00	714,00	337,46	16,06	106,00	7084,00	2384,70	159,37	74,00	870,00	1664,79	19,57
92-011-09	209	920	5,8	2228	43	1	0	1	65,00	1275,00	1791,13	35,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
93-013-09	210	272	42,5	1825	130	2	0	2	23,00	2383,00	83,30	8,63	32,00	5228,00	115,89	18,93	0,00	0,00	0,00	0,00
94-010-08	211	1458	3,2	1619	n.d.	1	0	1	225,00	4299,00	6805,81	130,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
94-011-08	212	1458	3,2	1619	n.d.	1	0	1	358,00	6023,00	10828,80	182,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
94-012-08	213	1458	3,2	1619	n.d.	1	0	1	474,00	4292,00	14337,57	129,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
94-013-08	214	1458	3,2	1619	n.d.	1	0	1	401,00	6944,00	12129,46	210,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
94-014-08	215	1458	3,2	1619	n.d.	1	0	1	379,00	6052,00	11464,00	183,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
94-015-08	216	1458	3,2	1619	n.d.	1	0	1	491,00	6993,00	14851,78	211,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
95-015-08	217	1515	0,5	1726	n.d.	1	0	1	28,00	870,00	2766,80	85,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
96-011-09	218	200	10	1850	n.d.	1	0	1	50,00	1113,00	714,29	15,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
96-012-09	219	200	10	1850	n.d.	2	0	2	84,00	2153,00	1891,89	48,49	15,00	1288,00	337,84	29,01	0,00	0,00	0,00	0,00
97-011-09	220	610	9,1	2228	n.d.	2	0	2	214,00	3860,00	4115,38	74,23	4,00	186,00	76,92	3,58	0,00	0,00	0,00	0,00
97-012-08	221	610	9,1	2228	n.d.	2	0	2	125,00	3523,00	2076,41	58,52	3,00	835,00	49,83	13,87	0,00	0,00	0,00	0,00
98-015-08	222	706	8	1986	n.d.	2	0	2	89,00	849,00	2781,25	26,53	1,00	290,00	31,25	9,06	0,00	0,00	0,00	0,00
99-015-06	223	850	1,2	1169	n.d.	1	0	1	31,00	1495,64	2006,86	96,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7-89-09	224	121	12	1802	n.d.	2	0	2	28,00	1081,00	400,00	15,44	69,00	2775,00	985,71	39,64	0,00	0,00	0,00	0,00
9-89-09	225	118	23,5	1910	n.d.	2	0	2	39,00	2365,00	156,00	9,46	202,00	10140,00	808,00	40,56	0,00	0,00	0,00	0,00
10-89-09	226	193	10,5	1869	n.d.	2	0	2	1,00	90,00	12,87	1,16	51,00	3800,00	656,37	48,91	0,00	0,00	0,00	0,00
10-91-09	227	193	10,5	1869	n.d.	2	0	2	189,00	8241,00	2432,43	106,06	80,00	3328,00	1029,60	42,83	0,00	0,00	0,00	0,00
10-93-02	228	193	10,5	1869	n.d.	2	0	2	160,00	5547,00	2059,20	71,39	70,00	5890,00	900,90	75,80	0,00	0,00	0,00	0,00
10-93-09	229	193	10,5	1869	n.d.	2	0	2	76,00	3084,00	978,12	39,69	59,00	3221,00	759,33	41,45	0,00	0,00	0,00	0,00
11-89-09	230	90	23	1666	373	2	0	2	17,00	1755,00	170,00	17,55	160,00	5300,00	1600,00	53,00	0,00	0,00	0,00	0,00

STATION	PE	alt	dS	aS	cond	aut	int	tot	TRF,NB	TRF,M	TRF,DEN	TRF,BIO	ANG,NB	ANG,M	ANG ,DEN	ANG,BIO	BLE,NB	BLE,M	BLE,DEN	BLE,BIO
11-011-09	231	90	23	1666	373	3	0	3	57,00	3755,00	814,29	53,64	70,00	2613,00	1000,00	37,33	8,00	167,00	114,29	2,39
11-012-09	232	90	23	1666	373	3	0	3	67,00	1112,00	1075,44	17,85	132,00	4832,00	2118,78	77,56	5,00	90,00	80,26	1,44
12-89-09	233	360	27	1910	n.d.	2	0	2	75,00	3827,00	937,50	47,84	18,00	4230,00	225,00	52,88	0,00	0,00	0,00	0,00
13-89-09	234	272	29	2104	100	2	0	2	54,00	1157,00	540,00	11,57	6,00	920,00	60,00	9,20	0,00	0,00	0,00	0,00
13-013-05	235	272	29	2104	100	2	0	2	55,00	4378,00	356,70	28,39	24,00	4110,00	155,65	26,66	11,00	210,00	71,34	1,36
14-89-09	236	303	26	2104	n.d.	1	0	1	65,00	1319,00	928,57	18,84	6,00	1280,00	85,71	18,29	0,00	0,00	0,00	0,00
15-89-09	237	514	5,5	1865	n.d.	2	0	2	5,00	325,00	100,64	6,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15-90-10	238	514	5,5	1865	n.d.	2	0	2	288,00	6522,00	6857,14	155,29	1,00	310,00	23,81	7,38	0,00	0,00	0,00	0,00
15-91-09	239	514	5,5	1865	n.d.	1	0	1	271,00	8587,00	5454,91	172,85	10,00	2060,00	201,29	41,47	0,00	0,00	0,00	0,00
15-93-02	240	514	5,5	1865	n.d.	2	0	2	176,00	8483,00	3826,09	184,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15-93-09	241	514	5,5	1865	n.d.	2	0	2	174,00	5617,00	3438,74	111,01	2,00	585,00	39,53	11,56	0,00	0,00	0,00	0,00
16-90-10	242	129	13,7	1865	n.d.	2	0	2	124,00	3013,00	1771,43	43,04	68,00	2204,00	971,43	31,49	0,00	0,00	0,00	0,00
16-91-09	243	129	13,7	1865	n.d.	2	0	2	102,00	5196,00	2463,77	125,51	85,00	3305,00	2053,14	79,83	0,00	0,00	0,00	0,00
16-93-02	244	129	13,7	1865	n.d.	2	0	2	23,00	731,00	442,31	14,06	8,00	388,00	153,85	7,46	0,00	0,00	0,00	0,00
16-93-09	245	129	13,7	1865	n.d.	2	0	2	105,00	3402,00	2243,59	72,69	64,00	3062,00	1367,52	65,43	0,00	0,00	0,00	0,00
17-91-09	246	596	2	1290	n.d.	1	0	1	45,00	3750,00	1956,52	163,04	5,00	775,00	217,39	33,70	0,00	0,00	0,00	0,00
17-93-02	247	596	2	1290	n.d.	1	0	1	32,00	1512,00	1600,00	75,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17-93-09	248	596	2	1290	n.d.	1	0	1	217,00	4062,00	9041,67	169,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18-91-09	249	884	2,7	1661	n.d.	2	0	2	76,00	1245,00	6080,00	99,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19-94-08	250	442	16	1830	70	2	0	2	130,00	2380,00	1361,97	24,93	9,00	2600,00	94,29	27,24	0,00	0,00	0,00	0,00
19-005-09	251	442	16	1830	70	2	0	2	98,00	3080,00	1568,00	49,28	2,00	964,00	32,00	15,42	0,00	0,00	0,00	0,00
19-006-09	252	442	16	1830	70	2	0	2	175,00	9077,00	1473,06	76,41	8,00	5708,00	67,34	48,05	0,00	0,00	0,00	0,00
19-007-06	253	442	16	1830	70	2	0	2	179,00	5861,00	1231,13	40,31	3,00	1837,00	20,63	12,63	0,00	0,00	0,00	0,00
19-008-09	254	442	16	1830	70	2	1	3	258,00	9109,00	2100,12	74,15	3,00	1443,00	24,42	11,75	0,00	0,00	0,00	0,00
19-013-09	255	442	16	1830	70	2	0	2	278,00	11260,00	2088,50	84,59	2,00	1635,00	15,03	12,28	0,00	0,00	0,00	0,00
20-94-08	256	223	22,6	1830	83	2	0	2	64,00	2859,00	447,55	19,99	100,00	5856,00	699,30	40,95	0,00	0,00	0,00	0,00
20-003-08	257	223	22,6	1830	83	2	0	2	56,00	2498,00	589,47	26,29	74,00	7256,00	778,95	76,38	0,00	0,00	0,00	0,00
20-007-06	258	223	22,6	1830	83	2	1	3	136,00	4343,00	1044,95	33,37	35,00	3708,00	268,92	28,49	0,00	0,00	0,00	0,00
20-008-06	259	223	22,6	1830	83	3	0	3	29,00	1982,00	280,06	19,14	34,00	4233,00	328,34	40,88	0,00	0,00	0,00	0,00
22-95-05	260	170	7	1440	n.d.	3	0	3	23,00	414,00	255,56	4,60	27,00	816,00	300,00	9,07	1,00	2,00	11,11	0,02
22-95-09	261	170	7	1440	n.d.	3	0	3	57,00	534,00	950,00	8,90	19,00	882,00	316,67	14,70	5,00	16,00	83,33	0,27
22-96-04	262	170	7	1440	n.d.	3	0	3	28,00	377,00	311,11	4,19	37,00	1587,00	411,11	17,63	8,00	44,00	88,89	0,49
22-96-09	263	170	7	1440	n.d.	1	0	1	22,00	650,00	440,00	13,00	26,00	912,00	520,00	18,24	7,00	98,00	140,00	1,96
33-96-08	264	957	3	2381	14	2	0	2	147,00	4275,00	3868,42	112,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33-97-08	265	957	3	2381	14	2	0	2	114,00	3923,00	3000,00	103,24	1,00	164,00	26,32	4,32	0,00	0,00	0,00	0,00
33-98-09	266	957	3	2381	14	2	0	2	121,00	3488,00	3025,00	87,20	1,00	202,00	25,00	5,05	0,00	0,00	0,00	0,00

STATION	PE	alt	dS	aS	cond	aut	int	tot	TRF,NB	TRF,M	TRF,DEN	TRF,BIO	ANG,NB	ANG,M	ANG ,DEN	ANG,BIO	BLE,NB	BLE,M	BLE,DEN	BLE,BIO
33-99-09	267	957	3	2381	14	2	0	2	76,00	2345,00	1900,00	58,63	1,00	253,00	25,00	6,33	0,00	0,00	0,00	0,00
33-000-08	268	957	3	2381	14	2	0	2	104,00	2980,10	2600,00	74,50	1,00	308,40	25,00	7,71	0,00	0,00	0,00	0,00
33-001-08	269	957	3	2381	14	1	0	1	50,00	1366,00	2264,49	61,87	1,00	302,00	45,29	13,68	0,00	0,00	0,00	0,00
33-002-10	270	957	3	2381	14	1	0	1	178,00	2753,00	8061,59	124,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33-003-09	271	957	3	2381	14	2	0	2	198,00	4445,00	9166,67	205,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33-004-08	272	957	3	2381	14	1	0	1	165,00	3401,00	4862,95	100,24	1,00	40,00	29,47	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00
33-005-09	273	957	3	2381	14	2	0	2	201,00	3888,00	3817,66	73,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33-006-08	274	957	3	2381	14	1	0	1	253,00	4248,00	7120,74	119,56	1,00	68,00	28,15	1,91	0,00	0,00	0,00	0,00
33-007-10	275	957	3	2381	14	1	0	1	227,00	5349,00	5973,68	140,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33-008-09	276	957	3	2381	14	1	0	1	207,00	3922,00	5810,53	110,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33-009-09	277	957	3	2381	14	2	0	2	229,00	3579,00	6852,59	107,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33-010-10	278	957	3	2381	14	1	0	1	163,00	3627,00	2795,88	62,21	1,00	40,00	17,15	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00
33-011-10	279	957	3	2381	14	2	0	2	233,00	4620,00	5331,81	105,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33-012-09	280	957	3	2381	14	2	0	2	219,00	3689,00	4421,03	74,47	1,00	60,00	20,19	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00
33-013-10	281	957	3	2381	14	1	0	1	176,00	3977,00	4376,37	98,89	1,00	57,00	24,87	1,42	0,00	0,00	0,00	0,00
33-014-10	282	957	3	2381	14	2	0	2	139,00	2692,00	2522,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
34-96-08	283	355	27,5	1751	n.d.	2	0	2	127,00	13897,00	561,45	61,44	254,00	35842,00	1122,90	158,45	0,00	0,00	0,00	0,00
34-97-08	284	355	27,5	1751	n.d.	2	0	2	202,00	9226,00	1243,84	56,81	138,00	20595,00	849,75	126,82	0,00	0,00	0,00	0,00
34-98-09	285	355	27,5	1751	n.d.	2	0	2	377,00	11686,00	1693,62	52,50	108,00	13096,00	485,18	58,83	0,00	0,00	0,00	0,00
34-99-11	286	355	27,5	1751	n.d.	2	0	2	142,00	8804,00	645,31	40,01	28,00	4729,00	127,24	21,49	0,00	0,00	0,00	0,00
34-000-08	287	355	27,5	1751	n.d.	2	1	3	397,00	14110,00	2291,62	81,45	90,00	12368,00	519,51	71,39	0,00	0,00	0,00	0,00
34-001-08	288	355	27,5	1751	n.d.	2	0	2	285,00	9674,00	1635,67	55,52	116,00	13996,00	665,75	80,33	0,00	0,00	0,00	0,00
34-002-09	289	355	27,5	1751	n.d.	2	1	3	277,00	8129,00	1403,24	41,18	90,00	8844,00	455,93	44,80	0,00	0,00	0,00	0,00
34-003-09	290	355	27,5	1751	n.d.	2	1	3	430,00	15181,00	1990,28	70,27	168,00	22789,00	777,60	105,48	0,00	0,00	0,00	0,00
34-004-09	291	355	27,5	1751	n.d.	3	0	3	451,00	17229,00	2847,94	108,80	238,00	29420,00	1502,90	185,78	0,00	0,00	0,00	0,00
36-98-08	292	75	71	2168	n.d.	3	0	3	31,00	2305,00	326,32	24,26	146,00	9924,00	1536,84	104,46	227,00	660,00	2389,47	6,95
36-99-08	293	75	71	2168	n.d.	2	0	2	19,00	2327,30	200,00	24,50	157,00	7880,00	1652,63	82,95	121,00	428,20	1273,68	4,51
37-98-08	294	328	34,5	2168	n.d.	2	0	2	74,00	3811,10	764,46	39,37	103,00	2722,20	1064,05	28,12	0,00	0,00	0,00	0,00
38-003-09	295	1101	6,6	1710	28	2	0	2	54,00	1358,00	1500,00	37,72	5,00	1079,00	138,89	29,97	0,00	0,00	0,00	0,00
38-005-08	296	1101	6,6	1710	28	2	0	2	85,00	1166,00	1244,15	17,07	3,00	566,00	43,91	8,28	0,00	0,00	0,00	0,00
38-006-09	297	1101	6,6	1710	28	2	0	2	87,00	1232,00	1229,51	17,41	1,00	200,00	14,13	2,83	0,00	0,00	0,00	0,00
38-008-09	298	1101	6,6	1710	28	2	0	2	87,00	1238,00	1412,11	20,09	4,00	730,00	64,92	11,85	0,00	0,00	0,00	0,00
38-010-08	299	1101	6,6	1710	14,7	2	0	2	47,00	1209,00	624,50	16,06	4,00	897,00	53,15	11,92	0,00	0,00	0,00	0,00
38-014-09	300	1101	6,6	1710	14,7	4	2	6	67,00	987,00	637,37	9,39	3,00	781,00	28,54	7,43	0,00	0,00	0,00	0,00
43-003-08	301	17	36,6	1830	149	4	0	4	66,00	2682,00	715,45	29,07	212,00	9607,00	2298,10	104,14	140,00	1133,00	1517,62	12,28
43-007-06	302	17	36,6	1830	149	3	2	5	24,00	904,00	256,00	9,64	44,00	4006,00	469,33	42,73	76,00	354,00	810,67	3,78

STATION	PE	alt	dS	aS	cond	aut	int	tot	TRF,NB	TRF,M	TRF,DEN	TRF,BIO	ANG,NB	ANG,M	ANG ,DEN	ANG,BIO	BLE,NB	BLE,M	BLE,DEN	BLE,BIO
43-009-06	303	17	36,6	1830	149	3	1	4	28,00	1937,00	298,67	20,66	70,00	3109,00	746,67	33,16	61,00	300,00	650,67	3,20
43-011-06	304	17	36,6	1830	149	4	3	7	12,00	1718,00	128,00	18,33	57,00	2366,00	608,00	25,24	45,00	248,00	480,00	2,65
43-013-09	305	17	36,6	1830	149	1	0	1	7,00	684,00	21,12	2,06	51,00	1868,00	153,90	5,64	21,00	178,00	63,37	0,54
45-004-05	306	997	2,2	1702	40	2	0	2	76,00	1002,00	2584,77	34,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46-004-08	307	117	4	1080	266	2	0	2	30,00	1248,00	967,87	40,26	72,00	5634,00	2322,88	181,77	0,00	0,00	0,00	0,00
47-004-08	308	315	16,7	1434	315	2	0	2	154,00	7408,00	1647,06	79,23	2,00	956,00	21,39	10,22	0,00	0,00	0,00	0,00
47-007-06	309	315	16,7	1434	315	2	0	2	612,00	9129,00	8085,40	120,61	1,00	210,00	13,21	2,77	0,00	0,00	0,00	0,00
47-009-07	310	315	16,7	1434	315	1	1	2	689,00	10001,00	5972,19	86,69	1,00	600,00	8,67	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00
47-011-06	311	315	16,7	1434	315	2	0	2	527,00	14884,00	4990,53	140,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47-013-09	312	315	16,7	1434	315	2	0	2	643,00	12662,00	5724,72	112,73	1,00	37,00	8,90	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
48-004-09	313	206	8	1968	117	1	0	1	64,00	1669,00	909,35	23,71	32,00	1746,00	454,67	24,81	0,00	0,00	0,00	0,00
49-004-07	314	850	8	1830	70	1	0	1	57,00	1508,00	1581,14	41,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49-005-09	315	850	8	1830	70	1	0	1	111,00	2086,00	2292,91	43,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49-006-08	316	850	8	1830	70	1	0	1	125,00	1915,00	2528,32	38,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49-007-08	317	850	8	1830	70	1	0	1	105,00	1526,00	2491,46	36,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51-005-09	318	1320	1,3	2230	24	1	0	1	52,00	3080,00	3258,15	192,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51-006-09	319	1320	1,3	2230	24	1	0	1	111,00	7481,00	2290,08	154,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51-007-09	320	1320	1,3	2230	24	1	0	1	94,00	5854,00	3499,63	217,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51-008-09	321	1320	1,3	2230	24	1	0	1	62,00	3052,00	2308,27	113,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51-009-09	322	1320	1,3	2230	24	1	0	1	111,00	5295,00	4132,54	197,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51-010-09	323	1320	1,3	2230	24	1	0	1	97,00	6416,00	3611,32	238,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51-011-08	324	1320	1,3	2230	24	1	0	1	87,00	6023,00	3239,02	202,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51-012-08	325	1320	1,3	2230	24	1	0	1	77,00	3619,00	2866,72	134,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51-013-09	326	1320	1,3	2230	24	1	0	1	89,00	4716,00	3313,48	175,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51-014-09	327	1320	1,3	2230	n.d.	2	1	3	125,00	4987,00	4653,76	185,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
52-005-08	328	166	17	1470	564	3	0	3	102,00	5257,00	1152,54	59,40	7,00	1169,00	79,10	13,21	0,00	0,00	0,00	0,00
53-005-06	329	256	28	2104	161	3	1	4	221,00	5130,00	2595,72	60,25	34,00	3909,00	399,34	45,91	20,00	190,00	234,91	2,23
53-014-06	330	256	28	2104	161	3	1	4	132,00	8113,00	1004,00	60,00	23,00	3507,00	237,29	39,63	4,00	38,00	46,98	0,45
54-005-08	331	387	35	2168	92	2	0	2	168,00	4962,00	2828,28	83,54	76,00	10147,00	1279,46	170,82	0,00	0,00	0,00	0,00
55-005-06	332	109	12	1968	51	3	0	3	1,00	78,00	16,00	1,25	21,00	1222,00	336,00	19,55	13,00	47,00	208,00	0,75
55-006-09	333	109	12	1968	51	3	0	3	13,00	442,00	138,67	4,71	23,00	1445,00	245,33	15,41	15,00	57,00	160,00	0,61
55-007-06	334	109	12	1968	51	3	0	3	21,00	259,00	224,00	2,76	13,00	838,00	138,67	8,94	10,00	40,00	106,67	0,43
55-008-06	335	109	12	1968	51	3	0	3	4,00	70,00	42,67	0,75	13,00	866,00	138,67	9,24	8,00	56,00	85,33	0,60
55-009-07	336	109	12	1968	51	3	0	3	12,00	221,00	128,00	2,36	12,00	718,00	128,00	7,66	12,00	36,00	128,00	0,38
55-010-09	337	109	12	1968	51	3	0	3	2,00	206,00	21,33	2,20	15,00	1836,00	160,00	19,58	11,00	40,00	117,33	0,43
55-011-06	338	109	12	1968	68	3	0	3	22,00	80,00	234,67	0,85	14,00	598,00	149,33	6,38	13,00	58,00	138,67	0,62

STATION	PE	alt	dS	aS	cond	aut	int	tot	TRF,NB	TRF,M	TRF,DEN	TRF,BIO	ANG,NB	ANG,M	ANG ,DEN	ANG,BIO	BLE,NB	BLE,M	BLE,DEN	BLE,BIO
55-012-06	339	109	12	1968	75	3	0	3	16,00	529,00	164,20	5,43	24,00	2651,00	246,31	27,21	6,00	13,00	61,58	0,13
55-013-06	340	109	12	1968	51	3	0	3	5,00	472,00	51,31	4,84	6,00	702,00	61,58	7,20	18,00	47,00	184,73	0,48
71-005-08	341	1276	4	2125	23	1	0	1	89,00	1736,00	2544,31	49,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
72-005-08	342	1062	6	2125	23	2	0	2	38,00	830,00	1066,22	23,29	4,00	564,00	112,23	15,82	0,00	0,00	0,00	0,00
73-006-09	343	744	1	1367	80	1	0	1	6,00	361,00	152,63	9,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
73-007-08	344	744	1	1367	80	1	0	1	10,00	562,00	202,45	11,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
74-006-09	345	122	63,2	2168	99	3	1	4	29,00	2223,00	309,33	23,71	50,00	4728,00	533,33	50,43	56,00	276,00	597,33	2,94
74-007-09	346	122	63,2	2168	99	3	2	5	30,00	2849,00	320,00	30,39	24,00	1374,00	256,00	14,66	12,00	84,00	128,00	0,90
74-009-09	347	122	63,2	2168	99	3	1	4	23,00	1039,00	245,33	11,08	73,00	5181,00	778,67	55,26	31,00	180,00	330,67	1,92
74-011-09	348	122	63,2	2168	99	3	1	4	29,00	3280,00	309,33	34,99	95,00	5673,00	1013,33	60,51	46,00	320,00	490,67	3,41
74-013-09	349	122	63,2	2168	99	3	1	4	19,00	1935,00	22,92	2,33	69,00	3465,00	83,24	4,18	90,00	420,50	108,57	0,51
75-006-09	350	56	63	1751	163	3	1	4	0,00	0,00	0,00	0,00	64,00	2964,00	682,67	31,62	17,00	212,00	181,33	2,26
75-007-09	351	56	63	1751	163	6	2	8	2,00	338,00	21,33	3,61	60,00	1935,00	640,00	20,64	26,00	203,00	277,33	2,17
76-006-10	352	1736	0,7	1751	45	1	0	1	107,00	2229,80	5752,69	119,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
76-013-09	353	1736	0,7	1751	n.d.	1	0	1	202,00	4589,00	10860,21	246,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
76-014-09	354	1736	0,7	1751	n.d.	1	0	1	226,00	3777,00	12150,53	203,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
76-015-09	355	1736	0,7	1751	n.d.	1	0	1	122,00	3100,00	6559,14	166,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
77-007-06	356	140	25,8	1830	100	2	1	3	12,00	786,00	107,79	7,06	188,00	7555,00	1688,70	67,86	0,00	0,00	0,00	0,00
77-008-06	357	140	25,8	1830	100	2	1	3	6,00	437,00	53,76	3,92	151,00	4002,00	1353,05	35,86	0,00	0,00	0,00	0,00
78-007-09	358	152	50,2	1751	195	2	1	3	4,00	346,00	42,67	3,69	40,00	4150,00	426,67	44,27	0,00	0,00	0,00	0,00
78-008-09	359	152	50,2	1751	195	2	1	3	11,00	1408,00	117,33	15,02	72,00	6416,00	768,00	68,44	0,00	0,00	0,00	0,00
78-009-09	360	152	50,2	1751	195	2	1	3	12,00	836,00	128,00	8,92	58,00	5691,00	618,67	60,70	0,00	0,00	0,00	0,00
78-010-09	361	152	50,2	1751	195	2	1	3	14,00	1356,00	172,31	16,69	85,00	7051,00	1046,15	86,78	0,00	0,00	0,00	0,00
78-011-09	362	152	50,2	1751	195	2	1	3	5,00	478,00	53,33	5,10	64,00	5929,00	682,67	63,24	0,00	0,00	0,00	0,00
78-013-09	363	152	50,2	1751	195	2	2	4	36,00	3422,00	88,89	8,45	61,00	5894,00	150,62	14,55	0,00	0,00	0,00	0,00
79-007-06	364	78	8,8	1325	456	2	0	2	17,00	1058,00	212,43	13,22	132,00	3019,00	1649,48	37,73	0,00	0,00	0,00	0,00
79-009-07	365	78	8,8	1325	456	2	0	2	5,00	180,00	61,15	2,20	128,00	3666,00	1565,56	44,84	0,00	0,00	0,00	0,00
79-011-06	366	78	8,8	1325	456	2	0	2	196,00	2888,00	2380,95	35,08	169,00	4039,00	2052,96	49,06	0,00	0,00	0,00	0,00
79-013-09	367	78	8,8	1325	456	2	0	2	112,00	1742,00	1368,52	21,29	138,00	2998,00	1686,22	36,63	0,00	0,00	0,00	0,00
80-007-06	368	20	13,1	1552	248	2	2	4	34,00	1790,00	1239,34	65,25	180,00	5415,00	6561,20	197,38	0,00	0,00	0,00	0,00
80-009-07	369	20	13,1	1552	248	2	2	4	1,00	230,00	25,40	5,84	90,00	3785,00	2285,66	96,12	0,00	0,00	0,00	0,00
80-011-06	370	20	13,1	1552	248	2	4	6	1,00	2,00	22,18	0,04	104,00	1569,00	2307,01	34,80	0,00	0,00	0,00	0,00
80-013-09	371	20	13,1	1552	248	2	2	4	10,00	1010,00	313,24	31,64	148,00	3516,00	4636,01	110,14	0,00	0,00	0,00	0,00
81-007-09	372	305	24,1	2125	59	2	0	2	176,00	4086,00	1877,33	43,58	9,00	1188,00	96,00	12,67	0,00	0,00	0,00	0,00
81-009-09	373	305	24,1	2125	59	2	1	3	80,00	2800,00	853,33	29,87	6,00	582,00	64,00	6,21	0,00	0,00	0,00	0,00
81-011-09	374	305	24,1	2125	59	2	1	3	133,00	2839,00	1418,67	30,28	16,00	2613,00	170,67	27,87	0,00	0,00	0,00	0,00

STATION	PE	alt	dS	aS	cond	aut	int	tot	TRF,NB	TRF,M	TRF,DEN	TRF,BIO	ANG,NB	ANG,M	ANG ,DEN	ANG,BIO	BLE,NB	BLE,M	BLE,DEN	BLE,BIO
81-013-09	375	305	24,1	2125	59	2	1	3	27,00	1960,00	91,76	6,66	4,00	769,00	13,59	2,61	0,00	0,00	0,00	0,00
82-006-09	376	396	25,2	1751	80	2	0	2	431,00	15571,80	1662,49	60,06	22,00	3706,00	84,86	14,30	0,00	0,00	0,00	0,00
83-006-09	377	270	33,4	1751	150	2	0	2	208,00	16089,00	1058,69	81,89	126,00	16931,00	641,32	86,18	0,00	0,00	0,00	0,00
84-006-11	378	523	7,1	2192	n.d.	2	0	2	67,00	4060,00	2707,07	164,04	22,00	8394,00	888,89	339,15	0,00	0,00	0,00	0,00
85-006-11	379	588	6,2	2192	n.d.	2	0	2	45,00	2892,00	1408,01	90,49	22,00	4199,00	688,36	131,38	0,00	0,00	0,00	0,00
86-007-09	380	253	22,6	1552	357	3	0	3	57,00	1872,00	1072,23	35,21	20,00	2472,00	376,22	46,50	26,00	182,00	489,09	3,42
86-009-09	381	253	22,6	1552	357	3	0	3	124,00	3050,00	1752,40	43,10	11,00	1328,00	155,46	18,77	6,00	67,00	84,79	0,95
86-011-09	382	253	22,6	1552	357	3	0	3	132,00	6043,00	2006,38	91,85	14,00	3072,00	212,80	46,69	4,00	44,00	60,80	0,67
86-013-09	383	253	22,6	1552	357	3	0	3	202,00	8331,00	2459,10	101,42	16,00	2367,00	194,78	28,82	21,00	174,00	255,65	2,12
86-014-10	384	253	22,6	1552	357	3	0	3	15,00	984,00	105,00	8,00	6,00	908,75	41,62	6,30	9,00	73,74	62,43	0,51
87-007-06	385	55	23,9	1470	307	3	0	3	3,00	162,00	32,00	1,73	40,00	1589,00	426,67	16,95	18,00	129,00	192,00	1,38
87-009-06	386	55	23,9	1470	307	4	0	4	70,00	1500,00	746,67	16,00	47,00	3163,00	501,33	33,74	77,00	337,00	821,33	3,59
87-011-06	387	55	23,9	1470	307	3	0	3	18,00	1518,00	192,00	16,19	55,00	3234,00	586,67	34,50	106,00	364,00	1130,67	3,88
87-013-09	388	55	23,9	1470	307	3	1	4	18,00	1145,00	78,76	5,01	30,00	2778,00	131,27	12,16	46,00	302,00	201,28	1,32
97-008-09	389	165	22,6	1911	98	2	0	2	36,00	2516,00	384,00	26,84	115,00	3478,00	1226,67	37,10	0,00	0,00	0,00	0,00
97-010-07	390	165	22,6	1911	98	2	0	2	34,00	1668,00	362,67	17,79	98,00	3620,00	1045,33	38,61	0,00	0,00	0,00	0,00
97-012-06	391	165	22,6	1911	98	2	1	3	30,00	1775,00	120,43	7,13	102,00	3164,00	409,47	12,70	0,00	0,00	0,00	0,00
97-013-09	392	165	22,6	1911	98	2	1	3	49,00	2758,00	192,61	10,84	60,00	2451,00	235,85	9,63	0,00	0,00	0,00	0,00
98-008-09	393	920	15,8	2168	68	1	0	1	319,00	7140,00	3402,67	76,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
98-010-09	394	920	15,8	2168	68	1	0	1	176,00	5694,00	1877,33	60,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
98-012-09	395	920	15,8	2168	68	1	0	1	333,00	7003,00	1146,69	24,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
98-014-09	396	920	15,8	2168	68	1	0	1	126,00	3693,00	433,88	12,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
99-008-04	397	6	34,7	1357	445	5	2	7	5,00	413,00	62,10	5,13	25,00	1688,00	310,48	20,96	38,00	180,00	471,93	2,24
100-008-04	398	107	5	833	502	2	0	2	26,00	974,00	394,66	14,78	103,00	2244,00	1563,45	34,06	0,00	0,00	0,00	0,00
100-010-07	399	107	5	833	502	2	0	2	423,00	9288,00	5245,41	115,18	76,00	3686,00	942,44	45,71	0,00	0,00	0,00	0,00
100-012-05	400	107	5	833	365	2	0	2	54,00	1363,00	670,64	16,93	46,00	1281,00	571,29	15,91	0,00	0,00	0,00	0,00
100-014-09	401	107	5	833	365	2	0	2	56,00	2658,00	2130,90	101,14	98,00	2930,00	3729,07	111,49	0,00	0,00	0,00	0,00
101-008-04	402	77	5,8	1087	386	1	0	1	0,00	0,00	0,00	0,00	49,00	3183,00	983,54	63,89	0,00	0,00	0,00	0,00
102-008-04	403	12	20,7	220	364	1	0	1	0,00	0,00	0,00	0,00	105,00	4106,00	1328,27	51,94	0,00	0,00	0,00	0,00
103-008-06	404	6	16,5	1579	423	3	0	3	27,00	690,00	222,39	5,68	158,00	6562,00	1301,38	54,05	0,00	0,00	0,00	0,00
104-008-06	405	10	16,9	1325	425	2	0	2	0,00	0,00	0,00	0,00	86,00	2886,00	877,55	29,45	0,00	0,00	0,00	0,00
105-008-06	406	2	87	2168	263	3	1	4	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	1744,00	181,33	18,60	4,00	17,00	42,67	0,18
106-009-06	407	7	80,4	1751	243	4	1	5	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	4153,00	384,00	44,30	14,00	51,00	149,33	0,54
106-010-07	408	7	80,4	1751	243	4	1	5	0,00	0,00	0,00	0,00	33,00	5998,00	352,00	63,98	5,00	10,00	53,33	0,11
106-012-06	409	7	80,4	1751	243	5	1	6	0,00	0,00	0,00	0,00	54,00	4972,00	39,55	3,64	3,00	12,00	2,20	0,01
107-013-09	410	81	69	2168	133	3	0	3	25,00	3516,00	82,64	11,62	52,00	3983,00	171,90	13,17	53,00	254,00	175,21	0,84

STATION	PE	alt	dS	aS	cond	aut	int	tot	TRF,NB	TRF,M	TRF,DEN	TRF,BIO	ANG,NB	ANG,M	ANG ,DEN	ANG,BIO	BLE,NB	BLE,M	BLE,DEN	BLE,BIO
108-013-06	411	8	22,8	1865	128	5	3	8	41,00	3592,00	277,78	24,34	270,00	15987,00	1829,27	108,31	211,00	1323,00	1429,54	8,96
108-014-10	412	8	22,8	1865	128	3	2	5	21,00	3479,00	142,00	24,12	187,00	14273,00	1249,00	96,00	319,00	984,00	2132,00	5,00
109-013-05	413	73	9,5	1180	200	2	0	2	13,00	906,00	551,74	38,45	26,00	791,00	1103,47	33,57	0,00	0,00	0,00	0,00
109-014-05	414	73	9,5	1180	200	2	0	2	11,00	764,00	537,00	21,00	41,00	1247,35	2001,76	60,90	0,00	0,00	0,00	0,00
110-013-09	415	51	66	1751	185	5	3	8	1,00	68,00	3,04	0,21	180,00	10866,00	547,45	33,05	59,00	524,00	179,44	1,59
111-014-08	416	983	6,3	2120	29	1	0	1	161,00	5349,00	1826,89	60,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
111-015-07	417	983	6,3	2120	n.d.	1	0	1	238,00	6791,00	2822,58	80,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
112-014-08	418	896	7,2	1666	177	1	0	1	163,00	2894,00	3773,15	66,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
112bis-015-08	419	896	7,2	1666	n.d.	1	0	1	121,00	3205,00	2153,79	57,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
113-014-09	420	1386	2	1710	12	1	0	1	107,00	2613,00	2528,36	61,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
113-015-09	421	1386	2	1710	n.d.	1	0	1	150,00	3015,00	3544,42	71,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
114-011-09	422	1180	6	2270	32	1	0	1	155,00	2541,00	3875,00	63,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
114-012-09	423	1180	6	2270	32	1	0	1	203,00	3165,00	3815,79	59,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
115-011-09	424	250	4,6	1160	41	2	0	2	28,00	259,00	1111,11	10,28	11,00	1379,00	436,51	54,72	0,00	0,00	0,00	0,00
115-012-09	425	250	4,6	1160	41	2	0	2	17,00	1092,00	531,25	34,13	2,00	377,00	62,50	11,78	0,00	0,00	0,00	0,00

Résumé

Ces travaux de recherche s'articulent autour de l'étude des conséquences du changement climatique à l'échelle de la Corse, notamment dans les écosystèmes lotiques et sur les peuplements piscicoles associés. Une synthèse climatique a été réalisée dans le but de quantifier dans quelle mesure la Corse est soumise aux conséquences du changement climatique ainsi que d'identifier les zones les plus impactées et les plus vulnérables. Des essais de typologie des cours d'eau de Corse sont proposés en prenant en considération les particularités et les variabilités insulaires à l'origine de différences fondamentales de fonctionnement. Un outil d'aide à la décision est également proposé en intégrant ces diversités afin de le rendre plus adapté qu'un modèle généraliste régional.

Mots-clés : changement climatique ; réchauffement ; fréquences d'épisodes extrêmes ; typologies ; peuplement piscicole ; outils d'aide à la décision.

Abstract

This research work is based on the study of the consequences of climate change on the scale of Corsica, particularly in lotic ecosystems and on the associated fish populations. A climate synthesis was carried out in order to quantify the extent to which Corsica is subject to the consequences of climate change and to identify the most impacted and vulnerable areas. Tests on the typology of Corsican rivers are proposed, taking into consideration the island's particularities and variability, which are at the origin of fundamental differences in functioning. A decision support tool is also proposed by integrating these diversities in order to make it more suitable than a general regional model.

Keywords : climate change ; reheating ; frequency of extreme episodes ; typologies ; fish population ; decision-making tools.

Riassuntu

Sti travagli di ricerca si prununzianu ingiru à u studiu di e cunsequenze di u scambiamentu climàticu à livellu di a Corsica, principalmente ind'è i fiumi è annant'à i pesci fiumari. Una sìntesi climàtica hè stata realizata da quantificà sin'à chì puntu a Corsica hè sottumessa à e cunsequenze di u scambiamentu climàticu, è permette dinù d'identificà i territorii i più tocchi è dannighjevuli. Sò pruposte prove di tipulugia di i fiumi di Corsica chì piglianu in contu e particularità è e variabilità isulane à l'orìgine di sfarenze fundamentale di funziunamentu. Dinù, hè prupostu un arnese d'aiutu à a decisione chì introduce ste diversità di manera à rendelu di più adattu à u nostru locu per raportu à un mudellu generale è righjunale.

Parole chjave : scambiamentu clìmaticu ; riscaldamentu ; frequenze d'episodii stremi ; tipulugia ; pesci fiumari ; arnese d'aiutu à a decisione.