

Polycopié préparé

Par

SARRI Madani

Matière

Analyse et Protection de l'Environnement (APE)

**License Académique
Ecologie et Environnement**

Année universitaire 2020– 2021

**Université Mohamed BOUDIAF – M'sila –
Faculté des Sciences**

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Intitulé de la License : **Ecologie et Environnement**
Intitulé de la matière : **Analyse et Protection de l'Environnement**
UE Méthodologique : **Semestre 5 / Crédits : 4 et Coefficient : 3**

Objectifs de l'enseignement : le contenu de cette matière permet à l'étudiant de s'imprégner des méthodes d'analyses physico-chimiques et biologiques des différents compartiments dans le contexte de l'évaluation, de la surveillance de la qualité et de la protection de l'environnement.

Connaissances préalables recommandées : Différents types d'écosystèmes, compartiments de la biosphère (eau, sol, atmosphère), faune, flore, chimie différents types d'écosystèmes, compartiments de la biosphère (eau, sol, atmosphère), faune, flore et chimie.

Contenu de la matière

Chapitre I : Analyses physico-chimiques <ul style="list-style-type: none">1- Objectifs des analyses environnementales2- Les matrices analysées<ul style="list-style-type: none">1-2- Eaux2-2- Sédiments2-3- Sols, boues et composts2-4- Echantillons biologiques2-5- Echantillons atmosphériques2-6- Autres de matrices3- Les paramètres déterminés<ul style="list-style-type: none">3-1- Paramètres physico-chimiques3-2- Paramètres inorganiques3-3- Formes chimiques métalliques3-4- Paramètres organiques3-5- Exemples de substances réglementées4- Les types de méthodes<ul style="list-style-type: none">4-1- Méthodes primaires4-2- Méthodes relatives4-1- Méthodes comparatives	Chapitre II : Analyses biologiques <ul style="list-style-type: none">1- Relations des organismes aux conditions du milieu<ul style="list-style-type: none">1-1- Notions de bioindicateurs1-2- Méthodes biologiques et bioindicateurs2- Principaux types de méthodes biologiques actuellement utilisées<ul style="list-style-type: none">2-1- Méthodes biologiques (Biochimiques, écotoxicologiques, biocénétiques)2-2- Méthodes indicelles<ul style="list-style-type: none">■ Utilisant les peuplements végétaux (Ex : Indice diatomique)■ Utilisant les peuplements animaux (Ex : Indice biotique basé sur les macroinvertébrés benthiques)
Chapitre III : Protection de l'environnement « réglementations algérienne » <ul style="list-style-type: none">1- Législation environnementale : définition et étendue2- Statut juridique actuel en matière de protection et gestion de l'environnement, protection des ressources naturelles...etc.).	

Mode d'évaluation : Contrôle continu (exposés + rapports de sorties + test) et examen semestriel

Références bibliographiques

1. Ramade F., 2011. Introduction à l'écochimie : les substances chimiques de l'écosphère à l'homme. Ed. Tec et Doc Lavoisier, Paris.
2. Ramade F., 2010. Dictionnaire encyclopédique de pollutions : De l'environnement à l'homme. Ed. Dunod, Paris.
3. Rodier J. et Coll., 2005. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mar. Ed. Dunod, Paris
4. Standard methods for the examination of water and wastewater, 1980, Ed. APHA-AWWA-WPCF.

Chapitre I : Analyses physico-chimiques

- 1- Objectifs des analyses environnementales
- 2- Les matrices analysées
 - 2-1- Eaux
 - 2-2- Sédiments
 - 2-3- Sols, boues et composts
 - 2-4- Echantillons biologiques
 - 2-5- Echantillons atmosphériques
 - 2-6- Autres de matrices
- 3- Les paramètres déterminés
 - 3-1- Paramètres physico-chimiques
 - 3-2- Paramètres inorganiques
 - 3-3- Formes chimiques métalliques
 - 3-4- Paramètres organiques
 - 3-5- Exemples de substances réglementées
- 4- Les types de méthodes
 - 4-1- Méthodes primaires
 - 4-2- Méthodes relatives
 - 4-3- Méthodes comparatives

1-Objectifs des analyses environnementales

Dans un système de management environnemental, il est essentiel d'identifier les aspects environnementaux liés à une activité. Il faut ainsi connaître les aspects maîtrisables et déterminer les impacts environnementaux significatifs.

Selon la norme ISO 14001, la démarche choisie doit être développée dans une procédure et les résultats consignés dans un document. On parle couramment d'analyse environnementale. Sa mise en place permet d'orienter la politique environnementale et de proposer des objectifs environnementaux.

***_/ L'analyse environnementale comporte plusieurs étapes :**

- identifier des activités, des procédés de fabrication et des flux ;
- identifier les exigences (notamment légales) applicables aux activités inventoriées ;
- réunir les pièces informatives sur les flux, l'historique et le milieu (environnement) ;
- identifier les entrants et les sortants pour chaque activité identifiée ;
- inventorier les aspects environnementaux correspondants aux activités et définir les impacts correspondants (pour toutes les phases de vie de l'activité) ;
- définir la "significativité" des impacts environnementaux (cotation des impacts).

****_/ L'analyse environnementale prend en compte l'ensemble des paramètres suivants :**

- l'air ;
- le bruit ;
- les déchets ;
- l'eau ;
- l'énergie ;
- le paysage ;
- le sol et les sous-sols ;
- les risques naturels et technologiques.

1- Les matrices analysées

2-1- Eaux

Analyses de l'eau : eaux naturelles / Présentation générale

Les études de qualité des eaux naturelles comportent trois étapes :

- l'échantillonnage,
- l'analyse,
- l'interprétation

a- L'échantillonnage

L'échantillonnage est primordial car il conditionne la pertinence de l'analyse. Il doit être de qualité mais également représentatif de ce que l'on veut analyser.

Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des récipients propres, rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser, puis fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon.

*_/Matériau de flaconnage

La nature du matériau du récipient de prélèvement est importante, car celui-ci ne doit pas entrer en réaction avec l'eau à analyser => Passage en solution d'éléments chimiques entrant dans la composition du flacon ou fixation de certains ions de l'eau sur les parois du récipient... Le matériau idéal n'existe pas et l'emploi de tel produit plutôt que tel autre dépend de la nature des éléments à doser :

- le quartz est le matériau le plus adapté pour la bonne conservation des échantillons mais s'avère très fragile ;
- le verre et le Pyrex peuvent être employés sans problème pour le dosage des ions majeurs. Cependant des oligo-éléments peuvent passer en solution dans l'eau (silice du verre et bore du Pyrex) ;
- le polyéthylène est souvent recommandé pour tout échantillonnage, surtout pour les prélèvements en vue de mesures d'éléments radioactifs. Relativement poreux vis-à-vis des gaz, on lui préfère cependant le verre pour le prélèvement et la conservation des eaux fortement chargées en gaz (la diffusion est cependant assez lente).
- les sachets de prélèvement en polyvinyle présentent l'avantage de ne servir qu'une seule fois, mais ils ont l'inconvénient de libérer du chlore si ces sachets restent trop longtemps exposés à la lumière.

**_/Modifications possibles de l'échantillon

Le fait de prélever un échantillon d'eau et de le séparer de son milieu naturel entraîne des modifications plus ou moins importantes selon les paramètres. Certains peuvent être considérés comme stables à l'échelle de temps à laquelle on travaille, mais d'autres varient très rapidement : la température, la conductivité, le pH et les gaz dissous, enfin les nitrates et les sulfates.

- Une variation de température entraîne une modification des constantes d'équilibres des éléments en suspension. Pour établir de nouveaux équilibres à la nouvelle température ambiante, diverses réactions

chimiques se produisent qui peuvent entraîner la précipitation de sels, favoriser la mise en solution de gaz... Toutefois, une température basse (environ 4°C) bloque l'évolution des réactions.

- La mise en contact avec l'air et la décompression sont également responsable de changements au sein de la solution.
- Chaque espèce ionique participe à la conductivité totale d'une solution. Aussi, toute modification des équilibres chimiques, donc des proportions relatives des éléments dissous, entraîne un changement de conductivité. Le CO₂ en solution tend d'autant plus à s'échapper que la température de l'eau est plus élevée. Un départ de CO₂ peut provoquer la précipitation de carbonate, qui à son tour modifie le pH. Les nitrates et les sulfates peuvent être réduits par l'activité bactérienne.

*****_ / Représentativité des échantillons**

• Puits et forages

Un prélèvement effectué sur une eau ayant longtemps stagné n'est pas représentatif de la nappe. En effet, l'eau a subi l'influence du matériau de tubage et des éléments extérieurs (pollution, pluie...). Pour obtenir un échantillon moyen de l'horizon capté, il est nécessaire de pomper suffisamment longtemps pour renouveler l'eau contenue dans le tubage / cuvelage. Si l'ouvrage capte plusieurs horizons aquifères, l'échantillon sera un mélange des différentes eaux, dont les proportions sont directement liées aux transmissivités des différents niveaux. Pour obtenir des échantillons ponctuels à différentes profondeurs, il est possible d'utiliser des récipients lestés et munis d'un système de fermeture actionnable depuis la surface (hydrocapteurs). Pour limiter le brassage de l'eau lors de la prise d'échantillon, il est recommandé d'utiliser des hydrocapteurs dont le diamètre est très inférieur à celui du forage et de les manipuler avec une extrême lenteur. L'utilisation d'hydrocapteurs descendus en positions ouverte permet de les rincer au fur et à mesure de leur descente.

• Eaux superficielles

Les prélèvements doivent être effectués de façon à éviter au maximum les effets de bords (oxygénation trop près de la surface, mise en suspension des matières solides trop près du fond, eau stagnante trop près des rives...). Il peut être nécessaire de constituer un échantillon " moyen " en mêlant plusieurs prélèvements effectués en divers points d'une section de rivière, afin de mieux connaître la chimie moyenne de l'eau sur une section donnée. En revanche, il est indispensable d'effectuer différents prélèvements dans l'espace et dans le temps et de les traiter séparément pour étudier le fonctionnement d'une mare.

B₁- Mesures *in situ*

La température, le pH, la conductivité, l'alcalinité et l'oxygène dissous doivent être mesurés *in situ*. En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions de milieu et susceptible de varier dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur site.

L'idéal est d'effectuer les mesures en continu (sauf l'alcalinité qui se mesure par titration), en plein courant s'il s'agit d'une rivière, ou dans un seau placé au refoulement de la pompe s'il s'agit d'eau souterraine. Il faut veiller à ne pas aérer l'eau (risque de précipitation d'éléments en solution, oxygénation...).

B₂-Méthodes d'analyse (exemple)

Les matériels et méthodes utilisables sur le terrain sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Matériels et méthodes d'analyse de l'eau sur le terrain

(Source : DROUART Eric, VOUILLAMOZ Jean-Michel, Alimentation en eau potable des populations menacées, Action contre la faim, Hermann éditeurs, 1999, paris)

Paramètre	Mesure par sonde portative électrochimique	Photométrie (spectrométrie)	Titration ou colorimétrie
pH	X		
Conductivité	X		
Chlorures	X	X	X
Alcalinité			X
Phosphates	X	X	X
Sulfates		X	X
Nitrates / Nitrites	Nitrates		
Ammoniac	X	X	X
Calcium	X	X	X
Magnésium	X	X	X
Sodium	X		
Potassium	X	X	X
Dureté		X	X
Fer		X	X
Manganèse		X	X
Fluorures	X	X	
Silice		X	X
Aluminium			X
Chlore			X
Hydrogène sulfuré		X	X
Oxygène	X		
Oxydabilité			X

C₁- Interprétation

Les méthodes évoquées dans le tableau ci-dessus correspondent à l'emploi de matériel léger et relativement convivial. Il faut cependant garder en mémoire le fait que :

- les analyses réalisées par colorimétrie et interprétées visuellement ne sont pas très précises ;
- les analyses faites par ionométrie, requérant l'emploi de sonde spécifique, sont simples à mettre en œuvre, mais les sondes sont fragiles et de durée de vie limitée (environ un an et onéreuses) ;
- pour obtenir des analyses précises des éléments " majeurs ", il est recommandé de s'adresser à un laboratoire, ce qui ne représente pas un coût excessif. De plus, cela permet de valider les analyses réalisées par l'équipement de terrain, qui pourra, le cas échéant, être utilisé de façon plus routinière ;
- l'utilisation de bandelette pour la mesure du pH donne des résultats approximatifs.

C₂-Éléments d'interprétation

• Eaux souterraines

La caractérisation des eaux souterraines concerne essentiellement l'analyse des paramètres de base (pH, température et conductivité) des ions majeurs et d'éventuels éléments traces. Les analyses des isotopes ne sont pas évoquées ici.

La conductivité, la température et le pH permettent de définir les caractéristiques fondamentales de l'eau. La recherche des contrastes de ces paramètres entre différents points de mesures facilite la mise en évidence de zones d'alimentation, de pollution ou de géologie différente.

• Eaux de surface

Le pH, la conductivité, l'oxygène dissous, la température et la turbidité sont mesurés in situ. Ils permettent une première estimation de la qualité du milieu.

Les phosphates, l'ammoniac, les nitrates et le fer permettent d'apprécier l'impact de rejets polluants. Les analyses bactériologiques confirment, en général, la pollution microbienne de ces eaux de surface et permettent d'en fixer l'importance.

Les indices biologiques sont surtout intéressants pour les eaux courantes. Les périodes et les stations d'études doivent être choisis pour cerner au mieux la variabilité spatiale et temporelle de la qualité du milieu (cf. paragraphe relatif à l'échantillonnage).

Une grille d'analyse type est présentée dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2: grille d'interprétation de l'analyse d'eau de surface destinée à la consommation humaine

(Source : DROUART Eric, VOUILLAMOZ Jean-Michel, Alimentation en eau potable des populations menacées, Action contre la faim, Hermann éditeurs, 1999, paris)

Traitement physique simple, désinfection	Traitements physiques et chimiques, désinfection				Traitements physiques et chimiques approfondis, affinage, désinfection	
	Valeur guide	Impératif	Valeur guide	Impératif	Valeur guide	Impératif
pH	6,5 à 8,5		5,5 à 9		5,5 à 9	
Conductivité (m S/cm à 20°C)	1.000		1.000		1.000	
Température (°C)	22	25	22	25	22	25
Oxygène dissous (% saturation)	> 70		> 50		> 30	
DBO ₅ (mg/l O ₂)	< 3		< 5		< 7	
DCO					30	
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,005		1	1,5	2	4
NO ₃ ⁻ (mg/l)	25	50		50		50
P ₂ O ₅ (mg/l)	0,4		0,7		0,7	
Fer dissous (mg/l)	0,1	0,3	1	2	1	
Mn (mg/l)	0,05		0,1		1	
Coliformes totaux (nombre/100 ml)	50		5.000		50.000	
Coliforme thermotolérants (nombre/100 ml)	20		2.000		20.000	

Cette grille, issue de la norme française, doit être interprétée en fonction du contexte d'intervention et complétée par les indices mentionnés dans le tableau 3 ci-dessous :

Tableau 3 : indicateurs chimiques de qualité des eaux de surface

(Source: DROUART Eric, VOUILLAMOZ Jean-Michel, Alimentation en eau potable des populations menacées, Action contre la faim, Hermann éditeurs, 1999, paris)

	Situation normale / eau normale	Situation douteuse / eau pollué	Situation anormale / eau fortement polluée
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	< 20	20 à 120	> 120
PO ₄ ²⁻ (mg/l)		300 à 500	> 500
NO ₂ ⁻ (mg/l)	< 0,01	0,01 à 0,1	> 1
NH ₄ ⁺ (mg/l)	< 0.01	0,01 à 0,1	> 1
Oxydabilité (mg/l O ₂)	> 2	2 à 3	3 à 6
DBO ₅ (mg/l O ₂)	< 1	3 à 6	> 6

2-2- Sédiments

2-2-1- Définitions

(Latin sedimentum, de sedimen, dépôt)

- ▶ En géologie, dépôt laissé par l'eau ou le vent.
- ▶ En chimie¹, dépôt formé lors d'une sédimentation. (Exemples : Dépôt formé par la précipitation des matières contenues en suspension dans un liquide organique, et spécialement dans l'urine. Boue solide ou semi-solide en suspension dans certains pétroles bruts, et qui se dépose dans les réservoirs de stockage).
- ▶ En chimie², Dépôts, continentaux ou marins, qui proviennent de l'altération ou de la désagrégation des roches préexistantes et qui sont transportés par les fleuves, les glaciers ou les vents.

NB : Un sédiment se caractérise par la nature minéralogique de ses constituants, par leur taille, par leur état de surface et par leur éventuelle cimentation. De ces caractéristiques, on peut avoir des indications sur le mode de mise en place du sédiment et de son évolution postérieurement au dépôt. Stockant des substances chimiques, les sédiments sont indicateurs de la pollution du milieu.

2-2-2- Méthodologie d'échantillonnage

a- Fréquence et période d'échantillonnage

- L'échantillonnage annuel doit être réalisé en fin d'étiage, c'est-à-dire à la fin de l'été (août-septembre) pour les cours d'eau à régime pluvial et à la fin de l'hiver (février-mars) pour les cours d'eau à régime nival. Cela permet de maximiser les chances d'obtenir des sédiments fins.

Exemple :

Le régime nival est un modèle de régime hydrologique simple, caractérisé par une seule alternance annuelle de hautes et de basses eaux. Il se retrouve dans les bassins versants principalement alimentés par des précipitations sous forme de neige, c'est-à-dire dans les zones montagneuses et dans les plaines nordiques.

Le régime pluvial est un modèle de régime hydrologique simple (caractérisé par une seule alternance annuelle de hautes et de basses eaux). Il se retrouve dans les bassins versants principalement alimentés par des précipitations sous forme de pluie.

Remarque : Ne jamais prélever après une augmentation du débit, à partir de vitesses de l'ordre de 50 cm/s (les particules fines étant transportées voire érodées).

b- Le site d'échantillonnage

- Le site doit être localisé très précisément (coordonnées GPS) avant les tournées de prélèvement.
- L'accessibilité du site sur le long terme doit être vérifiée.
- Le site d'échantillonnage doit être situé assez loin d'un rejet de station d'épuration ou d'un affluent de rivière pour que le mélange soit effectif.
- La localisation des sites d'échantillonnage de sédiments est basée sur celle des sites d'échantillonnage d'eau. La présence d'un pont ou la facilité d'accès pour des échantillonnages régulier d'eau ne permet pas nécessairement la présence de sédiments fins. Il est du ressort du préleveur, après accord préalable avec l'Agence de l'Eau, de choisir de déplacer le site d'échantillonnage afin de permettre le prélèvement de particules fines.

c- Les points d'échantillonnage

Afin d'obtenir un échantillon représentatif du site, on prélèvera plusieurs échantillons à chaque site. On recommande un minimum de 3 points, et plus si cela est nécessaire afin d'obtenir un volume de sédiment suffisant pour l'analyse, ceci en particulier dans le cas de la présence d'une très faible couche de sédiment fin sur le site. Les points de prélèvement devront se situer sur un emplacement non perturbé par la présence du préleveur (en amont de celui-ci, et en un endroit non exploité pour un prélèvement précédent).

◆ Plans d'eau

Prélever au point de plus grande profondeur (afin de prélever à l'endroit le plus représentatif du site là où les sédiments sont les moins perturbés). Une bathymétrie devra donc être réalisée au préalable. Prélever au moins 3 points différents, espacés d'un mètre ou deux environ, pour un même échantillon.

◆ Cours d'eau

Prélever si possible au moins un point rive gauche, au moins un point au centre du chenal et au moins un point rive droite.

- S'assurer de prélever des sédiments qui ont toujours été immergés.

- Afin de recueillir le maximum de particules fines choisir les points qui privilégient :
 - Les zones de dépôt visibles (sédiments fins, vaso-organiques de couleur sombre, éviter les échantillons sableux),
 - les zones concaves,
 - les zones de végétation aquatique,
 - les zones où la vitesse du courant est faible (<10 cm/s environ).

d- Epaisseur de la couche de sédiment prélevée

■ **Cours d'eau** : une épaisseur de 5 cm maximum est prélevée.

■ **Plan d'eau** : seuls les 2 à 3 premiers centimètres sont prélevés.

Cependant, cette épaisseur dépend de la fréquence d'échantillonnage (ici on considère les échantillonnages annuels) et du taux de sédimentation dans le cours d'eau ou le plan d'eau considéré. L'épaisseur prélevée, en accord entre le donneur d'ordre et le préleveur, peut donc être différente de celle préconisée ici tant qu'elle est justifiée et prédéfinie avant la tournée d'échantillonnage.

e- Homogénéisation des divers prélèvements en un unique échantillon

Dans le cas où un seul flacon est à remplir, les échantillons prélevés aux différents points sont versés directement dans le flacon au fur et à mesure, à l'aide d'une spatule qui doit être dans le matériel adéquat afin d'éviter la contamination de l'échantillon. Si le flacon est de taille suffisante pour contenir un échantillon considéré homogène (au moins 1 L), il n'y a pas d'homogénéisation à effectuer sur le terrain. En revanche, si le flacon fourni par le laboratoire est jugé trop petit pour contenir un échantillon considéré homogène, le sédiment doit être prélevé en quantité suffisante, versé dans un contenant non contaminant vis à vis des polluants à rechercher et mélangé à l'aide d'une spatule de matériau non contaminant également. Une fraction de ce sédiment mélangé est ensuite versée dans le flacon (500 mL au moins).

Dans le cas où plusieurs flacons d'un même matériau sont à remplir, il faut alors mélanger le sédiment prélevé en différents points dans un contenant non contaminant vis à vis des polluants à rechercher, avant de le distribuer dans les flacons destinés à l'analyse. Si des flacons de matériaux différents doivent être remplis, en verre teinté pour recueillir le sédiment destiné à l'analyse des composés organiques traces et en polyéthylène ou polypropylène pour les métaux, il faut veiller à ce que l'homogénéisation soit effectuée dans deux contenants différents à l'aide de deux spatules différentes, chacun dans un matériau non contaminant vis-à-vis du sédiment prélevé (ISO 5667-12, 1995) :

- ◆ acier inoxydable pour les micropolluants organiques,
- ◆ plastique, de préférence non teinté, pour les métaux (ou à la main avec gant en nitrile ou vinyle).

Le sédiment est ensuite transvasé, avec une spatule ou une cuillère dans un matériau non contaminant, dans le flacon de destination. Les organismes vivants et les végétaux seront au maximum éliminés.

Le préleveur doit s'assurer que les flacons soient bien remplis à ras-bord lorsque l'analyse de composés volatils ou de l'eau interstitielle est demandée, afin de limiter l'oxydation du sédiment (NF EN ISO 5667-15, 2009).

Cette étape d'homogénéisation des prélèvements individuels, si elle est réalisée sur le terrain, doit être effectuée à l'abri des sources de contamination (fumée des moteurs, cigarette, ...).

f- Transport des échantillons

Les échantillons doivent être réfrigérés lors du transport, à l'abri de la lumière et livrés au laboratoire dans les 24 heures suivant l'échantillonnage. Une température comprise entre 2 et 8°C est recommandée (NF EN ISO 5667-15, 2009).

2-2-3- Opérations à réaliser au laboratoire à réception des échantillons

Les échantillons doivent être pris en charge par le laboratoire dans les 24 heures suivant leur échantillonnage (NF EN ISO 5667-15, 2009).

Les échantillons sont dans un premier temps homogénéisés et sous-échantillonnés si besoin (Cf. exemple annexe 2) :

- le sédiment dédié à l'analyse de la granulométrie est sous-échantillonné séparément avant tamisage afin de réaliser cette analyse sur le sédiment brut. Il n'est pas réutilisable pour l'analyse des polluants.
- Certains prétraitements ou analyses doivent de préférence être effectués dans les 24 heures suivant.
- Le sédiment dédié à l'analyse des micropolluants organiques non volatils et celui dédié à l'analyse des métaux pourront être si besoin congelés, après vérification par le laboratoire de la période de conservation.

La norme NF EN ISO 5667-15 (2009) sera consultée pour obtenir des informations relatives à la conservation des échantillons selon les paramètres à analyser.

a- Homogénéisation

Les prises d'essai destinées à l'analyse étant souvent faibles (de l'ordre du gramme, voire moins dans le cas des métaux), il est essentiel que le sédiment soumis à analyse soit suffisamment homogène afin d'obtenir un résultat représentatif de l'échantillon prélevé.

b- Tamisage

La pratique actuelle réalisée par les laboratoires en France avant analyse des contaminants organiques et des métaux est la suivante :

- **Tamisage sec** < 2mm. Dans ce cas, les résultats devront être normalisés par la mesure du COT pour les composés organiques et par la granulométrie ou la concentration en aluminium (ou lithium) pour les métaux après minéralisation totale (Cf. 3.4.2).

Cette pratique diffère de la recommandation donnée par le CMA (2010), qui préconise un tamisage humide < 63 µm (tout en proposant comme optionnel le tamisage sec < 2 mm) :

■ **Tamissage humide** < 63 µm en utilisant l'eau prélevée sur site (Cf. annexe 3). Il faut impérativement éviter les risques de contamination engendrés par cette étape. A notre connaissance, les laboratoires prestataires ne pratiquent pas ce type de tamissage, une formation devra être mise en place si ce tamissage humide < 63 µm est imposé aux laboratoires.

c- Broyage et séchage

L'échantillon est séché suivant les pratiques du laboratoire, les normes analytiques en vigueur et les composés analysés : séchage à l'étuve à 40°C, lyophilisation,... (NF ISO 11464, 2006).

Le broyage de l'échantillon est ensuite réalisé. Cette étape doit être effectuée avec un outil non contaminant vis à vis des polluants analysés. Par exemple :

■ Contaminants inorganiques : mortier en agate ou broyeur à billes avec bol et billes de broyage en agate.

■ Contaminants organiques : mortier en agate ou broyeur à billes en agate ou à couteau avec lames en acier inoxydable.

d- Les mesures complémentaires

d₁- Caractérisation du sédiment

■ **cours d'eau** : granulométrie, COT, perte au feu, aluminium, fer et manganèse.

■ **plans d'eau** : granulométrie, COT, perte au feu, aluminium, fer et manganèse, azote organique et phosphore total (P_{tot}).

De plus les orthophosphates (PO₄³⁻), le P_{tot} et l'azote ammoniacal (NH₄⁺) sont à analyser dans l'eau interstitielle. Les mesures sur l'eau interstitielle doivent être réalisées sur un échantillon prélevé dans un flacon rempli à ras-bord. Le surnageant, après décantation, est si possible filtré à l'aide d'un filtre seringue 0,45 µm en fibre de verre (préalablement lavé, selon le protocole habituel du laboratoire). Dans le cas où le surnageant n'est pas présent en quantité suffisante, une centrifugation doit être réalisée au préalable. Lors de cette étape, il faut s'assurer que l'échantillon ne soit pas oxydé en travaillant en boîte à gant (sous atmosphère inerte) ou, si cette option n'est pas possible, en s'assurant bien que les tubes de centrifugation soient remplis à ras-bord afin d'éviter toute oxydation due à l'air. Le filtrat doit être acidifié à l'aide d'acide sulfurique immédiatement après la filtration, afin d'éviter la formation de complexes entre le phosphore et le calcium ou les matières humiques, ou encore son adsorption sur d'éventuels précipités ferreux. Un pH compris entre 2 et 3 doit être atteint.

L'analyse de la granulométrie est effectuée sur sédiment brut humide (avant tamissage). Les autres paramètres sont déterminés sur le sédiment tamisé < 2 mm, broyé et séché.

d₂- Mesures à effectuer pour la normalisation des résultats

Les résultats doivent être rendus en poids sec. La mesure du poids sec à 105°C de chaque échantillon devra donc être effectuée.

Les mesures géochimiques à effectuer sur la fraction < 2 mm des sédiments pour la normalisation des résultats (CMA, 2010 ; RNO, 2005 ; cf. annexe 4) sont :

- Micropolluants organiques : concentration en COT.
- Métaux traces : granulométrie (déterminer au minimum la fraction 63 μm), ou bien la concentration en aluminium (et/ou lithium si l'on souhaite effectuer une confirmation).

2-3- Sols, boues et composts

a-/ Sols

- Définitions

a₁- Couche superficielle de l'écorce terrestre considérée quant à sa nature ou à ses qualités productives.

a₂- Formation naturelle de surface, meuble, résultant de la transformation, au contact de l'atmosphère, de la roche mère sous-jacente, sous l'influence des processus physiques, chimiques et biologiques.

a₃- Le sol se caractérise par un ensemble de couches, ou horizons, qui traduisent la dynamique de sa formation.

a₄- Sens selon la **pédologie** : Formation naturelle de surface, meuble, résultant de la transformation, au contact de l'atmosphère, de la roche mère sous-jacente, sous l'influence des processus physiques, chimiques et biologiques. (La partie superficielle du sol correspond à la couche arable des agronomes, souvent profondément influencée par l'action de l'homme.)

- Méthode d'échantillonnage des sols (cas d'une plantation)

Le sol est une composante essentielle de la réussite d'une plantation, tout comme la qualité des plants, le choix des clones, la qualité et l'intensité de l'entretien. Afin de choisir les meilleurs sites disponibles pour l'établissement d'une plantation à haut rendement, on doit sonder le sol afin de s'assurer que celui-ci pourra subvenir aux besoins exigeants des arbres à croissance rapide.

Certains sites sont à éviter selon leurs caractéristiques. Par exemple, on doit éviter les endroits où le drainage est excessif ou mauvais et si la texture est trop grossière. Lorsque l'on a trouvé un site qui semble être convenable, on procède à un échantillonnage du sol pour connaître les caractéristiques de celui-ci. Plusieurs critères peuvent faire l'objet d'une analyse, le pH, la granulométrie, la quantité des éléments nutritifs présente, le point de flétrissement.

Le pH régule la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol, c'est probablement le facteur le plus important à considérer lors de l'analyse du sol.

- Les critères d'analyse du sol

L'analyse des échantillons nous donnera des renseignements importants sur les capacités du sol à soutenir une plantation à haut rendement. Voici une brève description des principaux critères pertinents d'une analyse de sol pour l'établissement d'une plantation à haut rendement.

*Le **pH**, par définition, est l'unité de mesure de la concentration en ions hydrogènes, permettant d'évaluer l'acidité ou la basicité d'un milieu. Le pH influence la

disponibilité des éléments minéraux dans le sol, leur toxicité éventuelle et l'activité microbiologique du sol.

En effet, lorsque le pH est près de la neutralité (pH = 7), la disponibilité des éléments nutritifs essentiels contenus dans le sol est maximale. La plante peut alors puiser tout l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium et les oligoéléments nécessaires à sa croissance. La disponibilité diminue lorsque le pH descend sous la barre de 5,5.

L'analyse du sol nous informe aussi sur la quantité présente dans le sol **des différents éléments nutritifs de base**. Cette information est très utile, elle nous permet d'identifier si le sol a une carence importante dans un ou des éléments nutritifs. Si tel est le cas, on peut procéder à une fertilisation adéquate selon les résultats obtenus.

**** La granulométrie** est l'étude de la répartition des éléments selon leur taille. On sépare, pour les analyses de sol, les particules en trois classes distinctes, soit le sable (de 2 à 0,05 mm), le limon (de 0,05 à 0,002 mm) et l'argile (< 0,002 mm). Cela nous permet de connaître certaines caractéristiques du sol, comme la capacité des racines à y pénétrer, la capacité du sol à retenir l'eau, ou sa vulnérabilité à la compaction.

Un test peut être effectué en laboratoire pour connaître la proportion exacte des trois classes de particules. Ces tests sont dispendieux s'ils sont effectués à grande échelle et il n'est pas nécessaire pour nos besoins de connaître la granulométrie avec une telle précision. Par contre, il est possible de poser un diagnostic sur la texture du sol, et d'en connaître la granulométrie avec une certaine précision, en faisant un essai au champ. Il suffit d'utiliser une clé avec une série de test pouvant être exécuté directement sur le terrain.

***** Le point de flétrissement**, c'est la quantité d'eau qui reste dans la terre lorsque les plantes ne peuvent plus en absorber, car l'eau contenue dans le sol n'est pas toute disponible pour la plante, une certaine partie reste collée aux particules du sol et est inutilisable.

- **Les outils cartographiques**

Les cartes sont un excellent outil pour débiter la recherche d'un terrain approprié à la ligniculture. Par exemple, les cartes écoforestières nous donnent la nature du dépôt de surface ainsi que son drainage, deux caractéristiques essentielles des sols à prendre en considération lors du choix d'un emplacement. De plus, d'autres informations pertinentes peuvent être retirées de ces cartes, comme la pente moyenne ou la présence d'un peuplement forestier particulier dans les environs. Par exemple, le mélèze est un hôte essentiel pour le cycle de vie de la maladie de la rouille qui s'attaque aussi aux peupliers, la proximité de ces deux espèces est un facteur à considérer. Donc, on s'abstient de choisir un site bordé par un peuplement de mélèze lorsque l'on veut planter du peuplier hybride.

- **La prise des échantillons**

Lorsque l'on a repéré un terrain qui semble être susceptible de pouvoir accueillir une plantation d'arbres à croissance rapide, on doit vérifier si les propriétés

physiques de ce sol respecteront les exigences de l'espèce choisie. On doit procéder au prélèvement d'échantillons sur le terrain pour effectuer les analyses.

Premièrement, afin de s'assurer que l'analyse soit précise et représentative des caractéristiques du sol en question, il faut que les échantillons soient suffisamment nombreux. On suggère de prendre un minimum de quatre échantillons pour une superficie de moins d'un hectare et d'atteindre une intensité de prélèvement de quatre échantillons à l'hectare pour des superficies supérieures à un hectare.

Deuxièmement, on réalise un plan de sondage systématique qui permet de récolter de l'information partout où il est envisageable de faire de la ligniculture. Idéalement, on réalise un croquis du secteur d'échantillonnage et l'on note les numéros des échantillons prélevés afin de pouvoir illustrer les résultats de nos analyses. On peut, en même temps, noter des observations à chacun des points d'échantillonnage comme le drainage, ou faire un essai aux champs pour déterminer la granulométrie. Ceci permet de dresser un portrait relativement complet des principales caractéristiques à prendre en considération lors de l'établissement d'un projet de ligniculture.

Troisièmement, on doit faire deux prélèvements par points d'échantillonnage pour éviter l'impact d'une anomalie sur le terrain. Les prélèvements doivent être récoltés à une profondeur constante, soit de 0 cm à 25 cm de profondeur. Cette profondeur n'inclut pas l'épaisseur de matière organique que l'on peut retrouver sur le sol minéral. Le choix de la profondeur a été fait en fonction des données utilisées pour faire le potentiel des sols en ligniculture et qui proviennent de l'étude pédologique des sols défrichés de l'Abitibi-Témiscamingue.

La méthode consiste à faire deux prélèvements espacés de deux mètres. Les deux prélèvements récoltés à une profondeur située entre 0 et 25 centimètres sont mélangés ensemble le plus uniformément possible. Ensuite, on garde un petit échantillon de la taille d'un œuf, ce qui est amplement suffisant pour faire la mesure du pH en laboratoire. Si l'on veut faire la granulométrie, l'échantillon devrait être environ 500 grammes.

Afin d'éviter la détérioration des échantillons, il est préférable de garder ceux-ci dans un endroit frais et dans un contenant hermétique (contenant prévu à cet effet ou ziploc).

- **Laboratoires offrant les services d'analyse**

Plusieurs laboratoires offrent des services d'analyses de sol. Par contre, certains laboratoires sont homologués par le programme d'accréditation des laboratoires d'analyse d'agricole qui définit les règles de fonctionnement et les exigences en matière d'accréditation des laboratoires oeuvrant dans le domaine agricole. La conformité aux exigences du programme garantit la justesse et la précision des résultats des analyses chimiques réalisées pour les besoins de connaissance et de suivi des sols agricoles.

- **Coûts des analyses**

Le coût des analyses dépend des renseignements que l'on désire obtenir. Par exemple, le pH peut coûter environ 10\$, une analyse de base (comprenant pH, pH tampon, matière organique, phosphore, potassium, magnésium, calcium, aluminium,

soufre, capacité échange cationique, saturation des bases) environ 15\$ et une analyse granulométrique environ 25\$.

- Conclusion

Le choix du site est un des facteurs importants de la réussite d'une plantation à croissance rapide. Il est donc primordial que l'échantillonnage du sol soit effectué avec rigueur afin que les résultats de l'analyse reflètent bien la réalité du milieu échantillonné. Ces résultats seront ensuite un outil précieux afin de pouvoir choisir le meilleur site possible, et pour prescrire un amendement ou non. Par exemple, l'analyse des éléments de base nous permet de connaître la disponibilité des différents éléments nutritifs essentiels à la croissance et ainsi savoir si une fertilisation est nécessaire pour un élément donné ou si un ajustement du pH peut permettre de régler le problème. Une analyse foliaire est possible après une année de croissance pour connaître avec beaucoup de précision les besoins nutritifs des arbres, celle-ci peut nous permettre de réajuster le tir en matière de fertilisation si celle-ci s'est avérée insuffisante ou inappropriée.

b-/ boues et composts

- Définitions

b₁- Les boues sont des matières solides accumulées après leur séparation, par des procédés naturels ou artificiels, des divers types d'eaux qui les contiennent. **Les boues d'épuration** sont des effluents issues d'une station d'épuration ou de tout système de traitement des eaux usées. De nombreux termes utilisés pour faire référence à la boue distinguent seulement des teintes différentes.

b₂- Les boues d'épuration (urbaines ou industrielles) sont les principaux déchets produits par une station d'épuration à partir des effluents liquides.

- Les types de boues

On distingue différents types de boues selon les traitements appliqués pour épurer l'eau dans un milieu boueux.

- **Les boues primaires** : Ce sont les dépôts récupérés par une simple **décantation** des eaux usées (dans les décanteurs-digesteurs par exemple). Elles présentent des concentrations élevées en **matières minérales (sable, terre...)** mais aussi en matière organique pouvant évoluer.
- **Les boues physico-chimiques** : elles ressemblent aux boues primaires sauf que durant le traitement de l'eau usée, il a été rajouté un réactif (sels de fer, d'aluminium, et autres **agents flocculants**) pour agglomérer les fines particules et améliorer la décantation.
- **Les boues biologiques** : elles sont aussi appelées boues secondaires, elles proviennent d'une épuration biologique des eaux (boues activées, disques biologiques, lits bactériens...). Ces boues, de concentrations médiocres (10 g/l), sont très organiques car elles sont principalement constituées de corps bactériens et de leurs sécrétions.
-

On distingue aussi :

- **Les boues mixtes** constituées d'un mélange de boues primaires et biologiques, elles proviennent de la plupart des stations de traitement complètes.
- **Les boues d'aération** prolongée, obtenues sans décantation primaire avec des matières polluantes intensivement aérées. Les boues sont peu concentrées, moins organiques et donc moins susceptibles de produire des nuisances.

NB : On les appelle « biosolides » quand les boues sont traitées

Remarque

Les caractéristiques des sédiments résiduaux sont surtout constituées de bactéries mortes et de matière organique minéralisée. Une installation moyenne produit environ un excès de 40 g de matière sèche par jour et par habitant. Les boues peuvent être considérées comme étant des déchets dangereux ou des déchets non dangereux selon leurs caractéristiques physico-chimiques.

- Compost

- **Définition** : Mélange de matières organiques et végétales utilisé comme **engrais**.

- Processus

Le compostage est une opération durant laquelle des déchets organiques sont dégradés dans des conditions contrôlées, en présence de l'oxygène de l'air et d'humidité (eau) et transformé en humus riche en éléments nutritifs.

- Différence compost et humus

Le compost résulte d'un processus de transformation, ayant pour origine l'humain, alors que l'humus résulte d'une transformation naturelle. En revanche, l'humus partage avec le compost beaucoup de propriétés, notamment la capacité à retenir l'eau et les nutriments.

- Matières compostables

Tous types de sous-produits et de déchets organiques peuvent être compostés (plus ou moins bien) : déchets de cuisine, sous-produits de jardin, déchets de maison, mais aussi certains déchets et sous-produits de l'industrie agroalimentaire, les boues d'épuration, des fumiers ou des effluents d'élevage, des digestats de méthanisation.

- Phases (deux : Dégradation et maturation)

Plusieurs phases se succèdent dans le processus de compostage. Lorsque les quantités de matière mises en œuvre sont importantes, le changement de température du tas permet de suivre l'évolution du compostage, et le suivi de la température du compost permet de distinguer plusieurs phases

- Décomposeurs du compost

On a : les micro-organismes et les macro-organismes. Différents microorganismes influent sur le processus :

■ Bactéries

De tailles et de formes variables, souvent filamenteuses, elles sont présentes dans les déchets organiques dès le début du processus. Elles restent actives durant tout le compostage et particulièrement à haute température.

■ Champignons

Ils agissent sur les matières qui résistent aux bactéries. Mais ils ne survivent pas au-delà de 50°C. On les retrouve donc surtout en périphérie du compost où la température est plus fraîche. Ils sont les seuls à pouvoir travailler dans le compost plus sec.

- Variations de la composition

La composition finale d'un compost dépend de plusieurs paramètres, dont les déchets qui ont servi à le fabriquer, la conduite du processus de compostage, la maturité du compost. En 2006, l'audit de 100 plates-formes de compostage en France métropolitaine a été réalisé sur commande de l'ADEME11. Les résultats d'analyses montrent les compositions moyennes suivantes pour les paramètres agronomiques :

Paramètre	Compost de déchets verts	Compost de boues d'épuration et déchets verts
MS (% MB)	59	65
MO (% MS)	46	52
Azote total (N) (% MS)	1,5	2,3
Phosphore (exprimé en P ₂ O ₅) (%MS)	0,6	3,4
Potasse (K ₂ O) (%MS)	1,4	0,9
Magnésie (MgO) (%MS)	0,7	0,7
Chaux (CaO) (%MS)	7,8	8,8
pH	8,4	7,6

Pour les éléments traces métalliques, les compositions moyennes suivantes ont été mesurées:

Élément	Compost de déchets verts	Compost de boues d'épuration et déchets verts
Arsenic (mg/kg MS)	5,6	2,1
Cadmium (mg/kg MS)	0,5	0,9
Chrome (mg/kg MS)	18	29,5
Cuivre (mg/kg MS)	50	197
Mercure (mg/kg MS)	0,2	0,7
Plomb (mg/kg MS)	60	87
Nickel (mg/kg MS)	12	20
Sélénium (mg/kg MS)	< seuil de détection	0,62
Zinc (mg/kg MS)	145	385

- Exemples de compostages (quatre types)

- 1-Compostage domestique
- 2-Compostage collectif
- 3-Compostage organisé
- 4- Compostage professionnel

2-4- Echantillons biologiques

-► *Quelques exemples d'échantillons biologique (Le sang et l'urée : partie ciblé comme travail personnel c.-à-d. des exposés).*

- Définitions : sang total, sérum, plasma

Définition du sang total : liquide rouge qui circule dans les artères, les veines et les capillaires sous l'impulsion du cœur, et qui irrigue tous les tissus de l'organisme, auxquels il apporte les éléments nutritifs (glucose, par exemple) et l'oxygène, et dont il recueille les déchets (Larousse).

- Le sang constitue le plus important liquide biologique de notre corps. Le sang total est composé à 55 % de plasma et à 45 % d'éléments figurés (les globules rouges, les globules blancs et les plaquettes). Sa couleur provient de l'hémoglobine (protéine comportant quatre hèmes).

Le prélèvement de sang total est fait dans un tube sec. Ce prélèvement n'est pas un produit stable. Dans le tube, il coagule rapidement donnant un amas semi-solide ressemblant à une masse compacte, appelée « coagulum ». Celui-ci contient des cellules sanguines, de la fibrine et du plasma modifié.

Définition du sérum : liquide qui exsude d'un caillot de sang total coagulé ou liquide qui se sépare des globules d'un sang défibriné centrifugé (Larousse).

- Le prélèvement de sérum est fait dans un tube sérum gel ou un tube sec. Pour obtenir un sérum de bonne qualité, il faut laisser le prélèvement 30 minutes à température ambiante pour permettre une coagulation complète. Après centrifugation, le coagulum perd sa structure et est séparé en une partie solide et une partie liquide (le surnageant). La partie solide est un agrégat compact de fibrine et de cellules sanguines.

Définition du plasma : partie liquide du sang dans laquelle baignent les cellules sanguines (globules rouges, globules blancs et plaquettes) (Larousse).

2-5- Echantillons atmosphériques

Voir planches (Voir plusieurs exemples dans la littérature)

- Les particules atmosphériques
- Granulométrie des particules : processus physiques (équation dynamique générale)
- Composition chimique des particules : formation des espèces semi volatiles et thermodynamique gaz/particules
- Relations émissions / particules atmosphériques

- Les particules atmosphériques

- Les particules atmosphériques sont des particules solides ou liquides (ou une combinaison d'un noyau solide avec une enveloppe liquide) en suspension dans l'air.
- Les particules et la phase gazeuse environnante sont des aérosols.
- Un ensemble de particules atmosphériques est généralement appelé PM, d'après la dénomination américaine « Particulate Matter » (matière particulaire).
- Les particules varient en taille, composition chimique et forme.
- Certaines particules sont émises directement dans l'atmosphère en tant que particules (suies, poussières telluriques, sels marins, pollen...) : ce sont les particules primaires.
- Certaines particules sont formées par réactions chimiques dans l'atmosphère à partir de gaz (sulfate, nitrate, ammonium, composés organiques...) ; ces réactions peuvent avoir lieu en phase gazeuse ou en phase aqueuse : **ce sont les particules secondaires**

Particules minérales

- Particules primaires (principalement grossières) :
 - Sels marins (NaCl...)

- Particules telluriques, dont particules calcaires (CaCO₃...)

• Particules secondaires (principalement fines)

- Sulfate

- Nitrate

- Ammonium

2-6- Autres de matrices (voir TD)

3- Les paramètres déterminés

Principaux paramètres physico- chimiques et chimiques mesurables

- **Température**

- **pH**

- **Conductivité électrique (EC)**

- **Potentiel redox (Eh)** : Dans les systèmes aqueux, le potentiel redox (ou disponibilité en électrons) affecte les états d'oxydation des éléments (H, C, N, O, S, Fe...). Dans une eau bien oxygénée, les conditions d'oxydation dominent. Quand les concentrations d'oxygène diminuent, le milieu devient plus réducteur ce qui se traduit par une réduction du potentiel redox. Dans les eaux naturelles, des comparaisons relatives de l'évolution du potentiel redox peuvent être utiles pour suivre les degrés de changement du système aquatique. Le potentiel redox se mesure en mV.

- **Matières en suspension (MES)**

- **Hydrocarbures**

- **Éléments en solution** : Les chlorures (Cl⁻) et les sulfates (SO₄⁻⁻) font généralement l'objet d'un suivi particulier. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par des eaux usées domestiques (sels régénérant utilisés dans les lave-vaisselle) ou par certaines eaux usées industrielles. Les pics de concentration en chlorures s'observent le plus souvent en période de gel (sels de déneigement). Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates. Ce sont surtout les changements brusques et importants des teneurs en chlorures et sulfates qui se révèlent néfastes. D'autres ions tels que le calcium (Ca⁺⁺), magnésium (Mg⁺⁺), potassium (K⁺), fluor (F⁻) peuvent être également mesurés. Les éléments en solution sont exprimés en mg/l.

- **Dureté de l'eau (ou titre hydrométrique)** : La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na⁺, K⁺) et H⁺. Elle est souvent due aux ions Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺. La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO₃ par litre.

-- **Oxygène dissous (OD) et % de saturation en oxygène**

- **Charge en matières organiques** : demande biochimique en oxygène (DBO₅) et demande chimique en oxygène (DCO)

- **Substances eutrophisantes** : différentes formes d'azote et de phosphore (nutriments)

- **Chlore libre** : Le risque de trouver du chlore libre dans les eaux de surface est très limité dans la mesure où cette molécule est très réactive. Le chlore libre peut se combiner à des substances organiques pour former des formes halogénées (chloroforme, ...).

- **Bore** : Le bore ne constitue pas en lui-même un élément toxique mais révèle la présence de détergents.

- **Métaux lourds** : Le suivi des concentrations en métaux lourds (densité > à 5 g/cm³) est particulièrement important vu leur toxicité et leur capacité de bioaccumulation le long des chaînes alimentaires. Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement. Les concentrations en cuivre, nickel, chrome, plomb, zinc, cadmium, arsenic sont régulièrement mesurées.

- **Substances tensioactives** : Les substances tensioactives sont constituées de molécules possédant une partie hydrophobe et une partie hydrophile. Ces tensioactifs sont qualifiés d'anioniques, cat ioniques, amphotères (substances pouvant à la fois se comporter comme un acide et comme une base) ou non ioniques selon la charge de leur groupe hydrophile. La configuration chimique des tensioactifs leur confère des propriétés de nettoyage importantes (dégraissage). Ces substances interviennent donc dans la composition des détergents, savons, etc. Si les tensioactifs sont en eux-mêmes relativement peu toxiques, leur impact environnemental est lié au fait qu'ils peuvent rendre les membranes des cellules perméables à certaines substances qui habituellement les traversent peu ou ne les traversent pas.

4-Les types de méthodes (partie programmée au niveau TD)

4-1- Méthodes primaires

4-2- Méthodes relatives

4-1- Méthodes comparatives