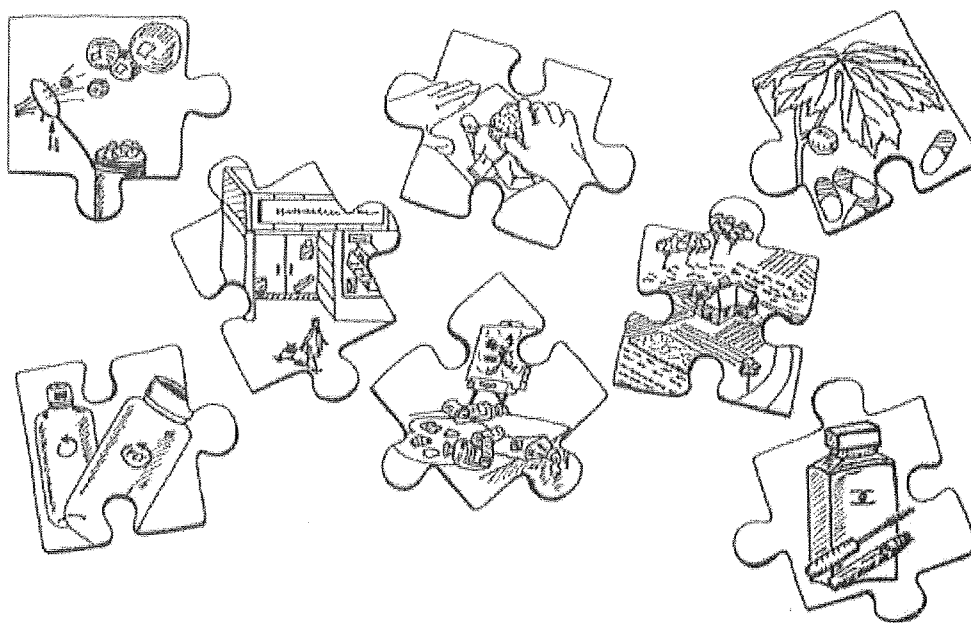
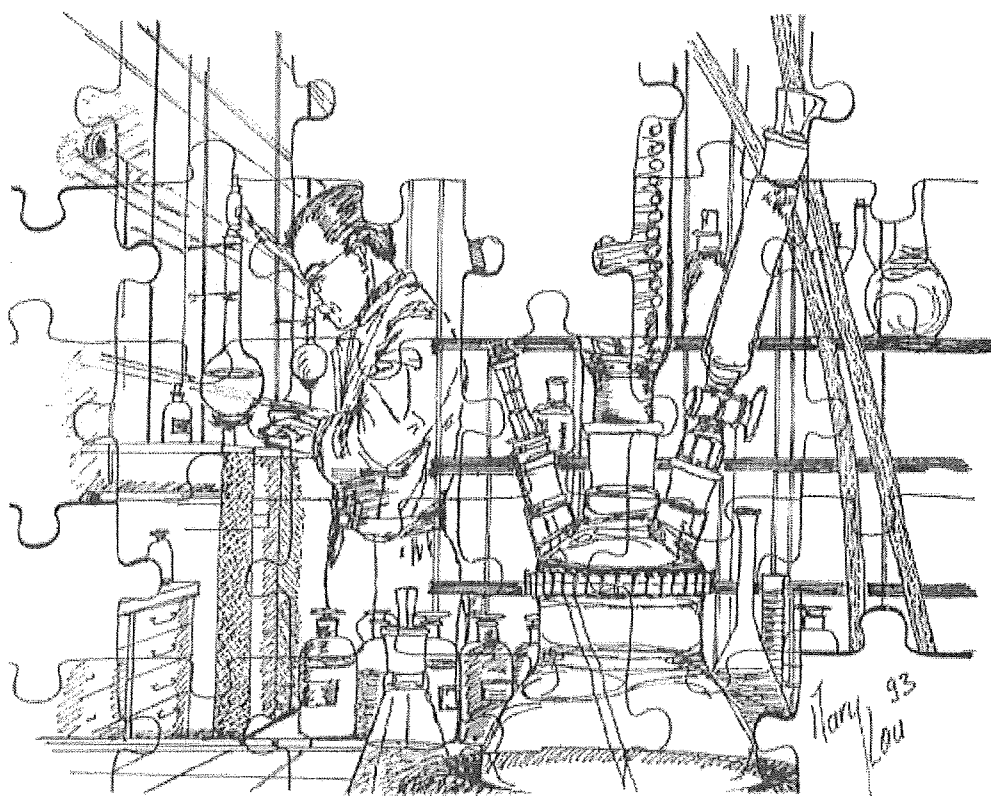


CHIMIE ET VIE QUOTIDIENNE

cours de formation continue à l'attention des maîtres de sciences du secondaire I



CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT



Didier Perret



UNIVERSITE
DE
LAUSANNE

Section de Chimie

La réalisation de ce cinquième module du cours "Chimie et Vie Quotidienne" a été possible grâce à l'impulsion et à l'enthousiasme du Professeur Jean-Claude Bünzli, vice-recteur de l'Université de Lausanne, qui a su créer une structure dynamique de réflexion au sein de la cellule de recherche chargée de son organisation.

Madame Nicole Furer et Monsieur Bernard Weber, auteurs du cours "Approche du Monde de la Chimie", ainsi que Monsieur Jean-Christophe Decker, enseignant au Gymnase, ont participé activement à la cellule de recherche et ont permis, par leurs nombreuses suggestions et leur connaissance des structures d'enseignement dans le Secondaire I, l'élaboration d'un manuel adapté aux besoins des maîtres de sciences.

Monsieur Charles-Philippe Lienemann, doctorant à l'Institut de Chimie Minérale et Analytique de l'Université de Lausanne, a testé les expériences contenues dans ce manuel et suggéré de nombreuses modifications pour leur apporter une plus grande clarté.

Madame Monique Baud, du Centre de Perfectionnement et de Formation Complémentaire, a assuré les problèmes de logistique et d'organisation.

Mademoiselle Marylou Terclier, dessinatrice, a conçu et réalisé l'illustration figurant sur la couverture de ce cours, en collaboration avec Monsieur Serge Rodak, qui l'a adaptée aux besoins de la présentation informatique.

Le cours "Chimie et Vie Quotidienne" n'aurait pu être envisagé sans le support financier du Kontaktgruppe für Forschungsfragen (Industries chimiques bâloises) et du Rectorat de l'Université de Lausanne.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
1.1 PREAMBULE	1
1.2 L'ORIGINE DES COMPOSES CHIMIQUES DANS LES EAUX	2
1.3 LE CYCLE SAISONNIER DE L'EAU DU LAC DE BRET	3
1.4 CONSEQUENCES DE L'EVOLUTION SAISONNIERE D'UN LAC	10
1.5 CONCLUSION	10
2. LA CHIMIE DU FER	13
2.1 LE FER DE TOUTES LES COULEURS	13
2.2 LA PHOTOGRAPHIE PAR LE FER	16
2.3 FER, CORROSION ET OXYDATION-REDUCTION	18
2.4 FER ET MAGNETISME	22
3. LA CHIMIE DES SOLS (TERRE, HERBE)	25
3.1 DETERMINATION DU FER DANS LA TERRE	26
3.2 DETERMINATION DES PHOSPHATES DANS LA TERRE	27
3.3 DETERMINATION DES NITRATES DANS LA TERRE	28
3.4 DETERMINATION DE L'AMMONIUM DANS LA TERRE	30
3.5 DETERMINATION DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LA TERRE	31
3.6 MESURE DU pH; MISE EN EVIDENCE DES CARBONATES DANS LA TERRE	32
3.7 DETERMINATION DES PHOSPHATES DANS L'HERBE	34
3.8 DETERMINATION DES NITRATES DANS L'HERBE	35
4. LA CHIMIE DES EAUX	37
4.1 PREPARATION DU MATERIEL; PRELEVEMENT D'ECHANTILLONS	38
4.2 MESURE DU pH DES ECHANTILLONS	41
4.3 DETERMINATION DE L'OXYGENE DISSOUS	41
4.4 DETERMINATION DU FER TOTAL	43
4.5 DETERMINATION DU FER FERREUX	44
4.6 DETERMINATION DE L'AMMONIUM	45
4.7 DETERMINATION DES NITRATES	46
4.8 DETERMINATION DES PHOSPHATES	47
5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES, SUBSTANCES CHIMIQUES ET PRODUITS COURANTS UTILISES	49
5.1 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	49
5.2 SUBSTANCES CHIMIQUES UTILISEES	49
6. EQUATIONS DES REACTIONS CHIMIQUES	55
6.1 REACTIONS CHIMIQUES DU CHAPITRE 2	55
6.2 REACTIONS CHIMIQUES DU CHAPITRE 3	57
6.3 REACTIONS CHIMIQUES DU CHAPITRE 4	58

7. INDEX

59

ANNEXES

TABLEAU RECAPITULATIF DES ANALYSES EFFECTUEES SUR LES ECHANTILLONS
DE TERRE ET D'HERBE

TABLEAU RECAPITULATIF DES ANALYSES EFFECTUEES SUR LES ECHANTILLONS
D'EAU DU LAC

1. INTRODUCTION

Les processus environnementaux impliquent un nombre élevé de réactions (acide-base, complexation, oxydation-réduction, solubilisation-dissolution) sur un très grand nombre de composés, d'origine naturelle ou anthropogénique (humaine), sous forme vivante ou non. La sensibilisation à la science environnementale est par conséquent une démarche complexe, qui nécessite une approche multidisciplinaire : biologie, géologie, physique et chimie (les sciences expérimentales) permettent ensemble de caractériser les différentes espèces intervenant dans les processus naturels et leurs flux respectifs, c'est-à-dire leurs transformations dans un réservoir (atmosphère, lithosphère, aquifère, biosphère) et leur transport d'un réservoir à l'autre.

Dans ce contexte, l'objectif de ce module est multiple :

- Utiliser les **notions de transformations et d'équilibres chimiques** abordées lors des modules précédents, dans un contexte environnemental; en effet, les réactions chimiques déjà discutées se retrouvent dans les processus environnementaux, avec certaines complications.
- Exploiter les **notions d'identification et d'analyse** décrites dans les modules précédents pour caractériser quelques espèces intervenant pour une part importante dans les processus environnementaux.
- Présenter quelques **méthodologies (schéma de prélèvement, de traitement et d'analyse des échantillons naturels)** développées spécifiquement pour les déterminations environnementales; à cet égard, les instruments de mesure permettant de quantifier sans équivoque des paramètres caractéristiques d'un système naturel ont pris une importance primordiale dans les études environnementales. Quelques instruments perfectionnés, mais d'utilisation simple, seront employés pour caractériser les échantillons prélevés.
- Décrire, sur la base de l'exemple concret du lac de Bret, quelques **processus chimiques observables dans un système aquatique naturel**; les conclusions qui découleront des observations effectuées sur le terrain ne seront pas directement exploitables à l'ensemble des systèmes aquatiques naturels, mais permettront une meilleure sensibilisation au problème de l'eau.

Il est important de mentionner d'emblée que les composés qui seront mesurés dans le lac de Bret dépendent fortement des conditions climatiques ayant prévalu durant les mois précédents. Il serait nécessaire, pour tirer des conclusions sur l'évolution du lac, de l'étudier durant plusieurs saisons consécutives. D'autre part, la période la plus propice pour la mise en évidence d'espèces sous plusieurs formes environnementales (fer, manganèse, phosphore, soufre, azote) se situe, pour le lac de Bret, entre fin juillet et fin août; par conséquent, il n'est pas à exclure que les résultats des analyses obtenues durant ce module ne permettent pas de tirer les conclusions attendues.

1.1 PREAMBULE

Il existe une forte interdépendance entre les nombreux composés inorganiques et organiques, dissous et particulaires, nutritifs et toxiques, qui constituent un environnement donné et

Il est impossible de traiter individuellement le cycle de chacune des espèces sans faire référence aux autres espèces qui lui sont intimement liées.

Il est par conséquent plus rigoureux de traiter les mécanismes environnementaux dans leur globalité. Le lac de Bret se prête bien à cet exercice pour 2 raisons :

- Le lac ne comporte qu'un affluent, le Grenet, dont les apports sont essentiellement agricoles, et un effluent, dont le débit est contrôlé par une station de filtration amenant de l'eau à la ville de Lausanne; les apports terrestres (alluvions dues aux pluies) y sont peu importants, car le lac n'est pas situé dans une cuvette. Cette situation simplifie grandement la compréhension et l'interprétation de l'évolution du lac.
- De dimensions réduites (environ 1500m x 500m x 20m de profondeur) et riche en substances nutritives (nitrates et phosphates, dont l'origine principale est agricole, via le Grenet), le lac développe un ensemble de processus chimiques saisonniers qui ont été étudiés en détail.

Seules quelques espèces chimiques sont examinées ici. Le choix de ces espèces est dicté par leur importance environnementale. A cet égard, le terme "environnement" comprend les processus se déroulant naturellement dans un système mais qui peuvent être éventuellement influencés par les activités humaines. Les espèces dont il sera question sont les suivantes :

- Les composés du **fer** et, dans une moindre mesure, ceux du **manganèse**.
- Les composés de l'**azote** et du **phosphore**.
- Le **carbone**, sous ses formes inorganiques et organiques.
- Quelques substances qui influencent directement les composés précédents, ou qui sont influencées par les réactions de ces derniers.

1.2 L'ORIGINE DES COMPOSES CHIMIQUES DANS LES EAUX

La croûte terrestre est constituée de 5% de fer environ. Celui-ci existe principalement sous sa forme stable α -Fe₂O₃ (hématite) dans les minerais, d'où il est extrait et réduit en fer métallique dans les hauts fourneaux. Le fer est également présent dans les argiles du sol, ainsi que dans d'autres solides constitués d'oxydes et d'hydroxydes de fer. Constatons d'emblée que le fer existe dans ces phases sous forme de fer ferrique solide, Fe^{III} et que cette forme est la plus stable des formes du fer dans les conditions qui règnent sur la planète; le fer peut aussi exister sous forme de fer ferrique dissous Fe⁺³ ou de fer ferreux, Fe^{II} solide ou Fe⁺² dissous.

Les phases solides qui constituent les sols et les roches ne sont pas totalement inertes. Les pluies, les cours d'eau, les fontes de glaciers, sont capables d'entraîner sur leur passage les solides de petites dimensions et d'éroder les phases immobiles. **Les substances, solides ou dissoutes, sont donc transportées vers les réservoirs d'eau (eaux souterraines, rivières, lacs, océans) où elles sont introduites dans le cycle des espèces aquatiques.** Cependant, les sols ne sont pas constitués que de minéraux et ce processus de transport est également valable pour les ions inorganiques et les composés organiques présents dans l'eau interstitielle des sols (humidité). Ces composés sont aussi transportés au sein des sols et vers les masses d'eau.

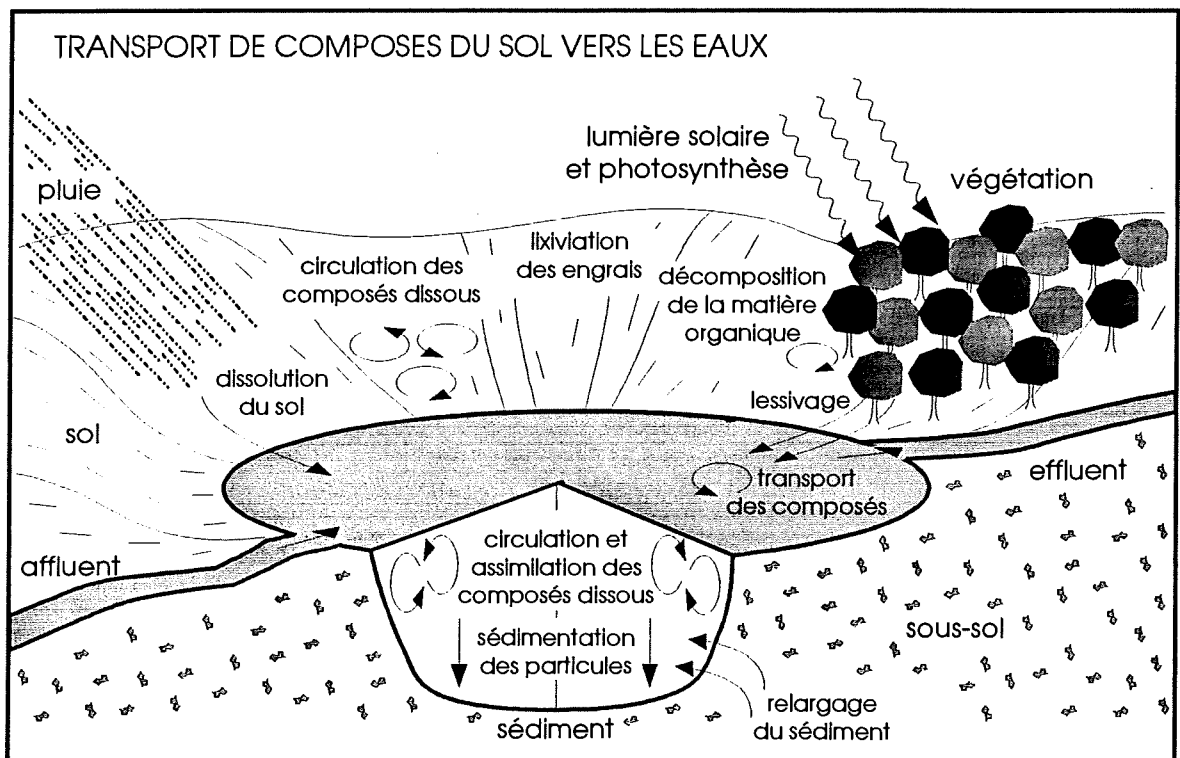
Les composés mobiles sont assimilés, dans les sols et les eaux, par la flore et la faune qui s'y développent. Par exemple, la croissance des végétaux est directement influencée par la

présence d'espèces chimiques assimilables. Il en est de même dans le processus de production des algues. Par ailleurs, les bactéries et autres micro-organismes sont susceptibles d'assimiler les espèces chimiques dissoutes dans les sols et dans les eaux.

La composition des eaux douces est le reflet plus ou moins fidèle des substances qui y sont transportées depuis les sols. Sous nos latitudes, un lac alpin contient des concentrations élevées de silice, SiO_2 , à cause de l'érosion des roches riches en quartz, tandis qu'un lac de plaine contient plus d'argiles et de carbonate de calcium transportés par lessivage des sols argileux et calcaires.

Il existe plusieurs sortes d'argiles, de structure et composition différente; les argiles sont des aluminosilicates substitués, $\text{Al}_x\text{Si}_y\text{O}_z$, qui contiennent du magnésium, du potassium, des hydroxyles, du fer, du chrome, du zinc, du calcium, du manganèse.

Les composés organiques transportés par ruissellement des sols vers les réservoirs d'eau proviennent de la lente dégradation de la matière végétale présente sur terre. L'humus est une terre riche en matières organiques (acides humiques), dont la composition est extrêmement complexe et dépendante de la matière végétale originelle et des conditions de dégradation.

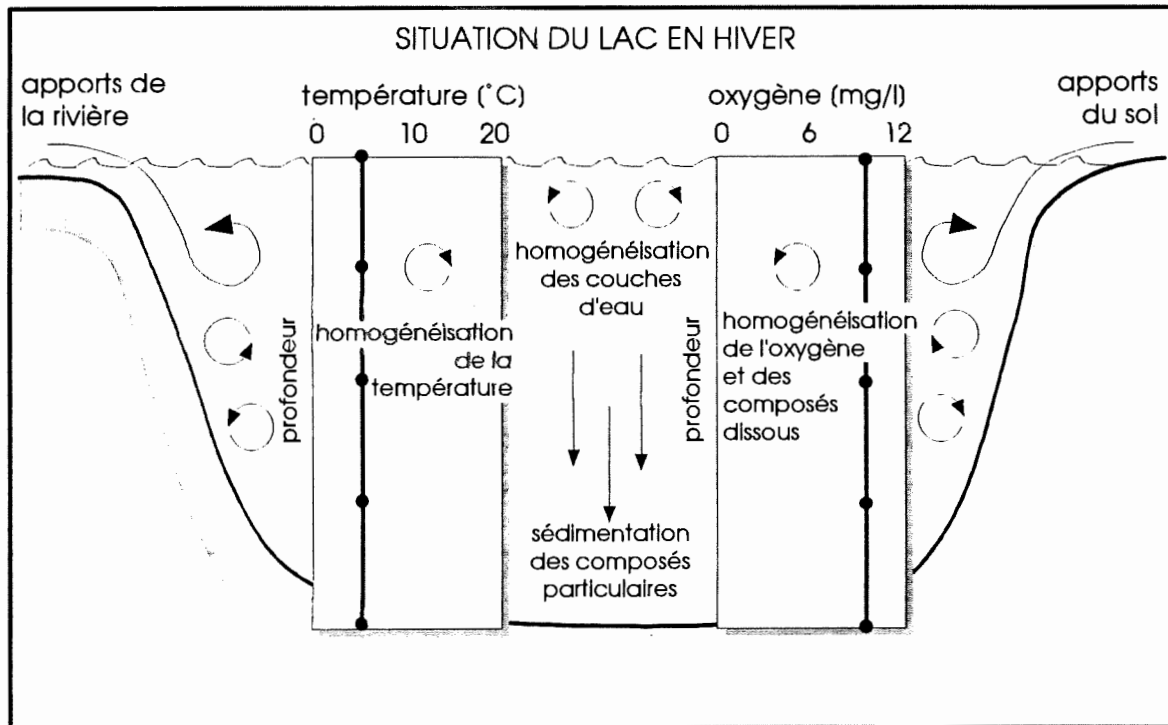


1.3 LE CYCLE SAISONNIER DE L'EAU DU LAC DE BRET

EN HIVER

La densité maximale de l'eau est atteinte à 4°C. En hiver, les eaux froides du lac de Bret ont une température proche de celle-ci. Globalement, la température est homogène sur toute la profondeur, bien que les eaux de surface moins denses puissent être gelées. La figure de la page suivante illustre cette situation. Puisque les eaux sont thermiquement homogènes, le

transport des espèces dissoutes est assuré sur toute la profondeur du lac. Dans ce cas, **le transport des espèces dissoutes dans toutes les strates d'eau du lac conduit à une situation d'équilibre où les concentrations de ces espèces sont identiques à toute profondeur.**



Pratiquement, l'oxygène se dissout aisément dans l'eau jusqu'à concurrence de 10mg par litre d'eau (c'est-à-dire 10ppm O₂, 10 parties d'oxygène par million de parties d'eau, 10 milligrammes d'oxygène par kilogramme d'eau). Il peut être transporté jusqu'aux couches profondes du lac; **celui-ci est entièrement oxygéné et se trouve dans des conditions chimiques oxydantes.**

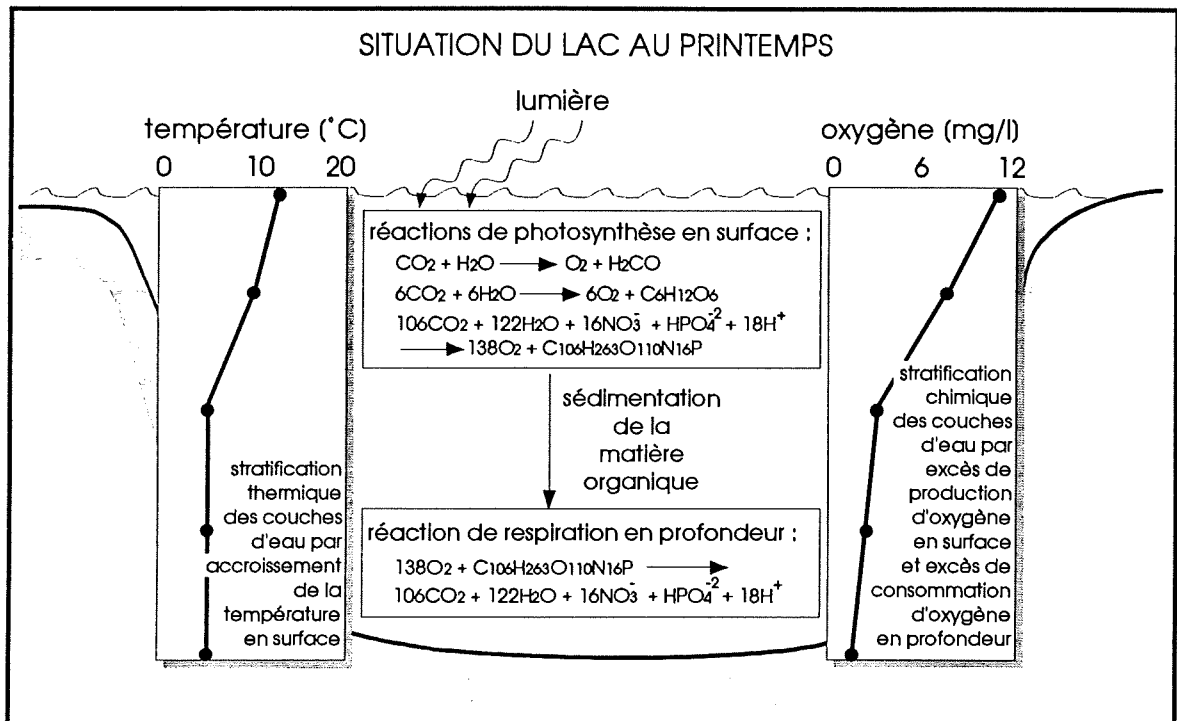
Les espèces dissoutes apportées par les sols (lors de pluies) et la rivière se répartissent dans l'ensemble du lac, tandis que les substances solides (particules) sédimentent plus ou moins rapidement jusqu'à la couche tapissant le fond du lac (sédiment).

En conclusion, les phénomènes suivants sont observés en hiver dans le lac de Bret :

- La température est homogène dans toute la colonne d'eau.
- Il en résulte un mélange des eaux entre les couches supérieures et inférieures.
- Ce mélange permet d'oxygéner l'ensemble du lac et de répartir les autres espèces dissoutes de manière homogène à toutes les profondeurs.
- Les composés particulaires introduits dans le lac sédimentent au fond.

AU PRINTEMPS

Dès les premiers beaux jours, on assiste à un réchauffement de la couche d'eau supérieure qui flotte littéralement à la surface de l'ensemble des eaux plus froides. Les conditions climatiques de plus en plus douces se traduisent par un début de stratification thermique, c'est-à-dire **un début de différenciation entre les couches d'eau supérieures, plus chaudes, et les couches profondes, plus froides et plus denses**, comme l'indique la figure qui suit.



La réaction de photosynthèse (production de biomasse, phytoplancton) débute dans la couche supérieure d'eau. Seuls les quelques premiers mètres sont concernés par cette réaction, qui transforme le dioxyde de carbone dissous (CO_2 , carbone sous forme inorganique) et l'eau en matière végétale ($\text{C}_{106}\text{H}_{263}\text{O}_{110}\text{N}_{16}\text{P}$, carbone sous forme organique) et en oxygène dissous O_2 .

La réaction de photosynthèse est complexe; des ions nitrate, NO_3^- , et phosphate, PO_4^{3-} , présents dans les couches d'eau sous forme dissoute, sont nécessaires pour la production de matière végétale. Par conséquent, on peut s'attendre à **une diminution de la concentration des nitrates et phosphates dissous et une augmentation de la concentration en matière végétale et en oxygène dissous dans la couche d'eau supérieure**. La matière organique synthétisée dans les couches supérieures sédimente lentement vers le fond du lac.

Le processus de respiration, formellement l'inverse de la photosynthèse, est conduit par les organismes présents à toutes les profondeurs du lac. L'oxygène dissous et la matière végétale sont consommés (la matière organique est oxydée et l'oxygène est réduit), avec production concomitante d'eau et de dioxyde de carbone; **les eaux profondes deviennent graduellement pauvres en oxygène (anoxiques)**.

On assiste donc à un déséquilibre entre les couches supérieures, où la photosynthèse prédomine, et les couches inférieures, où la consommation d'oxygène est prépondérante. **Ce déséquilibre crée une stratification chimique. Les échanges de chaleur et de matière entre les eaux supérieures et inférieures sont freinés, ce qui résulte en un début d'isolement des couches profondes.**

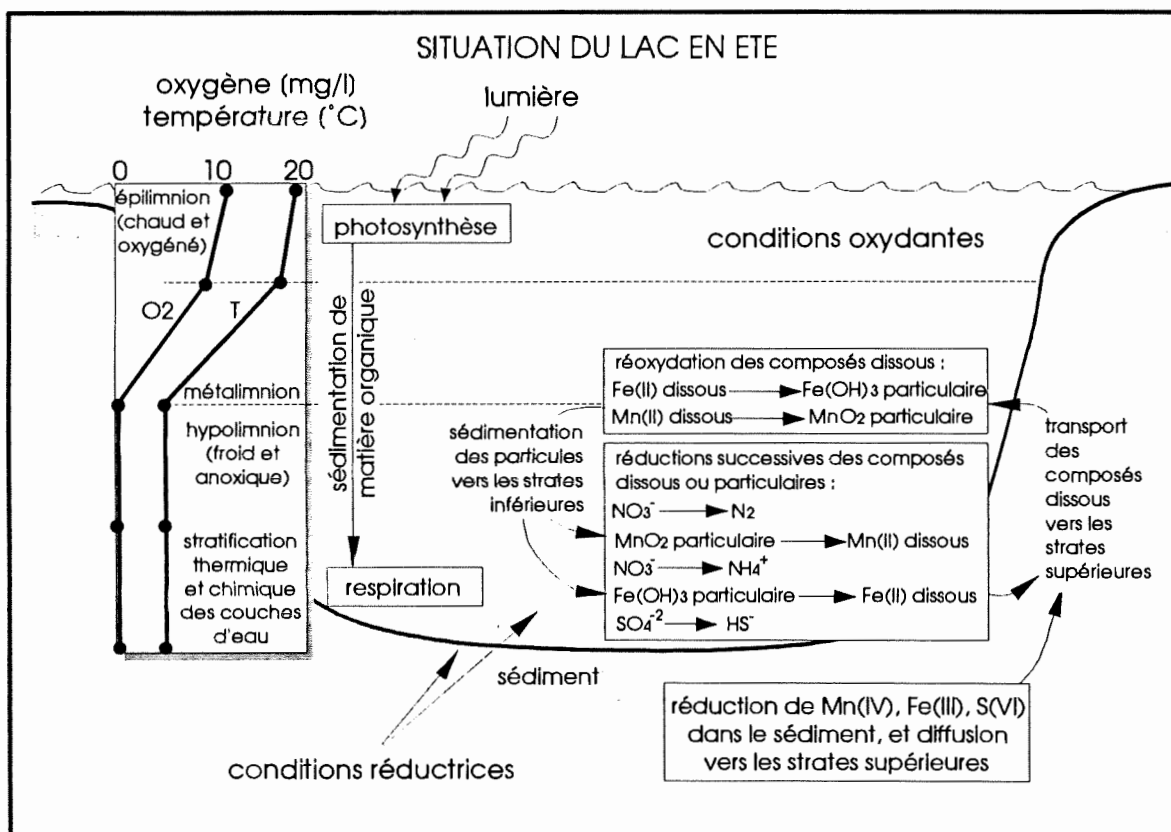
En conclusion :

- Les eaux de surface se réchauffent, créant un début de stratification thermique.

- La stratification thermique empêche le mélange des eaux de surface et de profondeur.
- La photosynthèse permet la production de biomasse et d'oxygène dans les eaux de surface; cette réaction excède la réaction inverse de respiration.
- La respiration (oxydation de la matière végétale synthétisée en surface) consomme l'oxygène dans les eaux profondes, qui deviennent graduellement réductrices.

EN ETE

La stratification thermique et chimique conduit à une surproduction de matière végétale dans la couche supérieure (appelée épilimnion) et à une surconsommation d'oxygène dans la couche inférieure (appelée hypolimnion; la couche d'eau entre l'épilimnion et l'hypolimnion est le métalimnion, où la variation de température et d'oxygène est la plus importante). **Les eaux profondes sont alors caractérisées par des conditions réductrices plutôt qu'oxydantes.**



Lorsque l'oxygène dissous a totalement disparu des couches profondes par surconsommation, **les micro-organismes doivent trouver des substituants à l'oxygène, afin de pouvoir continuer l'oxydation de la matière organique.**

Parmi les prétendants au titre d'accepteur d'électrons (oxydant), les **nitrate**s sont les premiers concernés. En effet, les nitrates sont aisément réductibles en azote N_2 dans les milieux aquatiques naturels; on assiste par conséquent à une diminution de la concentration en nitrates dissous dans les couches profondes.

Comme les conditions deviennent de plus en plus réductrices au fond du lac, le **manganèse**, qui existe sous la forme MnO_2 particulaire dans le sédiment, peut se réduire en une espèce dissoute Mn^{+2} dans les conditions lacustres. Ceci permet au manganèse d'être transporté du sédiment vers les couches supérieures. Cependant, le Mn^{+2} ne peut être transporté que dans les couches profondes, où la température est relativement homogène.

La réaction qui prend ensuite place dans les eaux profondes est la réduction des **nitrate**s en ions ammonium NH_4^+ , dont la concentration va croissant avec la profondeur et avec l'avancement de la saison.

Un autre candidat à la réduction est le **fer** ferrique immobilisé sous forme d'hydroxydes et oxydes dans le sédiment. Par un processus analogue à la réduction du manganèse, du fer ferreux Fe^{+2} , qui existe sous forme dissoute, est produit et transporté vers les couches supérieures pauvres en oxygène.

A l'approche de l'automne, les conditions en profondeur deviennent parfois plus réductrices. Les **sulfate**s, SO_4^{-2} , peuvent alors être réduits en hydrogènesulfure, HS^- . Ceux-ci sont graduellement transportés vers les couches supérieures du lac.

Retenons les points suivants, qui caractérisent l'évolution des conditions réductrices au fond du lac de Bret durant la saison estivale :

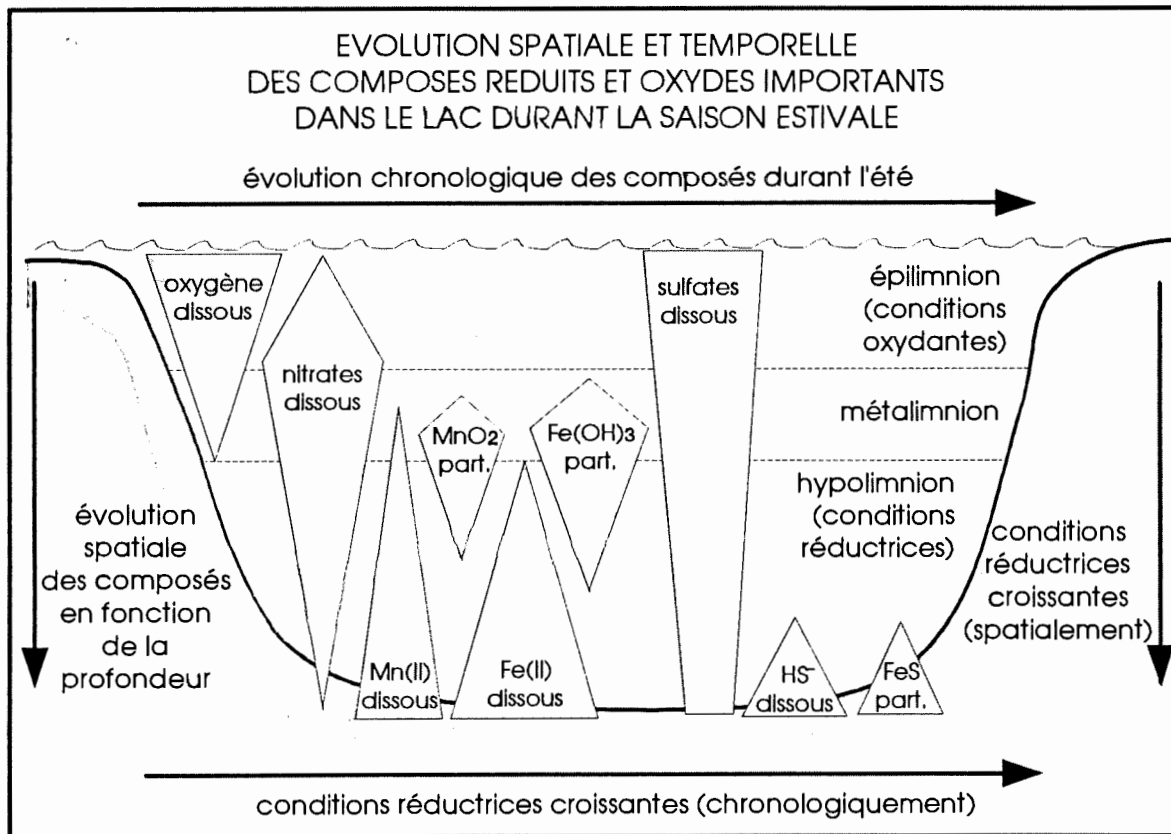
- Lorsque l'oxygène a été totalement consommé dans les couches profondes du lac, plusieurs espèces chimiques interviennent successivement dans les processus d'oxydation de la matière organique qui sédimente.
- Initialement, les nitrates NO_3^- dissous dans la colonne d'eau se réduisent en azote N_2 .
- Ensuite, le manganèse, présent sous forme de Mn^{IV} particulaire dans le sédiment, est réduit en Mn^{+2} dissous.
- Puis les nitrates sont encore réduits en ammonium NH_4^+ .
- Le fer, immobilisé sous forme de Fe^{III} particulaire dans le sédiment, est alors réduit en Fe^{+2} dissous.
- Plus tard, les sulfates dissous SO_4^{-2} sont réduits en hydrogènesulfure HS^- .

Ces réactions apparaissent de manière chronologique, mais également de manière spatiale. En effet, durant la saison estivale, les conditions réductrices deviennent de plus en plus importantes au fond du lac. La déficience en oxygène se développe vers les couches supérieures où les réactions de réduction prennent également place, avec un décalage dans le temps, comme l'indique la figure de la page suivante.

On voit que les espèces réduites produites dans les couches profondes pauvres en oxygène sont transportées en direction des couches supérieures. A l'approche de la strate d'eau (métalimnion) comprise entre les eaux profondes et les eaux de surface et qui agit comme une barrière thermique et chimique, une nouvelle série de transformations chimiques attend quelques-unes de ces espèces.

Parmi les transformations possibles dans le métalimnion entre les espèces réduites provenant du fond et l'oxygène (qui subsiste à faible concentration), deux réactions retiennent l'attention : l'oxydation du Mn^{+2} dissous en manganèse particulaire, MnO_2 , et l'oxydation du Fe^{+2} dissous en fer ferrique particulaire, $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Il s'avère que l'oxydation du manganèse est un

processus bactériologique, tandis que l'oxydation du fer est un processus essentiellement chimique.



Cette transformation de deux espèces réduites et dissoutes conduit à la production de composés particuliers sous forme oxydée. Ces particules fraîchement produites dans la colonne d'eau ont tendance à sédimenter lentement vers le fond du lac. Comme les conditions sont fortement réductrices dans les strates inférieures, **ces particules peuvent y être réduites à nouveau, complétant ainsi les cycles du fer et du manganèse dans le lac.**

Si les conditions sont suffisamment réductrices au fond du lac, le fer ferreux dissous, produit par réduction du sédiment et des particules de fer provenant des strates supérieures peut se combiner à l'hydrogénosulfure pour former une nouvelle espèce non soluble, le sulfure de fer, FeS, qui précipite et sédimente lentement. Dans le cas du lac de Bret, l'hydrogénosulfure dissous est rarement observé et, *a fortiori*, le sulfure de fer.

En conclusion, les phénomènes suivants sont observés en été dans le lac de Bret :

- La stratification thermique et chimique du lac atteint son maximum.
- La forte déficience en oxygène dans les eaux profondes permet la réduction successive des nitrates, du manganèse, du fer, puis des sulfates.
- Les espèces réduites sont transportées vers les strates supérieures du lac.
- A l'approche des eaux faiblement oxygénées, le fer et le manganèse sont réoxydés en espèces particulières.
- Les particules de fer et de manganèse sédimenteront vers les eaux profondes, où elles peuvent à nouveau être réduites en espèces dissoutes.

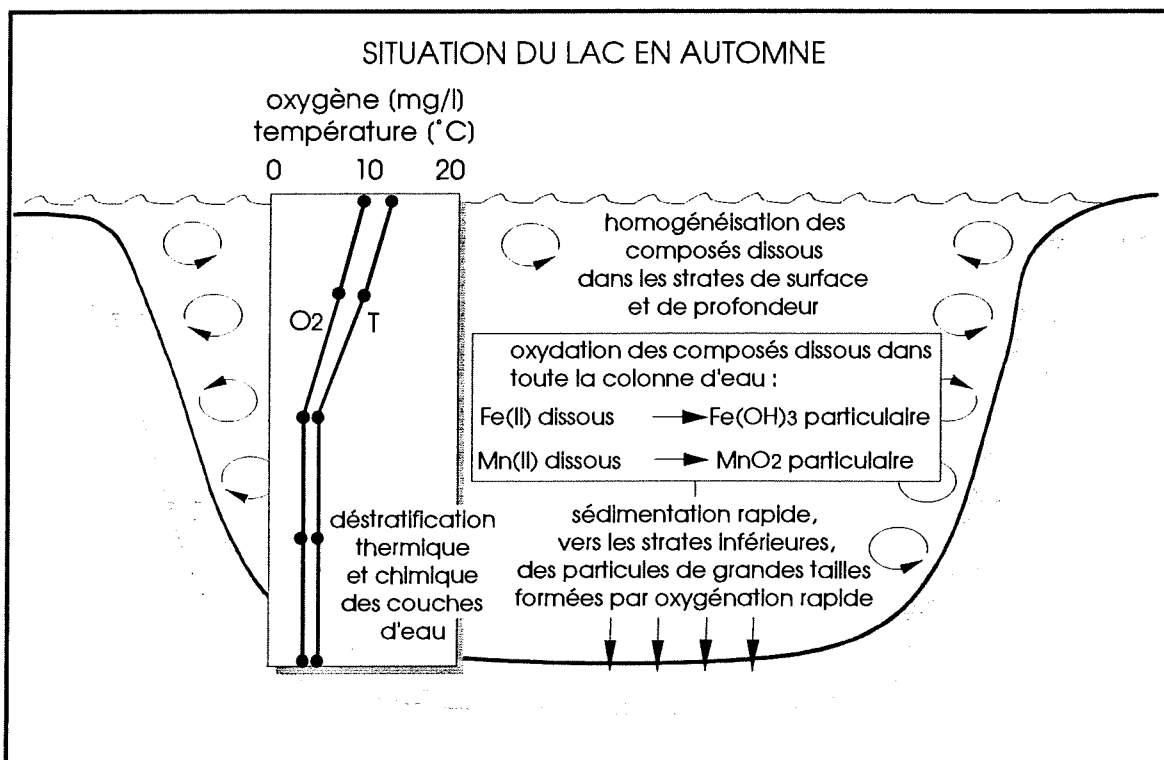
EN AUTOMNE

L'insolation s'affaiblit et l'atmosphère se refroidit, ainsi que les strates d'eau superficielles. Ces eaux plus froides "coulent" en profondeur, pour atteindre des strates de même température; **ce phénomène de déstratification thermique graduel est appelé le retournement du lac.**

Lors de ce mouvement de masses d'eau superficielles, les substances chimiques sont entraînées vers des strates plus profondes. Par conséquent, **les couches profondes, appauvries en oxygène durant toute la saison estivale, sont réoxygénées et l'environnement y devient graduellement moins réducteur.**

Les espèces dissoutes présentes dans ces strates profondes sont ainsi susceptibles d'être rapidement oxydées en leurs analogues (par exemple : Fe^{+2} dissous + $\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{\text{III}}$ particulaire, Mn^{+2} dissous + $\text{O}_2 \rightarrow \text{Mn}^{\text{IV}}$ particulaire), de manière analogue à l'oxydation de ces espèces réduites lorsque, en plein été, elles sont transportées jusque dans les strates faiblement oxygénées.

Les particules de fer et de manganèse, ainsi formées par oxygénation rapide des strates profondes, constituent des amas de grande dimension qui sédimentent rapidement vers le fond du lac.



Durant cette période, le refroidissement graduel des strates superficielles suit son cours avec, en corollaire, un effet progressif de mélange des eaux de surface et de profondeur. A l'issue de ce processus de retournement, **les substances dissoutes sont homogénéisées sur toute la profondeur du lac, tandis que la plupart des composés solides ont disparu par sédimentation rapide.**

Le cycle saisonnier du lac se termine ainsi à la fin de l'automne, avec une oxygénation complète des eaux de profondeur.

En conclusion, les phénomènes suivants sont observés en automne dans le lac de Bret :

- Le lac se déstratifie thermiquement, par refroidissement, ce qui entraîne une sédimentation des strates superficielles.
- Les composés présents dans les strates superficielles, particulièrement l'oxygène dissous, sont entraînés vers les couches profondes.
- La réoxygénation des eaux profondes provoque l'oxydation des substances qui s'y trouvaient sous forme réduite.
- Parmi les composés réoxydés, le fer et le manganèse forment des particules, qui sont rapidement sédimentées vers le fond du lac.
- Les substances dissoutes s'homogénéisent sur toute la profondeur du lac.

1.4 CONSEQUENCES DE L'EVOLUTION SAISONNIERE D'UN LAC

De nombreuses particules présentes dans les milieux aquatiques sont susceptibles d'une grande affinité pour les composés nutritifs (principalement les phosphates) et toxiques (les métaux lourds et certains composés organiques) relargués dans l'environnement. Ces particules et notamment celles produites directement dans le lac, possèdent généralement les caractéristiques suivantes :

- Taille inférieure au micromètre.
- Porosité élevée.
- Grande surface spécifique (à volume équivalent, des sphères de $0.1\mu\text{m}$ de diamètre possèdent une surface totale 100 fois supérieure à des sphères de $10\mu\text{m}$ de diamètre).
- Faible vitesse de sédimentation (la vitesse de sédimentation d'une sphère est fonction du carré de son diamètre).
- Réductibilité aisée en composés dissous (Fe^{+2} , Mn^{+2}) dans les eaux pauvres en oxygène.

Ainsi, tout composé toxique introduit dans une eau naturelle n'est pas forcément et systématiquement piégé à tout jamais à la surface des particules. Après adsorption sur une particule, cette dernière peut sédimenter au fond du lac, entraînant le composé toxique. Si la particule est relativement fragile et les eaux profondes particulièrement réductrices, elle sera réduite, libérant le toxique, qui pourra par conséquent être assimilé par le plancton puis par les organismes supérieurs. **Le cycle des composés toxiques relargués dans l'environnement dépend fortement des cycles des composés possédant une dualité "dissous/particulaire", ou "réduit/oxydé".**

1.5 CONCLUSION

Quelques principes de base des processus naturels se déroulant dans un écosystème comme le lac de Bret sont résumés ici :

- Tous les compartiments (atmosphère, sol, végétation, milieu aquatique) interagissent intimement et ne peuvent pas être considérés comme entités individuelles.
- La finalité des substances nutritives et toxiques se trouve dans les milieux

aquatiques.

- Le sol représente une source importante de transport d'espèces dissoutes et particulaires vers l'eau.
- Dans les eaux naturelles, les particules et les composés susceptibles de précipiter sont immobilisés dans le sédiment, tandis que les espèces dissoutes sont incluses dans le processus de production puis de consommation de biomasse (chaîne trophique).
- Lorsque les nutriments (nitrates, phosphates) intervenant dans la réaction de photosynthèse sont présents en trop grande concentration dans un milieu aquatique, ce dernier devient "malade" (eutrophisation) et n'est plus en mesure d'assimiler l'excès de matière biologique qui y est produite, avec consommation accrue d'oxygène dans les eaux profondes.
- Le cas échéant, la déficience en oxygène dans les eaux profondes peut être telle que des conditions réductrices s'y développent. Plusieurs espèces (composés du fer, du manganèse, du soufre) y sont alors réduites en espèces dissoutes, qui sont redistribuées dans la colonne d'eau.

Il est important de mentionner que la nature même des échantillons environnementaux, par essence hétérogènes, nécessite des techniques d'analyse sophistiquées, qui permettent par exemple de mesurer spécifiquement une espèce présente en trace ou de différencier une espèce donnée parmi ses différentes formes (le fer ferreux ou ferrique, dissous ou particulaire, lié à des complexants inorganiques ou organiques).

Il existe par conséquent un **antagonisme important entre le désir de comprendre et modéliser un écosystème sous son aspect global et les moyens mis en oeuvre pour quantifier les espèces chimiques individuelles présentes dans les différentes parties de l'écosystème**. Il est donc important de réaliser que les processus entrevus ici ne peuvent pas être généralisés sans autre.

Ainsi, le fer ferrique dissous Fe^{+3} n'est pas stable dans le lac de Bret, car ses eaux ne sont pas suffisamment acides; en revanche, il est possible de le mesurer dans des eaux naturelles mélangées aux eaux usées résultant de l'extraction industrielle de métaux.

De même, le lac de Bret développe une stratification thermique et chimique saisonnière, alors que certains autres lacs plus profonds possèdent des eaux continuellement pauvres en oxygène. On y observe par conséquent de l'hydrogènesulfure dissous HS^- , du sulfure de fer particulaire FeS , ou du méthane dissous CH_4 , en concentrations appréciables tout au long de l'année.

Finalement, on n'observe pas de fer ferreux dissous à la surface du lac de Bret, alors que cette espèce peut être mesurée dans d'autres lacs où le Fe^{+2} peut soit être transporté depuis le fond, soit directement produit par un mécanisme de photoréduction du fer ferrique particulaire, contrôlé par la radiation solaire.

2. LA CHIMIE DU FER

2.1 LE FER DE TOUTES LES COULEURS

TEMPS REQUIS

Environ 30 minutes.

BUTS DE L'EXPERIENCE

Préparer des composés de fer de colorations variées à partir de différents ligands possédant une grande affinité pour le fer. Etudier quelques équilibres de réaction impliquant le fer.

MATERIEL DE TRAVAIL

7 éprouvettes, 4 béchers 250ml, 1 cylindre gradué 50ml, pipettes Pasteur, 1 boîte de Petri.

REACTIFS

Ferrocyanure de potassium ($K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$) solide + 0.0002M, sulfate de fer ferrique ammoniacal ($NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) solide + 0.0002M (dans $KHSO_4$ 0.0002M), sulfate de fer ferreux ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), thiocyanate de potassium (KSCN), carbonate de sodium ($Na_2CO_3 \cdot H_2O$), chlorure de cobalt(II) ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$), hydrogénophosphate de sodium ($Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$), sulfate d'ammonium ($(NH_4)_2SO_4$), acide oxalique ($C_2H_2O_4$), acide tannique ($C_76H_52O_{46}$).

MANIPULATIONS

(1) Introduire dans un bécher 3-4 grosses spatules de sulfate de fer ferrique ammoniacal; ajouter 50ml d'eau et agiter.

Dans un second bécher, introduire 3-4 grosses spatules de ferrocyanure de potassium; ajouter 50ml d'eau et agiter.

NOIR

(2) Dans une éprouvette, introduire 1 pointe de spatule d'acide tannique et ajouter 5ml d'eau; agiter pour dissoudre.

Ajouter 5ml de la solution de Fe^{+3} préparée au point (1) et agiter. Observer, puis conserver l'éprouvette pour le point (12).

BRUN

(3) Dans une éprouvette, introduire 1 pointe de spatule de carbonate de sodium puis ajouter 5ml d'eau; agiter pour dissoudre.

Ajouter 5ml de la solution de Fe^{+3} préparée au point (1). Agiter pour homogénéiser.

EXPLICATIONS

(1) La première solution contient du fer ferrique, Fe^{+3} ; la seconde solution contient du fer ferreux, Fe^{+2} ; ces ions peuvent réagir avec de nombreux composés organiques et inorganiques pour former des espèces colorées.

(2) L'acide tannique a une structure complexe, qui n'est pas totalement élucidée. Il perd des protons H^+ et se complexe assez fortement au Fe^{+3} pour former un précipité noir de tannate de fer.

(3) Le carbonate de sodium est une base qui consomme les protons en solution et produit un excès d'hydroxydes OH^- . Fe^{+3} est insoluble en milieu basique et forme un précipité brun d'hydroxyde de fer, $Fe(OH)_3$.

ROUGE

(4) Dans une éprouvette, introduire 1 pointe de spatule de thiocyanate de potassium et ajouter 5ml d'eau; agiter pour dissoudre. Ajouter 5ml de la solution de Fe^{+3} préparée au point (1). Agiter pour homogénéiser.

(4) Le thiocyanate réagit rapidement avec le Fe^{+3} pour former un complexe soluble de thiocyanate de fer et de potassium, $\text{K}_3\text{Fe}(\text{SCN})_6$ très fortement coloré en rouge. Cette réaction est couramment utilisée pour identifier la présence de Fe^{+3} dans des échantillons inconnus.

BLEU

(5) Dans une éprouvette, introduire 5ml de la solution de Fe^{+2} préparée au point (1). Ajouter 5ml de la solution de Fe^{+3} préparée au point (1). Agiter pour homogénéiser.

(5) Le ferrocyanure de potassium est un sel de fer ferreux; le pigment préparé par addition de Fe^{+3} est le bleu de Prusse, également appelé bleu de Chine, bleu de Berlin ou bleu de Paris; sa composition est probablement $\text{KFe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{CN})_6$ ou $\text{Fe}_4^{\text{III}}(\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6)_3$. Le complexe absorbe la composante rouge-jaune de la lumière et est par conséquent bleu. L'énergie de la lumière absorbée permet une oxydation-réduction mutuelle ($\text{Fe}^{+2} + \text{Fe}^{+3} \leftrightarrow \text{Fe}^{+3} + \text{Fe}^{+2}$).

VERT

(6) Dans une éprouvette, introduire 1 pointe de spatule de chlorure de cobalt; ajouter 5ml d'eau; agiter pour dissoudre. Ajouter 5ml de la solution de Fe^{+2} préparée au point (1). Agiter pour homogénéiser.

(6) Le ferrocyanure réagit avec 2 ions cobalt (Co^{+2}) et précipite sous la forme d'un pigment vert complexe de ferrocyanure de cobalt ($\text{Co}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$).

JAUNE

(7) Dans une éprouvette, introduire 1 spatule d'acide oxalique et ajouter 5ml d'eau; agiter pour dissoudre le sel. Ajouter 5ml de la solution de Fe^{+3} préparée au point (1) et agiter. Observer, puis conserver l'éprouvette pour le point (12).

(7) L'acide oxalique (HOOC-COOH) se dissocie dans l'eau, pour former de l'oxalate et des protons. Les ions oxalate possèdent une grande affinité pour l'ion Fe^{+3} et forment avec ce dernier un complexe jaune, $\text{Fe}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$.

BLANC

(8) Dans une éprouvette, introduire 1 pointe de spatule de sulfate de fer ferreux et 1 pointe de spatule de sulfate d'ammonium; ajouter 5ml d'eau et agiter. Ajouter 5ml de la solution de Fe^{+2} préparée au point (1). Agiter pour homogénéiser.

(8) Le fer ferreux contenu dans le sulfate de fer réagit avec le fer ferreux contenu dans le ferrocyanure de potassium, pour former un complexe peu soluble, connu sous le nom de blanc de Berlin, $\text{Fe}^{\text{II}}(\text{NH}_4)_2\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6$. Ce composé, produit commercialement, est aisément transformé en bleu de Prusse

par oxydation au moyen de dichromate de sodium, $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, ou de chlorate de sodium, NaClO_3 , en milieu acide concentré à ébullition (H_2SO_4).

DU ROUGE A L'INCOLORE ET VICE VERSA : DEPLACEMENTS D'UN EQUILIBRE

(9) Dans un bécher, introduire 1-2 spatules de thiocyanate de potassium, puis 20ml d'eau; agiter pour dissoudre le sel et homogénéiser. Couvrir le fond d'une boîte de Petri avec cette solution.

Ajouter, à la pipette, quelques gouttes de la solution de Fe^{+3} préparée au point (1) et observer l'évolution de la coloration du mélange, sans agiter.

(10) Ajouter au centre de la boîte de Petri 1-2 petits cristaux d'hydrogénophosphate de sodium et observer la décoloration, sans agiter.

Il est possible d'inverser la réaction en ajoutant ensuite quelques cristaux de thiocyanate de potassium au centre de la boîte.

(9) La réaction entre le Fe^{+3} et le thiocyanate (SCN^-) est identique à celle décrite au point (4), avec formation de thiocyanate de fer et potassium, $\text{K}_3\text{Fe}(\text{SCN})_6$, coloré en rouge intense.

(10) L'ion phosphate PO_4^{-3} possède une affinité pour l'ion Fe^{+3} plus élevée que l'ion thiocyanate. La présence de phosphate dans la solution rouge de thiocyanate de fer permet la décomplexation de ce dernier et la formation d'un nouveau composé, le phosphate de fer ferrique incolore.

DU VERT AU BLEU : LE COURS D'UNE REACTION

(11) Introduire 10ml de solution de ferrocyanure de potassium 0.0002M dans une éprouvette.

Ajouter 10ml de solution de sulfate de fer ferrique ammoniacal 0.0002M, agiter rapidement et observer attentivement les changements de coloration.

(11) Cette réaction est équivalente à celle décrite au point (5). Comme les 2 solutions sont fortement diluées, il est possible d'observer l'évolution incolore/jaunâtre à vert, puis bleu. Contrairement aux réactions décrites au point (10), il ne s'agit pas ici d'un déplacement d'équilibre, mais de formation lente d'un produit final.

DU NOIR AU JAUNE : LE COMPLEXANT LE PLUS FORT

(12) Verser le contenu de l'éprouvette préparée au point (7) dans l'éprouvette préparée au point (2) et observer le changement de coloration.

(12) L'éprouvette avec l'oxalate de fer ferrique contient un excès d'oxalate. Lorsque cette solution est versée dans la solution contenant le composé noir de tannate de fer ferrique, le mélange résultant passe au jaune caractéristique de l'oxalate de fer ferrique. En effet, l'oxalate est un complexant du fer plus puissant que le tannate; le complexe de tannate de fer se dissocie et la coloration noire disparaît.

Le bleu de Prusse $KFe^{II}Fe^{III}(CN)_6$ ou $Fe_4^{III}(Fe^{II}(CN)_6)_3$, pigment utilisé depuis 1700, ainsi que le rouge de fer Fe_2O_3 (hématite; rouge vénitien, indien, de Chine, de Berlin) utilisés depuis l'antiquité, sont deux substances inorganiques largement employées dans la préparation de pigments colorés.

Les pigments idéaux sont chimiquement inertes; ils ne réagissent pas avec la matière à colorer et sont insolubles dans le solvant dans lequel ils sont dispersés, tandis que les teintures sont des composés en solution dans un solvant et qui réagissent, chimiquement ou physiquement, avec la matière à colorer. La nuance d'un pigment dépend de sa nature chimique et de sa structure cristalline. Par exemple, le blanc de titane, TiO_2 , largement utilisé dans les peintures pour artistes, existe sous les formes cristallines rutile, légèrement crème, et anatase, d'un blanc pur. Il en est de même pour les différentes formes du jaune de chrome ($PbCrO_4$, jaune citron, américain, de Paris, de Baltimore; pigment utilisé depuis 1800).

2.2 LA PHOTOGRAPHIE PAR LE FER

TEMPS REQUIS

Environ 30 minutes.

BUTS DE L'EXPERIENCE

Imprimer une image sur un T-shirt par processus de réduction au moyen de la lumière du soleil; démontrer l'effet de la lumière sur la réduction du fer ferrique.

MATERIEL DE TRAVAIL

1 T-shirt ou carré de coton, 1 carton épais, 1 paire de ciseaux, 1 pinceau, 2 béchers 50ml, 1 grande éprouvette, 1 cylindre gradué 50ml, 1 flash pour appareil de photographie.

REACTIFS

Citrate de fer ferrique ammoniacal (formule brute non connue), ferricyanure de potassium ($K_3Fe(CN)_6$), nitrate de fer ferrique ($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$), acide oxalique ($C_2H_2O_4$), acétate de sodium (CH_3COONa), acide sulfurique (H_2SO_4) 0.5M, orthophénanthroline ($C_{12}H_8N_2 \cdot HCl \cdot H_2O$) 0.1%.

MANIPULATIONS

PHOTOGRAPHIE SUR T-SHIRT

(1) Découper une figure, un logo, ou un texte dans un carton épais. Cette opération est optionnelle si la figure, le logo ou le texte est directement écrit au pinceau sur le tissu au point (3).

EXPLICATIONS

(1) Le chablon préparé pour cette manipulation fait office de négatif. L'image qui sera imprimée sur le tissu représentera par conséquent les parties manquantes de ce chablon.

(2) Introduire 10g de citrate de fer ferrique ammoniacal (environ 10ml, solide) dans un bécher; ajouter 30ml d'eau et agiter pour dissoudre; homogénéiser.

Dans un second bécher, procéder de même avec 10g de ferricyanure de potassium.

AVEC GANTS ET LUNETTES DE SECURITE, DANS L'OBSCURITE OU EN LUMIERE ATTENUÉE.

Mélanger ces 2 solutions et homogénéiser.

(3) AVEC GANTS ET LUNETTES DE SECURITE, DANS L'OBSCURITE OU EN LUMIERE ATTENUÉE.

Si le chablon sera utilisé, appliquer abondamment au pinceau le mélange préparé ci-dessus sur la surface du tissu de coton ou du T-shirt, puis laisser sécher. Si le chablon ne sera pas utilisé, tracer directement le logo désiré avec le mélange et laisser sécher.

(4) Sur une surface plane, positionner correctement le chablon préparé au point (1) sur le tissu sec, puis exposer l'ensemble à la lumière du soleil.

Observer l'évolution de la coloration du tissu. Lorsque la luminosité est faible (temps couvert), le processus d'impression peut prendre plus de 30 minutes.

Lorsque l'impression de la figure est achevée, rincer le tissu à l'eau.

(2) Le citrate de fer ammoniacal et le ferricyanure de potassium contiennent du fer ferrique (Fe^{+3}). Le mélange des solutions produit un composé contenant $\text{Fe}_2(\text{CN})_6$ de couleur brun-vert; ce composé se dégrade rapidement en présence de lumière.

(3) Le tissu est imbibé de solution de $\text{Fe}_2(\text{CN})_6$. Plus le tissu absorbe de réactif, plus l'impression sera intensément colorée. Tant que le composé est conservé à l'abri de la lumière, il ne réagit pas et le tissu conserve une coloration brun-vert.

(4) En présence de lumière et de citrate, l'un des 2 ions Fe^{+3} du composé préparé précédemment est réduit en ion ferreux Fe^{+2} ; la lumière agit en tant que source de réduction. L'ion ferreux réagit avec le ferricyanure $\text{Fe}(\text{CN})_6^{-3}$, pour former le bleu de Prusse $\text{KFe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{CN})_6$ ou $\text{Fe}_4^{\text{III}}(\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6)_3$. Seules les zones du tissu exposées à la lumière se colorent en bleu. Le tissu peut ultérieurement être lavé pour éliminer les résidus de réactifs.

Ce procédé est encore utilisé de nos jours pour produire les épreuves (blueprints) des plans d'architecture, bien qu'il soit de plus en plus remplacé par la photocopie grand format. Le papier à épreuve est imbibé des réactifs, puis le plan d'architecture, dessiné sur papier calque, est positionné sur ce papier réactif et exposé à une lumière intense. L'épreuve résultante est produite avec des lignes blanches sur un fond bleu. Il est possible d'obtenir des nuances de bleus en utilisant les réactifs à des concentrations différentes.

L'ACTINOMETRE AU FER

(1) Dans une grande éprouvette, introduire 1 pointe de spatule de nitrate de fer ferrique et 1 pointe de spatule d'acide oxalique; ajouter 10ml d'eau, puis agiter.

PORTER GANTS ET LUNETTES DE SECURITE.

Ajouter 1 spatule pleine d'acétate de sodium et, lentement, 4ml d'acide sulfurique; agiter pour homogénéiser.

Ajouter 10ml de solution d'orthophénanthroline et homogénéiser.

(1) Le mélange contient de l'oxalate de fer ferrique, $\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{-3}$ dans un tampon acétate de sodium/acide sulfurique. L'orthophénanthroline est un complexant puissant et spécifique du fer ferreux. La solution reste verdâtre, car elle ne contient que du Fe^{+3} .

(2) Au moyen d'un flash électronique pour appareil photographique, éclairer la solution et observer le changement de coloration.

(2) La solution passe rapidement au rouge-orangé, indiquant que le fer ferrique a été réduit en fer ferreux, complexé par l'orthophénanthroline (1 ion Fe^{+2} pour 3 molécules d'orthophénanthroline). Cette réaction est équivalente à la réduction du fer ferrique par la lumière ambiante dans l'expérience précédente.

Le processus de réduction dans les 2 expériences est relativement complexe. La lumière fournit suffisamment d'énergie au composé organique (le citrate précédemment, l'oxalate dans cette expérience), qui cède un électron au Fe^{+3} pour le réduire en Fe^{+2} . Le composé organique s'oxyde en dioxyde de carbone CO_2 . Dans cette expérience, le système chimique agit comme actinomètre, c'est-à-dire comme instrument de mesure de l'intensité lumineuse reçue. Plus la puissance reçue est élevée, plus le rendement de réduction du fer est grand et, par conséquent, plus la solution se colore intensément en rouge-orangé.

2.3 FER, CORROSION ET OXYDATION-REDUCTION

TEMPS REQUIS

Environ 30 minutes.

BUTS DE L'EXPERIENCE

Etudier la corrosion du fer métallique dans différentes conditions et comparer l'oxydabilité de quelques métaux.

MATERIEL DE TRAVAIL

Béchers 50ml et 250ml, 2 erlenmeyers 250ml, éprouvettes, 1 cylindre gradué 10ml, 1 cylindre gradué 100ml, pipettes Pasteur, 2 clous, 1 pile 9V, 2 câbles électriques avec pinces crocodile.

REACTIFS

Fer métallique (Fe), cuivre métallique (Cu), zinc métallique (Zn), étain métallique (Sn), magnésium métallique (Mg), nitrate de fer ferrique ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), sulfate de fer ferreux ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), acide sulfurique (H_2SO_4) 0.5M, thiocyanate de potassium (KSCN), peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée; H_2O_2) 6%, chlorure d'étain ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), acide chlorhydrique (HCl) concentré, orthophénanthroline ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{HCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$) 0.1%, chlorure de sodium (NaCl), hydroxyde de sodium (NaOH) 1M.

MANIPULATIONS

(1) Introduire 1/2 spatule de fer métallique dans un bécher; ajouter 30ml d'eau, 2-3 spatules de chlorure de sodium et 10 gouttes d'acide chlorhydrique. Agiter et attendre environ 15 minutes (passer à l'expérience suivante).

EXPLICATIONS

(1) Le fer métallique est oxydé en fer ferreux, Fe^{+2} . La réaction est accélérée en présence d'acide et d'électrolyte. Le chlorure de sodium, entièrement dissocié dans l'eau, agit comme électrolyte, en transportant efficacement les charges résultant du transfert

(2) A la fin de la corrosion, transvaser la solution du bécher (mais pas le fer métallique) dans 2 éprouvettes.

Ajouter dans la première éprouvette 2ml de solution d'orthophénanthroline.

Dans la seconde éprouvette, ajouter 2ml de solution de peroxyde d'hydrogène; agiter et ajouter 1 pointe de spatule de thiocyanate de potassium.

Agiter les 2 éprouvettes pour homogénéiser et observer les colorations.

Ces méthodes d'identification sont non seulement qualitatives (détermination du fer sous formes ferreuse, Fe^{+2} , et ferrique, Fe^{+3}), mais également semi-quantitatives, puisque la coloration est d'autant plus intense que la quantité de fer oxydé produite est élevée.

Les phénomènes de corrosion sont problématiques en métallurgie et en construction. Tandis qu'il est parfois possible de substituer une pièce en fer ou en acier par son équivalent en aluminium, le béton armé doit contenir des tiges de fer. Les ouvrages en béton sont constamment soumis aux pluies qui contiennent des acides et des électrolytes. Ces substances pénètrent lentement et insidieusement dans le béton et corrodent l'armature métallique. Il en résulte une dégradation rapide, connue sous le nom de cancer du béton. La corrosion du fer est un phénomène qui rend le fer poreux et qui continue son cours en profondeur. Le dioxyde de carbone, CO_2 , présent dans l'atmosphère, diffuse également dans le béton; lorsque celui-ci est humide, il y a "carbonatation", c'est-à-dire formation d'acide carbonique, H_2CO_3 , qui agit également dans le sens de la corrosion des armatures en fer; celles-ci perdent leur résistance et se détachent du béton, qui s'effrite.

La rouille est le produit final de la corrosion du fer métallique. Le Fe^{+2} produit par oxydation forme de l'hydroxyde de fer ferreux, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, qui est ensuite oxydé par l'oxygène de l'air en hydroxyde de fer ferrique, $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Ce dernier composé se transforme ensuite par vieillissement et modifications structurales en oxyde de fer, Fe_2O_3 .

La corrosion peut également prendre place entre différentes sections d'un même métal contenant des impuretés ou entre 2 métaux de nature différente. Il est par exemple possible de protéger le fer métallique contre les phénomènes de corrosion en le connectant à du zinc métallique. Le zinc s'oxyde en Zn^{+2} plus facilement que le fer, tandis que l'oxygène de l'air se réduit en hydroxyle à la surface du fer humide, qui agit ainsi comme transporteur d'électrons, sans être transformé. Le principe, bien que coûteux, est utilisé entre autres pour la production de tôles de fer pour les automobiles, zinguées par procédé de galvanisation, et pour la protection des conduites métalliques.

Le fer métallique rouille; c'est un phénomène naturel et tout à fait compréhensible. En effet,

d'électrons. L'oxydation du fer provoque la réduction du proton H^+ , provenant de l'acide chlorhydrique, en hydrogène (présence de bulles à la surface du fer métallique).

(2) Le Fe^{+2} réagit dans la première éprouvette avec l'orthophénanthroline pour former un complexe fortement coloré en rouge-orangé. Dans la seconde éprouvette, le Fe^{+2} est oxydé par le peroxyde d'hydrogène en fer ferrique Fe^{+3} , qui réagit avec le thiocyanate pour former un complexe rouge intense.

le fer est principalement présent dans la croûte terrestre sous forme d'oxydes de Fe^{III} et il est nécessaire d'imposer des conditions drastiques à un minerai (températures supérieures à 1500°C) pour en extraire du fer métallique. Celui-ci tendra par conséquent à s'oxyder lentement pour retourner à l'état d'oxyde, plus stable.

(3) Introduire 1 spatule de nitrate de fer ferrique dans un erlenmeyer; ajouter 100ml d'eau; agiter pour dissoudre. Ajouter 1 pipette de solution d'hydroxyde de sodium, agiter pour homogénéiser et observer la transformation.

(3) Le Fe^{+3} contenu dans le nitrate de fer ferrique forme un hydroxyde insoluble brun, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, en milieu basique. Ce composé est l'un des produits de la réaction de corrosion du fer métallique.

(4) Procéder de même, mais en remplaçant le nitrate de fer ferrique par le sulfate de fer ferreux. Continuer d'agiter l'erlenmeyer durant quelques minutes, jusqu'à modification totale de la coloration de la solution.

(4) Le Fe^{+2} contenu dans le sulfate de fer ferreux forme un hydroxyde insoluble vert, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, en milieu basique. Le Fe^{+2} du $\text{Fe}(\text{OH})_2$ est peu stable, particulièrement en milieu basique, et s'oxyde rapidement en Fe^{+3} en présence d'oxygène dissous dans la solution. Ce Fe^{+3} précipite sous la forme d'hydroxyde $\text{Fe}(\text{OH})_3$ brun.

Les hydroxydes de fer ferreux, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ vert, et de fer ferrique, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ brun, sont des composés intervenant aussi bien dans la corrosion du fer métallique que dans les processus environnementaux.

Il est intéressant de noter les caractéristiques des espèces environnementales du fer : le fer ferreux, Fe^{+2} , est stable sous forme hydratée en milieu relativement acide et exempt d'oxygène; en milieu basique non oxygéné, cet ion précipite sous la forme d'hydroxyde de fer ferreux, $\text{Fe}(\text{OH})_2$; en présence d'oxygène, le fer ferreux, sous forme Fe^{+2} ou $\text{Fe}(\text{OH})_2$, est oxydé en fer ferrique, sous forme Fe^{+3} en milieu acide ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$ en milieu basique; la réaction est accélérée en milieu basique. Le fer ferrique, Fe^{+3} , n'est stable sous forme hydratée qu'en milieu fortement acide. Dès que le milieu devient basique, il y a formation d'hydroxyde de fer, conduisant à l'espèce insoluble $\text{Fe}(\text{OH})_3$. En milieu appauvri en oxygène, il est possible de réduire le fer ferrique en fer ferreux.

(5) Introduire 1 petite pointe de spatule de sulfate de fer ferreux dans une éprouvette; ajouter 4ml d'acide sulfurique et agiter pour dissoudre et homogénéiser. Ajouter 1 pointe de spatule de thiocyanate de potassium et agiter.

(5) Le sulfate de fer ferreux est stable en milieu acide. D'autre part, aucune coloration n'est observée, car le thiocyanate complexe spécifiquement le fer ferrique. Si la solution se colore initialement, cela signifie que le sulfate de fer ferreux est déjà partiellement oxydé par l'humidité de l'air.

(6) Ajouter 5ml de solution de peroxyde d'hydrogène, agiter pour homogénéiser et observer la coloration du mélange résultant.

(6) Le peroxyde d'hydrogène oxyde le fer ferreux Fe^{+2} en fer ferrique Fe^{+3} . Celui-ci est complexé par le thiocyanate, pour former le composé rouge $\text{K}_3\text{Fe}(\text{SCN})_6$. Le permanganate de potassium, KMnO_4 , en très faible quantité, conduit au même résultat.

(7) Ajouter des petites quantités de chlorure d'étain dans l'éprouvette précédente, jusqu'à décoloration complète de la solution.

(8) PORTER GANTS ET LUNETTES DE SECURITE.

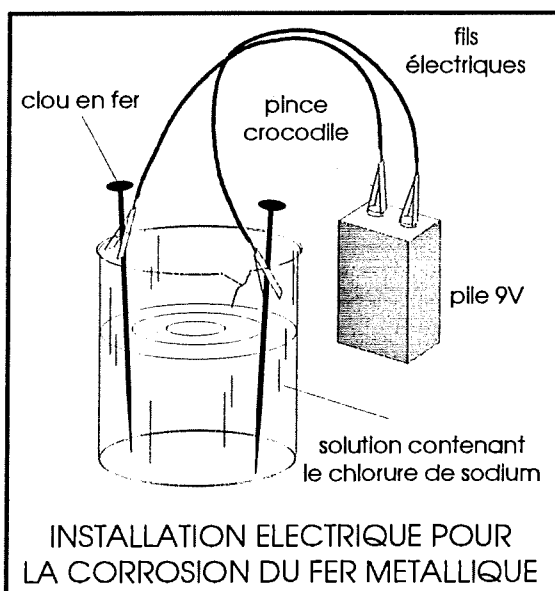
Préparer 5 éprouvettes contenant 5ml d'eau; ajouter lentement 5ml d'acide chlorhydrique concentré dans chaque éprouvette; agiter pour homogénéiser.

Ajouter successivement dans les éprouvettes 1/2 spatule de cuivre métallique, d'étain métallique, de fer métallique, de zinc métallique, et, **très précautionneusement et très lentement**, de magnésium métallique. Observer le dégagement de gaz dans chaque éprouvette.

(9) Introduire, dans un bécher, 100ml d'eau et 5 spatules de chlorure de sodium; agiter pour homogénéiser.

Préparer l'installation électrique selon la figure ci-dessous.

Introduire les 2 électrodes dans la solution (ne pas les mettre en contact direct) et observer l'évolution de la solution durant quelques minutes.



La réaction présentée au point (9) est du même type que les réactions présentées aux points (1) et (3). En effet, le fer métallique s'oxyde en fer ferreux, puis en fer ferrique, qui est la forme la plus stable du fer dans des conditions oxygénées. Dans la dernière expérience, la force

(7) L'étain Sn^{+2} contenu dans le chlorure d'étain s'oxyde aisément en Sn^{+4} . Parallèlement, Fe^{+3} se réduit en Fe^{+2} ; la coloration rouge de la solution disparaît car le thiocyanate ne forme pas de complexe coloré avec le Fe^{+2} ou avec le Sn^{+4} .

(8) Les protons H^+ de l'acide chlorhydrique oxydent les différents métaux. Tandis que chaque métal, M, est oxydé en M^{+2} , le proton est réduit en hydrogène gazeux, H_2 . Il apparaît que l'ordre de réactivité de ces différents métaux, mesuré par l'activité de production d'hydrogène (formation de bulles) est dans l'ordre $\text{Mg} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Sn} > \text{Cu}$ (le magnésium s'oxyde le plus facilement).

(9) Les 2 clous en fer reliés à la pile 9V sont les électrodes qui permettent la réaction d'oxydation-réduction suivante : à l'électrode négative (cathode; voir à cet effet les explications données dans le module 2, l'Eau), un dégagement gazeux indique que de l'hydrogène est produit à partir de la réduction de l'eau. A l'électrode positive (anode), un précipité verdâtre est produit, qui est lentement transporté en solution. Le fer de l'anode est oxydé en fer ferreux, Fe^{+2} , qui précipite sous forme d'hydroxyde de fer ferreux, $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Le chlorure de sodium, entièrement dissocié en solution, permet de transporter les charges électriques au travers du circuit (pile + électrodes + solution) et par conséquent d'accélérer la réaction d'oxydation-réduction. L'hydroxyde de fer ferreux peu stable s'oxyde, en présence d'oxygène dissous, en hydroxyde de fer ferrique, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, brun, qui précipite également. Ce dernier composé est initialement observé en surface du bécher, où la concentration en oxygène est plus élevée qu'au sein de la solution.

qui permet le processus d'oxydation est appelée force électromotrice; il s'agit d'une force électrique, fournie par la pile. Contrairement à l'oxydation "naturelle" par l'oxygène dissous dans la solution, l'oxydation "électrique" est une réaction forcée, qui est par conséquent beaucoup plus rapide. A l'issue de l'expérience, on observe que l'anode est corrodée, puisque le fer métallique qui la constitue est partiellement consommé pour produire le fer ferreux puis le fer ferrique. En revanche, la cathode, sur laquelle l'eau a été réduite en gaz hydrogène, H_2 , est intacte; le fer métallique de cette électrode est par conséquent protégé anodiquement. Ce principe de protection est utilisé pour éviter la corrosion de tuyauteries métalliques.

2.4 FER ET MAGNETISME

TEMPS REQUIS

Environ 30 minutes.

BUT DE L'EXPERIENCE

Identifier des composés du fer influencés par un champ magnétique.

MATERIEL DE TRAVAIL

1 mortier avec pilon, 1 petit aimant, 1 aimant très puissant, 5 éprouvettes, 1 capsule de porcelaine, pipettes Pasteur, 1 bec Bunsen, fil, 1 pince en bois, petits tubes de verre.

REACTIFS

Soufre (S), fer métallique (Fe), acide chlorhydrique (HCl) 0.1M, sulfate de fer ferrique ($Fe_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$), sulfate de fer ferreux ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), ferrocyanure de potassium ($K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$), ferricyanure de potassium ($K_3Fe(CN)_6$).

MANIPULATIONS

(1) Placer 2 spatules de soufre et 2-3 spatules de fer métallique dans un mortier. Si l'expérience doit être effectuée quantitativement plutôt que qualitativement, peser 3.2-5g de soufre (excès) et 5.6g de fer. Broyer finement ce mélange jusqu'à l'obtention d'une poudre homogène. Placer une feuille de papier au-dessus du mortier et vérifier que la poudre est attirée par un petit aimant placé sur la feuille.

EXPLICATIONS

(1) Le fer métallique et le soufre ne réagissent pas lors du broyage. Les atomes de fer contiennent 26 électrons, répartis dans des couches successives; les 8 électrons de valence (c'est-à-dire ceux susceptibles de former des liaisons avec d'autres atomes pour créer des molécules) se répartissent dans 5 couches de même énergie sous forme de 6 électrons appariés et 2 électrons non appariés (célibataires). Ces 2 électrons subissent l'influence de l'aimant en s'alignant dans la direction du champ magnétique.

(2) Chauffer une capsule de porcelaine au-dessus d'un bec Bunsen et verser lentement les 3/4 de la poudre préparée au point précédent (conserver le reste de la poudre pour le point suivant). Lorsque le soufre fond, le mélange devient incandescent; il est alors possible de retirer la capsule de la flamme pour observer la montée du front incandescent. Laisser refroidir.

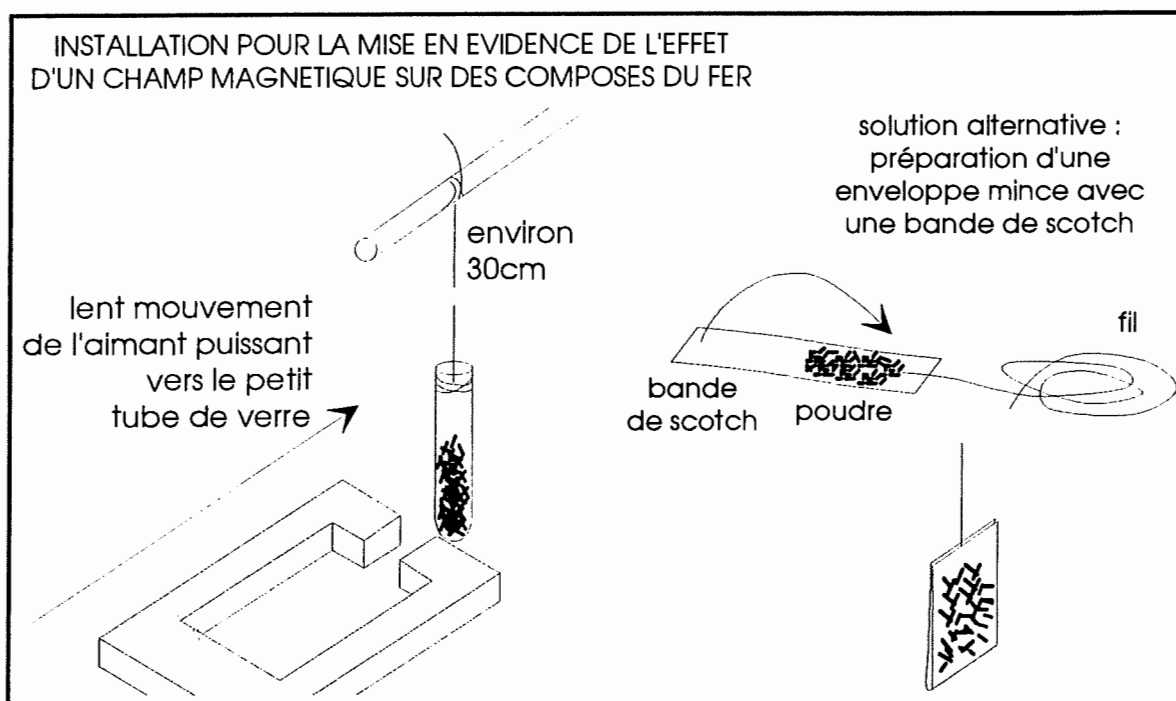
(3) Récupérer la masse de sulfure de fer produite dans la capsule de porcelaine. Approcher le petit aimant de la masse solide et observer son influence (comparer l'effet du champ magnétique avec le fer métallique seul et avec le mélange de poudre fer-soufre restant).

Introduire une petite quantité du sulfure de fer dans une éprouvette et ajouter quelques gouttes d'acide chlorhydrique; observer l'ébullition et humer **rapidement** les effluves.

(2) A haute température, une réaction d'oxydation-réduction prend place entre le fer et le soufre. Le soufre, plus avide en électrons que le fer, capte 2 électrons de ce dernier; le soufre se réduit par conséquent (S^{-2}) en oxydant le fer (Fe^{+2}). Le composé produit lors de cette réaction est le sulfure de fer, FeS , insoluble; la réaction est d'autant plus complète qu'elle a lieu en présence d'un excès de soufre.

(3) Le fer du sulfure de fer ne possède plus que 6 électrons de valence, qui sont tous appariés; par conséquent, ils ne peuvent pas subir l'influence du champ magnétique généré par l'aimant. Si le produit de la réaction est sensible au champ magnétique de l'aimant, cela signifie que du fer métallique est encore présent. Les protons de la solution d'acide chlorhydrique réagissent avec le sulfure de fer; sa décomposition produit de l'acide sulfhydrique gazeux, H_2S , dont l'odeur d'oeuf pourri est caractéristique.

L'acide sulfhydrique est très toxique, mais son seuil de détection par le nez est suffisamment bas et son odeur tellement incommodante, pour que le danger d'intoxication soit faible, contrairement à d'autres gaz. Ainsi, le monoxyde de carbone, CO , est inodore, tandis que l'acide cyanhydrique, HCN , à l'odeur d'amande amère, n'est généralement détecté que lorsque sa concentration toxique est déjà dépassée.



(4) Placer, dans 4 petits tubes de verre, du sulfate de fer ferrique, du sulfate de fer ferreux, du ferricyanure de potassium, respectivement du ferrocyanure de potassium.

Fixer un fil de 30-35cm à l'extrémité supérieure de chaque petit tube, selon le schéma de la page précédente.

Suspendre ces petits tubes et stabiliser leur mouvement. Approcher lentement l'aimant de chaque tube et observer leurs différences de comportement.

(4) L'ampleur de ce phénomène dépend directement du nombre d'électrons de valence célibataires du fer; plus il est élevé plus le composé est fortement attiré par un champ magnétique externe. L'ordre dans lequel les éprouvettes sont attirées par l'aimant est le suivant : $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (5 électrons célibataires) > FeSO_4 (4 électrons célibataires) > $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (1 électron célibataire) > $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ (effet nul, tous les électrons sont appariés). Il est possible d'effectuer cette expérience en déposant les sels de fer sur une bande de scotch qui est ensuite repliée sur elle-même (enveloppe légère); cependant, les charges électrostatiques accumulées sur le scotch sont susceptibles de perturber son mouvement en présence du champ magnétique.

Bien que 6 électrons soient présents autour du fer ferreux et 5 autour du fer ferrique, il n'y a pas systématiquement le même nombre d'électrons non appariés autour du fer. Ce nombre est dicté par la nature des anions (sulfate, cyanure) associés au fer.

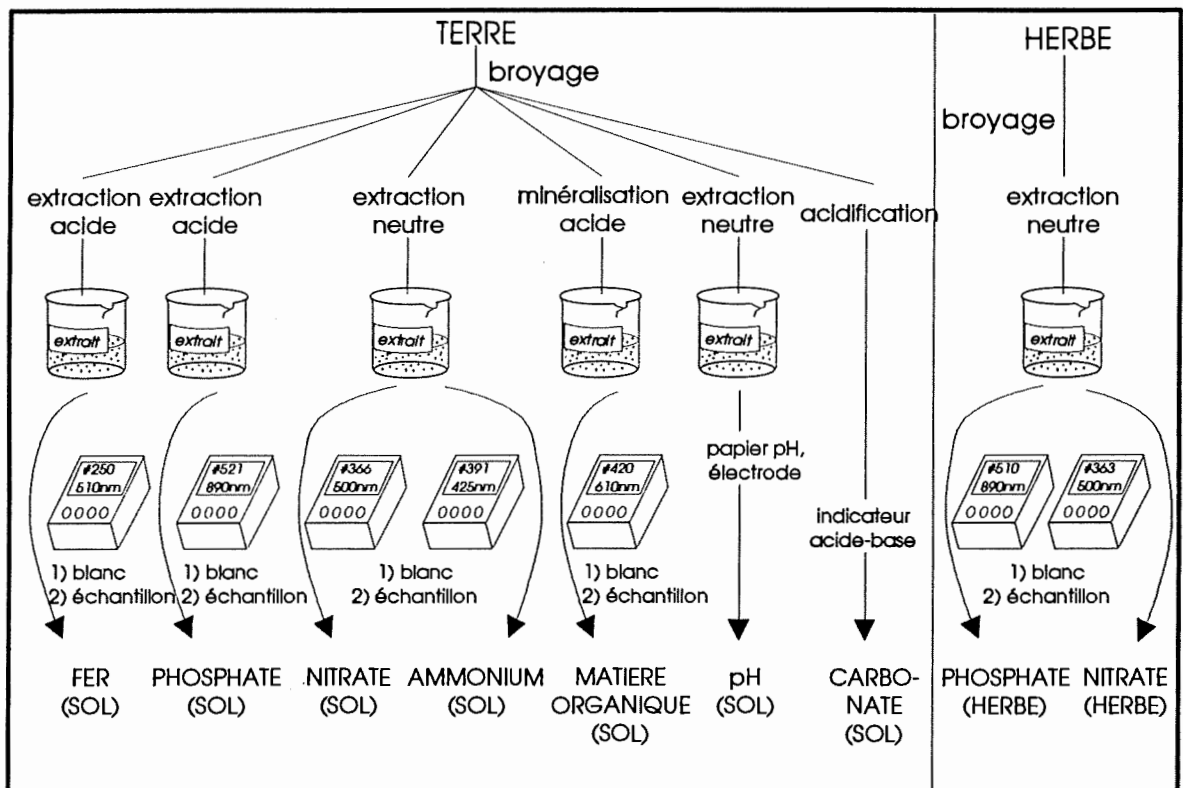
Lorsque, à l'échelle atomique, les électrons non appariés d'une substance s'alignent dans le sens des lignes de force du champ magnétique (c'est le cas des composés du fer testés dans cette expérience), la substance est dite paramagnétique. Inversement, lorsque ces électrons s'alignent dans le sens inverse, le composé est dit diamagnétique. D'autres phénomènes plus complexes, collectifs, conduisent au ferromagnétisme ou à l'anti-ferromagnétisme.

3. LA CHIMIE DES SOLS (TERRE, HERBE)

Consigner les résultats des analyses dans le tableau présent à la fin du classeur.

Il existe une grande similarité entre les différentes analyses décrites dans ce chapitre (voir également la figure ci-dessous) :

- 1) Prélèvement d'un échantillon (terre, herbe).
- 2) Extraction sélective du composé d'intérêt dans l'échantillon : récupération des composés à analyser en minimisant les interférences.
- 3) Réglage des conditions optimales d'analyse sur l'instrument de mesure
- 4) Transformation chimique du composé à analyser en substance colorée.
- 5) Analyse de l'échantillon : détermination de la concentration de cette substance.



L'instrument de mesure utilisé pour ce module est un spectrophotomètre très simple, qui fournit rapidement des résultats d'analyse fiables. Un spectrophotomètre émet un faisceau de lumière (dont la longueur d'onde peut être précisément sélectionnée) en direction de l'échantillon coloré à analyser; la quantité de lumière absorbée par l'échantillon est directement proportionnelle à la concentration de substance colorée dans l'échantillon.

Le spectrophotomètre de terrain utilisé pour ce module permet la détermination directe des concentrations de substances d'intérêt dans les échantillons analysés; en effet, il a été étalonné spécifiquement pour les différents composés présents dans l'environnement. Le dosage quantitatif d'un composé particulier ne requiert que le réglage de l'instrument à la longueur d'onde optimale et la mise à zéro de l'instrument, avec une solution appelée "blanc", qui ne contient pas le composé à mesurer.

3.1 DETERMINATION DU FER DANS LA TERRE

TEMPS REQUIS

Environ 15 minutes.

BUTS DE L'EXPERIENCE

Echantillonner un sol (terre); préparer une fraction de sol dédiée à la détermination quantitative du fer; mesurer le fer dans l'échantillon.

MATERIEL DE TRAVAIL

1 petite pelle, 1 grand mortier avec pilon, 1 bécher 50ml, 1 cylindre gradué 50ml, 2 grandes éprouvettes, 1 bouchon en caoutchouc, 1 pipette graduée 5ml, 1 feutre, 1 balance, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

REACTIFS

Acide chlorhydrique (HCl) 0.1M, gélules de réactif FerroVer[®], terre.

MANIPULATIONS

EXPLICATIONS

ECHANTILLONNAGE DE LA TERRE

Prélever un volume de terre d'environ 50ml, dans un sol sec et homogène en surface; ne pas inclure cailloux, gravier ou sable. Placer cet échantillon de terre dans un grand mortier et broyer finement. Conserver le stock de terre broyée dans un bécher, pour toutes les analyses subséquentes à effectuer.

L'échantillon de sol, que l'on considère ici comme représentatif du bassin versant proche du lac de Bret, est broyé pour faciliter les extractions subséquentes.

Il est difficile d'échantillonner un sol de manière représentative, celui-ci étant par nature inhomogène, tant verticalement (strates, appelées horizons), qu'horizontalement. Plusieurs procédures d'échantillonnage statistiques ont été développées pour assurer des prélèvements représentatifs; ces méthodes ne sont pas utilisées ici, car elles impliquent un nombre considérable de prélèvements et d'analyses.

EXTRACTION ACIDE

Peser 10g de sol broyé dans une grande éprouvette; ajouter 20ml d'acide chlorhydrique. Boucher l'éprouvette avec un bouchon en caoutchouc et agiter durant 5 minutes. Laisser décanter, puis récupérer le surnageant le moins turbide possible dans une éprouvette étiquetée "Fe-sol" pour l'analyse du fer.

Le fer présent dans les particules constituant le sol est partiellement extrait en milieu acide chlorhydrique. La procédure optimale consisterait à dissoudre toutes les phases solides contenant du fer (oxydes de fer, argiles), au moyen d'un acide concentré très agressif (acide fluorhydrique, acide nitrique), à chaud, durant plusieurs heures. D'autre part, il serait plus exact de filtrer la

suspension après l'extraction acide. Cependant, cette opération est lente, car les particules en suspension bouchent le filtre.

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #250, longueur d'onde 510nm.
Introduire 2.5ml de l'extrait "Fe-sol" dans une cellule colorimétrique, compléter à 25ml avec de l'eau, homogénéiser et mesurer le blanc (touche ZERO).

La longueur d'onde optimale de mesure est 510nm. La mise à zéro de l'instrument pour le blanc corrige les effets de turbidité provoqués par les particules encore présentes en suspension et qui sont susceptibles d'absorber une partie du faisceau lumineux.

MESURE DU FER DANS LA TERRE

Introduire 2.5ml de l'extrait "Fe-sol" dans une cellule colorimétrique; compléter à 25ml avec de l'eau.
Ajouter le contenu d'une gélule de réactif FerroVer[®], homogénéiser et enclencher le minuteur.
A l'issue de la période de réaction (3 minutes), mesurer la concentration de fer dans l'échantillon.

Le réactif pour le fer contient un réducteur qui convertit le fer ferrique en fer ferreux, ainsi qu'un complexant spécifique du fer ferreux (orthophénanthroline) qui colore la solution en rouge-orangé; l'intensité de coloration du composé formé est fonction de la concentration initiale de fer dans l'échantillon de terre.

Le complexant orthophénanthroline ajouté à l'échantillon permet la formation du complexe $\text{Fe}(\text{phénanthroline})_3^{+2}$ rouge-orangé, dont l'absorption maximale de lumière est à 510nm. Cette méthode est sélective au fer ferreux exclusivement; le réducteur inclus dans le réactif permet la mesure du fer total (ferreux + ferrique) dans l'échantillon.

3.2 DETERMINATION DES PHOSPHATES DANS LA TERRE

TEMPS REQUIS

Environ 15 minutes.

BUTS DE L'EXPERIENCE

Préparer une fraction de sol dédiée à la détermination quantitative des phosphates; mesurer les phosphates dans l'échantillon.

MATERIEL DE TRAVAIL

1 cuillère à terre (3.5cm³), 1 cylindre gradué, 2 grandes éprouvettes, 1 bouchon caoutchouc, 1 pipette graduée 1ml, 1 feutre, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

REACTIFS

Gélules d'extraction SoilExtractant1[®], gélules de réactif PhosVer3[®], échantillon de terre broyée.

MANIPULATIONS

EXTRACTION ACIDE

Introduire 1 cuillère à terre de sol broyé dans une grande éprouvette; ajouter le contenu d'une gélule SoilExtractant1[®].

Ajouter 25ml d'eau, boucher l'éprouvette et agiter durant 30 secondes.

Laisser décanter, puis récupérer le surnageant clarifié dans une éprouvette étiquetée "PO₄-sol" pour l'analyse des phosphates.

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #521, longueur d'onde 890nm.

Introduire 0.5ml de l'extrait "PO₄-sol" dans une cellule colorimétrique, compléter à 25ml avec de l'eau, homogénéiser et mesurer le blanc (touche ZERO).

MESURE DES PHOSPHATES DANS LA TERRE

Introduire 0.5ml de l'extrait "PO₄-sol" dans une cellule colorimétrique; compléter à 25ml avec de l'eau.

Ajouter le contenu d'une gélule Phosver3[®], homogénéiser et enclencher le minuteur.

Mesurer la concentration de phosphates dans l'échantillon après 2 minutes.

Les ions phosphate et molybdate forment, en milieu acide, un complexe phosphomolybdate jaune, qui est ensuite réduit par l'acide ascorbique (vitamine C); un composé bleu, de structure controversée, est formé; son absorption de lumière est maximale à 890nm.

EXPLICATIONS

Les ions phosphate sont extraits en milieu acide en présence d'un excès de fluorure. Le réactif d'extraction contient de plus un agent flocculant permettant de coaguler et sédimenter rapidement la terre.

La longueur d'onde optimale de mesure est 890nm. La mise à zéro de l'instrument corrige les effets de turbidité provoqués par les particules encore présentes en solution.

Le réactif solide pour les phosphates contient du molybdate de sodium et de l'acide ascorbique; il conduit à la formation d'un complexe bleu, dont l'intensité de coloration est fonction de la concentration initiale de phosphates dans l'échantillon de terre.

3.3 DETERMINATION DES NITRATES DANS LA TERRE

TEMPS REQUIS

Environ 15 minutes.

BUTS DE L'EXPERIENCE

Préparer une fraction dédiée à la détermination quantitative des nitrates et de l'ammonium; mesurer les nitrates dans l'échantillon.

MATERIEL DE TRAVAIL

1 cuillère à terre (3.5cm³), 1 cylindre gradué, 3 grandes éprouvettes, 1 bouchon en caout-

chouc, 1 pipette graduée 1ml, 1 feutre, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

REACTIFS

Réactif d'extraction NitrateExtraction[®] (flacon muni d'un bouchon-distributeur), gélules de réactif NitraVer6[®], gélules de réactif NitriVer3[®], échantillon de terre broyée.

MANIPULATIONS

EXPLICATIONS

EXTRACTION NEUTRE

Introduire 1 cuillère à terre de sol broyé dans une grande éprouvette; ajouter 25ml d'eau, puis 2 doses de réactif NitrateExtraction[®], au moyen du bouchon-distributeur. Boucher l'éprouvette et agiter durant 30 secondes.

Laisser décanter, puis récupérer le surnageant clarifié dans une éprouvette étiquetée "NO₃-NH₄-sol" pour l'analyse des ions nitrate et ammonium.

Les ions nitrate et ammonium sont très solubles dans l'eau. Le réactif d'extraction contient un agent flocculant permettant de coaguler et sédimenter rapidement la terre (voir à ce sujet l'expérience de simulation de station d'épuration, dans le module 2, "l'Eau").

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #366, longueur d'onde 500nm. Introduire 1ml de l'extrait "NO₃-NH₄-sol" dans une cellule colorimétrique, compléter à 25ml avec de l'eau, homogénéiser et mesurer le blanc (touche ZERO).

La longueur d'onde optimale de mesure est 500nm. La mise à zéro de l'instrument pour le blanc corrige les effets de turbidité provoqués par les particules encore présentes en solution.

MESURE DES NITRATES DANS LA TERRE

(1) Introduire 1ml de l'extrait "NO₃-NH₄-sol" dans une grande éprouvette (conserver le reste de l'extrait pour l'analyse 3.4); ajouter 24ml d'eau.

Ajouter le contenu d'une gélule NitraVer6[®] et boucher l'éprouvette; enclencher le minuteur et agiter vigoureusement et de manière constante durant 3 minutes.

Réenclencher le minuteur (2 minutes) et laisser l'échantillon reposer.

(1) Cette première étape permet la réduction des ions nitrate, NO₃⁻, en ions nitrite, NO₂⁻, par du cadmium métallique qui s'oxyde en ion Cd⁺², en milieu acide. L'excès de cadmium est éliminé par décantation au fond de l'éprouvette.

(2) Transvaser précautionneusement le sur-nageant dans une cellule colorimétrique. Ajouter le contenu d'une gélule de réactif NitriVer3[®]; homogénéiser et enclencher le minuteur.

Mesurer la concentration de nitrates dans l'échantillon après 10 minutes.

(2) Lors de cette seconde réaction, un composé coloré rouge-orangé est formé; sa concentration, mesurée à 500nm, est directement proportionnelle à la concentration d'ions nitrate dans l'échantillon de terre.

Après réduction des nitrates par le cadmium contenu dans la gélule NitraVer6[®], les nitrites formés réagissent avec l'acide sulfanilique en milieu acide pour former un sel de diazonium. Ce dernier réagit avec l'acide chromotrope contenu dans la gélule NitriVer3[®], pour former un composé organique complexe rouge-orangé, dont l'absorption maximale de lumière se situe à 500nm. Dans le cas des nitrates, la technique et le temps d'agitation revêtent une grande importance dans la reproductibilité des analyses; des résultats exacts et reproductibles ne peuvent être obtenus qu'en respectant rigoureusement les conditions d'agitation.

3.4 DETERMINATION DE L'AMMONIUM DANS LA TERRE

TEMPS REQUIS

Environ 15 minutes.

BUT DE L'EXPERIENCE

Déterminer quantitativement l'azote sous forme d'ammonium présent dans un échantillon de terre.

MATERIEL DE TRAVAIL

1 pipette graduée, 1 cylindre gradué, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

REACTIFS

Réactif en solution AmmoniaNitrogen1[®], réactif en solution Nessler[®], extrait "NO₃-NH₄-sol".

MANIPULATIONS

EXPLICATIONS

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #391, longueur d'onde 425nm.

Introduire 25ml d'eau dans une cellule colorimétrique, ajouter 6 gouttes de réactif AmmoniaNitrogen1[®] et homogénéiser.

Ajouter 1ml de réactif Nessler[®], homogénéiser, puis enclencher le minuteur.

Effectuer la mise à zéro de l'instrument de mesure avec le blanc (touche ZERO) après 1 minute.

La longueur d'onde optimale de mesure est 425nm. La mise à zéro de l'instrument pour l'échantillon blanc corrige la coloration provoquée par le réactif AmmoniaNitrogen1[®].

MESURE DE L'AMMONIUM DANS LA TERRE

Introduire 1ml d'extrait "NO₃-NH₄-sol" préparé auparavant dans une cellule colorimétrique; ajouter 24ml d'eau et 6 gouttes de réactif AmmoniaNitrogen¹[®]; homogénéiser.

Ajouter 1ml de réactif de Nessler[®], homogénéiser et enclencher le minuteur.

Mesurer la concentration d'ammonium dans l'échantillon après 1 minute.

Le réactif AmmoniaNitrogen¹[®] permet de complexer le calcium et le magnésium présents dans l'échantillon, qui interfèrent avec la détermination de l'ion ammonium. Le réactif de Nessler[®] permet la formation d'un composé jaune par réaction avec l'ammonium (formation de Hg₂OINH₂), dont la concentration est déterminée à 425nm.

3.5 DETERMINATION DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LA TERRE

TEMPS REQUIS

Environ 20 minutes.

BUTS DE L'EXPERIENCE

Préparer une fraction de sol dédiée à la détermination quantitative de la matière organique; mesurer la matière organique dans l'échantillon.

MATERIEL DE TRAVAIL

2 erlenmeyers 250ml, 1 cylindre gradué 50ml, 1 grande éprouvette, 1 entonnoir, papiers filtre plissés, 1 feutre, 1 balance, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

REACTIFS

Acide sulfurique (H₂SO₄) concentré (18.2M), dichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) 0.17M, échantillon de terre broyée.

MANIPULATIONS

MINERALISATION DE LA MATIERE ORGANIQUE

PORTER GANTS ET LUNETTES DE SECURITE.

Peser 1g de terre broyée dans un erlenmeyer (échantillon); ajouter 10ml de solution de dichromate de potassium. Ajouter lentement 20ml d'acide sulfurique.

Dans un second erlenmeyer (blanc), ajouter 10ml de solution de dichromate de potassium, puis 20ml d'acide sulfurique.

Enclencher le minuteur et agiter fréquemment. Après 10 minutes, ajouter 230ml d'eau dans chaque erlenmeyer.

Filter l'échantillon sur 2-3 papiers filtre plissés, dans une éprouvette étiquetée "C_{org}-sol".

EXPLICATIONS

La matière organique est oxydée en dioxyde de carbone par le dichromate en milieu fortement acide; le dichromate, Cr₂O₇⁻² (Cr⁺⁶), de couleur jaune-orangé est réduit en chrome trivalent (Cr⁺³), de coloration verte. Le blanc reste limpide et il n'est pas nécessaire de le filtrer.

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #420, longueur d'onde 610nm.
Introduire la solution de blanc dans une cellule colorimétrique et effectuer la mise à zéro de l'instrument (touche ZERO).

La longueur d'onde optimale de mesure est 610nm. La mise à zéro de l'instrument avec le blanc permet de corriger l'erreur provoquée par la coloration des réactifs.

MESURE DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LA TERRE

Introduire 25ml de l'échantillon "C_{org}-sol" dans une cellule colorimétrique et mesurer la concentration de matière organique dans l'échantillon. Multiplier le résultat par 2.

La coloration verte (chrome trivalent, Cr⁺³) qui apparaît est directement proportionnelle à la concentration de matière organique présente dans l'échantillon.

3.6 MESURE DU pH; MISE EN EVIDENCE DES CARBONATES DANS LA TERRE

TEMPS REQUIS

Environ 15 minutes.

BUTS DE L'EXPERIENCE

Déterminer semi-quantitative la concentration en protons et mettre en évidence qualitativement la présence de carbonates dans un échantillon de terre.

MATERIEL DE TRAVAIL

3 béchers 250ml, 1 entonnoir, 1 baguette de verre, 2 grandes éprouvettes, 1 bouchon en caoutchouc à 2 trous, 1 tuyau en caoutchouc, 1 seringue avec petit raccord en caoutchouc, papiers filtre plissés, 1 rouleau de papier indicateur de pH, 1 électrode de mesure de l'acidité des sols, 1 balance.

REACTIFS

Acide chlorhydrique (HCl) concentré, bleu de bromothymol (C₁₉H₉O₅SBr₄Na) 0.04%, échantillon de terre broyée.

MANIPULATIONS

pH DE LA TERRE

(1) Peser 50g de terre sèche dans un bécher; ajouter 50ml d'eau; agiter avec une baguette de verre pour diviser la terre et l'homogénéiser au mieux.
Laisser décanter, puis filtrer le surnageant sur un entonnoir muni d'un papier filtre plissé, en récupérant le filtrat dans un second bécher.

EXPLICATIONS

(1) L'acidité ou l'alcalinité d'un sol est exprimée par la concentration en protons H⁺ labiles, c'est-à-dire extraits dans l'eau. La filtration permet de récupérer un échantillon d'eau contenant les substances solubles (dont celles qui gouvernent l'acidité ou l'alcalinité) et d'éliminer les substances solides.

(2) Déterminer semi-quantitativement le pH de la solution filtrée, au moyen de papier pH.

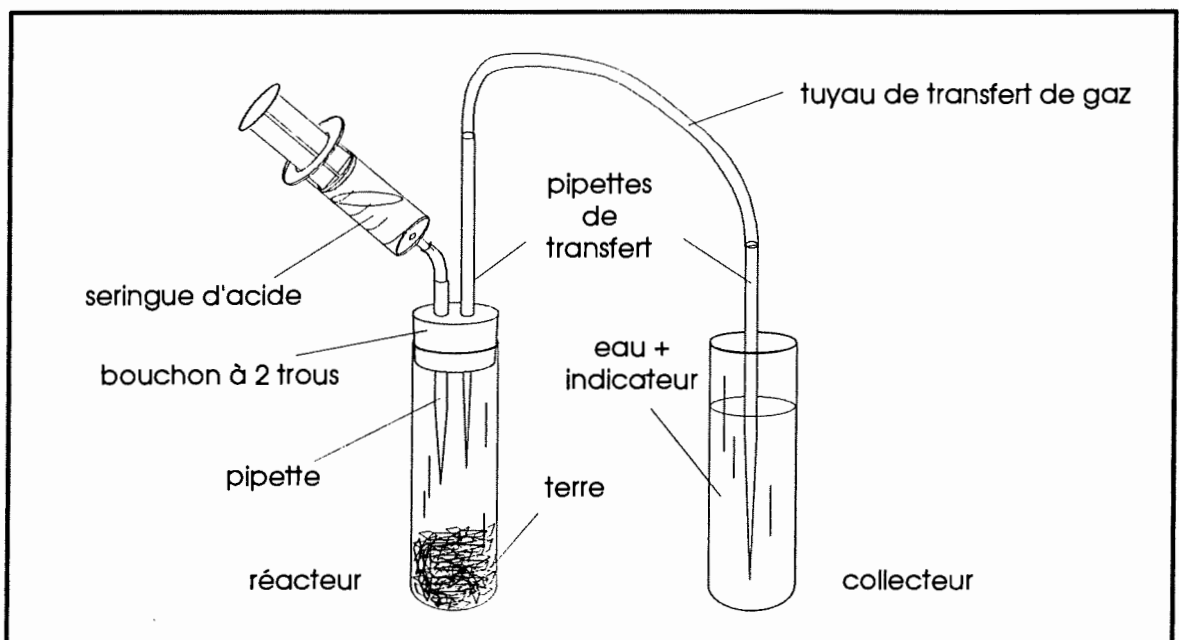
(3) Enfoncer lentement l'électrode de mesure de l'acidité dans le sol exempt de pierres, de telle manière que les 2 anneaux métalliques soient entièrement enfouis. Observer la déflexion de l'aiguille vers la droite de l'échelle indicatrice, puis son déplacement vers la gauche. Laisser l'aiguille se stabiliser environ 5 minutes avant d'effectuer la lecture du pH du sol. Comparer cette valeur à celle obtenue au point précédent.

(2) La coloration du papier pH permet de déterminer si le sol est plutôt acide (pH inférieur à 5), neutre (pH compris entre 5 et 8), ou basique (pH supérieur à 8).

(3) L'instrument de mesure de l'acidité des sols est composé de 2 anneaux d'argent entre lesquels une différence de courant très faible est appliquée. La différence de potentiel mesurée entre ces 2 anneaux est reliée à la concentration de protons dans le milieu analysé. La mesure n'est possible que dans un sol légèrement humide, permettant le passage du faible courant entre les 2 anneaux.

Lorsqu'un sol est trop acide, les composés présents sous forme solide (hydroxydes de fer, oxydes de manganèse, carbonates de calcium, oxydes d'aluminium) sont partiellement solubilisés; la concentration de ces éléments augmente dans la phase aqueuse du sol et ils peuvent être transportés (phénomènes de lessivage des sols, drainage, percolation).

De nombreux composés (métaux lourds Cu^{+2} , Zn^{+2} , Cd^{+2} , Ni^{+2} , pour ne citer que les plus fréquents) ont tendance à s'adsorber à la surface des phases solides présentes dans un sol et donc à être immobilisés. Si le sol se solubilise partiellement, les composés adsorbés sont relargués dans la phase aqueuse et peuvent être assimilés par les bactéries et plantes, voire être transportés jusqu'à une rivière ou un lac. Cuivre, zinc, fer, aluminium sont nécessaires pour la croissance des plantes, mais ils deviennent toxiques à trop haute concentration. Inversement, lorsqu'un sol est trop basique, les phosphates, absolument nécessaires pour la croissance des végétaux, sont immobilisés dans les sols sous forme de phosphates de calcium et de magnésium, insolubles. Le pH idéal d'un sol est proche de 6.5.



PRESENCE DE CARBONATES DANS LA TERRE

Préparer le montage de la figure précédente. Introduire environ 5cm de terre sèche au fond de l'éprouvette de réaction; introduire environ 20ml d'eau et quelques gouttes de bleu de bromothymol dans l'éprouvette réceptrice.

Diluer 10ml d'acide chlorhydrique dans 10ml d'eau et remplir une seringue avec cette solution; connecter la seringue à l'éprouvette de réaction et y introduire lentement le volume d'acide.

Agiter et observer le dégagement de gaz ainsi que la modification de la coloration de la solution dans l'éprouvette réceptrice. Il peut être nécessaire de rajouter de l'acide.

L'acide chlorhydrique réagit avec de nombreux composés présents dans la terre. Les carbonates de calcium et de magnésium sont solubilisés et de l'acide carbonique, H_2CO_3 , est produit. L'acide carbonique se décompose en eau et en dioxyde de carbone gazeux, CO_2 , qui est transporté dans l'éprouvette réceptrice, où il se dissout dans l'eau pour reformer de l'acide carbonique, qui acidifie la solution et colore l'indicateur en jaune.

3.7 DETERMINATION DES PHOSPHATES DANS L'HERBE

TEMPS REQUIS

Environ 15 minutes.

BUTS DE L'EXPERIENCE

Echantillonner de l'herbe; préparer une fraction d'herbe dédiée à la détermination quantitative des phosphates et des nitrates; mesurer les phosphates dans l'échantillon.

MATERIEL DE TRAVAIL

1 grand mortier avec pilon, 1 paire de ciseaux, 1 cylindre gradué 50ml, 2 grandes éprouvettes, 1 entonnoir, papiers filtre plissés, 1 pipette graduée 1ml, 1 feutre, 1 balance, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

REACTIFS

Charbon actif (C), gélules de réactif PhosVer3[®], herbe.

MANIPULATIONS

ECHANTILLONNAGE DU VEGETAL (HERBE)

Prélever quelques poignées d'herbe; les ciseler avec une paire de ciseaux; récolter le tout dans un bécher.

EXPLICATIONS

Pour une analyse précise, les végétaux sont séchés avant extraction. Ici, on considèrera qu'ils contiennent 80% d'eau; 1g de matière fraîche prélevée correspond à environ 0.2g de matière sèche. Comme pour les échantillons de terre, il est difficile d'échantillonner les végétaux de manière représentative.

EXTRACTION NEUTRE

Peser 1.25g d'herbe hâchée; introduire cette herbe dans un mortier; broyer pour casser les fragments végétaux puis ajouter 50ml d'eau.

Ajouter 2-4 spatules de charbon actif; agiter pour homogénéiser.

Attendre 2 minutes et filtrer dans une éprouvette surmontée d'un entonnoir muni de 2 papiers filtre plissés (la filtration est longue).

Le filtrat est purifié avec une seconde fraction de charbon actif (1 spatule suffit), puis refiltré dans une éprouvette étiquetée "NO₃-PO₄-herbe"; la solution finale peut être encore légèrement teintée.

Les ions nitrate et phosphate présents dans les végétaux sont très solubles dans l'eau. Il est cependant nécessaire de décolorer la solution avec du charbon actif avant de procéder aux analyses (voir à cet effet l'expérience de purification de solutions odorantes et colorées, dans le module 3, "le Carbone").

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #510, longueur d'onde 890nm. Introduire 1ml de l'extrait "NO₃-PO₄-végétaux" dans une cellule colorimétrique, compléter à 25ml avec de l'eau, homogénéiser et mesurer le blanc (touche ZERO).

La procédure de mesure est identique à la méthode employée au point 3.2 (détermination des phosphates dans l'échantillon de terre).

MESURE DES PHOSPHATES DANS L'HERBE

Introduire 1ml de l'extrait "NO₃-PO₄-herbe" dans une cellule colorimétrique (conserver le reste de l'extrait pour l'analyse de l'ion nitrate).

Compléter à 25ml avec de l'eau. Ajouter le contenu d'une gélule de réactif PhosVer3[®], homogénéiser et enclencher le minuteur.

Mesurer la concentration de phosphates dans l'échantillon après 2 minutes.

Comme lors de la détermination des phosphates dans la terre, les phosphates extraits des végétaux réagissent avec le molybdate pour former un composé jaune, qui est réduit en un composé bleu par l'acide ascorbique et qui est mesuré à 890nm.

3.8 DETERMINATION DES NITRATES DANS L'HERBE

TEMPS REQUIS

Environ 10 minutes.

BUT DE L'EXPERIENCE

Déterminer quantitativement l'azote sous forme de nitrates, présent dans un échantillon d'herbe.

MATERIEL DE TRAVAIL

1 pipette graduée 10ml, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

REACTIFS

Gélules de réactif NitraVer5[®], extrait "NO₃-PO₄-herbe".

MANIPULATIONS

EXPLICATIONS

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #363, longueur d'onde 500nm.

Introduire 10ml de l'extrait "NO₃-PO₄-herbe", préparé précédemment, dans une cellule colorimétrique, compléter à 25ml avec de l'eau, homogénéiser et mesurer le blanc (touche ZERO).

La méthode est identique à la méthode employée au point 3.3 (détermination des nitrates dans l'échantillon de terre).

MESURE DES NITRATES DANS L'HERBE

Introduire 10ml de l'extrait "NO₃-PO₄-herbe" dans une cellule colorimétrique.

Compléter à 25ml avec de l'eau, ajouter le contenu d'une gélule de réactif NitraVer5[®]; homogénéiser et enclencher le minuteur.

Mesurer la concentration de nitrates dans l'échantillon après 5 minutes.

L'ensemble des réactifs présents dans la gélule NitraVer5 permettent la réduction des nitrates en nitrites et la transformation des nitrites en sel de diazonium, puis en composé coloré.

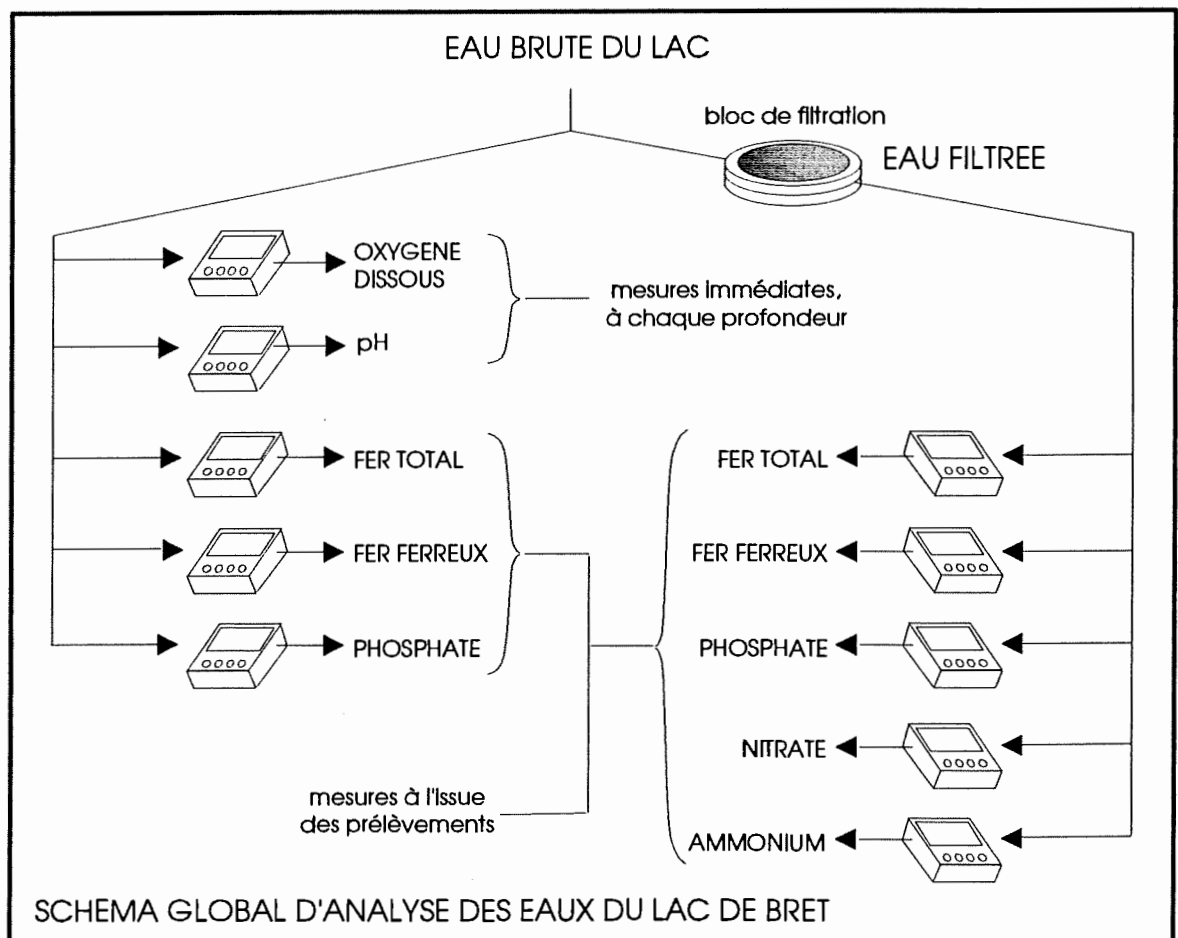
Les nitrates sont réduits en nitrites par le cadmium; les nitrites réagissent avec l'acide sulfanilique en milieu acide pour former un sel de diazonium, qui réagit avec l'acide gentisique, pour former un composé organique complexe, de couleur ambre, dont l'absorption maximale de lumière se situe à 500nm. Cette méthode rapide est environ 3000 fois moins sensible que celle utilisée pour la détermination des nitrates dans les échantillons de terre.

4. LA CHIMIE DES EAUX

Consigner l'ensemble des résultats des analyses d'eau brute et filtrée dans le tableau présent à la fin du classeur.

La procédure globale d'échantillonnage et d'analyse de l'eau du lac de Bret est résumée sur la figure ci-dessous; les opérations à suivre pour la caractérisation des échantillons sont les suivantes :

- Préparation du matériel de prélèvement (montage des installations de pompage et de filtration; étalonnage du pH-mètre; préparation des flacons de prélèvement); ces opérations, effectuées avant tout prélèvement, sont décrites au point 4.1.
- Prélèvement des échantillons bruts et filtrés à 4 profondeurs; **les déterminations du pH et de l'oxygène dissous sont effectuées à chaque profondeur, directement lors du prélèvement; en revanche, les autres composés ne sont analysés qu'à l'issue de tous les prélèvements**; les opérations de prélèvement sont décrites au point 4.1 et les mesures de pH et d'oxygène dissous le sont aux points 4.2 et 4.3.
- Analyse des échantillons après prélèvements : détermination du fer total, du fer ferreux, des phosphates, des nitrates et de l'ammonium dans les échantillons bruts et filtrés; ces mesures sont décrites aux points 4.4 à 4.8.



4.1 PREPARATION DU MATERIEL; PRELEVEMENT D'ECHANTILLONS

TEMPS REQUIS

Environ 20 minutes.

BUTS DE L'EXPERIENCE

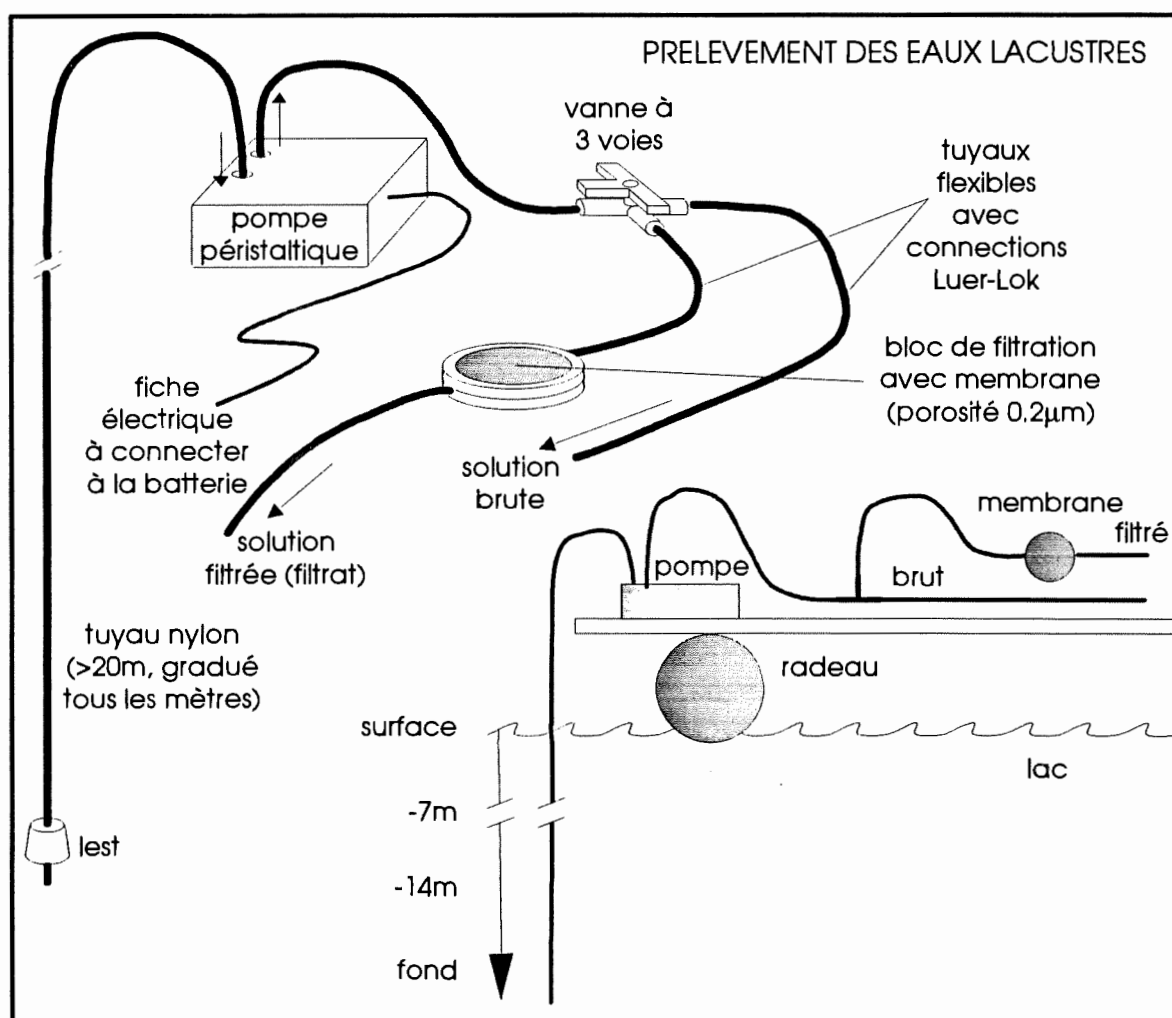
Préparer toute l'installation de prélèvement; étalonner le pH-mètre; échantillonner l'eau du lac de Bret à différentes profondeurs.

MATERIEL DE TRAVAIL

Pipettes Pasteur, 1 pompe péristaltique avec tuyau, 1 bloc filtrant avec membranes de filtration (porosité $0.2\mu\text{m}$, diamètre 90mm, nitrate de cellulose) et vanne 3 voies, 8 flacons de prélèvement en polyéthylène (250ml), 1 accumulateur 12V, 1 lest, 1 corde, 1 pH-mètre Metrohm 704 avec électrode et accessoires.

REACTIFS

Acide chlorhydrique (HCl) 1M, solution tampon pH=7.0, solution tampon pH=4.0.



MANIPULATIONS

EXPLICATIONS

PREPARATION DU MATERIEL DE PRELEVEMENT

(1) Préparer le matériel de prélèvement selon la figure de la page précédente. Munir le bloc filtrant d'une membrane de filtration (0.2 μ m de porosité).

(2) Pour chacune des 4 profondeurs à échantillonner (surface; -7m; -14m; fond), étiquetter 2 flacons de prélèvement en plastique, en mentionnant "brut" et la profondeur sur un flacon ainsi que "filtré" et la profondeur sur un autre flacon. Ajouter 2-3 gouttes d'acide chlorhydrique au fond des 8 flacons étiquetés; les boucher en attente des prélèvements.

L'ajout d'acide dans les échantillons permet de bloquer temporairement leur évolution biologique et chimique entre le prélèvement et l'analyse. Cette précaution est d'autant plus importante lorsque les analyses doivent être effectuées au laboratoire quelques heures après le prélèvement.

Après prélèvement, le pH des échantillons est proche de 4; cependant, les échantillons contiennent des composés dissous faiblement basiques (principalement les bicarbonates HCO₃⁻), qui neutralisent partiellement l'acide ajouté; le pH final des échantillons est donc légèrement supérieur à 4 (il peut être contrôlé au moyen du pH-mètre).

ETALONNAGE DU pH-METRE

Rincer l'électrode à l'eau entre chaque mesure; **l'extrémité inférieure est un bulbe de verre fragile, qui est à manipuler avec précaution.**

Enclencher le pH-mètre et étalonner sa réponse au moyen de la solution de tampon pH=7.0, puis de la solution de tampon pH=4.0. Il est nécessaire d'indiquer la température des tampons à l'instrument. Le pH-mètre s'éteint automatiquement après 5 minutes de non utilisation, sans conséquence sur l'étalonnage préalable.

(1) Le matériel est constitué d'un tuyau en nylon, lesté et connecté à une pompe péristaltique à vitesse variable (le rotor de pompe comporte des galets qui, en tournant, écrasent le tuyau et forcent le transport de la solution par création d'une dépression). A la sortie de la pompe, l'échantillon brut peut être prélevé directement, ou filtré avant prélèvement, pour les analyses subséquentes.

(2) Les préparatifs consistent à pré-acidifier les flacons de prélèvement avec HCl 1M. Lorsque les flacons seront remplis avec les échantillons d'eau du lac, ils seront acidifiés à un pH proche de 4.

Le pH-mètre est un instrument permettant de déterminer la concentration en protons H⁺ dans une solution. Il est constitué d'une électrode connectée à un voltmètre de précision, qui mesure la différence de tension électrique entre l'intérieur et l'extérieur de l'électrode; cette différence de tension est proportionnelle à la concentration en protons dans la solution mesurée.

PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS D'EAU LACUSTRE

Pour chaque profondeur à échantillonner (surface, -7m, -14m, fond), effectuer les manipulations suivantes :

Enclencher la pompe péristaltique et positionner l'ensemble corde + lest + tuyau à la profondeur de prélèvement désirée.

Purger l'ensemble du tuyau de prélèvement durant environ 2 minutes et remplir le flacon de prélèvement "brut".

Purger le bloc filtrant durant quelques secondes pour éliminer les bulles d'air, puis remplir le flacon de prélèvement "filtré"

Respecter les précautions suivantes : ne laisser la pompe connectée sur la sortie du bloc filtrant que lorsque l'échantillon "filtré" doit être prélevé; si la membrane de filtration donne des signes de colmatage, munir le bloc filtrant d'une nouvelle membrane).

Avant de prélever les échantillons à la profondeur suivante, effectuer immédiatement les expériences 4.2 (mesure du pH) et 4.3 (dosage de l'oxygène dissous).

Répéter ensuite l'ensemble des manipulations pour les profondeurs suivantes.

Les échantillons portant la mention "brut" contiennent l'ensemble des composés présents dans le lac à la profondeur de prélèvement, c'est-à-dire les composés dissous et les composés sous forme de particules. Ces particules ne sont en revanche pas présentes dans les échantillons portant la mention "filtré", puisque l'eau du lac passe au-travers d'une membrane de 0.2 μ m de porosité. Il est important de ne pas surcharger la membrane de filtration, car elle se colmate rapidement, particulièrement dans les eaux riches en micro-algues. La pompe péristaltique permet d'échantillonner de l'eau sans que celle-ci soit en contact avec des pièces métalliques, qui contamineraient les fractions prélevées (cette précaution est extrêmement importante pour l'étude de traces de polluants).

Il est clair que des particules de taille inférieure à la taille des pores de la membrane existent dans les eaux naturelles. On considère cependant que la limite de 0.2 μ m est suffisante pour différencier les composés dissous des composés particulaires, puisque la quantité de particules de taille inférieure à 0.2 μ m devient négligeable par rapport à la quantité de particules de taille supérieure.

Cette différenciation entre composés "dissous" et "particulaires" est purement opérationnelle et ne doit pas masquer le fait que de nombreux composés particulaires de très petite dimension (quelques nanomètres à quelques centaines de nanomètres) sont susceptibles d'intervenir pour une part importante dans les processus de transport des espèces nutritives (phosphates) et toxiques (métaux lourds, composés organiques d'origine industrielle) dans les milieux naturels. Globalement, les particules échantillonnées ont des tailles comprises entre quelques nanomètres (1 nanomètre = 1 millionième de millimètre) et quelques centaines de micromètres.

Les particules de taille supérieure, pour autant qu'elles aient une densité supérieure à celle de l'eau (ce qui n'est pas le cas des particules d'origine biologique), sédimentent très rapidement au fond des eaux et ne sont pas échantillonnées par la pompe péristaltique (la vitesse de sédimentation d'une particule est fonction de sa densité et du carré de son diamètre; une particule de 2 μ m sédimente 4 fois plus vite qu'une particule de 1 μ m).

4.2 MESURE DU pH DES ECHANTILLONS

TEMPS REQUIS

Moins de 1 minute, lors de chaque prélèvement.

BUT DE L'EXPERIENCE

Mesurer quantitativement la concentration en protons dans les échantillons.

Ces manipulations sont à effectuer en cours de prélèvement, sur les échantillons "bruts".

MATERIEL DE TRAVAIL

1 bécher, 1 pH-mètre Metrohm 704 avec électrode et accessoires.

REACTIFS

Solution d'eau brute en cours de prélèvement.

MANIPULATIONS

A chaque profondeur, remplir un bécher avec l'eau brute en cours de prélèvement; laisser déborder pour assurer un échantillon homogène.

Introduire l'électrode de pH dans le bécher et lire l'indication sur le pH-mètre; consigner la valeur lue pour l'interprétation finale.

Passer immédiatement à l'expérience 4.3.

EXPLICATIONS

Etant donné que les différences de pH aux différentes profondeurs sont relativement faibles (dans le cas du lac de Bret, on observe environ 1 unité de pH de différence entre les eaux de surface et de profondeur), il n'est pas possible de mesurer le pH avec une précision suffisante au moyen de papier pH.

La mesure du pH doit être faite en cours de prélèvement principalement pour éviter deux problèmes : le dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère se dissout aisément dans l'eau et fausse les mesures; inversément, une eau sur-saturée en acide carbonique a tendance à perdre son excès de H_2CO_3 par dégazage de CO_2 dans l'atmosphère. Lorsque des eaux de profondeur contiennent des sulfures (en fin de saison estivale), l'acide sulfhydrique gazeux, H_2S , s'échappe des échantillons et modifie le pH mesuré.

4.3 DETERMINATION DE L'OXYGENE DISSOUS

TEMPS REQUIS

Moins de 5 minutes, lors de chaque prélèvement.

BUT DE L'EXPERIENCE

Déterminer quantitativement l'oxygène dissous dans les échantillons.

Ces manipulations sont à effectuer en cours de prélèvement, sur les échantillons "bruts".

MATERIEL DE TRAVAIL

1 bécher, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

REACTIFS

Ampoules de réactif sous vide AccuVac[®] HRDO (avec petits bouchons en caoutchouc bleu idoines), solution d'eau brute en cours de prélèvement.

MANIPULATIONS

EXPLICATIONS

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #445, longueur d'onde 535nm.

A chaque profondeur, introduire l'eau brute en cours de prélèvement dans une cellule colorimétrique cylindrique et mesurer le blanc (touche ZERO).

La longueur d'onde optimale de mesure est 535nm. La mise à zéro de l'instrument pour le blanc corrige la turbidité provoquée par les particules présentes en solution.

MESURE DE L'OXYGENE DISSOUS DANS L'EAU

A chaque profondeur, remplir un bécher avec l'eau brute en cours de prélèvement; laisser déborder l'eau pour homogénéiser; remplir également un petit bouchon en caoutchouc avec l'eau brute.

Casser 1 ampoule AccuVac[®] au fond du bécher et la maintenir immergée jusqu'à ce qu'elle soit pleine. Sans l'inverser, boucher immédiatement l'ampoule avec le petit bouchon et agiter 30 secondes, puis enclencher le minuteur.

A l'issue du temps de réaction (2 minutes), agiter l'ampoule; mesurer la concentration en oxygène dissous dans l'échantillon.

Après la mesure, passer à l'expérience 4.1 pour prélever des échantillons à une nouvelle profondeur.

Puisque l'eau prélevée circule continuellement dans le bécher, elle n'est pas contaminée par l'oxygène atmosphérique. Les ampoules AccuVac[®] sont sous vide et contiennent les réactifs pour le dosage de l'oxygène; lorsqu'une ampoule est cassée au fond du bécher, la dépression créée permet d'aspirer la solution, qui entre instantanément en contact avec les réactifs, en absence d'oxygène atmosphérique. La coloration violette engendrée par la réaction entre l'oxygène dissous et les réactifs est quantifiée sur le spectrophotomètre et reliée à la concentration d'oxygène dans l'échantillon.

La méthode spectrophotométrique décrite dans cette expérience est basée sur la réaction suivante : dans l'ampoule, du manganèse Mn^{+2} , présent en excès, s'oxyde en milieu basique au contact de l'oxygène, pour former de l'oxyde de manganèse MnO_2 noir (et éventuellement de l'oxyhydroxyde de manganèse $MnO(OH)_2$) qui précipite; après acidification, ce précipité est réduit en Mn^{+2} par de l'iodure également présent dans l'ampoule, qui s'oxyde en iode I_2 ; en présence d'amidon, la solution se colore en violet. Cette coloration possède un maximum d'absorption à 535nm.

La détermination de l'oxygène dissous dans les eaux naturelles peut être effectuée au moyen d'une sonde spécifique (électrode à oxygène), qui permet la mesure instantanée, en continu, de la concentration en oxygène directement à la profondeur d'intérêt; cette méthode, particulièrement coûteuse, permet cependant d'éviter toute contamination par l'oxygène atmosphérique.

4.4 DETERMINATION DU FER TOTAL

TEMPS REQUIS

Environ 10 minutes.

BUT DE L'EXPERIENCE

Déterminer quantitativement le fer ferreux (Fe^{+2}) et ferrique (Fe^{+3}) dans les échantillons bruts et filtrés.

Ces manipulations sont à effectuer à l'issue des prélèvements, sur les échantillons "bruts" et "filtrés". Préparer tous les échantillons en même temps, dans des éprouvettes, puis transvaser leur contenu dans une cellule colorimétrique pour les mesures.

MATERIEL DE TRAVAIL

Grandes éprouvettes, 1 cylindre gradué 50ml, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

REACTIFS

Gélules de réactif TPTZ, échantillons "bruts" et "filtrés" prélevés aux 4 profondeurs.

MANIPULATIONS

EXPLICATIONS

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #270, longueur d'onde 590nm.
Introduire 25ml d'eau dans une cellule colorimétrique et ajouter le contenu d'une gélule de réactif TPTZ; homogénéiser et mesurer le blanc (touche ZERO).

La longueur d'onde optimale de mesure du fer total (ferreux + ferrique) est 590nm. La mise à zéro de l'instrument pour le blanc corrige la coloration parasite provoquée par les réactifs ajoutés.

MESURE DU FER TOTAL DANS L'EAU

Pour tous les échantillons ("bruts" et "filtrés"), procéder comme suit :
Introduire 25ml d'échantillon dans une éprouvette et ajouter le contenu d'une gélule de réactif TPTZ; homogénéiser, puis enclencher le minuteur.
Après 3 minutes, transvaser dans une cellule colorimétrique et mesurer la concentration de fer total dans les échantillons.

Le réactif solide pour le fer total permet la formation d'un composé coloré en bleu-violet; l'intensité de coloration est fonction de la concentration initiale de fer total dans l'échantillon. Le pH optimal pour cette analyse est compris entre 3 et 5 (risques de précipitation parasite lorsque les échantillons sont acidifiés à un pH inférieur à 3).

Le réactif utilisé contient un composé réduisant le fer ferrique (oxydes et hydroxydes de fer, présents sous forme de particules) en fer ferreux dissous; le fer ferreux réagit avec le TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine) pour former un complexe (1 Fe^{+2} pour 2 TPTZ) bleu-violet.

Les argiles (alumino-silicates cristallins) contiennent aussi du fer, en proportions variables. La

concentration de fer d'origine argileuse est difficile à déterminer quantitativement selon la méthode décrite ci-dessus.

En effet, la dégradation réductive des argiles dépend de nombreux facteurs, parmi lesquels la dimension des particules (une particule de petite taille est plus aisément dégradée qu'une particule de grande taille) et la nature de l'argile (une particule possédant un degré de cristallinité élevé n'est que difficilement dégradée).

4.5 DETERMINATION DU FER FERREUX

TEMPS REQUIS

Environ 20 minutes.

BUT DE L'EXPERIENCE

Déterminer quantitativement le fer ferreux dans les échantillons bruts et filtrés.

Ces manipulations sont à effectuer à l'issue des prélèvements, sur les échantillons "bruts" et "filtrés". Un blanc est mesuré pour chaque échantillon.

MATERIEL DE TRAVAIL

1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

REACTIFS

Gélules de réactif Ferrouslron[®], échantillons "bruts" et "filtrés" prélevés aux 4 profondeurs.

MANIPULATIONS

EXPLICATIONS

REGLAGE DE L'INSTRUMENT

Régler le spectrophotomètre : méthode #255, longueur d'onde 510nm.

La longueur d'onde optimale de mesure est 510nm, contrairement à la mesure du fer total (590nm), car les réactifs sont différents.

MESURE DU BLANC ET DU FER FERREUX DANS L'EAU

Procéder comme suit pour tous les échantillons "bruts" et "filtrés" :

Dans une cellule colorimétrique, introduire 25ml d'échantillon et mesurer le blanc (touche ZERO).

Ajouter ensuite le contenu d'une gélule de réactif Ferrouslron[®], homogénéiser, puis enclencher le minuteur.

Mesurer la concentration de fer ferreux dans les échantillons après 3 minutes de temps de réaction.

La mise à zéro de l'instrument doit être effectuée pour chaque échantillon, afin de corriger la turbidité provoquée par les particules en solution. La réaction entre le fer ferreux (Fe^{+2}) et le réactif (orthophénanthroline) permet la formation d'un complexe rouge-orangé, dont l'intensité de coloration est fonction de la concentration initiale de fer ferreux dans l'échantillon.

La méthode décrite ici est semblable à celle de l'expérience 3.1 (détermination du fer dans

la terre); cependant, le réducteur y est absent. L'orthophénanthroline réagit spécifiquement avec Fe^{+2} par formation d'un complexe coloré intensément en rouge-orangé (1 ion Fe^{+2} pour 3 complexants).

Il est important d'acidifier les échantillons dès leur prélèvement. En effet, le fer ferreux Fe^{+2} éventuellement présent dans ces échantillons est aisément oxydé en fer ferrique Fe^{+3} par l'oxygène atmosphérique dissous dans l'eau. En milieu basique, neutre, voire même faiblement acide, le fer ferrique précipite rapidement sous forme d'hydroxyde $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Voir à cet effet l'expérience 2.3, traitant de l'oxydation d'hydroxyde de fer ferreux en présence d'oxygène.

4.6 DETERMINATION DE L'AMMONIUM

TEMPS REQUIS

Environ 10 minutes.

BUT DE L'EXPERIENCE

Déterminer quantitativement l'azote présent dans les échantillons filtrés sous forme d'ammonium.

Ces manipulations sont à effectuer à l'issue des prélèvements, sur les échantillons "filtrés". Préparer tous les échantillons en même temps, dans des éprouvettes, puis transvaser leur contenu dans une cellule colorimétrique pour les mesures.

MATERIEL DE TRAVAIL

Grandes éprouvettes, 1 cylindre gradué 50ml, pipettes graduées 1ml, bouchons en caoutchouc, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

REACTIFS

Réactif en solution Rochelle[®], réactif en solution Nessler[®], échantillons "filtrés" prélevés aux 4 profondeurs.

MANIPULATIONS

EXPLICATIONS

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #380, longueur d'onde 425nm.

Introduire 25ml d'eau dans une cellule colorimétrique, ajouter 1ml de réactif Rochelle[®], boucher et agiter.

Ajouter 1ml de réactif Nessler[®], boucher et agiter, puis enclencher le minuteur.

Effectuer la mise à zéro de l'instrument avec ce blanc (touche ZERO) après 1 minute de temps de réaction.

La longueur d'onde optimale de mesure est 425nm. La mise à zéro de l'instrument pour l'échantillon blanc corrige la coloration provoquée par les réactifs.

MESURE DE L'AMMONIUM DANS L'EAU

Pour tous les échantillons "filtrés", procéder comme suit :

Introduire 25ml de l'échantillon dans une éprouvette, ajouter 1ml de réactif Rochelle[®], boucher et agiter.

Ajouter 1ml de réactif Nessler[®], boucher et agiter, puis enclencher le minuteur.

Après 1 minute, transvaser dans une cellule colorimétrique et mesurer la concentration en ions ammonium dans les échantillons.

Le réactif Rochelle (sel de tartrate et alcool polyvinylique) permet de complexer les ions calcium et magnésium qui interfèrent dans l'analyse, tandis que le réactif Nessler[®] contient un sel de mercure (K_2HgI_4), qui forme avec les ions ammonium un composé jaune en milieu basique (Hg_2OINH_2), dont la concentration est mesurée à 425nm. La concentration du composé jaune formé est directement proportionnelle à la concentration initiale de NH_4^+ .

4.7 DETERMINATION DES NITRATES

TEMPS REQUIS

Environ 20 minutes.

BUT DE L'EXPERIENCE

Déterminer quantitativement les nitrates dans les échantillons filtrés.

Ces manipulations sont à effectuer à l'issue des prélèvements, sur les échantillons "filtrés". Préparer tous les échantillons en même temps, dans des éprouvettes, puis transvaser leur contenu dans une cellule colorimétrique pour les mesures.

MATERIEL DE TRAVAIL

Grandes éprouvettes, 1 cylindre gradué 50ml, bouchons en caoutchouc, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

REACTIFS

Gélules de réactif NitraVer5[®], échantillons "filtrés" prélevés aux 4 profondeurs.

MANIPULATIONS

EXPLICATIONS

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #353, longueur d'onde 400nm.

Introduire 25 ml d'eau dans une cellule colorimétrique; ajouter le contenu d'une gélule de réactif NitraVer5[®] et boucher.

Enclencher le minuteur; agiter vigoureusement et constamment durant 1 minute.

Réenclencher le minuteur; après 5 minutes, mesurer le blanc (touche ZERO).

La longueur d'onde optimale de mesure est 400nm. Le blanc permet la mise à zéro de l'instrument, en tenant compte de l'interférence provoquée par le réactif NitraVer5[®] à 400nm.

MESURE DES NITRATES DANS L'EAU

Pour tous les échantillons "filtrés", procéder comme suit :

Introduire 25ml d'eau dans une grande éprouvette, ajouter le contenu d'une gélule de réactif NitraVer5[®], boucher.

Enclencher le minuteur; agiter vigoureusement et constamment durant 1 minute.

Réenclencher le minuteur; après 5 minutes, transvaser lentement et précautionneusement la solution dans une cellule colorimétrique et mesurer la concentration de nitrates dans les échantillons.

Cette étape permet au cadmium métallique contenu dans le réactif de s'oxyder en Cd^{+2} , en réduisant les nitrates (NO_3^-) en nitrites (NO_2^-) en milieu acide; à l'issue de la réduction, l'excès de cadmium métallique est sédimenté au fond de l'éprouvette. Les nitrites réagissent avec l'acide sulfanillique pour former un sel de diazonium. Ce dernier réagit avec l'acide gentisique pour produire un composé organique complexe coloré ambre.

La réaction de diazotation entre le sel de diazonium formé et l'acide gentisique (ou l'acide chromotropique pour l'analyse des nitrates dans les échantillons de terre) est une réaction typique de la chimie organique, utilisée notamment pour la préparation de teintures (voir à cet effet l'expérience sur les colorants textiles dans le module 3).

La technique et le temps d'agitation revêtent une grande importance dans la reproductibilité des analyses de nitrates; des résultats exacts et reproductibles ne peuvent être obtenus qu'en respectant rigoureusement les conditions d'agitation.

Il est important de ne pas transvaser dans la cellule colorimétrique le cadmium métallique résiduel, afin de ne pas fausser la mesure : les particules métallique provoquent en effet une faible turbidité.

4.8 DETERMINATION DES PHOSPHATES

TEMPS REQUIS

Environ 10 minutes.

BUT DE L'EXPERIENCE

Déterminer quantitativement le phosphore sous forme de phosphate dans les échantillons bruts et filtrés.

Ces manipulations sont à effectuer à l'issue des prélèvements, sur les échantillons "bruts" et "filtrés". Préparer tous les échantillons en même temps, dans des éprouvettes, puis transvaser leur contenu dans une cellule colorimétrique pour les mesures.

MATERIEL DE TRAVAIL

Grandes éprouvettes, 1 cylindre gradué 50ml, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

REACTIFS

Gélules de réactif PhosVer3[®], échantillons "bruts" et "filtrés" prélevés aux 4 profondeurs.

MANIPULATIONS

EXPLICATIONS

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #490, longueur d'onde 890nm.

Introduire 25ml d'eau dans une cellule colorimétrique, ajouter le contenu d'une gélule de réactif PhosVer3[®], homogénéiser et enclencher le minuteur.

Mesurer le blanc après 2 minutes (touche ZERO).

La longueur d'onde optimale de mesure est 890nm. La mise à zéro de l'instrument avec le blanc corrige pour la coloration provoquée par les réactifs.

MESURE DES PHOSPHATES DANS L'EAU

Pour tous les échantillons ("brut" et "filtré"), procéder comme suit :

Introduire 25ml d'échantillon dans une grande éprouvette, ajouter le contenu d'une gélule de réactif PhosVer3[®], homogénéiser et enclencher le minuteur.

Après 2 minutes, transvaser dans une cellule colorimétrique, et mesurer la concentration en ions phosphate dans les échantillons.

Les réactifs permettent la formation d'un complexe coloré en bleu, dont l'intensité de coloration est proportionnelle à la concentration initiale de phosphates dans l'échantillon.

Le molybdate de sodium présent dans la gélule forme avec les phosphates un complexe jaune de phosphomolybdate de sodium, qui est réduit par l'acide ascorbique, également présent dans la gélule; la composition et la structure du composé bleu formé par réduction du phosphomolybdate ne sont pas entièrement élucidées.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES, SUBSTANCES CHIMIQUES ET PRODUITS COURANTS UTILISES

5.1 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES DE NIVEAU SECONDAIRE I

N. Furer, B. Weber; **Approche du Monde de la Chimie**, (1989); Editions LEP, Lausanne.
M. Cosandey; **Laboratoire de Chimie "Do It Yourself"**, cours 571N et 779, (1986, 1988); Centre de Perfectionnement et de Formation Complémentaire, Lausanne.

REFERENCES DE NIVEAU CHIMIE GENERALE

K. Hutton; **Comprendre la Chimie**, (1973); Marabout Université, Verviers (Belgique).
C.L. Borgford, L.R. Summerlin; **Chemical Activities, Teacher Edition**, (1988); American Chemical Society, Washington (U.S.A.).
L.R. Summerlin, J.L. Ealy; **Chemical Demonstrations, a Source Book for Teachers, vol. 1**, 2nd edition (1988); American Chemical Society, Washington (U.S.A.).
L.R. Summerlin, C.L. Borgford, J.L. Ealy; **Chemical Demonstrations, a Source Book for Teachers, vol. 2**, 2nd edition (1988); American Chemical Society, Washington (U.S.A.).

REFERENCES DE NIVEAU PROPEDEUTIQUE

R. Roulet; **Chimie Générale**, (1991); Institut de Chimie Minérale et Analytique, Université de Lausanne.
W. Stumm, J.J. Morgan; **Aquatic Chemistry**, (1981); Wiley-Interscience, New York (U.S.A.).
I.L. Marr, M.S. Cresser; **Environmental Chemical Analysis**, (1982); Chapman and Hall, New York (U.S.A.).
L. Sigg, W. Stumm, P. Behra; **Chimie des Milieux Aquatiques**, (1992); Masson, Paris (France).
S.E. Manahan; **Environmental Chemistry**, 5th edition (1991); Lewis, Chelsea (U.S.A.).
D. Perret; **Caractéristiques Physico-Chimiques et Dynamique de Transport des Formes du Fer dans un Lac Eutrophe**, (1989); thèse 2395, Université de Genève (Suisse).

Journal of Chemical Education.

Handbook of Chemistry and Physics, 73rd edition (1992-1993); CRC Press, Boca Raton (U.S.A.).

REFERENCES TECHNIQUES

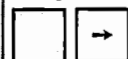
pH-Mètre Metrohm 704, (1992); Mode d'Emploi; Metrohm, Herisau (Suisse).
Spectrophotomètre Hach DR-2000, (1991); Mode d'Emploi; Hach, Namur (Belgique).

5.2 SUBSTANCES CHIMIQUES UTILISEES

La liste qui suit contient toutes les substances chimiques utilisées dans les expériences de ce cours.

Les indications apportées pour la préparation de solutions de concentrations voulues ne sont, dans la plupart des cas, que semi-quantitatives (masses et volumes arrondis).

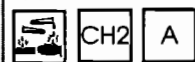
La toxicité des substances chimiques, selon les directives de la communauté européenne et les directives suisses, ainsi que leur mode d'élimination, sont indiqués pour chaque substance sous forme de pictogrammes. Leur signification est donnée à la fin de ce chapitre.

ACETATE DE SODIUMCH₃COONa

référence 2.2
 état solide
 masse moléculaire 82.03(g/mol)

ACIDE CHLORHYDRIQUE

HCl



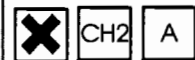
référence 2.3, 2.4, 3.1, 3.6, 4.1
 état gaz
 masse moléculaire 36.46(g/mol)
 concentration 7.7(mol/l) (25%, 1.12(g/ml))

solution concentrée : utiliser tel quel
 solution 1M : ajuster 13ml HCl à 100ml avec H₂O
 solution 0.1M : ajuster 13ml HCl à 1l avec H₂O

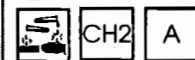
ACIDE OXALIQUE

acide éthanedioïque

HOOC-COOH

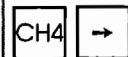


référence 2.1, 2.2
 état solide
 masse moléculaire 90.04(g/mol)

ACIDE SULFURIQUEH₂SO₄

référence 2.2, 2.3, 3.5
 état gaz
 masse moléculaire 98.08(g/mol)
 concentration 18.2(mol/l) (97%, 1.84(g/ml))

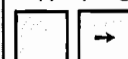
solution concentrée : utiliser tel quel
 solution 0.5M : ajuster 27ml H₂SO₄ à 1l avec H₂O

ACIDE TANNIQUEC₇₆H₅₂O₄₆

référence 2.1
 état solide
 masse moléculaire 1701.24(g/mol)

BLEU DE BROMOTHYMOLE

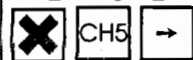
3',3''-dibromothymolsulfonephthalate

C₁₉H₉O₅SBr₄Na

référence 3.6

état solide
 masse moléculaire 691.94(g/mol)

solution 0.04% : ajuster 0.04g C₁₉H₉O₅SBr₄Na à 100ml avec H₂O

CARBONATE DE SODIUMNa₂CO₃·H₂O

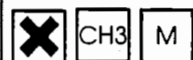
référence 2.1
 état solide
 masse moléculaire 124.00(g/mol)

CHARBON ACTIF

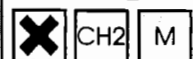
C



référence 3.7
 état solide
 masse atomique 12.00(g/mol)

CHLORURE DE COBALTCoCl₂·6H₂O

référence 2.1
 état solide
 masse moléculaire 237.93(g/mol)

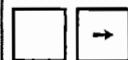
CHLORURE D'ETAINSnCl₂·2H₂O

référence 2.3
 état solide
 masse moléculaire 225.630(g/mol)

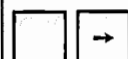
CHLORURE DE SODIUM

sel de cuisine

NaCl



référence 2.3
 état solide
 masse moléculaire 58.45(g/mol)

CITRATE DE FER FERRIQUE AMMONIACAL

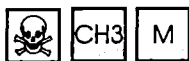
référence 2.2
 état solide
 composition non élucidée

CUIVRE

Cu



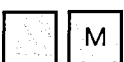
référence 2,3
 état solide
 masse atomique 63.55(g/mol)

DICROMATE DE POTASSIUM $K_2Cr_2O_7$ 

référence 3,5
 état solide
 masse moléculaire 294.19(g/mol)

solution 0,17M : ajuster 50g $K_2Cr_2O_7$ à 1l avec H_2O **ETAIN**

Sn



référence 2,3
 état solide
 masse atomique 118.69(g/mol)

FER

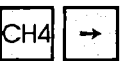
Fe



référence 2,3, 2,4
 état solide
 masse atomique 55.85(g/mol)

FERRICYANURE DE POTASSIUM

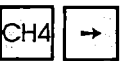
hexacyanoferrate (III) de potassium

 $K_3Fe(CN)_6$ 

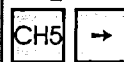
référence 2,2, 2,4
 état solide
 masse moléculaire 329.26(g/mol)

FEROXYANURE DE POTASSIUM

hexacyanoferrate (II) de potassium

 $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ 

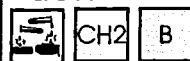
référence 2,1, 2,4
 état solide
 masse moléculaire 422.41(g/mol)

solution 0,0002M : ajuster 8.45g $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ à 1000ml avec H_2O , puis diluer 1ml de cette solution à 100ml avec H_2O **HYDROGENOPHOSPHATE DE SODIUM** $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ 

référence 2,1
 état solide
 masse moléculaire 358.14(g/mol)

HYDROXYDE DE SODIUM

NaOH



référence 2,3
 état solide
 masse moléculaire 40.00(g/mol)

solution 1M : ajuster 4g NaOH à 100ml avec H_2O **MAGNESIUM**

Mg



référence 2,3
 état solide
 masse atomique 24.31(g/mol)

NITRATE DE FER FERRIQUE $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 

référence 2,2, 2,3
 état solide
 masse moléculaire 404.00(g/mol)

ORTHOPHENANTHROLINE

1,10-phénanthroline

 $C_{12}H_8N_2 \cdot HCl \cdot H_2O$ 

référence 2,2, 2,3
 état solide
 masse moléculaire 234.69(g/mol)

solution 0,1% : ajuster 0,1g $C_{12}H_8N_2 \cdot HCl \cdot H_2O$ à 100ml avec H_2O **PEROXYDE D'HYDROGENE**

eau oxygénée

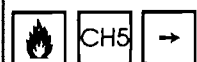
 H_2O_2 

référence 2,3
 état liquide
 masse moléculaire 34.02(g/mol)

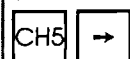
concentration 9.8(mol/l) (30%, 1.11(g/ml))
solution 6% : ajuster 20ml H_2O_2 à 100ml avec H_2O

SOUFRE

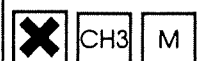
S



référence 2.4
 état solide
 masse moléculaire 32.06(g/mol)

SULFATE D'AMMONIUM $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 

référence 2.1
 état solide
 masse moléculaire 132.14(g/mol)

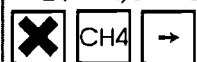
SULFATE DE FER FERREUX $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 

référence 2.1, 2.3, 2.4
 état solide
 masse moléculaire 278.02(g/mol)

SULFATE DE FER FERRIQUE AMMONIACAL $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 

référence 2.1
 état solide
 masse moléculaire 482.19(g/mol)

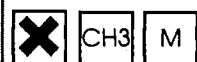
solution 0.0002M : ajuster 9.64g du sel de fer $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ et 2.7g du sel KHSO_4 à 1000ml avec H_2O , puis diluer 1ml de cette solution à 100ml avec H_2O

SULFATE DE FER FERRIQUE $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 

référence 2.4
 état solide
 masse moléculaire 399.88 + n · 18.02(g/mol)

THIOCYANATE DE POTASSIUM

KSCN



référence 2.1, 2.3
 état solide
 masse moléculaire 97.18(g/mol)

ZINC

Zn



référence 2.3
 état solide
 masse atomique 65.38(g/mol)

PRODUITS CHIMIQUES METROHM ET HACH PRETS A L'USAGE

référence 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.7, 3.8,
 4.1, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8

les tampons pH=7.0 et pH=4.0 utilisés pour l'éta-
 lonnage du pH-mètre sont des solutions Metrohm
 prêtes à l'emploi

les analyses colorimétriques sont effectuées
 avec le spectrophotomètre Hach DR-2000 et les
 jeux de réactifs Hach prêts à l'emploi

la composition complète des jeux de réactifs
 n'est pas systématiquement décrite par le fabri-
 cant; néanmoins, les constituants majeurs sont les
 suivants :

FerroVer : orthophéanthroline (complexant); ré-
 ducteur (non communiqué)

TPTZ : 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (complexant); ré-
 ducteur et tampon pH (non communiqués)

FerrousIron : orthophéanthroline

SoilExtractant1 : acide, fluorure et agent coagu-
 lant (non communiqués)

PhosVer3 : molybdate de sodium (complexant);
 acide ascorbique (réducteur)

NitrateExtraction : agent coagulant (non com-
 munié)

NitraVer5 : cadmium métallique (réducteur),
 acide sulfanillique (formateur de sel de diazo-
 nium), acide gentisique (copulant de diazota-
 tion)

NitraVer6 : cadmium métallique (réducteur)

NitriVer3 : acide sulfanillique (formateur de sel de
 diazonium), acide chromotropique (copulant
 de diazotation); tampon pH (non communiqué)

AmmoniaNitrogen1 : complexants du calcium et
 du magnésium (non communiqués)

Rochelle : tartrate de sodium et potassium (com-
 plexant du calcium et du magnésium), alcool
 polyvinylique (agent dispersant)

Nessler : iodure de mercure et potassium, hy-
 droxyde de potassium

AccuVac HRDO : chlorure de manganèse (ré-
 ducteur), azoture de sodium (suppresseur des
 nitrates), iodure de potassium (réducteur), ami-
 don, acide et base (non communiqués),

les méthodes de mesure des différents ions avec
 le spectrophotomètre Hach permettent d'obte-
 nir des résultats en concentrations directement,
 car l'instrument est calibré à l'usine pour tenir
 compte des différents facteurs de dilution néces-
 saires selon les espèces mesurées

TOXICITE DES SUBSTANCES CHIMIQUES directives européennes

dans la communauté européenne, les substances toxiques sont réparties en 3 catégories, selon le type de danger qu'elles présentent :

pouvoir de réaction : substances explosibles, substances favorisant l'incendie, substances facilement inflammables

toxicité aiguë : substances toxiques, substances nocives

toxicité à action locale : substances irritantes, substances corrosives



SUBSTANCES EXPLOSIBLES :

substances qui peuvent exploser dans des conditions déterminées; éviter les chocs, secousses, frictions, formation d'étincelles et influence de la chaleur



SUBSTANCES FAVORISANT L'INCENDIE :

substances pouvant enflammer des substances combustibles ou provoquer des incendies et compliquer ainsi la lutte contre l'incendie; éviter tout contact avec des substances combustibles



SUBSTANCES FACILEMENT INFLAMMABLES :

substances spontanément inflammables; éviter le contact avec l'air
substances gazeuses, facilement inflammables; empêcher la formation de mélanges gaz-air inflammables et éloigner les causes d'inflammation
substances sensibles à l'humidité; éviter le contact avec l'eau et l'humidité
liquides combustibles; tenir éloigné des flammes nues, des sources de chaleur et des étincelles



SUBSTANCES TOXIQUES :

possibilité de graves désordres de la santé ou même de mort après inhalation, ingestion, pénétration ou absorption par voie cutanée; éviter tout contact corporel et, en cas de malaise, consulter immédiatement un médecin



SUBSTANCES NOCIVES OU IRRITANTES :

substances nocives, provoquant de faibles altérations de la santé : éviter tout contact corporel ainsi que l'inhalation des vapeurs et, en cas de malaise, consulter un médecin

substances irritantes, provoquant une irritation de la peau, des yeux et des voies respiratoires : ne pas respirer les vapeurs et éviter tout contact avec la peau et les yeux



SUBSTANCES CORROSIVES :

substances au contact desquelles les tissus vivants et les matériaux se détruisent; ne pas respirer les vapeurs et éviter tout contact avec la peau, les yeux et les vêtements

TOXICITE DES SUBSTANCES CHIMIQUES directives suisses

en Suisse, les substances toxiques sont réparties en 5 classes, selon l'ensemble des dangers qu'elles présentent et auxquels la santé est exposée, indépendamment du pouvoir de réaction; les 5 classes sont définies par la dose létale, donnée ci-après pour un homme de 70kg, et par le mode d'action de la substance



CLASSE DE TOXICITE 1 :

substance corrosive, caustique, irritante
dose mortelle < 0.35g
les substances cancérigènes, mutagènes et tératogènes sont toutes dans la classe 1, même si leur dose mortelle est supérieure à 0.35g
étiquette caractérisée par une bande noire avec tête de mort et le mot POISON



CLASSE DE TOXICITE 2 :

substance corrosive, caustique, irritante
dose mortelle 0.35-3.5g
étiquette avec une bande noire, une tête de mort et le mot POISON



CLASSE DE TOXICITE 3 :

substance corrosive, caustique, irritante
dose mortelle 3.5-35g
étiquette avec une bande jaune



CLASSE DE TOXICITE 4 :

dose mortelle 35-140g
étiquette avec une bande rouge



CLASSE DE TOXICITE 5 :

dose mortelle 140-350g
étiquette avec une bande rouge



SUBSTANCES HORS CLASSE DE TOXICITE SUISSE

ELIMINATION DES SUBSTANCES CHIMIQUES

les recommandations données ici ne s'appliquent qu'aux substances chimiques utilisées dans les expériences de ce cours aux concentrations indiquées



élimination à l'évier (liquides) ou à la poubelle (solides)



élimination dans le récipient pour acides



élimination dans le récipient pour bases



élimination dans le récipient pour composés métalliques



recupération individuelle



élimination dans le récipient pour solvants

6. EQUATIONS DES REACTIONS CHIMIQUES

Les équations des réactions chimiques présentées aux chapitres 2, 3 et 4 (travaux pratiques) sont données ci-dessous dans l'ordre chronologique.

La notation utilisée dans les équations chimiques a la signification suivante :

- La flèche symbolise le sens de la réaction, \longrightarrow , qui s'écrit de gauche à droite; une réaction réversible est indiquée par 2 flèches inversées, \rightleftharpoons .
- Les réactifs sont écrits à gauche de la flèche, les produits à droite.
- Une flèche \downarrow à la suite d'une substance ($\text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow$) indique un solide.
- Une flèche \uparrow à la suite d'une substance ($\text{H}_2\uparrow$) indique un gaz.

6.1 REACTIONS CHIMIQUES DU CHAPITRE 2

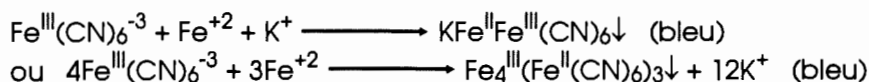
LE FER DE TOUTES LES COULEURS

- (2) $\text{Fe}^{+3} + n\text{C}_{76}\text{H}_{52}\text{O}_{46} \longrightarrow \text{Fe}(\text{C}_{76}\text{H}_{52-m}\text{O}_{46})_n^{+(3-m.n)}\downarrow + m.n\text{H}^+$ (noir)
- (3) $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{NaHCO}_3 + \text{OH}^-$ (basification)
 $\text{Fe}^{+3} + 3\text{OH}^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow$ (brun)
- (4) $\text{Fe}^{+3} + 6\text{KSCN} \longrightarrow \text{K}_3\text{Fe}(\text{SCN})_6$ (rouge)
- (5) $\text{K}_4\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6 + \text{Fe}^{+3} \longrightarrow \text{KFe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{CN})_6\downarrow + 3\text{K}^+$ (bleu)
ou $3\text{K}_4\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6 + 4\text{Fe}^{+3} \longrightarrow \text{Fe}_4^{\text{III}}(\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6)_3\downarrow + 12\text{K}^+$ (bleu)
- (6) $\text{K}_4\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6 + 2\text{CoCl}_2 \longrightarrow \text{Co}_2\text{Fe}(\text{CN})_6\downarrow + 4\text{KCl}$ (vert)
- (7) $\text{HOOC-COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{OOC-COO}^- + 2\text{H}_3\text{O}^+$ (acidification)
 $2\text{Fe}^{+3} + 3\text{OOC-COO}^- \longrightarrow \text{Fe}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$ (jaune)
- (8) $\text{Fe}^{+2} + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{K}_4\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6 \longrightarrow \text{Fe}^{\text{II}}(\text{NH}_4)_2\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6\downarrow + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{K}^+$ (blanc)
- (9) $\text{Fe}^{+3} + 6\text{KSCN} \longrightarrow \text{K}_3\text{Fe}(\text{SCN})_6$ (rouge)
- (10) $\text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{K}_3\text{Fe}(\text{SCN})_6 \rightleftharpoons \text{FePO}_4 + 3\text{KSCN} + \text{HSCN} + \text{NaSCN}$
- (11) $\text{K}_4\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6 + \text{Fe}^{+3} \longrightarrow \text{KFe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{CN})_6\downarrow + 3\text{K}^+$ (bleu)
ou $3\text{K}_4\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6 + 4\text{Fe}^{+3} \longrightarrow \text{Fe}_4^{\text{III}}(\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6)_3\downarrow + 12\text{K}^+$ (bleu)
- (12) $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}(\text{excès}) + \text{Fe}(\text{C}_{76}\text{H}_{52-m}\text{O}_{46})_n^{+(3-m.n)}\downarrow \longrightarrow \text{Fe}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 + n\text{C}_{76}\text{H}_{52-m}\text{O}_{46}^{-m}$ (jaune)

LA PHOTOGRAPHIE PAR LE FER

PHOTOGRAPHIE SUR T-SHIRT

- (2) $\text{Fe}^{+3}(\text{citrate, ammonium}) + \text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6 \longrightarrow \text{Fe}^{\text{III}}(\text{Fe}^{\text{III}}(\text{CN})_6) + 3\text{K}^+$ (brun-vert)
- (4) $\text{Fe}^{\text{III}}(\text{Fe}^{\text{III}}(\text{CN})_6) + h\nu \longrightarrow \text{Fe}^{+2} + \text{Fe}^{\text{III}}(\text{CN})_6^{-3}$



L'ACTINOMETRE AU FER

- (1) $\text{Fe}^{+3} + 3^- \text{OOC-COO}^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{-3} + 6\text{H}^+$ (jaune-verdâtre)
- (2) $\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{-3} + h\nu \longrightarrow 2\text{Fe}^{+2} + 5^- \text{OOC-COO}^- + 2\text{CO}_2\uparrow$
 $\text{Fe}^{+2} + 3\text{o-phen} \longrightarrow \text{Fe}(\text{o-phen})_3^{+2}$ (rouge-orangé)

FER, CORROSION ET OXYDATION-REDUCTION

- (1) $\text{Fe}^0\downarrow + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{Fe}^{+2} + \text{H}_2\uparrow$
- (2) $\text{Fe}^{+2} + 3\text{o-phen} \longrightarrow \text{Fe}(\text{o-phen})_3^{+2}$ (rouge-orangé)
 $2\text{Fe}^{+2} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ \longrightarrow 2\text{Fe}^{+3} + 2\text{H}_2\text{O}$
 $\text{Fe}^{+3} + 6\text{KSCN} \longrightarrow \text{K}_3\text{Fe}(\text{SCN})_6$ (rouge)
- (3) $\text{Fe}^{+3} + 3\text{OH}^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow$ (brun)
- (4) $\text{Fe}^{+2} + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2\downarrow$ (vert)
 $\text{Fe}(\text{OH})_2\downarrow \xrightarrow{\text{oxygène}} \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow$ (brun)
- (6) $2\text{Fe}^{+2} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ \longrightarrow 2\text{Fe}^{+3} + 2\text{H}_2\text{O}$
 $\text{Fe}^{+3} + 6\text{KSCN} \longrightarrow \text{K}_3\text{Fe}(\text{SCN})_6$ (rouge)
- (7) $2\text{K}_3\text{Fe}(\text{SCN})_6 + \text{Sn}^{+2} \longrightarrow 2\text{Fe}^{+2} + 6\text{KSCN} + 6\text{SCN}^- + \text{Sn}^{+4}$
- (8) $\text{Cu}^0\downarrow + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{Cu}^{+2} + \text{H}_2\uparrow$
 $\text{Sn}^0\downarrow + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{Sn}^{+2} + \text{H}_2\uparrow$
 $\text{Fe}^0\downarrow + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{Fe}^{+2} + \text{H}_2\uparrow$
 $\text{Zn}^0\downarrow + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{Zn}^{+2} + \text{H}_2\uparrow$
 $\text{Mg}^0\downarrow + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{Mg}^{+2} + \text{H}_2\uparrow$
- (9) $\text{H}_3\text{O}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2\uparrow + \text{OH}^-$ (cathode)
 $\text{Fe}^0\downarrow - 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Fe}^{+2}$ (anode)
 $\text{Fe}^{+2} + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2\downarrow$ (vert)
 $\text{Fe}(\text{OH})_2\downarrow \xrightarrow{\text{oxygène}} \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow$ (brun)

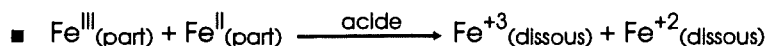
FER ET MAGNETISME

- (1) aucune réaction chimique; Fe^0 est attiré par le champ magnétique
- (2) $\text{Fe}^0\downarrow - 2\text{e}^- \xrightarrow{\Delta T} \text{Fe}^{+2}$
 $\text{S}^0\downarrow + 2\text{e}^- \xrightarrow{\Delta T} \text{S}^{-2}$
 $\text{Fe}^{+2} + \text{S}^{-2} \longrightarrow \text{FeS}\downarrow$ (noir)
- (3) $\text{FeS}\downarrow + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{Fe}^{+2} + \text{H}_2\text{S}\uparrow$ (gaz toxique)
 FeS n'est pas attiré par le champ magnétique
- (4) aucune réaction chimique

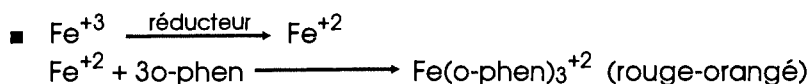
6.2 REACTIONS CHIMIQUES DU CHAPITRE 3

DETERMINATION DU FER DANS LA TERRE

EXTRACTION ACIDE

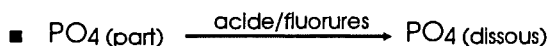


MESURE DU FER DANS LA TERRE

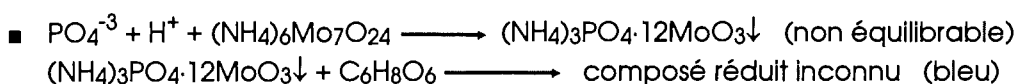


DETERMINATION DES PHOSPHATES DANS LA TERRE

EXTRACTION ACIDE

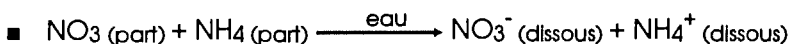


MESURE DES PHOSPHATES DANS LA TERRE

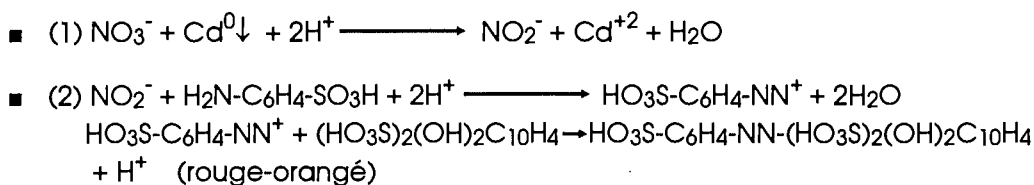


DETERMINATION DES NITRATES DANS LA TERRE

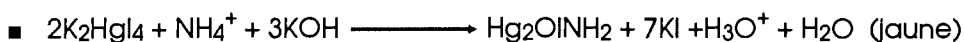
EXTRACTION NEUTRE



MESURE DES NITRATES DANS LA TERRE

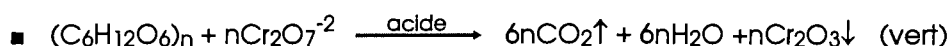


DETERMINATION DE L'AMMONIUM DANS LA TERRE



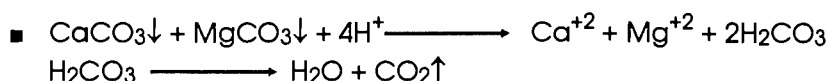
DETERMINATION DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LA TERRE

MINERALISATION DE LA MATIERE ORGANIQUE



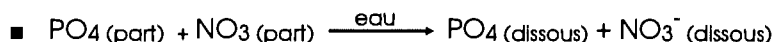
MESURE DU pH; MISE EN EVIDENCE DES CARBONATES DANS LA TERRE

PRESENCE DES CARBONATES DANS LA TERRE

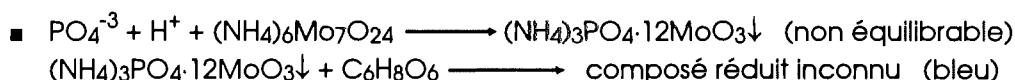


DETERMINATION DES PHOSPHATES DANS L'HERBE

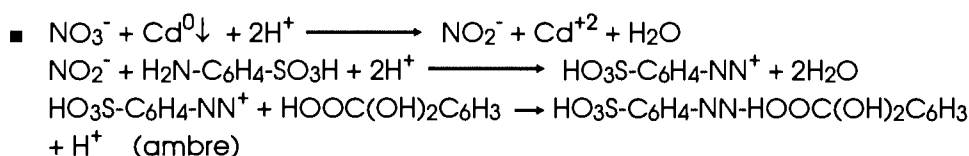
EXTRACTION NEUTRE



MESURE DES PHOSPHATES DANS L'HERBE

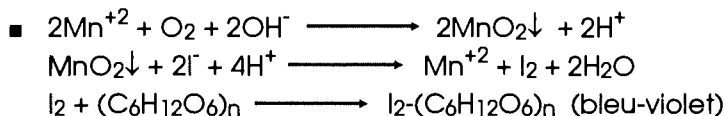


DETERMINATION DES NITRATES DANS L'HERBE

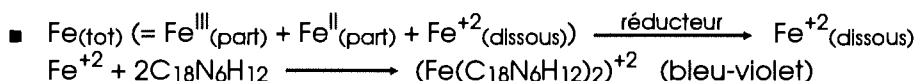


6.3 REACTIONS CHIMIQUES DU CHAPITRE 4

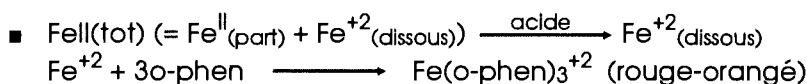
DETERMINATION DE L'OXYGENE DISSOUS



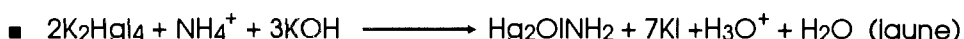
DETERMINATION DU FER TOTAL



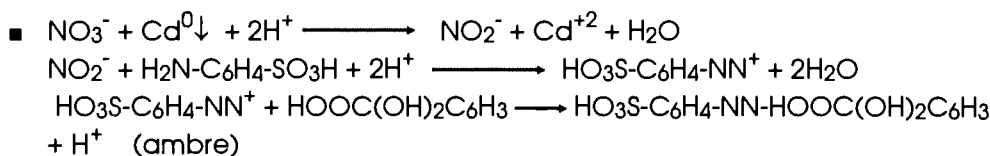
DETERMINATION DU FER FERREUX



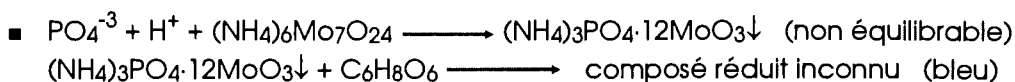
DETERMINATION DE L'AMMONIUM



DETERMINATION DES NITRATES



DETERMINATION DES PHOSPHATES



7. INDEX

A

absorption de lumière	3.25
accepteur d'électron	1.6
acide	2.19, 3.33, 4.45
acide cyanhydrique	2.23
acide-base	1.1, 1.11, 2.13, 2.20, 3.34, 4.42
acides humiques	1.3
acidification	4.39, 4.42, 4.45
acidité	3.32
acler	2.19
actinomètre	2.18
adsorption	3.33
affinité	1.10
affluent	1.2
agitation	3.30, 4.47
agriculture	1.2
aimant	2.22 - 2.23
aimant permanent	2.22
alcalinité	3.32
algues	1.3, 4.40
alluvion	1.2
aluminium	2.19, 3.33
aluminium, oxyde d'	3.33
alumino-silicate	1.3, 4.43
amande amère	2.23
analyse	1.1, 3.25, 4.37, 4.39
anatase	2.16
anode	2.21 - 2.22
anoxique	1.5
anthropogénique	1.1
anti-ferromagnétique	2.24
antiquité	2.16
apport	1.2, 1.4
aquifère	1.1
architecture	2.17
argile	1.2 - 1.3, 4.43
assimilation	1.2 - 1.3, 1.10 - 1.11, 3.33
atmosphère	1.1, 1.9 - 1.10, 2.19
automne	1.7, 1.9 - 1.10
automobile	2.19
azote	1.1 - 1.2
ammonium	1.7, 3.30, 4.45
molécule d'	1.6 - 1.7
nitrate	1.2, 1.5 - 1.8, 1.11, 3.28 - 3.29, 3.35 - 3.36, 4.46 - 4.47
nitrite	3.29, 3.36, 4.47

B

bactéries	1.3, 3.33
barrière thermique et chimique	1.7
basique	3.33, 4.45
bassin versant	3.26
béton	2.19
biologie	1.1
biomasse	1.5 - 1.6, 1.11
biosphère	1.1
blanc	3.25
blanc de Berlin	2.14
blanc de titane	2.16
bleu de Berlin	2.14
bleu de Chine	2.14
bleu de Paris	2.14
bleu de Prusse	2.14, 2.16 - 2.17
blueprint	2.17

C

cadmium	3.33
---------	------

calcaire	1.3
calcium	1.3, 3.33
cancer du béton	2.19
caractérisation	4.37
carbonatation	2.19
carbonate de calcium	1.3, 3.33
carbone	1.2, 3.31
acide carbonique	2.19, 3.34, 4.41
carbonate	3.32, 3.34
dioxyde de	1.5, 2.18 - 2.19, 3.31, 3.34, 4.41
inorganique	1.2, 1.5, 3.32
méthane	1.11
monoxyde de	2.23
organique	1.2, 1.5, 4.40
cathode	2.21 - 2.22
chaîne trophique	1.11
champ magnétique	2.22 - 2.24
chimie	1.1
chrome	1.3
clou	2.21
coagulation	3.28 - 3.29
colmatage	4.40
colorant	4.47
coloration	2.13
complexation	1.1, 1.11, 2.14 - 2.15, 2.17 - 2.20, 3.27 - 3.28, 3.31, 3.35, 4.42 - 4.44, 4.46, 4.48
concentration	3.25, 4.39, 4.41
conditions climatiques	1.1, 1.4
conduite métallique	2.19
construction	2.19
contamination	4.40, 4.42
corrosion	2.18 - 2.20, 2.22
coton	2.16
cours d'eau	1.2
cristallin	4.43
croûte terrestre	1.2 - 1.3, 2.20
cuivre	3.33
cycle	1.2
aquatique	1.2, 1.10
saisonnier	1.1 - 1.3, 1.7, 1.9

D

décantation	3.29
décoloration	3.35
décomplexation	2.15
dégradation	1.3
dégradation réductive	4.44
densité	1.3, 4.40
déplacement d'équilibre	2.15
déséquilibre	1.5
déstratification thermique	1.9 - 1.10
diamagnétique	2.24
diazotation	3.30, 3.36, 4.47
différence de potentiel	3.33, 4.39
dispersion	2.16
dissociation	2.13 - 2.14
dissolution	1.1
dissous	1.1 - 1.2, 1.5 - 1.7, 1.10, 4.39 - 4.42, 4.45
drainage	3.33
dualité dissous/particulaire	1.10
dualité réduit/oxydé	1.10

E

eau douce	1.3
eau interstitielle	1.2
eau souterraine	1.2
échange de chaleur et de matière	1.5
échantillon	3.25, 3.34, 4.45
échantillonnage	3.34, 4.37 - 4.38, 4.40, 4.45
échantillonnage statistique	3.26
effluent	1.2
électrode	2.21, 4.38 - 4.39, 4.41 - 4.42
électrolyte	2.18 - 2.19, 2.21
électron célibataire	2.24
électron de valence	2.22 - 2.24
électron non apparié	2.24

énergie de réduction	2.18
épilimnion	1.6
équilibre	1.1, 1.4
érosion	1.2 - 1.3
étain	2.21
étalonnage	4.37 - 4.39
été	1.6 - 1.7, 1.9
eutrophisation	1.11
exactitude	3.30, 4.47
extraction	3.26 - 3.29, 3.34
extraction acide	3.26, 3.28
extraction neutre	3.29, 3.35

F

faisceau de lumière	3.25
faune	1.2
fer	1.1 - 1.3, 1.8 - 1.11, 2.19, 2.21, 2.23 - 2.24, 3.26, 3.33, 4.43
cycle du	1.8
dissous	1.2, 1.7 - 1.8, 1.11
ferreux	1.2, 1.7 - 1.8, 1.11, 2.19 - 2.20, 2.24, 3.27, 4.43 - 4.45
ferrique	1.2, 1.7, 1.11, 2.19 - 2.20, 2.24, 3.27, 4.43, 4.45
hématite	1.2, 2.16
hydroxyde de	1.2, 1.7, 2.19 - 2.20, 3.33, 4.45
métallique	1.2, 2.18 - 2.20
oxyde de	1.2, 1.7, 2.19 - 2.20
particulaire	1.2, 1.7, 1.11
sulfure de	1.8, 1.11, 2.23
ferromagnétique	2.24
filtration	3.26 - 3.27, 3.31 - 3.33, 3.35, 4.37 - 4.40
flash pour photographie	2.16
floculation	3.28 - 3.29
flore	1.2
flux	1.1
force électromotrice	2.21

G

galvanisation	2.19
géologie	1.1
glace	1.3
glacier	1.2
Grenet	1.2

H

haut fourneau	1.2
herbe	3.25, 3.34 - 3.36
hétérogénéité	1.11
hiver	1.3 - 1.4
homogénéité	3.26
homogénéité thermique	1.3 - 1.4, 1.7
horizon	3.26
humidité	1.2
humus	1.3
hydratation	2.20
hydrogène, molécule d'	2.19, 2.21
hydroxyle	1.3
hypolimnion	1.6

I

identification	1.1, 1.11, 2.19
image	2.16
indicateur	3.34
inhomogénéité	3.26
inorganique	1.1 - 1.2, 1.5, 1.11
insoluble	2.16, 2.20, 2.23
instrument de mesure	1.1, 3.25, 3.33
interférence	3.25, 3.31, 4.46

J

jaune américain	2.16
jaune citron	2.16

jaune de Baltimore	2.16
jaune de chrome	2.16
jaune de Paris	2.16

L

lac	1.2, 3.33
lac alpin	1.3
lac de Bret	1.1 - 1.4, 1.7 - 1.8, 1.10 - 1.11, 3.26
lac de plaine	1.3
Lausanne	1.2
lessivage	1.3, 3.33
liaison	2.22
lithosphère	1.1
longueur d'onde	3.25
lumière	2.17 - 2.18

M

magnésium	1.3, 3.33
magnétisme	2.22
manganèse	1.1 - 1.3, 1.7 - 1.11
cycle du	1.8
dissous	1.7
oxyde de	3.33
particulaire	1.7
matière organique	3.31
membrane de filtration	4.38 - 4.40
métal	2.18 - 2.19, 2.21, 3.33
métal lourd	3.33, 4.40
métalimnion	1.6 - 1.7
métallurgie	2.19
méthodologie	1.1
micro-organisme	1.3, 1.5 - 1.6, 1.10
minéral	1.2, 2.20

N

négatif	2.16
neutre	3.33, 4.45
nez	2.23
nickel	3.33
nutriments	1.1 - 1.2, 1.10 - 1.11, 4.40

O

océan	1.2
odeur	2.23
oeuf pourri	2.23
organique	1.1 - 1.3, 1.5 - 1.7, 1.10 - 1.11
oxydation-réduction	1.1, 1.4 - 1.11, 2.14 - 2.23, 3.27 - 3.29, 3.31, 3.35 - 3.36, 4.42 - 4.45, 4.47 - 4.48
oxygène dissous	4.41 - 4.42, 4.45
oxygène, molécule d'	2.19 - 2.20, 2.22

P

papier calque	2.17
paramagnétique	2.24
particule	1.1, 1.4, 1.7 - 1.11, 3.26 - 3.29, 4.40, 4.42 - 4.44, 4.47
peinture	2.16
percolation	3.33
péristaltique	4.38 - 4.40
pH	3.32 - 3.33, 4.39, 4.41
pH-mètre	4.37 - 4.39
phase aqueuse	3.33
phase solide	3.33
phosphore, phosphate	1.1 - 1.2, 1.5, 1.10 - 1.11, 3.27, 3.33 - 3.35, 4.40, 4.47
photocopie	2.17
photographie	2.16
photoréduction	1.11
photosynthèse	1.5 - 1.6, 1.11
physique	1.1
pigment	2.16
pile	2.18, 2.21 - 2.22
plancton	1.5, 1.10

pluie	1.2, 1.4, 2.19
pompage	4.37, 4.39 - 4.40
potassium	1.3
précipitation	2.13 - 2.14, 2.20, 4.45
prélèvement	1.1, 3.25 - 3.26, 4.37 - 4.40, 4.45
printemps	1.4
processus de transport	4.40
processus environnemental	1.1 - 1.2, 1.8, 2.20
proton	3.32, 4.39, 4.41

Q

quartz	1.3
--------------	-----

R

radiation solaire	1.9, 1.11, 2.16
réactions chronologiques	1.7
réactions spatiales	1.7
réactivité	2.21
réchauffement	1.4 - 1.5
refroidissement	1.9 - 1.10
relargage	1.10, 3.33
réoxygénation	1.9 - 1.10
reproductibilité	3.30, 4.47
réservoir	1.1 - 1.3
respiration	1.5 - 1.6
retournement du lac	1.9
rivière	1.2, 1.4, 3.33
roche	1.2 - 1.3
rouge de Berlin	2.16
rouge de Chine	2.16
rouge de fer	2.16
rouge Indien	2.16
rouge vénitien	2.16
rouille	2.19
ruissellement	1.3
rutile	2.16

S

sédiment	1.4, 1.7 - 1.8, 1.11
sédimentation	1.4 - 1.5, 1.7 - 1.10, 3.28 - 3.29, 4.40, 4.47
silice	1.3
sol	1.2 - 1.4, 1.10 - 1.11, 3.26 - 3.27, 3.31 - 3.33
solubilisation	1.1
solubilité	2.16, 3.29, 3.32 - 3.35
solvant	2.16
sonde de mesure	4.42
soufre	1.1, 1.11, 2.22 - 2.23
acide sulfhydrique	2.23, 4.41
sulfate	1.7 - 1.8
sulfure	1.7 - 1.8, 1.11, 2.23, 4.41
spectrophotomètre	3.25
station de filtration	1.2
strate d'eau	1.4, 1.7 - 1.10, 3.26
stratification chimique	1.5 - 1.6, 1.8, 1.11
stratification thermique	1.4 - 1.6, 1.8, 1.11
structure cristalline	2.16
suspension	3.27
système aquatique	1.1

T

T-shirt	2.16
taille	4.40, 4.44
teinture	2.16, 4.47
température	1.3 - 1.4, 1.6 - 1.7, 1.9
terre	1.2 - 1.3, 3.25 - 3.32, 3.34, 4.45, 4.47
textile	4.47
toxique, substance	1.1, 1.10, 4.40
traitement	1.1
transfert d'électron	2.18
transformation	1.1, 1.7
transformation chimique	3.25
transport	1.1 - 1.4, 1.7 - 1.9, 1.11

transporteur d'électrons 2.19
turbidité 3.26 - 3.29, 4.42, 4.44, 4.47

V

végétal 1.2 - 1.3, 1.5 - 1.6, 1.10, 3.33 - 3.35
voitmètre 4.39

Z

zinc 1.3, 2.19, 3.33
zingage 2.19

2. LA CHIMIE DU FER

2.1 LE FER DE TOUTES LES COULEURS

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

7 éprouvettes, 4 béchers 250ml, 1 cylindre gradué 50ml, pipettes Pasteur, 1 boîte de Petri.

Ferrocyanure de potassium ($K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$) solide + 0.0002M, sulfate de fer ferrique ammoniacal ($NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) solide + 0.0002M (dans $KHSO_4$ 0.0002M), sulfate de fer ferreux ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), thiocyanate de potassium (KSCN), carbonate de sodium ($Na_2CO_3 \cdot H_2O$), chlorure de cobalt(II) ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$), hydrogénophosphate de sodium ($Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$), sulfate d'ammonium ($(NH_4)_2SO_4$), acide oxalique ($C_2H_2O_4$), acide tannique ($C_76H_52O_{46}$).

MANIPULATIONS

(1) Introduire dans un bécher 3-4 grosses spatules de sulfate de fer ferrique ammoniacal; ajouter 50ml d'eau et agiter.

Dans un second bécher, introduire 3-4 grosses spatules de ferrocyanure de potassium; ajouter 50ml d'eau et agiter.

NOIR

(2) Dans une éprouvette, introduire 1 pointe de spatule d'acide tannique et ajouter 5ml d'eau; agiter pour dissoudre.

Ajouter 5ml de la solution de Fe^{+3} préparée au point (1) et agiter. Observer, puis conserver l'éprouvette pour le point (12).

BRUN

(3) Dans une éprouvette, introduire 1 pointe de spatule de carbonate de sodium puis ajouter 5ml d'eau; agiter pour dissoudre.

Ajouter 5ml de la solution de Fe^{+3} préparée au point (1). Agiter pour homogénéiser.

ROUGE

(4) Dans une éprouvette, introduire 1 pointe de spatule de thiocyanate de potassium et ajouter 5ml d'eau; agiter pour dissoudre.

Ajouter 5ml de la solution de Fe^{+3} préparée au point (1). Agiter pour homogénéiser.

BLEU

(5) Dans une éprouvette, introduire 5ml de la solution de Fe^{+2} préparée au point (1).

Ajouter 5ml de la solution de Fe^{+3} préparée au point (1). Agiter pour homogénéiser.

VERT

(6) Dans une éprouvette, introduire 1 pointe de spatule de chlorure de cobalt; ajouter 5ml d'eau; agiter pour dissoudre.

Ajouter 5ml de la solution de Fe^{+2} préparée au point (1). Agiter pour homogénéiser.

JAUNE

(7) Dans une éprouvette, introduire 1 spatule d'acide oxalique et ajouter 5ml d'eau; agiter pour dissoudre le sel.

Ajouter 5ml de la solution de Fe^{+3} préparée au point (1) et agiter. Observer, puis conserver l'éprouvette pour le point (12).

BLANC

(8) Dans une éprouvette, introduire 1 pointe de spatule de sulfate de fer ferreux et 1 pointe de spatule de sulfate d'ammonium; ajouter 5ml d'eau et agiter.

Ajouter 5ml de la solution de Fe^{+2} préparée au point (1). Agiter pour homogénéiser.

DU ROUGE A L'INCOLORE ET VICE VERSA : DEPLACEMENTS D'UN EQUILIBRE

(9) Dans un bécher, introduire 1-2 spatules de thiocyanate de potassium, puis 20ml d'eau; agiter pour dissoudre le sel et homogénéiser. Couvrir le fond d'une boîte de Petri avec cette solution.

Ajouter, à la pipette, quelques gouttes de la solution de Fe^{+3} préparée au point (1) et observer l'évolution de la coloration du mélange, sans agiter.

(10) Ajouter au centre de la boîte de Petri 1-2 petits cristaux d'hydrogénophosphate de sodium et observer la décoloration, sans agiter.

Il est possible d'inverser la réaction en ajoutant ensuite quelques cristaux de thiocyanate de potassium au centre de la boîte.

DU VERT AU BLEU : LE COURS D'UNE REACTION

(11) Introduire 10ml de solution de ferrocyanure de potassium 0.0002M dans une éprouvette. Ajouter 10ml de solution de sulfate de fer ferrique ammoniacal 0.0002M, agiter rapidement et observer attentivement les changements de coloration.

DU NOIR AU JAUNE : LE COMPLEXANT LE PLUS FORT

(12) Verser le contenu de l'éprouvette préparée au point (7) dans l'éprouvette préparée au point (2) et observer le changement de coloration.

2.2 LA PHOTOGRAPHIE PAR LE FER

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

1 T-shirt ou carré de coton, 1 carton épais, 1 paire de ciseaux, 1 pinceau, 2 béchers 50ml, 1 grande éprouvette, 1 cylindre gradué 50ml, 1 flash pour appareil de photographie.

Citrate de fer ferrique ammoniacal (formule brute non connue), ferricyanure de potassium ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$), nitrate de fer ferrique ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), acide oxalique ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$), acétate de sodium (CH_3COONa), acide sulfurique (H_2SO_4) 0.5M, orthophénanthroline ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{HCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$) 0.1%.

PHOTOGRAPHIE SUR T-SHIRT

(1) Découper une figure, un logo, ou un texte dans un carton épais. Cette opération est optionnelle si la figure, le logo ou le texte est directement écrit au pinceau sur le tissu au point (3).

(2) Introduire 10g de citrate de fer ferrique ammoniacal (environ 10ml, solide) dans un bécher; ajouter 30ml d'eau et agiter pour dissoudre; homogénéiser.

Dans un second bécher, procéder de même avec 10g de ferricyanure de potassium.

AVEC GANTS ET LUNETTES DE SECURITE, DANS L'OBSCURITE OU EN LUMIERE ATTENUÉE.

Mélanger ces 2 solutions et homogénéiser.

(3) AVEC GANTS ET LUNETTES DE SECURITE, DANS L'OBSCURITE OU EN LUMIERE ATTENUÉE.

Si le chablon sera utilisé, appliquer abondamment au pinceau le mélange préparé ci-dessus sur la surface du tissu de coton ou du T-shirt, puis laisser sécher. Si le chablon ne sera pas utilisé, tracer directement le logo désiré avec le mélange et laisser sécher.

(4) Sur une surface plane, positionner correctement le chablon préparé au point (1) sur le tissu sec, puis exposer l'ensemble à la lumière du soleil.

Observer l'évolution de la coloration du tissu. Lorsque la luminosité est faible (temps couvert), le processus d'impression peut prendre plus de 30 minutes.

Lorsque l'impression de la figure est achevée, rincer le tissu à l'eau.

L'ACTINOMETRE AU FER

(1) Dans une grande éprouvette, introduire 1 pointe de spatule de nitrate de fer ferrique et 1 pointe de spatule d'acide oxalique; ajouter 10ml d'eau, puis agiter.

PORTER GANTS ET LUNETTES DE SECURITE.

Ajouter 1 spatule pleine d'acétate de sodium et, lentement, 4ml d'acide sulfurique; agiter pour homogénéiser.

Ajouter 10ml de solution d'orthophénanthroline et homogénéiser.

(2) Au moyen d'un flash électronique pour appareil photographique, éclairer la solution et observer le changement de coloration.

2.3 FER, CORROSION ET OXYDATION-REDUCTION

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

Béchers 50ml et 250ml, 2 erlenmeyers 250ml, éprouvettes, 1 cylindre gradué 10ml, 1 cylindre gradué 100ml, pipettes Pasteur, 2 clous, 1 pile 9V, 2 câbles électriques avec pinces crocodile.

Fer métallique (Fe), cuivre métallique (Cu), zinc métallique (Zn), étain métallique (Sn), magnésium métallique (Mg), nitrate de fer ferrique ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), sulfate de fer ferreux ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), acide sulfurique (H_2SO_4) 0.5M, thiocyanate de potassium (KSCN), peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée; H_2O_2) 6%, chlorure d'étain ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), acide chlorhydrique (HCl) concentré, orthophénanthroline ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{HCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$) 0.1%, chlorure de sodium (NaCl), hydroxyde de sodium (NaOH) 1M.

MANIPULATIONS

(1) Introduire 1/2 spatule de fer métallique dans un bécher; ajouter 30ml d'eau, 2-3 spatules de chlorure de sodium et 10 gouttes d'acide chlorhydrique.

Agiter et attendre environ 15 minutes (passer à l'expérience suivante).

(2) A la fin de la corrosion, transvaser la solution du bécher (mais pas le fer métallique) dans 2 éprouvettes.

Ajouter dans la première éprouvette 2ml de solution d'orthophénanthroline.

Dans la seconde éprouvette, ajouter 2ml de solution de peroxyde d'hydrogène; agiter et ajouter 1 pointe de spatule de thiocyanate de potassium.

Agiter les 2 éprouvettes pour homogénéiser et observer les colorations.

(3) Introduire 1 spatule de nitrate de fer ferrique dans un erlenmeyer; ajouter 100ml d'eau; agiter pour dissoudre.

Ajouter 1 pipette de solution d'hydroxyde de sodium, agiter pour homogénéiser et observer la transformation.

(4) Procéder de même, mais en remplaçant le nitrate de fer ferrique par le sulfate de fer ferreux.

Continuer d'agiter l'erlenmeyer durant quelques minutes, jusqu'à modification totale de la coloration de la solution.

(5) Introduire 1 petite pointe de spatule de sulfate de fer ferreux dans une éprouvette; ajouter 4ml d'acide sulfurique et agiter pour dissoudre et homogénéiser.

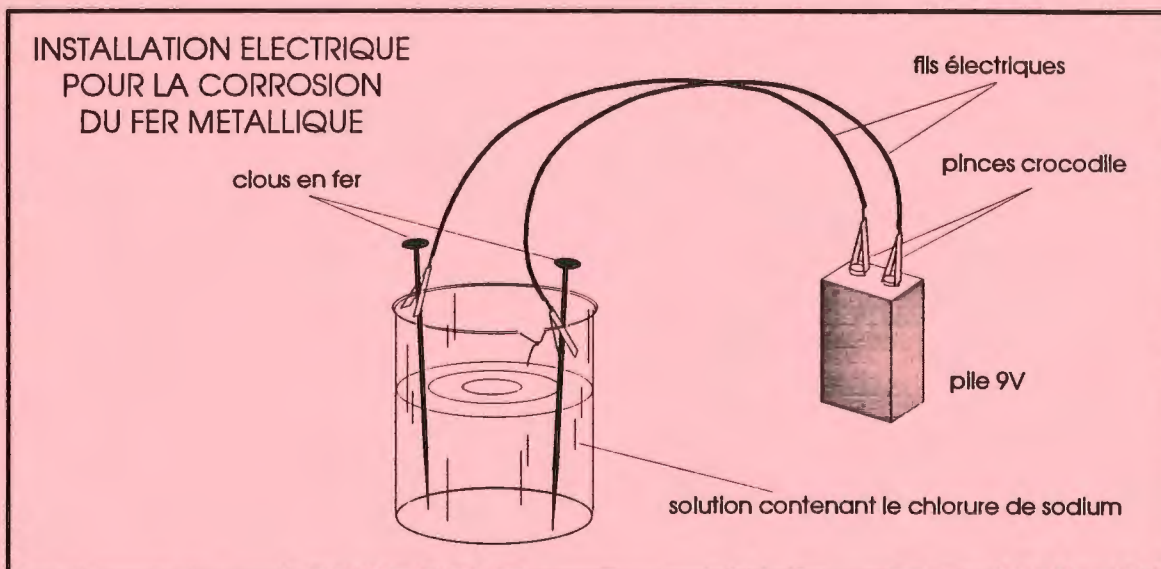
Ajouter 1 pointe de spatule de thiocyanate de potassium et agiter.

(6) Ajouter 5ml de solution de peroxyde d'hydrogène, agiter pour homogénéiser et observer la coloration du mélange résultant.

(7) Ajouter des petites quantités de chlorure d'étain dans l'éprouvette précédente, jusqu'à décoloration complète de la solution.

(8) PORTER GANTS ET LUNETTES DE SECURITE.

Préparer 5 éprouvettes contenant 5ml d'eau; ajouter lentement 5ml d'acide chlorhydrique



concentré dans chaque éprouvette; agiter pour homogénéiser.

Ajouter successivement dans les éprouvettes 1/2 spatule de cuivre métallique, d'étain métallique, de fer métallique, de zinc métallique, et, **très précautionneusement et très lentement**, de magnésium métallique. Observer le dégagement de gaz dans chaque éprouvette.

(9) Introduire, dans un bécher, 100ml d'eau et 5 spatules de chlorure de sodium; agiter pour homogénéiser.

Préparer l'installation électrique selon la figure de la page précédente.

Introduire les 2 électrodes dans la solution (ne pas les mettre en contact direct) et observer l'évolution de la solution durant quelques minutes.

2.4 FER ET MAGNETISME

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

1 mortier avec pilon, 1 petit aimant, 1 aimant très puissant, 5 éprouvettes, 1 capsule de porcelaine, pipettes Pasteur, 1 bec Bunsen, fil, 1 pince en bois, petits tubes de verre.

Soufre (S), fer métallique (Fe), acide chlorhydrique (HCl) 0.1M, sulfate de fer ferrique ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), sulfate de fer ferreux ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), ferrocyanure de potassium ($\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), ferricyanure de potassium ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$).

MANIPULATIONS

(1) Placer 2 spatules de soufre et 2-3 spatules de fer métallique dans un mortier. Si l'expérience doit être effectuée quantitativement plutôt que qualitativement, peser 3.2-5g de soufre (excès) et 5.6g de fer.

Broyer finement ce mélange jusqu'à l'obtention d'une poudre homogène.

Placer une feuille de papier au-dessus du mortier et vérifier que la poudre est attirée par un petit aimant placé sur la feuille.

(2) Chauffer une capsule de porcelaine au-dessus d'un bec Bunsen et verser lentement les 3/4 de la poudre préparée au point précédent (conserver le reste de la poudre pour le point suivant). Lorsque le soufre fond, le mélange devient incandescent; il est alors possible de retirer la capsule de la flamme pour observer la montée du front incandescent. Laisser refroidir.

(3) Récupérer la masse de sulfure de fer produite dans la capsule de porcelaine.

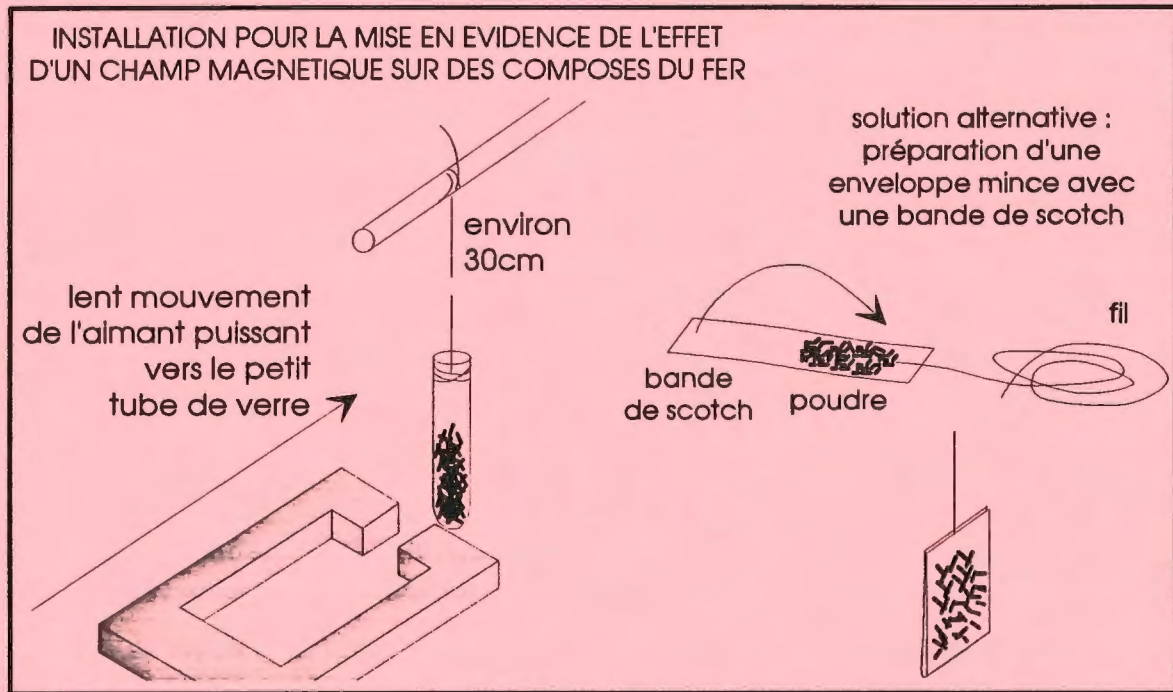
Approcher le petit aimant de la masse solide et observer son influence (comparer l'effet du champ magnétique avec le fer métallique seul et avec le mélange de poudre fer-soufre restant).

Introduire une petite quantité du sulfure de fer dans une éprouvette et ajouter quelques gouttes d'acide chlorhydrique; observer l'ébullition et humer **rapidement** les effluves.

(4) Placer, dans 4 petits tubes de verre, du sulfate de fer ferrique, du sulfate de fer ferreux, du ferricyanure de potassium, respectivement du ferrocyanure de potassium.

Fixer un fil de 30-35cm à l'extrémité supérieure de chaque petit tube, selon le schéma de la page suivante.

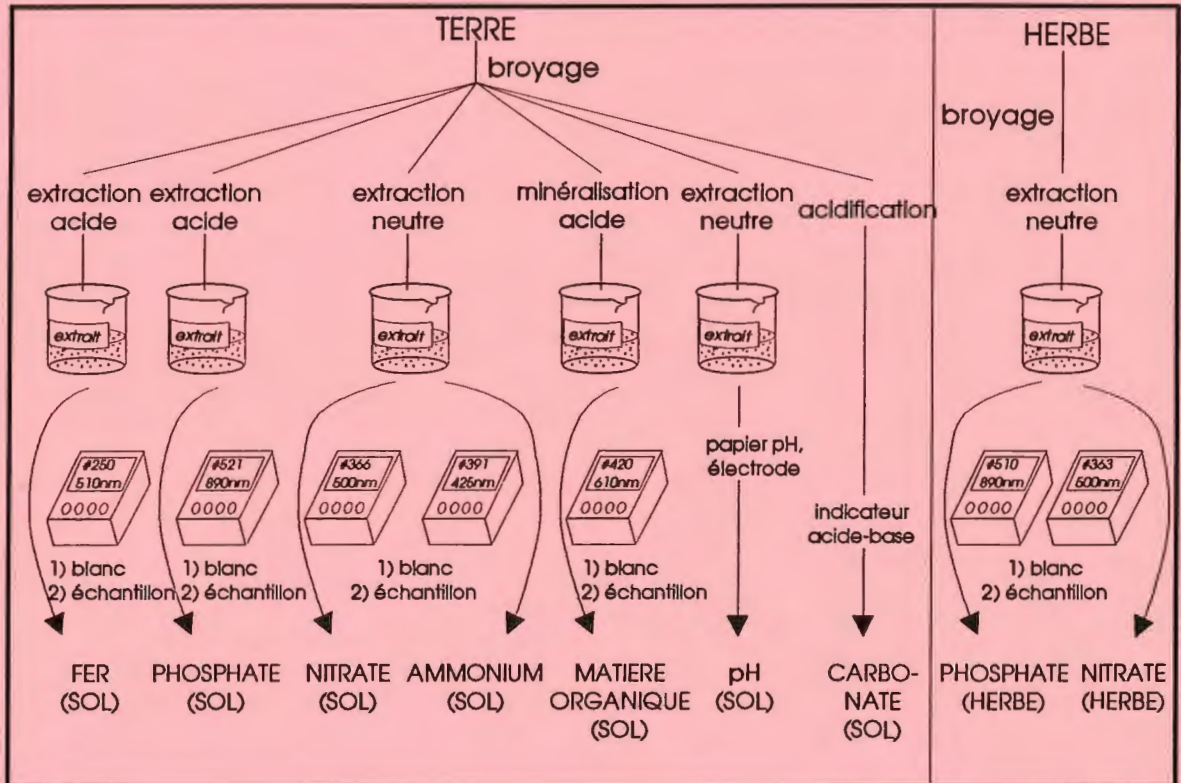
Suspendre ces petits tubes et stabiliser leur mouvement. Approcher lentement l'aimant de chaque tube et observer leurs différences de comportement.



3. LA CHIMIE DES SOLS (TERRE, HERBE)

Consigner les résultats des analyses dans le tableau présent à la fin du classeur.

Comme l'indique la figure ci-dessous, qui résume les expériences à effectuer sur les sols et les végétaux, il existe une grande similarité entre les différentes analyses décrites dans ce chapitre.



3.1 DETERMINATION DU FER DANS LA TERRE

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

1 petite pelle, 1 grand mortier avec pilon, 1 bécher 50ml, 1 cylindre gradué 50ml, 2 grandes éprouvettes, 1 bouchon en caoutchouc, 1 pipette graduée 5ml, 1 feutre, 1 balance, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

Acide chlorhydrique (HCl) 0.1M, gélules de réactif FerroVer[®], terre.

ECHANTILLONNAGE DE LA TERRE

Prélever un volume de terre d'environ 50ml, dans un sol sec et homogène en surface; ne pas inclure cailloux, gravier ou sable.

Placer cet échantillon de terre dans un grand mortier et broyer finement.

Conserver le stock de terre broyée dans un bécher, pour toutes les analyses à effectuer.

EXTRACTION ACIDE

Peser 10g de sol broyé dans une grande éprouvette; ajouter 20ml d'acide chlorhydrique.

Boucher l'éprouvette avec un bouchon en caoutchouc et agiter durant 5 minutes.
Laisser décanter, puis récupérer le surnageant le moins turbide possible dans une éprouvette étiquetée "Fe-sol" pour l'analyse du fer.

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #250, longueur d'onde 510nm.
Introduire 2.5ml de l'extrait "Fe-sol" dans une cellule colorimétrique, compléter à 25ml avec de l'eau, homogénéiser et mesurer le blanc (touche ZERO).

MESURE DU FER DANS LA TERRE

Introduire 2.5ml de l'extrait "Fe-sol" dans une cellule colorimétrique; compléter à 25ml avec de l'eau.
Ajouter le contenu d'une gélule de réactif FerroVer[®], homogénéiser et enclencher le minuteur.
A l'issue de la période de réaction (3 minutes), mesurer la concentration de fer dans l'échantillon.

3.2 DETERMINATION DES PHOSPHATES DANS LA TERRE

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

1 cuillère à terre (3.5cm³), 1 cylindre gradué 50ml, 2 grandes éprouvettes, 1 bouchon en caoutchouc, 1 pipette graduée 1ml, 1 feutre, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

Gélules d'extraction SoilExtractant1[®], gélules de réactif PhosVer3[®], échantillon de terre broyée.

EXTRACTION ACIDE

Introduire 1 cuillère à terre de sol broyé dans une grande éprouvette; ajouter le contenu d'une gélule SoilExtractant1[®].
Ajouter 25ml d'eau, boucher l'éprouvette et agiter durant 30 secondes.
Laisser décanter, puis récupérer le surnageant clarifié dans une éprouvette étiquetée "PO₄-sol" pour l'analyse des phosphates.

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #521, longueur d'onde 890nm.
Introduire 0.5ml de l'extrait "PO₄-sol" dans une cellule colorimétrique, compléter à 25ml avec de l'eau, homogénéiser et mesurer le blanc (touche ZERO).

MESURE DES PHOSPHATES DANS LA TERRE

Introduire 0.5ml de l'extrait "PO₄-sol" dans une cellule colorimétrique; compléter à 25ml avec de l'eau.
Ajouter le contenu d'une gélule Phosver3[®], homogénéiser et enclencher le minuteur.
Mesurer la concentration de phosphates dans l'échantillon après 2 minutes.

3.3 DETERMINATION DES NITRATES DANS LA TERRE

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

1 cuillère à terre (3.5cm³), 1 cylindre gradué, 3 grandes éprouvettes, 1 bouchon en caoutchouc, 1 pipette graduée, 1 feutre, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

Réactif d'extraction NitrateExtraction[®] (flacon muni d'un bouchon-distributeur), gélules de réactif NitraVeró[®], gélules de réactif NitriVer3[®], échantillon de terre broyée.

EXTRACTION NEUTRE

Introduire 1 cuillère à terre de sol broyé dans une grande éprouvette; ajouter 25ml d'eau, puis 2 doses de réactif NitrateExtraction[®], au moyen du bouchon-distributeur.

Boucher l'éprouvette et agiter durant 30 secondes.

Laisser décanter, puis récupérer le surnageant clarifié dans une éprouvette étiquetée "NO₃-NH₄-sol" pour l'analyse des ions nitrate et ammonium.

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #366, longueur d'onde 500nm.

Introduire 1ml de l'extrait "NO₃-NH₄-sol" dans une cellule colorimétrique, compléter à 25ml avec de l'eau, homogénéiser et mesurer le blanc (touche ZERO).

MESURE DES NITRATES DANS LA TERRE

(1) Introduire 1ml de l'extrait "NO₃-NH₄-sol" dans une grande éprouvette (conserver le reste de l'extrait pour l'analyse 3.4); ajouter 24ml d'eau.

Ajouter le contenu d'une gélule NitraVeró[®] et boucher l'éprouvette; enclencher le minuteur et agiter vigoureusement et de manière constante durant 3 minutes.

Réenclencher le minuteur (2 minutes) et laisser l'échantillon reposer.

(2) Transvaser précautionneusement le surnageant dans une cellule colorimétrique.

Ajouter le contenu d'une gélule de réactif NitriVer3[®]; homogénéiser et enclencher le minuteur.

Mesurer la concentration de nitrates dans l'échantillon après 10 minutes.

3.4 DETERMINATION DE L'AMMONIUM DANS LA TERRE

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

1 pipette graduée, 1 cylindre gradué, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

Réactif en solution AmmoniaNitrogen1[®], réactif en solution Nessler[®], extrait "NO₃-NH₄-sol".

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #391, longueur d'onde 425nm.

Introduire 25ml d'eau dans une cellule colorimétrique, ajouter 6 gouttes de réactif AmmoniaNitrogen1[®] et homogénéiser.

Ajouter 1ml de réactif Nessler[®], homogénéiser, puis enclencher le minuteur.

Effectuer la mise à zéro de l'instrument de mesure avec le blanc (touche ZERO) après 1 minute.

MESURE DE L'AMMONIUM DANS LA TERRE

Introduire 1ml d'extrait "NO₃-NH₄-sol" préparé auparavant dans une cellule colorimétrique; ajouter 24ml d'eau et 6 gouttes de réactif AmmoniaNitrogen1[®]; homogénéiser. Ajouter 1ml de réactif de Nessler[®], homogénéiser et enclencher le minuteur. Mesurer la concentration d'ammonium dans l'échantillon après 1 minute.

3.5 DETERMINATION DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LA TERRE

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

2 erlenmeyers 250ml, 1 cylindre gradué 50ml, 1 grande éprouvette, 1 entonnoir, papiers filtre plissés, 1 feutre, 1 balance, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

Acide sulfurique (H₂SO₄) concentré (18.2M), dichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) 0.17M, échantillon de terre broyée.

MINERALISATION DE LA MATIERE ORGANIQUE

PORTER GANTS ET LUNETTES DE SECURITE.

Peser 1g de terre broyée dans un erlenmeyer (échantillon); ajouter 10ml de solution de dichromate de potassium. Ajouter lentement 20ml d'acide sulfurique.

Dans un second erlenmeyer (blanc), ajouter 10ml de solution de dichromate de potassium, puis 20ml d'acide sulfurique.

Enclencher le minuteur et agiter fréquemment. Après 10 minutes, ajouter 230ml d'eau dans chaque erlenmeyer.

Filter l'échantillon sur 2-3 papiers filtre plissés, dans une éprouvette étiquetée "C_{org}-sol".

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #420, longueur d'onde 610nm.

Introduire la solution de blanc dans une cellule colorimétrique et effectuer la mise à zéro de l'instrument (touche ZERO).

MESURE DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LA TERRE

Introduire 25ml de l'échantillon "C_{org}-sol" dans une cellule colorimétrique et mesurer la concentration de matière organique dans l'échantillon. Multiplier le résultat par 2.

3.6 MESURE DU pH; MISE EN EVIDENCE DES CARBONATES DANS LA TERRE

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

3 béchers 250ml, 1 entonnoir, 1 baguette de verre, 2 grandes éprouvettes, 1 bouchon en caoutchouc à 2 trous, 1 tuyau en caoutchouc, 1 seringue avec petit raccord en caout-

chouc, papiers filtre plissés, 1 rouleau de papier indicateur de pH, 1 électrode de mesure de l'acidité des sols, 1 balance.

Acide chlorhydrique (HCl) concentré, bleu de bromothymol ($C_{19}H_9O_5SBr_4Na$) 0.04%, échantillon de terre broyée.

pH DE LA TERRE

(1) Peser 50g de terre sèche dans un bécher; ajouter 50ml d'eau; agiter avec une baguette de verre pour diviser la terre et l'homogénéiser au mieux.

Laisser décanter, puis filtrer le surnageant sur un entonnoir muni d'un papier filtre plissé, en récupérant le filtrat dans un second bécher.

(2) Déterminer semi-quantitativement le pH de la solution filtrée, au moyen de papier pH.

(3) Enfoncer lentement l'électrode de mesure de l'acidité dans le sol exempt de pierres, de telle manière que les 2 anneaux métalliques soient entièrement enfouis.

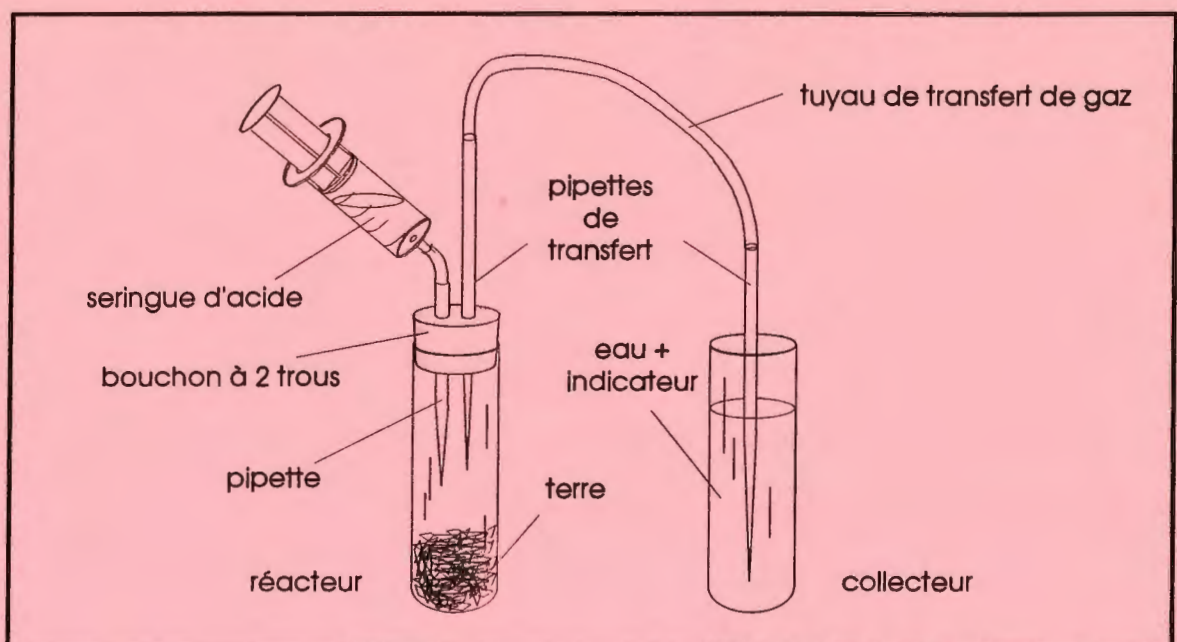
Observer la déflexion de l'aiguille vers la droite de l'échelle indicatrice, puis son déplacement vers la gauche. Laisser l'aiguille se stabiliser environ 5 minutes avant d'effectuer la lecture du pH du sol. Comparer cette valeur à celle obtenue au point précédent.

PRESENCE DE CARBONATES DANS LA TERRE

Préparer le montage de la figure précédente. Introduire environ 5cm de terre sèche au fond de l'éprouvette de réaction; introduire environ 20ml d'eau et quelques gouttes de bleu de bromothymol dans l'éprouvette réceptrice.

Diluer 10ml d'acide chlorhydrique dans 10ml d'eau et remplir une seringue avec cette solution; connecter la seringue à l'éprouvette de réaction et y introduire lentement le volume d'acide.

Agiter et observer le dégagement de gaz ainsi que la modification de la coloration de la solution dans l'éprouvette réceptrice. Il peut être nécessaire de rajouter de l'acide.



3.7 DETERMINATION DES PHOSPHATES DANS L'HERBE

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

1 grand mortier avec pilon, 1 paire de ciseaux, 1 cylindre gradué 50ml, 2 grandes éprouvettes, 1 entonnoir, papiers filtre plissés, 1 pipette graduée 1ml, 1 feutre, 1 balance, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

Charbon actif (C), gélules de réactif PhosVer3[®], herbe.

ECHANTILLONNAGE DU VEGETAL (HERBE)

Prélever quelques poignées d'herbe; les ciseler avec une paire de ciseaux; récolter le tout dans un bécher.

EXTRACTION NEUTRE

Peser 1.25g d'herbe hâchée; introduire cette herbe dans un mortier; broyer pour casser les fragments végétaux puis ajouter 50ml d'eau.

Ajouter 2-4 spatules de charbon actif; agiter pour homogénéiser.

Attendre 2 minutes et filtrer dans une éprouvette surmontée d'un entonnoir muni de 2 papiers filtre plissés (la filtration est longue).

Le filtrat est purifié avec une seconde fraction de charbon actif (1 spatule suffit), puis refiltré dans une éprouvette étiquetée "NO₃-PO₄-herbe"; la solution finale peut être encore légèrement teintée.

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #510, longueur d'onde 890nm. Introduire 1ml de l'extrait "NO₃-PO₄-végétaux" dans une cellule colorimétrique, compléter à 25ml avec de l'eau, homogénéiser et mesurer le blanc (touche ZERO).

MESURE DES PHOSPHATES DANS L'HERBE

Introduire 1ml de l'extrait "NO₃-PO₄-herbe" dans une cellule colorimétrique (conserver le reste de l'extrait pour l'analyse de l'ion nitrate).

Compléter à 25ml avec de l'eau. Ajouter le contenu d'une gélule de réactif PhosVer3[®], homogénéiser et enclencher le minuteur.

Mesurer la concentration de phosphates dans l'échantillon après 2 minutes.

3.8 DETERMINATION DES NITRATES DANS L'HERBE

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

1 pipette graduée 10ml, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

Gélules de réactif NitraVer5[®], extrait "NO₃-PO₄-herbe".

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #363, longueur d'onde 500nm.

Introduire 10ml de l'extrait "NO₃-PO₄-herbe", préparé précédemment, dans une cellule colorimétrique, compléter à 25ml avec de l'eau, homogénéiser et mesurer le blanc (touche ZERO).

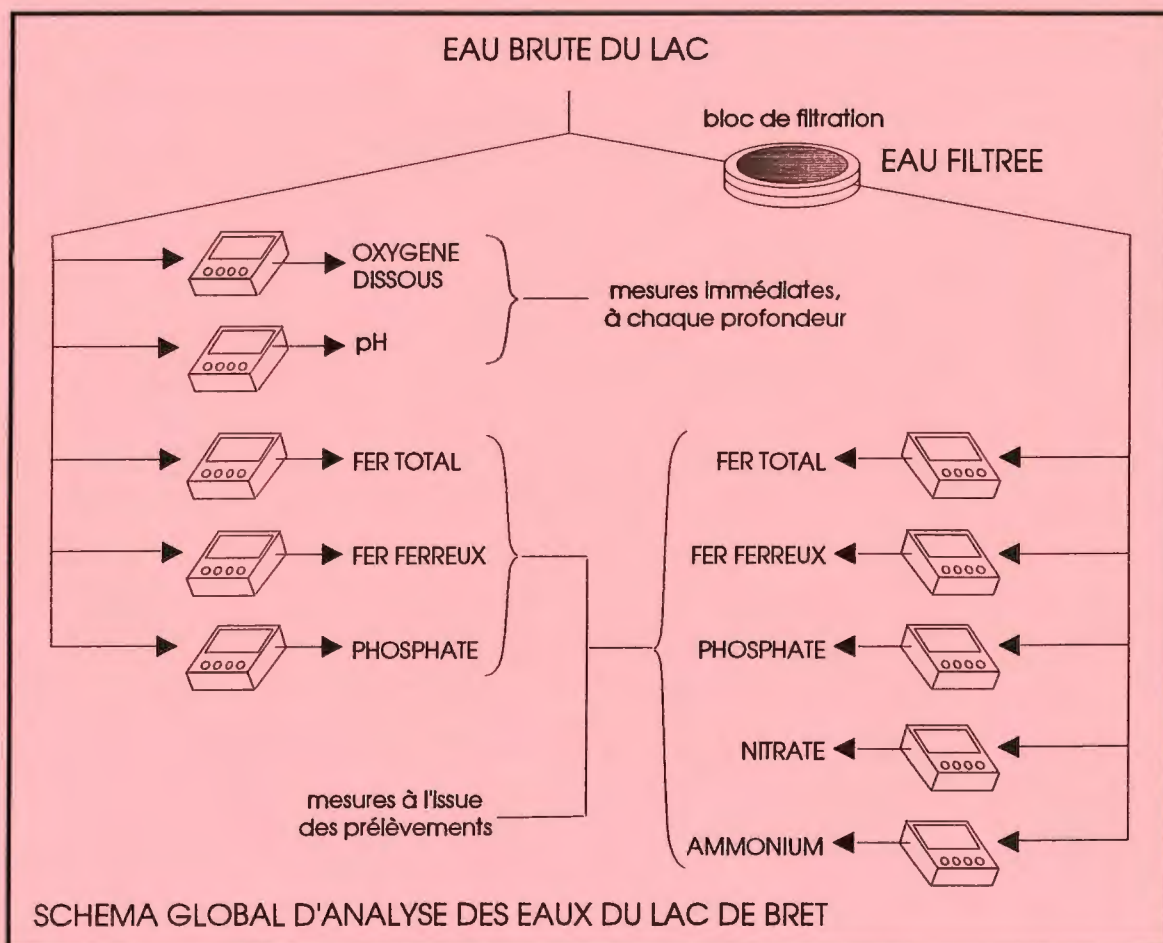
MESURE DES NITRATES DANS L'HERBE

Introduire 10ml de l'extrait "NO₃-PO₄-herbe" dans une cellule colorimétrique.
Compléter à 25ml avec de l'eau, ajouter le contenu d'une gélule de réactif NitraVer5[®];
homogénéiser et enclencher le minuteur.
Mesurer la concentration de nitrates dans l'échantillon après 5 minutes.

4. LA CHIMIE DES EAUX

Consigner l'ensemble des résultats des analyses d'eau brute et filtrée dans le tableau présent à la fin du classeur.

La procédure globale d'échantillonnage et d'analyse de l'eau du lac de Bret est résumée sur la figure ci-dessous.



4.1 PREPARATION DU MATERIEL; PRELEVEMENT D'ECHANTILLONS

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

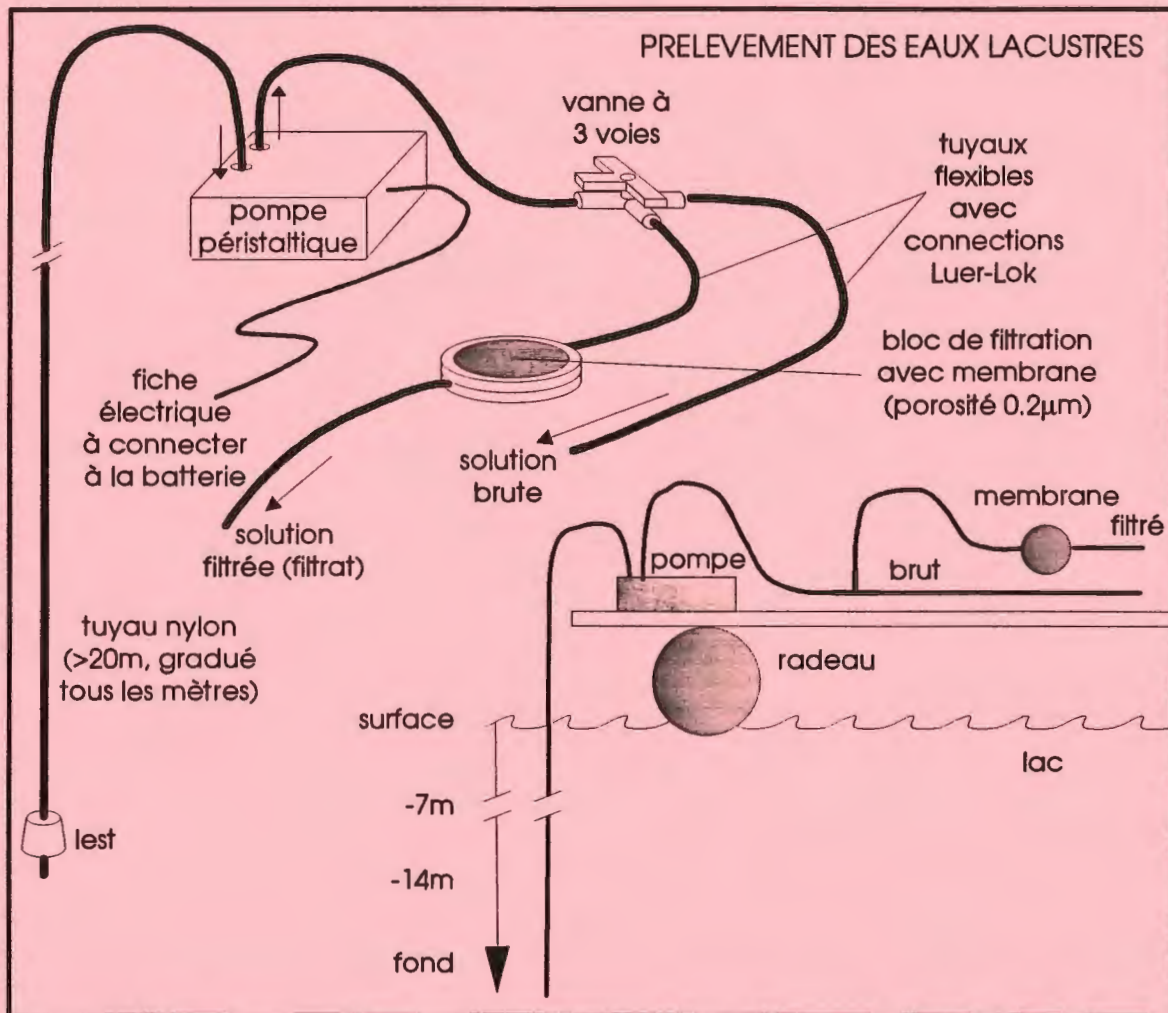
Pipettes Pasteur, 1 pompe péristaltique avec tuyau, 1 bloc filtrant avec membranes de filtration (porosité 0.2 μ m, diamètre 90mm, nitrate de cellulose) et vanne 3 voies, 8 flacons de prélèvement en polyéthylène (250ml), 1 accumulateur 12V, 1 lest, 1 corde, 1 pH-mètre Metrohm 704 avec électrode et accessoires.

Acide chlorhydrique (HCl) 1M, solution tampon pH=7.0, solution tampon pH=4.0.

PREPARATION DU MATERIEL DE PRELEVEMENT

(1) Préparer le matériel de prélèvement selon la figure ci-dessus.

Munir le bloc filtrant d'une membrane de filtration (0.2 μ m de porosité).



(2) Pour chacune des 4 profondeurs à échantillonner (surface; -7m; -14m; fond), étiquetter 2 flacons de prélèvement en plastique, en mentionnant "brut" et la profondeur sur un flacon ainsi que "filtré" et la profondeur sur un autre flacon.

Ajouter 2-3 gouttes d'acide chlorhydrique au fond des 8 flacons étiquetés; les boucher en attente des prélèvements.

ETALONNAGE DU pH-METRE

Rincer l'électrode à l'eau entre chaque mesure; **l'extrémité inférieure est un bulbe de verre fragile, qui est à manipuler avec précaution.**

Enclencher le pH-mètre et étalonner sa réponse au moyen de la solution de tampon pH=7.0, puis de la solution de tampon pH=4.0. Il est nécessaire d'indiquer la température des tampons à l'instrument.

Le pH-mètre s'éteint automatiquement après 5 minutes de non utilisation, sans conséquence sur l'étalonnage préalable.

PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS D'EAU LACUSTRE

Pour chaque profondeur à échantillonner (surface, -7m, -14m, fond), effectuer les manipulations suivantes :

Enclencher la pompe péristaltique et positionner l'ensemble corde + lest + tuyau à la

profondeur de prélèvement désirée.

Purger l'ensemble du tuyau de prélèvement durant environ 2 minutes et remplir le flacon de prélèvement "brut".

Purger le bloc filtrant durant quelques secondes pour éliminer les bulles d'air, puis remplir le flacon de prélèvement "filtré"

Respecter les précautions suivantes : ne laisser la pompe connectée sur la sortie du bloc filtrant que lorsque l'échantillon "filtré" doit être prélevé; si la membrane de filtration donne des signes de colmatage, munir le bloc filtrant d'une nouvelle membrane).

Avant de prélever les échantillons à la profondeur suivante, effectuer immédiatement les expériences 4.2 (mesure du pH) et 4.3 (dosage de l'oxygène dissous).

Répéter ensuite l'ensemble des manipulations pour les profondeurs suivantes.

4.2 MESURE DU pH DES ECHANTILLONS

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

1 bécher, 1 pH-mètre Metrohm 704 avec électrode et accessoires.

Solution d'eau brute en cours de prélèvement.

MANIPULATIONS

A chaque profondeur, remplir un bécher avec l'eau brute en cours de prélèvement; laisser déborder pour assurer un échantillon homogène.

Introduire l'électrode de pH dans le bécher et lire l'indication sur le pH-mètre; consigner la valeur lue pour l'interprétation finale.

Passer immédiatement à l'expérience 4.3.

4.3 DETERMINATION DE L'OXYGENE DISSOUS

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

1 bécher, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

Ampoules de réactif sous vide AccuVac[®] HRDO (avec petits bouchons en caoutchouc bleu idoines), solution d'eau brute en cours de prélèvement.

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #445, longueur d'onde 535nm.

A chaque profondeur, introduire l'eau brute en cours de prélèvement dans une cellule colorimétrique cylindrique et mesurer le blanc (touche ZERO).

MESURE DE L'OXYGENE DISSOUS DANS L'EAU

A chaque profondeur, remplir un bécher avec l'eau brute en cours de prélèvement; laisser déborder l'eau pour homogénéiser; remplir également un petit bouchon en caoutchouc avec l'eau brute.

Casser 1 ampoule AccuVac[®] au fond du bécher et la maintenir immergée jusqu'à ce qu'elle

soit pleine. Sans l'inverser, boucher immédiatement l'ampoule avec le petit bouchon et agiter 30 secondes, puis enclencher le minuteur.

A l'issue du temps de réaction (2 minutes), agiter l'ampoule; mesurer la concentration en oxygène dissous dans l'échantillon.

Après la mesure, passer à l'expérience 4.1 pour prélever des échantillons à une nouvelle profondeur.

4.4 DETERMINATION DU FER TOTAL

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

Grandes éprouvettes, 1 cylindre gradué 50ml, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

Gélules de réactif TPTZ, échantillons "bruts" et "filtrés" prélevés aux 4 profondeurs.

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #270, longueur d'onde 590nm.

Introduire 25ml d'eau dans une cellule colorimétrique et ajouter le contenu d'une gélule de réactif TPTZ; homogénéiser et mesurer le blanc (touche ZERO).

MESURE DU FER TOTAL DANS L'EAU

Pour tous les échantillons ("bruts" et "filtrés"), procéder comme suit :

Introduire 25ml d'échantillon dans une éprouvette et ajouter le contenu d'une gélule de réactif TPTZ; homogénéiser, puis enclencher le minuteur.

Après 3 minutes, transvaser dans une cellule colorimétrique et mesurer la concentration de fer total dans les échantillons.

4.5 DETERMINATION DU FER FERREUX

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

Gélules de réactif Ferrouslron[®], échantillons "bruts" et "filtrés" prélevés aux 4 profondeurs.

REGLAGE DE L'INSTRUMENT

Régler le spectrophotomètre : méthode #255, longueur d'onde 510nm.

MESURE DU BLANC ET DU FER FERREUX DANS L'EAU

Procéder comme suit pour tous les échantillons "bruts" et "filtrés" :

Dans une cellule colorimétrique, introduire 25ml d'échantillon et mesurer le blanc (touche ZERO).

Ajouter ensuite le contenu d'une gélule de réactif Ferrouslron[®], homogénéiser, puis enclencher le minuteur.

Mesurer la concentration de fer ferreux dans les échantillons après 3 minutes de réaction.

4.6 DETERMINATION DE L'AMMONIUM

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

Grandes éprouvettes, 1 cylindre gradué 50ml, pipettes graduées 1ml, bouchons en caoutchouc, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

Réactif en solution Rochelle[®], réactif en solution Nessler[®], échantillons "filtrés" prélevés aux 4 profondeurs.

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #380, longueur d'onde 425nm.

Introduire 25ml d'eau dans une cellule colorimétrique, ajouter 1ml de réactif Rochelle[®], boucher et agiter.

Ajouter 1ml de réactif Nessler[®], boucher et agiter, puis enclencher le minuteur.

Effectuer la mise à zéro de l'instrument avec ce blanc (touche ZERO) après 1 minute de temps de réaction.

MESURE DE L'AMMONIUM DANS L'EAU

Pour tous les échantillons "filtrés", procéder comme suit :

Introduire 25ml de l'échantillon dans une éprouvette, ajouter 1ml de réactif Rochelle[®], boucher et agiter.

Ajouter 1ml de réactif Nessler[®], boucher et agiter, puis enclencher le minuteur.

Après 1 minute, transvaser dans une cellule colorimétrique et mesurer la concentration en ions ammonium dans les échantillons.

4.7 DETERMINATION DES NITRATES

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

Grandes éprouvettes, 1 cylindre gradué 50ml, bouchons en caoutchouc, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

Gélules de réactif NitraVer5[®], échantillons "filtrés" prélevés aux 4 profondeurs.

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #353, longueur d'onde 400nm.

Introduire 25 ml d'eau dans une cellule colorimétrique; ajouter le contenu d'une gélule de réactif NitraVer5[®] et boucher.

Enclencher le minuteur; agiter vigoureusement et constamment durant 1 minute.

Réenclencher le minuteur; après 5 minutes, mesurer le blanc (touche ZERO).

MESURE DES NITRATES DANS L'EAU

Pour tous les échantillons "filtrés", procéder comme suit :

Introduire 25ml d'eau dans une grande éprouvette, ajouter le contenu d'une gélule de réactif NitraVer5[®], boucher.

Enclencher le minuteur; agiter vigoureusement et constamment durant 1 minute.
Réenclencher le minuteur; après 5 minutes, transvaser lentement et précautionneusement la solution dans une cellule colorimétrique et mesurer la concentration de nitrates dans les échantillons.

4.8 DETERMINATION DES PHOSPHATES

MATERIEL DE TRAVAIL, REACTIFS

Grandes éprouvettes, 1 cylindre gradué 50ml, 1 spectrophotomètre Hach DR-2000 avec accessoires.

Gélules de réactif PhosVer3[®], échantillons "bruts" et "filtrés" prélevés aux 4 profondeurs.

REGLAGE DE L'INSTRUMENT ET MESURE DU BLANC

Régler le spectrophotomètre : méthode #490, longueur d'onde 890nm.

Introduire 25ml d'eau dans une cellule colorimétrique, ajouter le contenu d'une gélule de réactif PhosVer3[®], homogénéiser et enclencher le minuteur.

Mesurer le blanc après 2 minutes (touche ZERO).

MESURE DES PHOSPHATES DANS L'EAU

Pour tous les échantillons ("brut" et "filtré"), procéder comme suit :

Introduire 25ml d'échantillon dans une grande éprouvette, ajouter le contenu d'une gélule de réactif PhosVer3[®], homogénéiser et enclencher le minuteur.

Après 2 minutes, transvaser dans une cellule colorimétrique, et mesurer la concentration en ions phosphate dans les échantillons.

TABLEAU RECAPITULATIF DES ANALYSES EFFECTUEES SUR LES ECHANTILLONS DE TERRE ET D'HERBE

	FER (TERRE)	PHOSPHATES (TERRE)	NITRATES (TERRE)	AMMONIUM (TERRE)	ORGANIQUE (TERRE)	pH (TERRE)	CARBONATES (TERRE)	PHOSPHATES (HERBE)	NITRATES (HERBE)
PREPARATION PRELIMINAIRE	extraction acide	extraction acide	extraction neutre	extraction neutre	attaque oxydante	(a) extraction neutre (b) électrode	attaque acide	extraction neutre	extraction neutre
METHODE DE MESURE	colorimétrie à 510nm	colorimétrie à 890nm	colorimétrie à 500nm	colorimétrie à 425nm	colorimétrie à 610nm	(a) papier indicateur de pH (b) électrode	variation de la coloration d'un Indicateur acide-base (BBT)	colorimétrie à 890nm	colorimétrie à 500nm
REACTION A LA BASE DE LA MESURE	1) réduction du Fe^{2+} en Fe^{3+} 2) complexation du Fe^{2+}	1) complexa- tion du PO_4^{3-} 2) réduction du complexe	1) réduction du NO_3^- en NO_2^- 2) réaction organique	formation directe d'un composé à base de mercure	réduction directe du réactif Cr^{6+} en Cr^{3+}	aucune	1) acidification de CO_3^{2-} en CO_2 gazeux 2) acidification d'une solution neutre par le CO_2	1) complexa- tion du PO_4^{3-} 2) réduction du complexe	1) réduction du NO_3^- en NO_2^- 2) réaction organique
COULEUR DU COMPOSE ANALYSE	rouge-orangé	bleu	rouge-orangé	jaune	vert		passage du bleu au jaune de la solution neutre	bleu	ambre
CONCENTRATION MESUREE (Indiquer les unités)						(a) (b)			

TABLEAU RECAPITULATIF DES ANALYSES EFFECTUEES SUR LES ECHANTILLONS D'EAU DU LAC							
	pH	OXYGENE DISSOUS	FER TOTAL (Fe ²⁺ + Fe ³⁺)	FER FERREUX (Fe ²⁺)	AMMONIUM	NITRATES	PHOSPHATES
PREPARATION PRELIMINAIRE	aucune	aucune	acidification	acidification	acidification	acidification	acidification
METHODE DE MESURE	électrode sélective	colorimétrie à 535nm	colorimétrie à 510nm	colorimétrie à 425nm	colorimétrie à 507nm	colorimétrie à 400nm	colorimétrie à 890nm
REACTION A LA BASE DE LA MESURE	aucune réaction (mesure d'une différence de potentiel)	1) oxydation du Mn ²⁺ en MnO ₂ 2) oxydation du I ⁻ en I ₂	1) réduction du Fe ²⁺ en Fe ³⁺ 2) complexation du Fe ²⁺	complexation directe du Fe ²⁺	formation directe d'un composé à base de mercure	1) réduction du NO ₃ ⁻ en NO ₂ ⁻ 2) réaction organique	1) complexatio du PO ₄ ³⁻ 2) réduction du complexe
COULEUR DU COMPOSE ANALYSE		violet	bleu-pourpre	rouge-orangé	jaune	rouge-orangé	bleu
ECHANTILLONS BRUTS : CONCENTRATION MESUREE (Indiquer les unités)	(surf.)	(surf.)	(surf.)	(surf.)			(surf.)
	(-7m)	(-7m)	(-7m)	(-7m)			(-7m)
	(-14m)	(-14m)	(-14m)	(-14m)			(-14m)
	(fond)	(fond)	(fond)	(fond)			(fond)
ECHANTILLONS FILTRES : CONCENTRATION MESUREE (Indiquer les unités)			(surf.)	(surf.)	(surf.)	(surf.)	(surf.)
			(-7m)	(-7m)	(-7m)	(-7m)	(-7m)
			(-14m)	(-14m)	(-14m)	(-14m)	(-14m)
			(fond)	(fond)	(fond)	(fond)	(fond)

QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION

Nom, Prénom (optionnel)

Quelle est votre formation ?

MODE D'ENSEIGNEMENT

DUREE DES SEANCES DE "LABORATOIRE" :

premier "laboratoire" (chimie du fer, chap. 2) : durée..... trop long adéquat trop court

deuxième "laboratoire" (chimie du sol, chap. 3) : durée.....

troisième "laboratoire" (chimie de l'eau, chap. 4) : durée.....

QUALITE DES SEANCES DE "LABORATOIRE" :

premier "labo" (chimie du fer) : description du protocole..... insuffisant pas très bon suffisant bien excellent

qualité des explications.....

intérêt pour les expériences.....

deuxième "labo" (chimie du sol) : description du protocole.....

qualité des explications.....

intérêt pour les expériences.....

troisième "labo" (chimie de l'eau) : description du protocole.....

qualité des explications.....

intérêt pour les expériences.....

QUESTIONS GENERALES

EVALUATION DU SUPPORT ECRIT

présentation générale.....

facilité à retrouver des informations.....

description des produits (caractéristiques, préparation, toxicité).....

RELATION ENTRE CE COURS ET VOTRE ENSEIGNEMENT

relation avec le cours "Approche du Monde de la Chimie".....

niveau par rapport aux matières enseignées au collège.....

REMARQUES PERSONNELLES

Veillez indiquer vos suggestions et critiques pour l'amélioration de ce cours

