

Impacts des étangs sur les cours d'eau

Paimpont – Avril 2005



Audran Alice
Bioux Séverine
Huet Amélie
Langlais Morgane
Parisi Bruno
Van Deth Michaël

L'âme bretonne a toujours incliné au rêve, au fantastique, au surnaturel. C'est ce qui explique l'étonnante abondance et la persistance des légendes au pays d'Armor. A partir du XI^e siècle, les légendes du roi Arthur (ou les chevaliers de la Table Ronde dont les plus célèbres, Arthur, Lancelot et Parcival), de Merlin l'Enchanteur, de Viviane, de la fée Morgane et d'autres ont été localisées dans le forêt de Brocéliande, autour de Paimpont, au sud ouest de Rennes. La recherche du Saint Graal a donné naissance, au Moyen Age, à d'innombrables récits d'aventures.

C'est dans ce cadre enchanteur que s'est effectué notre étude...



I - Introduction	4
II- Problématique	5
III – Situation hydrologique du bassin versant	6
<u>1° L'étang d'en Haut</u> <u>2° L'étang du Châtenay</u>	
IV – Analyses physico-chimiques	7
<u>1° Choix des points de prélèvement pour les mesures physico-chimiques</u> <u>2°- Mesures physiques</u>	
a - Hydraulique : mesure de débit b - Température c- pH d – Conductivité	
<u>3° Mesures chimiques</u>	
a- Matières en suspension (MES) b - Formes de l'azote • Nitrates • Nitrites • Ammonium c - Phosphates d – Calcul des flux de charge polluante e - Oxygène dissous	
V – Analyses biologiques	23
<u>1° Principe de l'IBGN</u> <u>2° Choix des points de prélèvement</u> <u>3° Résultats</u> <u>4° Interprétation des résultats</u>	
VI – Discussion - conclusion	27
ANNEXES	28
BIBLIOGRAPHIE	

I - Introduction

Pour se hisser au rang de première région agricole française, la Bretagne a développé, depuis les années 1960, une agriculture intensive basée sur les productions animales et les cultures légumières. Ce type de développement a une forte influence sur la qualité des eaux continentales et littorales, mais aussi sur l'évolution des paysages et sur la biodiversité.

Par ailleurs, alors que des zones humides ont été asséchées afin d'accroître la surface exploitable, des étangs ont été créés en retenues de cours d'eau, pour des raisons diverses telles que la pêche, la chasse, l'irrigation ou encore la lutte contre les incendies.

C'est ainsi que, à une époque où les préoccupations environnementales ne tenaient guère de place dans les esprits, les étangs d'En Haut et du Châtenay furent créés sur le ruisseau de La Noë.

Aujourd'hui, nous sommes en droit de nous demander si ces étangs, qui ne sont plus vidangés depuis un certain temps, ont un impact, positif ou négatif, sur le cours d'eau.

Le but de notre stage dans la région est donc, à partir d'analyses physico-chimiques et de la macrofaune benthique en différents points du réseau hydrographique, de déterminer si la présence des étangs influe sur la qualité de l'eau du ruisseau.



II- Problématique

Les étangs reliés ont des impacts variables sur leur environnement, et en particulier sur le cours d'eau. Ces impacts sont souvent négatifs, se traduisant par une modification de nombreux paramètres qui entraînent une baisse de la qualité des eaux du cours d'eau en aval.

Tout d'abord, les facteurs hydrologiques sont affectés : modification du débit et baisse de la surface mouillée.

Ensuite, les facteurs physico-chimiques varient par une augmentation de la température, une baisse de la teneur en oxygène dissous, et un apport de pollutions et de matières en suspension.

Enfin, les paramètres biologiques sont fortement modifiés par l'introduction d'espèces indésirables, la banalisation de l'habitat, la baisse de la biomasse et de la diversité.

Ces impacts sont assez complexes à prévoir et des analyses sont nécessaires pour en mesurer pleinement la nature et les causes. En effet, chaque cas est unique et dépend de nombreux facteurs, tels que la qualité originelle du cours d'eau, le climat, ou encore la gestion faite autour de l'étang.

Les questions que nous sommes donc en droit de nous poser sont les suivantes :

- Les Étangs d'en Haut et du Châtenay ont-ils un (des) impact(s) sur la qualité de l'eau en aval de leur position topographique ?
- Quelle est la nature de ces impacts (hydrologique, physico-chimique, biologique...) ?
- Quelles études (analyses physico-chimiques ou indice biologique) sont le mieux à même de déterminer les impacts des étangs ?
- Ces impacts sont-ils différents au niveau de chaque étang ? Si oui, en quoi et quelles peuvent en être les causes possibles ?

Hypothèses

1. Les deux étangs ont un impact sur le cours d'eau.
2. La nature et l'intensité de ces impacts ne sont pas forcément identiques.
3. A priori, les impacts sont en majorité négatifs sur la qualité de l'eau en aval.
4. Les impacts sont quantifiables tant au niveau physico-chimique, qu'au niveau biologique.

III – Situation hydrologique du bassin versant

La station biologique de Paimpont où nous avons réalisé ce stage est située en Ile-et-Vilaine, au cœur de la forêt de Paimpont, à l'ouest de Rennes.

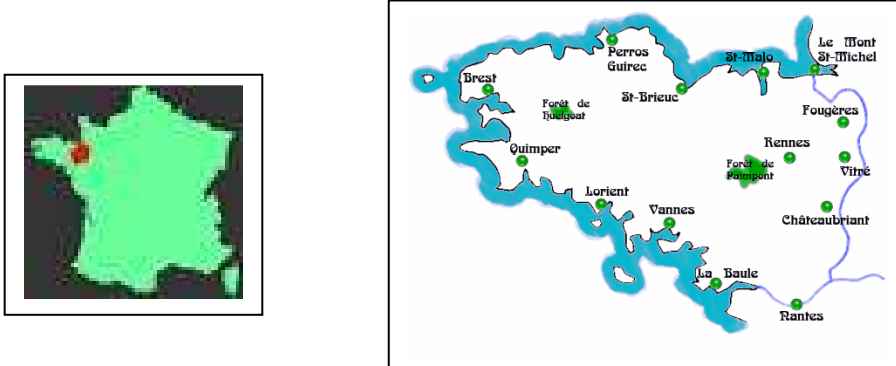


Figure 1 : Localisation du site d'étude

En Bretagne, l'eau est présente partout en surface. En raison de la nature peu perméable des sols bretons, une grande part de l'eau de pluie ruisselle en surface et donne naissance à un chevelu hydrographique très dense de rus, ruisseaux, rivières et fleuves (la densité moyenne sur la région est de 1 kilomètre par kilomètre carré).

Par ailleurs, le sous-sol peu perméable ne contient pas de grandes nappes phréatiques. Les variations des débits au cours de l'année suivent donc de près les variations de la pluviométrie, soit : des débits importants quand les pluies sont abondantes (hiver), et des débits plus faibles aux périodes sans pluie (été). Voir annexe 1

Notre étude va porter sur les ruisseaux de la Noë et de la Grève, qui se rejoignent au niveau de l'étang d'en Haut (210 m d'altitude), traversent l'étang du Châtenay qui couvre 4 ha puis rejoignent la rivière principale du bassin versant : l'Aff. Celle-ci prend sa source dans la forêt de Paimpont, circule sur 50 km. Elle sert de limite territoriale entre les départements d'Ile-et-Vilaine et du Morbihan. C'est une rivière très sinueuse car sa source est à une altitude relativement basse (210m) et après 7km de parcours, elle n'est plus qu'à 70m d'altitude au Pont-du-Secret, près des Forges de Paimpont. A son confluent avec l'Oust, elle se trouve à 4m au-dessus du niveau de la mer : cela lui donne un dénivelé de 66m pour un parcours de 43km, soit une pente moyenne de 1,5m au kilomètre. Avec ses affluents, l'Aff couvre une superficie hydrographique de 1000 km² environ. Ce bassin englobe les territoires de 39 communes d'Ile-et-Vilaine et du Morbihan.

Notre étude va porter sur les 2 étangs artificiels construits en barrage des ruisseaux les alimentant.

1°/ L'étang d'en Haut

Cet étang est alimenté par deux cours d'eau principaux : les ruisseaux de la Noë et de la Grève.

Il est bordé par plusieurs types de végétation : des sphaignes et des mousses de la tourbière voisine, de nombreuses espèces de joncs et de scirpes caractéristiques des prairies humides, ainsi que des feuillus et des résineux de la forêt...

2°/ L'étang du Châtenay

Celui-ci fait suite à l'étang d'en Haut. Il est alimenté par un ruisseau principal provenant de cet étang mais aussi par deux petits cours d'eau de moindre importance. Un moine régule son niveau en déversant l'eau de l'étang dans la rivière Saint Jean.

Voir les annexes 2 et 3 pour les cartes de l'occupation des sols.

IV – Analyses physico-chimiques

1° Choix des points de prélèvement pour les mesures physico-chimiques

(les points de prélèvements suivants ne sont pas valables pour le débit)

Le but de notre étude étant de vérifier les impacts de l'étang du Châtenay et de l'étang d'en Haut sur les cours d'eau, nous avons choisi d'effectuer des prélèvements d'eau du cours d'eau, et des mesures physico-chimiques en amont et en aval de chaque plan d'eau. La comparaison des points amont/aval pour chaque étang nous permettra d'évaluer s'ils ont un impact sur les paramètres physico-chimiques des cours d'eau qui les relient.

Dans un premier temps, nous avons choisi douze points pour lesquels nous allions réaliser les analyses physico-chimiques :

- trois points sur le ruisseau de la Noë, situés en amont de l'étang d'en Haut (points A, B, C)
- trois points en aval et à proximité de l'étang d'en Haut, sur le cours d'eau reliant les deux étangs (points D, E, F)
- trois points en amont et à proximité de l'étang du Châtenay sur le cours d'eau reliant les deux étangs (points G, H, I)
- trois points sur le cours d'eau en aval de l'étang du Châtenay (points J, K, L).

De plus, nous avons prélevé des échantillons de l'eau des étangs (points E1 pour l'Etang d'en Haut, et E2 pour l'étang du Châtenay). Les analyses de ces points nous apporteront un complément d'information, afin d'avoir une idée de la qualité physico-chimique au sein des plans d'eau concernés.

De l'eau a donc été prélevée dans les cours d'eau aux douze points définis précédemment. Les dosages des nitrites NO_2^- , nitrates NO_3^- , ion ammonium NH_4^+ , phosphates PO_4^{3-} , MES, oxygène dissous et les mesures de pH, conductivité et température ont été effectuées.

Si aucun processus biologique, chimique ou physique extérieur ne viennent altérer ou améliorer la qualité de chacun des cours d'eau, les valeurs des paramètres physico-chimiques doivent être homogènes pour les trois points d'une même série.

Cette homogénéité effectivement observée, nous avons sélectionné un seul point dans chaque série de trois, pour ne pas multiplier inutilement les futures mesures. Ce choix s'est basé sur le maximum de représentativité de la zone étudiée. De plus, la problématique étant de connaître l'effet d'un milieu lentique sur un milieu lotique, choisir les points proches de l'étang apparaissaient plus judicieux.

Cette étude préliminaire nous a ainsi permis de définir six nouveaux points de mesure :

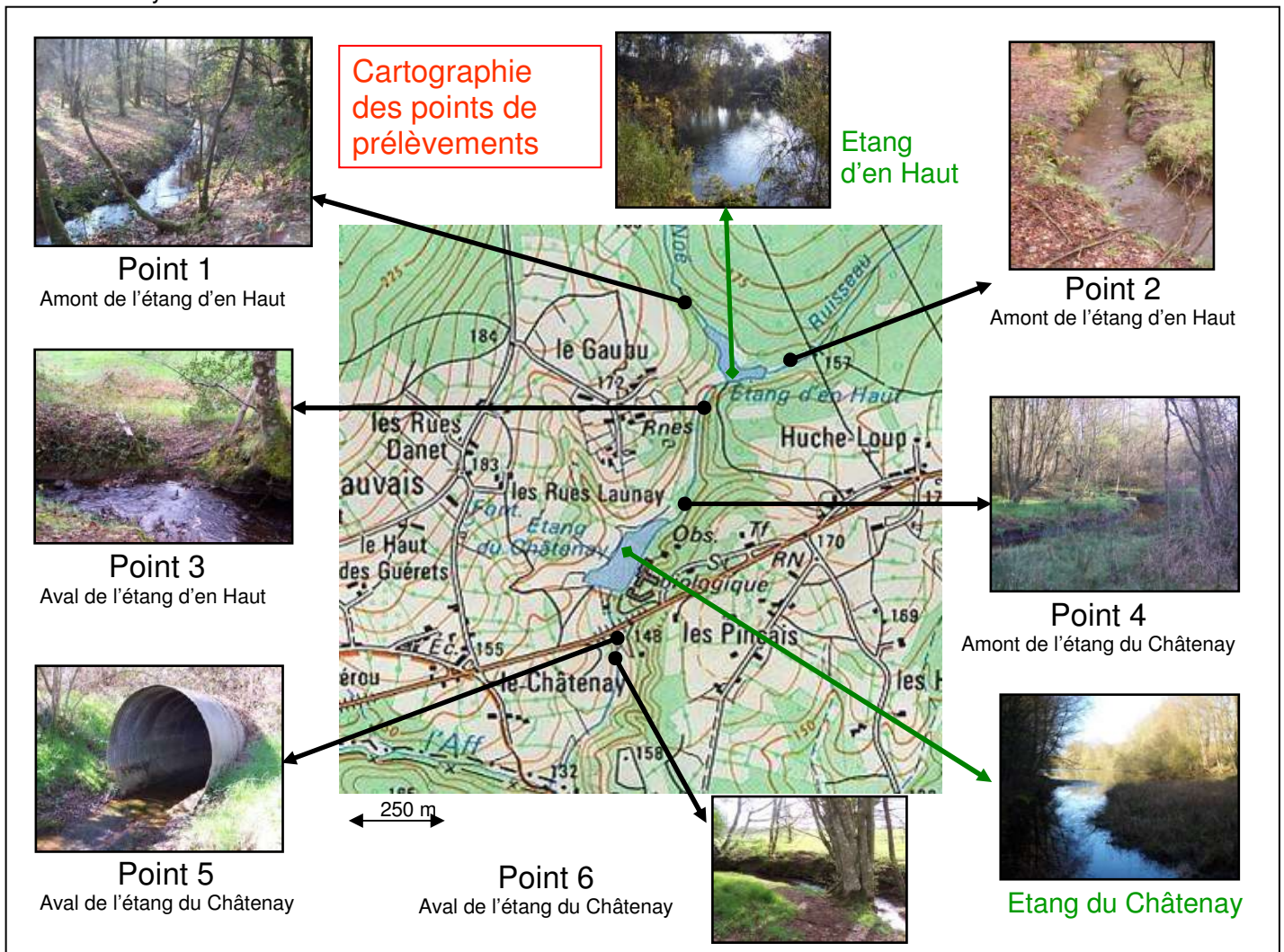
- point n°1 : en amont de l'étang d'en Haut sur le ruisseau de la Noë (anciennement le point C)
- point n°2 : en amont de l'étang d'en Haut sur le ruisseau de la Grève (non réalisé lors de la pré étude)
- point n°3 : en aval et à proximité de l'étang d'en Haut sur le cours d'eau reliant les deux étangs (anciennement le point E)
- point n°4 : en amont et à proximité de l'étang du Châtenay sur le cours d'eau reliant les deux étangs (anciennement le point I)
- deux points en aval de l'étang du Châtenay :
 - point n°5 : à la sortie de la structure en béton permettant le passage du ruisseau sous la route (anciennement le point K)
 - point n°6 : un peu plus loin (anciennement le point L)

Nous avons gardé ces deux points en aval de l'étang du Châtenay car nous avons découvert la présence d'un tuyau correspondant probablement à un rejet de fosse septique entre ces deux points. Il nous semble donc intéressant de garder le point n°6 afin d'analyser l'impact de la présence de ce rejet de fosse septique sur la qualité du ruisseau (en complément de notre étude de l'impact que peuvent avoir les étangs sur les cours d'eau).

Deux campagnes de prélèvement ont été effectuées (le 12/04/2005 et le 13/04/2005) aux six points (1, 2, 3, 4, 5, 6) afin d'effectuer les mesures de NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{2-} , MES. Nous tenterons ainsi de mettre en évidence les éventuelles variations de ces paramètres suivant la journée et d'en expliquer les causes.

Un suivi journalier des paramètres physiques a été réalisé le 13/04/2005 : oxygène dissous, pH, conductivité et température ont été mesurés toutes les 2 à 3 heures. Ces mesures vont nous permettre de mettre en évidence les éventuelles variations des conditions au cours de la journée.

Enfin, l'ensemble de ces mesures nous permettra d'évaluer l'impact que peuvent avoir les étangs d'en Haut et du Châtenay sur les cours d'eau situés en aval.



Les résultats de la première campagne de prélèvements (le 11/04/05) sont présentés en Annexe 14.

En comparant les différentes valeurs de chaque paramètre, on observe que pour chaque groupe de trois points (tous situés dans la même zone) les tendances sont en général les mêmes. Seules les MES et les concentrations en ammonium sont relativement différentes au sein d'un même groupe. Cependant ces deux paramètres ont été mesurés avec des méthodes peu précises et entachées d'erreurs (comme expliqué plus loin). Par conséquent, on a bien la possibilité de ne travailler que sur 4 points au lieu de 12.

D'autre part, nous avons choisi de conserver le point n°6 (anciennement point L) car plusieurs facteurs sont différents des autres points de la même zone, et qu'un exutoire a été observé entre les points K et L.

Enfin, le point n°2 a été ajouté car il est situé sur un second bras de cours d'eau alimentant l'Etang d'en Haut (voir carte ci-dessus des points de prélèvement).

2%- Mesures physiques

a - Hydraulique : mesure de débit

La partie matériels et méthodes est détaillée en annexe 4.

Le débit est le volume liquide qui passe à travers une section déterminée par unité de temps. On l'exprime généralement en mètres cubes par seconde (m^3/s) ou en litres par seconde (l/s). Nous avons effectué l'évaluation du débit par jaugeage au moulinet.

Le principe du jaugeage au moulinet est le calcul du débit par mesure de la vitesse du courant en plusieurs points d'une section en travers. Le moulinet comporte une hélice dont la vitesse de rotation dans l'eau est reliée à la vitesse de l'écoulement

La précision d'un jaugeage dépend en grande partie de la qualité de la section de mesure choisie qui doit être à filets parallèles, sans gros tourbillons ni remous, dans un tronçon rectiligne et sans contre-courants : un jaugeage au moulinet n'est pas adapté à l'évaluation des débits dans un torrent.

Nous avons choisi nos points dans des stations présentant ces caractéristiques.

• Résultats

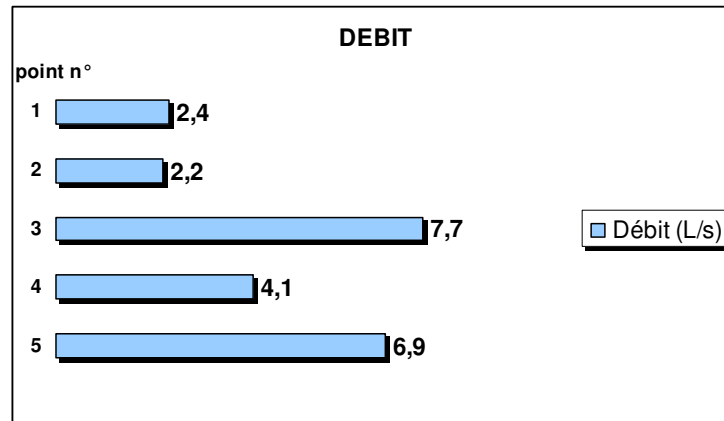


Figure 2 : Débit du cours d'eau en différents points

• Interprétation

Toute erreur expérimentale mise à part, nos résultats peuvent s'expliquer de la façon suivante :

Les débits des ruisseaux de la Noë et de la Grève sont assez proches ; ceci peut s'expliquer par le fait que ces deux cours d'eau ont une morphologie semblable (estimation visuelle grossière).

Pour un étang situé en barrage d'un cours d'eau on s'attend à ce que le débit entrant soit le même que le débit sortant. La littérature spécifie que le débit restitué en sortie est souvent inférieur au débit prélevé (évaporation plus importante au niveau de l'étang que dans les cours d'eaux).

Dans notre cas, on note que le débit en sortie de l'étang est bien supérieur à la somme des deux débits entrant. Il se pourrait qu'il y ait d'autres apports dans l'étang d'en Haut, que nous n'avons pas repérés ; en outre cette augmentation de 35% du débit, entre la sortie et l'entrée pourrait s'expliquer par les eaux de ruissellement, les précipitations (tombées quelques jours avant la mesure) retenues par l'étang avant d'être restituées, ou encore par l'alimentation de l'étang par la nappe phréatique située en dessous.

Les valeurs aux points 3 et 4 (à environ 300m l'un de l'autre) sont des mesures effectuées sur le cours d'eau entre les deux étangs. On s'attend donc à trouver des valeurs similaires (avec une certaine variabilité due au ruissellement et à la présence d'une zone humide qui régule les débits) puisque aucune fuite n'a été repérée entre ces deux points. On peut cependant noter que la valeur de débit du point 3 en amont est près du double de celle du point 4 en aval. Ceci ne peut être dû qu'à une erreur expérimentale. En effet, même si une différence devait exister entre ces deux points, les valeurs devraient être inversées (plus grande en aval puisque le ruissellement se fait dans le sens de la pente).

Une hypothèse qui pourrait tout de même expliquer ces valeurs est la rétention de l'eau dans la zone humide. Cependant ceci est très peu probable puisque les précipitations qui sont tombées les jours précédents ont engendré l'engorgement de la zone.

De la même manière que précédemment pour l'étang d'en Haut, la différence observée entre l'amont et l'aval de l'étang du Châtenay peut être expliquée par des apports non détectés, les précipitations, les eaux de ruissellement et la présence de la nappe phréatique sous l'étang.

La fraction (débit entrant / débit sortant) est du même ordre pour les deux étangs :

$$(\text{débit } 1+2) / (\text{débit } 3) = 73\%$$

$$(\text{débit } 4) / (\text{débit } 5) = 60\%$$

Ces résultats ne nous permettent pas de privilégier la nature de l'apport qui pourrait expliquer ces valeurs de débit plus élevées en aval qu'en amont des étangs.

Les résultats présentés précédemment doivent cependant être interprétés avec prudence. En effet, on peut noter un certain nombre de critiques quant à la méthode et à la manipulation.

La mesure effectuée en chaque point n'est qu'une approximation du débit ; en effet :

- La section n'a pas été assez découpée en suffisamment de sous-section, ce qui constitue la plus grande source d'erreur (c.f. protocole).
- Des erreurs dues à l'appareillage peu précis ont pu être effectuées (la durée pendant laquelle on compte le nombre de tours, en théorie de 30 secondes lors de notre étude a pu varier suivant l'opérateur
- N'ayant pas d'expérience particulière pour le choix de la section de mesure, il est possible que celle-ci soit de mauvaise qualité.
- La section a été mesurée de façon approximative

b - Température

La température de l'eau est un facteur important de la vie d'un milieu aquatique. L'élévation anormale de la température d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau est essentiellement due à un apport direct de chaleur provenant des industries utilisant l'eau comme fluide réfrigérant (telles les centrales nucléaires ou industries métallurgiques).

Une modification de la température de l'eau aura deux types d'effets : un changement des propriétés physiques de l'eau, et des conséquences sur la faune et la flore aquatiques.

Ainsi, la vitesse de dépôt des sédiments va changer par la modification de la densité et de la viscosité de l'eau. En conséquence, la formation de stratifications naturelles va changer, en particulier dans les lacs et les étangs. La variation de la tension de vapeur impliquera des modifications de l'évaporation.

Mais un des facteurs les plus importants est l'affectation de la solubilité des gaz dans l'eau : la concentration en oxygène dissous sera de plus en plus faible lorsque la température s'élèvera (une variation de la température de l'eau de 13 à 20°C, pourra faire diminuer la concentration en oxygène de 14%). Or, le rôle de l'oxygène est fondamental dans l'écosystème aquatique, notamment pour tous les organismes vivants.

En ce qui concerne les effets sur la faune et la flore, la température est le paramètre écologique le plus important parmi tous ceux qui agissent sur les êtres vivants. En effet, un abaissement considérable de la température ralentit, voire arrête la plupart des réactions chimiques vitales. Une conséquence sur l'écosystème sera une modification du pouvoir autoépurateur (des températures basses freinent les réactions d'oxydation), ou bien une diminution de la productivité primaire. Enfin, les phénomènes de fermentation sont facilités par l'élévation de la température d'où l'apparition d'odeurs nauséabondes dans les cours d'eau à fort dépôt de boue, ou à forte production végétale.

On voit donc que le facteur température est un paramètre essentiel à l'équilibre du milieu aquatique et sa mesure est essentielle au diagnostic du fonctionnement global de l'écosystème.

La mesure de la température peut être ponctuelle ou être réalisée de façon continue avec enregistrement. Ne disposant pas d'appareil enregistreur, nous avons commencé par faire des mesures ponctuelles, puis avons décidé de mesurer les variations journalières par des mesures toutes les deux heures pendant une journée.

- Allure générale de l'ensemble de toutes les courbes

Les courbes sont présentées en annexe 16

La température varie de 8,8°C à 11,2°C. Ces températures entrent dans les ordres de grandeur habituellement observés en milieu aquatique de milieux tempérés

Une augmentation de température est observée à partir de 7h30 et jusqu'à 14h. A la fin de la journée, les valeurs diminuent après une phase de stabilisation. Ensuite, une stabilisation globale est observée en fin de journée, jusqu'à l'heure du dernier prélèvement (19h35).

Cependant les mesures aux points 5 et 6 ont tendance à augmenter vers le milieu d'après midi.

Les mesures aux points 1 et 2 sont approximativement similaires. On constate de grandes variations de températures par rapport aux autres mesures. De plus, ce sont les valeurs de ces points qui sont les plus faibles.

- Explication

Les variations générales de température sont dues au rayonnement solaire.

Les mesures de température aux points 1 et 2, en amont des étangs, sont les plus froides. Cela peut signifier que les étangs ont tendance à augmenter la température des cours d'eau en aval.

La mesure 3 effectuée en aval de l'étang d'en Haut est celle qui présente la température la plus élevée (différence de 1 à 2°C). Cela confirme que l'étang d'en Haut réchauffe l'eau et ainsi le cours d'eau en aval. Par ailleurs, nous avons pu observer une cascade à la sortie de l'étang d'en Haut, ce brassage peut aussi avoir une incidence sur ce changement de température.

La mesure du point 4 (situé entre les deux étangs et après le point 3) donne une température toujours inférieure à la mesure du point 3 mais les écarts de mesure entre les deux points de prélèvement sont quasiment constants tout au long de la journée. Un refroidissement graduel après la sortie d'étang a donc pu avoir lieu.

Le point de prélèvement 5 se situe en aval de l'étang du Châtenay, cette mesure varie peu autour de la valeur du prélèvement 4 en étant un peu inférieure. Cela peut signifier un rôle « tampon » de l'étang du Châtenay, qui contient une grande quantité d'eau (donc peu de variation brusque de température).

Au point de prélèvement 6 (très en aval de l'étang du Châtenay et proche d'un exutoire), de faibles variations sont notées par rapport aux mesures sur le point 5. La légère augmentation des mesures aux points 5 et 6 en fin

de journée peut être due au ralentissement des eaux dans l'étang. En effet, ce dernier possède une grande surface qui favorise les échanges thermiques entre l'air plus chaud et l'eau. Etant donné que l'étang se déverse par le haut, et qu'un plan d'eau a une stratification thermique, ce sont les eaux les plus chaudes qui sont restituées au cours d'eau, en aval. Nous pouvons supposer que le déversoir peut induire ces variations en amenant des eaux un peu plus chaudes ou plus froides.

c- pH

Le pH est la grandeur utilisée pour caractériser le degré d'acidité ou de basicité d'un milieu.

La mesure du pH renseigne sur la qualité de l'eau : dans les eaux naturelles non soumises aux rejets, le pH dépend de l'origine de ces eaux et de la nature géologique du terrain. Cette mesure peut également permettre de localiser une source de pollution.

La roche mère présente au niveau de la station biologique est le schiste rouge datant du Cambrien. Cette roche acide confère aux sols et aux eaux qui s'y écoulent leur acidité. Nous vérifierons donc le caractère acide de l'eau des cours d'eau de notre domaine d'étude et tenterons d'expliquer les éventuelles variations de pH entre l'amont et l'aval des deux étangs.

Les mesures de pH aux différents points ont été réalisées par une méthode électrométrique au moyen d'un pH mètre. Voir annexe 6 pour les courbes.

Point 1					
heure	7h24	10h05	13h50	17h16	19h35
pH	4,6	5,2	4,4	4,6	4,6
Point 2					
heure	7h31	10h10	14h05	17h24	19h43
pH	4,3	4,1	4,3	4,4	4,5
Point 3					
heure	7h40	10h20	14h12	17h32	19h56
pH	4,7	4,6	4,6	5,0	4,6
Point 4					
heure	7h48	10h35	14h20	17h38	20h02
pH	4,7	4,5	4,9	4,9	4,8
Point 5					
heure	7h56	10h50	14h30	17h47	20h10
pH	5,4	5,5	5,4	5,4	5,2
Point 6					
heure	8h02	10h55	14h35	17h53	20h18
pH	5,5	5,4	5,7	5,9	5,6

• Interprétation :

Les valeurs de pH ne présentent pas de tendance générale.

La mesure du point 1 augmente le matin, puis diminue vers le début d'après midi et se stabilise.

Toutes les mesures de prélèvements du point 2 sont les plus faibles de l'ensemble des mesures. Nous constatons une diminution dans la matinée, puis une remontée des valeurs par la suite.

De plus, une diminution des mesures du point 3 le matin est observable. Elles remontent ensuite l'après midi, pour finalement redescendre en fin d'après midi.

Les mesures du point en amont de l'étang du Châtenay (point 4) suivent la même tendance que le point 3, situé plus en amont. Mais les mesures se stabilisent en fin d'après midi.

Les données du point en aval des étangs (point 5) diminuent très lentement.

Les mesures du point 6 sont parallèles à celles du point 2 mais elles apparaissent bien plus supérieures et diminuent vers la fin de journée. Il apparaît donc que le cours d'eau se basifie d'amont en aval.

• Explication

D'une manière générale, nous notons que le pH est assez acide jusqu'à atteindre la neutralité. Cela peut s'expliquer par la roche mère acide (le schiste).

L'existence du phénomène de photosynthèse peut entraîner une montée du pH dans la journée car le pH est lié au carbone issu du CO₂ dans l'eau. Si le phénomène de respiration agit, il dégage du CO₂ et acidifie le milieu. Si le phénomène de photosynthèse est dominant, nous constaterons un dégagement d'O₂ et une basification. Ce phénomène est observé pour le point 5 (prolifération d'algues). Nous avons observé une forte conductivité pour le lieu de prélèvement 6, ce qui induit une forte concentration en phytoplanctons et donc une augmentation de pH.

Pour les autres lieux de prélèvements, qui concernent des habitats plutôt vaseux et caillouteux, nous observons plutôt un pH acide qui correspondrait à une activité respiratoire.

De la même manière, ces résultats sont à prendre en compte en gardant à l'esprit que les mesures ont été entachées par de nombreuses erreurs :

- Les mesures réalisées au pHmètre sont peu fiables car l'appareil à disposition est imprécis. De plus, les valeurs ne se stabilisaient pas lors des mesures.
- Il existe un biais dû à l'opérateur (attente différente pour la stabilisation de la mesure).
- La température extérieure n'a pas été mesurée et prise en compte alors qu'elle influence la température de l'eau.
- Des mesures complémentaires auraient pu être réalisées en soirée et pendant la nuit afin de mettre en évidence les variations physiques (O_2 , pH...) dues à la photosynthèse.
- Les conditions météorologiques n'ont pas été stables durant toute la journée des mesures continues : matinée nuageuse, après midi pluvieuse). Nous n'avons pas pris en compte les variations possibles dues à l'apport de l'eau de pluie (O_2 , pH, température, conductivité...).

Critiques :

- Le pHmètre n'a pas été étalonné avec les solutions de référence pH = 4,0 - 7,0 (choix de ces deux étalons et non de celui à pH=9,0 en raison du caractère acide de l'eau).
- L'électrode du pHmètre n'a pas été rincée après chaque mesure avec de l'eau distillée.
- Lors de la journée de mesure en continu (effectuée le 13/04/2005) le temps a varié durant la journée (nuageux le matin et pluvieux l'après midi). Ce changement de temps risque d'avoir des incidences sur nos mesures de pH en raison de l'apport d'eau des précipitations.
- Le pHmètre que nous avons utilisé était très peu précis

d - Conductivité

La conductivité d'une eau indique son aptitude à conduire le courant électrique. Cette aptitude dépend de la teneur en sels dissous de l'eau. Par définition, la conductivité d'une eau est l'inverse de sa résistivité électrique. La conductivité s'accroît avec la concentration en sels dissous, permet une bonne appréciation des matières dissoutes, et sa mesure peut faciliter la localisation d'une source de pollution. Elle a été mesurée à l'aide d'un conductimètre.

Voir l'annexe 5.

• Résultats

Nous constatons une évolution inverse à celle de la teneur en oxygène dissous, avec une même stabilisation dans l'après midi.

Les données du point 1 fluctuent avec une plus grande variation que les données des autres points et elles se stabilisent à la valeur la plus basse mesurée.

La mesure du point 2 est supérieure aux mesures des points situés en amont (points 3 et 4) et elle est confondue avec la mesure du point 5.

Les données des points 3 et 4 sont confondues et se stabilisent sur une valeur intermédiaire aux données des points 1 et 2.

Au point 6, les mesures fluctuent faiblement et la valeur de stabilisation est la plus élevée des autres mesures stabilisées.

• Explication

Au point de prélèvement 1, le résultat nous indique qu'il y a peu de matières conductrices.

Le lieu de prélèvement 2 contient apparemment plus de matières conductrices que le lieu de prélèvement 1. L'existence, plus en amont, de fermes agricoles, qui pourraient déverser des engrais, des lisiers ou des fumiers en forte quantité, expliquerait ce résultat.

Les lieux de prélèvements 3 et 4, qui se situent entre les deux étangs, contiennent les deux types d'eau (aval de l'étang d'en Haut et amont de l'étang du Châtenay) et ont ainsi des valeurs intermédiaires. Ainsi, l'étang d'en Haut n'aurait pas un impact sur l'enrichissement minéral du cours d'eau.

Nous observons un enrichissement identique du lieu de prélèvement 5 par rapport au lieu de prélèvement 2, l'étang du Châtenay aurait un impact sur la conductivité.

Le lieu de prélèvement du point 6 suit la même tendance que le lieu de prélèvement 5 mais avec des valeurs supérieures. Nous pouvons donc en déduire un impact de l'étang du Châtenay et du déversoir qui provoquerait un enrichissement en ion, synonyme de pollution.

Cependant, même si des variations s'observent, les valeurs restent dans des ordres de grandeurs identiques et les fluctuations sont relativement faibles. Par conséquent, il est difficile de tirer des conclusions nettes à partir de ces mesures.

3% Mesures chimiques

a- Matières en suspension (MES)

Les contaminants de l'eau peuvent être divisés en deux groupes: les contaminants dissous et les contaminants solides en suspension.

Les matières en suspension sont définies comme étant l'ensemble du matériel particulaire entraîné passivement dans l'eau (vivant ou détritique, minérale ou organique) tel que argiles, limons, matières organiques et minérales en fines particules, plancton : ceux-ci constituent la partie visible des impuretés. On peut facilement détecter leur présence en étudiant l'aspect de l'eau: la turbidité, la clarté, le goût, la couleur et l'odeur de l'eau.

- **Objectifs**

Le but de notre étude est de voir l'impact que les deux étangs peuvent avoir sur les matières en suspension du cours d'eau : se comportent-ils comme des pièges à sédiments, c'est-à-dire que les matières en suspension se déposeraient au fond de l'étang et ne passeraient pas dans le cours d'eau ? Dans ce cas, les matières en suspension seraient en plus grande quantité en amont qu'en aval de l'étang.

Deux méthodes ont été utilisées pour mesurer les matières en suspension

- une méthode optique : utilisation d'un spectrophotomètre
- autres méthodes : filtration des échantillons sur un filtre au moyen d'une pompe à vide manuelle, séchage à 105°C et pesée.

Nos résultats nous permettront dans un premier temps de vérifier l'impact d'un étang sur un cours d'eau en ce qui concerne les MES, et dans un second temps de comparer les deux méthodes de mesure utilisées.

Nous allons aussi déterminer les matières volatiles en suspension (MVS). On entend par matières volatiles en suspension la partie des matières en suspension susceptibles d'être volatilisées à 550° C. Les MVS sont généralement assimilées aux matières organiques en suspension.

La pesée du filtre vierge a été réalisée avec une balance très peu précise. La valeur de la pesée ne peut donc pas être prise en compte. Nous nous contenterons donc, dans cette étude, de mesurer le poids des matières organiques contenues dans 500 mL d'eau à analyser.

La limite de détection de cette méthode est 2 mg/l. Nous avons filtré 500 ml d'eau. Ainsi, pour obtenir des résultats en mg/L nous avons multiplié nos valeurs par 2.

- **Matériel et méthodes**

- 1) Méthode optique : Spectrométrie

Nous avons dans un premier temps effectué les mesures de MES au spectrophotomètre. C'est une méthode simple et rapide de mise en œuvre qui donne la turbidité, c'est-à-dire la propriété optique de l'eau qui fait que la lumière incidente est diffusée ou absorbée. Cependant elle est peu fiable car elle mesure l'absorption des matières en suspension contenues dans l'échantillon, or toutes les particules n'ont pas les mêmes propriétés d'absorption.

- 2) Méthode utilisant pompe à vide, étuve et four

Principe

Cette méthode peut être divisée en trois étapes :

- les MES contenues dans l'eau à analyser sont récupérées sur un filtre en microfibres de verre après filtrage à vide de l'eau à analyser au moyen d'une pompe à vide manuelle.
- le filtre sur lequel sont déposées les MES est passé à l'étuve.

La différence de pesée du filtre avant le filtrage à vide de l'eau et après le filtrage donne le poids des matières en suspension contenues dans l'échantillon d'eau à doser.

- Le filtre est passé au four et pesé.

La différence de pesée donne le poids des matières organiques contenues dans l'échantillon d'eau à analyser.

- Résultats

Les résultats des différentes méthodes utilisées sont regroupés dans le tableau suivant :

Echantillon n°	1	2	3	4	5	6
MES (spectrophotométrie) (mg/L) du 12/04	13	10	9	10	21	ND
MES (spectrophotométrie) (mg/L) du 13/04	1	1	1	1	9	11
poids (mg) en sortie de l'étuve (100°C)	29,3340	29,5068	28,2524	88,6000	89,2300	ND
poids (mg) en sortie du four (525°C)		29,5448	28,2200	88,5746	89,2122	ND
MVS (mg/L)		-0,0380	0,0324	0,0254	0,0178	ND

(Voir annexe 6)

- Interprétation

Les eaux naturelles n'étant jamais exemptes de matières en suspension, la plage de variation habituelle dans un cours d'eau est comprise entre 2 et 53 mg/l. de plus, on admet qu'une teneur inférieure à 30 mg/l n'affecte en rien la qualité d'un cours d'eau. Or, la valeur la plus importante de MES est de 21 mg/L. On peut donc qualifier la situation de « très bonne » (classe de qualité 1A).

Les matières en suspension sont plus importantes en aval de l'étang du Châtenay (point 5) quelle que soit la date de prélèvement, contrairement aux autres mesures qui restent dans le même ordre de grandeur. Bien que la tendance entre les deux jours soit la même, les valeurs de MES sont moins importantes pour la seconde campagne de mesure (13/04/05). Ceci s'explique par la dilution des matières en suspension par les précipitations.

Sachant que l'absence de forêt accélère l'érosion des sols, dans les zones rurales les eaux de ruissellement reviennent souvent chargées de matières en suspension. Le lieu de prélèvement 5 se situant en bas de pente, le ruissellement est alors d'autant plus accentué. Une autre explication possible est que l'étang du Châtenay ait une influence sur le cours d'eau en relarguant des matières en suspension. L'étang d'en Haut n'apparaît pas avoir d'effet sur le cours d'eau.

La mesure du point de prélèvement 6 effectuée le 13/04/05 est assez élevée, elle peut s'expliquer par l'apport de matières en suspension par l'exutoire situé entre les points 5 et 6.

En ce qui concerne les matières organiques contenues dans les matières en suspension (MVS) nous notons qu'il y a plus de matières organiques au lieu de prélèvement 3. Les lieux de prélèvements 4 et 5 ont des valeurs plus faibles. Ainsi, l'étang du Châtenay relargue des matières en suspension avec plus de matière minérale, que l'étang d'en Haut. La mesure du point 2 est erronée car le poids du filtre à la sortie du four est plus important qu'à son entrée. Nous pouvons supposer qu'il s'est gorgé d'humidité en attendant d'être pesé.

Il faut noter que tous ces résultats doivent être interprétés avec prudence. En effet, de nombreuses critiques peuvent être faites à propos des méthodes utilisées et des manipulations :

- la méthode par spectrophotométrie utilisée est peu fiable car les particules n'ont pas toutes la même absorbance
- le joint utilisé entre le filtre Büchner en porcelaine, et la fiole de filtration, n'est pas le filtre étanche standard mais un gant en latex.
- Un dessiccateur est, en général, utilisé à la fin de la manipulation pour conserver les filtres à l'abri de l'humidité de l'air à leur sortie du four et de l'étuve. Ceci n'a pas été effectué par manque de matériel.
- La balance utilisée n'était pas assez précise, d'où une impossibilité d'exploiter les résultats de MES avec la méthode de la pompe à pression.
- Nous n'avons pas fait de mesures témoins avec plusieurs filtres vierges passés au four et à l'étuve de la même manière que les échantillons. Ceci permettait d'évaluer le taux de matières volatiles contenus en moyenne dans un filtre.

b - Formes de l'azote

L'azote des nitrates, tout comme celui des nitrites et de l'ammoniac, constitue l'un des éléments nutritifs majeurs des végétaux car il entre dans la composition des protéines cellulaires.

Les nitrates, comme les autres formes de l'azote, évoluent très rapidement dans le milieu naturel. Le passage d'une forme à une autre peut être schématisé en cycle de l'azote.

Les deux campagnes de prélèvement, sur les 6 points, ont donné les résultats suivants :

	Date	Concentration en nitrates (mg/L)	Concentration en nitrites (mg/L)	Concentration en ammonium (mg/L)
1	12/04/05	1,6	0,00	0,07
	13/04/05	1,6	0,03	0,00
2	12/04/05	2,1	0,01	0,17
	13/04/05	1,3	0,02	0,01
3	12/04/05	2,2	0,02	0,13
	13/04/05	0,8	0,02	0,00
4	12/04/05	1,0	0,01	0,18
	13/04/05	0,9	0,02	0,07
5	12/04/05	1,1	0,00	0,10
	13/04/05	1,0	0,01	0,12
6	12/04/05	-	-	-
	13/04/05	1,5	0,02	0,69

• Nitrates

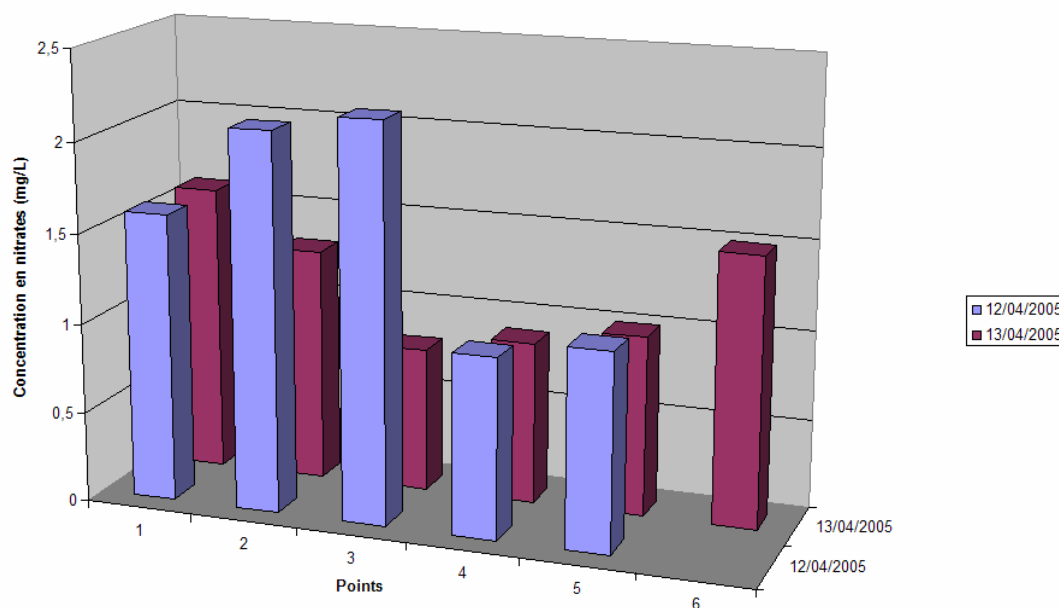
Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote. Ainsi, dans le cas d'une source de pollution organique, leur présence dans l'eau atteste que l'autoépuration a joué.

Le cycle de l'azote est présenté en annexe 8.

Les nitrates se trouvent naturellement dans les eaux. Ils proviennent de la pluie pour une petite part, mais surtout de l'action de l'écoulement des eaux sur le bassin versant, dont la nature joue un rôle prépondérant. Cependant, dès que l'on observe des concentrations supérieures à 3 milligrammes par litre dans un milieu aquatique, on a une pollution due à l'activité humaine. Ces apports viennent en général du lessivage des engrais et de l'azote reminéralisé sur les zones de cultures, des eaux usées domestiques et parfois industrielles.

Le dosage de la concentration en nitrates dans l'eau a été réalisé par une méthode colorimétrique à l'aide d'un spectrophotomètre. Le principe de cette méthode repose sur une réduction des nitrates par le cadmium, qui produit alors un composé coloré jaune. Le protocole suivi est détaillé en annexe 9

Concentration en nitrates le long du cours d'eau



On observe que l'ordre de grandeur de l'ensemble des concentrations en nitrates est relativement faible (inférieur à 3 mg/L), ce qui indique l'absence de pollution significative d'origine anthropique. Le fait que les valeurs soient plus faibles le deuxième jour peut être justifié par la dilution par les précipitations.

Les tendances d'amont en aval étant inversées pour les trois premiers points entre les deux jours, il est difficile d'expliquer les différences observées. Ici aussi, la dilution par les précipitations est à prendre en compte.

Par contre, la tendance des points 4 et 5 semble être la même pour les deux prélèvements. De plus, le point n° 6 suit cette même évolution. Néanmoins, il faut avoir en tête que les ruissellements sur des terres enrichies en azote par les engrais, se déversant dans le cours d'eau peuvent apporter des nitrates.

• Nitrites

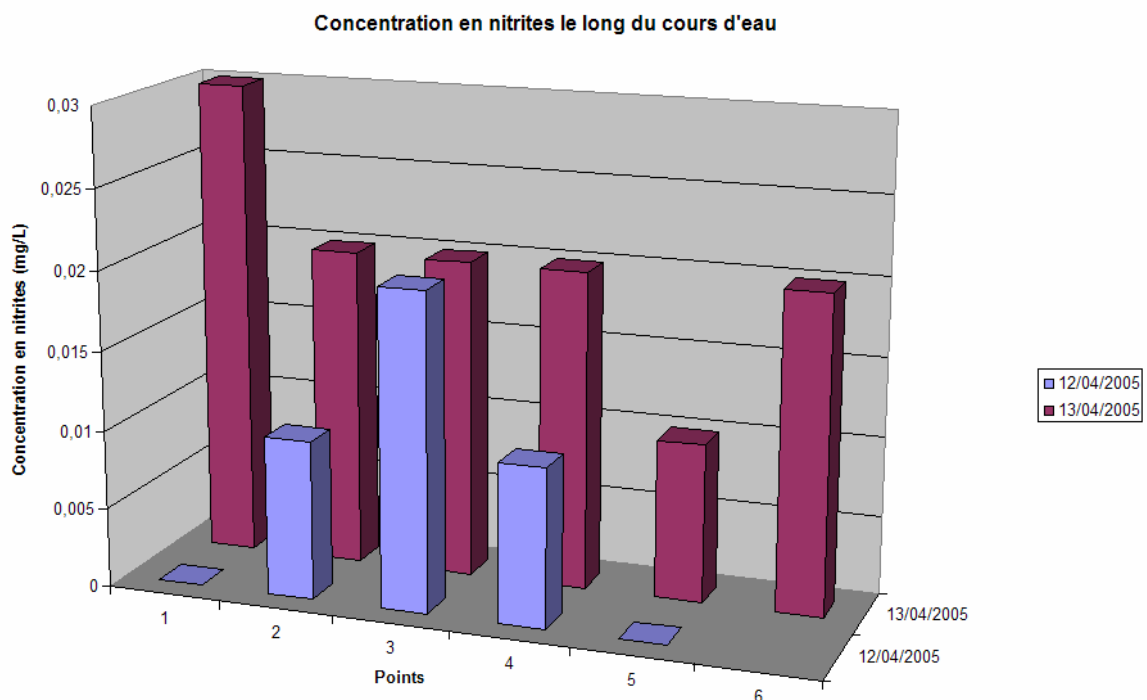
Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniac et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates (par voies chimique et bactérienne).

Une forte concentration en nitrites peut témoigner d'un mauvais fonctionnement de l'autoépuration, et il convient alors d'effectuer conjointement une analyse bactérienne et une analyse chimique.

Les nitrites sont des substances toxiques : dans le milieu naturel, elles sont nocives pour la vie aquatique (mortalité des poissons). Dans l'eau de consommation, un excès de nitrites (0,10 mg/L d'azote nitreux) peut provoquer de l'hypotension chez les humains et chez le nourrisson une méthémoglobinémie.

Les nitrites peuvent aussi être présents dans l'eau sous forme non ionisée d'acide nitreux : HNO_2 . Cette forme qui apparaît dans certaines conditions de températures et de pH est la plus toxique.

Le dosage des nitrites doit être effectué le plus rapidement possible après le prélèvement car la vitesse de réaction est relativement élevée. Ainsi, l'idéal est d'opérer sur place. Nous n'avons pas pu faire la mesure sur le terrain, et nous avons utilisé le dosage par spectrophotométrie. Le protocole suivi est détaillé en annexe 10



Les causes de variation des nitrites peuvent être l'oxygénation de l'eau et l'apport de matières organiques. Les valeurs ne sont pas signe d'une réelle pollution, cependant les valeurs supérieures à 0,01 mg/L peuvent être signe de la perturbation du cycle de l'azote.

La teneur en oxygène des différents points ne semble pas être corrélée avec la concentration en nitrites ; par contre, il est à noter que, pour le premier jour, le point 3 présente une concentration sensiblement plus importante que qu'en amont de l'étang. Ceci peut s'expliquer par l'accumulation de matière organique (feuilles, débris végétaux) dans l'Etang d'en Haut.

Les valeurs très différentes le deuxième jour sont peut être dues à une augmentation soudaine de l'apport en matières organiques dans le cours d'eau par l'érosion de la couche superficielle du sol par le ruissellement.

• Ammonium

L'ammonium constitue un des maillons du cycle complexe de l'azote. Selon les conditions de pH, l'ammonium NH_4^+ se transforme en un composé non ionisé : l'ammoniac NH_3 . On aura donc des concentrations en ammonium

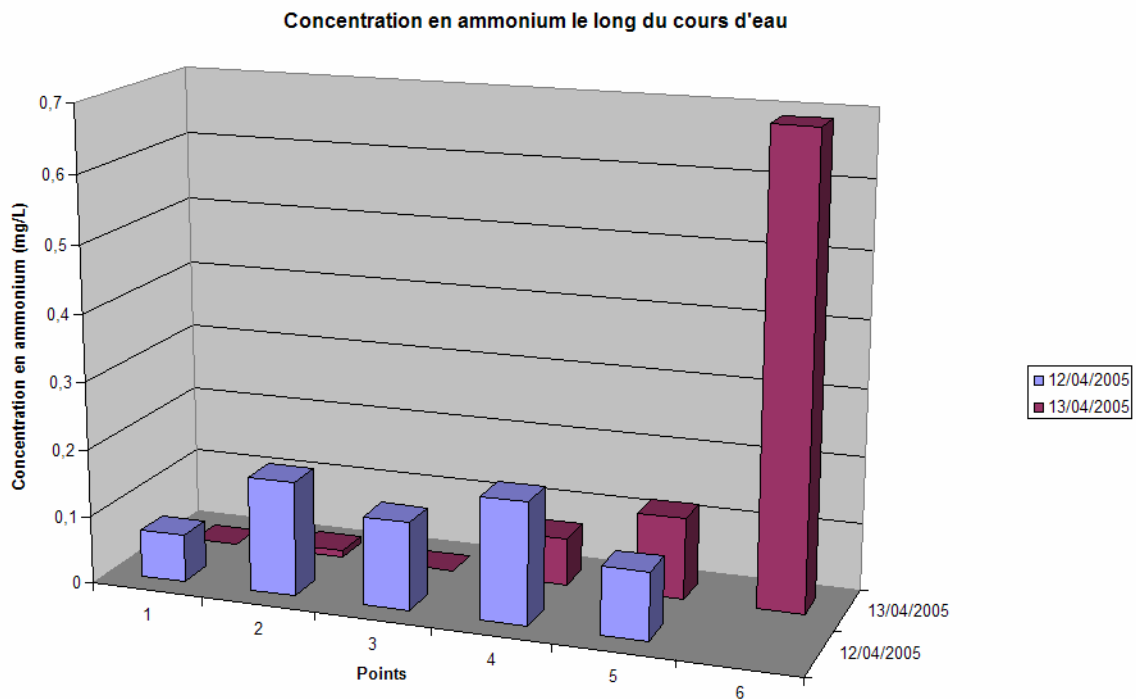
et ammoniac dépendantes, et qui évolueront selon deux paramètres : la température et le pH. Ainsi, le graphique ci-dessous illustre ces variations.

Dans la plupart des eaux courantes, le pH est compris entre 6,5 et 8,5 et la plus grande partie de l'azote ammoniacal se trouve donc sous sa forme ionisée (NH_4^+). Cette forme est relativement peu toxique. Par contre, la même quantité d'azote ammoniacal à des pH élevés peut entraîner des conséquences graves pour la rivière, l'ammoniac non ionisé (NH_3) étant très toxique.

La plus grande part de l'azote des eaux superficielles provient des la décomposition des matières organiques azotées contenues dans les débris végétaux des algues, plantes ou herbes du lit ou des berges de la rivière et du plan d'eau.

Cependant, la présence d'azote ammoniacal en quantité relativement importante peut être l'indice d'une contamination par des rejets d'origines humaine ou industrielle. En effet, les urines humaines et animales contiennent de grande quantité d'urée, fortement chargée en ammoniac.

Pour faire la mesure, nous avons utilisé le dosage par spectrophotométrie. Le protocole suivi est détaillé en annexe 11



Les valeurs indiquent une eau peu polluée, à l'exception du point 6 qui présente une concentration élevée en ammonium due à l'apport du rejet constaté entre les points 5 et 6. Etant donné que seul ce paramètre présente une forte augmentation, on peut émettre l'hypothèse que l'exutoire, situé en amont, rejette des eaux usées. Cependant, le manque d'une seconde valeur nous empêche d'éliminer l'éventualité d'une erreur de manipulation. De la même manière que pour les nitrites, les variations ne semblent pas liées à l'oxygénation de l'eau.

Au vu de ces concentrations, les étangs ne semblent pas non plus avoir un impact significatif sur la qualité des eaux en aval.

D'une manière générale, les étangs ne semblent pas avoir un impact négatif sur le cours d'eau. L'étang d'en haut semble avoir un rôle épurateur pour le phosphore car on remarque une diminution de la concentration en phosphates entre l'amont et l'aval du plan d'eau.

Cependant, l'Etang du Châtenay présente un effet négatif en ce qui concerne les phosphates. De la même manière, l'étang d'en Haut influence négativement la concentration de nitrites en aval.

Ces résultats nous paraissent logiques, du fait que l'Etang d'en Haut est plus petit et possédant une végétation plus dense (ripisylve, hélophytes et hydrophytes). Cette végétation est source de matière organique, en même temps que consommatrice de phosphates.

D'autre part, il est possible que l'Etang du Châtenay soit plus âgé que l'Etang d'en Haut, et ainsi que son stade d'eutrophisation soit plus avancé (n'étant plus vidangé). Par conséquent, cela expliquerait la limitation de son pouvoir autoépurateur.

c - Phosphates

Les phosphates peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante, lessivage de minéraux) mais, à l'heure actuelle, leurs présences dans les eaux sont plutôt d'origine artificielle (engrais, polyphosphates des détergents, eaux traitées aux phosphates, industrie chimique...). Ainsi, dans les eaux de

surface, la teneur naturelle en phosphates (PO_4^{3-}) est de l'ordre de 0,1 à 0,3 mg/L. la présence de phosphore dans les eaux souterraines peut être un indice de pollution d'origine fécale n'ayant pas transité par le sol superficiel.

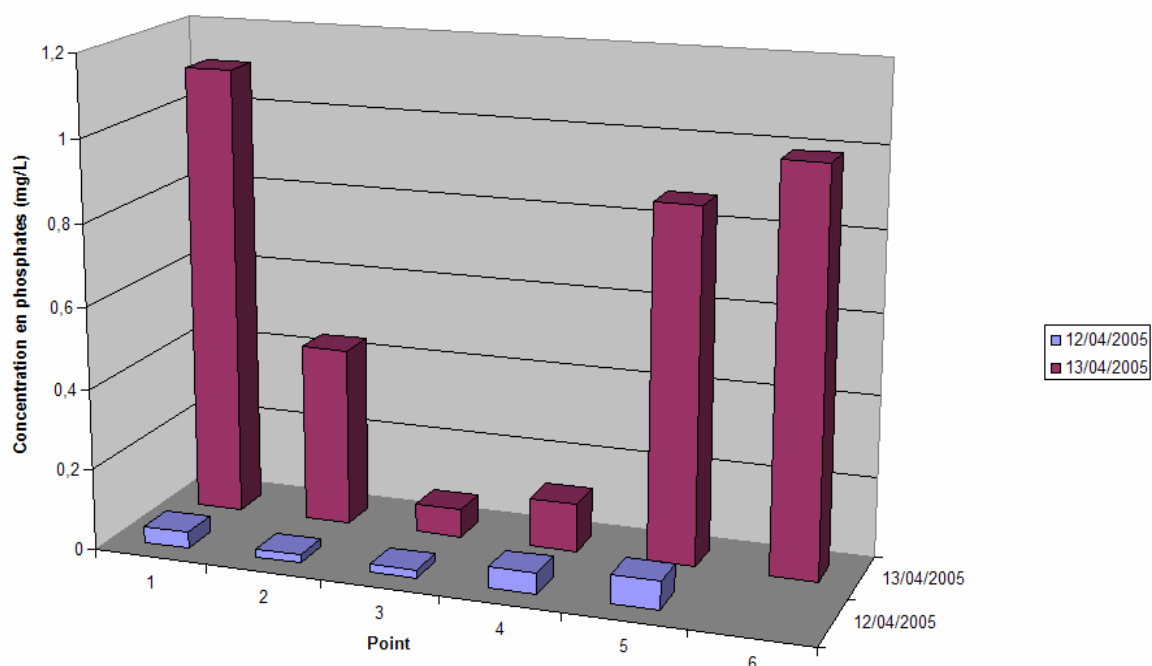
Les phosphates présentent rarement une toxicité vis-à-vis des poissons. Cependant, en trop grandes quantités, ils favorisent la prolifération des algues, entraînant par voie de conséquence des odeurs de l'eau et des nuisances pour le poisson. De plus, une prolifération algale peut mener à la diminution des végétaux de la strate inférieure, qui n'ont plus accès à la lumière. S'en suit alors une asphyxie du milieu aquatique.

Pour le dosage des phosphates, nous avons utilisé la méthode de spectrophotométrie. Le protocole suivi est détaillé en annexe 12

Les résultats sont les suivants :

	Date	Concentration en phosphates (mg/L)
1	12/04/05	0,04
	13/04/05	1,11
2	12/04/05	0,02
	13/04/05	0,44
3	12/04/05	0,02
	13/04/05	0,07
4	12/04/05	0,05
	13/04/05	0,12
5	12/04/05	0,07
	13/04/05	0,87
6	12/04/05	-
	13/04/05	0,99

Concentration en phosphates le long du cours d'eau



Les valeurs, relativement faibles, indiquent, même pour le deuxième jour, des eaux très peu productives à l'instar des lacs oligotrophes et cours d'eau supérieurs des massifs montagneux français.

Nous observons que les concentrations mesurées le 12 et le 13 avril sont très différentes. Cependant, les petites tendances amorcées le premier jour sont confirmées le second, à savoir une valeur plus élevée en 1 qu'en 2, une valeur minimale pour 3, puis une augmentation continue jusqu'au point 6.

Il est à noter que les relevés d'eau de la deuxième journée ont été effectués alors qu'on observait des précipitations importantes depuis déjà un certain temps. Cela explique sûrement l'augmentation significative des concentrations en phosphates, qui auraient été drainés vers le cours d'eau et les étangs par ruissellement.

La différence observée entre les points 1 et 2 peut s'expliquer par la relative proximité de prairies et de champs au point 1, contrairement au point 2, et donc un apport par ruissellement de phosphates provenant d'engrais.

La faible valeur rencontrée en 3 pourrait signifier que l'Etang d'en Haut a un rôle épurateur concernant les phosphates, ceux-ci pouvant être consommés par les plantes et les algues ou sédimer au fond de l'étang.

La petite augmentation entre 3 et 4 pourrait s'expliquer par un apport ponctuel d'eau de ruissellement (observé sur le terrain : dans le cours d'eau entre les deux points, et provenant d'espaces ouverts).

On remarque par contre une augmentation (très significative le 13/04/05) entre l'amont et l'aval de l'Etang du Châtenay, qui serait plus « un puits à phosphates ». Il est à souligner à ce sujet qu'au moins un tuyau d'évacuation d'eaux usées vient se déverser dedans.

Enfin, l'augmentation entre 5 et 6 pourrait être due à la présence d'un exutoire d'origine indéterminée, se déversant dans le ruisseau entre les deux points. Des informations supplémentaires, tel que le plan des réseaux d'eau usées et pluviales, nous permettraient de préciser cette origine (bouche de fosse sceptique, rejet ou by-pass de station d'épuration de petite taille, ou encore réseau d'eaux pluviales récoltant le ruissellement).

Notre interprétation est ici fondée sur les concentrations. Nous avons pu mettre en évidence que les débits n'étaient pas les mêmes pour tous les ruisseau. Nous avons donc procédé au calcul des flux entrants et sortants de nitrates, nitrites, phosphates et ammoniums.

d – Calcul des flux de charge polluante

mesure du 12/12/04/05 entre 14H00 et 16H00)

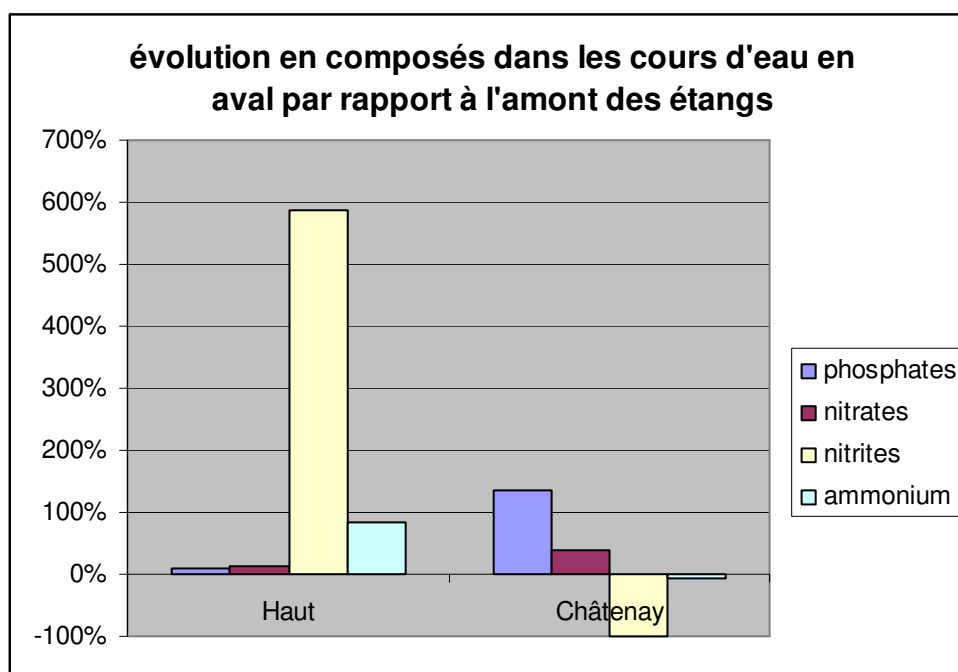


Tableau des pourcentages d'enrichissement entre l'amont et l'aval des étangs

	Haut	Châtenay
phosphates	10%	135%
nitrates	14%	38%
nitrites	587%	-100%
ammonium	83%	-7%

Le calcul été effectué de la façon suivante : $(\text{flux aval} - \text{flux amont}) / \text{flux amont}$

Pour les 2 étangs, et pour les 4 composés considérés, le flux entrant est inférieur au flux sortant. On observe généralement un enrichissement en aval des étangs. Le plus important est un enrichissement de 600% de nitrites en aval de l'étang d'en Haut (absence d'oxygène pouvant entraîner une transformation du nitrate en nitrite). Certains sont assez faibles comme c'est le cas pour les phosphates et les nitrates dont l'enrichissement n'apparaît que très faible (non exploitable étant donné les incertitudes expérimentales). De même la baisse de l'ammonium entre l'amont et l'aval du Châtenay n'est pas exploitable (trop faible).

Deux exceptions à cette tendance sont cependant observées : on observe une disparition des nitrites entre l'amont et l'aval de l'étang du Châtenay : toute erreur expérimentale mise à part, ceci met en évidence un éventuel pouvoir épurateur de cet étang pour les nitrites.

Il ressort de ces résultats que les étangs étudiés semblent avoir un impact négatif sur les cours d'eau qui les traversent.

- Critique des mesures chimiques

Il est important de noter que le 12/04/05 le temps était plutôt variable mais sec (couvert à ensoleillé), alors que le 13/04/05, de fortes précipitations ont été observées (aucune données n'ont été trouvées sur la hauteur des précipitations enregistrées). Or, les conditions météorologiques ont un effet sur les paramètres physico-chimiques et sur le fonctionnement de l'écosystème.

Nos résultats présentés ici doivent être interprétés en gardant à l'esprit que diverses erreurs ont pu entacher les résultats. Ces erreurs peuvent être d'ordres différents :

Tout d'abord, les réactifs utilisés avaient dépassés la date de péremption. Cependant les réactifs étaient contenus dans des sachets individuels, fermés hermétiquement. Ceci limite donc le contact avec l'air et donc l'humidité. Par conséquent, la détérioration du réactif sera minoritaire.

Ensuite, les valeurs de la première campagne de prélèvements (11/04/05) ont été réalisées sans filtration de l'eau au préalable. Il est donc fortement probable que les mesures au spectrophotomètre soient faussées car les matières en suspension peuvent absorber de la lumière, de la même manière que le produit de réaction coloré. On peut donc observer une surestimation plus ou moins forte selon la quantité de MES présentes, et selon les paramètres (les longueurs d'ondes étant différentes, l'absorption pourra différer aussi).

De la même manière, la calibration de l'appareil a été réalisée avec de l'eau distillée, au lieu de prendre les échantillons de l'eau prélevée et filtrée.

e - Oxygène dissous

La partie matériels et méthodes est détaillée en annexe 13.

L'oxygène est un des facteurs fondamentaux de la vie. Il représente 35 % environ du volume des gaz dissous dans l'eau à pression normale.

La présence d'oxygène dans les eaux de surfaces joue donc un rôle primordial dans le maintien de la vie aquatique et dans les processus d'autoépuration.

Les teneurs en oxygène dissous dans les eaux naturelles sont déterminées principalement par :

- la respiration des organismes aquatiques
- l'oxydation et la dégradation des polluants
- l'activité photosynthétique de la flore
- les échanges avec l'atmosphère

Ces derniers sont fonctions de la température de l'eau et de l'air, de la pression atmosphérique, et de la salinité de l'eau.

Les résultats de la teneur en oxygène dissous dans l'eau peuvent aussi être exprimées par le pourcentage de saturation (ou taux de saturation). Il exprime le rapport entre la teneur effectivement présente dans l'eau analysée et la teneur théorique correspondant à la solubilité maximum, dans les conditions de pression, de température et de salinité de l'analyse.

La teneur en oxygène dissous de l'eau peut devenir un facteur limitant pour la satisfaction des besoins des poissons lorsque la température de l'eau est élevée. En effet, plus la température de l'eau est élevée, moins il y aura d'oxygène dissous. Dans les lacs, la stratification thermique induit aussi une stratification de la concentration en oxygène, et ainsi, en été, on peut arriver à un état d'anoxie.

D'autre part, dans le cas de milieux eutrophiques, la forte activité bactérienne des processus autoépurateurs peut conduire à une surconsommation d'oxygène par respiration. Le milieu, appauvri en oxygène dissous, devient alors peu propice à la faune aquatique, notamment pour la faune piscicole.

Pour mesurer la concentration en oxygène dissous, nous avons utilisé un oxymètre de terrain. Cette méthode a l'avantage de faire une mesure directe, ce qui limite les erreurs dues à une modification des conditions, dans le flacon de prélèvement.

point 1					
heure1	7h24	10h05	13h50	17h16	19h35
Oxymétrie (% de saturation)	93,00	59,90	98,00	96,00	98,00
point 2					
heure2	7h31	10h10	14h05	17h24	19h43
Oxymétrie (% de saturation)	92,00	69,30	94,00	92,00	94,00
point 3					
heure3	7h40	10h20	14h12	17h32	19h56
Oxymétrie (% de saturation)	96	66,5	97	96	101
point 4					
heure4	7h48	10h35	14h20	17h38	20h02
Oxymétrie (% de saturation)	90	66,2	93	90	91
point 5					
heure5	7h56	10h50	14h30	17h47	20h10
Oxymétrie (% de saturation)	91	70	94	92	95
point 6					
heure6	8h02	10h55	14h35	17h53	20h18
Oxymétrie (% de saturation)	90	72,3	94	101	93

Tableau des résultats de la concentration en oxygène dissous

Une baisse de la teneur en oxygène est notée jusqu'au milieu de la matinée (10h00), puis nous observons une hausse générale jusqu'au début de l'après midi. Ensuite une stabilisation à des niveaux élevés d'oxygène dissous (entre 90 et 100 %) est constatée.

Les données du point 1 atteignent la valeur la plus basse de notre étude (60%) au milieu de la matinée.

Les données du point 2 atteignent 70 % d'oxygène dissous puis se stabilisent à des valeurs plus élevées durant l'après midi (95%).

Les données du point 3 varient selon la même tendance que les autres points. On note en outre, que c'est en aval de l'étang du Châtenay (point 3) que le taux d'oxygène est le plus fort, aussi bien en tout début de journée qu'à la fin. De plus, c'est aussi à cet endroit que la valeur est une des plus faibles en milieu de matinée. On voit donc qu'en aval de cet étang, les variations ont l'amplitude la plus élevée. Cet effet est probablement dû au fait que le plan d'eau possède une densité plus élevée de végétaux, organismes ayant un rôle essentiel dans le cycle de l'oxygène en milieu aquatique.

Pour le point 4, nous voyons qu'à l'inverse l'amplitude des variations est la plus faible. On peut donc supposer que le cours d'eau a un effet tampon sur le paramètre oxygène.

Les données du point 5 sont confondues avec les données du point 2.

Enfin, la mesure du point 6 diminue moins que les autres mesures durant la matinée, cependant elle augmente plus que les autres jusqu'en fin d'après midi tandis que les autres se sont stabilisés. Par ailleurs, une baisse de l'intervient en fin de journée tandis que les autres mesures ont tendance à augmenter.

• Explication

La baisse d'oxygène dissous de la matinée est corrélée au réchauffement des eaux par l'énergie solaire avec un décalage de quelques heures. Ce phénomène est ensuite compensé par la photosynthèse du phytoplancton et des plantes aquatiques qui dégagent de l'oxygène dans l'eau. Au cours de l'après midi, un équilibre entre photosynthèse et température conduit à une stabilisation de la teneur en oxygène dissous. Les variations observées seront donc en partie dues à la différence de végétation et de son état de santé.

Tout en aval de notre zone d'étude, (point 5) on observe la présence de beaucoup d'algues photosynthétiques. Ceci pourrait provoquer une teneur en oxygène dissous plus importante.

En amont de l'étang du Châtenay (point 4) possède les deuxièmes plus hautes températures pendant la journée ce qui pourrait expliquer les faibles valeurs d'oxygène dissous.

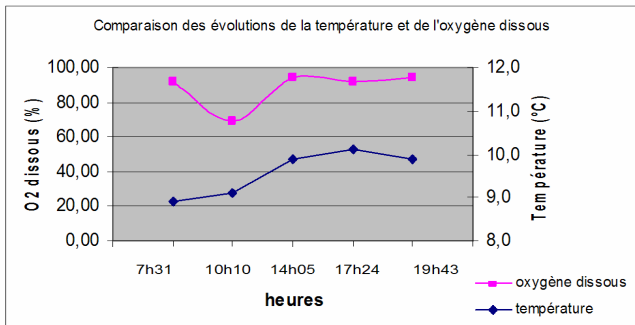
Le lieu de prélèvement 6 se situe après un exutoire et un tunnel ce qui peut aussi produire un brassage de l'eau. Cela expliquerait donc une teneur en oxygène dissous quasiment toujours supérieure aux autres mesures.

Les données de la zone amont, (points 1 et 2) ne peuvent pas s'expliquer uniquement avec la température vu qu'elles possèdent les plus faibles températures. Par contre, le lieu de prélèvement du point 1 contient beaucoup

de vase et de feuilles, ce qui entraînerait une respiration par les décomposeurs et donc une consommation d'oxygène.

Les valeurs un peu plus élevées pour le lieu en aval (point 3) au niveau de la phase de stabilisation peuvent s'expliquer par un brassage qui s'effectue à la sortie de l'étang d'en Haut.

La mesure de l'oxygène dissous nous permet de faire une comparaison avec la température. L'observation de la tendance générale de chacune des deux courbes en fonction du temps peut donner une indication sur le stade de trophisation du milieu aquatique.



Le graphique ci-contre montre une corrélation entre l'oxygène dissous et la température de l'eau, au cours de la journée.

Ce type de corrélation est observée dans les milieux oligotrophes : on constate de faibles variations de la concentration en oxygène, qui sont surtout contrôlées par la température. On peut donc qualifier le cours d'eau de milieu oligotrophe.

On peut émettre l'hypothèse que si les milieux lenticques sont, au contraire, au stade eutrophe, il peut y avoir un enrichissement progressif du cours d'eau

en aval. Cependant, ce cas est peu probable car les étangs ont été créés il y a relativement peu de temps : ils sont donc encore jeune. De plus, les apports de pollution d'origine anthropique sont trop faibles pour avoir accélérer le processus d'eutrophisation. Des mesures sur chacun des étangs permettraient d'éclaircir ces hypothèses.

Par conséquent, n'ayant pas d'analyses sur l'eau des étangs, nous ne sommes pas en mesure de tirer des conclusions sur les interactions du stade de trophisation, de chacun des milieux, entre eux.

V – Analyses biologiques

Il est nécessaire de compléter notre démarche physico-chimique qui consiste à caractériser les perturbations par leurs causes, par une démarche biocénotique qui permet de caractériser les perturbations par leurs effets sur les communautés en place. Cette démarche biocénotique est très importante car la prise en compte des organismes vivants apporte un complément d'informations essentiel à la connaissance de la qualité des milieux, chaque organisme présentant des exigences vis-à-vis des différents facteurs du milieu, qu'ils soient de nature physique, chimique ou biologique. Cette seconde démarche est la seule valable pour l'appréciation globale de la qualité des systèmes d'eau courante et des effets réels des perturbations en raison de la capacité indicatrice et intégratrice des organismes vivants.

L'IBGN (Indice Biologique Global Normalisé), qui succède à d'autres méthodes (des indices biologiques « intermédiaires ») étudiant la faune invertébrée benthique est la principale méthode utilisée en France depuis 1992, elle correspond à la norme NF T 90-350.

1° Principe de l'IBGN

Cette méthode de l'IBGN s'appuie sur le principe que la biocénose d'un milieu peut être la représentation synthétique de l'ensemble des facteurs écologiques d'un habitat donné.

Ainsi, il s'agit de prélever à différents endroits, représentatifs du milieu considéré, la faune benthique d'une taille supérieure à 0,5 mm. La faune (benthique) réagissant différemment à des modifications de son environnement (comme une introduction de polluants), on trouvera un changement dans cette communauté (par exemple des espèces sensibles tels que les plécoptères, disparaîtront tandis que d'autres, résistantes, pulluleront).

Selon les résultats des prélèvements, la qualité de l'eau sera déterminée grâce à une grille (cf. annexe) rendant compte du nombre de taxons récoltés (variété taxonomique) et des taxons indicateurs (groupes indicateurs) (cf. annexe). La méthode de l'IBGN permet d'obtenir une note entre 0 et 20. Voir aussi l'annexe 15.

Cependant, cette méthode qui comme son nom l'indique est normalisée, ne peut pas être appliquée sur tous les milieux aquatiques. Les milieux concernés sont tous les cours d'eau pour lesquels : la profondeur n'excède pas un mètre, la vitesse du courant n'est pas excessive et permet donc d'échantillonner l'ensemble de la mosaïque d'habitats, la turbidité de l'eau n'empêche pas de visualiser les supports. Il est néanmoins recommandé de ne pas utiliser l'IBGN pour les sources et ruisselets (trop petit), les cours inférieurs des grands cours d'eau, les zones de canaux et d'estuaires (faune n'étant plus strictement dulçaquicole).

Les cours d'eau reliés aux étangs d'en Haut et du Châtenay présentent certaines caractéristiques favorables à la réalisation de l'I.B.G.N. (la profondeur n'excède pas un mètre, la turbidité de l'eau permet de visualiser les supports ...) ; cependant deux principales caractéristiques font que la méthode est inadaptée :

- les sites d'études sont trop proches de la source, et donc :
 - les habitats sont peu diversifiés. En effet, l'IBGN suppose d'échantillonner dans 8 habitats différents par station. Ici, on ne trouve que deux principaux types d'habitats : vase/débris de feuilles/brindilles (support 6-7 pour la méthode IBGN) et cailloux/ morceaux de schiste rouge
 - le débit des ruisseaux est trop faible

Ainsi, bien que non adaptée à nos ruisseaux, nous avons choisi de nous inspirer de cette méthode normalisée pour estimer la qualité biologique de l'eau. En effet, le benthos présente un grand nombre d'avantages par rapport aux autres groupes faunistiques et floristiques : sa répartition dans l'ensemble des écosystèmes aquatiques, sa grande diversité taxonomique et le fait qu'il regroupe de nombreuses espèces bio-indicatrices, la relative stabilité dans le temps et dans l'espace de populations suffisamment sédentaires pour établir une bonne correspondance avec les conditions du milieu, la sensibilité de ces organismes au climat stationnel à travers de la qualité de l'eau et du substrat, sa situation à plusieurs niveaux trophiques du système, la facilité d'échantillonnage et la bonne conservation des échantillons.

Les invertébrés constituent donc de bons intégrateurs de la qualité globale de l'écosystème aquatique et sont facilement exploitables.

2° Choix des points de prélèvement

Comme nous l'avons dit précédemment, nous avons rencontré 2 types d'habitats différents.

Nous voulons voir si l'étang a un impact sur la diversité faunistique. Celle-ci étant corrélée avec la qualité du milieu, pour pouvoir comparer nos points en amont et en aval d'un même étang, nous avons échantillonné dans le même type d'habitat.

Ci-dessous, les points de prélèvement choisis :

Point 1 : vase et feuilles au fond du ruisseau (support de type 3 de la méthode IBGN)

Point 2 : brindilles, cailloux, feuilles et schiste en blocs (support de type 6-7 de la méthode IBGN)

Point 3 : fragments de schiste rouge au fond du ruisseau (support de type 6-7 de la méthode IBGN)

Point 4 : vase et brindilles au fond du ruisseau (support de type 3 de la méthode IBGN)

Point 5 : algues, dalle du tunnel, schiste en blocs (support de type 0-1 de la méthode IBGN)

Nous pouvons ainsi comparer : 1 et 4 ainsi que 2 et 3 (impact de l'étang d'en Haut); 3 et 5 (impact de l'étang du Châtenay).

La comparaison des espèces rencontrées, et de leur diversité, en amont et en aval des étangs, nous permettra de mettre en évidence une éventuelle pollution du milieu.

Les méthodes de prélèvements, du tri et de la détermination sont détaillées en annexe 15.

3% Résultats

taxon	1	2	3	4	5
Annélides; Oligochètes	3	3			
Bivalves; Sphaeriidae	30			28	
Diptères; Chironomidae	7	15		33	17
Diptère indéterminé	1				
Diptères; Limoniidae	1				
Diptères; Simuliidae		1	11	2	
Diptères; Talamidae	1				
Ephéméroptères; Ephéméridae			1	2	
Ephéméroptères; Leptotophobiidae				2	
Ephéméroptères; Oligoneuriidae				1	
Hyménoptères				1	
Mégaloptères		2	2		
Nématodes				2	
Odonates; Aeschnidae				1	
Odonates; Coenagrionidae		1		1	
Odonates; Cordulegasteridae	2				
Odonates; Cordulidae		1			
Odonates; Libellulidae		1			
Plécoptères indéterminés				2	
Plécoptères; Chloroperlidae		1			
Plécoptères; Leuctridae		4			
Plécoptères; Némouridae	3	6	1	6	
Plécoptères non déterminés		2			
Plécoptères; Perlodidae	2	1			
Trichoptères; Brachycentridae		1			
Trichoptère inconnu	1				
Trichoptères; Lépidostomatidae			1		
Trichoptères; Limnephilidae	3			1	2
Trichoptères; Philopotamidae		2			
total	54	41	17	82	19

En gras apparaissent les taxons répertoriés dans la grille IBGN

4% Interprétation des résultats

- Comparaison 1-4 :

Point 1 : Nous avons rencontré 54 organismes au total dont 14 taxons différents. Le groupe indicateur GI est le taxon Perlodidae

Point 4 : Nous avons rencontré 83 organismes au total dont 4 taxons différents.

GI : Leptophlebiidae

On remarque que la diversité faunistique est la même pour les 2 points. Cependant, on n'y trouve pas les mêmes taxons, bien qu'il s'agisse du même type d'habitat. L'étang ne semble donc pas avoir d'impact sur la diversité faunistique du cours d'eau, mais plutôt sur les taxons présents (sauf erreur expérimentale). En effet, selon la grille IBGN, le taxon Perlodidae est plus sensible à la pollution que le taxon Leptophlebiidae. L'eau du point 1 (en amont de l'étang) semble donc de meilleure qualité que celle du point 4 (en aval de l'étang). L'étang d'en Haut aurait donc un effet plutôt négatif sur la qualité du ruisseau de la Noé.

- Comparaison 2-3 :

Point 2 : Nous avons rencontré 41 organismes au total dont 14 taxons différents.

GI : Chloroperlidae

Point 3 : Nous avons rencontré 17 organismes au total dont 6 taxons différents.

GI : Némouridae

On remarque que la diversité faunistique n'est pas la même pour les 2 points (réduction de moitié du nombre d'espèces). Cette différence peut s'expliquer par :

- Une quantité plus importante de matière organique dont se nourrissent préférentiellement les macro-invertébrés benthiques au point 2.
- Un courant plus important au point 3 qu'au point 2 qui empêcherait la matière organique de s'accumuler.
- L'étang peut être à l'origine de cette différence de diversité par modification des paramètres physico-chimique du milieu.

De plus, on n'y trouve pas les mêmes taxons, bien qu'il s'agisse du même type d'habitat.

Selon la grille IBGN, le taxon Chloroperlidae est plus sensible à la pollution que le taxon Némouridae. L'eau du point 2 (en amont de l'étang) semble donc de meilleure qualité que celle du point 3 (en aval de l'étang). L'étang d'en Haut a donc un effet plutôt négatif sur la qualité du cours d'eau. Cela confirme notre hypothèse précédente.

- Comparaison 3-5 :

Point 3 : Nous avons rencontré 17 organismes au total dont 14 taxons différents.

GI : Perlodidae

Point 5 : Nous avons rencontré 19 organismes au total dont 2 taxons.

GI : Limnephilidae

On remarque que le nombre d'organismes et la diversité faunistique ont fortement diminué entre le point 3 et le point 5. De plus, on n'y trouve pas les mêmes taxons, bien qu'il s'agisse du même type d'habitat. On pourrait émettre les mêmes hypothèses que pour le cas précédent. Cependant, le fond du cours d'eau s'est révélé, le dernier jour, être bétonné à cet endroit. Ceci explique donc le peu d'organismes et la faible diversité observée. Nous ne pouvons donc pas comparer ces deux points étant donné qu'il s'agit de 2 types d'habitats différents.

Il est donc aberrant de se baser sur ces résultats erronés. Il serait indispensable de procéder à un prélèvement supplémentaire quelques mètres plus loin sur le même type de substrat que le point 3.

- Critiques :

- La période à laquelle nous effectuons cette étude n'est pas idéale. En effet la période de prélèvement préconisée est celle des basses eaux estivo-automnales pendant laquelle la concentration des pollutions est maximale, les températures élevées, les perturbations hydrauliques faibles, les conditions de prélèvement bonnes. Cependant notre étude a été réalisée au début du printemps, et l'année étant particulièrement sèche, la nappe est basse pour la saison.
- Il aurait été souhaitable de réaliser plusieurs prélèvements au cours de l'année pour suivre la variabilité saisonnière.
- Nous nous sommes inspirés de la méthode IBGN en la simplifiant très largement (le groupe indicateur a été déterminé sur la base de la **présence d'au moins un individu**). Les résultats obtenus sont donc peu fiables. Nous n'avons prélevé que sur 2 types d'habitats, ce qui n'est pas suffisant. Nous n'avons réalisé qu'un seul prélèvement par point, ce qui n'est pas forcément représentatif de la zone.

- Le tri et la détermination des organismes ont été réalisés par une dizaine de personnes. Il y a donc un biais engendré par la variabilité de l'opérateur plus ou moins expérimenté.
- Le matériel n'était pas suffisant pour que l'ensemble du groupe puisse trier les organismes simultanément. Par exemple, chaque opérateur de tri travaillait avec des tamis de pores différents ! De plus, la méthode IBGN suppose de travailler avec des tamis de pores 0,5 mm. Or le plus petit tamis à notre disposition était de 1 mm. Nous avons donc perdu une partie des organismes présents dans nos échantillons.
- Il aurait été intéressant de calculer des indices de diversité pour comparer celle-ci en amont et en aval des étangs (non réalisé par manque de temps et de fiabilité des résultats).
- Nous avons tenté de prélever dans des habitats homogènes pour que la comparaison amont / aval soit possible. Mais, nous n'avons pas trouvé des substrats strictement identiques.
- Il est dommage que nous n'ayons pas pu réaliser un prélèvement benthique au fond des 2 étangs. De plus, il aurait été intéressant de mettre en évidence un passage d'invertébrés de l'étang à l'aval.

VI – Discussion - conclusion

- Impact de l'étang du Châtenay sur la qualité du ruisseau en aval :

Il semblerait que celui-ci apporte des matières en suspension de l'eau du ruisseau. En effet, la concentration en MES et la conductivité augmentent fortement entre l'amont et l'aval de l'étang. Ceci nous laisse supposer une eutrophisation progressive de l'étang.

On remarque que les flux de phosphates et de nitrates sortants sont supérieurs aux flux entrants. L'étang du Châtenay provoquerait donc un enrichissement du ruisseau en ces deux composés. En ce qui concerne les nitrites et l'ammonium, la situation est inverse. Cette observation laisserait supposer un bon turn-over du cycle de l'azote, et ainsi témoigne d'un fonctionnement correct des processus d'autoépuration dans l'étang.

L'étang semble ne pas affecter la température, la teneur en oxygène dissous, le pH du cours d'eau entre l'amont et l'aval.

- Impact de l'étang d'en Haut sur la qualité du ruisseau en aval :

Contrairement au premier étang, l'étang d'en Haut n'engendre pas d'enrichissement en MES du ruisseau. Nous n'observons alors pas non plus d'effet sur la conductivité. L'étang ne semble pas en voie d'eutrophisation. Il est probable que cet étang ait été créé plus récemment que l'étang du Châtenay.

Nous avons observé une augmentation des flux de nitrates, nitrites et ammonium entre l'amont et l'aval. Les flux de phosphates entre l'amont et l'aval sont équilibrés. Il semblerait donc que l'étang produise un enrichissement en azote.

Par ailleurs, la présence de l'étang en barrage du ruisseau provoque une augmentation de la température de celui-ci. Cette hypothèse apparaît vraisemblable car le ruisseau semble être alimenté par la couche superficielle de l'eau de l'étang.

Aucun effet n'a été observé sur la concentration en oxygène dissous et sur le pH. L'étang, apparaissant peu eutrophisé, est probablement en stade oligotrophe. Or, à ce stade jeune, seule la température influence la concentration en oxygène dissous, la végétation et les organismes ayant un impact mineur. Cette constatation apparaît donc logique.

Ainsi pour les deux étangs, certains paramètres physico-chimiques semblent indiquer un impact négatif sur la qualité des ruisseaux situés en aval. Cependant, tous les paramètres ne suivent pas la même tendance. Il serait donc peu judicieux de conclure de manière tranchée sur l'impact physico-chimique de ces étangs.

Au niveau biologique il semblerait que ces deux étangs entraînent une diminution de la diversité faunistique et un remplacement de la biocénose du cours d'eau par des organismes moins sensibles entre l'amont et l'aval.

Cependant, nos résultats ne sont pas réellement exploitables. En effet, plusieurs critiques concernant les manipulations et les méthodes peuvent être formulées

En premier lieu, il aurait été souhaitable d'avoir plus de temps, afin d'effectuer plus de mesures et d'avoir des jeux de données suffisants pour calculer des moyennes et écarts-types, ainsi que des tests statistiques. Notre interprétation aurait ainsi été basée sur des résultats plus fiables.

En second lieu, il aurait été intéressant d'étudier certaines caractéristiques des étangs, tels que le profil d'envasement et la végétation, afin de vérifier leur stade d'eutrophisation. Une analyse des diatomées (et du plancton en général) aurait permis de mettre en évidence des pollutions azotées ou phosphatées.

D'autre part, une étude de la photosynthèse (par dosage de la chlorophylle a) et de la respiration aurait rendu possible la caractérisation de l'activité biotique des ruisseaux.

Ensuite, des mesures de la DBO et de la DCO auraient été un complément intéressant à notre étude. De cette manière, la teneur en matière organique biodégradable, ainsi que la quantité de matières oxydables présentes dans l'eau auraient pu être évaluées.

En outre, une comparaison des suivis horaires des caractéristiques hydro-physico-chimiques, pour des conditions climatiques différentes, à une même période de l'année (par exemple : temps ensoleillé sec - temps couvert - temps pluvieux humide) aurait été une information supplémentaire instructive.

Par ailleurs, une étude annuelle aurait permis de caractériser des variations de l'impact de l'étang en fonction de la saison.

Enfin, il aurait été judicieux de contacter des autochtones connaissant l'historique du site, ainsi que les acteurs locaux : Maire des communes concernées, directeur des services techniques et environnement de la mairie, directeur du syndicat intercommunal chargée du suivi de la zone. Cette recherche aurait apportée des informations sur l'historique des différents aménagements, les plans de réseaux d'eaux usées et pluviales, les sites potentiellement polluant et les zones de cultures fertilisées, ainsi que la localisation des rejets de station d'épuration, fosse septique ou drain agricole

