



Évaluation des impacts des appâts de pêche sur les mortalités piscicoles estivales observées sur certaines gravières de Moselle.



2017



Table des matières

| | |
|--|--------------|
| INTRODUCTION | 1 |
| 1. MATERIEL ET METHODES..... | 4 |
| A. LES SITES D'ETUDE..... | 4 |
| a. Données historiques et halientiques..... | 4 |
| b. Données sociologiques..... | 4 |
| B. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES..... | 4 |
| a. Profils thermiques et d'oxygénation des eaux..... | 4 |
| b. Prélèvement des sédiments et des échantillons pour analyse..... | 5 |
| c. Rapport C/N et concentration en carbone organique total des sédiments | 5 |
| d. Signature isotopique en carbone et en azote de la matière organique sédimentée..... | 5 |
| C. ANALYSES BIOLOGIQUES SUR LES SEDIMENTS : CAPSULES CEPHALIQUES DE CHIRONOMES. | 6 |
| D. ANALYSES STATISTIQUES | 6 |
| <input type="checkbox"/> Tests non paramétriques de comparaisons deux à deux | 6 |
| <input type="checkbox"/> Analyse factorielle de correspondances (AFC)..... | 6 |
| <input type="checkbox"/> Analyse en composantes principales (ACP) et groupement hiérarchique | 6 |
| 2. RESULTATS | 7 |
| A. DONNEES SUR LES SITES | 7 |
| a. Données sociologiques et halientiques..... | 7 |
| B. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES..... | 7 |
| a. Hauteur de la zone euphotique..... | 7 |
| b. Profils thermiques et d'oxygénation de l'eau..... | 7 |
| c. Résultats des analyses chimiques de la MO sédimentée (C/N et COT)..... | 9 |
| d. Comparaisons statistiques entre top et bottom et entre les lots de gravières..... | 10 |
| <input type="checkbox"/> Comparaisons TOP vs BOTTOM des sédiments | 10 |
| <input type="checkbox"/> Comparaisons des caractéristiques des sédiments de chaque lot de gravières | 10 |
| e. Données historiques et enrichissement en MO | 11 |
| f. Signature isotopique en carbone et en azote de la matière organique sédimentée..... | 12 |
| C. REGROUPEMENT DES BALLASTIERES EN LOTS : ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES ET GROUPEMENT HIERARCHIQUE | 13 |
| D. COMMUNAUTES DE CHIRONOMES : ANALYSE FACTORIELLE DE CORRESPONDANCES (AFC) | 15 |
| 3. ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS | 16 |
| CONCLUSION | 19 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES..... | 20 |
| GLOSSAIRE ET LISTE DES ABREVIATIONS | |
| LISTE DES TABLEAUX | |
| LISTE DES FIGURES | |
| LISTE DES ANNEXES | |
| ANNEXES..... | |
| RESUME/ABSTRACT..... | |

Introduction

L'urbanisation croissante consécutive à l'augmentation démographique de près de 40 % entre 1961 et 2011, a provoqué une multiplication des surfaces habitables par 2,3 sur les quarante dernières années (SOeS, 2012). Or, la majeure partie des constructions s'opère sur des terrains initialement dévolus à d'autres usages (agricoles, forestiers ou semi-naturels) et engendre une demande grandissante en matériaux. En effet, 379 millions tonnes de granulats sont extraits chaque année en France (soit 1 500 à 2 000 ha) pour répondre à la demande (Dasnias, 2002). Pour ce qui concerne la Lorraine, en 2011, la production est estimée à plus de 15 millions de tonnes (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer). En effet, les ressources géologiques potentielles en alluvions récentes sont très abondantes dans les deux principales vallées alluviales de la Meurthe et de la Moselle. Elles sont évaluées à 2 milliards de tonnes (Cartannaz *et al.*, 2012). Elles font donc partie des espaces les plus modifiés par l'Homme au cours des dernières décennies. En outre, la perte de ressources non renouvelables et les modifications irréversibles du paysage ne sont pas sans conséquence sur les milieux. Les impacts sur l'environnement de ces extractions de matériaux causent principalement une mise à nue et une fragilisation de la nappe qui se voit davantage exposée aux pollutions et qui, par conséquent, n'assure plus ses fonctions de rétention des crues et de soutien des étiages (Schéma Départemental des carrières de Meurthe-et-Moselle, 2001).

Néanmoins, dans le cadre de réaménagements écologiques, on estime que « les carrières en eau peuvent jouer un rôle efficace de zone humide et de biotope de substitution ou de complément pour les espèces fragilisées par la disparition des zones humides » (Dasnias, 2002). En plus de milieux riches en biodiversité, ces sites d'origine anthropique sont également prisés et mis à profit pour l'halieutisme et tout particulièrement pour la pêche de la Carpe commune (*Cyprinus carpio*). Pourtant, peu d'entre eux jouissent de tels réaménagements dans la vallée alluviale de la Moselle et encore moins au niveau des plus anciens sites, aujourd'hui sujets à de nombreux dysfonctionnements écologiques majeurs (dystrophie, mortalités piscicoles de masses, blooms algaux ...).

Dés lors, en accord avec La Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) de 2000 qui impose un retour ou un maintien à un bon état écologique des masses d'eau, il semble évident qu'une attention particulière doit être portée à ces milieux « clos » artificiels, trop souvent délaissés au profit des eaux libres. C'est dans ce contexte et de par ses missions participant à la protection des milieux aquatiques que la FDAAPPMA54 a décidé de lancer une étude, en collaboration avec le laboratoire Chrono-Environnement de Besançon, afin d'essayer d'appréhender l'origine de ces dysfonctionnements écologiques.

En raison des connaissances actuelles, l'hypothèse établie serait tout d'abord que *Cyprinus carpio* participe à la perturbation des milieux notamment dans le cas de surpeuplements (Arlinghaus *et al.*, 2003). En effet, « bien qu'originale d'Asie centrale, elle est aujourd'hui très bien acclimatée en France et commune dans les étangs de Sologne, Dombes, Brenne, Camargue et Lorraine au point d'être considérée comme « autochtone » (Bruslé, 2001) ». Cette espèce rustique est l'espèce la plus ancienne et la mieux domestiquée par l'Homme puisqu'elle fait l'objet d'élevages depuis le Néolithique et reste encore la plus importante en pisciculture d'étang (Balon, 1974, 1975). Son succès de colonisation dans des milieux très divers et sa large extension géographique (Bruslé, 2001) résultent de ses exigences écologiques larges. Elle apprécie les milieux stagnants ou lents, aux eaux tièdes à chaudes, avec des fonds sableux ou vaseux riches en végétation aquatique (Bruslé, 2001). De plus, elle présente une très grande tolérance vis-à-vis de l'oxygénation (valeur létale <1mg.L⁻¹) et du stress. Or, très appréciée pour la pêche de loisir, la Carpe commune a tendance à être introduite en grande quantité par les gestionnaires des plans d'eau pour répondre à la demande des pêcheurs (Keith, 2011). C'est l'espèce dont les populations sont les plus soutenues par les empoissonnements en France, sa production variant entre 4 000 et 5 000 tonnes par an (pour un

total annuel mondial de près de 15 000 tonnes) sachant que près de la moitié est destinée au repeuplement (Keith, 2011).

Néanmoins, bien qu'elle présente un intérêt certain en Europe centrale et notamment économique (Keith, 2011), elle est « jugée tout à fait indésirable en Amérique du Nord à cause de sa faible valeur gastronomique et surtout de ses effets écologiques négatifs dans les plans d'eau où son activité fouisseuse induit une forte turbidité de l'eau, défavorable aux développements des végétaux aquatiques et une perturbation des écosystème du fait de son régime omnivore » (Bruslé, 2001). De surcroît, elle est même considérée comme nuisible en Australie où des campagnes d'éradication ont été menées (Balon, 1974). En effet, de plus en plus de gestionnaires et d'auteurs s'accordent à dire que « l'introduction de la carpe dans de nombreux hydrosystèmes a causé de dramatiques perturbations écologiques, surtout dans les milieux lenticques, à la fois sur les communautés de poissons (compétition avec d'autres benthivores) mais aussi sur les macrophytes, invertébrés aquatiques et finalement sur le fonctionnement global des hydrosystèmes (qualité de l'eau, recyclage des nutriments, eutrophisation) ». A ce titre, elle est considérée comme « l'une des principales espèces invasives ingénieurs dans le monde, transformant les milieux lenticques dominés par les macrophytes en eau turbide dominée par le phytoplancton » (Keith, 2011).

Dans un deuxième temps, au-delà de l'action de la carpe en elle-même, les travaux de Arlinghaus ont démontré que l'activité des carpistes qui utilisent massivement des bouillettes c'est-à-dire « des appâts durs bouillis dans l'eau, de composition variable : céréales, œufs, pomme de terre, arômes, additifs... » induirait une accélération de l'eutrophisation (Arlinghaus *et al.*, 2003). En effet, on sait qu'en Allemagne où les carpodromes sont très répandus, un pêcheur peut apporter à lui seul jusqu'à 1 kgP/an/ha dans les eaux continentales (Arlinghaus *et al.*, 2003), soit une moyenne annuelle de 215 kg de bouillettes par pêcheur. De plus, ces appâts commercialisés contiennent en dehors des éléments nutritifs, des conservateurs comme l'acide benzoïque ou du sorbate de potassium, jugés toxiques pour les organismes aquatiques (Rapp *and al.*, 2008).

Tenant compte de toutes ces données et dans la perspective de préserver durablement les gravières, de réduire les empoisonnements et donc les frais engagés par les AAPPMA et les gestionnaires et surtout pour tendre vers une pêche écologique, raisonnée et respectueuse de l'environnement, plusieurs axes de recherches se sont dégagés.

Premièrement, afin de vérifier l'hypothèse suggérant que les principaux déséquilibres écologiques observés sur certaines ballastières (comme les anoxies et par conséquent les mortalités piscicoles de masses) sont dus à un excès de matière organique, diverses analyses seront effectuées sur les sédiments des sites : neuf gravières ont été sélectionnées et regroupées en trois lots suivant leurs caractéristiques (intensité de l'activité de pêche, importance des empoisonnements, état écologique...). La mise en place de suivis mensuels (température, oxygène), de recherches historiques et d'analyses chimiques (COT et C/N) des sédiments issus de carottages permettront ainsi d'évaluer l'évolution de la matière organique sédimentée entre la période de mise en eau et ce jour. En outre, on suppose que cette accumulation de matière organique est d'origine anthropique et notamment halieutique, suite à l'amorçage massif avec des bouillettes. Dès lors, un travail sociologique sera mené auprès des carpistes afin d'appréhender leurs techniques (composition et quantités d'amorces), leurs attentes et leurs ressentis. Ensuite, l'axe de recherche principal consistera à évaluer si l'on retrouve un marquage isotopique de la matière organique issue des appâts dans les sédiments. En effet, les principaux éléments chimiques constitutifs des composés biologiques (C, H, O, N...) possèdent plusieurs formes isotopiques stables c'est-à-dire qu'ils possèdent le même nombre de protons mais différent par leur nombre de neutrons. Les isotopes légers qui contiennent moins de neutrons sont abondants contrairement aux isotopes lourds présents sous forme de traces. Or, leur abondance naturelle varie entre les différents compartiments organiques et inorganiques de la biosphère, les types de plantes (C3 ou C4), les niveaux de chaînes trophiques ... Bien que ces différences soient très faibles (de l'ordre du ‰) elles sont mesurables par Spectromètre de Masse Isotopique ou SMI (Ghashghaie *et al.*, 2001). Les

variations naturelles des isotopes sont dues à un phénomène de fractionnement qui se produit lors d'une transformation entre des molécules de masses différentes ($^{13}\text{CO}_2$ et $^{12}\text{CO}_2$ lors de la photosynthèse par exemple). Sachant que les modèles de fractionnement isotopique ont été établis, il est possible d'interpréter les variations des abondances isotopiques (Perga, 2004) et notamment de mettre en évidence comme on le souhaiterait ici, la présence de carbone issu de plantes en C4 comme le maïs, principal constituant des bouillettes, dans les sédiments des ballastières pêchées. Enfin, en complément des analyses chimiques, une analyse des communautés sub fossiles de chironomes grâce à une approche top-bottom par carottage permettra de déterminer si les bouillettes contenant des toxiques (Rapp *and al.*, 2008) ont un impact sur les communautés d'insectes benthiques, connues pour être de bons indicateurs des changements de qualité de l'interface eau-sédiments Gandouin *et al.*, 2016). Ainsi, l'objectif global consistera à évaluer l'impact de l'activité de pêche sur les gravières de la Moselle et notamment celui des bouillettes et de l'amorçage utilisés pour la pêche de la Carpe commune (*Cyprinus carpio*).

1. Matériel et méthodes

A. Les sites d'étude

Pour ce travail, les neuf gravières étudiées, situées en Lorraine, ont été regroupées en trois lots en fonction de leurs caractéristiques (Tab.I ; Annexe A).

Tableau I : Caractéristiques générales des gravières et regroupement en lots.

| N°lot | Gravières | Localisation | Superficie | Caractéristiques |
|-------|----------------------|-----------------------------|------------|--|
| 1 | Les Grands Prés | Neuviller-sur-Moselle 54290 | 12,5 ha | ➤ Mortalités piscicoles de masse ➤ Empoisonnements importants ➤ Importante activité de pêche |
| | Le Grand Rozot | St-Mard 54290 | 18 ha | |
| | La Grande Chambrette | Tonnoy 54210 | 8,3 ha | |
| | Chambrette | Tonnoy 54210 | 6 ha | |
| 2 | Le Grand Bleu | Pont-à-Mousson 54700. | 18,7 ha | ➤ Lot témoin : ni empoisonné, ni pêché |
| | Navut | Pagny-sur-Moselle 54530 | 6,5 ha | |
| 3 | Justice | Mereville 54850 | 13,8 ha | ➤ Activité de pêche limitée ➤ Peu d'empoisonnements |
| | Le Saulcy | Chaligny – Maron 54230 | 21 ha | |
| | Windel | Mereville 54850 | 9,8 ha | |

a. Données historiques et halieutiques

Des recherches seront menées auprès des exploitants, organismes spécialisés tels que la DDT et les propriétaires pour estimer les périodes d'exploitation de chacune des gravières et ainsi déterminer leur « âge » depuis la mise en eau. En cas de difficultés, des estimations seront faites par le biais de photographies aériennes¹.

Afin d'approfondir les connaissances relatives à chaque site, un maximum d'informations concernant l'activité de pêche (réglementation, nombre de pêcheurs, concours...), les empoisonnements (espèces introduites et quantités), les mortalités piscicoles, la réglementation ... seront recueillies pour mieux appréhender les dysfonctionnements de certains sites et les « pressions » ou impacts anthropiques subits (Annexe A).

b. Données sociologiques

Une enquête a été mise en place au cours de cette étude (Annexe B) ; destinée aux pêcheurs et plus particulièrement aux carpistes, elle a pour objectif de renseigner sur la composition des bouillettes utilisées, les quantités introduites dans les gravières, leurs attentes et leurs préférences...

B. Analyses physico-chimiques

a. Profils thermiques et d'oxygénation des eaux

Des profils de température et d'oxygénation (DO % sat) (mesures tous les cinquante centimètres) seront réalisés mensuellement pendant un an, à la verticale des zones profondes des gravières grâce à une sonde multiparamètres « ProDSS » (Professional Digital Sampling System par YSI) (Fig.1). De même, les profondeurs des zones euphotiques ($Z_{euph} = 2,5 \cdot Secchi$) seront calculées grâce aux mesures de transparence avec un disque de Secchi.

Figure 1 : Sonde multiparamètres ProDSS.
Source : C.SCHMITT, 2017.



¹ <https://www.geoportail.gouv.fr>

b. Prélèvement des sédiments et des échantillons pour analyse

Des carottages de sédiments ont été réalisés (de soixante ou quatre-vingt dix millimètres de diamètre selon le matériel disponible) sur chaque gravière en zone profonde. L'ensemble des analyses est effectué sur les deux premiers (top) et les deux derniers centimètres (bottom) de sédiments (Fig.2).

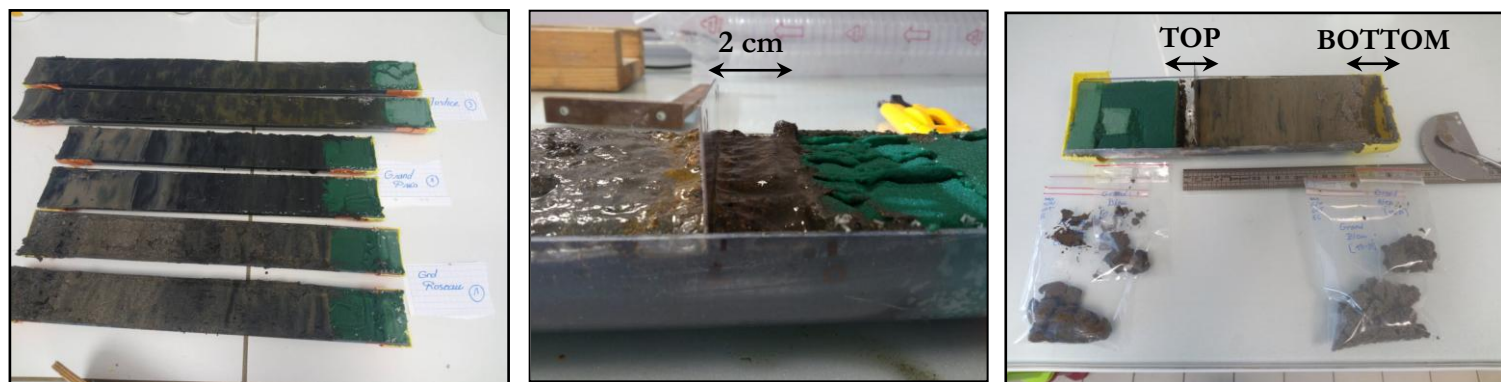


Figure 2 : Photographies des carottages et des prélèvements du « top » et du « bottom » des sédiments.
Source : C.SCHMITT 2017.

c. Rapport C/N et concentration en carbone organique total des sédiments

Les concentrations en carbone organique total (par %MS) des échantillons décarbonatés ont été mesurées par oxydation thermique (détecteur infra-rouge CO₂) : machine « Elementar vario TOC cube ». Par ailleurs, les concentrations en carbone total et les rapports C/NKjeldhal ont été mesurés par oxydation thermique avec détecteur à conductivité thermique (machine « Elementar vario MAX CNS ») sur des échantillons non décarbonatés. Toutes ces analyses ont été effectuées au laboratoire Chrono-environnement sur tous les échantillons c'est-à-dire, le top et le bottom des neuf gravières ainsi que sur trois amorces achetées dans le commerce : de la farine et des bouillettes « Robin red » (Bouillette 1) et « Monster crab » (Bouillette 2) (Annexe C).

Ces analyses permettront d'évaluer l'évolution de la quantité de matière organique sédimentée et son origine, entre la période de mise en eau et ce jour et en fonction des lots de gravières. En effet, au delà de 10%MS on considère que le COT est en excès dans la matière sédimentée (Verneaux *et al.*, 2015) et que la MO est d'origine terrestre si le rapport C/N est supérieur à 10 (et donc aquatique dans le cas d'un ratio inférieur à cette valeur) (Twichell *et al.*, 2002 ; Meyers, 2003).

d. Signature isotopique en carbone et en azote de la matière organique sédimentée

La préparation des échantillons pour les analyses isotopiques, c'est-à-dire leur décarbonatation à l'HCl 10%, leur séchage à l'étude, broyage au mortier et mise dans des cupules d'étain, a été réalisée au laboratoire Chrono-environnement mais les analyses isotopiques par SMI ont été réalisées à l'INRA à Nancy.

Le delta ¹³C (δ¹³C en ‰) de 21 échantillons (top et bottom des neuf gravières ainsi que celui des trois bouillettes) et le delta ¹⁵N (δ¹⁵N en ‰) de 10 échantillons (top des lots 1 et 2 ainsi que les trois bouillettes) seront évalués (Annexe C). En effet, leur signature isotopique en azote renseignera sur la position trophique relative des constituants de la matière organique des sédiments : les consommateurs s'enrichissent en isotopes lourds et présentent donc une signature isotopique supérieure à celle des producteurs primaires (Kernaleguen, 2010).

De même, la signature du carbone indique le métabolisme des producteurs primaires (Kernaleguen, 2010) ainsi que leur origine (aquatique ou terrestre) : « le δ¹³C des plantes en C4 est compris entre -8 et -19‰ et celui des plantes en C3 entre -30 et -20‰ (Brunet, 2004) ».

C. Analyses biologiques sur les sédiments : capsules céphaliques de chironomes.

Les communautés de chironomes sont connues pour être de bons indicateurs des changements de qualité de l'interface eau-sédiments des lacs. En effet, ils sont utilisés en paléocéologie pour reconstituer les conditions passées des milieux et informent sur les teneurs en phosphore, chlorophylle a, mais aussi d'autres facteurs mésologiques comme le pH, l'oxygénation, la salinité, le type de substrat ou encore la profondeur du milieu (Gandouin *et al.*, 2016).

Dès lors, les communautés du top et du bottom seront analysées pour chaque gravière, à l'exception de « Justice » faute de sédiments frais disponibles. Les données permettront de mettre en évidence si les communautés ont « évolué » au cours du temps. Pour cela, les sédiments sont passés au tamis de maille 63 microns, triés à la loupe binoculaire et les capsules céphaliques montées sous lame et lamelle avec de la résine (Fig.3). L'identification des différents genres sera faite sous microscopie optique (Fig.3) avec les clés de détermination suivantes : S.J. BROOKS *and al.*, "The Identification and Use of Palaearctic Chironimidae Larva in Palaeoecology" et "Chironomidae of the Holarctic region" par T. WIEDERHOLM, 1983.



Figure 3 : Tamisage des sédiments et identification des capsules céphaliques de chironomes sous microscopie optique (ici *Tanytarsus*). Source : C.SCHMITT, 2017.

Un tableau synthétique résumant l'ensemble des analyses effectuées sur les échantillons est disponible en annexe C, de même qu'un calendrier en annexe D décrivant la répartition des tâches durant l'étude.

D. Analyses statistiques

▪ Tests non paramétriques de comparaisons deux à deux

Les résultats des analyses chimiques (C/N et COT) seront comparés deux à deux avec des tests de Mann et Whitney. Ils serviront à montrer si les caractéristiques chimiques de la matière organique sédimentée diffèrent entre le top et le bottom et entre les lots de gravières.

▪ Analyse factorielle de correspondances (AFC)

Les différents genres de chironomidés inventoriés (effectif/gMF) serviront à réaliser une analyse multivariée : analyse factorielle de correspondances, afin de révéler les tendances de distribution des communautés sur les différents sites et entre le top et le bottom. Les taxons indéterminés ou n'apparaissant que dans un seul relevé n'ont pas été pris en compte dans l'analyse.

▪ Analyse en composantes principales (ACP) et groupement hiérarchique

Les principaux résultats des analyses physico-chimiques (O_2 min avril et mars, $\Delta_{\max-\min} O_2$ avril et mars, $\Delta_{\text{top-bottom}} C/N$ et COT, C/N et COT top, $\Delta_{\max-\min} T^\circ$ avril, $\Delta_{\text{top-bottom}} \delta^{13}C$, $\delta^{13}C$ top, Zeuph mars et avril) de chaque site seront traités par une analyse en composantes principales afin de vérifier la pertinence du regroupement en lots établi initialement. Si ce regroupement diffère du premier, une classification non supervisée permettra de déterminer de nouveaux lots sur la base des données recueillies durant l'étude.

2. Résultats

A. Données sur les sites

a. Données sociologiques et halieutiques

Les données et les détails concernant chaque site sont disponibles en annexe A. Par ailleurs, les résultats de l'enquête sont en attente d'être recueillis et ne seront pas présentés dans ce travail.

B. Analyses physico-chimiques

a. Hauteur de la zone euphotique

L'évolution de hauteur de la zone euphotique est un critère fondamental en hydrobiologie : elle renseigne sur l'épaisseur de la zone de production primaire et dépend de la transparence de l'eau. Entre mars et avril, on remarque que la profondeur de la zone euphotique a augmenté sur Justice, le Saulcy, le Grand Bleu ou est restée presque équivalente sur Navut, Windel (*Tab.II*). Dans le cas de ces gravières, la lumière pénètre sur la totalité de la couche d'eau (*Fig.4*). Au contraire, bien que la transparence ait peu changé sur les gravières du lot 1 entre les deux campagnes, leurs zones euphotiques sont plus minces et ne représentent que 50% (Grande Chambrette et Chambrette) ou 75% (Grands Prés) de la profondeur totale ; exception faite du Grand Rozot.

Tableau II : Evolution de la transparence (transp Secchi) et de la profondeur de la zone euphotique (Z euph = 2,5.transp Secchi) entre mars et avril sur les différentes gravières.

| | | Lot 1 | | | | Lot 2 | | Lot 3 | | |
|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------------|------------|------------|-------|-----------|---------|--------|
| | | Grands Prés | Grand Rozot | Grande Chambrette | Chambrette | Grand Bleu | Navut | Le Saulcy | Justice | Windel |
| Mars 2017 | Transp (en m) | 0,5 | 3 | 0,3 | 0,35 | 1,4 | 2,7 | 1,8 | 0,5 | 2,5 |
| | Z euph (en m) | 1,25 | 7,5 | 0,75 | 0,87 | 3,5 | 6,75 | 4,5 | 1,25 | 6,25 |
| Avril 2017 | Transp (en m) | 0,75 | 2,5 | 0,32 | 0,27 | 2,5 | 2,5 | 3 | 2,5 | 2,5 |
| | Z euph (en m) | 1,87 | 6,25 | 0,8 | 0,67 | 6,25 | 6,25 | 7,5 | 6,25 | 6,25 |

b. Profils thermiques et d'oxygénation de l'eau

Seuls les résultats des campagnes de mars et d'avril 2017 sont disponibles au moment de la rédaction ; la profondeur de la zone euphotique a été matérialisée sur les graphiques (*Fig.4*).

Globalement, on remarque que les profils thermiques de mars sont similaires : les températures sont stables tout le long du profil et comprises entre 7 (gravières du lot 1) et 9°C (Windel). Par ailleurs, la plupart des profils évoluent lors de la campagne d'avril : les températures augmentent notamment en surface et surtout sur les plans d'eau les moins profonds (Grande Chambrette et Chambrette) ; elles sont comprises entre 13 et 17°C. De plus, ils ne sont pas toujours homogènes sur toute la profondeur, comme c'est le cas pour la majorité des gravières du lot 1 : les températures diminuent progressivement avec la profondeur sur les Grands Prés, Grande Chambrette et Chambrette, les sites sont stratifiés.

Concernant l'oxygénation, les profils sont encore une fois assez homogènes lors de la campagne de mars et se situent aux alentours d'une saturation de 100% sauf pour Justice où elle est de 150%. En avril, les saturations ont augmenté entre 110 et 130% pour les gravières des lots 2 et 3. Par ailleurs, le pourcentage de saturation a chuté de 150 à 60 pour Justice entre mars et avril. Les gravières du lot 1 ont des comportements différents : très oxygénées en surface (>150%), elles ont une désoxygénation progressive de l'hypolimnion, sauf pour Le Grand Rozot où la saturation augmente avec la profondeur. Enfin, on remarque un profil marquant pour la gravière Windel, avec une désoxygénation très brutale entre 2 et 2,5 m de fond (112% à 19% de saturation).

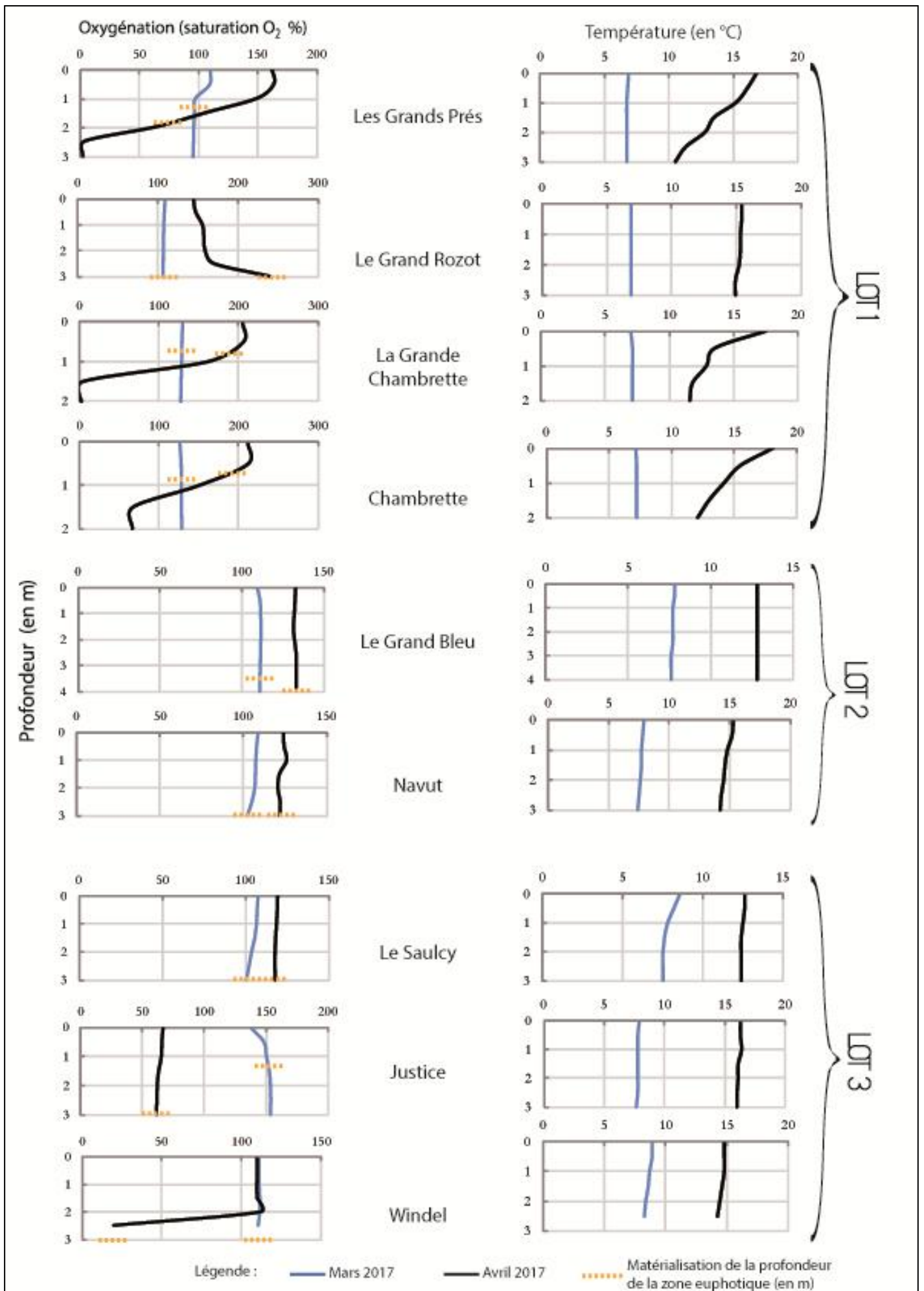


Figure 4 : Profils d'oxygénation et de température des gravières en mars et avril 2017. Source : C.SCHMITT, 2017.

c. Résultats des analyses chimiques de la MO sédimentée (C/N et COT)

Les résultats des analyses chimiques sur les sédiments sont présentés dans la figure 5. Par souci de lisibilité, ceux concernant les bouillettes ne sont pas présentés sur le graphique mais ci-contre : les bouillettes ont des teneurs en COT et N élevées.

| | COT (%MS) | C/N |
|-------------------------------|-----------|------|
| Bouillette 1 « Robin red » | 23,69 | 3,38 |
| Bouillette 2 « Monster crab » | 28,73 | 6,06 |
| Farine | 31,65 | 9,66 |

On remarque que globalement les sédiments du bottom contiennent moins de 4% de carbone organique total tandis qu'à l'exception du Grand Bleu, du Grand Rozot et de Windel, la majorité des sédiments récents (top) en contient plus de 4%. Les sédiments récents du plan d'eau Justice sont les plus riches et contiennent plus de 10% de COT.

Les sédiments anciens sont donc majoritairement moins riches que les sédiments récents, les gravières se sont enrichies au cours du temps à l'exception du Grand Rozot qui s'est appauvri (Fig.5). Par ailleurs, la richesse en matière organique des sédiments ne semble pas varier en fonction des lots de gravières (vérification partie d ci-dessous).

En ce qui concerne les rapports C/N, la figure 5 illustre que la plupart des sédiments anciens ont un ratio supérieur à 10 alors que les récents sont plutôt en dessous de cette valeur. Comme pour le COT, le ratio C/N ne semble pas fluctuer suivant les lots.

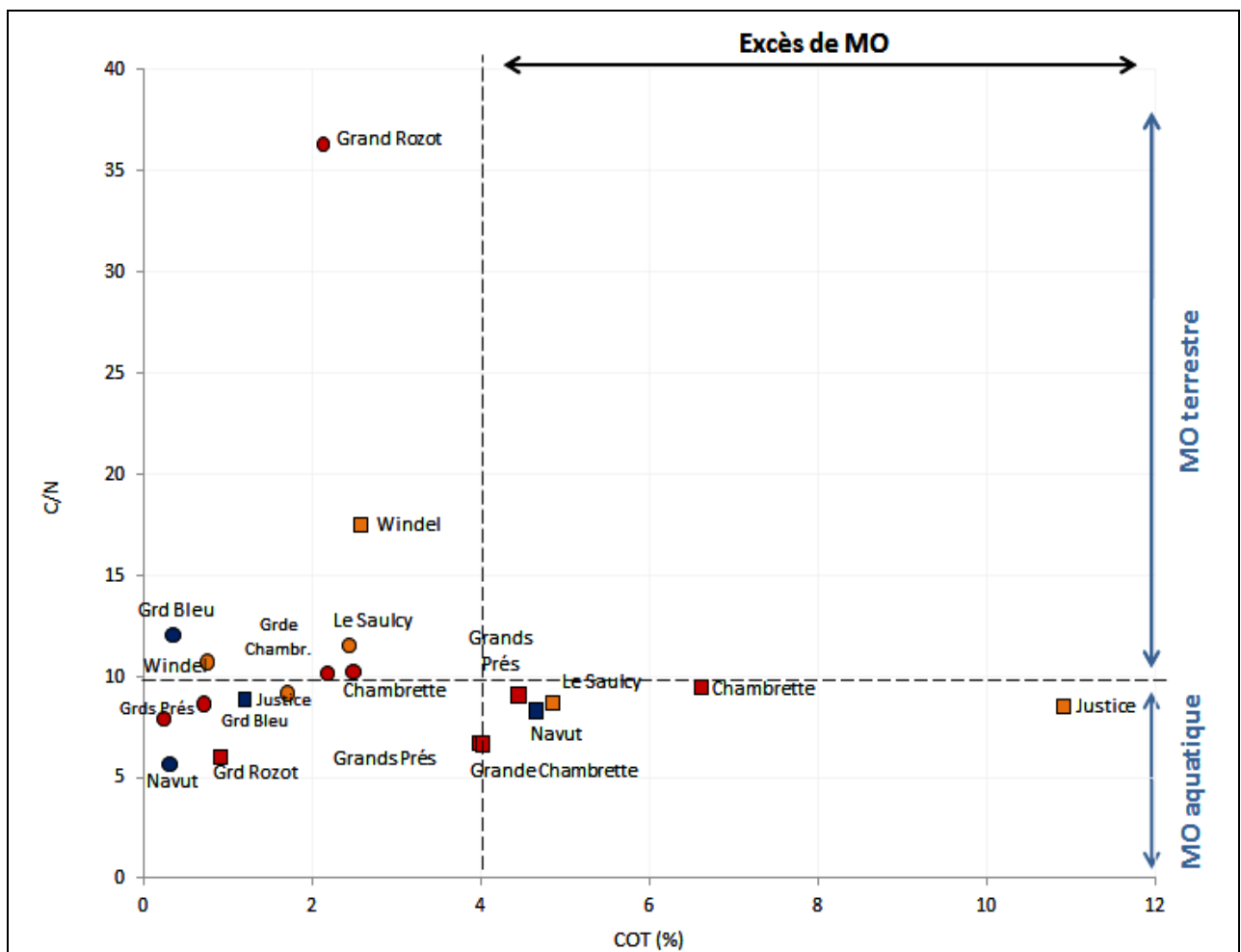


Figure 5 : Rapports C/N en fonction du COT(%) pour chacun des sites étudiés. Légende : la forme du symbole renseigne sur le type de prélèvement : rond (bottom), carré (top) et la couleur sur l'appartenance du site à un lot : rouge (lot 1), bleu (lot 2) et orange (lot 3).

d. Comparaisons statistiques entre top et bottom et entre les lots de gravières

▪ Comparaisons TOP vs BOTTOM des sédiments

Des tests statistiques de comparaisons deux à deux ont permis de mettre en évidence que les rapports C/N n'étaient pas significativement différents entre le top et le bottom des carottes, contrairement aux concentrations en COT (Fig.6). En effet, les sédiments récents, avec une concentration médiane de plus de 4% pour les neuf gravières, sont plus riches en COT que les anciens (concentration médiane légèrement supérieure à 1%).

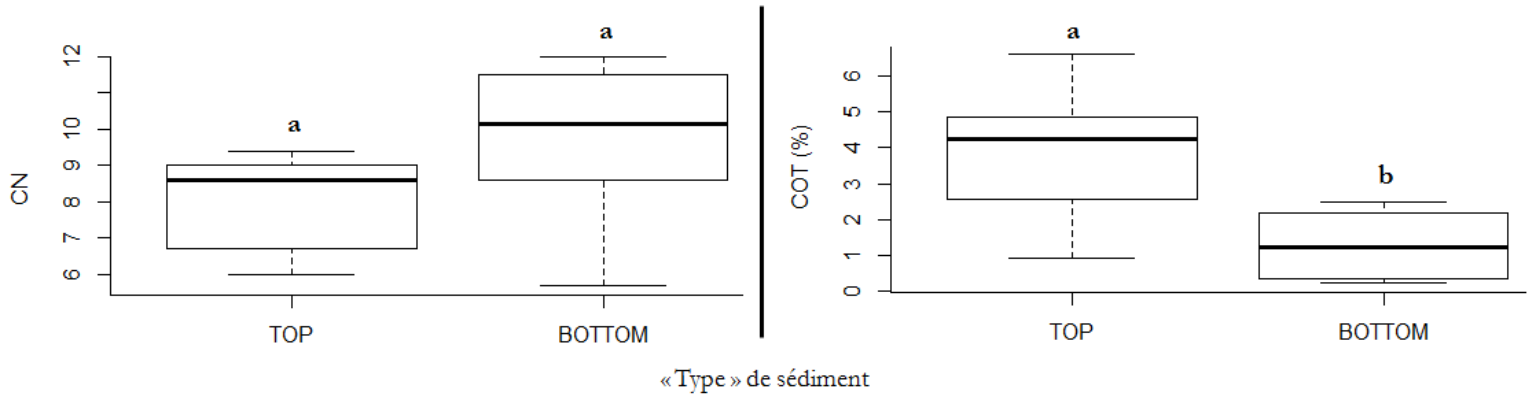


Figure 6 : Comparaison des rapports C/N et de la concentration en COT entre le top et le bottom des sédiments. Les lettres indiquent des différences significatives entre les données (Test de Mann et Whitney, $P < 0,05$).

▪ Comparaisons des caractéristiques des sédiments de chaque lot de gravières

Les analyses statistiques n'ont montré aucune différence de concentration en carbone organique total ou de ratio C/N entre les différents lots, que ce soit pour le top ou le bottom des carottes (Fig.7).

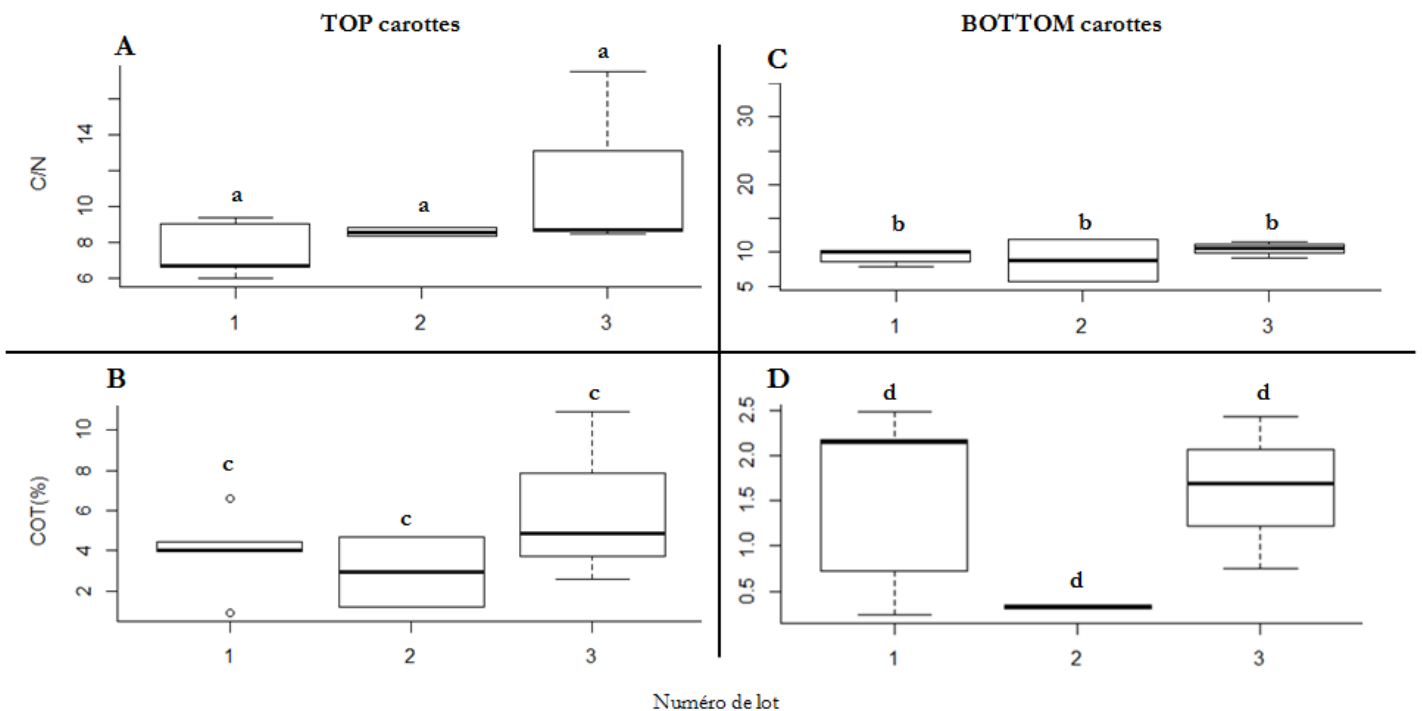


Figure 7 : Comparaison des rapports C/N et de la concentration en COT entre le top et le bottom des sédiments et entre les lots de gravières. Les lettres indiquent des différences significatives entre les données (Test de Mann et Whitney, $P < 0,05$).

e. Données historiques et enrichissement en MO

L'historique des gravières est détaillé sous forme de frise chronologique (Fig.8). On constate que les neuf gravières ont été exploitées au cours du 20^{ème} siècle mais sur des périodes plus ou moins longues.

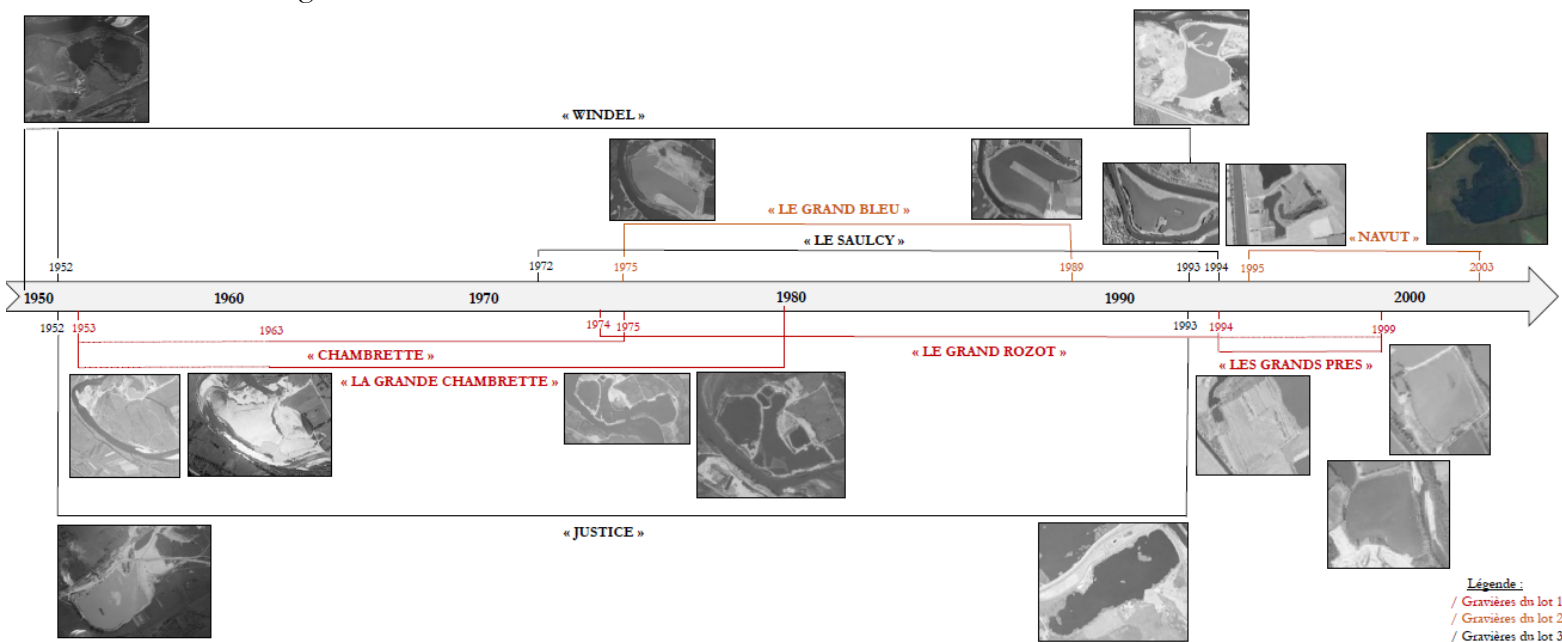


Figure 8 : Frise chronologique de l'exploitation des gravières. Source : Geoportail ; C.SCHMITT, 2016.

La gravière la plus ancienne est « Chambrette », elle est en eau depuis 42 ans (Tab.III). Par ailleurs, contrairement à ce que l'on pourrait penser, les gravières du lot 1, c'est-à-dire celles qui subissent d'importants déséquilibres ne sont pas les plus vieilles : elles ont entre 18 et 42 ans et dans le cas de « Les Grands Prés » et « Le Grand Rozot », sont plus récentes que les gravières des lots 2 et 3 (Tab.III).

Tableau III : Descriptif de l'historique des exploitations et données sur leur enrichissement en carbone organique total par années.

| Lot | Gravières | Exploitation | | « Âge » gravière depuis mise en eau (années) | Enrichissement en COT/année |
|-----|-------------------|--------------|------|--|-----------------------------|
| | | Début | Fin | | |
| 1 | Les Grands Prés | 1994 | 1999 | 18 | 0,20 |
| 1 | Grand Rozot | 1974 | 1999 | 18 | -0,07 |
| 1 | Grande Chambrette | 1953 | 1980 | 37 | 0,05 |
| 1 | Chambrette | 1953 | 1975 | 42 | 0,10 |
| 2 | Grand Bleu | 1975 | 1989 | 28 | 0,03 |
| 2 | Navut | 1995 | 2003 | 14 | 0,31 |
| 3 | Le Saulcy | 1972 | 1994 | 23 | 0,38 |
| 3 | Justice | 1952 | 1993 | 24 | 0,08 |
| 3 | Windel | 1952 | 1993 | 24 | 0,10 |

Dès lors, afin de vérifier si les teneurs en COT des sédiments sont en relation et dépendantes de l'âge des sites, les enrichissements c'est-à-dire les $\Delta\text{COT}/\text{an}$ des gravières ont été calculés (Tab.III ; Fig.10).

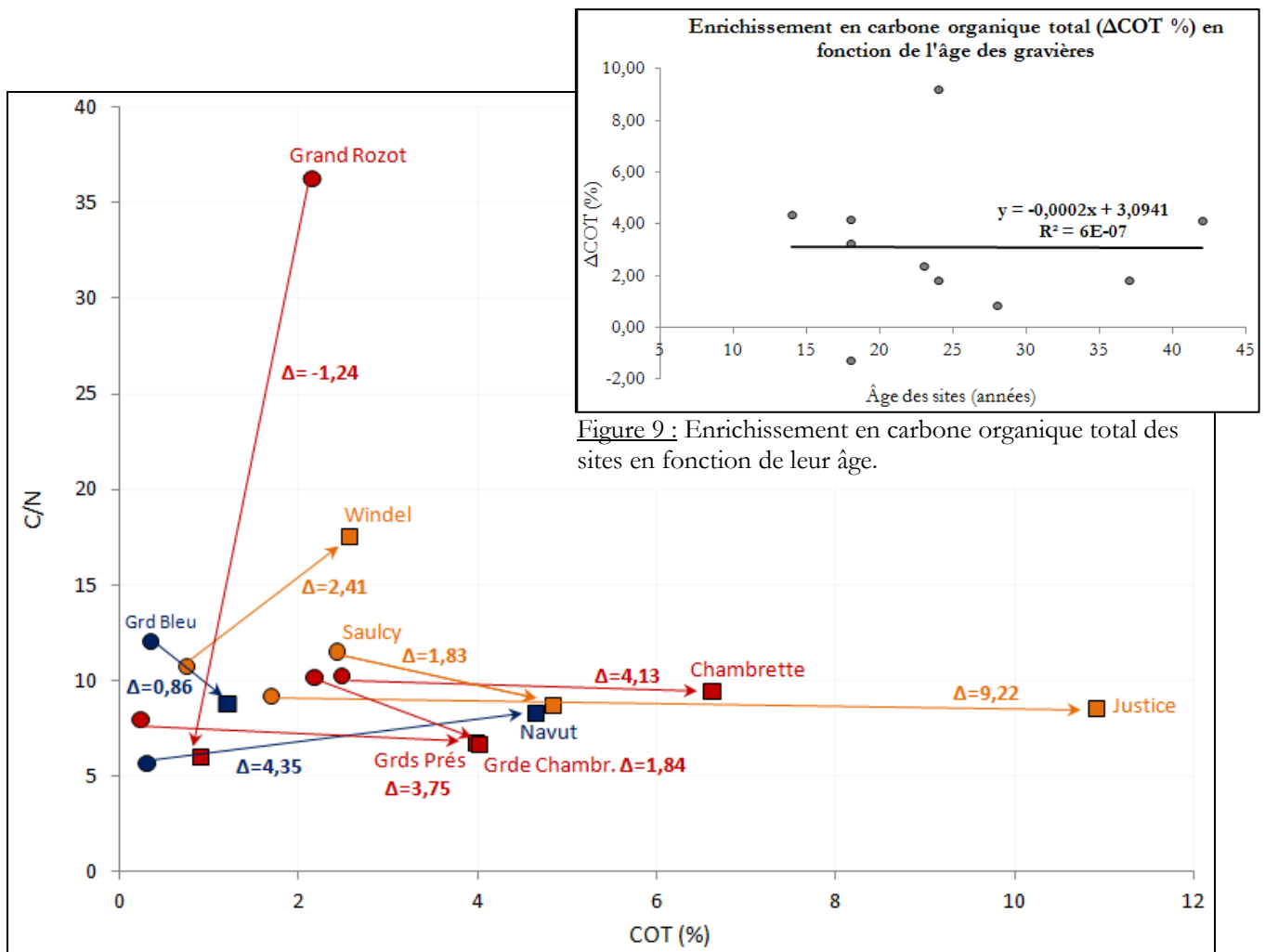


Figure 9 : Enrichissement en carbone organique total des sites en fonction de leur âge.

Figure 10 : Rapports C/N du top et du bottom de chacune des gravières en fonction du pourcentage de carbone organique total. **Légende** : L'enrichissement en matière organique (ΔCOT) est symbolisé par des flèches ; la forme du symbole renseigne sur le type de prélèvement : rond (bottom), carré (top) et la couleur sur l'appartenance du site à un lot : rouge (lot 1), bleu (lot 2) et orange (lot 3).

La figure 9 met nettement en évidence qu'il n'y a pas de relation linéaire entre l'enrichissement en matière organique des sédiments et l'âge des gravières. De même, ce ne sont pas les gravières du lot 1 qui ont les sédiments qui se sont le plus enrichis au cours du temps (Tab.III ; Fig.10). En effet, bien qu'ils appartiennent respectivement aux lots 3 et 2, le Saulcy et Navut, sont les sites qui ont le plus accumulé de carbone organique au cours des années (0,38 et 0,31% COT/an). Au contraire, le Grand Rozot s'est appauvri au cours des années (Tab.III). Par ailleurs, Justice n'est pas le site qui s'est le plus enrichi par année mais c'est celui qui a la différence de concentration en COT la plus importante entre ses sédiments anciens et les sédiments récents : $\Delta\text{COT} = 9,22\%$ (Fig.10)

f. Signature isotopique en carbone et en azote de la matière organique sédimentée

La figure 11, présentant les résultats des analyses isotopiques illustre le fait que la farine et la bouillette 1 ont un $\delta^{13}\text{C}$ compris entre -10 et -21‰, contrairement à la bouillette 2 et aux sédiments des ballastières qui sont compris entre -24 et -31‰. Les sédiments des sites du lot 1 sont ceux qui ont les signatures isotopiques les plus faibles.

Concernant les signatures isotopiques de l'azote, on remarque que le $\delta^{15}\text{N}$ de la farine est faible (légèrement supérieur à 1‰) tandis que celui des deux bouillettes est supérieur à 5‰. Les différents sites ont des deltas ^{15}N assez variables.

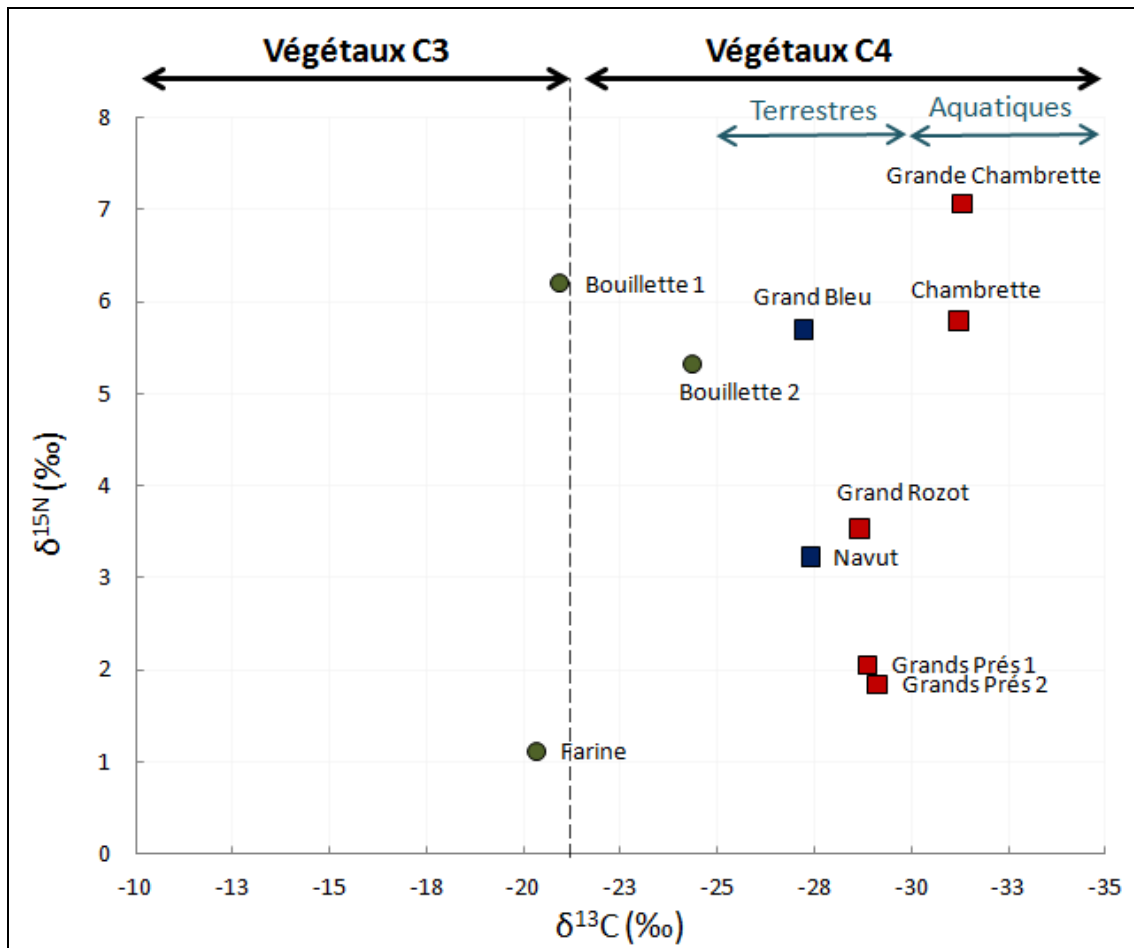


Figure 11 : Signatures isotopiques ($\delta^{15}N$ en fonction de $\delta^{13}C$) des sédiments et des bouilletes. Légende : la forme du symbole renseigne sur le type de prélèvement : rond (amorce), carré (top) et la couleur sur l'appartenance du site à un lot : rouge (lot 1), bleu (lot 2) et orange (lot 3).

C. Regroupement des ballastières en lots : analyse en composantes principales et groupement hiérarchique

L'analyse en composantes principales établie sur la base des principales données physico-chimiques (*Annexe E*) est présentée en figure 12. Les gravières se séparent en deux groupes le long de l'axe PC1 ainsi que le long de l'axe PC2. Les variables qui participent à cette distinction des sites sont tout d'abord l'oxygénation minimale en avril, le delta O_2 en avril puis à moindre influence, le delta C/N entre le top et le bottom et enfin l' O_2 minimale en mars.

Contrairement aux regroupements établis au début de l'étude, le Grand Rozot n'a pas les mêmes caractéristiques que les Grands Prés, la Grande Chambrette et la Chambrette et se distingue par son importante saturation en oxygène en avril (minimum de 145%). A l'inverse, les autres possèdent une importante désoxygénation de l'hypolimnion par rapport à l'épilimnion.

Le Grand Bleu, Navut et le Saulcy se ressemblent du fait de leur oxygénation relativement constante le long des profils (ΔO_2 avril compris entre 1,7 et 5,4).

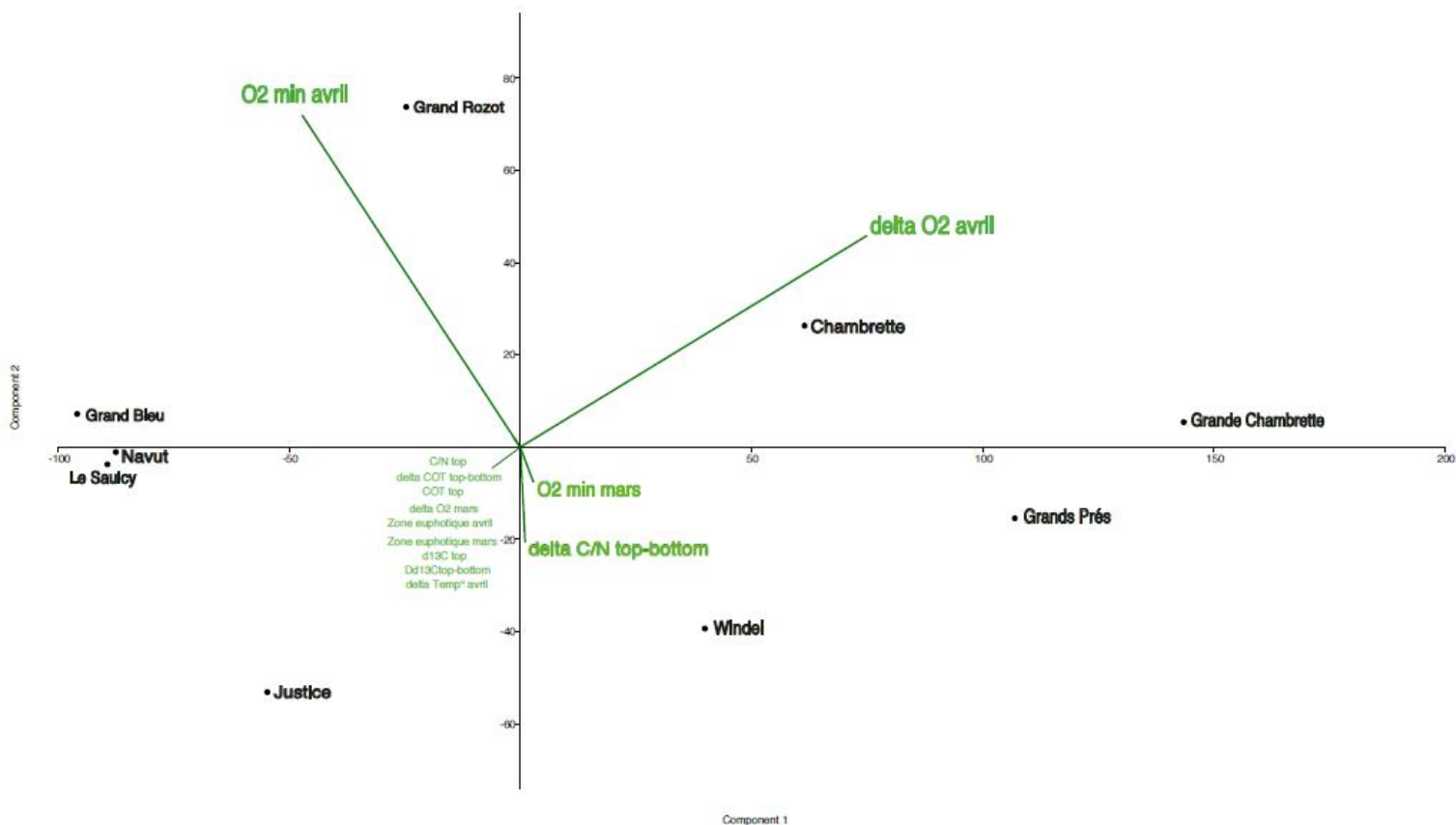


Figure 12 : Analyse en composantes principales calculée sur la matrice physico-chimique (*Annexe E*).

Afin de mieux mettre en évidence les similarités entre sites, une classification non supervisée a été effectuée ; les ballastières se regroupent en quatre nouveaux lots à un niveau de coupure de 0,05 (Fig. 13) :

| Gravières | Lot |
|----------------------|-----|
| Les Grands Prés | 1 |
| Le Grand Rozot | |
| Le Grand Bleu | 2 |
| Navut | |
| Justice | |
| Windel | 3 |
| La Grande Chambrette | |
| Chambrette | |
| Le Saulcy | 4 |

Les regroupements proposés par le dendrogramme ne sont pas les mêmes que ceux établis au début de l'étude ; ils semblent désormais moins pertinents au vu des données physico-chimiques recueillies.

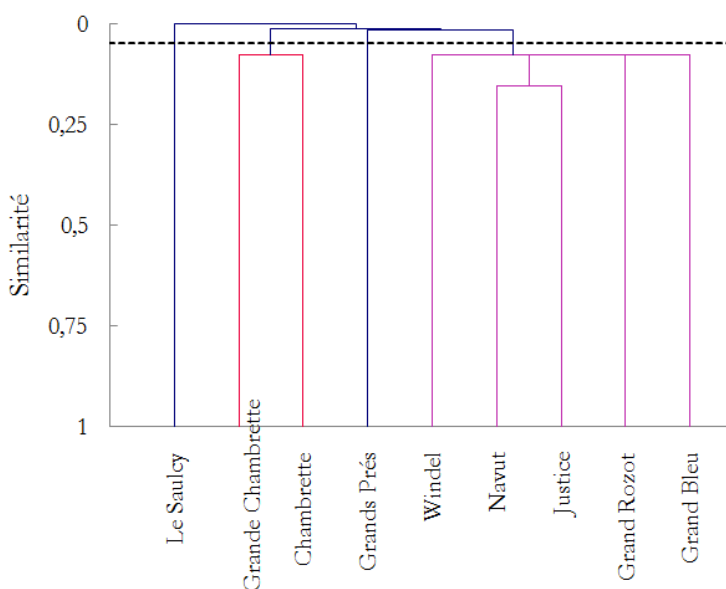


Figure 13 : Dendrogramme construit avec la méthode des liens complets.

D. Communautés de chironomes : Analyse factorielle de correspondances (AFC)

Une analyse multivariée a permis de révéler les tendances de distribution des communautés de chironomes sur les différents sites et entre le top et le bottom (Fig. 14). La matrice sur laquelle a été réalisée cette analyse est disponible en annexe F.

Les taxons se séparent le long de l'axe F1 et F2, qui expliquent respectivement la distribution à 40 et 33%. Les taxons contributifs aux regroupements le long de l'axe F1 (% ctr > 10%) sont : *Chironomus*, *Einfeldia*, *Cricotopus* et *Paratanytarsus*. On remarque un gradient temporel le long de cet axe, avec les communautés anciennes des bottoms à gauche, puis un regroupement des communautés actuelles des tops à droite : il y a une évolution des communautés au cours du temps, le long d'un axe de saprophilie croissante. Toutefois, Navut et le Saulcy ont des peuplements top de type bottom. Les taxons contributifs aux regroupements le long de l'axe F2 (% ctr > 10%) sont : *Psectrocladius*, *Dicrotendipes* et *Corynoneura*.

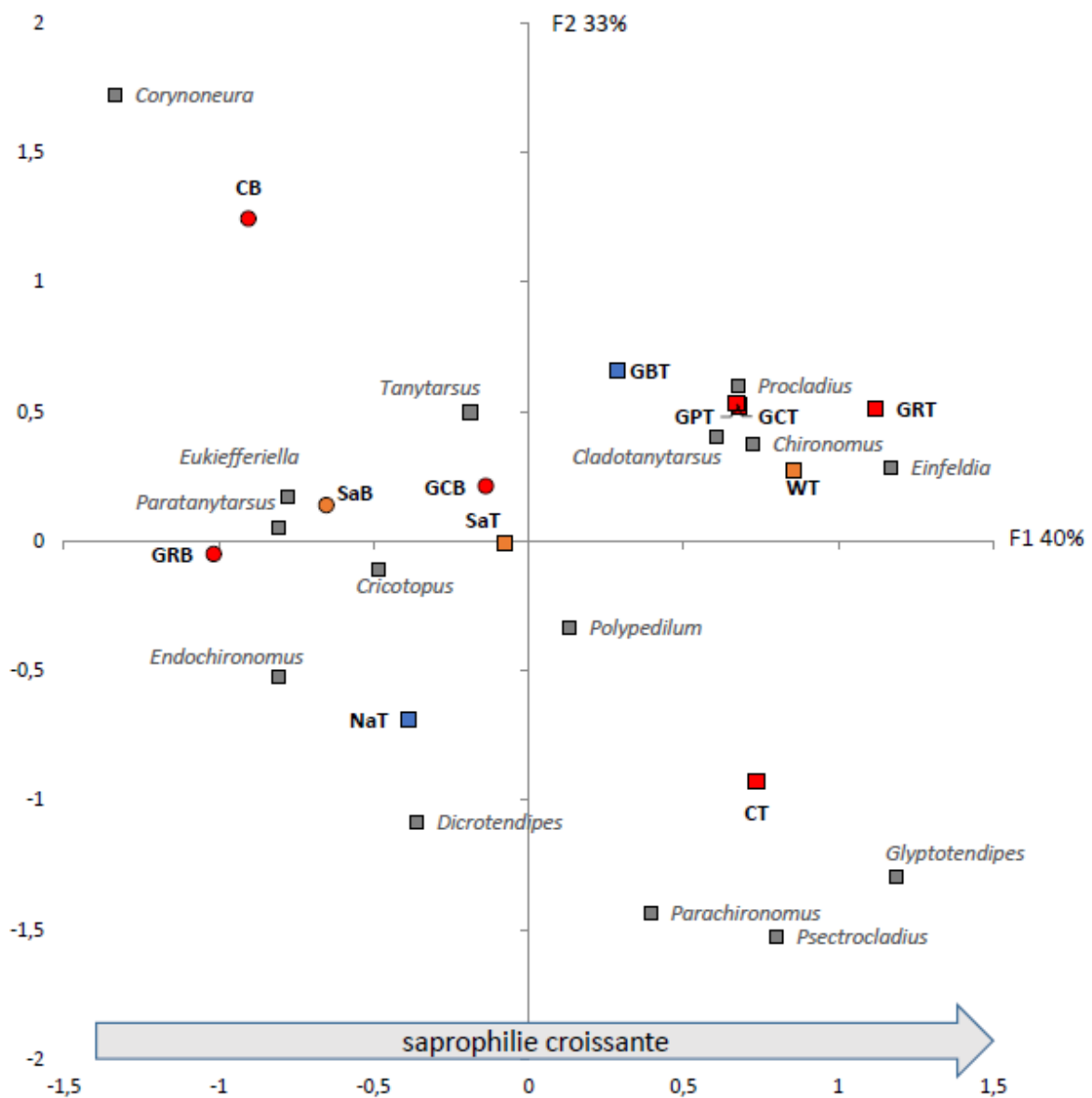


Figure 14 : Analyse factorielle de correspondances calculée sur la matrice chironomes (Annexe F).
 Légende : la forme du symbole renseigne sur le type de prélèvement : rond (bottom), carré (top) et la couleur sur l'appartenance du site à un lot : rouge (lot 1), bleu (lot 2) et orange (lot 3).

3. Analyse et discussion des résultats

Les profils thermiques et d'oxygénations (*Fig.4*) sont dès le début de l'étude informatifs sur les différences de comportements des sites. En effet, en avril les températures varient en fonction des profondeurs sur les Grands Prés, la Grande Chambrette et Chambrette, signe d'une stratification thermique sur les gravières du lot 1 à l'exception du Grand Rozot qui conserve des températures homogènes tout comme les ballastières des lots 2 et 3. Cette notion de stratification estivale est capitale et implique l'arrêt des échanges entre les eaux du fond, plus froides (hypolimnion) et de surface, plus chaudes (épilimnion) (Pourriot *et al.*, 1995).

De plus, concernant l'oxygénation, on remarque qu'elle est moins importante en surface sur le Grand Rozot que sur les autres gravières du même lot mais qu'elle augmente avec la profondeur, signe d'une production primaire efficace dans l'hypolimnion. En effet, la zone euphotique de ce site, plus profonde (3m) permet une importante production primaire, et ce, dans toute la masse d'eau (*Tab.II*). Au contraire, pour les autres ballastières du lot 1, bien que la production primaire soit importante en surface (>150%) on observe une désoxygénation progressive de l'hypolimnion (*Fig.4*). La turbidité, résultant de densités phytoplanctoniques élevées et des matières en suspension, limite la pénétration des rayonnements lumineux et réduit l'épaisseur de la zone trophogène qui est inférieur à un mètre sur la Grande Chambrette et Chambrette (*Tab.II*). De surcroît, la stratification thermique sur ces sites agit comme une barrière aux transferts verticaux et empêche la circulation et le renouvellement d'O₂ dans la couche profonde qui s'appauvrit suite aux processus de biodégradation aérobie (Pourriot *et al.*, 1995). Tout laisse supposer que les fonds désoxygénés et très probablement anoxiques dans les mois à venir, sont à l'origine des mortalités piscicoles estivales. Sur les gravières où les peuplements piscicoles semblent bien portant, c'est-à-dire, celles appartenant aux lots 2 et 3, les profils d'oxygénation sont homogènes et réguliers de la surface jusqu'au fond. La désoxygénation brutale entre 2 et 2,5 m sur la gravière Windel (*Fig.4*) est étonnante, une erreur de mesure sur le dernier point est probable car sa zone euphotique n'a pas diminuée entre mars et avril.

Ces premières analyses laissent donc déjà supposer des différences de niveau trophique entre les gravières : les ballastières du lot 1 ont les caractéristiques de milieux eutrophes (voire potentiellement dystrophes durant la période estivale, la suite des relevés le confirmera ou non), trop riches et trop peu oxygénés pour permettre une biodégradation efficace de la matière organique, exception faite du Grand Rozot. Sur ce site, l'absence de désoxygénation ne peut pas expliquer les importantes mortalités qui ont eu lieu, on présume donc que c'est à l'inverse la sursaturation élevée qui a pu causer des embolies gazeuses aux organismes aquatiques. « La sursaturation en O₂, ne présente pas, en elle-même, de danger, mais c'est la variation nyctémérale importante de ce paramètre qui soumet les organismes à des stress importants » (Leynaud *et al.*, 1987). On peut arriver en période nocturne à l'anoxie, donc à des mortalités brutales rapides, difficilement identifiables parce que le matin le taux d'oxygène est tout à fait normal. Il serait donc intéressant pour vérifier cette hypothèse de suivre le cycle complet de l'O₂ sur ce site, pendant au moins 24 heures.

La mauvaise dégradation de la matière organique sur les gravières du lot 1, se reflète dans les résultats de la figure 5 où l'on constate que la MO sédimentée actuelle (top) est d'origine aquatique. De plus, ces sédiments qui contiennent plus de 4% de carbone organique total présentent un excès de MO (Verneaux *et al.*, 2015) contrairement à ceux, plus anciens du bottom (< 4%) (*Fig.5 ; Fig.6*). Ces résultats mettent donc en évidence le fait qu'il y a eu un enrichissement des milieux/vases au cours du temps sauf pour le Grand Rozot qui s'est appauvri (*Fig.10 ; Tab.III*).

Dés lors, cet enrichissement est-il une conséquence de l'activité de pêche ou un phénomène naturel de vieillissement qui serait proportionnel avec l'âge des sites ? La figure 9 révèle qu'il n'y pas de relation linéaire entre l'enrichissement en matière organique des sédiments et l'âge des gravières. La durée depuis la mise en eau des sites n'est donc pas le seul paramètre influençant les teneurs en

COT des vases. Néanmoins, ce ne sont pas les gravières du lot 1, intensément pêchées qui ont les sédiments qui se sont le plus enrichis au cours du temps (*Fig.10 ; Tab.III*). En effet, bien qu'ils appartiennent respectivement aux lots 3 et 2, le Saulcy et Navut sont les sites qui ont le plus accumulés de carbone organique au cours des années (0,38 et 0,31%COT/an) (*Tab.III*). D'ailleurs, les tests statistiques ont montré que les concentrations en COT ne diffèrent pas suivant les lots (*Fig.7*).

En ce qui concerne le rapport carbone sur azote, il informe sur l'origine de la MO des sédiments : la plupart des bottoms ont un ratio supérieur à 10, il s'agit donc de MO d'origine terrestre (Twichell *et al.*, 2002 ; Meyers, 2003) tandis que les sédiments récents sont plutôt en dessous de cette valeur, ils sont d'origine aquatique (*Fig.5*). Seul Windel diffère de ce constat, ses sédiments récents ont un rapport C/N >10, ce qui s'explique par la présence d'une vaste zone forestière à proximité (Moulin bois). Ces données suggèrent que (la figure 6 n'a pas révélé de différence significative entre top et bottom) par le passé, les cycles de biodégradation permettaient une décomposition efficace de la MO aquatique autochtone ; les sédiments contenaient donc essentiellement de la MO terrestre allochtone qui s'accumulait car, plus lignifiée et plus difficilement dégradable (Pourriot *et al.*, 1995). Au contraire, les rapports C/N des tops semblent démontrer qu'actuellement la matière organique aquatique est mal ou moins bien transférée au sein des réseaux trophiques, car probablement en excès, d'où les désoxygénations de l'hypolimnion des gravières du lot 1. Encore une fois, il n'y a pas eu de discrimination des ratios C/N en fonction des lots (*Fig.7*). Les ratios C/N des amorces sont relativement élevés (3,38 et 6,06 pour les bouillettes 1 et 2) et notamment pour la farine qui avoisine 10. Cette matière organique terrestre issue du maïs est difficilement dégradable.

Les données traitant du suivi et la traçabilité de la MO sédimentée ont montré que, la farine et la bouillette 1 (« Robin red ») ont un $\delta^{13}\text{C}$ compris entre -10 et -21‰ (*Fig.11*) ; il s'agit donc de MO issue de plantes en C4 (Brunet, 2004) comme le maïs (ce qui est confirmé par l'étiquette qui décrit la composition sur le paquet d'emballage). Par ailleurs, la seconde bouillette (« Monster crab ») possède une signature isotopique de -24‰, révélatrice de la présence de carbone issu de plantes en C3 (Brunet, 2004). Aucune indication sur la composition de cette amorce n'étant indiquée sur le paquet on ne peut que supposer qu'elle contient par exemple du blé ou des pommes de terre. En effet, il est possible de déterminer le métabolisme des plantes dont proviennent le carbone car « le ^{12}C atmosphérique est préférentiellement intégré au cycle photosynthétique par les enzymes fixatrices du CO_2 . Cette discrimination envers le ^{13}C étant plus intense chez la RubisCo que la PEP carboxylase, les plantes en C3 ont une signature isotopique en carbone plus négative que celle des plantes en C4 » (Kernaleguen, 2010). Le faible $\delta^{15}\text{N}$ de la farine (*Fig.11*), propre aux producteurs primaires, confirme les données précédentes, cette amorce en poudre contient essentiellement de la farine de maïs. Par ailleurs, les signatures des bouillettes sont plus élevées, signe de la présence d'azote d'origine animal car les consommateurs s'enrichissent en isotopes lourds et présentent ainsi une signature isotopique supérieure à celle des producteurs primaires. En effet, comme « l'isotope ^{14}N est préférentiellement excrété par rapport à l'azote lourd ^{15}N , le rapport ^{15}N augmente à chaque niveau trophique, en moyenne de +3 à 5‰. La signature isotopique en azote nous renseigne donc sur la position trophique relative des individus » (Kernaleguen, 2010). Les deux bouillettes analysées sont donc des mélanges de produits végétaux et animaux.

De plus; le fait que les sédiments de toutes les ballastières aient un $\delta^{13}\text{C}$ compris entre -24 et -31‰ signifie que la MO ne contient pas de carbone provenant d'une plante en C4 et cela quelque soit le lot de ballastière.

Les analyses statistiques n'ont donc pas mis en évidence de différence entre les sédiments des trois lots de ballastières d'un point de vue chimique (COT et C/N) (*Fig.7*). De même, la figure 11 n'a pas révélé de marquage de la MO issue des amorces dans les vases, qu'elles subissent une forte pression de pêche ou non. Pourtant, est-ce l'activité halieutique qui n'a pas d'incidence ou est-ce le regroupement des sites en lots qui a posé problème et biaisé les analyses statistiques ?

L'analyse factorielle des correspondances établie sur la base des données physico-chimiques (*Annexe E ; Fig.12*) ainsi que le dendrogramme (*Fig.13*) ont montré des regroupements différents de ceux établis au début de l'étude. Les paramètres les plus discriminants pour effectuer cette distinction des sites seraient donc l'oxygénation minimale en avril, le delta O₂ en avril puis à moindre influence, le delta C/N entre le top et le bottom et enfin l'O₂ minimale en mars. Les regroupements les plus pertinents d'après ces résultats seraient donc : d'isoler la gravière les Grands Prés, d'associer le Grand Rozot avec le Grand Bleu, Navut, Justice et Windel puis de regrouper la Grande Chambrette et la Chambrette et enfin de placer le Saulcy dans un quatrième lot indépendant. Concernant les analyses statistiques, il se peut donc qu'elles n'aient pas décelé de différences entre les lots de gravières du fait de ces regroupements initiaux finalement « inadaptés » et qui auraient biaisé les résultats. De plus, le fait qu'un seul carottage ait été réalisé par site limite la puissance statistique et la robustesse des résultats.

Au terme de cette partie, bien que l'analyse ait montré une relation entre l'excès de matière organique et la présence de déséquilibres écologiques, il n'a pas été clairement mis en évidence que cette accumulation de MO est d'origine anthropique suite à l'amorçage important avec des bouillottes. Par ailleurs, même si l'impact halieutique n'est pas directement visible chimiquement d'après ces analyses, il se peut qu'il ait des conséquences d'un point de vue biologique. En effet, la présence d'un gradient temporel le long de l'axe F1 de l'ACP a été mise en évidence : les communautés anciennes des tops se trouvent préférentiellement à gauche alors que les communautés actuelles des bottoms sont à droite (*Fig.14*). Les taxons de chironomes benthiques ont donc évolué au cours du temps le long d'un axe de saprophilie croissante. De plus, on remarque qu'actuellement les organismes sont légèrement différents suivant les gravières : la Grande Chambrette, les Grands Prés, Windel et le Grand Rozot sont plutôt colonisés par *Procladius*, *Einfeldia* ou bien *Chironomus* et *Cladotanytarsus*. Ces taxons sont essentiellement présents dans des systèmes méso-eutrophes (Saether, 1979 ; Wiederholm, 1983). *Procladius* est aussi connu pour occuper les eaux riches dont les concentrations en phosphore avoisinent les 100 µg.L⁻¹ (Luoto, 2010). Au contraire, Navut et le Saulcy ont des peuplements de type bottom, se distinguant par la présence de *Cricotopus*, *Endochironomus* ou *Dicrotendipes* ; taxons généralistes inféodés à des gammes de trophies très variées de oligo à eutrophes (Saether, 1979).

Par ailleurs aucune instabilité de développement au niveau des capsules céphalique n'a été remarquée ; des asymétries ou des déformations du mentum peuvent en effet traduire la présence de polluants organiques et minéraux (Arambourou, 2011). De plus, les résultats ne suggèrent pas que les communautés diffèrent suivant les lots. L'amorçage ne paraît donc pas induire de stress toxiques ou alors il se peut qu'ils ne soient pas encore visibles sur l'ontogénie des chironomes. On sait néanmoins que le taux de carbone organique optimal pour les macro-invertébrés se situe entre 2 et 4 % (Verneaux *et al.*, 2015), or, les top, excédentaires en MO sont trop riches pour le macro-benthos (*Fig.5*). Une critique doit également faire mention du fait que les prélèvements de sédiments ont certainement été réalisés trop en profondeur sur quelques carottes, d'où l'absence de capsules inventoriées sur les bottoms des Grands Prés, du Grand Bleu et de Navut et donc de données potentiellement significantes.

Ainsi, bien que la bibliographie et les données de ce travail aient montré que les bouillottes sont des composés riches en MO difficilement dégradables, et qui, déversées en grandes quantités, participent à l'enrichissement et l'eutrophisation des hydrosystèmes (Arlinghaus *et al.*, 2003) ; il n'a pas été possible de corrélérer formellement l'amorçage et les excès de MO observés sur certaines gravières pêchées sujettes à des dysfonctionnements écologiques graves. Néanmoins des conjectures fortes laissent sérieusement penser que l'amorçage excessif nuirait aux hydrosystèmes et notamment aux gravières et ce, d'autant plus si elles sont isolées d'un point de vue hydrique.

Analyse SWOT :

| Points POSITIFS pour atteindre l'objectif | Points NEGATIF pour atteindre l'objectif |
|---|--|
| <p><u>FORCES :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ↪ Etude qui va se poursuivre et permettre de travailler sur plusieurs pistes de recherches complémentaires. ↪ Travail de l'étudiant varié mélangeant phases de terrain, analyses biologiques et physico-chimiques au laboratoire et analyses de données. ↪ Disponibilité et investissement des tuteurs et encadrants. | <p><u>FAIBLESSES :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ↪ Puissance statistique et robustesse des résultats à améliorer : augmenter le nombre de répliques (délicat au vu des coûts des analyses) et de carottages pour chaque analyse. ↪ Analyses des communautés de chironomes : prélèvements trop en profondeur sur certains bottom. |
| <p><u>OPPORTUNITES :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ↪ S'engager dans un champ d'investigation encore peu étudié. ↪ Lancer des démarches de communication et de sensibilisation auprès des pêcheurs. | <p><u>MENACES :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ↪ Devoir effectuer des investigations pluridisciplinaires (hydrobiologie, histoire, sociologie, pédologie...) longues et coûteuses pour étudier le fonctionnement global de chaque site. ↪ Méfiance des pêcheurs à l'égard de ce travail. |

Conclusion

Au terme de ce travail, quand bien même les premiers résultats n'ont pas encore permis de relier directement l'utilisation des bouillettes et l'excès de MO ; cela n'implique pas non plus qu'elles soient sans conséquences. En effet, on sait désormais que l'amorçage massif est nuisible aux hydrosystèmes dans la mesure où ces composés (industriels ou artisanaux), riches en MO, peu biodégradables et potentiellement toxiques participent à l'eutrophisation précoce des plans d'eau. De plus, le manque de répliques pour les analyses statistiques et les regroupements en lots ont pu limiter la robustesse et influencer quelque peu les résultats. On suppose également que les marqueurs isotopiques n'ont pas révélé la présence de carbone issu de plantes en C4 dans les sédiments car l'oxygénation, encore suffisante dans l'hypolimnion des gravières (du lot 1 notamment) limite l'accumulation de la MO dans les vases.

Dès lors, même si les sédiments lacustres sont la résultante ultime de toutes les interactions s'exerçant dans et sur le système, il faut savoir que « les signaux qu'ils enregistrent doivent être déchiffrés prudemment ; ils résultent de la somme de diverses influences et le message sédimentaire peut être complexe voir brouillé » (Pourriot *et al.*, 1995). En somme, il est plus que probable que l'intensité des répercussions et les conséquences de l'amorçage dépendent des conditions locales de chaque gravière c'est-à-dire de leur morphométrie, du temps de rétention de l'eau, de leur stock de poissons, de la pression de pêche ou du bassin versant ... Il serait donc souhaitable de réaliser des investigations complémentaires et pluridisciplinaires sur chaque site afin de déterminer leur fonctionnement global et de statuer sur l'impact exact de l'activité halieutique à l'échelle de chaque système.

Références bibliographiques et webographiques

- ARAMBOUROU H.**, « *Un exemple d'indicateur de suivi environnemental des rivières : les instabilités de développement affectant le chironome (diptère)* », Daniel Thévenot, 22emes JSE – Reconquête des environnements urbains : les déficits du 21eme siècle, France, 2011.
- ARLINGHAUS R., MEHNER T.**, « *Socio-economic characterisation of specialised common carp (*Cyprinus carpio* L.) anglers in Germany, and implications for inland fisheries management and eutrophication control* », Department of Biology and Ecology og Fishes, Berlin, 2003.
- BALON E-K.**, « *Domestication of the carp *Cyprinus carpio* L.* », Royal Ontario Museum Life Sciences, ISBN : 0-88854-147-3, 1974.
- BALON E-K.**, « *Origin and domestication of the wild carp, *Cyprinus carpio* : from Roman gourmets to the swimming flowers* », Institute of Ichthyology and Department of Zoology, University of Guelph, Ontario N1G 2W1, Aquaculture 129 : 3-48, 46 p., 1995.
- BRUNET F.**, « *Variation de la signature isotopique $\delta^{13}C$ du carbone inorganique dissous dans les rivières et les fleuves* », Géochimie, Université Toulouse III, 271 p., 2004.
- BRUSLE J., QUIGNARD J-P.**, « *Biologie des poissons d'eau douce Européens* », Collection aquaculture-pisciculture, Editions Tec & DOC, ISBN : 2-7430-0440-1, p.167 à 176, 2001.
- CARTANNAZ C., FOURNIGUET G., MIDOT D.**, « *Révision du schéma départemental des carrières du département de Meurthe-et-Moselle, évaluation des ressources alluvionnaires* », BRGM/RP-60364-FR, 77 p., 2012.
- Commissions départementale des carrières**, *Schéma Départemental des carrières de Meurthe-et-Moselle*, Préfecture Meurthe-et-Moselle, 2001, 144 p.
- DASNIAS P.**, *Aménagement écologique des carrières en eau : guide pratique*, UNPG, Paris : ECOSPHERE, 2002, 208 p.
- GANDOUIN E., RIOUAL P., PAILLES C., BROOKS S.J., PONEL P., GUITER F., DJAMALI M., ANDRIEU-PONEL V., BIRKS H.J.B., LEYDET M., BELKACEM D., HAAS J.N., VAN DER PUTTEN N., DE BEAULIEU J.L.**, « *Environmental and climate reconstitution of the late-glacial-Holocene transition from a lake sediment sequence in Aubrac, French Massif Central : Chironomid and diatom evidence* », Research Gate, Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 2016.
- Géoportail** : <https://www.geoportail.gouv.fr>
- GHASHGHAIE J., TCHERKEZ G., CORNIC G., DELEENS E.**, « *Utilisation de la spectrométrie de masse isotopique en physiologie végétale* », Laboratoire d'écophysiologie, Université de Paris, 2001.
- KEITH P., FEUNTEUN E., ALLARDI J. (coords)**, « *Les poissons d'eau douce de France* », Muséum national d'histoire naturelle, Paris : Biotopie édition, Collection Inventaires et biodiversité, 2011, 552 p., (ISBN Biotopie 978.2.914817.69.1 / ISBN MNHN 978.2.85653.672.8).
- KERNALEGUEN L.**, « *Utilisation isotopique des tissus archives en écologie alimentaire* », Mémoire bibliographique université de Rennes 1, 2010.
- LEYNAUD G., TROCHERIS F., LARINIER M.**, « *Les obstacles à la réalisation du cycle vital des poissons* », CEMAGREF, 1987.
- MEYERS PA.**, « *Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lake* », Organic Geochemistry 34: 261–289, 2003.
- Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer**, Commissariat général au Développement durable : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/2055/0/lextraction-granulats.html>
- OUERTANI N., HAMOUDA R., BELAYOUNI H.**, « *Etude de la matière organique dans les sédiments superficiels d'un système aquatique confiné anoxique évoluant en milieu urbain : cas du Lac sud de Tunis* », Faculté des Sciences de Tunis, Département de Géologie, Laboratoire de Géochimie organique, Geo-Eco-Trop, 2006.
- PERGA M.E.**, « *Origine et flux de carbone dans les réseaux trophiques lacustres : étude par l'analyse de la composition en isotopes stables du carbone et l'azote du zooplancton et des poissons* », Thèse université de Savoie, 198 p., 2004.
- POURRIOT R., MEYBECK M.**, « *Limnologie générale* », Collection d'Ecologie, 1995.
- RAPP T., MEINELT T., KRÜGER A., ARLINGHAUS R.**, « *Acute toxicity of preservative chemicals in organic baits used in carp, *Cyprinus carpio*, recreational fishing* », Management and Ecological Note, Fisheries Management and Ecology, 2008.
- SOeS (Service de l'Observation et des Statistiques)**, « *Atlas régional de l'occupation des sols en France* », Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, 2016.
- SOeS (Service de l'Observation et des Statistiques)**, « *La revue du CGDO, Urbanisation et consommation de l'espace, une*

question de mesure », Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, Commissariat Général au Développement Durable, 2012.

TWICHELL SC., MEYERS PA., DIESTER-HAASS L., “*Significance of high C/N ratios in organic-carbon-rich Neogene sediments under the Benguela Current upwellingsystem*”, *Organic Geochemistry* 33: 715–722, 2002.

VERNEAUX V., VERNEAUX J., SCHMITT A., LAMBERT J.C., “*Relationship of macrobenthos with dissolved oxygen and organic matter at the sediment-water interface in ten French lakes*”, 2004.

WIEDERHOLM T., “*Chironomidae of the Holarctic region*”, Keys and diagnoses, Part1 Larvae, *Entomologica Scandinavica*, 1983.

Glossaire et liste des abréviations

- **AAPPMA** : Association Agréée pour la **P**êche et la **P**rotection du **M**ilieu **A**quatique.
- **ACP** : Analyse des **C**omposantes **P**incipales.
- **AFC** : Analyse **F**actorielle de **C**orrespondances.
- **AIS** : Analyse des **I**sotopes **S**tables.
- **C** : Carbone.
- **C3** : plantes dont le premier composé organique formé lors du cycle de Calvin (photosynthèse) est une molécule à trois atomes de carbone.
- **C4** : plantes des régions chaudes comme le maïs ou la canne à sucre qui utilisent le cycle de « Hatch-Slack » comme processus de photosynthèse.
- **C/N** : rapport Carbone/Azote.
- **COT** : Carbone **O**rganique **T**otal.
- **Ctot** : Carbone total
- **DCE** : **D**irective **C**adre sur l'**E**au (2000).
- **DDT** : **D**irective **D**épartementale du **T**erritoire.
- **DO % sat** : Pourcentage de saturation en oxygène dissous.
- **FDAAPPMA** ₅₄ : **F**édération **D**épartementale de Meurthe-et-Moselle pour la **P**êche et la **P**rotection du **M**ilieu **A**quatique.
- **INRA** : **I**nstitut **N**ational de la **R**echerche **A**gronomique.
- **MES** : **M**atières **E**n **S**uspension.
- **MF** : **M**atière **F**raîche.
- **MO** : **M**atière **O**rganique.
- **MS** : **M**atière **S**èche.
- **N** : Azote.
- **PEP carboxylase** : Enzyme phosphoenolpyruvate carboxylase.
- **ProDSS** : **P**rofessional **D**igital **S**ampling **S**ystem.
- **pH** : **P**otentiel **H**ydrogène
- **RubisCo** : Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygénase. Enzyme clé permettant la fixation du dioxyde de carbone dans la biomasse végétale en initiant le cycle de Calvin.
- **SMI** : **S**pectrométrie de **M**asse **I**sotopique.
- **VNF** : **V**oies **N**avigables de **F**rance.
- **Z euph** : Zone euphotique c'est-à-dire, couche supérieure d'une masse d'eau où la pénétration de la lumière est suffisante pour permettre une photosynthèse réelle. Elle est égale à 2,5 fois la profondeur mesurée avec le disque de Secchi (en m).
- ha : hectare
- O₂ : Oxygène dissous
- T° : Température
- δ¹³C : Signature isotopique du ¹³C.
- δ¹⁵N : Signature isotopique du ¹⁵N.

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| TABLEAU I : CARACTERISTIQUES GENERALES DES GRAVIERES ET REGROUPEMENT EN LOTS. | 4 |
| TABLEAU II : EVOLUTION DE LA TRANSPARENCE (TRANSP SECCHI) ET DE LA PROFONDEUR DE LA ZONE EUPHOTIQUE (Z EUPH = 2,5.TRANSP SECCHI) ENTRE MARS ET AVRIL SUR LES DIFFERENTES GRAVIERES. | 7 |
| TABLEAU III : DESCRIPTIF DE L'HISTORIQUE DES EXPLOITATIONS ET DONNEES SUR LEUR ENRICHISSEMENT EN CARBONE ORGANIQUE TOTAL PAR ANNEES. | 11 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| FIGURE 1 : SONDE MULTIPARAMETRES PRODSS. SOURCE : C.SCHMITT, 2017. | 4 |
| FIGURE 2 : PHOTOGRAPHIES DES CAROTTAGES ET DES PRELEVEMENTS DU « TOP » ET DU « BOTTOM » DES SEDIMENTS. SOURCE : C.SCHMITT 2017..... | 5 |
| FIGURE 3 : TAMISAGE DES SEDIMENTS ET IDENTIFICATION DES CAPSULES CEPHALIQUES DE CHIRONOMES SOUS MICROSCOPIE OPTIQUE (ICI <i>TANYTARSUS</i>). SOURCE : C.SCHMITT, 2017..... | 6 |
| FIGURE 4 : PROFILS D'OXYGENATION ET DE TEMPERATURE DES GRAVIERES EN MARS ET AVRIL 2017. SOURCE : C.SCHMITT, 2017..... | 8 |
| FIGURE 5 : RAPPORTS C/N EN FONCTION DU COT(%) POUR CHACUN DES SITES ETUDIES. LEGENDE : LA FORME DU SYMBOLE RENSEIGNE SUR LE TYPE DE PRELEVEMENT : ROND (BOTTOM), CARRE (TOP) ET LA COULEUR SUR L'APPARTENANCE DU SITE A UN LOT : ROUGE (LOT 1), BLEU (LOT 2) ET ORANGE (LOT 3)..... | 9 |
| FIGURE 6 : COMPARAISON DES RAPPORTS C/N ET DE LA CONCENTRATION EN COT ENTRE LE TOP ET LE BOTTOM DES SEDIMENTS. LES LETTRES INDIQUENT DES DIFFERENCES SIGNIFICATIVES ENTRE LES DONNEES (TEST DE MANN ET WHITNEY, $P < 0,05$)..... | 10 |
| FIGURE 7 : COMPARAISON DES RAPPORTS C/N ET DE LA CONCENTRATION EN COT ENTRE LE TOP ET LE BOTTOM DES SEDIMENTS ET ENTRE LES LOTS DE GRAVIERES. LES LETTRES INDIQUENT DES DIFFERENCES SIGNIFICATIVES ENTRE LES DONNEES (TEST DE MANN ET WHITNEY, $P < 0,05$). | 10 |
| FIGURE 8 : FRISE CHRONOLOGIQUE DE L'EXPLOITATION DES GRAVIERES. SOURCE : GEOPORTAIL ; C.SCHMITT, 2016. | 11 |
| FIGURE 9 : ENRICHISSEMENT EN CARBONE ORGANIQUE TOTAL DES SITES EN FONCTION DE LEUR AGE. | 12 |
| FIGURE 10 : RAPPORTS C/N DU TOP ET DU BOTTOM DE CHACUNE DES GRAVIERES EN FONCTION DU POURCENTAGE DE CARBONE ORGANIQUE TOTAL. LEGENDE : L'ENRICHISSEMENT EN MATIERE ORGANIQUE (Δ COT) EST SYMBOLISE PAR DES FLECHES ; LA FORME DU SYMBOLE RENSEIGNE SUR LE TYPE DE PRELEVEMENT : ROND (BOTTOM), CARRE (TOP) ET LA COULEUR SUR L'APPARTENANCE DU SITE A UN LOT : ROUGE (LOT 1), BLEU (LOT 2) ET ORANGE (LOT 3). | 12 |
| FIGURE 11 : SIGNATURES ISOTOPIQUES ($\Delta^{15}\text{N}$ EN FONCTION DE $\Delta^{13}\text{C}$) DES SEDIMENTS ET DES BOUILLETES. LEGENDE : LA FORME DU SYMBOLE RENSEIGNE SUR LE TYPE DE PRELEVEMENT : ROND (AMORCES), CARRE (TOP) ET LA COULEUR SUR L'APPARTENANCE DU SITE A UN LOT : ROUGE (LOT 1), BLEU (LOT 2) ET ORANGE (LOT 3)..... | 13 |
| FIGURE 12 : ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES CALCULEE SUR LA MATRICE PHYSICO-CHIMIQUE (ANNEXE E). | 14 |
| FIGURE 13 : DENDROGRAMME CONSTRUIT AVEC LA METHODE DES LIENS COMPLETS..... | 14 |
| FIGURE 14 : ANALYSE FACTORIELLE DE CORRESPONDANCES CALCULEE SUR LA MATRICE CHIRONOMES (ANNEXE F). LEGENDE : LA FORME DU SYMBOLE RENSEIGNE SUR LE TYPE DE PRELEVEMENT : ROND (BOTTOM), CARRE (TOP) ET LA COULEUR SUR L'APPARTENANCE DU SITE A UN LOT : ROUGE (LOT 1), BLEU (LOT 2) ET ORANGE (LOT 3)..... | 15 |

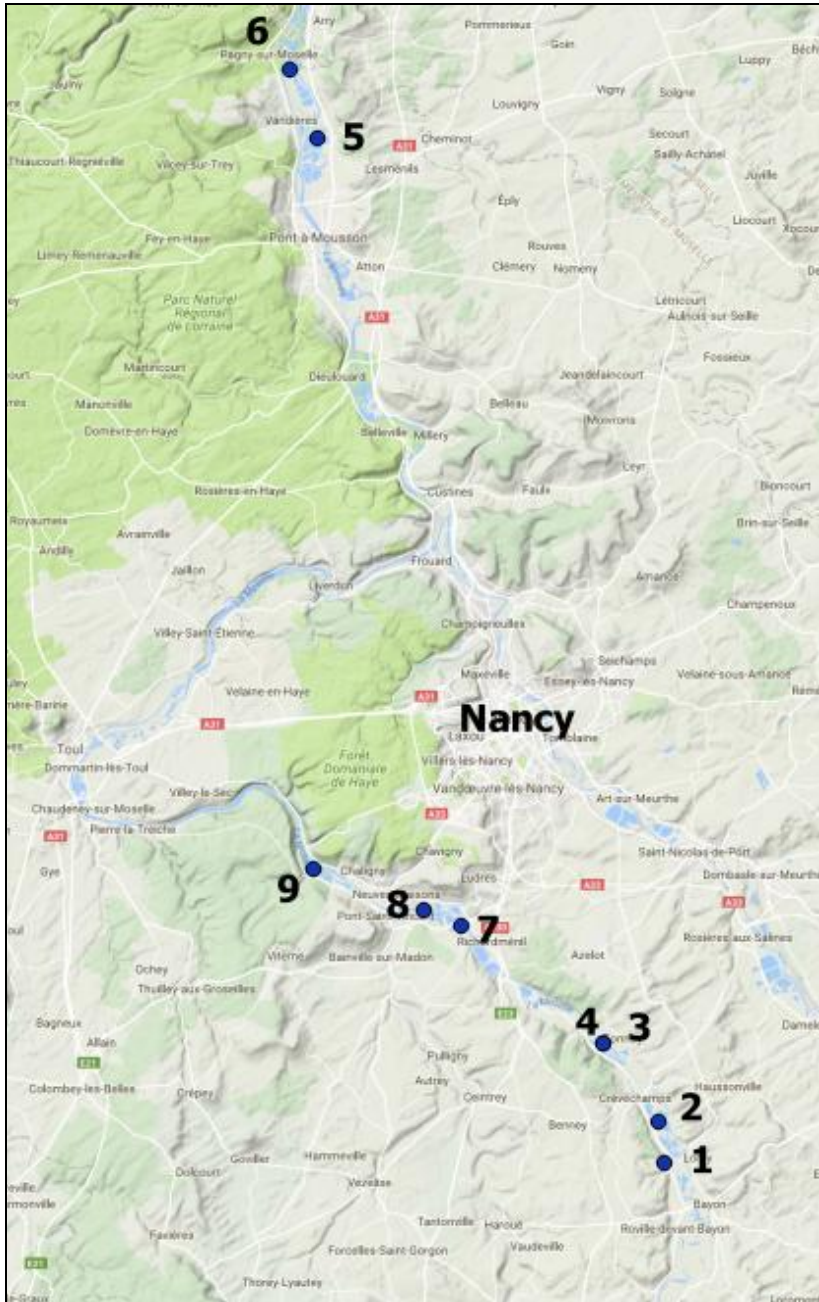
Liste des annexes

| | |
|--|--|
| ANNEXE A : TABLEAU RECAPITULATIF DE L'ENSEMBLE DES CARACTERISTIQUES DES GRAVIERES ETUDIEES..... | |
| ANNEXE B : ENQUETE MISE EN PLACE LORS DE L'ETUDE. SOURCE : C.SCHMITT, FDAAPPMA54, 2017..... | |
| ANNEXE C : TABLEAU RECAPITULATIF DE L'ENSEMBLE DES ANALYSES EFFECTUEES SUR LES SEDIMENTS..... | |
| ANNEXE D : CALENDRIER DESCRIPTIF DU TEMPS DEDIE A CHACUNE DES TACHES AU COURS DE L'ETUDE..... | |
| ANNEXE E : MATRICE PHYSICO-CHIMIQUE UTILISEE POUR L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES..... | |
| ANNEXE F : MATRICE CHIRONOMES (EFFECTIF/GMF) UTILISEE POUR L'ANALYSE FACTORIELLE DE CORRESPONDANCES..... | |

Annexes

Annexe A : Tableau récapitulatif de l'ensemble des caractéristiques des gravières étudiées.

| Réf carte | Nom site | Lot | Exploitation | | Age | Superf. (ha) | Localisation/Commune | Propriétaire | Empoisonnements | Mortalités | Activité de pêche |
|--------------|--------------------------|-----|--------------|---------|-----|-----------------|-------------------------------|-----------------------------|---|---|----------------------|
| | | | Début | Fin | | | | | | | |
| 1 | « Les Grands Prés » | 1 | 1994 | 2000 | 18 | 12,5 | Neuwiller-Sur-Moselle (54290) | Gaule Dombasloise (AAPPPMA) | 2014 : 302kg carp/153kg gard/99kg bro 2015 : 304kg carp/103kg gard/127kg bro 2016 : 107kg bro | | |
| 2 | « Le Grand Rozot » | 1 | 1974 | 1994-99 | 18 | 18 | St-Mard (54290) | Commune | | | |
| 3 | « La Grande Chambrette » | 1 | 1953-63 | 1980 | 37 | 8,3 | Tonnoy (54210) | Commune | 2015 : 900€ carp Empoisonnements réguliers : tous les ans, minimum de 500€ | Tous les 5 ans environ Dernière en 2015 : grosses mortalités (600kg) | 5 |
| 4 | « Chambrette » | 1 | 1953-63 | 1975 | 42 | 6 | Tonnoy (54210) | Commune | | Evitée en 2015 : mise en place de pompes | 3 |
| 5 | « Le Grand Bleu » | 2 | 1975 | 1989 | 28 | 18,7 | Pont-à-Mousson (54700) | Commune | | | |
| 6 | « Navut » | 2 | 1995 | 2003 | 14 | 6,5 | Pagny-sur-Moselle (54530) | Commune | | | |
| 7 | « Justice » | 3 | 1952 | 1993 | 24 | 13,8 | Mereville (54850) | Commune | | | |
| 8 | « Windel » | 3 | 1950-52 | 1993 | 24 | 9,8 | Mereville (54850) | M. WINDEL | | | |
| 9 | « Le Saulcy » | 3 | 1972 | 1994 | 23 | 21 | Chaligny – Maron (54230) | VNF | 2013 : 324kg gard/108kg bro 2014 : 16kg carp/324kg gard/28kg bro 2015 : 626kg gard/102kg bro/173kg tan/10kg per 2016 : 10kg gar/155kg bro/175kg tan | | |



Localisation des différentes gravières.

Si oui, lesquelles ?

- Coloration verdâtre ou brunâtre de l'eau notamment lors de l'augmentation des températures à la période estivale ;
- Très faible transparence de l'eau ;
- Mortalités piscicoles fréquentes ;
- Odeurs nauséabondes ;
- Poissons malades ;
- Autres :.....

Les techniques de pêche :

Q10. Utilisez-vous des amorces/bouillettes pour la pêche de la carpe ?

- OUI NON

Q11. Si oui, quelle est l'origine de ces amorces ?

- Fabrication artisanale (maison) Industrielle

Q12. Dans le cas d'une fabrication artisanale, quels ingrédients utilisez-vous ?

Exemples d'ingrédients :

- Farine de maïs ;
- Farine de blé ;
- Farine de soja ;
- Maïs ;
- Œufs ;
- Arômes ;
- Additifs ;
- Miel ;
- Pommes de terre ;
- Pain ;
- Pâtes ;
- Fèves ;
- Asticots, casters, fouillis de vers de vase ...
- Autres :.....

Q13. Quelle quantité d'amorce ou de bouillettes utilisez-vous en moyenne lors d'une session de pêche :

..... kilogrammes d'amorces / kilogrammes de bouillettes.

Q14. En général, vous :

- Gardez vos prises ;
- Les remettez à l'eau.

Q15. Vous portez plus d'importance au :

- Nombre de captures Au poids des prises

Ce sondage peut-être anonyme, par ailleurs, si vous souhaitez être destinataire des résultats, merci de nous communiquer votre adresse mail :.....@.....

L'ensemble des partenaires vous remercie !

Annexe C : Tableau récapitulatif de l'ensemble des analyses effectuées sur les sédiments.

| Gravières | | $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ | $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ | COT(%MS) | C/N | Chironomes (effectifs/gMFsédim) |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------|-----|------------------------------------|
| LOT 1 | « Les Grands Prés » | top | | | | |
| | | bottom | | | | |
| | « Le Grand Rozot » | top | | | | |
| | | bottom | | | | |
| | « Grande Chambrette » | top | | | | |
| | | bottom | | | | |
| | « Chambrette » | top | | | | |
| | | bottom | | | | |
| LOT 2 | « Le Grand Bleu » | top | | | | |
| | | bottom | | | | |
| | « Navut » | top | | | | |
| | | bottom | | | | |
| LOT 3 | « Justice » | top | | | | |
| | | bottom | | | | |
| | « Windel » | top | | | | |
| | | bottom | | | | |
| | « Le Saulcy » | top | | | | |
| | | bottom | | | | |
| AMORCES | Bouillette 1 – « Robin red » | | | | | |
| | Bouillette 2 – « Monster crab » | | | | | |
| | Farine | | | | | |

2016

| OCTOBRE | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|
| Lu | Ma | Me | Je | Ve | Sa | Di |
| | | | | | 1 | 2 |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 31 | | | | | | |

| NOVEMBRE | | | | | | |
|----------|----|----|----|----|----|----|
| Lu | Ma | Me | Je | Ve | Sa | Di |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | | | | |

| DÉCEMBRE | | | | | | |
|----------|----|----|----|----|----|----|
| Lu | Ma | Me | Je | Ve | Sa | Di |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | |

2017

| JANVIER | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|
| Lu | Ma | Me | Je | Ve | Sa | Di |
| | | | | | | 1 |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 30 | 31 | | | | | |

| FÉVRIER | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|
| Lu | Ma | Me | Je | Ve | Sa | Di |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| 27 | 28 | | | | | |

| MARS | | | | | | |
|------|----|----|----|----|----|----|
| Lu | Ma | Me | Je | Ve | Sa | Di |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | |

| AVRIL | | | | | | |
|-------|----|----|----|----|----|----|
| Lu | Ma | Me | Je | Ve | Sa | Di |
| | | | | | 1 | 2 |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |

| MAI | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| Lu | Ma | Me | Je | Ve | Sa | Di |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29 | 30 | 31 | | | | |

| JUIN | | | | | | |
|------|----|----|----|----|----|----|
| Lu | Ma | Me | Je | Ve | Sa | Di |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | | |

Légende :

| | |
|--|--|
| | Début et fin de la période dédiée au stage. |
| | Réunion préparatoire entre stagiaire-FDAAPPMA 54 et chrono-environnement pour mise en place de l'étude (budget ; définition des lots et des paramètres étudiés ...). |
| | Phases de préparation du terrain (obtention du matériel, calibration...) et terrain (carottage des sédiments, profils T°, O ₂ ...). |
| | Communication (propriétaires et gestionnaires des gravières ; pêcheurs avec mise en place du sondage...). |
| | Manipulations au laboratoire (tri/détermination chironomes ; analyses COT, C/N...). |
| | Bibliographie, analyse des données (statistiques) et rédaction du rapport. |
| | Rendu du rapport de stage et soutenance orale. |

Annexe D : Calendrier descriptif du temps dédié à chacune des tâches au cours de l'étude.

Annexe E : Matrice physico-chimique utilisée pour l'analyse en composantes principales.

| | Zeuph mars (m) | Zeuph avril (m) | Δ max-min T° avril (°C) | Δ max-min O ₂ mars (%) | Δ max-min O ₂ avril (%) | O ₂ min mars (%) | O ₂ min avril (%) | Δ top-bot COT (%) | COT top (%) | Δ top-bot C/N | C/N top | $\delta^{13}C$ top (‰) | Δ top-bot $\delta^{13}C$ (‰) |
|--------------------------|----------------|-----------------|--------------------------------|--|---|-----------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------|----------------------|---------|------------------------|-------------------------------------|
| Grands Prés | 1,25 | 1,875 | 6,3 | 14,6 | 161,3 | 94,8 | 2,6 | 3,74 | 4,2 | -0,39 | 7,88 | -28,98 | -2,48 |
| Grand Rozot | 7,5 | 6,25 | 0,5 | 3,4 | 95,6 | 106,4 | 145,2 | -1,24 | 0,91 | -30,31 | 5,99 | -28,67 | -0,88 |
| Grande Chambrette | 0,75 | 0,8 | 5,9 | 2,3 | 203,3 | 128,2 | 2,8 | 1,84 | 4,02 | -3,51 | 6,63 | -31,31 | -0,81 |
| Chambrette | 0,875 | 0,675 | 6 | 2,3 | 146,1 | 126,3 | 66,1 | 4,13 | 6,62 | -0,78 | 9,44 | -31,22 | -3,09 |
| Grand Bleu | 3,5 | 6,25 | 0 | 2,3 | 2 | 109,5 | 131,2 | 0,86 | 1,21 | -3,22 | 8,81 | -27,23 | -1,41 |
| Navut | 6,75 | 6,25 | 1,1 | 6,5 | 5,4 | 102,4 | 120,5 | 4,35 | 4,66 | 2,61 | 8,27 | -27,39 | -1,9 |
| Le Saulcy | 4,5 | 7,5 | 0,2 | 7,1 | 1,7 | 100,6 | 117,8 | 1,83 | 4,85 | -2,83 | 8,68 | -28,43 | -1,3 |
| Justice | 1,25 | 6,25 | 0,4 | 16,4 | 5,4 | 137,5 | 61 | 9,22 | 10,92 | -0,63 | 8,52 | -30,16 | -2,62 |
| Windel | 6,25 | 6,25 | 0,6 | 1,3 | 92,4 | 110,2 | 19,8 | 2,41 | 2,58 | 6,79 | 17,5 | -30,06 | -3,69 |

Annexe F : Matrice chironomes (effectif/gMF) utilisée pour l'analyse factorielle de correspondances.

| | Grands Prés Top | Grand Rozot | | Chambrette | | Gr. Chambrette | | Navut top | Grand Bleu top | Le Saulcy | | Windel top |
|------------------------|-----------------|-------------|------|------------|------|----------------|------|-----------|----------------|-----------|------|------------|
| | Top | Bottom | Top | Bottom | Top | Bottom | Top | | | Bottom | | |
| <i>Chironomus</i> | 2,18 | 1,57 | 0 | 1,27 | 0,31 | 1,25 | 0,63 | 0,65 | 0,71 | 0,65 | 0,77 | 1,38 |
| <i>Cladotanytarsus</i> | 0 | 0 | 0 | 0,42 | 0 | 0,63 | 0,63 | 0 | 0,7 | 0 | 0 | 0,15 |
| <i>Corynoneura</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,63 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,19 | 0 |
| <i>Cricotopus</i> | 0 | 0 | 0,48 | 1,26 | 0,31 | 0,63 | 1,26 | 1,95 | 0 | 1,09 | 5,38 | 0,13 |
| <i>Dicrotendipes</i> | 0 | 0 | 0 | 0,42 | 0 | 0 | 0 | 2,27 | 0 | 0,22 | 0,19 | 0 |
| <i>Einfeldia</i> | 0,44 | 0,2 | 0 | 0,42 | 0 | 0,63 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Endochironomus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,65 | 0 | 0 | 0,58 | 0 |
| <i>Eukiefferiella</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,22 | 0,58 | 0 |
| <i>Glyptotendipes</i> | 0 | 0 | 0 | 0,84 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,15 |
| <i>Parachironomus</i> | 0 | 0 | 0 | 0,42 | 0 | 0 | 0 | 0,32 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paratanytarsus</i> | 0 | 0 | 0,48 | 0 | 0,31 | 0 | 0,63 | 1,3 | 0,36 | 0 | 2,31 | 0 |
| <i>Polypedilum</i> | 0,87 | 0,2 | 0 | 0,42 | 0 | 0 | 0 | 1,62 | 0 | 0,22 | 0,57 | 0,28 |
| <i>Procladius</i> | 0,44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,22 | 0 | 0 |
| <i>Psectrocladius</i> | 0 | 0 | 0 | 1,26 | 0 | 0 | 0 | 0,32 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tanytarsus</i> | 1,31 | 0 | 0 | 0 | 0,31 | 0,63 | 0 | 0,65 | 0,88 | 0 | 3,07 | 0,15 |

Résumé

Depuis l'augmentation conjointe de l'urbanisation et donc de la demande en matériaux alluvionnaires, les exploitations se sont multipliées, notamment en Lorraine. Or, malgré le potentiel écologique et halieutique des ballastières, elles sont sujettes à de nombreux dysfonctionnements majeurs (dystrophie, mortalités piscicoles, blooms algaux..). Pour vérifier si l'activité de pêche par l'utilisation massive d'amorce est responsable de ces déséquilibres, des suivis mensuels (T° , O_2), des analyses chimiques (COT, C/N, signature isotopique) et biologiques (communautés de chironomes) ont été menées sur les sédiments de neufs gravières Mosellanes, regroupées en fonction de la pression de pêche. Les profils thermiques et d'oxygénation laissent supposer des différences de niveau trophique et de stratification entre les gravières : les ballastières pêchées ont les caractéristiques de milieux eutrophes. De plus, les résultats attestent que les bouillettes sont des composés riches en nutriments, difficilement dégradables. Toutefois, l'excès de MO et l'enrichissement des sites depuis leur mise en eau n'a pas été corrélé à l'amorçage. De même, les analyses isotopiques ne suggèrent pas qu'il soit possible de marquer de la MO issue des amorces dans les vases. Néanmoins des conjectures fortes laissent sérieusement penser que l'apport massif de bouillettes nuirait plus ou moins aux hydrosystèmes suivant leurs caractéristiques.

Mots-clés : Gravières ; Amorçage ; Chironomes ; Sédiments ; Mortalités piscicoles.

Abstract

Since the increase in urbanization, and therefore in the demand for alluvial materials, farms have multiplied, particularly in Lorraine. However, in spite of the ecological and halieutic potential of gravel pits, they are subject to many major dysfunctions (dystrophy, fish mortalities, algal blooms...). To verify whether a fishing activity using an important amount of baits is responsible for such imbalances, monthly monitoring (T° , O_2), chemical (TOC, C/N, isotopic signature) and biological analyses (Chironomids communities) were carried out on sediments of nine gravel pits, which were grouped according to the fishing pressure, in the Moselle region. Thermal and oxygenation profiles suggest differences in trophic level and stratification amongst gravel pits: gravel pits of the first plot have characteristics of eutrophic systems. Moreover, results show that the boilies are rich in nutrients and difficult to degrade. However, the excess of OM and the enrichment of the sites since their filling were not correlated with baiting. Similarly, isotopic analyses do not suggest that it is possible to label OM from baits in sediments. Nevertheless, strong conjectures seriously suggest that a massive intake of boilies would hurt hydrosystems depending on their characteristics.

Keywords : Gravel pits ; Baiting ; Chironomids ; Sediments ; Fish mortalities.