

Atelier environnemental

-

Qualité de l'eau de la rivière de l'Arc et de son affluent le Grand Torrent



Juliany ERTEL
Lisa GOUVERNEUR
Laurie MORALDO
Valentine VANLEENE

L3 ENVIPOM 2022-2023

Résumé

Au cours de cette étude, les eaux de l'Arc et de son affluent, le Grand Torrent, ont été analysées pour évaluer leur qualité environnementale et leur possible pollution, dans le but de comprendre leur influence sur l'étang de Berre, une zone classée comme "sensible" en raison de sa forte pollution et de son eutrophisation. Des mesures ont été effectuées sur le terrain et en laboratoire, pour collecter des données sur les paramètres chimiques et biologiques des deux cours d'eau, et en dresser un bilan sur la qualité environnementale de cet écosystème. Les données obtenues sur les différents paramètres chimiques et biologiques analysés ont permis de conclure sur la bonne qualité écologique de l'eau de l'Arc et de son affluent, par une comparaison des résultats avec de nombreuses archives, et réglementations environnementales. Cela nous a également aidé à mieux comprendre l'influence qu'avaient les eaux du Grand Torrent sur celles de l'Arc, et de conclure qu'elles permettaient une dilution de la pollution de l'Arc pour la plupart des paramètres étudiés.

Mots-clés : Arc, Grand Torrent, Etang de Berre, Pollution, Environnement, Chimie, Biologie.

During this study, the waters of the Arc River and its tributary, the Grand Torrent, were analysed to evaluate their environmental quality and possible pollution, in order to understand their influence on the Lagoon of Berre, a classified "sensitive" zone due to its high pollution and eutrophication. Measurements were carried out in the field and in the laboratory to collect data on the chemical and biological parameters of both watercourses, and to assess the environmental quality of this ecosystem. The data obtained on the various chemical and biological parameters analysed allowed us to conclude on the good ecological quality of the water of the Arc River and its tributary, by comparing the results with numerous archives and environmental regulations. This also helped us to better understand the influence of the waters of the Grand Torrent on those of the Arc, and to conclude that they allowed a dilution of Arc's pollution for most of the parameters studied.

Keywords: Arc, Grand Torrent, Lagoon of Berre, Pollution, Environment, Chemistry, Biology.

Table des matières

Résumé	2
Table des matières	3
Table des figures	5
Table des tableaux	5
Introduction	7
Présentation du site d'étude.....	9
I. Biologie animale.....	11
A. Matériel et méthodes	11
1. Évaluation de la qualité d'un cours d'eau	11
2. Prélèvements au surber.....	12
3. Carte d'un tronçon du cours d'eau	12
4. Au laboratoire.....	14
B. Résultats	15
1. Grand Torrent	15
2. Étude des variations spatiales de la qualité de l'Arc	23
3. Étude des variations temporelles de la qualité de l'Arc	26
C. Discussion	30
D. Conclusion.....	30
II. Biologie végétale.....	31
A. Matériel et méthodes	31
1. Mesures sur le terrain	31
2. Observations microscopiques et dénombrement	32
3. Analyses statistiques sur la fluorescence.....	34
4. Analyses statistiques sur les diatomées benthiques	35
B. Résultats	36
1. Données obtenues	36
2. Analyses statistiques.....	38
C. Discussion	40
III. Chimie	42
A. Travaux Pratique	42
1. Matière organique : DCO et IP.....	42
2. Composés azotés et phosphatés : Ammonium et orthophosphatés	46
3. Azotes oxydés : Nitrates et nitrites	50
B. Les mesures in situ	55
1. Multimètre	56
2. Pastel UV	60

3. Kits de chimie.....	63
C. Résultats généraux.....	65
D. Discussion	67
IV. Discussion générale.....	70
V. Conclusion.....	72
VI. Références	73
VII. Annexes.....	74
Chimie	74

Table des figures

Figure 1-Image satellite représentant la zone d'échantillonnage au niveau de la confluence du Grand Torrent et de l'Arc (réalisée sur Géoportail).....	9
Figure 2-Carte représentant le site d'étude, les stations ARC A AIX-EN-PROVENCE et ARC A BERRE L'ETANG, et les stations d'épuration (réalisée sur Géoportail)	10
Figure 3-Carte des faciès du cours d'eau	13
Figure 4-Fréquence des taxons dans l'ensemble de la surface étudiée	20
Figure 5- Fréquence des taxons dans l'ensemble des échantillons	20
Figure 6-Indice de Shannon et note IBGN en fonction de 2 sites de prélèvement.....	25
Figure 7-Evolution de l'indice de Shannon de la station ARC A AIX-EN-PROVENCE 1 sur 10 ans .	27
Figure 8-Evolution de la note IBGN de la station ARC A AIX-EN-PROVENCE sur 10 ans.....	28
Figure 9-Evolution des indices de Shannon et IBGN de la station ARC A AIX-EN-PROVENCE sur une période de 10 ans	29
Figure 10-Photographies par Juliany ERTTEL de deux SPAD utilisés lors de la journée sur le terrain.	31
Figure 11-Dessin d'observation au microscope optique de deux colonies de Nostoc au grossissement x600.....	32
Figure 12-Dessin d'observation au microscope optique de diatomée pénale d'eau douce au grossissement x600.....	33
Figure 13-Classification des diatomées en fonction de leur forme (4).....	33
Figure 14-Classification des diatomées en fonction de leur présence dans des eaux de qualité d'excellente à très mauvais (4).....	34
Figure 15-Boîtes à moustache des valeurs de fluorescence des ronces et des algues de l'Arc et du Grand Torrent.....	36
Figure 16-Boîtes à moustache des valeurs de fluorescence des ronces de l'Arc et du Grand Torrent ..	37
Figure 17-Boîtes à moustache des valeurs de fluorescence des algues de l'Arc et du Grand Torrent...	37
Figure 18-Photographie au microscope électronique de diatomées d'eau douce de l'eau de l'Arc au grossissement x400.....	40
Figure 19-Photographies au microscope électronique de diatomées d'eau douce de l'eau du Grand Torrent au grossissement x600.....	40
Figure 20 - Courbe d'étalonnage pour l'ammonium	47
Figure 21 - Courbe d'étalonnage pour les orthophosphates.....	49
Figure 22 - 1ère courbe d'étalonnage pour le nitrate	50
Figure 23 - 2ème courbe d'étalonnage pour le nitrate	51
Figure 24 - Courbe d'étalonnage des nitrites	54
Figure 25 - Comparaison des résultats obtenus en laboratoire et in situ, pour le phosphate	66
Figure 26 - Comparaison des résultats obtenus en laboratoire et in situ, pour le nitrate.....	67
Figure 27 - Comparaison des résultats obtenus en laboratoire et in situ, pour l'ammonium	67

Table des tableaux

Tableau 1-Identification des individus pour les échantillons 1 à 4	16
Tableau 2-Identification des individus pour les échantillons 5 à 8	17
Tableau 3-Nombre d'individus dans l'ensemble de la surface couvrant les 8 échantillons	19
Tableau 4-Fréquence du mode d'alimentation des individus par substrat	21
Tableau 5-Fréquence des taxons et Indice de Shannon dans l'ensemble de la zone étudiée	22
Tableau 6-Fréquence des taxons et indice de Shannon pour les stations ARC A AIX-EN-PROVENCE 1 et ARC E BERRE-L'ETANG.....	24

Tableau 7-Indice de Shannon et note IBGN des années 2012 à 2021 de la station ARC A AIX-EN-PROVENCE 1	26
Tableau 8-Rapport en chlorophylle Fv/Fm mesuré sur le terrain dans les ripisylves de l’Arc et du Grand Torrent sur des algues benthiques et des feuilles de ronces	36
Tableau 9-Calculs préliminaires donnant la moyenne, l’effectif et le total des 4 listes de données récoltées (Ronces Grand Torrent, Ronces Arc, Algues Grand Torrent et Algues Arc)	38
Tableau 10-Calculs préliminaires et tests sur la variance des 4 listes de données récoltées (Ronces Grand Torrent, Ronces Arc, Algues Grand Torrent et Algues Arc).....	38
Tableau 11-Résultats du dénombrement des diatomées d’échantillon sur l’Arc et le Grand Torrent ainsi que le test de Student et ses calculs préliminaires	39
Tableau 12-Classes d’état des diatomées (5)	41
Tableau 13 - Résultats et réglementation pour la Demande Chimique en Oxygène	44
Tableau 14 - Résultats et réglementation pour l’Indice Permanganate	45
Tableau 15 - Valeurs d'absorbance pour l'ammonium, étalonnage	47
Tableau 16 - Résultats et réglementation pour l'ammonium	48
Tableau 17 - Tableau pour l'étalonnage des orthophosphates	48
Tableau 18 - Résultats et réglementation pour les orthophosphatés	49
Tableau 19 - Tableau pour l'étalonnage du nitrate	50
Tableau 20 - Résultats préliminaires pour le nitrate.....	51
Tableau 21 - - Résultats et réglementation pour le nitrate.....	51
Tableau 22 - Résultats des Blanc + Réactif pour les nitrites	52
Tableau 23 - Limite de détection et de quantification pour les nitrites	53
Tableau 24 – Résultats des Blancs + Nitrite + réactif pour les nitrites	53
Tableau 25 - Valeur de la précision pour l’étude des nitrates	53
Tableau 26 - Valeurs des absorbances pour l'étalonnage des nitrites.....	54
Tableau 27 - Limite de détection et de quantification pour les nitrites	54
Tableau 28 - Résultats préliminaires pour le nitrite	55
Tableau 29 - Résultats et réglementation pour les nitrites.....	55
Tableau 30 - Résultats et réglementation pour le pH	56
Tableau 31 - Résultats pour la conductivité	57
Tableau 32 - Résultats des températures	58
Tableau 33- Résultats et réglementation pour l'oxygène dissous	59
Tableau 34 - Résultats et réglementation pour les nitrates, in situ	60
Tableau 35 - Résultats et réglementation pour les MES	62
Tableau 36- Résultats et réglementation pour le COT, in situ	62
Tableau 37 - Résultats et réglementation pour le phosphate, l'ammonium et les chlorures, in situ	63
Tableau 38- Résultats et réglementation pour les études en laboratoire	65
Tableau 39 - Résultats et réglementation pour les études in situ.....	66

Introduction

L'eau est une ressource précieuse impactée par nos activités et la pollution qui en découle, menaçant sa quantité et sa qualité. En France, l'eau est exploitée pour des usages domestiques, économiques et peut être utilisée pour créer de l'énergie électrique, elle nécessite donc une réglementation pour garantir son bon usage. Toutefois, l'accès à l'eau n'est pas garanti toute l'année, ni sur l'entièreté du territoire, notamment lors des périodes d'été où certaines régions peuvent se retrouver en situation de stress hydrique. Les rivières, les lacs ou encore les nappes phréatiques s'assèchent et ne peuvent plus assurer les besoins en eau des habitants. Mais cela impacte aussi la faune et la flore qui ont besoin d'eau pour vivre. Pour rappel, une rivière représente le milieu de vie d'une multitude d'organismes vivants et un élément structurant du paysage, car sa puissance modèle l'habitat. Son fonctionnement naturel étant fortement impacté par nos activités anthropiques, cela peut modifier son régime hydrologique, et donc affecter les organismes vivants.

Pour assurer le bon fonctionnement des réseaux hydrographiques, il est donc nécessaire de mettre en place des réglementations strictes. En France, il y a beaucoup de lois sur l'eau, et des systèmes de gestion de rivière. Des législations sont mises en place au niveau national telle que la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006 ou la loi GEMAPI (gestion des eaux et des milieux aquatiques et la prévention des inondations). Il existe également des législations au niveau Européen telle que la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) : « la DCE fixe des objectifs pour la préservation et la restauration de l'état des eaux superficielles (eaux douces et eaux côtières) et pour les eaux souterraines (1) ». Nous retrouvons également des structures en charge de la gestion de l'eau comme l'Agence de l'eau, qui a pour but d'améliorer la gestion de l'eau, de lutter contre sa pollution et de protéger les milieux aquatiques. Les agences de l'eau et les établissements publics d'aménagement et de gestion de l'eau (EPAGE) travaillent ensemble pour coordonner les actions de gestion de l'eau et des milieux aquatiques à l'échelle d'un territoire donné.

L'EPAGE qui s'occupe de gérer le bassin versant de l'Arc se nomme Menelik et remplace maintenant le SABA (Syndicat d'Aménagement du Bassin de l'Arc). Son rôle est de gérer les risques d'inondation et la qualité des cours d'eau du bassin versant impactés par l'Homme. En effet, la Provence est un territoire marqué par une forte occupation humaine résultant d'un mélange de cultures. Le territoire et les paysages ont été ainsi modelés par cette occupation humaine mais aussi par la présence d'eau avec le bassin versant de l'Arc. L'Arc est une rivière méditerranéenne prenant sa source à Pourcieux dans le Var et se jetant dans l'étang de Berre. Elle est caractérisée par des crues en automne avec des risques d'inondation, des phases d'étiage en été, avec l'essentiel de l'eau restante provenant des rejets de stations d'épuration, et une ripisylve très présente avec un milieu forestier et agricole.

Ce cours d'eau, en s'incisant, a permis de créer des plaines alluviales qui servent actuellement pour l'agriculture comme la vigne ou les oliviers, typiques de la Provence. Toutefois, l'arrivée d'eau a fait apparaître de nouvelles plantations ayant besoin d'un sol plus humide telles que les arbres fruitiers ou les champs de blé et cela a eu pour conséquence l'utilisation de pesticides impactant la qualité de l'eau de l'Arc et de ses affluents.

Mais un autre problème touche ce cours d'eau : la forte pression anthropique. Sur le sol du bassin versant de l'Arc se trouve une importante occupation humaine qui se traduit par une modification du fonctionnement du réseau hydrographique. L'Arc est une rivière où la pression des rejets des stations d'épuration est très importante car il y a aux alentours une emprise foncière importante. En effet, la densité de la population ne cesse d'augmenter dans les zones périphériques avec un développement important de zones commerciales et industrielles. Ces zones d'activité peuvent impacter la composition physico-chimique de l'eau mais aussi la quantité d'eau dans la rivière. Cependant les stations

d'épuration ne suivent pas la même dynamique et donc sont moins performantes. Ainsi les rivières se chargent en éléments nutritifs, les eaux sont moins bien traitées ce qui va polluer les cours d'eau. Dans ce rapport, nous allons étudier l'évolution spatiale et temporelle de la qualité de l'Arc, en nous appuyant également sur l'état de l'eau d'un de ses affluents, le Grand Torrent, en utilisant des méthodes biologiques et chimiques. Nous nous demanderons si l'Arc a un fonctionnement différent de son affluent le Grand Torrent, mais également si le Grand Torrent a un rôle de dilution dans la pollution de l'Arc. Pour répondre à ces questions, nous allons utiliser des méthodes d'analyse en chimie, en biologie animale et en biologie végétale pour estimer la qualité de l'eau de l'Arc et du Grand Torrent.

Présentation du site d'étude

L'Arc est une rivière méditerranéenne française qui prend sa source à Pourcieux dans le Var et qui se jette dans l'étang de Berre. Ce cours d'eau mesure 83 km et forme un bassin versant de 727 km². En été, le débit de l'Arc est largement soutenu par les rejets de stations d'épuration. Ces stations d'épuration vont être les principales perturbations du cours d'eau ce qui va modifier la qualité et la quantité de l'eau.

L'Arc peut être divisé en trois zones. En amont se trouve la haute vallée de l'Arc avec une densité de population faible et une activité agricole importante. Entre l'amont et l'aval se trouve la zone périurbaine d'Aix-en-Provence, une zone très urbanisée avec une forte imperméabilisation du sol, entraînant des problèmes de ruissellements et donc d'inondations. En aval se trouve l'étang de Berre, avec, aux alentours, une forte pression agricole et industrielle. L'étang de Berre connaît un passé de pollution important, dû notamment à la centrale hydroélectrique EDF qui y relâchait des eaux chargées en nitrates et en limons, ayant conduit au cours de l'été 2018 à une crise écologique sans précédent. Aujourd'hui, le phénomène d'eutrophisation est très marqué dans l'étang de Berre, la salinité ainsi que l'oxygène diminuent, ce qui entraîne la prolifération de cyanobactéries qui produisent des toxines dangereuses pour l'Homme. C'est pourquoi il est important de surveiller les cours d'eau l'alimentant.

En ce qui concerne les démarches pour ce rapport, les prélèvements ont été réalisés le 14 février 2023 par un temps plutôt nuageux, des températures allant de 5 à 11°C avec 21 km/h de vent. Le site où tous les prélèvements ont été effectués se trouve aux alentours d'Aix-en-Provence, sur un territoire très urbanisé et agricole au niveau de la confluence de l'Arc et de son affluent, le Grand-Torrent, qui prend sa source dans le bassin du Réaltor (voir figure n°1). A cet endroit, la ripisylve autour du cours d'eau est assez dense, les terrains agricoles sont très présents et deux stations d'épuration sont implantées à seulement quelques kilomètres en amont (voir figure n°2).

Nous nous attendons à ce que la qualité de l'Arc soit impactée par cette occupation anthropique, avec une eau chargée en nutriment (azote, phosphore, matière organique) et une faible concentration en O₂ dans l'eau. Nous prévoyons également d'observer un rôle de dilution de cette pollution par le Grand Torrent.



Données cartographiques : © IGN, CRIGE-PACA, Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Département des Bouches-du-Rhône, MAA

Figure 1-Image satellite représentant la zone d'échantillonnage au niveau de la confluence du Grand Torrent et de l'Arc (réalisée sur Géoportail)

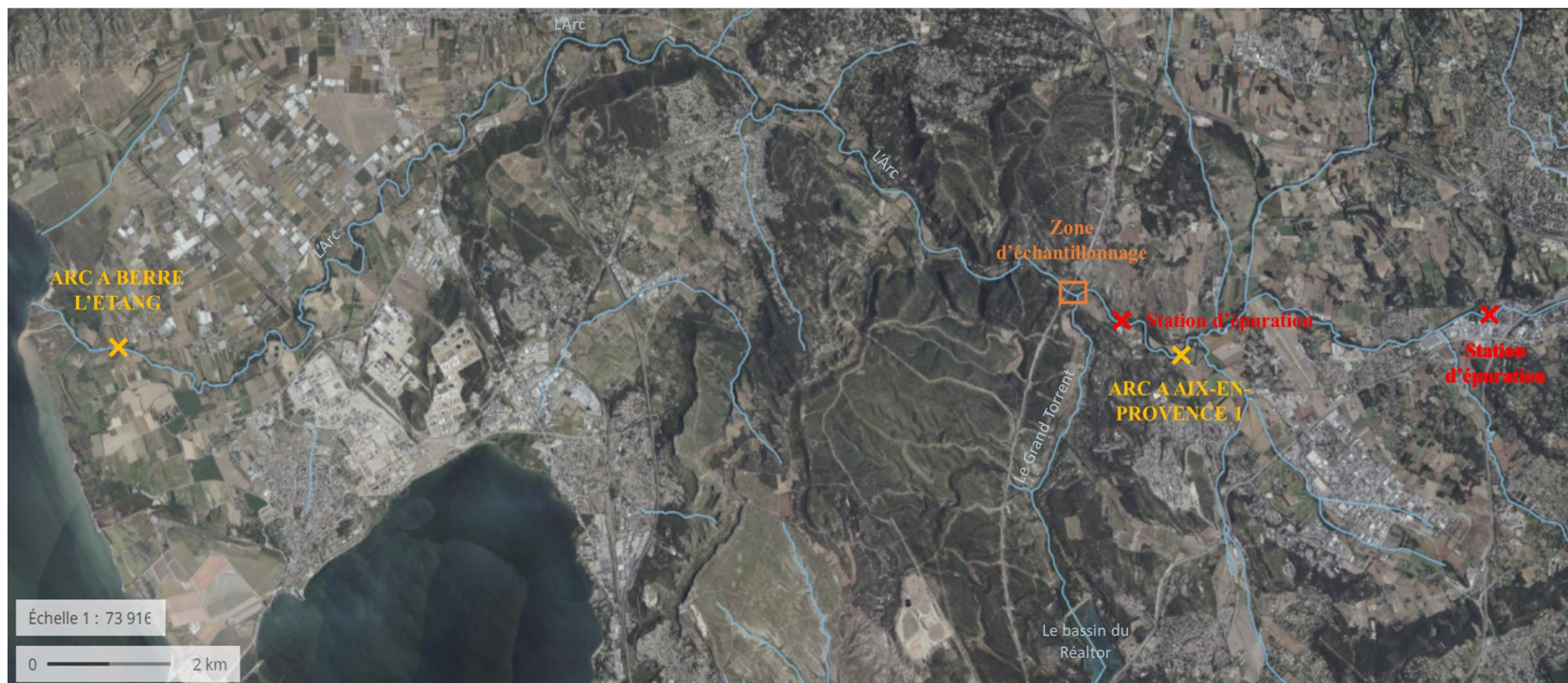


Figure 2-Carte représentant le site d'étude, les stations ARC A AIX-EN-PROVENCE et ARC A BERRE L'ETANG, et les stations d'épuration (réalisée sur Géoportail)

I. Biologie animale

A. Matériel et méthodes

1. Évaluation de la qualité d'un cours d'eau

L'évaluation de la qualité d'un cours d'eau en biologie animale consiste à analyser la composition de la faune aquatique présente dans le cours d'eau. Il existe différentes méthodes pour estimer la qualité d'un cours d'eau. Ce rapport s'attardera sur les deux dernières.

a) Indice poisson-rivière

L'indice poisson rivière est une méthode qui permet l'évaluation de la qualité de l'eau basée sur la composition de la faune d'un cours d'eau.

L'indice poisson-rivière prend en compte la présence, l'abondance et la diversité des espèces de poissons collectées dans le cours d'eau à évaluer. Il permet d'identifier et de quantifier des espèces de poissons afin d'obtenir un indice de diversité piscicole qui va être comparé à un indice de référence pour classer la qualité de l'eau.

b) IBD

L'IBD (indice biotique global dérivé) est un indice qui permet d'évaluer la qualité de l'eau en utilisant la composition de macro-invertébrés comme indicateur. Cet indice se base sur la collecte de macro-invertébrés qui sont classés en fonction de leur tolérance à la pollution. Si un grand nombre d'espèces est polluo-tolérantes, le cours d'eau est pollué.

c) Faune hyporhéique

La faune hyporhéique est la faune qui se trouve à l'intersection entre la rivière et la nappe. Cette faune est alimentée par les infiltrations ou les exfiltrations et permet de comprendre comment se font les échanges entre la rivière et la nappe.

Cette faune peut être utilisée pour évaluer la qualité d'un cours d'eau car elle est sensible aux changements dans l'environnement aquatique et spécifique à des conditions environnementales particulières ce qui en fait de bons indicateurs pour évaluer la qualité de l'eau.

d) Indice de Shannon

L'indice de Shannon permet de mesurer la diversité des espèces dans un écosystème en utilisant les données sur le nombre et la fréquence ou la répartition de chaque espèce dans un échantillon de la communauté d'organismes.

Plus l'indice de Shannon est élevé, plus il y a d'espèces différentes dans l'écosystème.

e) Note IBGN

La note IBGN (indice Biotique Global Normalisé) est une méthode qui permet d'apprécier la qualité d'un cours d'eau à partir d'invertébrés.

Les invertébrés sont présents partout dans la rivière et sont faciles à prélever et interpréter. Il y a une grande diversité taxonomique, telles que des espèces polluo-sensibles ou polluo-tolérantes et des espèces présentes tout au long de l'année.

La méthode consiste à prélever des échantillons de macro-invertébrés benthiques sur 8 points du cours d'eau. Les invertébrés sont ensuite triés et identifiés en laboratoire, il est nécessaire d'avoir au moins 3 individus d'une même espèce pour que ce soit représentatif.

Les résultats sont comparés à une base de données de référence pour établir une note IBGN qui permet d'évaluer la qualité de l'eau du cours d'eau. La note IBGN se base sur la classe de variété (diversité du peuplement) et le groupe indicateur (polluo-sensibilité) et varie entre 0 et 20, où 20 représente la meilleure qualité d'eau et 0 la pire.

Afin de faciliter l'interprétation de l'indice, il est possible de le découper en différentes classes représentant l'état écologique du cours d'eau (2) :

- 0 à 4 : très mauvais
- 5 à 8 : mauvais
- 9 à 12 : moyen
- 13 à 16 : bon
- 17 à 20 : très bon

2. Prélèvements au surber

Afin de pouvoir calculer la note IBGN de ce cours d'eau, des prélèvements de petits invertébrés aquatiques ont été effectués à l'aide d'un surber. C'est un outil utilisé dans le but de collecter et identifier les invertébrés afin d'étudier la biodiversité et la qualité de l'eau.

Cet instrument est constitué d'un cadre métallique au niveau de sa base, rattaché à une structure en métal sur laquelle est fixé un filet en maille fine. Le surber est placé sur le fond du cours d'eau, l'entrée du filet face au courant. Le cadre délimite la zone de prélèvement des organismes (dimensions : 1/20 m²). Les granulats grossiers et les éléments organiques du substrat du fond de la rivière sont délicatement déplacés et frottés afin de détacher les organismes pour que ceux-ci soient emportés par le courant et piégés dans le filet.

Une fois le prélèvement terminé, le filet est retourné et les organismes sont versés dans une bassine contenant de l'eau afin de s'assurer qu'ils soient tous récupérés. Ils passent ensuite dans un tamis pour vider l'eau, puis sont déposés dans un « récipient » et immergés dans l'alcool pour la conservation.

3. Carte d'un tronçon du cours d'eau

Le faciès du cours d'eau va être défini par la typologie de Malavoi prenant en compte la profondeur, la vitesse, le profil en travers et le profil en long.

Afin de réaliser ce faciès, la rivière a été divisée en 3 tronçons mesurant chacun 5 mètres de long. Chaque groupe a travaillé sur un tronçon de la rivière pour réaliser une carte des faciès, comprenant la gamme de vitesse et les substrats. Ci-dessous sont représentés 2 des 3 tronçons qui se suivent correspondant à ceux réalisés par les membres de notre groupe.

Sur chaque tronçon, 2 prélèvements ont été réalisés avec un surber.

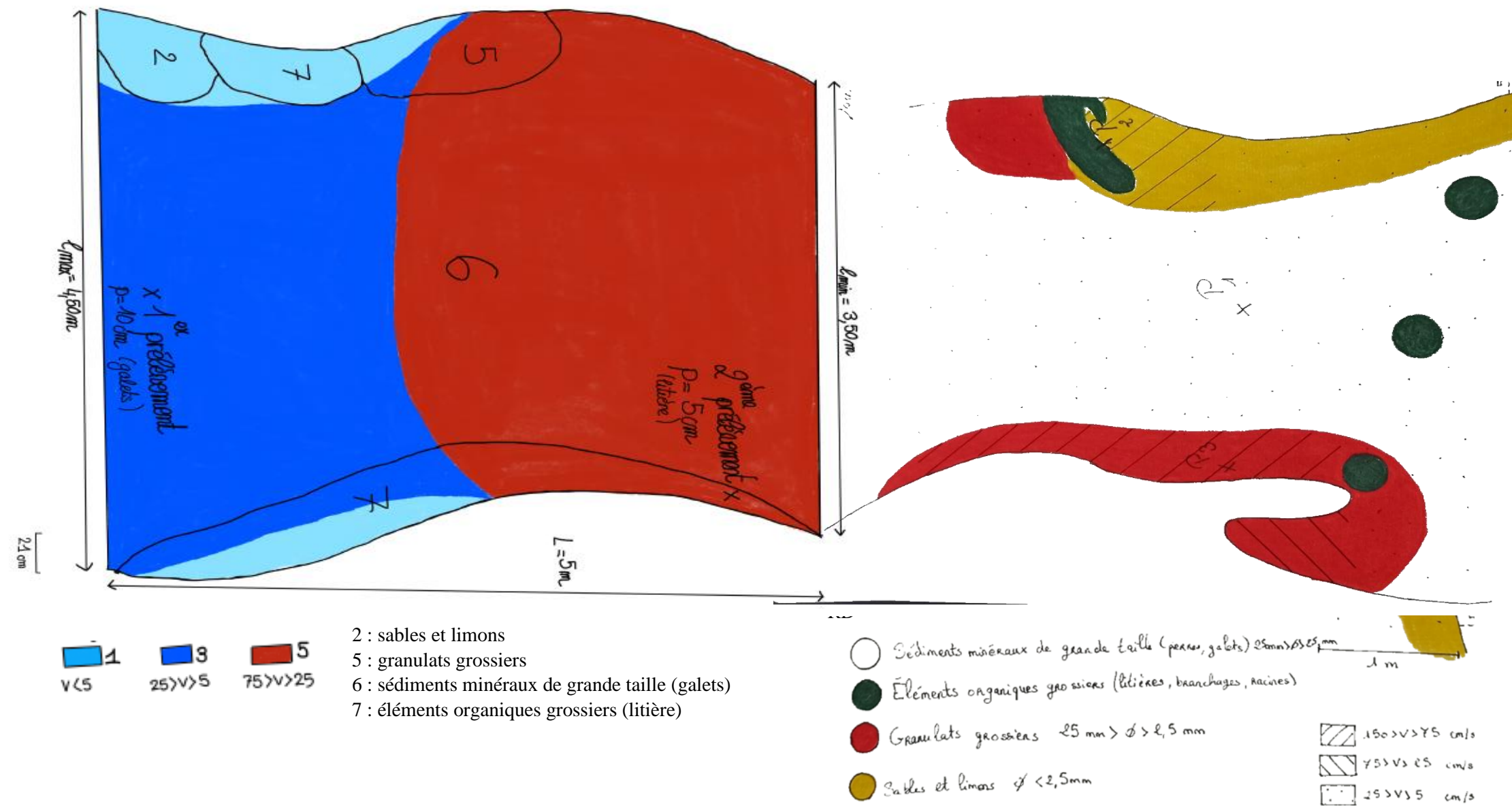


Figure 3-Carte des faciès du cours d'eau

4. Au laboratoire

Après récupération les 8 échantillons, ceux-ci sont stockés dans de l'alcool et amenés au laboratoire pour être triés, identifiés et dénombrés.

Pour cela, les échantillons qui se trouvent dans des récipients, sont versés dans un tamis, récupérés dans une bassine d'eau, triés avec une pince via une loupe binoculaire et mis dans une boîte de Petri.

Afin d'identifier les échantillons, il faut utiliser une clé de détermination des macro-invertébrés et ensuite déterminer le nombre d'espèces dans chaque échantillon.

B. Résultats

1. Grand Torrent

f) Identification et dénombrement

Après avoir identifié les invertébrés avec une clé de détermination, ils ont été comptés et classés dans un tableau, pour 8 substrats différents, en fonction de l'espèce, de la famille et du genre.

Ces 8 substrats représentent 8 prélèvements qui ont été effectués sur le Grand Torrent. Les échantillons numérotés 1 à 4 sont ceux prélevés par notre groupe et les échantillons 5 à 8 appartiennent à un autre groupe.

La somme des individus d'un même genre pour tous les échantillons a été effectuée permettant ainsi de calculer la fréquence de chaque genre dans le périmètre étudié.

		Nom	Échantillon 1	Échantillon 2	Échantillon 3	Échantillon 4
		Substrat	Elements organiques grossiers (litière)	Granulats grossiers	Elements organiques grossiers (litières, branches)	Granulats grossiers
		Vitesse	< 5 cm/s	5-25 cm/s	25-75 cm/s	25-75 cm/s
		Profondeur	5 cm	10 cm	7 cm	5 cm
Annélides	Oligochètes	Oligochètes				
Crustacés	<i>F. Gammaridae</i>	<i>g. Gammarus</i>	6	6	51	9
	<i>F. Cyclopide</i>	(crustacé copépode)				
Plécoptères	<i>F. Perlidae</i>	<i>F. Perlidae</i>			1	
	<i>F. Perlodidae</i>	<i>F. Perlodidae</i>	4			3
	<i>F. Capniidae</i>	<i>g. Capnia</i>			2	
Mollusques	<i>F. Lymnaeidae</i>	<i>g. Stagnicola</i>				
		<i>g. Galba</i>				1
	<i>Pulmoné</i>	<i>g. Potamopyrgus antipodarum</i>				
Ephéméroptères	<i>F. Baetidae</i>	<i>g. Baetis</i>		4	1	
	<i>F. Caenidae</i>	<i>g. Caenis</i>	2			
	<i>F. Leptophlebiidae</i>	<i>g. Paraleptophlebia</i>		1		
	<i>F. Ephemerellidae</i>	<i>g. Ephemerella</i>				6
	<i>F. Potamanthidae</i>	<i>g. Potamonthus luteus</i>			1	
	<i>F. Ephemeridae</i>	<i>g. Ephemera</i>			2	
Trichoptères	<i>F. Limnephilidae</i>	<i>F. Limnephilidae</i>	1		1	
	<i>F. Rhyacophilidae</i>	<i>s.g. Hyporhyacophila</i>				5
	<i>F. Philopotamidae</i>	<i>F. Philopotamidae</i>	1			
	<i>F. Sericostomatidae</i>	<i>g. Schizopelex</i>			1	
	<i>F. Ecnomidae</i>	<i>G. Ecnomus</i>			2	
	<i>F. Hydropsychidae</i>	<i>g. Hydropsyche</i>			1	
		<i>g. Cheumatopsyche lepida</i>				
	<i>F. Brachycentridae</i>	<i>F. Brachycentridae</i>			1	
	<i>F. Odontoceridae</i>	<i>g. Odontocerum</i>				
Coléoptères		<i>g. Silo</i>				
	<i>F. Elmidae</i>	<i>g. Elmis</i>	3		1	2
		<i>g. Esolus</i>				20
		<i>g. Stenelmis</i>			2	7
		<i>g. Riolus</i>				3
		<i>g. Macronychus</i>				
		<i>g. Limnius</i>				
	<i>F. Gyrinidae</i>	<i>g. Orectochilus</i>			1	
Diptères	<i>F. Chironomidae</i>	<i>s.F. Orthocladiinae</i>	50	4	21	8
		<i>s.F. Chironominae</i>			2	
Odonates	<i>F. Gomphidae</i>	<i>g. Onychogomphus</i>			2	
		<i>g. Gomphus</i>				
Total			67	15	93	64

Tableau 1-Identification des individus pour les échantillons 1 à 4

		Nom	Échantillon 5	Échantillon 6	Échantillon 7	Échantillon 8
		Substrat	Sédiments minéraux de grande taille (diamètre entre 25 et 250 mm)	Sédiments minéraux de grande taille (diamètre entre 25 et 250 mm)	Sédiments minéraux de grande taille (diamètre entre 25 et 250 mm)	Eléments organique grossier (feuilles)
		Vitesse	5 - 25 cm/s	5 - 25 cm/s	25 - 75 cm/s	< 5 cm/s
		Profondeur	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm
Annélides	Oligochètes	Oligochètes				2
Crustacés	<i>F. Gammaridae</i>	<i>g. Gammarus</i>	55	60	6	
	<i>F. Cyclopide</i>	(crustacé copépode)				1
Plécoptères	<i>F. Perlidae</i>	<i>F. Perlidae</i>				
	<i>F. Perlodidae</i>	<i>F. Perlodidae</i>	5	7	3	2
	<i>F. Capnidae</i>	<i>g. Capnia</i>				
Mollusques	<i>F. Lymnaeidae</i>	<i>g. Stagnicola</i>	2			
		<i>g. Galba</i>				
	<i>Pulmoné</i>	<i>g. Potamopyrgus antipodarum</i>			1	
Ephéméroptères	<i>F. Baetidae</i>	<i>g. Baetis</i>	10	7	12	
	<i>F. Caenidae</i>	<i>g. Caenis</i>	16	7	3	
	<i>F. Leptophlebiidae</i>	<i>g. Paraleptophlebia</i>				
	<i>F. Ephemerellidae</i>	<i>g. Ephemerella</i>				
	<i>F. Potamanthidae</i>	<i>g. Potamenthus luteus</i>				
	<i>F. Ephemeridae</i>	<i>g. Ephemera</i>				1
Trichoptères	<i>F. Limnephilidae</i>	<i>F. Limnephilidae</i>				
	<i>F. Rhyacophilidae</i>	<i>s.g. Hyporhyacophila</i>				
	<i>F. Philopotamidae</i>	<i>F. Philopotamidae</i>				
	<i>F. Sericostomatidae</i>	<i>g. Schizopelex</i>				
	<i>F. Ecnomidae</i>	<i>G. Ecnomus</i>				
	<i>F. Hydropsychidae</i>	<i>g. Hydropsyche</i>				
	<i>F. Hydropsychidae</i>	<i>g. Cheumatopsyche lepida</i>				1
	<i>F. Brachycentridae</i>	<i>F. Brachycentridae</i>				
	<i>F. Odontoceridae</i>	<i>g. Odontocerum</i>			1	
Coléoptères	<i>F. Elmidae</i>	<i>g. Silo</i>			1	
		<i>g. Elmis</i>	7	5	1	
		<i>g. Esolus</i>	2	6		
		<i>g. Stenelmis</i>				
		<i>g. Riolus</i>				
		<i>g. Macronychus</i>	8	5		
	<i>g. Limnius</i>	2	8	4	4	
<i>F. Gyrinidae</i>	<i>g. Orectochilus</i>					
Diptères	<i>F. Chironomidae</i>	<i>s.F. Orthocladiinae</i>	32	24	1	47
		<i>s.F. Chironominae</i>				
Odonates	<i>F. Gomphidae</i>	<i>g. Onychogomphus</i>	3			
		<i>g. Gomphus</i>				1
Total			142	129	33	59

Tableau 2-Identification des individus pour les échantillons 5 à 8

g) Estimation sur la surface de notre zone

Les résultats représentés ci-dessus correspondent à une surface de prélèvement de la taille du surber qui a pour dimension 1/20 de m². Les échantillons provenant de 8 surbers, les individus dénombrés représentent une aire de 8/20 de m². Il est alors possible de calculer le nombre d'individus présents par m² en multipliant par 2,5 les dénombrements.

Il s'agit ensuite de trouver combien d'individus pourraient être présents sur l'ensemble de la surface étudiée. La forme représentée sur la carte des faciès du cours d'eau correspond approximativement à celle d'un trapèze d'une hauteur de 10 mètres correspondant à la longueur deux tronçons de 5 m. La grande base du trapèze est la largeur du cours d'eau en amont (4,5 mètres) et la petite base la largeur en aval (2,5 mètres).

La surface totale de ces deux tronçons, est la suivante :

$$\text{Aire trapèze} = \frac{(\text{petite base} + \text{grande base}) \times \text{hauteur}}{2}$$

$$\text{Approximation de l'aire des tronçons pour 4 échantillons} = \frac{(2,5 + 4,5) \times 10}{2} = 35 \text{ m}^2$$

Étant donné que nous n'avons pas les valeurs des tronçons des échantillons 5, 6, 7 et 8, nous avons doublé la surface pour avoir l'aire totale des 4 tronçons.

Ainsi, il faut multiplier par 70 le nombre d'individus benthiques obtenus par m² pour avoir le total sur l'aire de la zone étudiée.

En prenant l'exemple du genre *Gammarus* : ils sont 193 dans les échantillons prélevés.

Nombre de *Gammarus* par m² = 193 × 2,5 = 182,5 individus

Nombre de *Gammarus* dans la surface totale = 182,5 × 70 = 33 775 individus.

Les calculs ont été effectués dans un tableur et les résultats sont représentés dans le tableau de la page suivante.

			Nombre total dans les prélèvements au surber	Nombre estimé dans le tronçon étudié
Annélides	Oligochètes	Oligochètes	2	350
Crustacés	<i>F. Gammaridae</i>	<i>g. Gammarus</i>	193	33775
	<i>F. Cyclopide</i>	(crustacé copépode)	1	175
Pléocoptères	<i>F. Perlidae</i>	<i>F. Perlidae</i>	1	175
	<i>F. Perlodidae</i>	<i>F. Perlodidae</i>	24	4200
	<i>F. Capnidae</i>	<i>g. Capnia</i>	2	350
Mollusques	<i>F. Lymnaeidae</i>	<i>g. Stagnicola</i>	2	350
		<i>g. Galba</i>	1	175
	Pulmoné	<i>g. Potamopyrgus antipodarum</i>	1	175
Ephéméroptères	<i>F. Baetidae</i>	<i>g. Baetis</i>	34	5950
	<i>F. Caenidae</i>	<i>g. Caenis</i>	28	4900
	<i>F. Leptophlebiidae</i>	<i>g. Paraleptophlebia</i>	1	175
	<i>F. Ephemerellidae</i>	<i>g. Ephemerella</i>	6	1050
	<i>F. Potamanthidae</i>	<i>g. Potamenthus luteus</i>	1	175
	<i>F. Ephemeridae</i>	<i>g. Ephemera</i>	3	525
Trichoptères	<i>F. Limnephilidae</i>	<i>F. Limnephilidae</i>	2	350
	<i>F. Rhyacophilidae</i>	<i>s.g. Hyporhyacophila</i>	5	875
	<i>F. Philopotamidae</i>	<i>F. Philopotamidae</i>	1	175
	<i>F. Sericostomatidae</i>	<i>g. Schizopelex</i>	1	175
	<i>F. Ecnomidae</i>	<i>G. Ecnomus</i>	2	350
	<i>F. Hydropsychidae</i>	<i>g. Hydropsyche</i>	1	175
		<i>g. Cheumatopsyche lepida</i>	1	175
	<i>F. Brachycentridae</i>	<i>F. Brachycentridae</i>	1	175
	<i>F. Odontoceridae</i>	<i>g. Odontocerum</i>	1	175
	<i>F. Goeridae</i>	<i>g. Silo</i>	1	175
Coléoptères	<i>F. Elmidae</i>	<i>g. Elmis</i>	19	3325
		<i>g. Esolus</i>	28	4900
		<i>g. Stenelmis</i>	9	1575
		<i>g. Riolus</i>	3	525
		<i>g. Macronychus</i>	13	2275
		<i>g. Limnius</i>	18	3150
	<i>F. Gyrinidae</i>	<i>g. Orectochilus</i>	1	175
Diptères	<i>F. Chironomidae</i>	<i>s.F. Orthocladiinae</i>	187	32725
		<i>s.F. Chironominae</i>	2	350
Odonates	<i>F. Gomphidae</i>	<i>g. Onychogomphus</i>	5	875
		<i>g. Gomphus</i>	1	175
Total			602	105350

Tableau 3-Nombre d'individus dans l'ensemble de la surface couvrant les 8 échantillons

Ainsi, le nombre total estimé de macro-invertébrés benthiques serait de 105 350 pour une aire de 70 m² sur le cours d'eau du Grand Torrent.

En divisant 105 350 par 70, il est possible d'obtenir la densité de population de la zone. Celle-ci est donc de 1505 individus/m². Cela peut sembler énorme, mais pour la plupart, leur taille ne dépasse pas quelques millimètres.

h) Fréquence et écologie des taxons

Afin de déterminer quelles sont les espèces les plus représentatives de ce milieu, la fréquence de chaque taxon a été calculée.

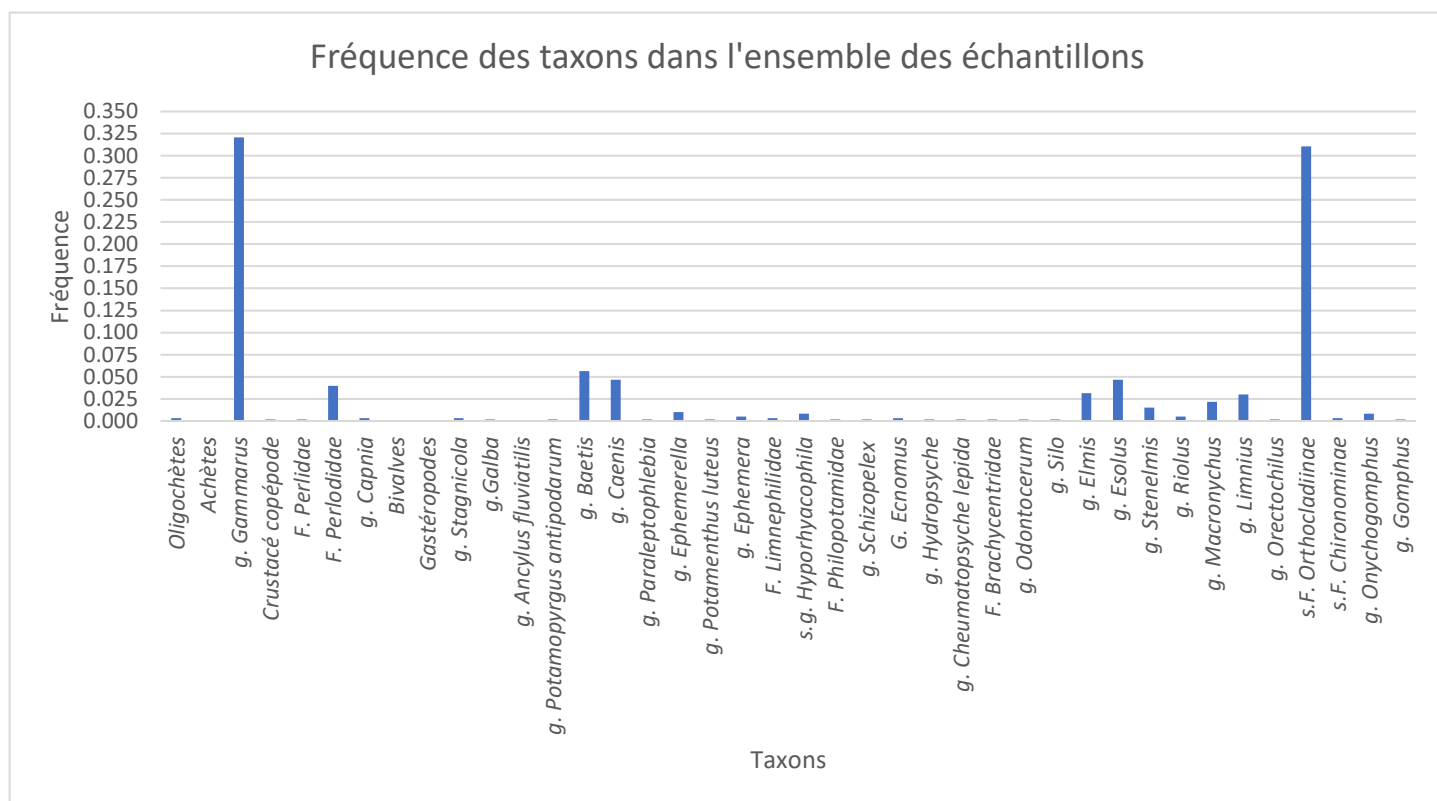


Figure 5- Fréquence des taxons dans l'ensemble des échantillons

Dans la zone étudiée, les espèces les plus récurrentes sont les *Gammarus*, les *Perlotidae*, les *Baetis*, les *Caenis*, les *Esolus* et les *Orthocladinae*. Ces espèces ont été trouvées dans de la litière, des granulats grossiers, des branches, des feuilles et des sédiments minéraux à des vitesses de courant variant entre 5 et 75 cm/s.

Selon la littérature, ces espèces sont principalement des broyeurs, racleurs ou brouteurs eurythermes vivants dans une eau à pH > 5,5 dans des pierres, des galets, des algues filamenteuses dans un courant compris entre 25 et 50 cm/s ce qui correspond avec les espèces étudiées. Il est possible de supposer que cet écosystème n'a pas subi de grosses perturbations anthropiques.

Afin d'affiner ces suppositions, un autre tableau de la fréquence des individus possédant les mêmes modes d'alimentations a été représenté ci-dessous.

Ces calculs ont été faits en divisant le nombre d'individus qui ont le même régime alimentaire par le nombre total d'individus pour chaque substrat. Les genres ont préalablement été regroupés par régime alimentaire et la somme de tous les individus d'un même mode d'alimentation a été calculée avant de réaliser ces fréquences.

Mode d'alimentation	Échantillon 1	Échantillon 2	Échantillon 3	Échantillon 4	Échantillon 5	Échantillon 6	Échantillon 7	Échantillon 8
Absorption à travers les téguments	-	-	-	-	-	-	-	-
Mangeur de sédiments fins	0,03	-	0,02	0,00	0,11	0,05	0,09	0,03
Broyeur	0,15	0,47	0,63	0,28	0,42	0,52	0,30	0,05
Racleur, brouteur	0,79	0,53	0,27	0,73	0,44	0,43	0,61	0,86
Filtreur	0,01	-	0,08	-	-	-	-	0,03
Perceur (algivore ou prédateur suceur)	-	-	-	-	-	-	-	-
Prédateur (découpeur ou avaleur)	-	-	0,02	0,08	0,02	-	0,03	0,03
Parasite	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 4-Fréquence du mode d'alimentation des individus par substrat

Ce tableau montre qu'il y a majoritairement des broyeur et des racleurs, brouteurs dans la zone étudiée. Les caractéristiques d'un environnement définissent un milieu de vie pour les organismes vivants. Tous les échantillons ont été prélevés dans le Grand Torrent dans une zone située entre l'amont et l'aval. Dans ce type de zone, nous retrouvons généralement une forte production autochtone avec un grand nombre de brouteurs ce qui correspond bien aux résultats trouvés précédemment. Étant donné que le peuplement théorique et que le peuplement analysé sont les mêmes, nous pouvons donc faire une première hypothèse et dire que l'eau du Grand Torrent ne subit pas de perturbation anthropique.

i) Indice de Shannon

L'indice de Shannon est un indice de diversité des espèces dans un écosystème. Il a été calculé en multipliant la fréquence de chaque genre par le logarithme népérien de la fréquence de chaque genre. L'indice de Shannon (H') a été calculé de la manière suivante : $H' = -\sum [p_i \times \ln(p_i)]$ avec p_i la fréquence de chaque taxon.

		Nom	Fréquence des taxons dans l'ensemble de la surface étudiée	$p_i \times \ln(p_i)$
Annélides	Oligochètes	Oligochètes	0,0033	-0,0190
Crustacés	<i>F. Gammaridae</i>	<i>g. Gammarus</i>	0,3206	-0,3647
	<i>F. Cyclopide</i>	(crustacé copépode)	0,0017	-0,0106
Plécoptères	<i>F. Perlidae</i>	<i>F. Perlidae</i>	0,0017	-0,0106
	<i>F. Perlodidae</i>	<i>F. Perlodidae</i>	0,0399	-0,1285
	<i>F. Capnidae</i>	<i>g. Capnia</i>	0,0033	-0,0190
Mollusques	<i>F. Lymnaeidae</i>	<i>g. Stagnicola</i>	0,0033	-0,0190
		<i>g. Galba</i>	0,0017	-0,0106
	Pulmoné	<i>g. Potamopyrgus antipodarum</i>	0,0017	-0,0106
Ephéméroptères	<i>F. Baetidae</i>	<i>g. Baetis</i>	0,0565	-0,1623
	<i>F. Caenidae</i>	<i>g. Caenis</i>	0,0465	-0,1427
	<i>F. Leptophlebiidae</i>	<i>g. Paraleptophlebia</i>	0,0017	-0,0106
	<i>F. Ephemerellidae</i>	<i>g. Ephemerella</i>	0,0100	-0,0459
	<i>F. Potamanthidae</i>	<i>g. Potamenthus luteus</i>	0,0017	-0,0106
	<i>F. Ephemeridae</i>	<i>g. Ephemera</i>	0,0050	-0,0264
Trichoptères	<i>F. Limnephilidae</i>	<i>F. Limnephilidae</i>	0,0033	-0,0190
	<i>F. Rhyacophilidae</i>	<i>s.g. Hyporhyacophila</i>	0,0083	-0,0398
	<i>F. Philopotamidae</i>	<i>F. Philopotamidae</i>	0,0017	-0,0106
	<i>F. Sericostomatidae</i>	<i>g. Schizopelex</i>	0,0017	-0,0106
	<i>F. Ecnomidae</i>	<i>G. Ecnomus</i>	0,0033	-0,0190
	<i>F. Hydropsychidae</i>	<i>g. Hydropsyche</i>	0,0017	-0,0106
		<i>g. Cheumatopsyche lepida</i>	0,0017	-0,0106
	<i>F. Brachycentridae</i>	<i>F. Brachycentridae</i>	0,0017	-0,0106
	<i>F. Odontoceridae</i>	<i>g. Odontocerum</i>	0,0017	-0,0106
	<i>F. Goeridae</i>	<i>g. Silo</i>	0,0017	-0,0106
Coléoptères	<i>F. Elmidae</i>	<i>g. Elmis</i>	0,0316	-0,1091
		<i>g. Esolus</i>	0,0465	-0,1427
		<i>g. Stenelmis</i>	0,0150	-0,0628
		<i>g. Riolus</i>	0,0050	-0,0264
		<i>g. Macronychus</i>	0,0216	-0,0828
		<i>g. Limnius</i>	0,0299	-0,1049
	<i>F. Gyrinidae</i>	<i>g. Orectochilus</i>	0,0017	-0,0106
Diptères	<i>F. Chironomidae</i>	<i>s.F. Orthocladiinae</i>	0,3106	-0,3632
		<i>s.F. Chironominae</i>	0,0033	-0,0190
Odonates	<i>F. Gomphidae</i>	<i>g. Onychogomphus</i>	0,0083	-0,0398
		<i>g. Gomphus</i>	0,0017	-0,0106
Total			1	2,1153

Tableau 5-Fréquence des taxons et Indice de Shannon dans l'ensemble de la zone étudiée

Nous obtenons ainsi un indice de Shannon de 2,1153. Cela signifie qu'il y a une grande diversité des espèces et leur abondance est similaire, ce qui signifie qu'il n'y a pas de dominance ou de disparition d'espèces. Nous pouvons donc supposer qu'il y a très peu de perturbation et d'altération du milieu.

j) IBGN

La note IBGN permet de caractériser la qualité d'un cours d'eau. En se référant au tableau donnant la valeur de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique de la macrofaune (AFNOR, 1992), la note IBGN a été calculée pour les invertébrés benthiques.

Classe de variété : étant donné qu'il y a 27 taxons différents, la classe de variété est de 8.

Groupe indicateur : il y a au moins 3 individus de *Perlodidae* donc le groupe indicateur est le 9.

Note IBGN = classe de variété + groupe indicateur – 1

Note IBGN = 8 + 9 – 1 = 16

Une note IBGN de 16 représente un bon état écologique de l'eau.

2. Étude des variations spatiales de la qualité de l'Arc

Afin d'étudier la variabilité spatiale de la qualité de l'Arc, nous avons comparé avec les données de 2021 des stations qui se trouvent en amont et celle en aval de notre site d'étude. Les données ont été récupérées sur le site « Naiades ».

La station en amont se nomme ARC A AIX-EN-PROVENCE 1 et celle en aval ARC A BERRE-L'ETANG.

L'indice de Shannon (H') a été calculé de la manière suivante : $H' = -\sum[p_i \times \ln(p_i)]$ avec p_i la fréquence de chaque taxon.

Et la note IBGN = classe de variété + groupe indicateur – 1

ARC A AIX-EN-PROVENCE 1	Fréquence	$p_i \times \ln(p_i)$	ARC A BERRE-L'ETANG	Fréquence	$p_i \times \ln(p_i)$
Ancylus	0,053	-0,157	Ancylus	0,185	-0,312
Asellidae	0,000	-0,002	Asellidae	0,001	-0,009
Baetis	0,150	-0,284	Athripsodes	0,000	-0,002
Caenis	0,000	-0,002	Baetis	0,062	-0,173
Calopteryx	0,000	-0,002	Caenis	0,035	-0,117
Ceratopogonidae	0,001	-0,004	Calopteryx	0,001	-0,007
Chironomidae	0,035	-0,118	Ceratopogonidae	0,000	-0,002
Corbicula	0,003	-0,019	Chironomidae	0,063	-0,174
Dugesidae	0,022	-0,085	Coenagrionidae	0,000	-0,002
Elmis	0,014	-0,059	Copepoda	0,000	-0,002
Erpobdellidae	0,001	-0,009	Corbicula	0,031	-0,108
Esolus	0,000	-0,002	Cyrnus	0,000	-0,002
Gammarus	0,542	-0,332	Dugesidae	0,030	-0,106
Hydracarina	0,000	-0,002	Elmis	0,040	-0,130
Hydropsyche	0,002	-0,011	Erpobdellidae	0,000	-0,003
Hydroptila	0,003	-0,015	Esolus	0,003	-0,016
Oligochaeta	0,063	-0,173	Ferrissia	0,000	-0,003
Onychogomphus	0,001	-0,004	Gammarus	0,266	-0,352
Oulimnius	0,001	-0,004	Goera	0,000	-0,002
Polycentropus	0,001	-0,004	Gyrinus	0,001	-0,006
Potamopyrgus	0,019	-0,075	Haliplus	0,000	-0,002
Psychomyia	0,006	-0,029	Helophorus	0,000	-0,002
Rhyacophila lato-sensu	0,001	-0,007	Hydracarina	0,000	-0,002
Serratella	0,001	-0,007	Hydropsyche	0,006	-0,030
Simuliidae	0,078	-0,199	Hydroptila	0,001	-0,004
Sphaeriidae	0,001	-0,006	Lymnaeidae	0,000	-0,002
Sphaerium	0,002	-0,014	Mystacides	0,000	-0,003
Stenelmis	0,001	-0,007	Nemathelmintha	0,000	-0,002
Indice de Shannon		1,63	Ochthebius	0,001	-0,004
			Oligochaeta	0,074	-0,192
			Onychogomphus	0,001	-0,006
			Ostracoda	0,000	-0,003
			Oulimnius	0,059	-0,168
			Physella	0,009	-0,041
			Piscicolidae	0,000	-0,003
			Pisidium	0,000	-0,002
			Platycnemis	0,000	-0,002
			Polycentropus	0,018	-0,072
			Potamopyrgus	0,049	-0,148
			Prostoma	0,000	-0,003
			Psychomyia	0,018	-0,072
			Rhyacophila lato-sensu	0,001	-0,008
			Serratella	0,039	-0,126
			Simuliidae	0,001	-0,008
			Stenelmis	0,002	-0,010
			Indice de Shannon	2,43	

Tableau 6-Fréquence des taxons et indice de Shannon pour les stations ARC A AIX-EN-PROVENCE 1 et ARC E BERRE-L'ETANG

Note IBGN ARC A AIX-EN-PROVENCE 1 :

n = 28 taxons

En se référant au tableau donnant la valeur de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique de la macrofaune (AFNOR, 1992), nous trouvons une classe de variété de 8.

Étant donné qu'il y a plus de 3 *Hydroptilidae* (*Hydroptila*), le groupe indicateur est de 5.

Note IBGN = classe de variété + groupe indicateur – 1

Note IBGN = 8 + 5 – 1

Note IBGN = 12

Note IBGN ARC A BERRE-L'ETANG :

n = 45 taxons

En se référant au tableau donnant la valeur de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique de la macrofaune (AFNOR, 1992), nous trouvons une classe de variété de 13.

Étant donné qu'il y a plus de 3 *Hydroptilidae* (*Hydroptila*), le groupe indicateur est de 5.

Note IBGN = classe de variété + groupe indicateur – 1

Note IBGN = 13 + 5 – 1

Note IBGN = 17

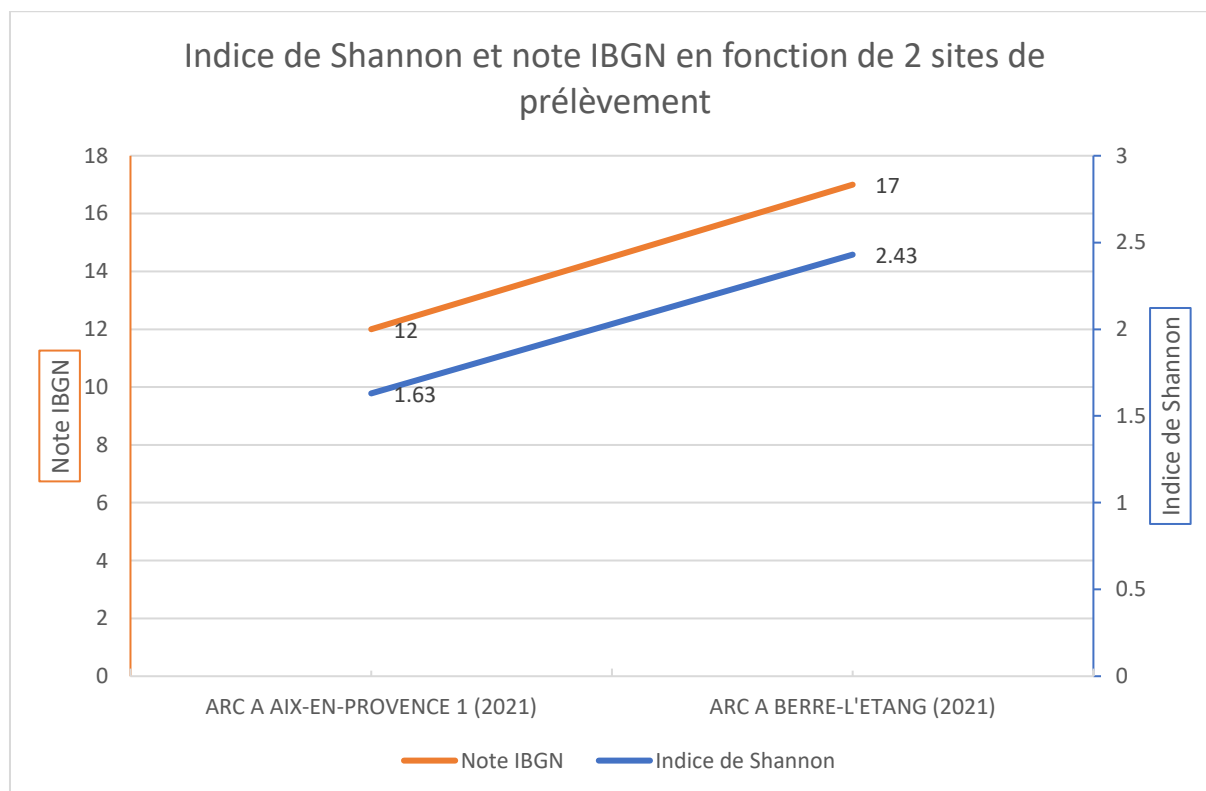


Figure 6-Indice de Shannon et note IBGN en fonction de 2 sites de prélèvement

Ce graphique montre l'indice de Shannon et la note IBGN de 2 stations en amont et en aval du site d'étude en 2021.

Ces deux paramètres sont corrélés, plus nous nous rapprochons de l'aval de la rivière, plus les valeurs augmentent.

Étant donné que le site d'étude se trouve à la confluence de l'Arc et de son affluent le Grand Torrent, il est possible que ce dernier, ayant une bonne qualité d'eau, joue un rôle de dilution de l'eau de l'Arc et améliore sa qualité.

3. Étude des variations temporelles de la qualité de l'Arc

Les deux mêmes indices ont été calculés afin d'étudier la variabilité de la qualité de l'eau sur 10 ans, entre 2012 et 2021 : l'indice de Shannon et la note IBGN. Les données ont à nouveau été récupérées sur le site « Naiades ».

L'indice de Shannon (H') a été calculé de la manière suivante : $H' = -\sum[p_i \times \ln(p_i)]$ avec p_i la fréquence de chaque taxon.

Par exemple, pour le taxon *Baetis* en 2012 :

- Sa fréquence est : $p_{\text{Baetis}} = 0,13216$
- $P_{\text{Baetis}} \times \ln(p_{\text{Baetis}}) = 0,13216 \times \ln(0,13216) = -0,26746$
- Cette formule a été appliquée à tous les taxons, puis l'opposé de la somme totale a été calculé pour obtenir H' .

La note IBGN a été calculée en prenant directement les valeurs données par le site dans les catégories « Variété taxonomique de l'indice » et « Groupe faunistique indicateur de l'indice » pour les macro-invertébrés aquatiques. En ayant la variété taxonomique (le nombre de taxons), il a été possible d'en déduire la classe de variété grâce au tableau de l'IBGN pour la macrofaune (AFNOR, 1992). Enfin, connaissant la classe de variété et le groupe faunistique, la note IBGN en a été déduit.

Voici les résultats pour chaque année regroupée dans un tableau :

Années	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Indice de Shannon	2,03	1,66	1,53	1,99	2,05	1,27	1,52	1,73	1,61	1,63
Note IBGN	12	12	9	11	14	11	12	13	11	11

Tableau 7-Indice de Shannon et note IBGN des années 2012 à 2021 de la station ARC A AIX-EN-PROVENCE 1

a) Indice de Shannon

Pour rappel, l'indice de Shannon sert d'indicateur de diversité des espèces. Plus celui-ci est élevé, plus il y a d'espèces différentes dans l'écosystème.

L'évolution de cet indice entre 2012 et 2021 a été représenté ci-dessous.

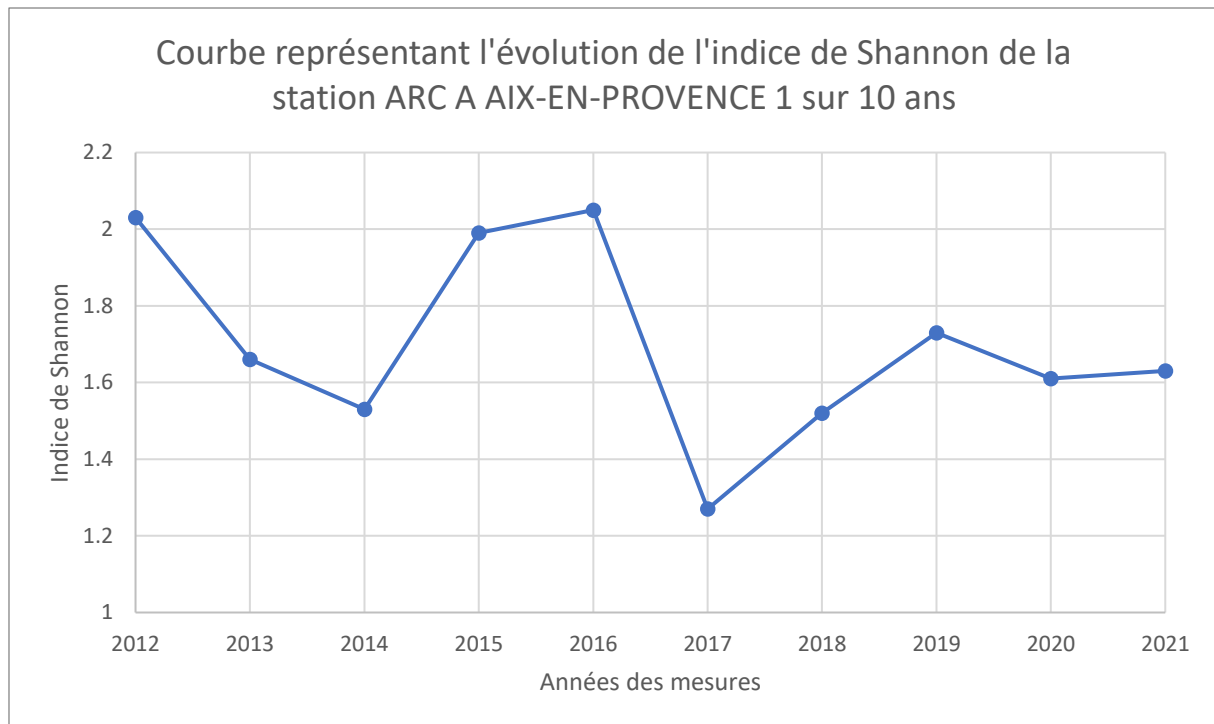


Figure 7-Evolution de l'indice de Shannon de la station ARC A AIX-EN-PROVENCE 1 sur 10 ans

D'après ce graphique, l'indice de Shannon ne reste pas stable et n'évolue pas de manière monotone au fil du temps. En effet, il est possible d'observer deux pics, en 2012 et en 2016 où l'indice est élevé et se situe au-dessus de 2. Cependant, il y a une grande diminution en 2017 où celui-ci atteint moins de 1,3. Toutefois, il est important de noter que cet indice ne descend pas en dessous de 1 et que le milieu garde donc une certaine diversité des espèces. Cette diversité reste cependant assez faible en comparaison avec des données de la littérature qui peuvent atteindre presque 5 (3).

b) Note IBGN

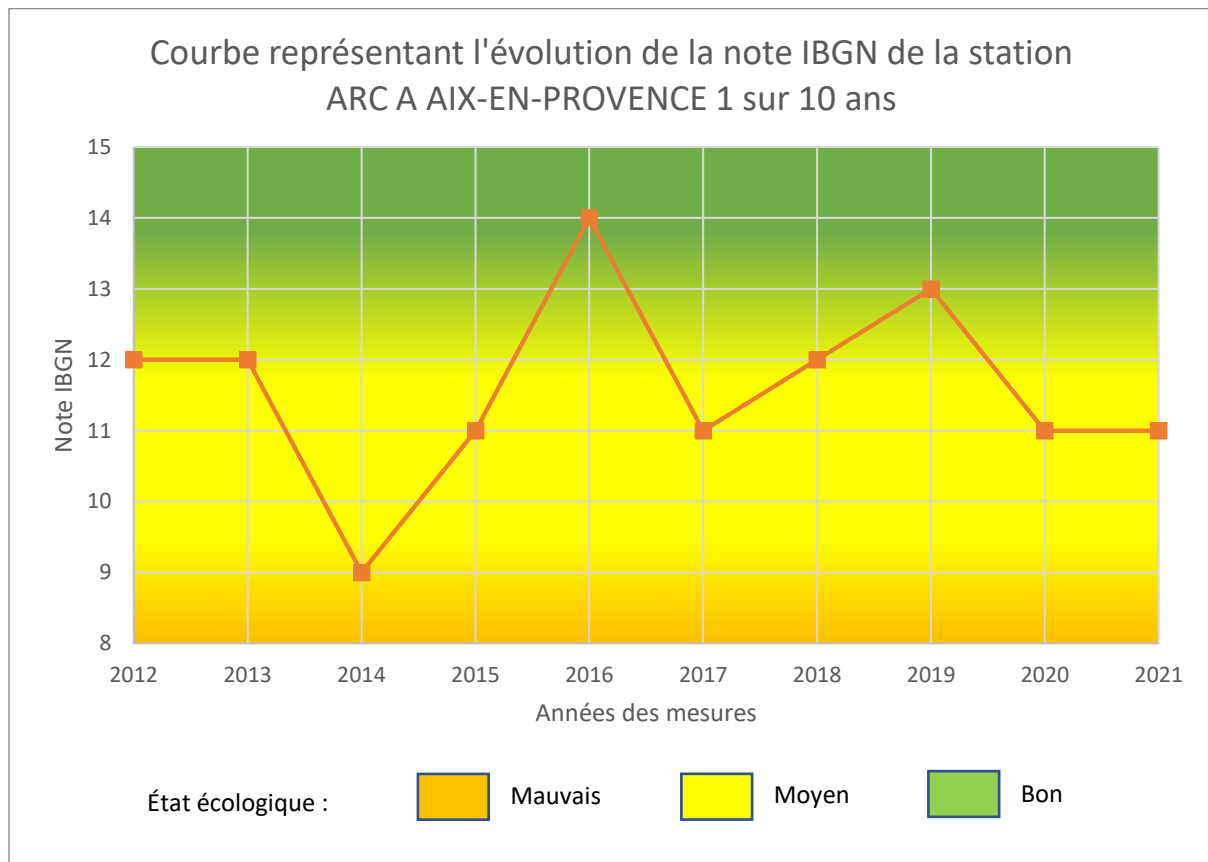


Figure 8-Evolution de la note IBGN de la station ARC A AIX-EN-PROVENCE sur 10 ans

D'après ce graphique, la note IBGN reste également instable au fil du temps. Elle varie entre son point le plus bas, 9, en 2014 et son point le plus haut, 14, en 2016. Parmi les 5 différentes classes définies pour cette note, 3 sont représentées ici, et globalement, la note IBGN permet d'estimer un état écologique moyen de l'Arc à la station d'Aix-en-Provence.

c) Comparaison entre ces deux indices

L'indice de Shannon et la note IBGN ont été rassemblés en un seul graphique afin de pouvoir comparer leurs variations.

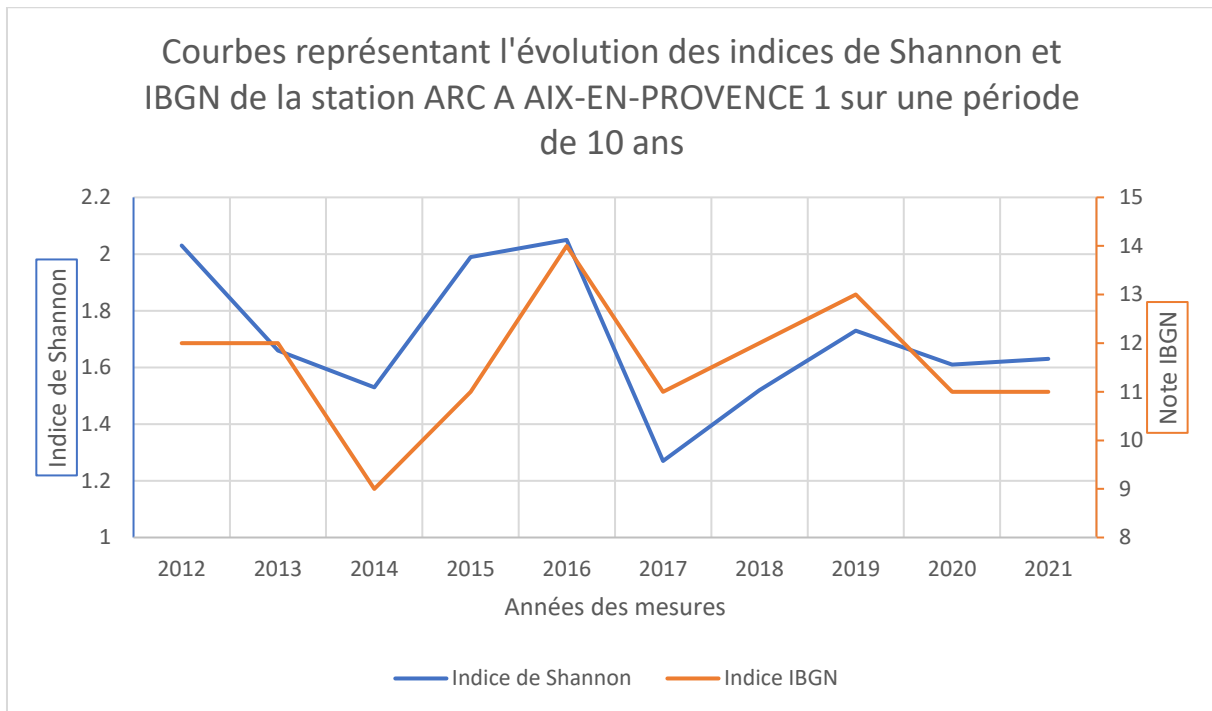


Figure 9-Evolution des indices de Shannon et IBGN de la station ARC A AIX-EN-PROVENCE sur une période de 10 ans

Il est important de remarquer que ces deux indices évoluent conjointement, ce qui montre qu'ils sont bien dépendants du même paramètre qui est la qualité de l'eau. Ils permettent de dire que l'état de la qualité de l'eau est moyen.

Ainsi, pour conclure sur l'évolution temporelle de la qualité de l'eau de l'Arc, celle-ci varie avec le temps, mais il n'y a pas de tendance notable à l'amélioration ou l'altération.

C. Discussion

Les substrats 5, 6, 7 et 8 représentés dans les résultats ci-dessus sont issus d'un autre groupe et ont été ajoutés au tableau au hasard, afin d'avoir assez d'échantillons pour la zone étudiée. Ils ne se complètent pas réellement et n'ont par conséquent pas été ajoutés sur la carte des faciès. Ce qui a pour conséquence le manque de données sur la surface du tronçon d'eau où ils ont été prélevés, qui a dû être estimée.

L'indice de Shannon du Grand Torrent (2,12) et sa note IBGN (16) mesurés sont inférieurs à ceux trouvés dans la littérature pour l'Arc en aval de la confluence (respectivement 2,43 et 17). Cela peut s'expliquer par les données provenant d'années différentes. En effet, les données sur l'Arc datent de 2021 alors que celles du Grand Torrent ont été prélevées en 2023. Cependant, cela signifierait que la qualité d'un des cours d'eau aurait baissé entre 2021 et 2023. Ce qui n'est pas improbable puisqu'elle semble fluctuer légèrement d'année en année. Cela pourrait aussi s'expliquer par les conditions météorologiques du moment de mesure, ou par la saison, avec des conditions physico-chimiques différentes de l'eau, jouant sur le nombre d'individus. Ou encore, la présence d'autres affluents de l'Arc en aval, avec des eaux de meilleure qualité que le Grand Torrent, serait une hypothèse peu probable mais à ne pas ignorer.

Par ailleurs, des recherches ont été menées dans la littérature sur la variabilité temporelle et aucun événement particulier n'a pu être notifié pouvant causer des variations d'une année à l'autre. Celles-ci peuvent simplement être dues aux conditions extérieures au moment des mesures. Par exemple, des températures anormalement élevées quelques semaines avant la période d'échantillonnage auraient pu réduire le nombre d'individus.

D. Conclusion

Le dénombrement et les résultats montrent que les macro-invertébrés échantillonnés dans le Grand Torrent sont similaires aux macro-invertébrés supposés vivre dans un tel habitat ce qui laisse penser qu'il n'y a pas de grosse perturbation anthropique et que la qualité de l'eau du Grand Torrent est assez bonne.

L'indice de Shannon et la note IBGN du Grand Torrent révèlent une grande diversité biologique, ce qui laisse supposer que l'eau est de bonne qualité et vient corroborer les arguments précédents.

En ce qui concerne l'Arc, l'indice de Shannon et la note IBGN ont été comparés entre deux stations qui se trouvent en aval et en amont du site d'étude. Les résultats montrent qu'en amont les métriques sont assez faibles, et augmentent en aval du cours d'eau, ce qui laisse supposer que le Grand Torrent, possédant une bonne qualité d'eau, joue un léger rôle de dilution. Ce qui expliquerait pourquoi l'état écologique de l'Arc s'améliore à partir de la confluence avec le Grand Torrent.

Finalement, afin d'étudier la variabilité temporelle de la qualité de l'Arc en amont de la station d'épuration, les Indices de Shannon et les notes IBGN ont été comparés sur 10 ans. Les résultats sont assez variables dans le temps mais il n'y a pas de tendance notable à l'amélioration ou la diminution de la qualité de l'eau.

II. Biologie végétale

A. Matériel et méthodes

1. Mesures sur le terrain

Les végétaux présents dans les cours d'eau et leur ripisylve sont de très bons indicateurs de la qualité de l'eau. Plus la qualité de l'eau est bonne, plus la fluorescence des espèces végétales sera meilleure. Cela s'explique notamment du fait que la ripisylve et les plantes en général, jouent un rôle de filtre de l'eau, éliminant une partie de certains polluants. Étant donné que nous savions déjà que la qualité de l'eau de l'Arc était moins bonne que celle du Grand Torrent, nous avons émis l'hypothèse que : « la confluence avec le Grand Torrent permettait une dilution sur la qualité de l'eau de l'Arc ».

Pour ce faire, sur le terrain, nous avons réalisé des mesures de fluorescence sur des algues filamenteuses benthiques fixées sur des rochers, et sur des ronces présentes au niveau de la ripisylve de l'Arc et du Grand Torrent. Pour chaque cours d'eau, nous avons réalisé 6 prélèvements afin de limiter les incertitudes.

Pour effectuer les mesures sur les algues benthiques, nous les avons tout d'abord prélevées, directement dans le milieu, sur des rochers et au fond de l'eau à proximité de la berge. Normalement, pour plus de précision, nous aurions dû réaliser un transect pour prélever les algues. Cependant, du fait de la profondeur du lit, nous n'avons pas pu le réaliser. Après le prélèvement, en les raclant, nous avons mis les algues dans des puits, et à l'aide de papier aluminium, nous les avons laissées dans l'obscurité pendant 30 min. Cette dernière phase d'obscurité nous permet d'obtenir la fluorescence maximale des algues et ainsi avoir une idée de l'état fonctionnel des organismes et de la qualité de l'eau.

Pour ce qui est de la ripisylve, nous avons en premier lieu acclimaté les feuilles de ronce à l'obscurité pendant 30 minutes à l'aide de clips empêchant les chloroplastes de recevoir de la lumière. Après 30 minutes et grâce à un SPAD, nous avons mesuré la teneur en chlorophylle des feuilles et des algues dans les puits.



Figure 10-Photographies par Juliany ERTÉL de deux SPAD utilisés lors de la journée sur le terrain.



Un SPAD (Soil and Plant Analysis Development) est un appareil de mesure très précis de la teneur en chlorophylle des plantes. Dans un premier temps, cet appareil émet une lumière ambre pour obtenir la fluorescence minimale, puis une lumière halogène afin d'avoir une mesure de la fluorescence maximale. Cette dernière lumière sature les chloroplastes après qu'ils ont été laissés dans l'ombre (grâce aux clips et à l'aluminium). Dans le cas des ronces, pour que la feuille reste acclimatée et donc ne pas fausser les résultats, l'appareil comprend un adaptateur qui se fixe directement sur les clips. Ensuite, dans les deux cas, la lumière est transmise de la feuille (algue ou ronce) à l'appareil (console) qui va émettre un signal modulé pulsé. Finalement, l'appareil donne la capacité maximale de fluorescence de la feuille en pourcentage (f_0/f_m), puis permet d'enregistrer les résultats.

- $F + D + P = 1$ (équation 1)
- À saturation : $F_m + D_m = 1$ (équation 2)
- Pour une intensité lumineuse constante : $D_m/F_m = \text{constante}$ (équation 3)

A titre indicatif, une plante en bonne santé a une fluorescence de 0,832. Ainsi, si la qualité de l'eau est bonne, les mesures que nous devons obtenir seront proches de cette valeur.

2. Observations microscopiques et dénombrement

Ajouté aux mesures réalisées sur le terrain, nous avons fait des observations microscopiques de prélèvements d'eau de l'Arc et du Grand Torrent. Ces observations nous permettaient de reconnaître et dénombrer des microalgues et diatomées. L'inventaire taxonomique de ces taxons est un bon indicateur de la qualité de l'eau. En effet, il est par exemple possible d'observer à l'œil nu des blooms de cyanobactéries. Ceci est malheureusement un signal de rejet de polluants (agricoles ou provenant des stations d'épurations) dans les cours d'eau.

Tout d'abord, il est à savoir que les phytoplanctons sont des procaryotes photoautotrophes à la base de la chaîne alimentaire et donc essentiels aux milieux aquatiques en particulier. Ils sont très nombreux et diversifiés car il s'agit d'un taxon comprenant l'ensemble des cyanobactéries et microalgues en surface de l'eau et dérivant au grès des courants. Cependant, les microalgues benthiques ne sont pas des phytoplanctons et ne nous ont donc pas intéressés lors de notre étude.

Parmi la multitude de phytoplanctons existants, nous nous sommes concentrés sur certaines espèces tels que les nostocs. Il s'agit de cyanobactéries vivant en colonies dont les plus grandes, les hétérocystes, jouent un rôle particulier dans la colonie. En effet, elles permettent la fixation de l'azote atmosphérique en acide ammoniacal grâce à une hydrogénase pour ensuite distribuer l'azote (nécessaire à leur respiration) aux autres cellules de la colonie.

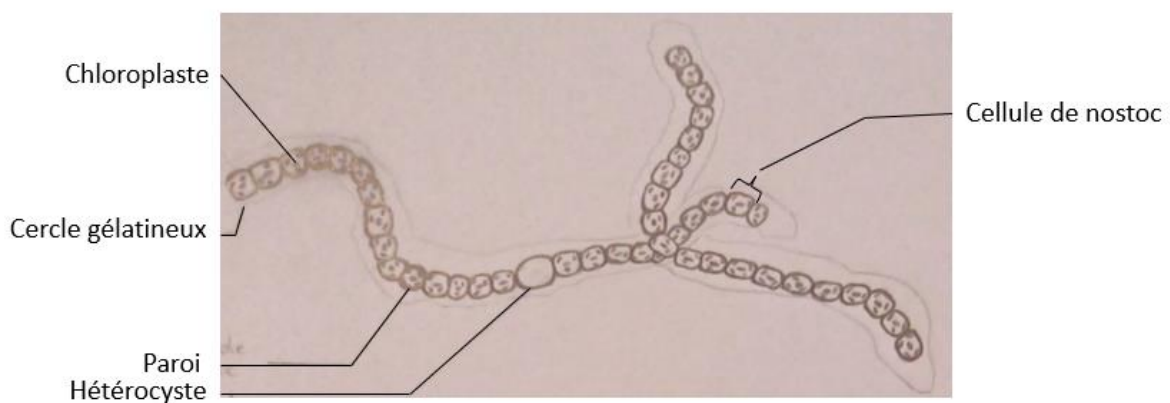


Figure 11-Dessin d'observation au microscope optique de deux colonies de Nostoc au grossissement x600

Les Bacillariophyceae (diatomées) quant à elles sont des organismes unicellulaires pourvus d'une coque siliceuse et possédant un ou des membres (nodule terminal) leur permettant de se mouvoir. Il est possible de les voir seule ou en colonie dans leur milieu.

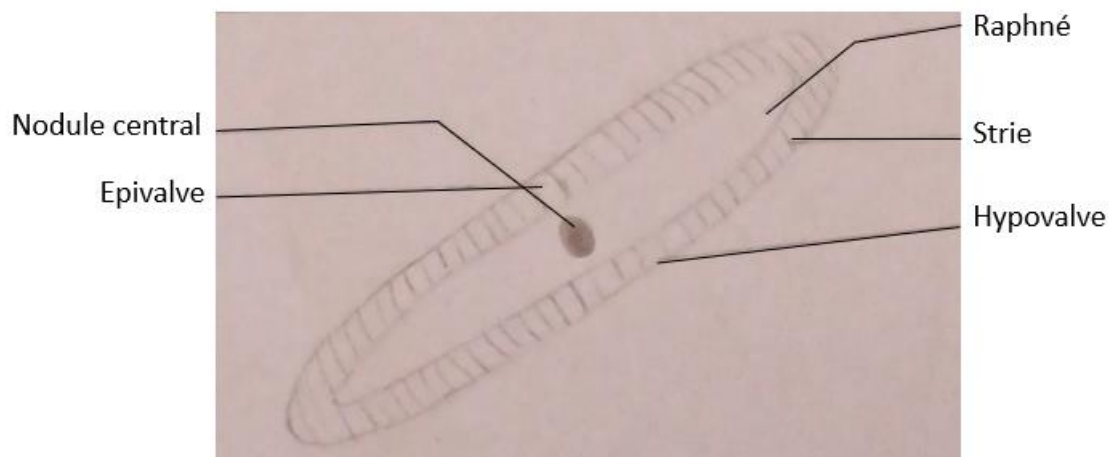


Figure 12-Dessin d'observation au microscope optique de diatomée pénaie d'eau douce au grossissement x600

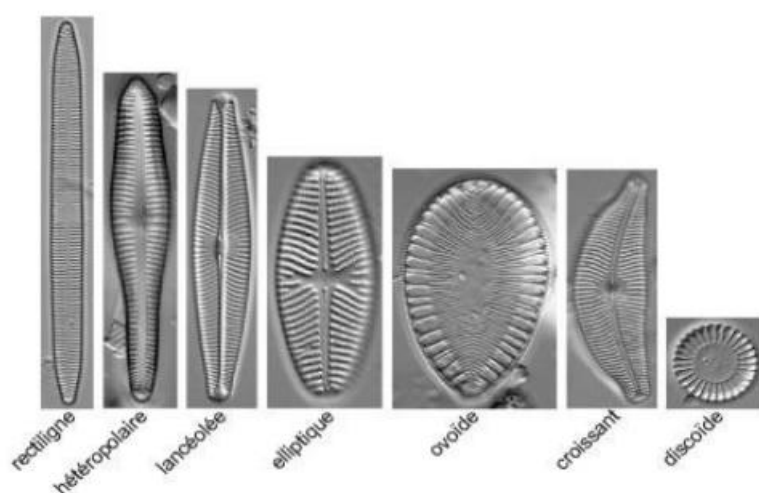


Figure 13-Classification des diatomées en fonction de leur forme (4)

Tout comme les phytoplanctons, les diatomées sont de très bonnes indicatrices de la qualité de l'eau. Certaines diatomées présentes dans un milieu sont synonymes d'un environnement sain alors que d'autres, au contraire, signalent une pollution du milieu comme le montre la figure suivante.

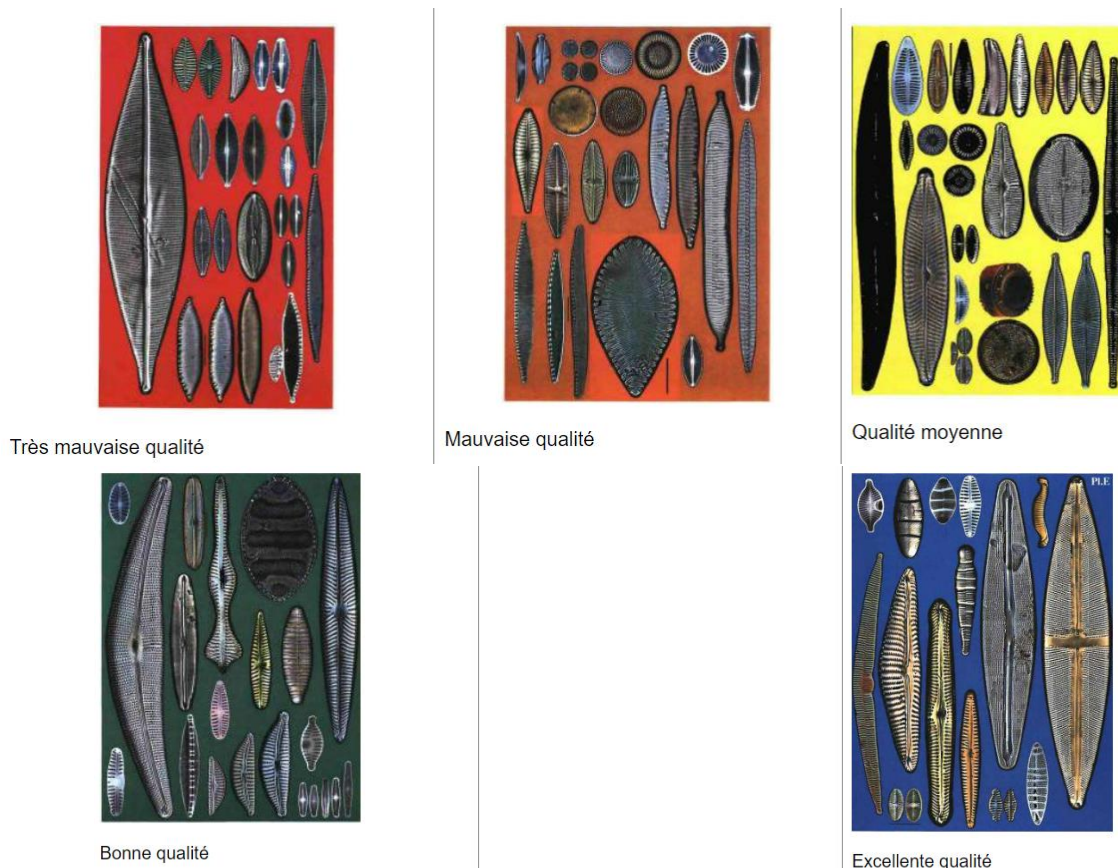


Figure 14-Classification des diatomées en fonction de leur présence dans des eaux de qualité d'excellente à très mauvais (4)

De plus, la diversité est également un facteur important. En effet, plus il y a d'espèces différentes, plus la qualité de l'eau est bonne. Lorsque l'eau est de mauvaise qualité, les nutriments spécifiques nécessaires à certaines espèces ne sont pas présents. Ainsi, les espèces généralistes vont être favorisées par ce type d'environnement. A contrario, une eau saine va comporter une plus grande diversité de nutriments et autres éléments, favorisant la présence d'espèces spécifiques et diversifiées.

3. Analyses statistiques sur la fluorescence

Pour mieux évaluer les données obtenues, nous avons réalisé des analyses statistiques.

Dans le cas de la fluorescence des algues et ronces, nous avons réalisé un test sur la variance pour savoir si la qualité du Grand Torrent était meilleure que celle de l'Arc. Pour ce faire, nous avons d'abord effectué des calculs préalables (tous les calculs permettant de réaliser les calculs tels que la moyenne, les carrés des données, ...) pour ensuite faire les calculs suivants :

$$SCT = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{n}$$

$$SCI = \sum_{j=1}^k \frac{T_j^2}{n_j} - \frac{T^2}{n}$$

$$SCE = SCT - SCI$$

Grâce à ces dispersions, nous avons obtenu les variances suivantes :

$$s_x^2 = \frac{SCT}{n-1}$$

$$Vc = \frac{SCI}{k-1}$$

$$Ve = \frac{SCE}{n-k}$$

En prenant l'hypothèse 0 selon laquelle : « les valeurs entre les deux cours d'eau sont similaires », nous calculons le facteur Vc/Ve et nous le comparons à celui de la table des variances, F_{α} , pour $v_1=k-1$ et $v_2=n-k$ degrés de liberté. Si $F_c = Vc/Ve \geq F_{\alpha}$, l'hypothèse H_0 est rejetée et les valeurs de l'Arc et du Grand Torrent sont significativement différentes.

4. Analyses statistiques sur les diatomées benthiques

Pour ce qui est des diatomées, nous avons calculé l'indice de diversité en prenant en compte l'hypothèse H_0 selon laquelle la diversité en diatomées de l'Arc est inférieure à celle du Grand Torrent.

$$\text{Indice de diversité (ou de Shanon)} = - \sum_{i=1}^s p_i \ln(p_i)$$

Avec p_i , la proportion d'individus dans la i-ème espèce.

Ensuite, nous avons fait un test de Student pour déterminer s'il y avait une différence significative entre les deux cours d'eau.

$$t = \frac{|H_1 - H_2|}{\sqrt{\text{Var}(H_1) + \text{Var}(H_2)}}$$

Avec :

- Le degré de liberté de la loi de distribution de Student : $v = \frac{(\text{Var}(H_1) + \text{Var}(H_2))^2}{\frac{\text{Var}(H_1)^2}{N_1} + \frac{\text{Var}(H_2)^2}{N_2}}$
- N : le nombre total d'individus
- $\text{Var}(H) = \frac{\sum p_i (\ln p_i)^2 - (\sum p_i \ln p_i)^2}{N} + \frac{S-1}{2N^2}$
- S : le nombre total d'espèce

Par comparaison avec le facteur de la table de Student, nous pouvons savoir si les valeurs des listes sont significativement différentes ou non et ainsi en déduire si la qualité de l'eau du Grand Torrent est meilleure que celle de l'Arc.

B. Résultats

1. Données obtenues

Avec l'appareil de mesure, nous avons obtenu les résultats suivants :

Type de plante	Point n°...	Zone de prélèvement	Fv/Fm
Feuilles de ronces	1	Grand Torrent	0,537
	2	Grand Torrent	0,513
	3	Grand Torrent	0,532
	4	Grand Torrent	0,435
	5	Grand Torrent	0,63
	6	Grand Torrent	0,491
	7	Arc	0,553
	8	Arc	0,534
	9	Arc	0,356
	10	Arc	0,409
	11	Arc	0,501
	12	Arc	0,471
Algues benthiques	13	Grand Torrent	0,717
	14	Grand Torrent	0,741
	15	Grand Torrent	0,727
	16	Grand Torrent	0,743
	17	Grand Torrent	0,685
	18	Grand Torrent	0,81
	19	Arc	0,683
	20	Arc	0,694
	21	Arc	0,713
	22	Arc	0,699
	23	Arc	0,685
	24	Arc	0,698

Tableau 8-Rapport en chlorophylle Fv/Fm mesuré sur le terrain dans les ripisylves de l'Arc et du Grand Torrent sur des algues benthiques et des feuilles de ronces

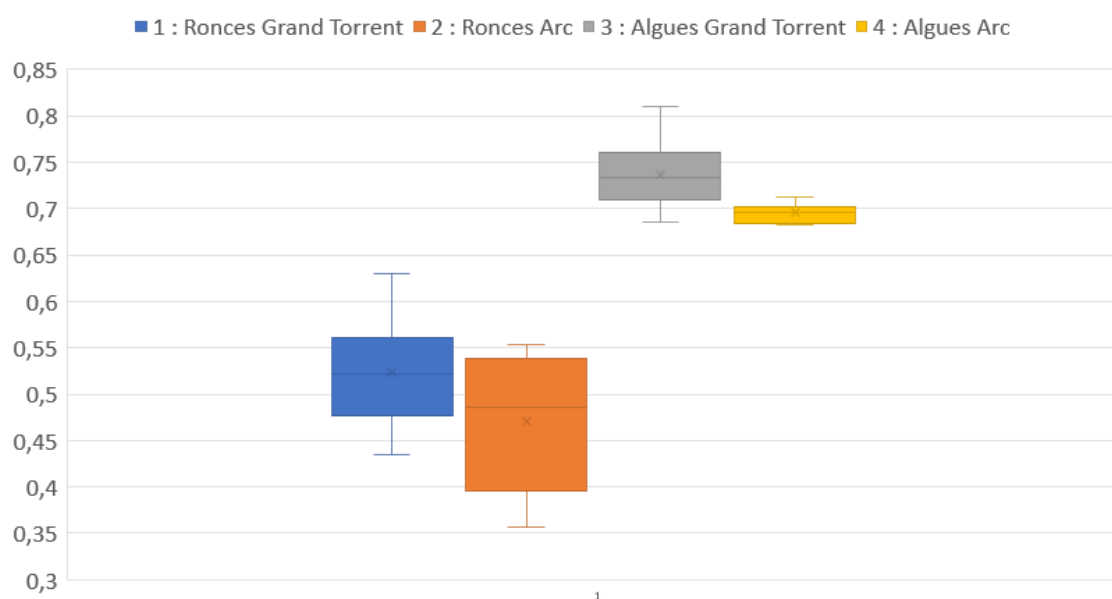


Figure 15-Boîtes à moustache des valeurs de fluorescence des ronces et des algues de l'Arc et du Grand Torrent

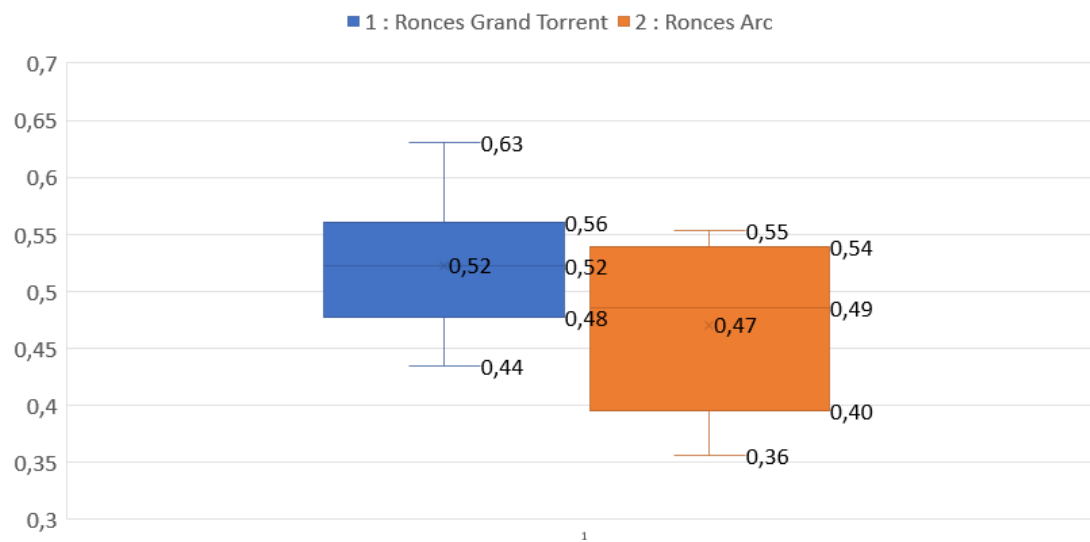


Figure 16-Boîtes à moustache des valeurs de fluorescence des ronces de l'Arc et du Grand Torrent

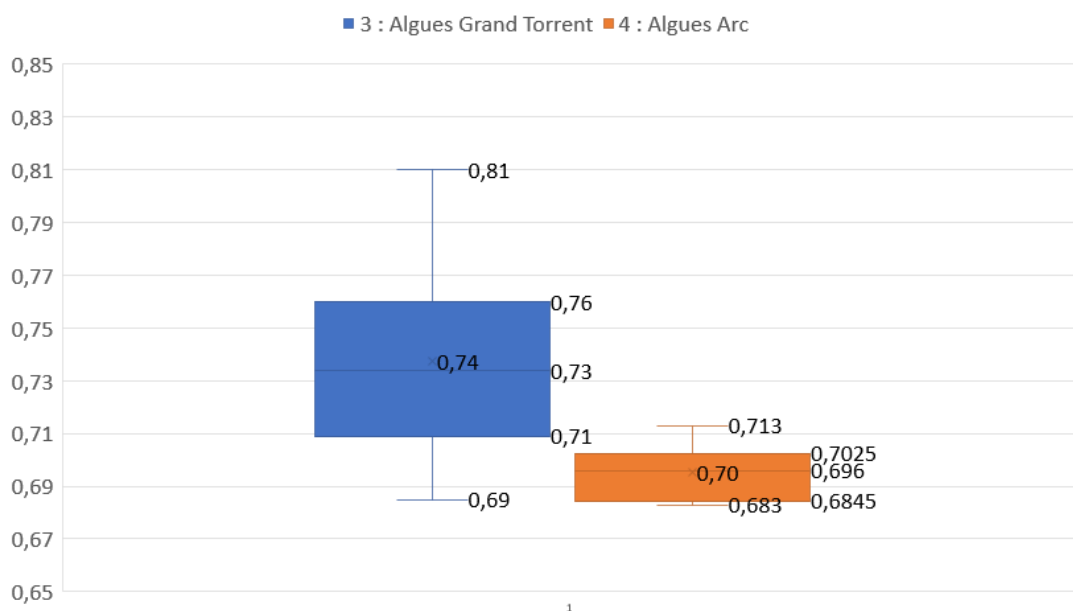


Figure 17-Boîtes à moustache des valeurs de fluorescence des algues de l'Arc et du Grand Torrent

2. Analyses statistiques

Avec ces données, nous avons fait les tests sur les variances et de Student. Nous avons donc obtenu les valeurs reportées dans les tableaux ci-dessous.

Matrice de données	Facteur contrôlé : critère de classification			
Données/Echantillons	1 : Ronces Grand Torrent	2 : Ronces Arc	3 : Algues Grand Torrent	4 : Algues Arc
1	0,537	0,553	0,717	0,683
2	0,513	0,534	0,741	0,694
3	0,532	0,356	0,727	0,713
4	0,435	0,409	0,743	0,699
5	0,63	0,501	0,685	0,685
6	0,491	0,471	0,81	0,698
Tot	3,138	2,824	4,423	4,172
Effectif	6	6	6	6
Moyenne	0,523	0,471	0,737	0,695

Tableau 9-Calculs préliminaires donnant la moyenne, l'effectif et le total des 4 listes de données récoltées (Ronces Grand Torrent, Ronces Arc, Algues Grand Torrent et Algues Arc)

Echantillon	n _j	T _j	T _j ² /n _j	Sommes des carrées
1	6	3,138	1,641	1,662
2	6	2,824	1,329	1,358
3	6	4,423	3,260	3,269
4	6	4,172	2,901	2,902
Totaux des colonnes	24	14,557	9,132	9,190

Source de variation	Dispersions	Nombre de degrés de liberté	Variances
Total	0,361	23	0,016
Intergroupe	0,302	5	0,060
Intragroupe	0,058	18	0,003

H ₀	Rejet de H ₀	Valeur limite d'acceptation
Les valeurs de fluorescence des algues benthiques et des ronces des deux cours d'eau sont similaires.	18,626	2,77

Tableau 10-Calculs préliminaires et tests sur la variance des 4 listes de données récoltées (Ronces Grand Torrent, Ronces Arc, Algues Grand Torrent et Algues Arc)

Comme nous pouvons le voir, nous avons toujours des valeurs significativement différentes entre les deux cours d'eau.

Pour ce qui est des valeurs de fluorescence, plus la celle-ci est forte, plus il y a de chlorophylle et la plante est donc en meilleure santé. Sachant qu'une plante possède un rapport Fv/Fm de 0.832, nous observons que nos résultats sont inférieurs. Ainsi, les plantes des deux cours d'eau étudiés sont en mauvaise santé du fait d'une mauvaise qualité de l'eau.

De plus, nous pouvons remarquer que les valeurs de chlorophylles de l’Arc sont significativement plus faibles que celles du Grand Torrent, quel que soit le type de plante. De ce fait, nous pouvons dire que la qualité de l’eau du Grand Torrent est meilleure que celle de l’Arc.

Ajouté à cela, nous avons remarqué que les valeurs des feuilles de ronces étaient significativement plus faibles que celles des algues. Nous avons émis l’hypothèse que cela est dû à la pollution en azote et phosphate provenant de l’agriculture et des stations d’épuration dans une moindre mesure (du fait de la réglementation). Étant donné la présence de nombreux sols agricoles, les engrais lavés par l’eau de pluie finissent dans l’Arc et permettent la prolifération d’algues dans l’eau. Ceci peut donc expliquer que les algues alimentées par l’azote et le phosphate ont une fluorescence plus forte que les ronces qui elles sont impactées négativement par ces contaminants.

Dans le cas de l’inventaire taxonomique des diatomées, nous avons récolté les résultats présents dans le tableau ci-dessous.

Forme	Arc				Grand Torrent			
	Nombre	Pi	Pilnpi	pi(lnpi) ²	Nombre	pi	pilnpi	pi(lnpi) ²
Rectiligne	391	0,285	-0,358	0,449	136	0,302	-0,362	0,433
Hétéropolaire	9	0,007	-0,033	0,166	5	0,011	-0,050	0,225
Lancéolé	879	0,641	-0,285	0,127	98	0,218	-0,332	0,506
Elliptique	10	0,007	-0,036	0,177	9	0,020	-0,078	0,306
Ovoïde	59	0,043	-0,135	0,426	1	0,002	-0,014	0,083
Croissant	13	0,009	-0,044	0,206	198	0,440	-0,361	0,297
Discoïde	11	0,008	-0,039	0,187	3	0,007	-0,033	0,167
Tot	1372	1,000	-0,930	1,737	450	1,000	-1,230	2,017

Indice de Shanon =	0,930	Indice de Shanon =	1,230
Variance	0,084	Variance	0,08445258
Test de Student	0,73113007		
Degré de liberté v	1351,4923		
table à 0,05	1,645		

Tableau 11-Résultats du dénombrement des diatomées d’échantillon sur l’Arc et le Grand Torrent ainsi que le test de Student et ses calculs préliminaires

Nous pouvons remarquer que le nombre d’individus présents dans l’Arc est bien plus important de près d’un facteur 3 que celui de l’autre cours d’eau. Ce point n’est pas forcément indicateur de la qualité de l’eau car il peut y avoir un grand nombre d’espèces signalant une pollution ou bien il s’agit de la différence de surface de l’Arc et du Grand Torrent. De plus, en réalisant le test de Student, nous avons remarqué que les variances ne sont pas significativement différentes. Ainsi, les valeurs autour de la moyenne de chaque cours d’eau ont la même répartition. La différence de quantité de diatomées doit donc tenir davantage du fait de la différence de taille de l’Arc et du Grand Torrent.

Par calcul des indices de Shannon de chaque cours d’eau, nous avons observé que celui du Grand Torrent est supérieur à celui de l’Arc. Ainsi, la diversité d’espèces est plus grande dans le Grand Torrent que l’Arc, soulignant une meilleure qualité de l’eau dans le premier que dans le second.

De plus, nous avons pu identifier de nombreuses diatomées de mauvaise qualité lors de nos observations microscopiques.

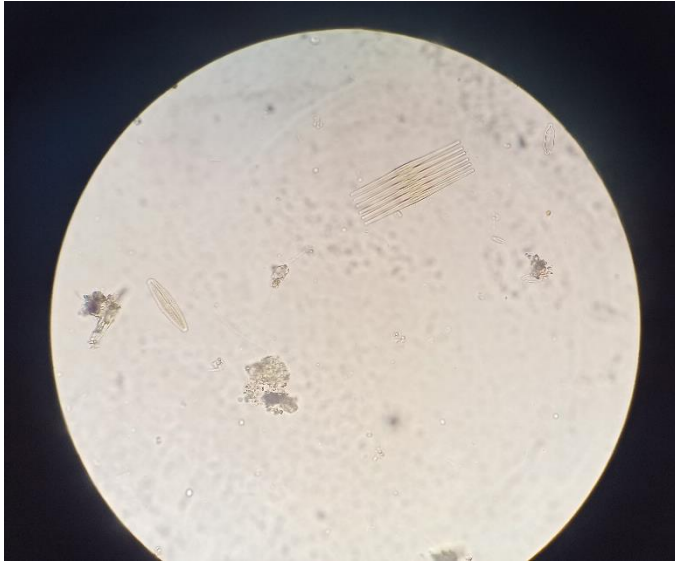


Figure 18-Photographie au microscope électronique de diatomées d'eau douce de l'eau de l'Arc au grossissement x400

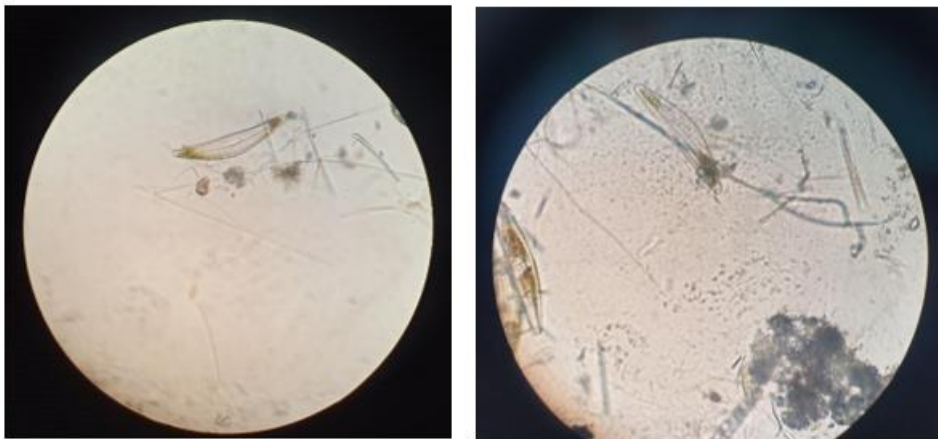


Figure 19-Photographies au microscope électronique de diatomées d'eau douce de l'eau du Grand Torrent au grossissement x600

Proportionnellement, nous avons trouvé plus de diatomées de bonne et moyenne qualité dans l'échantillon d'eau du Grand Torrent, et des espèces de moyenne et mauvaise qualité pour ce qui est de l'eau de l'Arc. Ces observations coïncident avec les autres résultats, soulignant une différence de qualité entre les deux eaux.

Finalement, les analyses statistiques sur la chlorophylle et les diatomées montrent que la qualité de l'eau du Grand Torrent est meilleure que celle de l'Arc. Ainsi, il est possible qu'il y ait une dilution de la pollution de l'eau de l'Arc par son affluent.

C. Discussion

D'après les résultats que nous avons obtenus, nous n'avons pas vraiment pu avoir de résultats précis. Lors du dénombrement des diatomées, de nombreuses incertitudes sont entrées en compte pour qualifier la qualité de l'eau de l'Arc et du Grand Torrent. La première provient de la forme des diatomées auquel il était parfois difficile de différencier certaines des formes. De plus, certains calculs ont été faits avec

une lame simple et non une quadrillée. Cela augmente donc les probabilités de compter une diatomée plusieurs fois.

Ajouté à cela, nous avons classé les diatomées par forme et non par taxon, puis qualifier grossièrement les espèces polluo-sensibles aux polluo-résistantes. Or, il existe un indice biologique des diatomées (IBD) permettant de signaler la qualité de l'eau d'un cours d'eau. Selon la valeur de l'indice, nous pouvons savoir si l'eau est de bonne qualité ou non, comme le montre le tableau suivant.

Classe d'état	Limite inférieure pour IBD	Limite inférieure pour l'EQR
Très bon	16,4	0,94
Bon	13,8	0,78
Moyen	10,0	0,55
Médiocre	5,9	0,30
Mauvais	0,0	0,00

Tableau 12-Classes d'état des diatomées (5)

Ainsi la méthode que nous avons utilisée n'est pas assez rigoureuse mais nous permet d'avoir une idée de l'inventaire taxonomique des diatomées et, a fortiori, de la qualité de l'eau des deux cours d'eau. Pour avoir des résultats plus précis, il aurait fallu calculer l'IBD que pour ensuite le comparer à celui des 10 dernières années, montrant l'évolution de cet indice au cours du temps.

Pour ce qui est de la chlorophylle des plantes des cours d'eau et de leur ripisylve, nous n'avons pas trouvé de mesures dans le temps à comparer aux nôtres. Cependant, lors de nos mesures, nous avons étudiés seulement 2 espèces de plantes, les ronces et les algues benthiques. Il aurait donc été préférable de diversifier les espèces végétales pour une meilleure représentation de la chlorophylle des plantes.

Finalement, au vu des résultats obtenus, la qualité de l'eau de l'Arc est moyenne et est plus faible que celle du Grand Torrent. Ainsi, il est possible qu'il y ait une dilution de la pollution de l'Arc par son affluent.

III. Chimie

Dans cette section dédiée à l'aspect chimique de notre étude sur les eaux des cours d'eau du Grand Torrent et de l'Arc, nous allons décrire en détail les paramètres mesurés qui permettent d'évaluer la qualité de leur eau. Les études et manipulations faites dans ce but vont être présentées en suivant deux axes : les études menées en laboratoire, les « Travaux pratiques », et les études menées sur le terrain, « in situ ».

Nous allons détailler chacune de ces études, en utilisant les valeurs des résultats donnés par les professeurs, et non celles des études présentées, car moins précises. Dans notre démarche, les calculs ainsi que les possibles graphiques intermédiaires serviront seulement à illustrer nos propos. Afin de pouvoir interpréter les résultats obtenus, nous allons les comparer à la réglementation française sur la qualité des eaux de surfaces, dont les valeurs et classes sont détaillées dans l'arrêté du 27 juillet 2018 (6)¹. Nous allons également comparer les résultats obtenus par étude en laboratoire, et celles obtenues sur le terrain, afin de savoir s'il y a une différence dans les résultats, pour les mêmes paramètres.

A. Travaux Pratique

Ces Travaux Pratiques (TP) nous ont permis de déterminer des paramètres importants pour évaluer la qualité de l'eau de ces cours d'eau :

- TP1 : étude de la matière organique : DCO et IP
- TP2 : étude des composés azotés et phosphatés : ammonium et orthophosphatés
- TP3 : étude des composés azotés oxydés : nitrates et nitrites

1. Matière organique : DCO et IP

a) Mesure de la DCO

La Demande Chimique en Oxygène (DCO), est un paramètre chimique de l'eau qui permet de déterminer la quantité de matière organique (MO) présente dans l'eau. La DCO correspond en réalité à la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de la MO. Elle est exprimée en milligramme par litre d'oxygène consommé. Cette mesure est importante car elle permet de détecter tous les polluants organiques.

Une concentration élevée de matières organiques dans l'eau peut être nocive pour la faune et la flore aquatique, car elle perturbe l'équilibre naturel de l'eau, et trouble donc le fonctionnement normal de l'écosystème aquatique.

Ces polluants organiques regroupent : les matières fécales, les huiles, les graisses, les pesticides, etc. Ainsi, nous retrouvons ces polluants en grande quantité dans les eaux naturelles principalement en aval des rejets de Stations d'épuration (STEP).

i. Principe de l'étude

Le principe de la mesure de la DCO est basé sur l'oxydation des matières organiques présentes dans l'échantillon d'eau à l'aide du dichromate de potassium. En connaissant le volume de dichromate réagissant avec la matière organique, nous savons donc la quantité d'oxygène qui est consommée lors de sa réaction avec la MO.

¹ 27 juillet 2018, modifiant l'arrêté du 25 janvier relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surfaces en applicat (6).

La détermination de la DCO comprend deux étapes, et les manipulations sont aussi bien pour les échantillons d'eau, que pour le blanc (eau UHQ, sans MO) :

- ETAPE 1 : Oxydation de la matière organique contenue dans l'eau, par le dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$). Cette oxydation se réalise en présence d'acide sulfurique (H_2SO_4), de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) et de sulfate de mercure ($HgSO_4$), à ébullition dans un montage à reflux pendant 1h30 (avec ballon et réfrigérant). Le sulfate de mercure (II) sert à précipiter les chlorures. En effet, la présence de chlorure peut fausser les résultats, en augmentant la demande en oxygène. L'acide sulfurique et le sulfate d'argent jouent le rôle de catalyseurs dans la réaction d'oxydation de la matière organique.
- ETAPE 2 : Titrage de l'excès de dichromate n'ayant pas réagi avec la matière organique, avec une solution titrée de sel de Mohr (sulfate de fer (II) et sulfate d'ammonium), en observant le changement de couleur. Cela nous indique la quantité de dichromate n'ayant pas réagi avec la MO. Comme nous connaissons la quantité de départ du dichromate de potassium, nous avons seulement besoin d'effectuer une soustraction avec cette nouvelle valeur, afin d'avoir la quantité (en volume) de dichromate ayant réagi avec la matière organique.

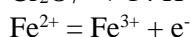
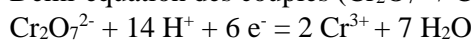
Nous pouvons ensuite calculer la DCO grâce à cette formule :

$$DCO = \frac{8\,000 \cdot T \cdot (V_1 - V_2)}{V_0}$$

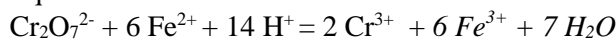
Avec :

- V_1 : Volume (ml) de solution de sel de Mohr utilisé pour la détermination de l'échantillon
- V_2 : Volume (ml) de solution de sel de Mohr utilisé pour l'essai de blanc
- T : le titre de la solution de sel de Mohr
- V_0 : Volume (ml) de la prise d'essai (échantillon mis en solution)
- Le facteur de 8000 est déterminé par la quantité de dichromate de potassium nécessaire pour oxyder une quantité connue de matière organique. Des études empiriques ont montré que chaque molécule de dichromate de potassium utilisée dans le test de DCO pouvait réagir avec environ 8000 molécules de carbone organique afin oxyder complètement ces dernières en CO_2 et en H_2O . Cette constante empirique est donc utilisée pour estimer la quantité de carbone organique présente dans l'échantillon à partir de la quantité de dichromate de potassium réduite.

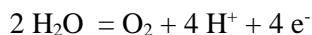
Demi-équation des couples ($Cr_2O_7^{2-} / Cr^{3+}$) et (Fe^{2+}/Fe^{3+}) :



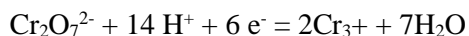
Équation finale :



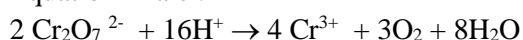
Réaction de réduction de l'oxygène (O_2 / H_2O) :



Avec :



Équation finale :



Nous pouvons voir que pour 2 molécules de dichromate consommées, nous avons 3 molécules de dioxygène. Ainsi, pour une molécule de dichromate de potassium, nous produisons 1.5 molécule de O_2 .

ii. Résultats

Voici les résultats pour la DCO des différents échantillons (7)² :

	ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
	N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
DCO (mg O ₂ /L)	15.2	7.1	14.6	<20**	<30**	< 30	*	*

Tableau 13 - Résultats et réglementation pour la Demande Chimique en Oxygène

iii. Discussion

Nous remarquons tout d'abord que tous les résultats se situent dans la classe d'une eau en très bon état pour ce paramètre. Il s'agit donc d'une bonne indication sur la qualité des cours d'eau. Cela signifie qu'il y a une faible quantité de matière organique dans l'eau, car la Demande Chimique en Oxygène est très basse, pouvant traduire le résultat d'une faible pollution organique de l'eau.

La DCO pour le cours d'eau du Grand Torrent est la plus faible, avec 7.1 mg de O₂/L. C'est pour ainsi dire, le cours d'eau avec la meilleure qualité, selon ce paramètre. Cependant, il faut prendre en compte que ce cours d'eau n'est pas très grand. Il est donc plutôt normal d'avoir des quantités de matière organique oxydables plus petites que pour un cours d'eau de la taille de l'Arc.

Pour ce qui est de l'Arc, les valeurs sont similaires, mais en aval, la DCO a une valeur légèrement plus faible. Sachant qu'en général, la DCO a tendance à augmenter en aval d'un cours d'eau, nous pouvons émettre l'hypothèse que l'affluent (Grand Torrent) a une influence sur la valeur de l'amont (en la baissant, comme la DCO du Grand Torrent est la plus petite), ce qui a fait que l'aval a une DCO plus faible qu'en amont.

b) Mesure de l'Indice Permanganate

L'indice permanganate (IP) d'une eau est la concentration d'oxygène équivalente à la quantité de permanganate utilisée lors de l'oxydation de l'oxygène par le permanganate. Il est exprimé en milligrammes d'oxygène par litre d'eau (mg/L). Cette mesure peut être utilisée pour évaluer la qualité de l'eau.

i. Principe de l'étude

Le principe de cette mesure repose sur l'oxydation de la matière organique par le permanganate de potassium (quantité connue donnant une solution colorée) dans l'échantillon d'eau, ce qui va consommer une certaine quantité d'oxygène que nous souhaitons mesurer. Nous avons ainsi mis à chauffer notre échantillon d'eau avec le permanganate de potassium dans un bain de sable, permettant un chauffage doux, en présence d'acide sulfurique (H₂SO₄, facilite l'oxydation de la matière organique). Puis, nous avons ajouté de l'acide oxalique, réduisant l'excès de permanganate de potassium n'ayant pas réagi avec la matière organique, et donnant une solution incolore. Ensuite, nous avons titré la solution avec du permanganate de potassium, et à un certain volume de celui-ci, la solution retrouvera sa couleur rosée.

Ce volume titré correspond à la quantité de permanganate de potassium qui a réagi avec l'acide oxalique. Cela veut dire que le reste du permanganate de potassium (en volume) a réagi avec la MO, et l'a oxydée.

² : Les connaissances actuelles ne permettent pas de fixer des seuils fiables pour cette limite.

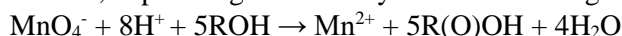
Ensuite, nous avons utilisé une formule qui permet de trouver la quantité d'oxygène (en mg/L) contenue dans l'eau, grâce aux différents volumes relevés lors de l'étude.

Nous avons donc ajouté une quantité connue d'une solution de permanganate de potassium, et de l'acide sulfurique (comme catalyseur pour la réaction d'oxydation de la matière organique), à l'eau naturelle à analyser, puis mis la solution à chauffer dans le bain de sable. Le mélange a une couleur violette, car le permanganate de potassium (KMnO_4) forme le complexe coloré manganate (VII) (MnO_4^-) dans une solution aqueuse.

Dissolution du permanganate de potassium dans l'eau :



Ensuite, le permanganate va oxyder la matière organique présente dans l'eau :



Lorsque toute la matière organique a été oxydée, et qu'une partie du permanganate de potassium a été réduite, ce dernier en excès va être totalement réduit en dioxyde de manganèse (MnO_2 , incolore) par l'acide oxalique ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, ajouté en quantité connue). La solution sera ainsi totalement incolore :



Après avoir réduit l'excès de permanganate de potassium par l'acide oxalique, il est possible de titrer la solution avec une solution standard de permanganate de potassium (KMnO_4) pour déterminer la quantité d'oxygène consommée.

Pour cela, nous ajoutons une petite quantité de solution de permanganate de potassium à la solution, jusqu'à ce que la couleur rose caractéristique du permanganate apparaisse. Pour ce faire, nous allons recourir à un titrage automatique, ce qui va permettre de relâcher des volumes très petits de permanganate, à une fréquence fixe, augmentant la précision de la manipulation. Le changement de couleur indique que tout l'acide oxalique a été oxydé, et que la quantité de permanganate de potassium ajoutée est égale à celle de permanganate de potassium qu'il y avait en excès après l'oxydation de toute la matière organique présente dans l'eau. Nous pouvons ainsi calculer l'Indice Permanganate grâce à cette formule :

$$IP = \frac{16 \cdot (V_1 - V_2)}{V_0}$$

- V_1 est le volume de la solution de permanganate de potassium (KMnO_4) utilisé pour titrer l'échantillon après la réduction de l'excès de permanganate de potassium par l'acide oxalique
- V_2 est le volume de la solution de permanganate de potassium (KMnO_4) utilisé pour titrer l'échantillon blanc (sans échantillon)
- V_0 est le volume de l'échantillon d'eau naturelle utilisé pour l'analyse

ii. Résultats

Voici les résultats pour l'Indice Permanganate mesuré en laboratoire, pour 3 points de prélèvement :

	ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
	N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
Indice Permanganate, mg O ₂ /L	1.08	0.24	0.93	*	*	*	*	>10

Tableau 14 - Résultats et réglementation pour l'Indice Permanganate

iii. Discussion

Nous pouvons remarquer que les valeurs de l'Indice Permanganate pour l'Arc sont assez similaires, avec une valeur plus faible en aval (1.08 pour l'amont, et 0.93 pour l'aval).

Le Grand Torrent a la valeur d'IP la plus faible des trois, et a sûrement pu influencer, et baisser l'IP de l'Arc par son apport d'eau.

Nous ne pouvons malheureusement pas comparer ces valeurs à celles des Travaux Pratiques, ni aux valeurs réglementaires. En effet, pour ces dernières, les connaissances actuelles ne permettent pas de fixer des seuils fiables pour cette limite (8)³. Mais nous pouvons tout de même nous faire une idée sur l'interprétation de nos valeurs grâce aux limites pour les eaux brutes et pour les eaux destinées à la consommation humaine (9)⁴. Nous pouvons y voir que la limite pour une eau ne doit pas avoir un IP supérieur à 5mg/L, et ce pour la consommation humaine. Dans notre cas, nos valeurs sont largement inférieures à cette limitation.

En sachant que la législation sur les eaux à destination de la consommation humaine sont souvent plus strictes que celles pour les eaux de surfaces, nous pouvons donc en déduire que l'eau analysée aux 3 points de prélèvement est donc de très bonne qualité, selon ce critère.

2. Composés azotés et phosphatés : Ammonium et orthophosphatés

Les composés azotés (comme l'ammonium) et phosphatés (orthophosphatés) peuvent avoir un impact significatif sur la qualité des eaux de surface.

L'ammonium est une forme d'azote qui peut être libérée dans l'eau par des activités agricoles, telles que l'utilisation d'engrais ou l'épandage de fumier. Lorsque l'ammonium se trouve dans l'eau, il peut être transformé en nitrate par des bactéries, ce qui peut entraîner une eutrophisation importante des plans d'eau. L'eutrophisation est un phénomène où la croissance excessive d'algues et d'autres plantes aquatiques peut épuiser l'oxygène dans l'eau, menaçant ainsi la vie aquatique.

Les orthophosphates sont une forme de phosphore qui peut être libérée dans l'eau par des activités telles que l'utilisation d'engrais, la lessive et les eaux usées municipales. Comme l'azote, le phosphore peut contribuer à l'eutrophisation des plans d'eau, et ainsi entraîner la croissance excessive d'algues et la réduction de la qualité de l'eau.

La présence de ces composés (azote et phosphore) dans les eaux de surface peut être réglementée pour protéger la santé humaine et l'environnement, et particulièrement dans les zones fragiles. C'est dans ce but que nous mesurons l'ammonium et les orthophosphatés, car ils peuvent devenir des sources d'azote et phosphore dans les eaux naturelles.

³ Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement (8).

⁴ Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique (9).

a) Mesure de l'ammonium

i. Principe

En milieu alcalin (entre 10.4 et 11.5), l'ammoniac (NH_4^+) dissous réagit sur l'hypochlorite pour former une monochloramine. Ce composé, en présence de phénol et en milieu oxydant, donne lieu à la formation d'un bleu d'indophénol. La réaction est catalysée par le nitroprussiate, ainsi la coloration se développera au bout d'une heure passé dans l'obscurité. L'absorption est mesurée par spectrophotométrie à 630 nm

Afin de mesurer la quantité d'ammonium dans les échantillons, nous allons donc recourir à la méthode d'étalonnage. Une droite d'étalonnage a ainsi été tracée, selon la gamme d'étalonnage suivante : 0.05; 0.1; 0.2; 0.5; 0.75; et 1 (en mg/L de NH_4^+), en ayant réglé l'appareil au zéro d'absorbance par rapport au blanc.

[NH4] (mg/L)	Abs
0.05	0.029
0.1	0.055
0.2	0.113
0.5	0.253
0.75	0.39
1	0.5

Tableau 15 - Valeurs d'absorbance pour l'ammonium, étalonnage

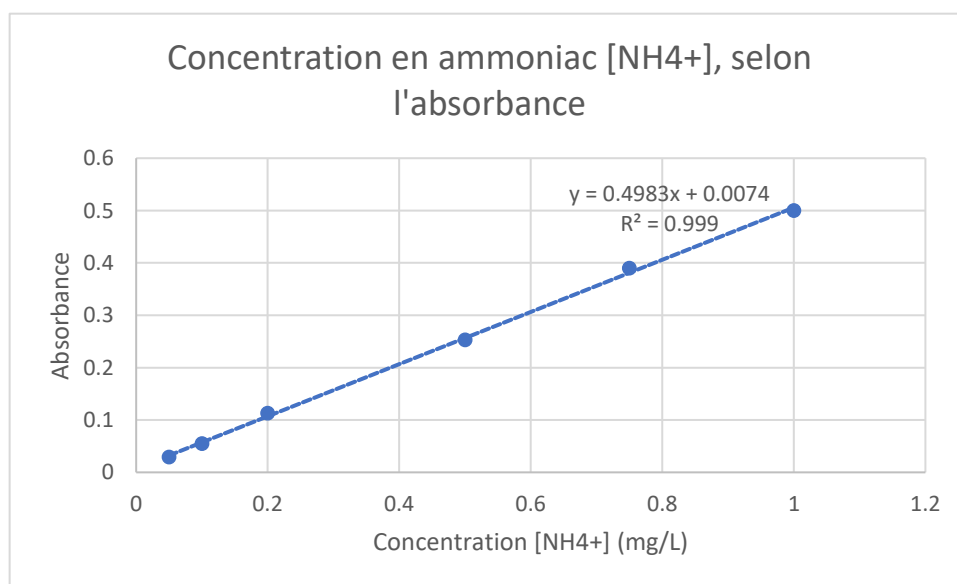


Figure 20 - Courbe d'étalonnage pour l'ammonium

Afin de calculer la concentration, on se sert de cette équation, qui vient de la courbe d'étalonnage :
 $X = (y - 0.0074) / 0.4983$

ii. Résultats

Voici les résultats pour l'ammonium mesuré en laboratoire, pour les 3 trois points de prélèvement :

	ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
	N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
Ammonium (NH ₄ ⁺) mg/L	0.22	0.07	0.19	< 0,1	< 0,5	< 2	< 5	> 1,5

Tableau 16 - Résultats et réglementation pour l'ammonium

iii. Discussion

Ces résultats nous montrent qu'avec une concentration de 0.07 mg d'ammonium par litre d'eau, le Grand Torrent était le seul des trois points de prélèvements à avoir une eau en très bon état, selon ce critère. Pour l'Arc, nous avons un bon état de l'eau, avec des valeurs plus importantes pour l'amont que pour l'aval (0.22 mg/L contre 0.19mg/L).

Nous pouvons émettre l'hypothèse que l'eau de l'Arc est en moins bon état que celle du Grand Torrent à cause, principalement, des effluents que rejette la station d'épuration se trouvant en amont du cours d'eau. Il est possible que dans les rejets se trouve une quantité non-négligeable d'ammonium, ce qui polluerait l'eau de l'Arc. Cependant, comme il y a des champs d'agriculture autour de l'Arc, nous pouvons également émettre l'hypothèse que cette pollution en ammonium vient de l'usage d'engrais dans ces cultures.

b) Mesure des orthophosphates (HPO₄²⁻ et H₂PO₄⁻) par colorimétrie

i. Principe

Les orthophosphatés (HPO₄²⁻ et H₂PO₄⁻) réagissent avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double de potassium et d'antimoine, en milieu acide. Cette réaction forme un complexe, qui va être réduit par l'acide ascorbique, et former un composé de couleur bleue (absorption maximale analysée ici : 880 nm). Grâce à cette coloration (développée au bout de 15 min), nous pouvons mesurer la quantité des orthophosphatés présente dans l'échantillon d'eau, par dosage spectrométrique et utilisation de la Loi de Beer-Lambert (courbe d'étalonnage de la concentration selon l'absorbance).

La gamme d'étalonnage choisie est la suivante, en mg d'orthophosphates par litre d'eau : 0 ; 0.01 ; 0.2 ; 0.3 ; 0.4 ; 0.6.

Voici les résultats pour l'étalonnage trouvés lors de cette étude :

Solutions	Concentration (mg/L) de phosphate	Absorbance max à 880	Absorbance min à 700 nm	Absorbance réelle
Blanc	0	0	0	0
Etalon 1	0.1	0.068	0.054	0.014
Etalon 2	0.2	0.149	0.11	0.039
Etalon 3	0.3	0.23	0.16	0.07
Etalon 4	0.4	0.326	0.178	0.148
Etalon 5	0.6	0.483	0.251	0.232

Tableau 17 - Tableau pour l'étalonnage des orthophosphates

Et la courbe d'étalonnage associée :

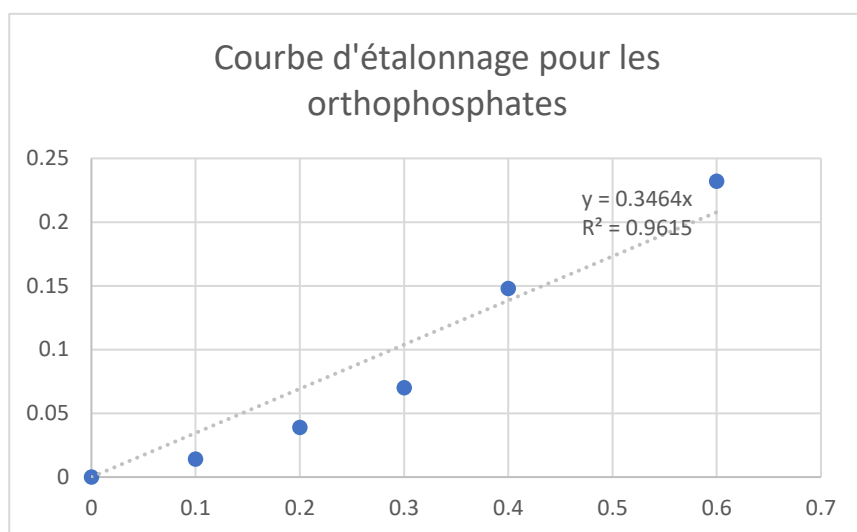


Figure 21 - Courbe d'étalonnage pour les orthophosphates

Nous remarquons que cette droite d'étalonnage n'est pas de très bonne qualité, car le coefficient de détermination est de seulement 0.96, alors qu'il est habituel d'avoir des R^2 à 0.99. Cela peut provenir d'erreurs de manipulation lors de la préparations des solutions filles.

ii. Résultats

Nous ne pouvons analyser ici que les résultats des phosphates, et non de tous les orthophosphates, car comme nous avons pu le voir, la droite d'étalonnage n'était pas fiable, et donc les résultats obtenus en TP non plus. Nous retrouvons ici les résultats pour le phosphate trouvés en laboratoires et donné par les professeurs, pour les 3 points de prélèvement.

	ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
	N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
Phosphates (PO43-) en mg/L	0.23	<LD	0.20	< 0,1	< 0,5	< 1	< 2	> 2

Tableau 18 - Résultats et réglementation pour les orthophosphatés

iii. Discussion

Nous pouvons voir que nous avons une concentration très faible en phosphate pour le cours d'eau du Grand Torrent, qui est même sous la limite de détection. Il s'agit donc d'une eau en très bon état.

Pour l'Arc cependant, nous sommes au-dessus de la limite de quantification, et même au-dessus de la limite pour une eau en très bon état. Ce cours d'eau est donc en bon état pour le paramètre de phosphate dans l'eau, avec une valeur plus petite pour l'aval (0.20 mg/L) que pour l'amont (0.23 mg/L). En général, la concentration en phosphates a tendance à augmenter en aval d'une rivière. Mais ici, comme il s'agit l'inverse, nous pouvons en déduire que le Grand Torrent, de par son apport d'eau pauvre en phosphate, diminue la concentration de cet élément chimique dans l'eau en aval de l'Arc.

La quantité de phosphate présente dans l'eau de l'Arc peut venir des activités humaines autour de ce cours d'eau, telles que l'agriculture et les eaux usées par la station d'épuration en amont. Les phosphates peuvent également provenir de l'érosion des sols et de la décomposition des matières organiques.

Cependant, comme le Grand Torrent, qui est un cours d'eau assez proche, nous pouvons nous dire que cet apport n'est pas uniquement naturel, surtout quand nous connaissons le contexte de l'Arc, qui est proche des activités polluantes en phosphate des hommes (agriculture et traitement des eaux).

3. Azotes oxydés : Nitrates et nitrites

Les nitrates et nitrites sont des composés azotés inorganiques qui participent activement à l'eutrophisation des eaux de surface, et menacent l'équilibre d'écosystème aquatique. Or, les nitrites sont également un danger pour la santé humaine, et provoquent la maladie de la méthémoglobinémie, qui réduit la capacité du sang à transporter de l'oxygène.

Leur présence dans les cours d'eaux naturels est souvent due à l'utilisation d'engrais azotés dans les cultures. Ils sont souvent le résultat de la nitrification d'autres composés par des bactéries nitrificatrices présentes dans les eaux. Il est donc important de les quantifier, afin de connaître la pollution actuelle, et la qualité d'un cours d'eau.

a) Mesure des nitrates par spectrométrie UV

i. Principe

La mesure des nitrates repose sur un étalonnage et le traçage d'une droite d'étalonnage correspond à la concentration en fonction de l'absorbance mesurée, à l'aide d'un spectromètre à 215 nm (absorbance maximale) et 230 nm (absorbance minimale).

La gamme d'étalonnage est la suivante, en mg de nitrate par L d'eau : 1 ; 5 ; 10 ; 25.

Il ne faut pas oublier d'effectuer le blanc, à partir d'une eau UHQ (sans nitrate).

Solutions	Concentration (mg/L)	Abs 215 nm	Abs 230 nm	Absorbance réelle
Blanc	0.000	0.000	0.000	0.000
Étalon 1	1.000	0.091	0.010	0.081
Étalon 2	5.000	0.504	0.080	0.424
Étalon 3	10.000	1.132	0.184	0.948
Étalon 4	25.000	1.993	0.306	1.687

Tableau 19 - Tableau pour l'étalonnage du nitrate

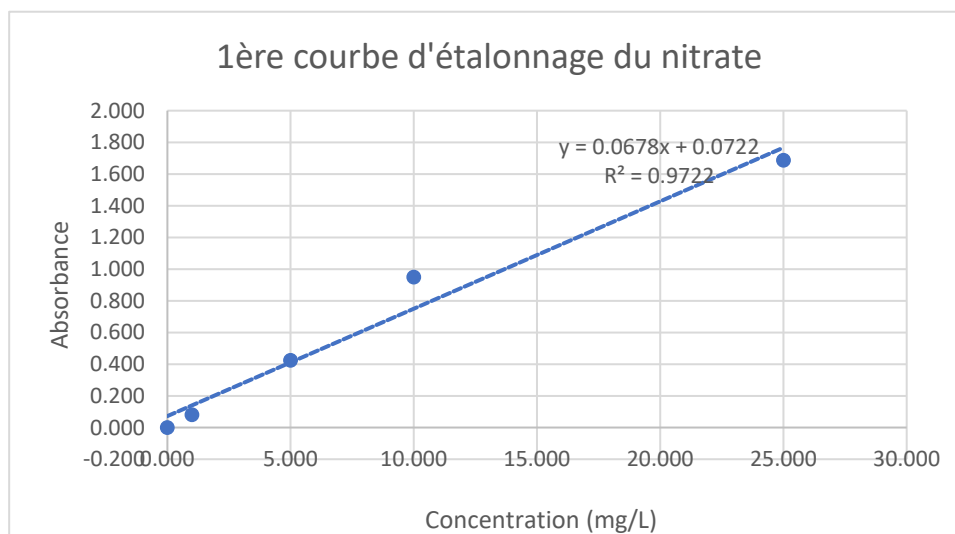


Figure 22 - 1ère courbe d'étalonnage pour le nitrate

Etant donnée que la valeur d'absorbance pour la concentration à 10 mg/L était trop éloigné des autres, nous avons décidé de l'enlever, afin que le R^2 soit plus proche de 1, et que l'étalonnage soit plus précis et fiable.

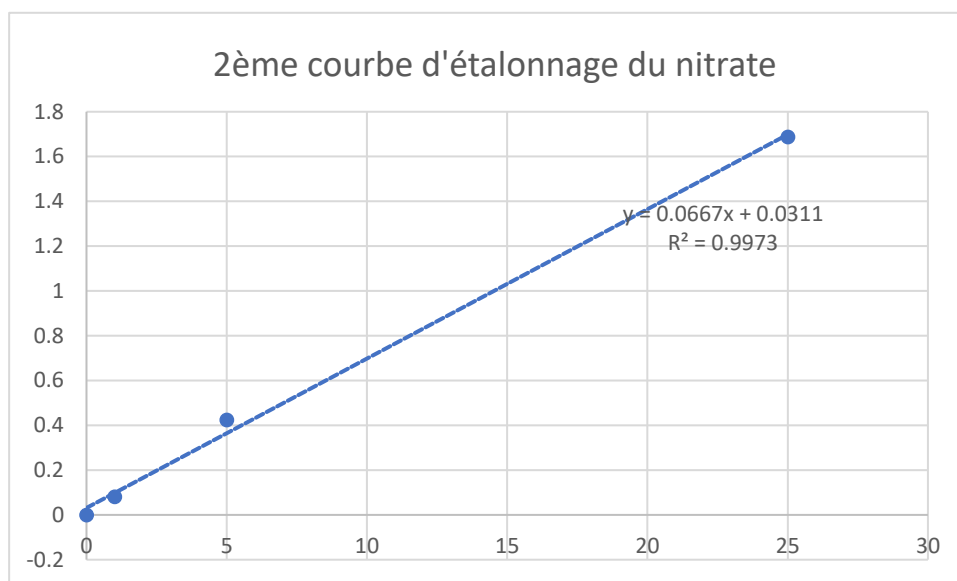


Figure 23 - 2ème courbe d'étalonnage pour le nitrate

ii. Résultats

	Concentration (mg/L)	Abs 215 nm	Abs 230 nm	Absorbance réelle
Aval'	11.3347826	1.021	0.233	0.787
Amont'	12.2334333	1.114	0.267	0.847

Tableau 20 - Résultats préliminaires pour le nitrate

	ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
	N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
Nitrates (NO ₃ ⁻) mg/L	14.8	3.5	13.3	< 10	< 50	*	*	*

Tableau 21 - - Résultats et réglementation pour le nitrate

iii. Discussion

La concentration en nitrates dans l'eau est plus faible pour le Grand torrent (3.5 mg/L), que pour l'Arc (14.8 en amont et 13.3 en aval). C'est donc dans ce cours d'eau que nous retrouvons la meilleure qualité de l'eau (classe 1).

Pour ce qui est de l'Arc, nous pouvons voir que ses concentrations font partie de la classe 2, et par conséquent que son eau est en « bon état ». Cette présence de nitrate peut être expliquée par l'apport provenant des eaux traitées rejetées par la station d'épuration en amont, ou par les nombreuses cultures qui jonchent l'Arc. Nous remarquons également que nous avons une baisse dans la concentration des nitrates en aval de l'Arc, ce qui pourrait venir d'une dilution des nitrates, à cause de l'apport d'eau non polluée du Grand Torrent.

b) Mesure des nitrites par spectrométrie UV :

i. Principe

La mesure des nitrites par colorimétrie peut être réalisée en utilisant de l'amine aromatique en réaction de diazotation. Le principe de cette méthode repose sur la formation d'un composé coloré (un sel de diazonium) à partir de la réaction entre les nitrites et l'amine aromatique en milieu acide. Cette réaction conduit à la formation d'un sel de diazonium qui est instable et se décompose rapidement en formant un composé azoïque coloré. Ceci va donc pouvoir être analysé par colorimétrie, avec un spectrophotomètre, car il possède une absorbance maximale à 540 nm. Nous allons donc recourir à la méthode d'étalonnage, et nous servir de la Loi de Beer-Lambert, afin de faire une droite d'étalonnage, qui nous aidera à déterminer la concentration de nitrites dans les échantillons.

Nous allons tout d'abord simplement ajouter un volume du réactif chromogène aux différentes solutions, ce qui va permettre d'avoir des colorations différentes selon la concentration.

Nous choisissons cette gamme d'étalonnage (concentration en mg de nitrite par L) : 0.25 ; 0.5 ; 0.75 ; 1. Comme les concentrations en nitrites sont souvent très petites, nous allons effectuer plusieurs calculs avant de passer les échantillons d'eau. Cela nous permettra d'avoir des résultats plus précis pour la concentration de nitrites dans les échantillons analysés.

Le blanc sera ainsi effectué 8 fois, d'afin de pouvoir calculer une concentration du blanc en moyenne, ainsi qu'un écart-type, une limite de détection, et une limite de quantification. En plus de cela, nous allons étudier le comportement d'une quantité de nitrite avec le réactif, dans de l'eau UHQ, et ce, 8 fois (la même quantité de nitrite à chaque fois). Nous allons ainsi pouvoir calculer une absorbance moyenne et son écart-type, ce qui nous permettra de calculer la précision de la mesure que nous allons effectuer.

Voici les résultats des 8 blanc, avec leur moyenne et écart-type :

8 blancs UHQ + réactif	Abs 540 nm
1	1,4057E-3
2	2,66E-03
3	3,11E-03
4	1,57E-03
5	1,59E-03
6	1,23E-03
7	2,90E-03
8	1,31E-03
Moyenne	0,002055243
Écart-type	0,000801749

Tableau 22 - Résultats des Blanc + Réactif pour les nitrites

Et les limites de détection et de quantification (en absorbance) qui en découlent, et qui ont été calculées grâce à ces formules :

- Limite de détection = Absorbance moyenne du blanc + $3 \cdot Sd_{\text{blanc}}$
- Limite de quantification = Absorbance moyenne du blanc + $10 \cdot Sd_{\text{blanc}}$

Limite de détection	0,004460491
Limite de quantification	0,010072736

Tableau 23 - Limite de détection et de quantification pour les nitrites

Et voici les résultats des absorbance des blancs avec une dose connue de nitrite, avec leur moyenne et écart-type :

8 blancs Nitrite + réactif	Abs 540 nm
1	0,34016
2	0,35311
3	0,34126
4	0,34464
5	0,3167
6	0,32051
7	0,33353
8	0,34504
Moyenne	0,33686875
Ecart-type	0,012573156

Tableau 24 – Résultats des Blancs + Nitrite + réactif pour les nitrites

Grâce à ces résultats, nous avons pu calculer la précision⁵, selon cette formule :

- Précision = (Sd/moyenne)*100

Précision	3.732360 %
-----------	------------

Tableau 25 - Valeur de la précision pour l'étude des nitrates

Cette valeur pour la précision nous indique que les résultats sont assez cohérents et fiables pour pouvoir les étudier correctement.

Après toutes ces manipulations et calculs préliminaires, nous pouvons passer à l'étalonnage, qui nous a donné ces résultats, et cette courbe d'étalonnage, ainsi que la mesure d'absorbance des échantillons d'intérêt.

Concentration en nitrites (mg/L)	Abs 540 nm
Blanc	2,59E-04
0	2,86E-03
0,25	0,16118
0,5	0,3153
0,75	0,51385
1	0,67979

⁵ La précision représente la capacité d'une méthode ou d'un instrument à fournir des résultats cohérents et répétables. Plus la précision est élevée, moins il y a de variation entre les résultats obtenus lors de mesures répétées d'un même échantillon. La précision est souvent exprimée en termes de l'écart type (Sd) ou de la variance des résultats.

Grand Torrent	-0,001408
Arc amont	1,41E-02

Tableau 26 - Valeurs des absorbances pour l'étalonnage des nitrites

Pour rappel, les limites de détection et de quantification pour l'absorbance sont :

Limite de détection	0,004460491
Limite de quantification	0,010072736

Tableau 27 - Limite de détection et de quantification pour les nitrites

Nous pouvons donc d'ores et déjà prévoir que les valeurs de concentrations seront en dessous des limites de détection pour le Grand Torrent, et sous la limite de quantification pour l'Arc Amont.

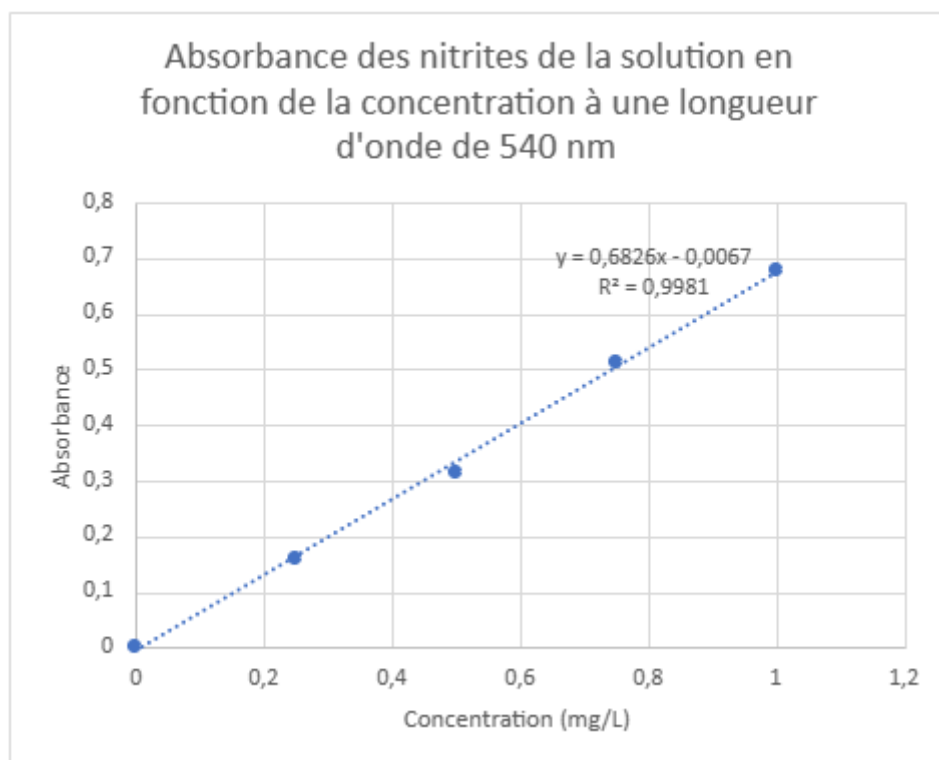


Figure 24 - Courbe d'étalonnage des nitrites

Grace à cette équation, nous pouvons calculer la concentration de nitrites dans l'eau :

$$X = (y + 0.0067) / 0.6826$$

ii. Résultats

Voici les résultats pour les échantillons d'eau de l'Arc et du Grand Torrent, analysés en Travaux Pratique, au laboratoire :

Concentration en nitrites Grand Torrent (mg/L)	0,00775271
Concentration nitrites Arc Amont (mg/L)	3,05E-02

Tableau 28 - Résultats préliminaires pour le nitrite

Voici les résultats donnés par les professeurs pour les échantillons d'eau de l'Arc et du Grand Torrent, analysés en laboratoire :

	ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
	N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
ites (NO ₂ ⁻) mg/L	<LD	<LD	<LD	< 0,1	< 0,3	< 0,5	< 1	> 1

Tableau 29 - Résultats et réglementation pour les nitrites

iii. Discussion

Résultats des travaux pratiques :

Les résultats se trouvent en dessous de la limite de détection pour le Grand Torrent, et sous la limite de détection pour l'Arc Amont, comme vu précédemment. Cela veut donc dire qu'il y a très peu de nitrites dans ces eaux, et que par conséquent la qualité de l'eau est très bonne, selon cette mesure et ces résultats.

Résultats des professeurs :

Nous pouvons voir que là encore, les valeurs de concentrations de nitrites dans l'eau sont extrêmement faibles, et sous la limite de détection pour tous les points de prélèvement. Cela veut donc dire qu'il y a très peu de nitrites dans ces eaux, et que par conséquent la qualité de l'eau est très bonne, car sous la limite de 0.1mg/L donné par la réglementation, selon cette mesure et ces résultats.

B. Les mesures in situ

Durant la sortie du 14 février, nous avons pu faire des analyses directement sur le terrain. Nous avons ainsi pu mesurer plusieurs paramètres, que nous allons vous décrire dans cette partie.

Il est intéressant de pouvoir faire des mesures sur le terrain, car elles permettent de réduire la dégradation des échantillons dans le temps, ou par leur environnement, quand nous les échantillonons pour les analyser en laboratoire. Nous pourrions d'ailleurs comparer les valeurs obtenues in situ, et en laboratoire, afin de voir leurs différences, pour les paramètres de nitrates, phosphates, ammonium, et chlorure.

Il faut bien sûr prendre en compte les erreurs de manipulations éventuelles, et la variation des valeurs possibles selon l'endroit où nous avons pris les mesures. En effet, la profondeur du cours d'eau, et la profondeur de la mesure, la vitesse de l'eau, l'environnement proche du point de prélèvement, la manipulation et l'étalonnage de l'appareil, sont autant de facteurs qui peuvent changer les valeurs des paramètres mesurés. Il y a donc une marge d'erreur potentielle dans toutes ces mesures, et l'interprétation de ces valeurs doit prendre en compte cette marge d'erreur.

Afin de remédier à ce problème, il aurait fallu effectuer les mesures plusieurs fois afin d'en faire des moyennes, et donc avoir des valeurs plus justes. Mais par manque de temps, cela n'a pas pu se faire.

1. Multimètre

Les mesures qui suivent ont été réalisées avec un potentiomètre, avec différentes sondes adaptées à la mesure réalisée.

k) pH

Le pH, ou potentiel hydrogène, indique la concentration en H^+ présents dans l'eau. Pour les eaux naturelles, le pH est essentiellement fonction des concentrations en gaz carbonique dissous (CO_2 libre) et en hydrogénocarbonates dissous.

L'eau doit normalement avoir un pH neutre, ni trop basique, ni trop acide, afin de permettre le bon développement de la vie aquatique, il est donc important de le mesurer, afin de savoir si une pollution modifie le pH, et affecte l'écosystème.

Le pH se mesure normalement à 20°C, mais sur le terrain nous le mesurons à la température de l'eau. Dans cette étude, le pH est mesuré avec un potentiomètre. Celui-ci mesure la différence de potentialité (potentialité électrique causée par la présence plus ou moins importante d'ions H^+) entre son système de référence et le système étudié, ce qui donne la valeur de pH.

Voici les étapes générales à suivre :

- Préparer le pH-mètre : Le potentiomètre doit être étalonné avant utilisation en utilisant des solutions tampons à pH connu. il est nécessaire d'étalonner un potentiomètre en verre (ou pH-mètre) avant chaque mesure de pH pour obtenir des résultats précis et fiables. L'étalonnage consiste à comparer la réponse du pH-mètre à celle de solutions tampons de pH connu, généralement des solutions tampons à pH 4, 7 et 10. En ajustant les réglages du potentiomètre en fonction de la réponse de ces solutions tampons, nous pouvons nous assurer que le potentiomètre est correctement calibré pour mesurer le pH de l'échantillon d'eau.
- Prélever l'échantillon d'eau : Il faut s'assurer que l'eau est suffisamment propre et représentative de l'endroit où nous effectuons la mesure.
- Plonger l'électrode du pH-mètre dans l'eau. Il faut s'assurer que l'électrode est bien immergée dans l'eau et qu'elle ne touche pas le fond ou les parois du récipient.
- Lire le pH : Le pH-mètre affichera la valeur du pH de l'eau sur son écran numérique.

Nous pouvons retrouver si dessous les résultats pour les 3 points de prélèvement, et leur comparaison avec la réglementation.

Paramètre	ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
Coordonnées GPS	N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
pH	8.04	7.75	7.94	entre 6.5 et 8.2	Entre 6 et 9	Entre 5.5 et 9.5	Entre 4.5 et 10	<4 et >10

Tableau 30 - Résultats et réglementation pour le pH

Nous pouvons voir que les résultats des 3 points de prélèvements sont assez similaires dans leur pH, et se trouvent tous dans la 1^{ère} classe, selon la réglementation. C'est donc une eau de très bonne qualité selon ce critère.

Nous notons tout de même que l'affluent de l'Arc a sûrement eu une certaine incidence sur le pH de l'eau, car le pH de l'Arc aval à un pH à 7.94, ce qui est plus bas que le pH de l'Arc amont (8.04), sachant que le pH du Grand Torrent est le plus bas des trois (7.75).

Cela peut également être dû aux différences dans la façon d'effectuer la mesure, et donc la marge d'erreur de toute mesure.

1) Conductivité

La conductivité électrique est une mesure de la capacité d'un milieu à conduire l'électricité. Dans les eaux de surface, la conductivité est principalement influencée par la quantité de sels dissous, tels que le chlorure, le sulfate, le carbonate et le bicarbonate. Ainsi, la conductivité est souvent utilisée comme indicateur de la salinité ou de la minéralisation d'un cours d'eau.

En général, une conductivité élevée peut être associée à une mauvaise qualité de l'eau, car elle peut indiquer la présence de polluants tels que les nitrates, les phosphates, les métaux lourds ou les substances organiques dissoutes.

Mais il est assez compliqué d'avoir des valeurs seuils fixes. En effet, une eau avec une conductivité de 100 $\mu\text{S/cm}$ peut être une eau de bonne qualité, malgré sa grande conductivité, car elle pourrait être chargée de minéraux qui n'ont pas d'influence sur la vie marine. Cependant, une grande conductivité peut aussi être synonyme d'une grande quantité de sel, ce qui perturbe grandement les écosystèmes aquatiques. Dans ce cas, une grande valeur de conductivité peut être mauvaise. Il n'y a donc pas de valeurs seuils dans la réglementation des eaux de surface, car les connaissances actuelles ne permettent pas de fixer des seuils fiables pour cette limite.

Il est important de noter que la mesure de la conductivité ne permet pas de déterminer la nature spécifique des polluants présents dans l'eau. Pour cela, des analyses plus approfondies doivent être effectuées.

Cependant, la conductivité peut fournir des informations utiles pour évaluer la qualité générale de l'eau et détecter les changements potentiels dans les conditions environnementales d'un cours d'eau. De plus, nous pouvons tout de même interpréter ces valeurs, car les valeurs de la conductivité peuvent varier entre 100 $\mu\text{S/cm}$, jusqu'à plus de 1000 $\mu\text{S/cm}$.

La mesure de la conductivité dans le cadre de cette sortie a été effectuée par une sonde de conductivité, compatible avec le potentiomètre. La sonde est composée de deux électrodes qui sont placées dans l'eau. L'une des électrodes émet un courant électrique dans l'eau, tandis que l'autre mesure la tension électrique résultante. La conductivité est alors calculée en fonction de la différence du courant.

Voici les résultats de nos analyses in-situ :

Paramètre	ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL
Coordonnées GPS	N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782
Conductivité ($\mu\text{S/cm}$) - Pour la réglementation : à 20°C	865	614	836

Tableau 31 - Résultats pour la conductivité

Nous pouvons voir que la conductivité dans toutes les eaux est assez élevée, mais nous ne pouvons pas en déduire la qualité de ces eaux. Nous pouvons seulement affirmer qu'elles sont chargées en minéraux, ce qui peut être dû à des pollutions, anthropiques ou non, ou alors cela peut être dû au comportement normal de ces cours d'eau.

Cela peut se vérifier, en comparant ces valeurs avec d'autres valeurs de conductivité de ces cours d'eau sur des dates intérieures. Ainsi, grâce au site SANDRE (11), nous pouvons vérifier nos valeurs.

Nous apprenons ainsi que « La conductivité varie entre 770 et 1719 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ sur l'ensemble des stations étudiées et les périodes d'analyse. », ce qui comprend la station de mesure la plus proche de notre point d'étude, étant la station L'Arc à Aix-en-Provence 1, A524.

Nos valeurs pour l'Arc rentrent donc parfaitement dans cet encadrement, et nous indique que ces valeurs sont normales pour ce cours d'eau.

Pour ce qui est du Grand Torrent, étant donné que c'est un cours d'eau moins grand que l'Arc, il est normal qu'il ait une conductivité plus faible.

De plus, en général il est vrai que plus nous descendons en aval d'un cours d'eau, plus la conductivité a tendance à augmenter. Cela est dû à l'accumulation naturelle de sels minéraux et d'autres matières dissoutes dans l'eau au fur et à mesure que celle-ci se déplace vers les régions plus basses. Cela veut dire que le Grand Torrent a sûrement une influence sur la conductivité de l'Arc en aval, car sa valeur est la plus faible de toutes (614 $\mu\text{S}/\text{cm}$), et qu'au lieu d'augmenter, la conductivité de l'Arc diminue dans son aval (865 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en amont et 836 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en aval). Bien entendu, il peut y avoir également des écarts dus aux erreurs ou différence de manipulation, comme précisé auparavant.

m) Température

La sonde conductivité avait un capteur de température, ce qui a permis de mesurer également la température de l'eau. Malgré le peu de réglementation sur la température qu'une eau peut avoir, car nous ne pouvons pas avoir beaucoup d'influence sur celle-ci. Mais c'est tout de même une bonne indication de la qualité de la condition de vie aquatique. En effet, une eau trop chaude contient moins d'oxygène dissous dans l'eau, ce qui peut être fatal pour certaines espèces animales ou végétales du milieu.

Voici les valeurs relevées :

Paramètre	ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL
Coordonnées GPS	N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782
Température (°C)	8.1	7.4	7.2

Tableau 32 - Résultats des températures

Nous pouvons voir que les valeurs de températures sont assez similaires, mais nous remarquons que la température de l'Arc amont est tout de même plus de 0.5°C plus chaude que les autres. Cela peut venir du rejet des eaux traitées par la station d'épuration située en amont de notre point de prélèvement. Ainsi, avec l'apport d'eau du Grand Torrent (affluent de l'Arc) à 7.4 °C, et avec le refroidissement de l'eau au fur et à mesure de son déplacement, cela a pu faire chuter la température de l'Arc, jusqu'à 7.2°C. Cette hypothèse semble plausible.

Cependant, il faut prendre en compte le fait qu'une mesure de pH peut donner des résultats assez différents, selon la façon dont ils sont effectués, et surtout dans quelle masse d'eau. En effet, la profondeur du cours d'eau, et la profondeur de la mesure, la vitesse de l'eau, l'environnement proche du point de prélèvement, la manipulation et l'étalonnage de l'appareil, sont autant de facteurs qui peuvent changer la valeur de la température. Il y a donc une marge d'erreur potentielle dans toutes ces

mesures. Il faudrait donc faire un test statistique pour savoir si la valeur s'éloigne significativement des deux autres, mais étant donné que l'hypothèse semble probable, nous considérons toutes les valeurs comme étant correctes.

De plus, comme la mesure a été faite en hiver (le 14 février), l'eau était de ce fait froide, et n'avait subi aucune augmentation de température qui aurait pu changer la quantité d'oxygène dissous dans l'eau, et donc mettre en danger la vie aquatique.

n) Oxygène Dissous

La mesure de la quantité d'Oxygène Dissous dans l'eau est importante car l'oxygène est un élément vital pour la survie des organismes aquatiques tels que les poissons et les invertébrés. Un taux d'OD trop faible peut entraîner une mortalité accrue de ces organismes et des effets négatifs sur la qualité globale de l'eau. Il est donc important de surveiller l'OD, et de la mesurer dans les cours d'eau pour comprendre la santé globale de l'écosystème aquatique et identifier les sources potentielles de pollution ou de stress environnemental qui peuvent affecter la qualité de l'eau. C'est aussi pour cette raison qu'il y a des valeurs seuils auxquelles nous pouvons comparer nos valeurs, et qui nous aident à déterminer la qualité du cours d'eau selon ce paramètre.

L'oxygène dissous (OD) a été mesuré in situ à l'aide d'un capteur d'oxygène dissous, compatible avec le potentiomètre. Pour mesurer l'OD, les capteurs d'oxygène dissous utilisent généralement une méthode électrochimique. La sonde est plongée dans l'eau et mesure la quantité d'oxygène dissous en milligrammes par litre (mg/L) et en pourcentage (%).

Voici les résultats obtenus :

Paramètre	ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
Coordonnées GPS	N 43.512056	N 43.511718	N 43.512527	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
	E 5.325579	E 5.325368	E 5.323782					
Oxygène dissous en mg/L	11.2	11.3	10.9	> 8	> 6	> 4	> 3	< 3
Oxygène dissous en % de saturation	91.1	92.3	91.5	> 90	> 70	> 50	> 30	< 30

Tableau 33- Résultats et réglementation pour l'oxygène dissous

Nous pouvons voir que les mesures d'oxygène, que ce soit en mg/L ou en %, sont très similaires pour les trois cours d'eau. De plus, toutes les valeurs font partie de la classe « eau en très bon état » pour ce paramètre, ce qui veut dire que l'oxygène dissous dans les points de prélèvements, et donc dans ces cours d'eau, est de manière globale très bonne, et ne laisse pas présager d'une pollution quelconque, qui viendrait perturber la qualité de la vie aquatique.

Il n'y a que la valeur en mg/L de l'Arc en aval qui semble plus basse que celle des autres points de prélèvements. Cela peut venir d'une erreur ou différence dans la manipulation, ou alors d'autres raisons :

- La pollution : Les rejets de polluants organiques ou de nutriments dans l'eau peuvent entraîner une prolifération de bactéries et de microorganismes qui consomment de l'oxygène pour se décomposer.
- La température : L'eau chaude peut contenir moins d'oxygène dissous que l'eau froide. Si l'eau en aval est plus chaude qu'en amont, cela pourrait expliquer une valeur d'OD plus basse. Cependant, dans ce cas, l'eau est plus froide en aval qu'en amont, donc cela n'explique pas la différence.
- La vitesse du courant : L'eau qui coule rapidement en aval peut avoir moins de temps pour absorber de l'oxygène de l'air que l'eau en amont qui coule plus lentement.
- La météo et l'environnement : Les fortes pluies peuvent entraîner une augmentation de la turbidité de l'eau, mais la présence de nuages, ou juste une plus grande couverture par les arbres et leur feuillage peut limiter la quantité de lumière qui pénètre dans l'eau, ce qui peut réduire la photosynthèse et donc la production d'oxygène par les plantes aquatiques.

Cependant, la valeur n'étant pas très éloigné des deux autres, et restant dans la classe de valeurs pour une eau de très bonne qualité, nous allons considérer que cette valeur est normale, et due aux variations dans les manipulations.

2. Pastel UV

Pour les mesures suivantes, nous avons utilisé un Pastel UV, outil qui est dédié à la mesure d'absorbance pour une seule longueur d'onde (entre 200 nm et 400 nm). Il permet d'effectuer des mesures pour différents paramètres chimiques, comme les nitrates, la DCO, DBO, COT et MES. Il ne nécessite pas d'avoir une préparation particulière de l'échantillon. Pour cette étude seulement les nitrates, la COT et les MES ont été analysés avec cet appareil. Ces valeurs font davantage office d'indications que de valeurs réelles, car l'analyseur portable a une limite technologique, comparé aux instruments de laboratoire. Les résultats sont donc souvent moins précis, et comme cette étude compare les résultats à la réglementation, il faut garder en tête ces possibles imprécisions.

o) Nitrates (voir présentation et définition dans la section TP3 – Nitrates)

Le pastel UV est un équipement qui peut être utilisé pour mesurer la concentration de nitrate dans une solution. Il utilise la technique de la spectroscopie UV pour détecter la présence de nitrates dans l'eau.

Le principe de la méthode est basé sur le fait que les nitrates absorbent la lumière UV à une longueur d'onde spécifique, qui est différente de celle absorbée par d'autres composés présents dans l'eau. En mesurant la quantité de lumière UV absorbée à cette longueur d'onde spécifique, il est possible de déterminer la concentration de nitrates dans l'eau. Il faut au préalable calibrer l'appareil.

Voici les résultats obtenus :

Paramètre		ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
Coordonnées GPS		N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
Pastel UV	Nitrates (NO ₃ ⁻) mg/L	9.6	3.9	9.5	< 10	< 50	*	*	*

Tableau 34 - Résultats et réglementation pour les nitrates, in situ

Les résultats pour l'Arc amont sont de 9,6 mg/L, ce qui la plus grande valeur des trois. Cela peut être dû au rejet de la station d'épuration fait en amont du point de prélèvement, ce qui est une source de

pollution potentielle en nitrates. Les résultats pour l’Arc aval sont de 9,5 mg/L, similaires à la station amont, et les résultats pour le Grand Torrent sont de 3,9 mg/L, ce qui est significativement inférieur aux deux autres valeurs. Nous pouvons supposer que l’apport d’eau n’a pas eu beaucoup d’influence sur la concentration de nitrates sur l’Arc, car c’est un petit volume d’eau.

Cependant, les valeurs sont inférieures à 10 mg/L, ce qui veut dire que les eaux aux points de prélèvement sont de bonne qualité en termes de concentration de nitrates, même si, pour l’Arc, les valeurs se rapprochent de 10, et donc de la classe de qualité « Bon état ».

Il est également important de noter que la présence d'autres composés dans l'eau peut interférer avec la mesure des nitrates, ce qui peut conduire à des résultats inexacts. Par conséquent, il est recommandé d'utiliser cette méthode en conjonction avec d'autres méthodes pour mesurer les nitrates dans l'eau.

Pour notre cas, nous avons les résultats de la mesure de nitrates faite en laboratoire. Nous pouvons donc comparer les résultats.

Pour rappel, sur le tableau des résultats pour la mesure de nitrates faite en laboratoire, nous avons pu observer ces résultats :

Paramètre	1	2	3					
	ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
données GPS	N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
tes (NO3-) mg/L	14.8	3.5	13.3	< 10	< 50	*	*	*

Tableau 20 - Résultats et réglementation pour le nitrate

Nous pouvons noter que pour ce qui est du Grand Torrent, la valeur mesurée en laboratoire est plus faible que celle mesurée sur le terrain (3.9 mg/L contre 3.5 mg/L), mais ces valeurs restent tout de même très similaires, et dénotent de la très bonne qualité de ce cours d’eau en termes de nitrates.

Cependant, pour ce qui est de l’Arc, nous observons que les valeurs sont plus élevées quand analysées en laboratoire, que in situ. En effet, en amont, nous avons une valeur de 14.8mg/L, contre 9.6mg/L in situ, et pour l’aval, nous avons une concentration de 13.3mg/L contre 9.5mg/L in situ.

Les valeurs obtenues au laboratoire pour l’Arc démontrent qu’il s’agit d’une eau de « bonne qualité », et non pas de très bonne qualité, comme pour les résultats in situ.

Il est souvent recommandé de davantage s’appuyer sur les résultats obtenus en laboratoire, car bien que les pastel UV soient pratiques avec des résultats rapides, ils sont tout de même bien moins précis que d'autres techniques de mesure plus sophistiquées, telles que la spectrophotométrie ou la chromatographie. La différence dans les mesures pourrait donc venir du fait du matériel utilisé.

Mais nous pouvons avancer une autre hypothèse. Comme les analyses faites sur terrain ne se passent pas le même jour que celles en laboratoire, nous pouvons émettre l’hypothèse qu’une source extérieure de nitrates a influencé ces concentrations. De plus, nous savons qu’une station d’épuration rejette ses effluents en amont de l’Arc, donc la variation dans la concentration de nitrates peut venir de ces rejets. En effet, certains jours les stations rejettent plus de nitrates que d’autres jours, ce qui est tout à fait normal.

p)

q) Les matières en suspension (MES)

Il est important de mesurer les MES car elles peuvent affecter la qualité de l'eau en perturbant la photosynthèse des plantes aquatiques, en obstruant les branchements d'eau potable, en affectant la

qualité de l'habitat des poissons, en augmentant la température de l'eau en raison de l'absorption de la lumière solaire, et en transportant des polluants chimiques attachés aux particules.

La présence de MES peut être liée à des activités humaines telles que l'agriculture, la construction, les déversements d'eaux usées, les barrages ou les érosions dues aux pluies. Les niveaux élevés de MES peuvent également affecter la qualité de l'eau potable, la navigation, la production hydroélectrique, la récréation et la pêche. En surveillant régulièrement les niveaux de MES dans les cours d'eau, il est possible d'identifier les sources de pollution et de prendre des mesures pour les réduire.

La mesure in situ des MES peut être effectuée à l'aide d'un turbidimètre, qui mesure la turbidité de l'eau en utilisant une source de lumière et un détecteur. La turbidité est ensuite convertie en concentration de MES en utilisant une courbe de calibration.

Voici les résultats de ces mesures et calculs :

Paramètre		ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
Coordonnées GPS		N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
Pastel UV	Matière En Suspension (MES), en mg/L	25	10	17	< 2	< 25	< 38	< 50	> 50

Tableau 35 - Résultats et réglementation pour les MES

Avec ces résultats, nous pouvons en déduire que pour ce paramètre, la qualité des eaux analysées est bonne, avec la plus basse concentration en MES étant celle du Grand Torrent, et la plus haute celle de l'Arc amont, dont la valeur est à la limite d'être classée comme une eau en état moyen.

Bien sûr il faut prendre en compte qu'il y a une marge d'erreur, mais dans tous les cas, les valeurs restent similaires.

r) Le carbone organique total

Le carbone organique total (COT) est une mesure de la quantité de carbone organique présent dans un échantillon d'eau, y compris les composés organiques dissous et particuliers. Le COT peut être mesuré in situ ou en laboratoire.

Le COT est important car il est utilisé pour évaluer la qualité de l'eau, en particulier dans les eaux usées et les effluents industriels. Les niveaux élevés de COT peuvent indiquer la présence de matières organiques non traitées dans l'eau, ce qui peut contribuer à la pollution de l'eau et affecter la santé des écosystèmes aquatiques. Les niveaux élevés de COT peuvent également entraîner une augmentation de la demande biochimique en oxygène (DBO) dans l'eau, ce qui peut avoir un impact négatif sur la qualité de l'eau et la survie des organismes aquatiques.

Voici les résultats de ces mesures :

	ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
	N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
Carbone Organique Total (COT), en mg/L	2.2	1	1.7	< 5	< 7	< 10	< 15	> 15

Tableau 36- Résultats et réglementation pour le COT, in situ

Ces résultats nous montrent que pour tous les cours d'eau, nous retrouvons des concentrations en carbone organique total basses, et que toutes sont inférieures à 5mg/L, ce qui est synonyme d'une très bonne qualité de l'eau à ces endroits.

Malgré le rejet des eaux traitées par la station d'épuration en amont de l'Arc, nous ne voyons pas d'importante incidence, même si les valeurs pour l'Arc sont plus hautes que celles du Grand Torrent. En effet, pour l'Arc amont, nous avons plus du double que pour le Grand torrent, et pour l'Arc aval, 1.7 fois la valeur du GT. Cela veut dire deux choses : que nous notons tout de même les rejets des eaux usées par la STEP, mais qu'elles ne perturbent pas la qualité de l'eau de cet écosystème, et que l'affluent de l'Arc permet une dilution supplémentaire à ce paramètre.

3. Kits de chimie

L'évaluation du phosphate, ammonium et chlorure s'est faite avec des kits de chimie de terrain (un pour chaque élément chimique). Ces kits permettent de mesurer rapidement et facilement la présence ou la concentration de certaines substances dans un échantillon d'eau, de sol ou d'air sur le terrain sans nécessiter l'utilisation d'un laboratoire ou d'un équipement sophistiqué. Il est composé d'un ensemble de réactifs chimiques et d'instructions. Nous nous servons d'un photomètre portable associé aux kits (instrument qui mesure la quantité de lumière absorbée par une solution à une longueur d'onde spécifique), ce qui nous permet d'avoir la concentration de ces molécules en quelques minutes. Voici comment se déroule en général une mesure avec un kit de terrain, dans le cas d'une mesure d'un polluant présent dans l'eau d'une rivière :

- Il faut tout d'abord préparer l'échantillon d'eau représentatif de l'eau à tester, en le prélevant, et en le versant dans des tubes, où nous allons procéder à la mesure.
- Ensuite il faut préparer le kit et les réactifs qu'il contient. Il est important de suivre les instructions du kit, qui sont parfois très précises.
- Puis nous effectuons le test grâce au photomètre portatif, en n'oubliant pas de scanner la méthode associée au type de molécule mesurée, et nous interprétons les résultats des concentrations obtenus.

Voici les résultats obtenus pour le phosphate, l'ammonium et le chlorure, grâce aux kits de mesure in situ :

Paramètres	ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
Coordonnées GPS	N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
Phosphates (PO43-) en mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	< 0,1	< 0,5	< 1	< 2	> 2
Ammonium (NH4+) en mg/L	0.11	<0,05	0.12	< 0,1	< 0,5	< 2	< 5	> 1,5
ures (Cl-) en mg/L	61	2	40	*	*	*	*	*

Tableau 37 - Résultats et réglementation pour le phosphate, l'ammonium et les chlorures, in situ

Pour ce qui est des résultats des concentrations de phosphates dans les 3 points de prélèvement, nous pouvons remarquer que les valeurs sont les mêmes (< 0.05 mg/L), et qu'elles classent donc l'eau de ces cours d'eau comme étant en très bon état. Bien entendu, ces résultats sont des indications. Cependant, ils sont sûrement dus au fait qu'ils sont en trop faible quantité pour que les kits nous donnent une réponse précise.

Pour ce qui est de l'ammonium, il ne semble pas y en avoir assez dans l'eau pour le Grand Torrent, en effet la valeur est définie comme étant inférieure à 0.5 mg/L. Comme pour le phosphate, la valeur est sûrement trop faible pour que l'étude nous donne un chiffre précis. En revanche nous retrouvons bien de l'ammonium dans l'eau de l'Arc, avec une concentration proche, mais supérieure pour l'aval (0.12 mg/L) que celle de l'amont (0.11 mg/L). Ces valeurs sont très proches des valeurs qui définissent une classe d'eau en très bon état, mais lui sont légèrement supérieures, et classent donc l'eau en « bon état ».

Pour les chlorures, les valeurs sont assez différentes les unes des autres. Le Grand Torrent a une concentration près de 30 fois inférieure à celle de l'Arc amont, et 20 fois inférieure pour l'Arc aval. C'est donc l'eau qui contient le moins de chlorures (2 mg/L), et celle qui en contient le plus est celle de l'eau de l'Arc amont (61 mg/L). L'eau de l'Arc aval a une concentration bien plus petite en chlorure que celle de l'amont, et c'est sûrement dû à la dilution faite par l'eau peu chargée en chlorure du Grand Torrent. Malheureusement, nous ne pouvons pas comparer ces résultats à la réglementation, car les connaissances actuelles ne permettent pas d'établir une valeur limite. Cependant, les niveaux de concentrations en chlorures sont tellement éloignés, que nous pouvons déduire qu'il y a une source de pollution pour cette molécule pour l'eau de l'Arc, et qui est sûrement due aux rejets de la STEP présente en amont de ce cours d'eau.

C. Résultats généraux

Résultats TP								
Paramètre	1	2	3					
	ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
Coordonnées GPS	N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
Ammonium (NH4+) mg/L	0.22	0.07	0.19	< 0,1	< 0,5	< 2	< 5	> 1,5
Nitrates (NO3-) mg/L	14.8	3.5	13.3	< 10	< 50	*	*	*
Phosphates (PO43-) en mg/l	0.23	<LD	0.20	< 0,1	< 0,5	< 1	< 2	> 2
Nitrites (NO2-) mg/L	<LD	<LD	<LD	< 0,1	< 0,3	< 0,5	< 1	> 1
Indice Permanganate, mg O2/L	1.08	0.24	0.93	*	*	*	*	>10
DCO (mg O2/L)	15.2	7.1	14.6	<20**	<30**	< 30	*	*

Tableau 38- Résultats et réglementation pour les études en laboratoire

Résultats terrain									
Paramètre		ARC AMONT	GD TORRENT	ARC AVAL					
Coordonnées GPS		N 43.512056 E 5.325579	N 43.511718 E 5.325368	N 43.512527 E 5.323782	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
pH		8.04	7.75	7.94	entre 6.5 et 8.2	Entre 6 et 9	Entre 5.5 et 9.5	Entre 4.5 et 10	<4 et >10
Oxygène dissous en mg/L		11.2	11.3	10.9	> 8	> 6	> 4	> 3	< 3
Oxygène dissous en % de saturation		91.1	92.3	91.5	> 90	> 70	> 50	> 30	< 30
Temperature (°C)		8.1	7.4	7.2					
Conductivité (µS/cm) - Pour la réglementation: à 20°C		865	614	836	*	*	*	*	*
Pastel UV	Matière En Suspension (MES), en mg/L	25	10	17	< 2	< 25	< 38	< 50	> 50
	Carbone Organique Total (COT), en mg/L	2.2	1	1.7	< 5	< 7	< 10	< 15	> 15
	Nitrates (NO3-) mg/L	9.6	3.9	9.5	< 10	< 50	*	*	*
Phosphates (PO43-) en mg/L		<0,05	<0,05	<0,05	< 0,1	< 0,5	< 1	< 2	> 2
Ammonium (NH4+) en mg/L		0.11	<0,05	0.12	< 0,1	< 0,5	< 2	< 5	> 1,5
Chlorures (Cl-) en mg/L		61	2	40	*	*	*	*	*

Tableau 39 - Résultats et réglementation pour les études in situ

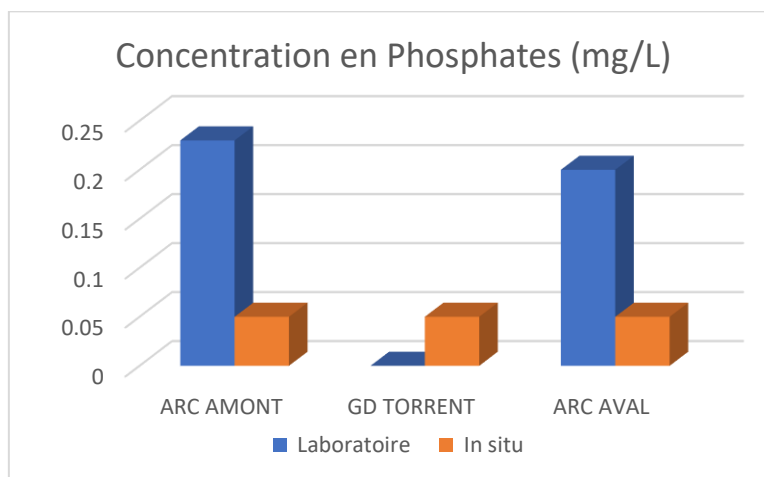


Figure 25 - Comparaison des résultats obtenus en laboratoire et in situ, pour le phosphate

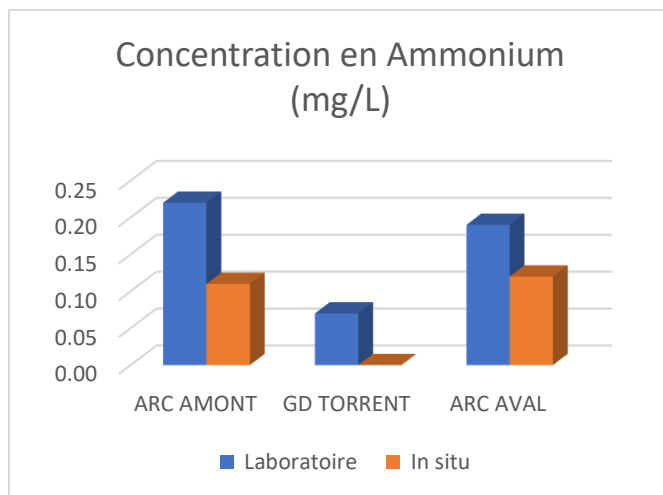


Figure 27 - Comparaison des résultats obtenus en laboratoire et in situ, pour l'ammonium

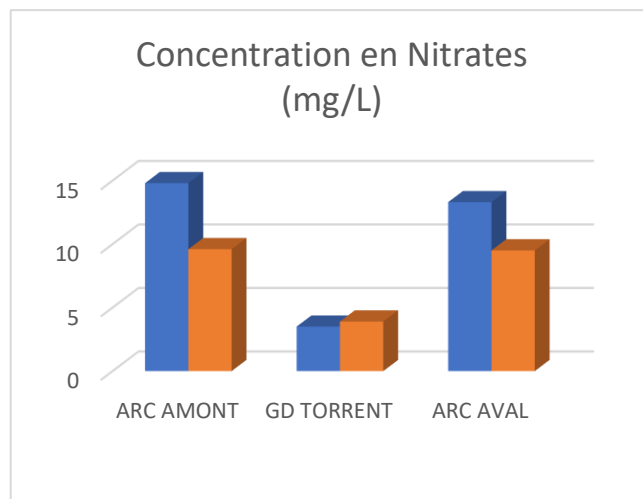


Figure 26 - Comparaison des résultats obtenus en laboratoire et in situ, pour le nitrate

D. Discussion

Des mesures de la qualité de l'eau de ces cours d'eau ont été effectuées régulièrement depuis plusieurs décennies, ce qui a permis de suivre leur évolution chimique au fil du temps. Selon les données disponibles, le type et la concentration de certains polluants ont augmenté ou diminué en fonction des activités humaines dans la région et des politiques environnementales mises en place pour protéger la qualité de l'eau.

Par exemple, dans les années 1980, les mesures ont montré une augmentation de la concentration de certains polluants tels que les métaux lourds, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les pesticides dans la rivière Arc. Cette augmentation était liée à l'activité industrielle dans la région à cette époque. De même, des mesures ont montré une augmentation des niveaux de certains nutriments tels que le phosphore et l'azote dans l'Arc et le Grand Torrent, ce qui peut être lié aux pratiques agricoles à proximité de ces cours d'eau.

Cependant, au fil des ans, des politiques environnementales plus strictes ont été mises en place pour contrôler les émissions de polluants dans l'eau, ce qui a permis de réduire les concentrations de ces contaminants dans la rivière.

Aujourd'hui, et ce grâce aux résultats de cette étude, nous pouvons affirmer que les eaux naturelles de l'Arc et du Grand Torrent sont de très bonnes qualités pour la plupart des paramètres chimiques mesurés dans cette étude. Cette observation est particulièrement vérifiée dans le cas du Grand Torrent, pour qui tous les paramètres physico-chimiques mesurés (que nous avons pu comparer à la réglementation) classent son eau dans la catégorie « eau en très bon état. Malgré le fait que nous manquions de valeurs seuils réglementées pour certaines molécules, la plupart ne semblaient pas avoir des valeurs assez élevées pour influencer la qualité de vie de cet écosystème aquatique (conclusion faite grâce à d'autres réglementations que celle pour les eaux de surface, comme la réglementation pour les eaux destinées à la consommation). Il n'y a que pour les chlorures que nous n'avons pas réussi à retrouver des valeurs de la réglementation comparables.

Nous notons tout de même la présence de quelques polluants qui dégradent la qualité de l'eau pour l'Arc, mais également qu'ils n'ont pas un effet dévastateur. En effet, ils vont seulement classer l'eau de ce cours d'eau dans la classe « bon état » au lieu du « très bon état ». C'est le cas pour l'ammonium, les nitrates et les phosphates. Comme dit précédemment, l'agriculture à proximité de l'Arc semble exercer

une grande influence sur la qualité de ce cours d'eau. En effet, ces polluants font tous partie des éléments azotés et phosphatés, qui proviennent la plupart du temps des engrais utilisés dans l'agriculture. Ces engrais utilisés en excès, peuvent être ruisselés, lessivés et lixiviés par les eaux de pluies, et atteindre ce cours d'eau, où ils peuvent perturber son fonctionnement.

De plus, grâce à l'étude du contexte géographique de l'Arc, nous savons qu'il y a une station d'épuration en amont de nos points de prélèvements, qui déverse ses effluents dans l'Arc. Elle pourrait donc être en partie responsable de la présence de ces polluants. Mais l'étang de Berre est considéré comme une zone naturelle fragile selon la réglementation environnementale. Par conséquent, les STEP qui rejettent leurs eaux traitées dans les cours d'eau (dont l'Arc) qui se jettent dans cet étang, ont des seuils stricts pour les éléments azotés et phosphatés rejetés. Cependant, bien que cette STEP soit conçue pour éliminer au maximum les éléments azotés et phosphatés, une partie peut encore se retrouver dans les eaux. Car la réglementation, bien qu'elle soit plus stricte pour cette station d'épuration, permet quand même de relâcher des eaux contenant ces éléments (même à faible dose).

Comme énoncé dans la partie sur les éléments azotés et phosphatés, ces éléments sont responsables la plupart du temps de l'eutrophisation des cours d'eau, ce qui met en grand danger le fonctionnement naturel de celui-ci, ainsi que sa faune et sa flore. Cependant, comme ces valeurs restent assez basses, et classent qualifient l'eau comme étant en bon état, nous pouvons être rassurés quant à la qualité de l'eau pour ces paramètres. Mais nous notons que c'est la seule source de pollution notable pour ce cours d'eau, et que par conséquent, il est important de suivre son évolution.

Nous pouvons également commenter le fait que pour beaucoup des paramètres physico-chimiques étudiés, le Grand Torrent semble avoir une grande influence sur la chimie des eaux de l'Arc. En effet, elle semble baisser presque systématiquement le niveau de pollution de l'eau de l'Arc. On peut voir cela par le fait que les niveaux de pollution sont plus bas au niveau de l'Arc aval que pour l'Arc amont, et le seul gros facteur qui différencie ces deux points est l'arrivée de l'affluent de l'Arc, le Grand Torrent. Cela peut se justifier par le fait que l'eau du Torrent soit très peu polluée, et donc en excellent état. Donc en apportant un volume d'eau non pollué à l'Arc, il dilue la concentrations des polluants, et contribue à l'amélioration des qualités de vie aquatiques, même si pour la plupart des paramètres, la différence entre l'Arc amont et aval est très petite.

Lors de cette étude, nous avons analysé la qualité chimique de l'eau à trois points de prélèvements, et pour certains paramètres mesurés (nitrates, phosphates et ammonium), nous avons recouru à deux méthodes différentes, afin de comparer leur résultat : les mesures in situ, et en laboratoire (voir figure 24, 25 et 26). Il en ressort qu'il y a bel et bien une différence selon la méthode utilisée ; les valeurs mesurées in situ sont, pour la plupart, inférieures à celles mesurées en laboratoire. Cela peut venir du fait que les appareils de mesure utilisés en laboratoire sont beaucoup plus précis. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'ils sont reconnus comme étant plus fiables. Cependant, il a également pu y avoir des processus chimiques dans les échantillons analysés en laboratoire. En effet, la mesure n'étant pas instantanée, l'eau peut évoluer chimiquement, le temps du transport. Par exemple, dans l'eau échantillonnée, l'ammonium peut être dégradé par des bactéries oxydantes présentes dans l'eau prélevée et le convertir en nitrates ou nitrites. Nous pouvons mettre en corrélation avec cette hypothèse le fait que les nitrates mesurés in situ pour le GT aient des valeurs supérieures à celles mesurées au laboratoire (3.9 mg/L in situ et 3.5 mg/L en laboratoire), ce qui représente la seule exception au sein des valeurs mesurées (pour la plupart c'est l'inverse, les valeurs mesurées en laboratoire sont plus élevées que celles mesurées sur le terrain). Mais cela peut également être le fruit d'une contamination, ou d'une erreur survenue lors la mesure de ce paramètre.

Afin d'avoir une étude encore plus complète, il aurait donc été intéressant de pouvoir analyser les métaux de cette rivière, afin de pouvoir connaître la qualité de l'eau selon ces paramètres. En effet,

historiquement, la région de l'Arc en Provence a été le centre de l'industrie de la fonte et du fer dans le sud-est de la France. Au XIX^e siècle, plusieurs fonderies et forges ont été établies le long de la rivière Arc pour profiter de son pouvoir hydraulique et de son accès facile aux matières premières telles que le minerai de fer. Même si aujourd'hui la plupart de ces industries métallurgiques sont fermées, leur impact dans le passé peut encore avoir un impact sur la qualité de l'eau de l'Arc.

IV. Discussion générale

Grâce à cette étude, nous avons étudié de nombreux paramètres chimiques et biologiques indicateurs de la qualité de l'eau de l'Arc et du Grand Torrent.

Pour ce qui est de l'Arc, nous avons pu voir que la plupart des paramètres chimiques étudiés nous indiquaient que l'eau de cette rivière est globalement de bonne qualité. Cette observation est également confirmée par l'étude littéraire en biologie animale des macro-invertébrés benthiques que nous avons effectué. Lors de la recherche des indices de diversité, nous avons trouvé des valeurs moyennement bonnes en aval de la confluence avec le Grand Torrent. Cela démontre une qualité de l'eau globalement moyenne en aval avec peu de perturbations anthropiques.

Cependant, pour ce même cours d'eau, nous avons obtenu des concentrations assez importantes en éléments azotés et phosphatés, empêchant l'eau d'être totalement qualifiée comme étant en « très bon état ». Ces concentrations proviennent de l'agriculture présente le long du cours d'eau, ainsi que les rejets des nombreuses stations d'épurations, notamment de la station d'épuration présente en amont de nos prélèvements, et qui rejette ses eaux traitées dans l'Arc. Or, ces valeurs de polluants ne sont pas assez grandes pour engendrer de l'eutrophisation, et donc pour ces paramètres, l'eau est considérée comme en « bon état ». Toutefois, nous avons eu des valeurs de fluorescence des algues très élevées, ce qui souligne le fait qu'il y ait une pollution dans cette eau, en azote et phosphate, deux nutriments en partie responsable de la prolifération de ce type de végétal. De plus, avec les données obtenues par le dénombrement des diatomées, la diversité des espèces n'est pas très bonne. Nous avons pu obtenir une valeur de l'indice de Shannon inférieure à 1, soulignant une faible diversité.

Ajouté à cela, une recherche sur des données en amont de la confluence de l'Arc avec son affluent a montré des indices IBGN et de Shannon plus faibles, soulignant une pollution en amont du cours d'eau. Ceci est également confirmé par les analyses chimiques où les valeurs en amont sont moins bonnes que celles en aval de l'Arc, et de la confluence.

Ces observations laissent présager qu'une source d'eau de meilleure qualité dilue la pollution présente dans l'Arc. Ce qui est confirmé par les données, car la qualité chimique de l'eau du Grand Torrent (affluent de l'Arc) s'est avérée être meilleure que celle de l'Arc. Une meilleure qualité de l'eau a également permis une plus grande diversité d'espèces de diatomées et de macro invertébrés benthiques. Dans les deux métriques de diversité étudiés, nous avons obtenu de meilleurs résultats que pour l'Arc, et les espèces retrouvées, notamment pour ce qui est des diatomées, soulignent une meilleure qualité d'eau. Ainsi, nous avons pu confirmer que le Grand Torrent permet une dilution de la pollution de l'Arc et permet donc d'avoir une meilleure qualité de l'eau en aval de la confluence.

En étudiant les analyses réalisées ces 10 dernières années, nous n'avons pas pu remarquer une tendance à la diminution ou à l'augmentation de la qualité de l'eau de l'Arc. Les résultats biologiques ont montré une oscillation des données. Étant donné que nous avons pu observer une corrélation entre les données chimiques et biologiques, une variation des données chimiques entraîne une variation des résultats biologiques. Ainsi, une oscillation des valeurs d'indice de diversité biologiques montre également une variation des résultats chimiques.

Or, nous savons que de nombreuses loi et réglementations sur les rejets agricoles et de stations d'épurations ont été mises en place dans les bassins versants de France, dont le bassin versant de l'Arc que nous étudions. D'autres réglementations supplémentaires ont également été instaurées afin de

limiter l'eutrophisation, déjà importante, de l'étang de Berre. De cette observation, nous avons pu émettre deux hypothèses.

La première est que les sols à proximité des cours d'eau sont pollués depuis des années par l'agriculture, conduisant à la dispersion d'engrais et d'insecticides. Ainsi, lorsqu'il pleut, le lessivage des sols entraîne les polluants vers l'Arc à proximité. Ce serait donc la raison d'une quantité oscillante de polluants contenus dans ce cours d'eau impactant la diversité des espèces végétales et animales de l'Arc.

La seconde hypothèse serait liée à la bioconcentration des polluants dans les végétaux, qui ensuite impacterait les espèces animales par ingestion. Pour ce qui est des fortes concentrations dans l'eau, il s'agirait de la bioconcentration des polluants dans l'eau.

Pour pouvoir vérifier ces hypothèses ou en émettre une autre plus proche de la réalité, il faudrait réaliser des analyses notamment au niveau des tissus pour déterminer les concentrations en azotes et phosphates par exemple. Avec nos données actuelles, nous ne pouvons pas donner une constatation précise. Lors de nos analyses, de nombreuses incertitudes de mesures et de précisions empêchent un raisonnement plus précis et poussé de la qualité de l'Arc.

V. Conclusion

Pour conclure, la qualité de l'eau d'une rivière dépend de nombreux paramètres physico-chimiques et biologiques liés entre eux. Cependant, un apport en polluants ou en eau de meilleure qualité par un affluent permet de faire varier la qualité de l'eau d'une rivière. Ainsi, la qualité de l'eau ne se définit pas seulement par un cours d'eau, mais par un bassin versant entier. Les réglementations plus récentes soulignent l'importance des relations entre les différents compartiments d'un bassin versant. C'est pourquoi, des études comme celle que nous avons réalisée sont importantes pour mieux comprendre et appréhender la qualité d'une étendue d'eau, en prenant en compte toutes les interrelations entre les écosystèmes aquatiques et terrestres, en termes de faune et flore.

VI. Références

1. La directive cadre sur l'eau (DCE) | L'eau dans le bassin Rhône-Méditerranée [Internet]. [cité 26 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/gestion-de-leau/sdage-2016-2021-en-vigueur/la-directive-cadre-sur-leau-dce>
2. Archaimbault V. L'indice Biologique Global Normalisé français (IBGN): ses principes et son évolution dans le cadre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. 2007;
3. Dibong S, Parfait N. Inventaire floristique et écologie des algues des rivières Kambo et Longmayagui de la zone humide de Douala (Cameroun). International Journal of Biological and Chemical Sciences. 8 mai 2015;8:2560.
4. Les diatomées, bio-indicatrices de la qualité des cours d'eau. — Site des ressources d'ACCES pour enseigner les Sciences de la Vie et de la Terre [Internet]. [cité 4 mai 2023]. Disponible sur: <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/biodiversite/dossiers-thematiques/biosurveillance-et-bioindicateurs/les-diatomees-bio-indicatrices-de-la-qualite-des-cours-d2019eau>
5. Indice biologique diatomée (IBD) [Internet]. LABOCEA. [cité 4 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.labocea.fr/indice-biologique-diatomee-ibd/>
6. Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement - Légifrance [Internet]. [cité 4 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037347756/>
7. eau-guide-technique-relatif-a-levaluation-de-l-etat-des-eaux.pdf [Internet]. [cité 4 mai 2023]. Disponible sur: <https://laclauseverte.fr/wp-content/uploads/2021/01/eau-guide-technique-relatif-a-levaluation-de-l-etat-des-eaux.pdf>
8. Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique - Légifrance [Internet]. [cité 4 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000465574/>
9. Arrêté du 24/04/17 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n° 2240 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement | AIDA [Internet]. [cité 4 mai 2023]. Disponible sur: <https://aida.ineris.fr/reglementation/arrete-240417-relatif-prescriptions-generales-applicables-installations-relevant>
10. INERIS - Environnement, Normes de Qualité Environnementale (NQE) et Valeurs Guides Environnementales (VGE) [Internet]. [cité 4 mai 2023]. Disponible sur: <https://substances.ineris.fr/fr/page/9>
11. ARC A AIX EN PROVENCE 5 | L'eau dans le bassin Rhône-Méditerranée [Internet]. [cité 4 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/station-06195130>

VII. Annexes

Chimie

Annexe n°1 : Tableau récapitulatif des normes de qualité environnementale de l'eau pour les eaux de surface en France, selon différents paramètres et classes. Les valeurs sont données en mg/L, sauf indication contraire (10).

Ces valeurs sont établies par le Ministère de la Transition Écologique et Solidaire en France. Elles sont fixées dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive-cadre sur l'eau (DCE) de l'Union européenne, qui vise à protéger et améliorer la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines en Europe. Les normes de qualité environnementale de l'eau sont définies pour chaque classe de masse d'eau (rivières, lacs, estuaires, etc.) et sont régulièrement révisées pour s'adapter aux évolutions scientifiques et aux enjeux environnementaux.

Paramètre	Classe 1 (très bon état)	Classe 2 (bon état)	Classe 3 (état moyen)	Classe 4 (mauvais état)	Classe 5 (mauvais état)
Ammonium (NH ₄ ⁺)	< 0,05	< 0,20	< 0,50	< 1,5	> 1,5
Nitrate (NO ₃ ⁻)	< 5	< 25	< 50	< 75	> 75
Nitrite (NO ₂ ⁻)	< 0,01	< 0,1	< 0,5	< 1	> 1
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	< 0,02	< 0,1	< 0,2	< 0,5	> 0,5
Indice de Pollution (IP)	< 2	< 4	< 6	< 8	> 8
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	< 5	< 10	< 25	< 50	> 50
pH	6,5-9	6,5-9	6,5-9	6-9	6-9
Oxygène Dissous (OD) en % de saturation	> 90	> 80	> 70	> 60	< 60
Oxygène Dissous (OD) en mg/L	> 8	> 6	> 4	> 3	< 3
Conductivité électrique (à 20°C)	< 100	< 300	< 800	< 1500	> 1500
Matières En Suspension (MES)	< 5	< 20	< 30	< 50	> 50
Carbone Organique Total (COT)	< 2	< 5	< 10	< 20	> 20
Chlorures (Cl ⁻)	< 50	< 250	< 500	< 1000	> 1000
Nitrate + Nitrite (NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻)	< 10	< 50	< 100	< 150	> 150

Annexe n°2 : Définition exacte des classes de qualité pour la partie des eaux de surface (10).

Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et cr ...

Version à la date :

d'aujourd'hui ou du 30/08/2018

[Retour au Sommaire du JO](#)

[Texte précédent](#)

[Texte suivant](#)

Tableau 2 : définition générale des classes d'état écologique des cours d'eau, plans d'eau, eaux de transition et eaux côtières en fonction des éléments de qualité

	TRÈS BON ÉTAT	BON ÉTAT	ÉTAT MOYEN	ÉTAT MÉDIOCRE	ÉTAT MAUVAIS
DÉFINITION GÉNÉRALE	<p>Les valeurs des éléments de qualité biologique pour la masse d'eau de surface correspondent à celles normalement associées à ce type dans des conditions non perturbées et n'indiquent pas ou très peu de distorsions. Il s'agit des conditions et communautés caractéristiques.</p> <p>Pas ou très peu d'altérations anthropogéniques des valeurs des éléments de qualité physico-chimiques et hydromorphologiques applicables au type de masse d'eau de surface par rapport aux valeurs normalement associées à ce type dans des conditions non perturbées.</p>	<p>Les valeurs des éléments de qualité biologique applicables au type de masse d'eau de surface montrent de faibles niveaux de distorsion résultant de l'activité humaine, mais ne s'écartent que légèrement de celles normalement associées à ce type de masse d'eau de surface dans des conditions non perturbées.</p>	<p>Les valeurs des éléments de qualité biologique applicables au type de masse d'eau de surface s'écartent modérément de celles normalement associées à ce type de masse d'eau de surface dans des conditions non perturbées. Les valeurs montrent des signes modérés de distorsion résultant de l'activité humaine et sont sensiblement plus perturbées que dans des conditions de bonne qualité.</p>	<p>Les eaux montrant des signes d'altérations importantes des valeurs des éléments de qualité biologique applicables au type de masse d'eau de surface et dans lesquelles les communautés biologiques pertinentes s'écartent sensiblement de celles normalement associées au type de masse d'eau de surface dans des conditions non perturbées sont classées comme médiocres.</p>	<p>Les eaux montrant des signes d'altérations graves des valeurs des éléments de qualité biologique applicables au type de masse d'eau de surface et dans lesquelles font défaut des parties importantes des communautés biologiques pertinentes, normalement associées au type de masse d'eau de surface dans des conditions non perturbées, sont classées comme mauvaises.</p>