

Liste des abréviations :

CaCO₃ : Calcaire

Ca : Calcium

CMB : Caractérisation Biochimique de la Matière Organique

CEC : Capacité d'Echange Cationique

CI : Carbone Inorganique

CID : Carbone Inorganique Dissous

CIP : Carbone Inorganique Particulaire

C/N : Rapport carbone total et l'azote total

CO : Carbone Organique

CO₂ : Dioxyde de carbone

CO₃⁻ : Carbonates

COD : Carbone Organique Dissous

COP : Carbone Organique Particulaire

COT : Carbone Organique Total

d : densité

ETM : Elément-Traces Métalliques

Gg : Giga gramme

Gtc : Giga tonne de carbone

HCO₃⁻ : Hydrogénocarbonates

H₂BO₃ : Acide Borique

H : Hydrogène

I : lumière transmise

Liste des abréviations

I_0 : lumière émise

IR : Infrarouge

ISB : Indice de Stabilité Biologique

K : Potassium

KNO_3 : nitrate de potassium

K1 : Coefficient isohumique

K2 : Coefficient de minéralisation

K Pa : Kilo-pascale

MO : Matière Organique

MOS : Matière(s) Organique(s) du sol

MPO : Micropolluants Organique

Mt C : Mégatonne de carbone

Mg : Magnésium

N : Azote

N_2 : di-azote

NH_4 : ammoniacal

NH_3 : ammoniac

N_2O : azote uréique

NO_3^- : Nitrate

NO_2^- : Nitrite

NO : Oxyde d'azote

Na : sodium

$NaNO_3$: Nitrate de sodium

NAR : Nitrate réductase

NIR : Nitrite réductase

NOR : Oxyde nitrique réductase

N₂OR : Oxyde nitreux réductase

NK : Azote Kjeldahl

N-NH₄ : Azote ammoniacal

O : Oxygène

O₂ : Dioxygène

P : Phosphore

PCO₂ : la pression partielle de dioxyde de carbone

Pg : Petagramme

PH : Potentiel d'hydrogène

ppmv : partie par million en volume

SCOPE : Scientific Committee on problems of the Environnement

TtCR : Taillis à très Courte Rotation

UNEP : United Nations Environnement Programme

W-B : Walkley et Black

Conversions :

1 Gg (Gigagramme) = 10⁹ gramme

1Gt (Gitagramme) = 10⁹ tonnes = 1 Pg = 10¹⁵ gramme

1 Mt (Mégatonne) = 1 million tonnes = 1 Tg = 10¹² gramme

1 Pg (Petagramme) = 1 Gt

Liste de Figure :

Figure I-1 : schéma d'une coupe de sol

Figure I-2 : schéma d'un profil de sol

Figure I-3 : Evolution simplifiée des matières organiques [3]

Figure I-4 : Rôles des matières organiques (d'après CHENU & BALABANE, 2001[4])

Figure I-5 : Les matières organiques sont un ensemble complexe de différents constituants organique, en perpétuel renouvellement par incorporation et biodégradation

Figure I-6 : Taux de biodégradation des composantes de la biomasse végétale dans les sols et litères

Figure II-1 : Cycle du carbone organique d'après Kump et al

Figure II-1 : Cycle du carbone organique d'après Kump et al. (1999). Les stocks sont en GtC, les flux entre réservoirs en GtC.an-1

Figure II-2 : Cycle du carbone inorganique d'après Kump et al. (1999). Les stocks sont en GtC, les flux entre réservoirs en GtC.an-1.

FigureII-3 : schéma du cycle du carbone dans écosystème forestier (Source : le cycle du carbone, Henri Jupin, hachette, 1996)

Figure II-4 : Les écosystèmes terrestres

(Source : le cycle du carbone, Henri Jupin, hachette, 1996)

Figure III-1: Transformation biologiques et non biologiques affectant le devenir de l'azote dans le sol [17]

Figure IV-1: L'étuve

Figure IV-2: L'étape de la réductrice des agrégats.

Figure IV-3: L'étape de broyage

Figure IV-4: L'étape de tamisage.

Figure IV-5: Le sol après le tamisage.

Figure IV-6: pèse 49,04 g de chromate de potassium

Figure IV-7: L'étape de séchage de $K_2Cr_2O_7$ à $105^\circ C$

Figure IV-8: 1 litre de $K_2Cr_2O_7$ 1N

Figure IV-9: la pesée de 1,485 g de $C_8H_{12}N_2 \cdot H_2O$.

Figure IV-10: la pesée de 0,695 g de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$

Figure IV-11: Fiole contient solution indicatrice de ferriose.

Figure IV-12: la pesée de 35 g de $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$.

Figure IV-13: l'ajoute de 10 ml de H_2SO_4 .

Figure IV-14: complété avec l'eau jusqu'à 250 ml

Figure IV-15: La solution de $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$

Figure IV-16: la pesée 1 g de sol

Figure IV-17: la pesée de 1 g de chaque sol.

Figure IV-18: placer la masse du sol dans la fiole conique

Figure IV-19: l'ajoute de 10 ml de $K_2Cr_2O_7$

Figure IV-20: l'ajoute de H_2SO_4 après l'ajoute de 10 ml de $K_2Cr_2O_7$.

Figure IV-21: Laisse reposer pendant 30 minutes.

Figure IV-22: L'ajoute de 10 ml de H_3PO_4 .

Figure IV-23: L'ajoute de 15 gouttes de la solution indicatrice de ferriose.

Figure IV-24: L'étape du titrage.

Figure IV-25: Le point de virage.

Figure IV-26: la coloration au point de virage

Figure IV-27: Le titrage de témoin.

Figure IV-28: Le point de virage du témoin.

Figure IV-29: Le témoin prend la couleur bleu turquoise après le dosage.

Figure IV-30 : pesée 0,17 g de AgNO_3

Figure IV-31 : Ajouté 10ml de l'eau distillée

Figure IV-32 : La pesée de 1g de sol

Figure IV-33 : Placer 1g de sol dans un bécher contient 100 ml d'eau déminéralisée

Figure IV-34 : L'étape de l'agitation

Figure IV-35 : Les 4 échantillons

Figure IV-36 : Prélèvement une petite quantité pour l'analyse

Figure IV-37 : fixé l'appareille à 540 nm et CAL

Figure IV-38 : placer l'échantillon dans la spectrophotomètre

Figure IV-39 : l'absorbance de l'échantillon

Liste de Graphe :

Graphe IV-1 : Teneur de carbone organique dans le sol.....	79
Graphe IV-2 : Teneur de la matière organique dans le sol.....	80
Graphe IV-3 : Teneur de l'azote organique dans le sol.....	80
Graphe IV-4 : Teneur entre le carbone et l'azote.....	81
Graphe IV-5 : Abondance	81

Liste de Tableau:

Tableau II-1 : Formes spécifiques du carbone dans les rivières (Modifié d'après Meybeck, 1993).....	25
Tableau II-2 : Tableau récapitulatif des différentes biomasses en milieu terrestre et marin les masses sont exprimées en Gtc (source : Le cycle du carbone, Henri Jupin, hachette, 1996).....	31
Tableau II-3 : Contenus en carbone des divers types de végétation (source : GIEC2001).....	35
Tableau III-1 : Information général sur l'azote (DAVID, 2009).....	38
Tableau III-2 : Caractéristique des bactéries nitrifiantes.....	44

Sommaire :

Introduction générale

Chapitre I : le sol

I-1- Définition de sol.....	1
I-2- Les différents horizons d'un sol.....	1
I-3- Composition des horizons.....	2
I-3-1- Profil de sol.....	3
I-3-2-1- La fraction minérale, squelette du sol.....	3
I-3-2-2- La fraction organique, métabolisme du sol.....	4
I-4- Les trois fractions du sol.....	4
I-5- Le sol agricole.....	5
I-6- La matière organique : Nature- Composition.....	5
I-7- Les matières organiques du sol (MOS).....	7
I-7-1- Les compartiments fonctionnels de MOS.....	8
I-7-2- Nature et caractéristique des MOS.....	11
I-7-3- La caractérisation des matières organiques.....	12
I-7-3-1- Le rapport C/N.....	12
I-7-3-2- L'indice de stabilité biologique (ISB) et la Caractérisation Biochimique de la matière organique (CBM).....	13
I-7-3-3- Cellulose et lignine.....	14
I-7-3-4- Indices K1 et K2.....	14
I-8- Les sources de matières organiques biodégradables.....	15
I-8-1- Les résidus d'origine agricole.....	15
I-8-2- Les matériaux d'origine non agricole : source à mobiliser davantage..	17
I-9- Rôle clef des matières organiques dans les sols cultivés.....	19
I-9-1- La fertilité du sol.....	19
I-9-1-1- Qualités physiques.....	20
I-9-1-2- Qualités chimiques.....	20

I-9-1-3- Qualités biologiques.....	22
Chapitre II : Le carbone organique total	
II-1- Définition du CO des sols.....	23
II-2- Les différentes formes de carbone.....	23
II-2-1- Le carbone organique.....	23
II-2-2- Le carbone inorganique.....	26
II-3- Le cycle du carbone.....	29
II-3-1- Les réservoirs de carbone.....	29
II-3-1-1- L'atmosphère.....	30
II-3-1-2- La biosphère.....	30
II-3-1-3- L'hydrosphère.....	32
II-3-1-4- La lithosphère.....	32
II-4- Le cycle du carbone organique en milieu terrestre.....	33
Chapitre III : L'azote organique total	
III- L'azote.....	36
III-1- Origine et Définition.....	37
III-2- Carte d'identité de l'azote.....	38
III-2-1- Informations générales.....	38
III-2-2- L'azote dans le système sol-plante.....	38
III-2-3- Rôle de l'azote dans les plantes.....	38
III-3- Etat de l'azote.....	39
III-3-1- Azote libre.....	39
III-3-2- Azote combiné.....	39
III-3-2-1- Azote organique.....	39
III-3-2-2- Azote minérale.....	39
III-3-2-2-1- Azote ammoniacal ou ammonium (NH_4^+).....	40
III-3-2-2-2- Azote nitrique ou nitrate (NO_3^-).....	40
III-3-2-2-3- Azote nitrite ou (NO_2^-).....	41

III-4- Cycle de l'azote.....	41
III-4-1- Fixation biologique.....	41
III-4-2- Minéralisation de l'azote organique.....	42
III-4-2-1- Ammonification.....	42
III-4-2-2- Nitrification.....	43
III-4-2-2-1- Définition.....	43
III-4-2-2-2- Etapes de la nitrification.....	43
III-4-2-2-2-1- Nitrosation ou Nitratation.....	43
III-4-2-2-2-2- Nitratation.....	44
III-4-2-3- Organismes de la Nitrification.....	44
III-4-2-4- Facteur influençant la Nitrification.....	45
III-4-2-4-1- Aération (l'oxygène).....	45
III-4-2-4-2- Disponibilité de l'ammonium (NH ₄ ⁺).....	45
III-4-2-4-3- Température.....	46
III-4-2-4-4- Structure et Teneur en eau du sol.....	46
III-4-2-4-5- PH.....	47
III-4-2-4-6- Composés toxiques.....	47
III-4-2-4-7- Les engrais.....	47
III-5- Perte d'azote.....	48
III-5-1- Perte par volatilisation ammoniacale.....	48
III-5-2- Perte par lixiviation.....	49
III-5-3- Perte par dénitrification.....	49
III-5-4- L'immobilisation de l'azote.....	51
Chapitre IV : Méthodes et Résultats	
IV-1- Méthode de W-B-Modifiée.....	53
IV-1-1- Principe.....	53
IV-1-2- Réactifs.....	53
IV-1-3- Mode opératoire.....	53

IV-1-4- Calculs.....	54
IV-1-5- Domaine d'application.....	54
IV-1-6- Principe et théorie.....	54
IV-1-7- Interférence.....	54
IV-1-8- Protocole opératoire.....	55
IV-1-8-1- Prélèvement et conservation.....	55
IV-1-8-2- Séchage.....	55
IV-1-8-3- Broyage.....	56
IV-1-8-4- Appareillage.....	57
IV-1-8-5- Réactifs et étalons.....	57
IV-1-8-6- Préparation des solutions.....	58
IV-1-8-6-1- Solution de bichromate de potassium (1N).....	58
IV-1-8-6-2- Solution indicatrice de ferroïne.....	59
IV-1-8-6-3- Sulfate ferreux 0,5 N	60
IV-1-8-7- Dosage du carbone organique total.....	61
IV-1-8-8- Préparation d'un témoin.....	65
IV-2- Azote Kjeldahl (NK).....	66
IV-2-1- Principe.....	66
IV-2-2- Matériels.....	66
IV-2-3- Réactifs.....	66
IV-2-4- Mode opératoire.....	67
IV-2-4-1- Minéralisation.....	67
IV-2-4-2- Distillation.....	67
IV-2-5- Dosage	68
IV-2-6- Analyse de l'azote ammoniacal.....	68
IV-2-6-1- Résultats.....	68
IV-2-6-2- Minéralisation.....	68
IV-2-6-2-1- Passage de la forme ionisée à la forme moléculaire.....	68

IV-2-6-2-2- Entraînement à la vapeur de NH ₃ et piégeage dans l'acide borique..	68
IV-2-7- Dosage par l'acide sulfurique.....	68
IV-2-7-1- Bilan.....	68
IV-2-7-2- Remarques.....	69
IV-3-Dosage de l'azote ammoniacal.....	69
IV-3-1- Introduction.....	69
IV-3-2- Principe.....	69
IV-3-3- Matériels et réactifs.....	69
IV-3-3-1- Matériels.....	69
IV-3-3-2- Réactifs.....	70
IV-3-4- Préparation du réactif de NESSLER.....	70
IV-4- Dosage des nitrites méthode au réactif de ZAMBEILLI.....	70
IV-4-1- Introduction.....	70
IV-4-2- Principe.....	71
IV-4-3- Matériels et Réactifs.....	71
IV-4-3-1- Matériels.....	71
IV-4-3-2- Réactifs.....	71
IV-4-4- Préparation du réactif de ZAMBEILLI.....	72
IV-5- Dosage de Nitrates.....	72
IV-5-1- Introduction.....	72
IV-5-2- Principe	72
IV-5-3- Matériels et Réactifs.....	73
IV-5-3-1- Matériels.....	73
IV-5-3-2- Réactifs.....	73
IV-6- Dosage de l'azote organique par le spectrophotomètre.....	74
IV-6-1- Introduction.....	74
IV-6-2- Principe.....	74
IV-6-3- Matériels et Réactifs	74

IV-6-3-1- Matériels.....	73
IV-6-3-2- Réactifs.....	75
IV-6-4- Préparation de solution AgNO ₃	75
IV-6-5- Dosage de l'azote organique total.....	76
IV-6-6- Calcul et expression des résultats.....	78
IV-6-7- Résultats.....	79
IV-6-8- Discussion.....	82
IV-6-9- Les causes	83
IV-6-10- Les solutions pour maintenir et améliorer la teneur en MO des sols	84
Conclusion Générale.....	85
Bibliographie	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	

Introduction:

Les sols organiques sont formés principalement de résidus végétaux à des stades plus ou moins avancés de décomposition. Ces résidus se sont accumulés dans des dépressions remplies d'eau supportant le développement de plantes aquatiques. Les conditions d'humidité et d'acidité empêchaient la dégradation de la matière organique (M.O.) qui, en s'accumulant, a progressivement comblé la dépression. Les joncs et les laïches ont progressivement remplacé les plantes aquatiques, suivis des mousses ou des carex et des graminées en milieux moins acides. Ces sols sont donc excessivement riches en M.O., celle-ci pouvant représenter jusqu'à plus de 90 % de la matière sèche, et joue un rôle important dans le fonctionnement global du sol, au travers de ses composantes physique, chimique et biologique, qui définissent la notion de fertilité

L'analyse de sol fournit des indicateurs permettant d'apprécier l'intensité de l'activité biologique des sols :

- La mesure de la biomasse microbienne et, surtout, son occupation vis-à-vis de la biomasse globale du sol.
- L'activité enzymatique : la présence dans le sol d'enzymes (de type hydrolases ou oxydoréductases) permet de quantifier l'activité microbienne du sol.
- Les tests de minéralisation du carbone (mesure du CO_2 rejeté) et de l'azote (mesure de l'azote minéral) : la transformation de la matière organique par la biomasse microbienne s'accompagne d'un rejet de CO_2 et, soit d'une minéralisation de l'azote (synthèse de NO_3^- , NO_2^- et NH_4^+), soit d'une recombinaison de l'azote sous une autre forme organique. Certes coûteux, ces tests constituent les indicateurs les plus fiables.

Ce travail a pour objet de :

Caractériser les sols organiques de l'Algérie de manière à proposer une classification de ces sols selon leur potentiel de minéralisation du carbone et de l'azote. Nous voulions relier la dynamique de minéralisation de C et de N de ces sols à des caractéristiques physiques et chimiques plus facilement mesurables. Ceci permettrait de proposer des critères nécessaires pour une fertilisation minérale des sols organiques

et d'évaluer le rendement et le rapport C/N ou rapport carbone sur azote afin de déterminer la capacité de ces sols à fournir du C et du N tout au long de la croissance.

Le but de ce mémoire est de cerner le rôle central que jouent le carbone organique et l'azote organique du sol aussi bien pour sa fertilité que pour ses autres fonctions environnementales.

Les questions sous-jacentes qui sont développées dans ce mémoire sont les suivantes :

- Quelles sont les réservoirs de carbone et l'azote ?
- Quelles sont les propriétés et les rôles des matières organiques dans les sols cultivés ?
- Comment savoir si un sol contient suffisamment de matière organique ?
- Comment maintenir et améliorer la teneur de matière organique des sols ?

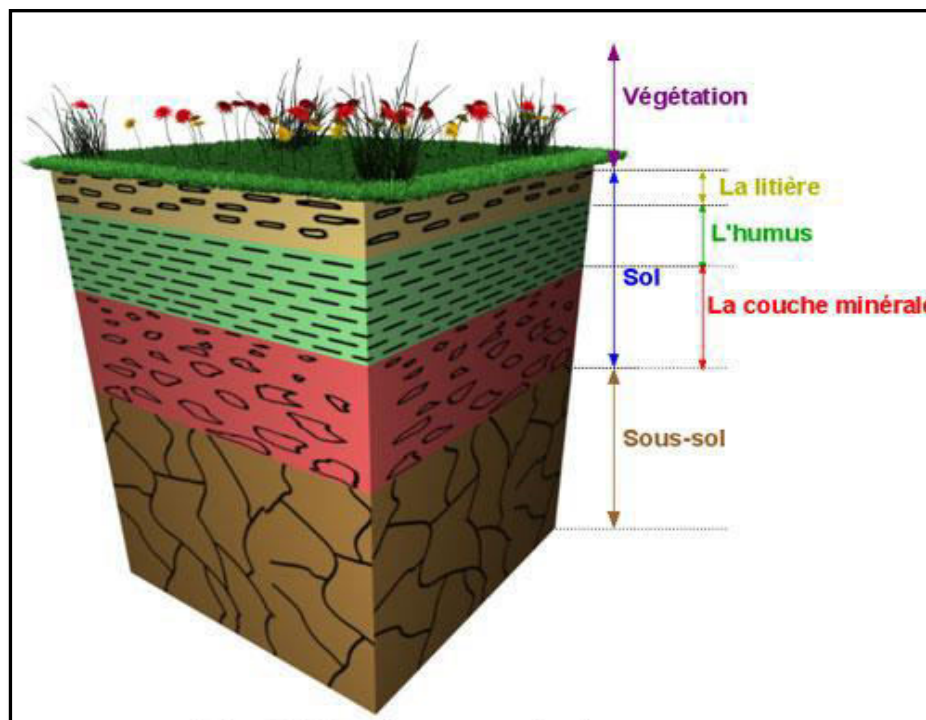
Le présent mémoire intitulé le rapport de carbone organique total et l'azote organique total dans le sol et devise en deux partie :

- Une partie théorique parle sur le sol et le carbone organique total et l'azote organique total
 - Une partie expérimentale est consacrée pour le dosage de carbone organique total et l'azote organique total dans le sol
-

I-1-Définition de sol

C'est « la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants » [1]

La science qui étudie les sols, leur formation, leur constitution et leur évolution, est la pédologie



FigureI-1 : Schéma d'une coupe de sol [1]

I-2- Les différents horizons d'un sol

Un sol est une pellicule d'altération recouvrant une roche, il est formé d'une fraction minérale et de matières organiques(humus). Les processus d'altération, d'humidification et de différenciation aboutissent à l'apparition de couches superposées plus ou moins distinctes et différentes selon la texture, la structure et la composition chimique.

Ces différentes couches correspondent aux horizons dont l'ensemble constitue le profil du sol.

Ces horizons peuvent être déclinés en différents sous horizons en fonction du type de sols rencontrés.

On distingue quatre horizons majeurs [2] :

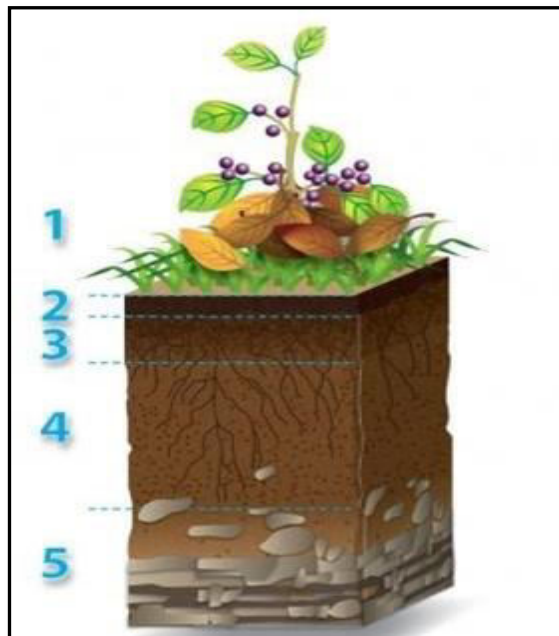
L'horizon A est un horizon majeur occupant la partie supérieure du profil (0-30 cm) et présentant une quantité importante de matière organique et une faible quantité en argile, fer et aluminium. Cette matière organique provient des plantes en phase de décomposition, c'est une matière organique jeune d'origine biologique.

L'horizon S situé au-dessus de A (50-90 cm) est lieu d'altération des minéraux primaires, de libération d'oxyhydroxydes de fer, de décarbonations, etc.

L'horizon B est situé au-dessous de S (90-150 cm), il est caractérisé par des teneurs en argile, fer et humus plus élevées que les horizons A, S et C. Cet enrichissement peut être du soit à des transformations des minéraux préexistants, soit à des apports illuviaux. La matière organique présente dans cet horizon est plus âgée et provient de l'horizon supérieur (A). Elle est adsorbée sur les argiles et les oxydes de fer et l'aluminium.

Enfin l'horizon C situé au-dessus de B (en dessous de 150 cm) est un horizon minéral avec une faible teneur en matière organique. [3]

I-3-Composition du sol



FigureI-2 : Schéma d'un profil de sol

I-3-1- Profil de sol

1-Végétation

En surface, la litière constituée des feuilles mortes encore identifiables avec beaucoup d'air, abritent plantes et animaux vivants.

2-L'humus

Une terre noire et souple, riche en matières organiques. L'humus désigne la matière issue de la décomposition de matières organique brutes comme les feuilles, les branches et les tontes de gazon qui s'accumulent à la surface du sol.

Cette décomposition réalisée par les organismes du sol rend au solde nutriments vitaux que les végétaux peuvent utiliser.

3- La couche arable

La couche dite arable, que l'homme peut travailler : mélange riche en humus et en minéraux.

4- LE sous sol

Généralement pauvre humus, avec peu de traces de vie.

5- La roche Mère

100% minérale, sans air, sans vie.

Il existe un grand nombre de types de sols, parmi lesquels les sols bruns, les podzols, les sols hydromorphes (à Gley ou pseudo-Gley), les sols rouges, les sols iso humiques, les sols ferralitiques, les sols ferrugineux.....

On considère qu'un bon sol agricole est constitué de 25 % d'eau, 25 % d'air, 45 % de matière minérale et de 5 % de matière organique

Le sol est un corps vivant composé de deux fractions

I-3-2-1- La fraction minérale, squelette du sol

Il est constitué de

- Sables
- Limons
- Argiles

- Roches supérieures à 2mm, silicates ou carbonates

I-3-2-2- La fraction Organique, métabolisme du sol

Il est constitué par L'humus (issu des matières végétales et animales en décomposition)

L'humus est composé d'éléments principaux (le carbone-C, l'hydrogène-H, l'oxygène-O et l'azote-N), et d'éléments secondaires (le soufre-S, le phosphore-P, le potassium-K, le calcium-Ca et le magnésium-Mg, ainsi que d'oligoéléments) [1]

I-4- Les trois fractions du sol

Le sol fait partie de la biosphère. Dynamique et vivant, il est le résultat d'une évolution lente au cours de laquelle le climat, le relief et les organismes ont participé à le façonner en altérant la roche mère et en la faisant interagir avec la matière vivante.

Il est un mélange complexe de fragments de roches de granulométries variées, d'organismes et d'humus (ensemble complexe de résidus de matière organique partiellement décomposée et transformée) [4]. Pour mieux l'appréhender, on peut le décomposer en plusieurs fractions [5] :

I-4-1. La fraction solide est constituée de deux types d'éléments distincts

* Les éléments minéraux, ou « constituants mécanique », qui proviennent essentiellement de l'altération mécanique et chimique de la roche mère. Ils se présentent sous la forme de pierres. De graviers, de sables grossiers ou fins, de limons, d'argiles, de calcaire ou encore d'oxyde de fer. Cette fraction minérale est très dominante sur le plan quantitatif (de 80 à 99% en masse) et relativement stable en composition.

* Les éléments organiques, ou la matière organique du sol (MOS). Cette fraction de compositions très variables au cours du temps, peut être plus ou moins abondante dans

le sol (de 0% dans les déserts à sols minéraux à plus de 95% dans les tourbières). [6]

I-4-2. La fraction liquide

Ou la « solution du sol », représente l'eau contenu dans le sol et dans laquelle sont dissoutes les substances solubles provenant à la fois de l'altération des roches, de la décomposition des MOS et des apports extérieurs tels que les fertilisants et pesticides. Cette fraction est le lieu des réactions chimiques permanentes indispensables à

l'évolution de la matière organique et à la croissance des végétaux. Il y a trois types de solutions [6] :

- * liquide libre qui s'écoule à travers le sol et qui percole par gravité
- * liquide utilisable par les végétaux qui est retenu plus ou moins fortement par les particules du sol, il occupe les petites lacunes et imbibe les particules par capillarité ;
- * liquide inutilisable par les végétaux qui est très fortement lié aux particules solides du sol.

I-4-3. La fraction gazeuse

Où l' « atmosphère du sol », est composée des mêmes gaz que l'air auxquels s'ajoutent certains gaz provenant de la décomposition des MOS (méthane et ammoniac).

I-5- Le sol agricole

Diehl définit le sol agricole comme « la partie de la couche superficielle de l'écorce terrestre qui, grâce à structure meuble et sa composition physico-chimique, est en mesure d'assurer un développement normal des végétaux cultivés. » [7]. Cette couche « superficielle » qui s'étend généralement sur une profondeur de 30 cm renferme la majorité des éléments nutritifs et de l'activité biologique des sols.

Dans ce travail, le terme « terres cultivées » se réfère aux sols font l'objet d'une exploitation agricole et qui sont travaillés dans le but de produire des récoltes. Il n'englobe pas les prairies permanentes. [8]

I-6- La matière organique : Nature- Composition

Le terme matière organique regroupe une somme importante et hétérogène de substances et composés carbonés d'origine animale. La nature de la matière organique du sol très complexe : principalement des composés humiques, des racines, des microorganismes, des lombriciens ... C'est pourquoi il est plus juste de parler des matières organiques (MO)

La Figure I-3 suivant représente l'évolution simplifiée des matières organiques dans le sol

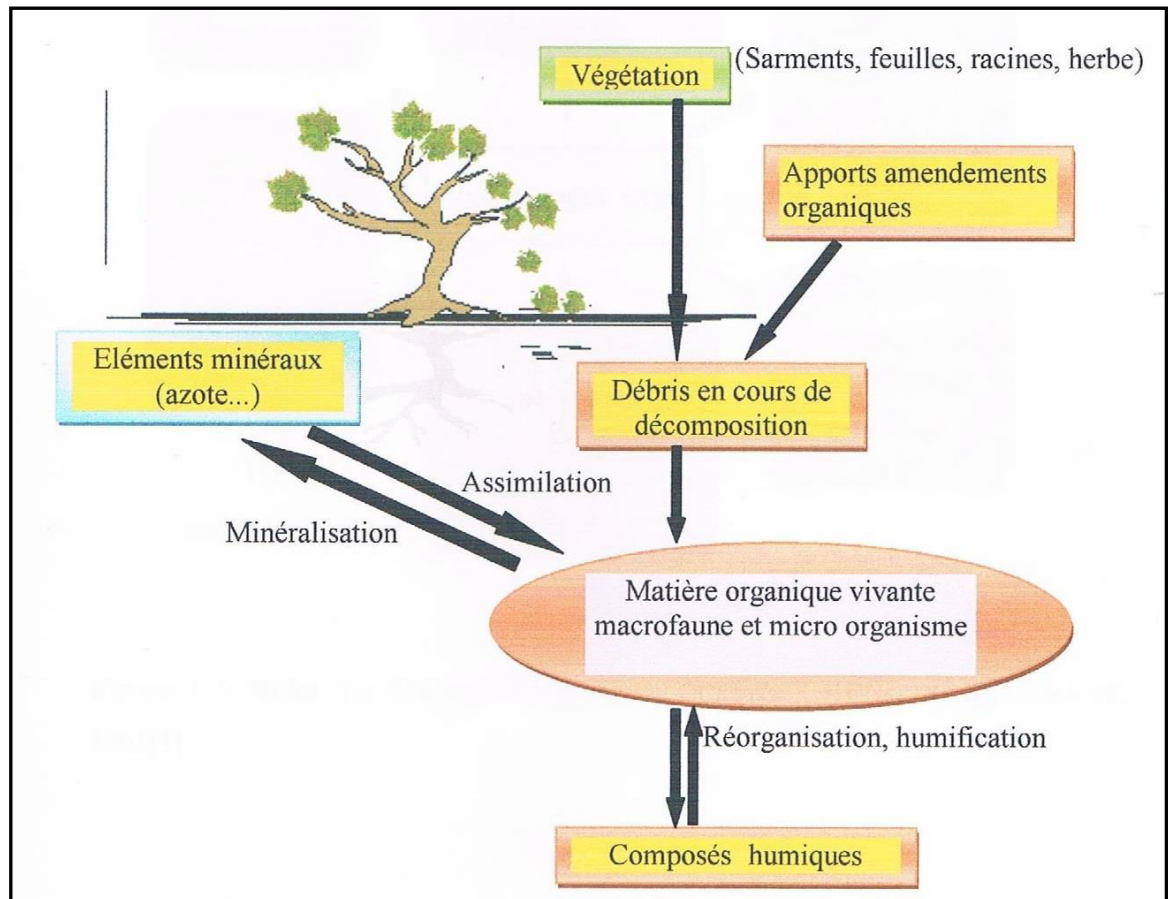


Figure I-3. Evolution simplifiée des matières organiques. [9]

Ainsi, la nature des matières organiques peut être définie de différentes façons :

- Nature chimique: lipides, protéines, composés humiques
- Nature granulométrique: matières organiques particulaires, solubles, colloïdales
- Nature compartimentale: biomasse microbienne, métabolites, matière organique stable.

Cette très grande hétérogénéité chimique et particulière des matières organiques leur confère des propriétés très diversifiées. [9]

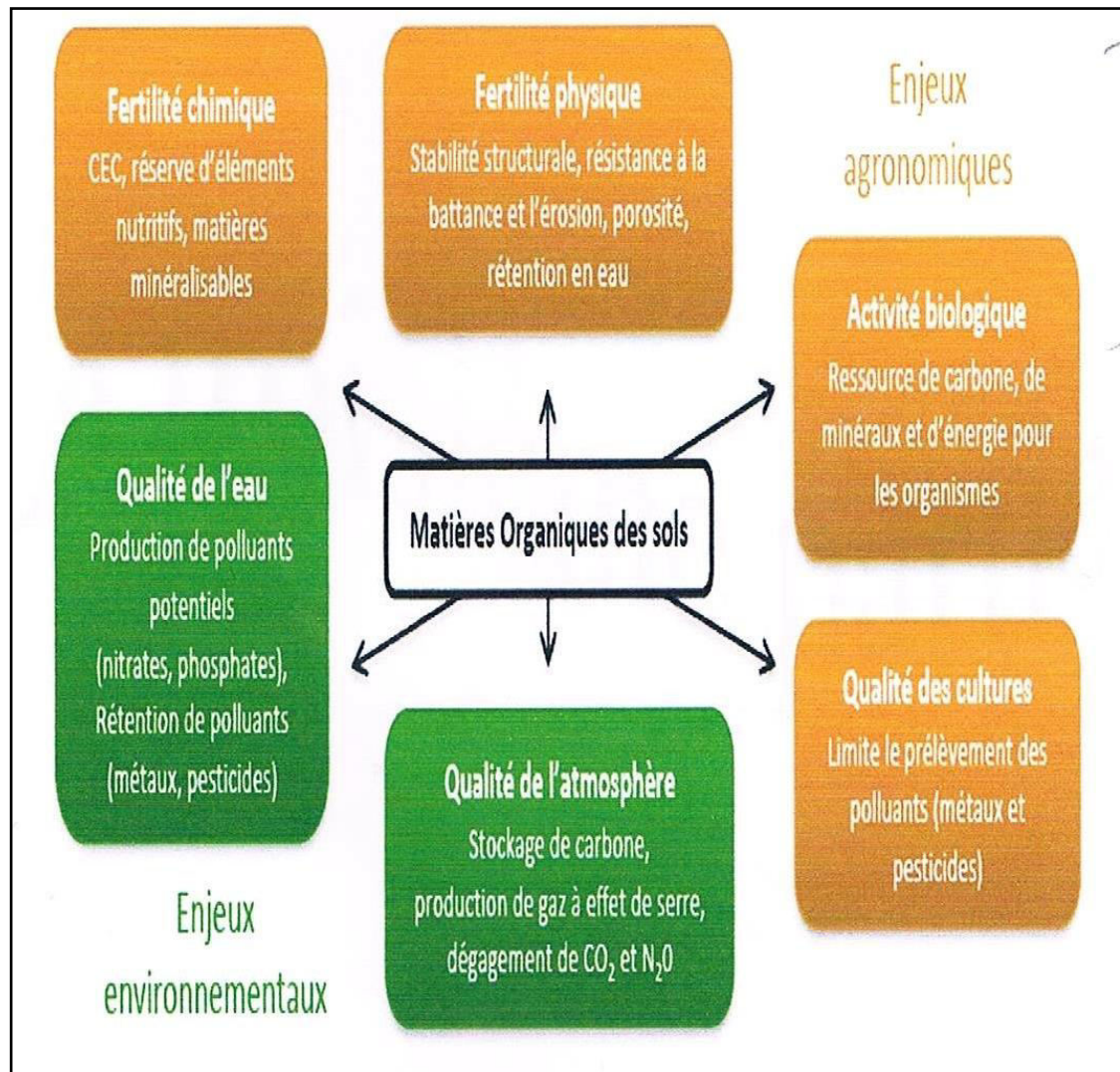


Figure I-4. Rôles des matières organiques [10]

I-7- Les matières organiques du sol (MOS)

« Un sol prend naissance dès que la moindre vie et animale vient s'installer dans les premiers débris de décomposition d'une roche » [11]

Baldock and Skjemstad définissent les matières organiques du sol comme l'ensemble de tous les matériaux organiques dans les sols quelle que soit leur origine et quel que soit leur état de décomposition

Ces éléments organiques sont constitués d'un mélange variable d'éléments chimiques allant des débris végétaux relativement peu altérés aux fractions inertes hautement décomposées (Figure I-5, [12]). Comme pour la fraction minérale, les proportions relatives de chacun de ces éléments varient fortement d'un sol à l'autre.

Mais, contrairement aux constituants minéraux qui sont de composition relativement stable, les MOS sont multiples et se transforment sans cesse : « Leur devenir normal est de redonner les substances qui ont servi à les construire, pour servir à nouveau à l'édification de nouvelles matières organiques. » [8] [11].

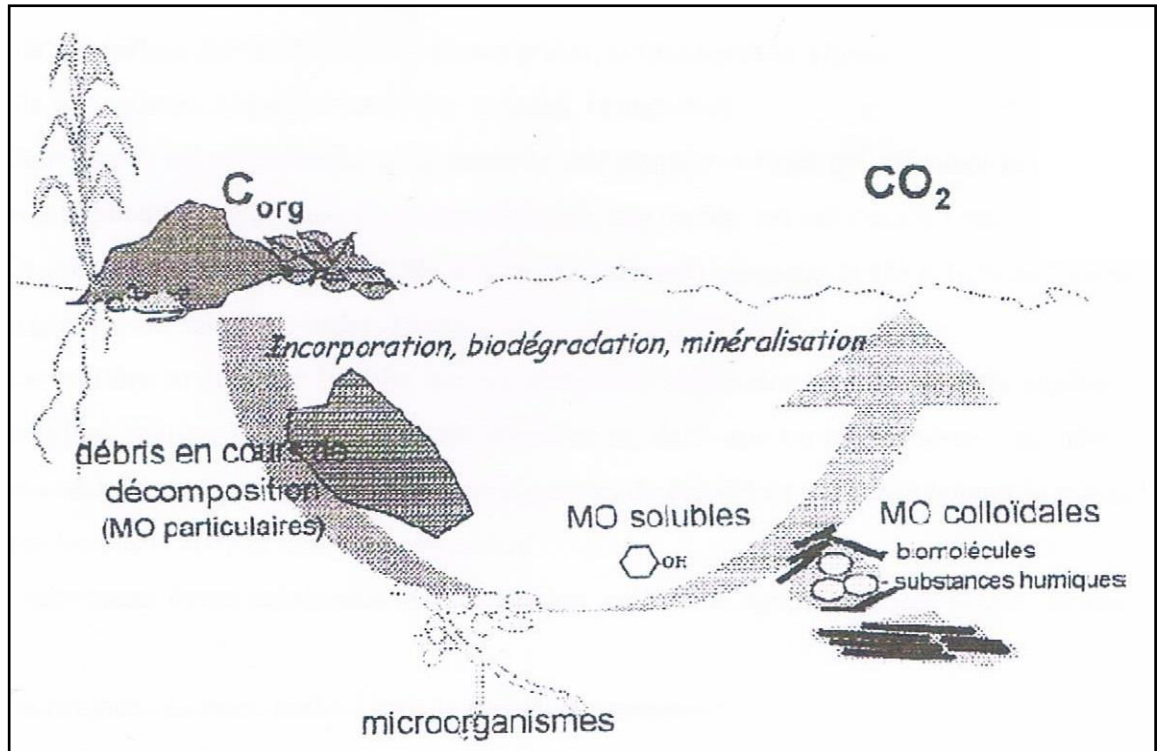


Figure I-5. Les matières organiques sont un ensemble complexe de différents constituants organiques, en perpétuel renouvellement par incorporation et biodégradation

I-7-1- Les compartiments fonctionnels de MOS

Les MOS revêtent des formes extrêmement variées : chimiquement elles contiennent : des éléments structurels (C, H, O) et un certain nombre d'éléments en proportion variable (N, P, S, K, Ca, Mg,...).

Leur particularité en comparaison avec les constituants minéraux du sol est que les MOS sont en constante transformation.

Une des manières des les appréhender consiste à les définir par leur degré de transformation. [13] classe la fraction organique du sol en trois compartiments distincts : la matière organique vivante, la matière organique fraîche et la matière

organique non figurée ou amorphe. La description de [11] propose quant à elle quatre compartiments « fonctionnels » :

Les végétaux et animaux vivants qui évoluent à la surface et dans les couches plus profondes du sol

- Les racines ;
- Les vers de terre et autres rongeurs ;
- La microflore du sol (bactéries, champignons, actinomycètes, algues) ;
- La microfaune du sol (protozoères, insecte, nématodes).
- Cette partie est responsable de la majorité des transformations qui affectent le carbone organique du sol. Son taux de renouvellement, très rapide, est inférieur à 1 an.

Ce compartiment représente 0,5% à 4,5% du carbone organique et 4% à 10% de l'azote organique du sol [14].

La matière organique fraîche qui est composée majoritairement des débris végétaux (feuilles, racines mortes, résidus de récoltes) et, dans une moindre mesure, de débris animaux (déjections, cadavres). La composition de ces débris est sensiblement la même que les tissus vivant dont ils proviennent :

- Substances hydrocarbonées (sucre, amidon, cellulose, lignine, matière grasse, résine) ;
- Substances azotées, surtout sous la forme de protéine ;
- Sels minéraux libres (calcium, magnésium, potassium, sodium)

Sitôt arrivées au sol, ces substances sont attaquées par la microflore et la microfaune. La vitesse de leur décomposition dépendra essentiellement de leur complexité moléculaire.

Les sucres étant les premiers décomposés alors que la lignine, les résines et les tanins résistent plus longtemps à l'altération.

Les composés intermédiaires : aussi appelé « produits transitoires » ou « matière organique labile », représentent le maillon de cette chaîne de transformation où les grosses molécules de la MO fraîche se sont transformées en substances minérales simples ou en très petites molécules :

- Dioxyde de carbone (CO₂) et vapeur d'eau (H₂O)
- Matières minérales (nitrates, phosphates, carbonates, sulfates, etc.)

Ce processus de décomposition est appelé « minéralisation primaire » et les composés qui en résultent seront réutilisés comme substances nutritives par la partie vivante du sol ou serviront de précurseurs des substances humiques. Enfin, une certaine partie sera perdue par lessivage.

Leur durée de vie des composés intermédiaires peut atteindre quelques dizaines d'années.

Ce compartiment regroupe 10% à 40% de la MOS.

Ces trois premiers compartiments fonctionnels de la MOS représentent la composante active de la MO du sol. Celle-ci agit comme réserve principale d'éléments nutritifs libérés après minéralisation.

L'humus, ou substances humiques : constitue la matière organique stable. Une partie des produits transitoires, au lieu de se minéraliser complètement, va connaître une évolution inversée et les molécules simplifiées vont se regrouper, se polymériser pour aboutir à des macromolécules complexes, peu solubles dans l'eau et tensioactives. Il s'agit du processus d'« humification »

La partie de la MO qui en résulte est chimiquement et physiquement protégée. La complexité de ses molécules et son association avec des particules minérales du sol la rendent peu accessible et dès lors peu dégradable par les micro-organismes du sol. Outre leur stabilité, les composés humiques offrent une très grande variabilité, ce qui permet à [15] de dire qu'il n'existe sans doute pas deux molécules humiques identiques.

La durée de vie des substances humiques varie entre quelques années et plus de mille ans. Au cours de celle-ci, cet « humus stable » sera à son tour dégradé par les micro-organismes au cours du processus très lent de « minéralisation secondaire ». [8]

I-7-2- Nature et caractéristiques des MOS

Les caractéristiques intrinsèques des matières organiques sont un des principaux déterminants de leur minéralisation [16]. La description de ces caractéristiques la plus souvent utilisée est la composition chimique et biochimique des MO : composés solubles, hémicellulose, cellulose, lignines et cutines, et tanins. Plus les molécules

organiques sont complexes, plus la biodégradabilité diminue et plus la durée de décomposition sera longue (**Figure I-6, Mustin, 1987 : p42**). En règle générale, les composés solubles sont les plus rapidement utilisés par la microflore. Les hémicelluloses et la cellulose nécessitent plus de temps, alors que la lignine s'accumule dans le sol en raison de sa résistance à la biodégradation (structure macromoléculaire dérivée du phénol incluant de multiples types de liaisons) [6].

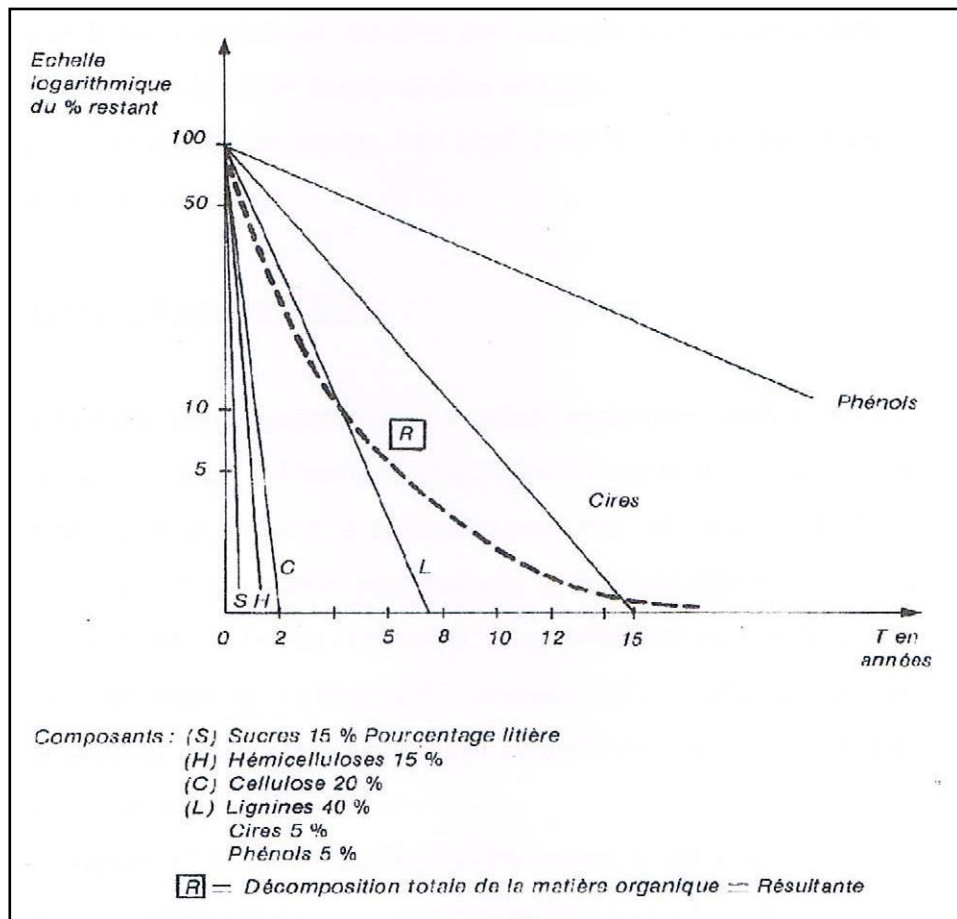


Figure I-6. Taux de biodégradation des composants de la biomasse végétale dans les sols et litières.

Outre ces composés d'origine végétale, d'autres types de composés comme les protéines et les lipides influent également le processus de biodégradabilité. [16].

De plus, la décomposition est parfois limitée par la toxicité de certains composés ; par exemple, le végétal qui contient des composés fongicides ou des concentrations élevées de produits toxiques initialement liés à des molécules [17].

I-7-3- la caractérisation des matières organiques

L'apport exogène de matière organique se fait par épandage et parfois enfouissement sur les sols cultivés. Il est primordial de connaître les caractéristique de ces produits et de prévoir l'évolution qu'ils vont subir dans le sol pour connaître les avantages agronomiques qu'ils apportent.

Les propriétés des matières organiques d'origines agricoles sont connues ne serait-ce que de façon empirique. Ce n'est pas le cas des autres amendements organiques qui sont d'origine et de nature beaucoup plus diverses.

Les indicateurs qui suivent sont régulièrement utilisés pour caractériser les différentes matières organiques.

I-7-3-1- le rapport C/N

Une manière de caractériser les matières organique consiste à indiquer le rapport entre le carbone total et l'azote total qu'elles contiennent. Ce rapport est considéré comme essentiel pour prévoir la minéralisation nette de l'azote dans le sol (disponibilité de l'azote). C'est la raison pour laquelle la fameuse directive nitrates (91/676/CEE), dont l'objectif est de limiter de quantités excessives de nitrates d'origine agricole dans les eaux de surface et souterraines, utilise cet indicateur pour réglementer les épandages des effluents d'élevage (distinction entre produits avec C/N inférieur ou supérieur à 8).

Le rapport C/N caractérise la proportion entre le carbone et l'azote d'un produit. On sait que les micro-organismes consommant des produits carbonés ont besoin d'azote pour synthétiser leurs propres protéines. Si le produit organique disponible n'est pas suffisamment riche en azote, les colonies microbiennes feront appel à l'azote qui est présent sous forme minérale dans le sol pour se développer. En revanche, si le produit organique attaqué est exagérément riche en azote, une partie de celui-ci sera libérée à l'état d'azote minéral et rejeté dans le sol. On considère en général qu'un équilibre approximatif est atteint quand ce rapport oscille entre 15 et 30 (bilan de l'azote suite à minéralisation équilibré). En dessous de 15 (par exemple la foin de luzerne), il y a un risque de perte et de lessivage de l'azote minéral, au-delà de 30 (par exemple la paille a un C/N > 30) la décomposition des produits provoquent le blocage de l'azote rendu non disponible pour la croissance de la plante [18].

Par conséquent, plus le rapport C/N est faible, plus les MOS agissent comme un engrais organique et ont un coefficient de transformation en humus très faible ou nul. A l'opposé, les matériaux avec un rapport C/N élevé, en particulier quand ils contiennent de la lignine, agissent comme un amendement et se transforment progressivement en humus.

Il semble cependant que l'indicateur C/N présente certaines limites et qu'il soit un facteur explicatif insuffisant dans le cas de certaines matières exogènes : « C'est le cas par exemple d'une boue et d'un compost étudiés par Ambus et al ayant des rapports C/N comparables mais induisant des cinétiques de minéralisation différentes » [16].

On reproche aussi au rapport C/N de ne donner une indication que sur les parts totales de carbone et l'azote. Or, l'influence sur le processus de minéralisation des différentes fractions qui les composent est très variable

I-7-3-2 L'indice de stabilité biologique (ISB) et la Caractérisation biochimique de la matière organique (CBM)

Ces deux méthodes assez voisines ont été développées en France. Dans leur principe, elles consistent à identifier les différentes fractions de la matière organique par séparation biochimique et en déduire la résistance à la dégradation. Leur but est de déterminer si un produit organique se comportera plutôt comme un engrais ou plutôt comme un amendement organique.

L'ISB, calculé en fonction des différentes fractions biochimiques (matière organique soluble, hémicellulose, cellulose brute et lignine plus cutines), permet de distinguer les produits relativement labiles dans le sol des produits plus stables qui participeront à la reconstitution du stock humique du sol.

La méthode CBM permet de regrouper les différents produits organiques en 4 classes [19] :

- Les produits riches en fonctions solubles et azote total, facilement minéralisables (engrais organiques) ;
- Les produits riches en fractions solubles et hémicelluloses (> 45% de la matière organique), considérés comme produits à faible rendement en humus ;
- Les produits riches en cellulose et lignine (> 65% de la matière organique), considérés comme des amendements organiques « vrais » ;

- Les produits à faible teneur en matière organique (matière minérales 40% de la matière sèche), sans grande valeur organique mais pouvant avoir une valeur fertilisante.

I-7-3-3- Cellulose et lignine

D'après Culot, la cellulose est souvent considérée, à tort, comme une bonne source d'humus.

Celle-ci est en effet un vrai polymère de molécules de cellobiose, qui lui-même est une double molécule de glucose. De nombreux micro-organismes sont donc capables de la dégrader rapidement. Les glucoses qui sont assimilables par tous les organismes du sol ne contribuent que faiblement à la reconstitution de l'humus du sol.

En revanche, la lignine n'est pas un polymère. Elle possède des noyaux aromatiques et des structures complexes qui lui permettent de mieux résister aux attaques microbiennes. Ses s'incorporent donc plus facilement à l'humus en reconstitution.

Les amendements à base de paille seraient donc efficaces que ceux à base de déchets ligneux.

I-7-3-4 Indices K1 et K2

Ces coefficients d'humification et de destruction de la matière organique découlent d'observations expérimentales et permettent d'estimer la proportion qui résistera à la dégradation (définie par le coefficient K1) et la quantité de MO qu'il faudra ajouter pour maintenir le taux d'humus (en partant de l'hypothèse qu'il se dégrader à une vitesse qui correspond à K2). Par exemple, le coefficient isohumique (K1) du fumier de ferme est de 0,34 alors que celui des composts urbains est généralement proche de 0,25 [20].

Ces coefficients, considérés comme constants, sont utiles mais doivent être utilisés avec précaution. Les observations menées in situ sont parfois fort différentes des prévisions en raison de tous les autres facteurs qui jouent sur la minéralisation des matières organiques. [8]

I-8- Les sources des matières organiques biodégradables

Les sources de matières organiques biodégradables peuvent être classées en deux grandes catégories : celles qui sont issues du secteur agricole et celles qui ne le sont pas.

Si les résidus d'origine agricole sont relativement bien connus et largement mobilisée, ce n'est pas encore le cas de ceux issus des sources extérieures à l'agriculture.

I-8-1- Les résidus d'origine agricole

Les apports par les végétaux constituent la source la plus facilement mobilisable dans la mesure où elle directement disponible sur le champ et ne nécessite pas ou peu travail de transformation préalable avant son enfouissement. Ces apports proviennent des :

- Résidus de culture perdus au cours de la végétation (feuilles)
- Résidus de récolte (chaumes, pailles, verts)
- Rystème racinaire des plantes
- Rlantes entières non récoltées et enfuies dans le sol (adventices, engrais verts, cultures pièges à nitrates)

Cependant, en termes de carbone, l'apport annuel est très variable et dépend des espèces considérées et des exportations réalisées (enlèvement des pailles). En moyenne pour les cultures annuelles, 1 à 2 t de C/ha sont ainsi restituées, les quantités pouvant atteindre plusieurs tonnes dans le cas de cultures pérennes et des prairies. Il faut en outre tenir compte de l'apport non négligeable des exsudats racinaires (5 à 15% du carbone photosynthétisé par les plantes) [14].

Si la composition des résidus végétaux varie en fonction des espèces, la nature du carbone organique de ces résidus est par contre relativement bien connue. Les principaux composés rencontrés dans les végétaux sont [14]:

- les produits solubles (sources, polysaccharides, acides aminés, amino-sucres, acides organiques ...) = généralement moins de 10% de la matière sèche des résidus
- les hémicelluloses (10 à 30%)
- les celluloses (15 à 60%)
- les lignines (5 à 30%)
- les protéines (2 à 15%)
- autres composés en quantités plus ou moins importantes (lipides, acides nucléiques, tannins, résines, polyphénols,...)

L'efficacité de ces apports végétaux à reconstituer la réserve de carbone organique dans le sol est donc assez variable.

Les résidus d'origine animale proviennent principalement des fumiers, lisiers et purins.

Leur composition varie en fonction des espèces animales considérées, du type de litière ainsi que des conditions et de la durée de stockage (fumier frais ou composté). Dans les fumiers, on retrouve des composés organiques comparables à ceux rencontrés dans les matériaux de litières (cellulose, hémicellulose, lignine), des éléments minéraux ainsi que des composés plus ou moins évolués qui s'apparentent aux substances humiques.

En revanche, la fraction organique est nettement inférieure pour les lisiers et les purins pour lesquels la fraction azotée se trouve essentiellement sous la forme ammoniacale.

Sans traitement préalable, l'épandage de ces derniers effluents ne présente pas non plus de grand avantage pour la reconstitution dans le sol d'une fraction organique stable. Il comporte en outre un certain risque environnemental lié aux fortes teneurs en azote uréique et ammoniacal (pollution des nappes phréatiques et émission de N₂O et de NH₄). Cette situation peut être améliorée en recourant soit au compostage de ces effluents, soit à leur biométhanisation.

Dans le cas du compostage, l'azote minéral en surplus est consommé par les microorganismes. Des apports additionnels de déchets ligneux peuvent améliorer non seulement la structure et l'aération du compost, mais aussi la proportion de carbone/azote des matières compostées. Ce procédé permet en outre de supprimer une série de pathogènes (hygiénisation) qui peuvent subsister dans les matières fécales animales.

La biométhanisation est un procédé par lequel les effluents sont décomposés par des bactéries en condition anaérobie produisant d'une part du gaz naturel (méthane) et d'autre part un résidu appelé digestat. La qualité de ce digestat dépend de la qualité des matériaux dont il provient mais aussi des techniques de biométhanisation. Les procédés thermophiles (> 55°C) sont plus efficaces pour atteindre le niveau d'hygiénisation requis. Au terme de la méthanisation bien menée, l'effluent est stabilisé, désodorisé et

plus homogène. S'il reste trop riche en azote et en contaminants éventuels, il peut subir un dernier traitement par compostage avant épandage.

I-8-2- Les matériaux d'origine non agricole : source à mobiliser davantage

Les sources de matières organiques d'origine non agricoles sont constituées par [21] :

- **Les résidus urbains** : fraction organique des déchets issus des ménages, des commerces et des collectivités faisant l'objet d'une collecte sélective ; déchets verts issus des activités des ménages, des communes et des entreprises de gestion de parcs et jardins et boues de stations d'épurations urbaines ;
- **Les résidus des industries agroalimentaires**, qui sont composés de terres, écumes, mélasses, boues, levures, marcs, pulpes, déchets d'abattoirs, ainsi que ceux provenant du **secteur du papier et de l'exploitation forestière** (écorces, sciures,...).

Compte tenu des productions diverses, il est difficile d'établir une composition-type de ces matières organiques. La plupart du temps, il est nécessaire de conduire des études au cas par cas pour tenter de les caractériser et prévoir ainsi leur évolution après incorporation dans le sol. De façon générale, elles se composent de matière hydrocarbonée, d'eau, d'azote, de phosphore, de potassium mais elles peuvent également contenir des ETM et des MPO. Ce sont les matériaux à l'origine et aussi les traitements subis au cours des procédés de transformation qui déterminent la qualité de ces matières organiques. Si les déchets forestiers et de l'industrie du bois sont souvent très riche en lignine, la composition des résidus urbains est quant à elle fortement influencée par les traitements technologiques que subissent les déchets.

En ce qui concerne les résidus d'origine urbaine, de nombreuses études sont menées pour améliorer les connaissances sur le parti agronomique que l'on pourrait en tirer et sur les risques qu'ils représentent pour l'environnement et la santé humaine [16].

La fraction fermentescible des déchets ménagers est traitée soit par compostage soit par biométhanisation (11% de ces déchets) avec les mêmes avantages que ceux décrits pour les effluents d'élevages. La qualité des matériaux obtenus dépendra essentiellement de la qualité du tri et de celle du contrôle opéré lors des collectes, lesquels permettront de limiter la présence de métaux lourds et de matières inertes (plastiques, verres, cailloux) [22].

Les composts de déchets verts. Les déchets verts des ménages, des entreprises de jardinage et des collectivités sont collectés principalement via le réseau de parcs à conteneurs ou via des collectes sélectives dans certaines communes. Parmi les différents types de composts, ceux issus de déchets verts présentent en principe la meilleure qualité, c'est pour cette raison qu'ils sont les seuls à être acceptés par les fabricants de terreau, en remplacement de la tourbe.

Le cas **des résidus de l'industrie agroalimentaire** est un peu particulier. Dans le cadre du respect des principes de gestion de déchets, le prioritaire est la prévention.

Les industries tentent donc de réduire la part de ces résidus au maximum et ce, par le biais de « technique plus propres » de production ou de recyclage inerte. Les industriels préfèrent d'ailleurs parler de sous-produits plutôt que de déchets. Et nombre d'entre eux sont déjà réutilisés dans d'autres filières. Par exemple, les mélasses et les pulpes de sucreries, les drèches et les levures de brasseries et les résidus de pommes de terre sont utilisés comme aliments pour le bétail [21]. La valorisation en agriculture représente cependant un débouché intéressant qui sera amené à se développer au fur et à mesure que leur élimination sera plus coûteuse et leur mise en décharge interdite [8], [22].

I-9-Rôle clef des matières organiques dans les sols cultivés

La présence de matières organiques dans un sol cultivé est l'un des indicateurs principaux de ses qualités aussi bien agronomiques (production de produits agricoles rendement) que celles qui sont liées à ses fonctions environnementales (qualité de l'eau, de l'air, biodiversité).

La quantité, la diversité et l'activité de la faune et des micro-organismes d'un sol sont en relation directe avec la présence de la matière organique. Cette activité biologique a une influence majeure sur les propriétés physico-chimiques des sols [23].

I-9-1- La fertilité du sol

« La fertilité d'un sol est son aptitude à produire » [5].

Le sol remplit deux fonctions essentielles : il nourrit la plante et lui offre un site structuré de croissance où se développent ses racines et où circulent air et eau. Les sols abritent en outre une multitude de micro-organismes dont l'action participe au maintien

de deux premières fonctions. La fertilité d'un sol relève donc de ses propriétés chimiques, physiques et biologiques.

La manière dont sont arrangées les différentes sortes de pores et de racines, la distribution des colonies microbiennes et la distribution des chemins préférentiels de l'eau de l'air et des solutés correspondent à un type particulier d'organisation du sol, à un type de structure et de fonctionnement et donc un type de fertilité. [24].

A cette fertilité « intrinsèque », s'ajoutent des caractéristiques climatiques (pluviométrie, température, ensoleillement), qui conditionnent plus ou moins favorablement la croissance végétale, ainsi que le travail de l'agriculteur [23].

La fertilité d'un sol englobe classiquement trois types de composantes distinctes [5]:

- Les propriétés physiques du sol (aération, humidité, facilité du travail) ;
- Ses propriétés chimiques (bon fonctionnement des mécanismes de fixation et d'échange de substances nutritives entre le sol et la plante) ;
- Et ses propriétés biologiques (vie microbienne intense participant à la nutrition des plantes).

La présence de matières organiques, en améliorant ces trois qualités, participe de manière essentielle à la fertilité des sols. Les différents compartiments qui les composent jouent des rôles multiples et agissent ensemble, à la fois par leur présence mais aussi par les transformations qu'ils subissent.

I-9-1-1- Qualités physiques

On entend par fonctions physiques d'un sol, 1) ses propriétés mécaniques telles que la stabilité structurale ou la résistance au tassement et 2) le contrôle qu'il opère sur la circulation de l'eau, de l'air et des solutés en fonction de l'agencement de ses pores. Les MOS corrigent les caractères excessifs des sols.

L'humus présente les mêmes qualités colloïdales que l'argile se qui ce qui lui permet d'améliorer la structure des sols trop « légers » en cimentant les particules en agrégats stables, et d'alléger les sols lourds en diminuant l'adhésivité et en les rendant plus friables De plus, il régularise l'humidité de tout type de sol en favorisant l'évacuation en excès des sols argileux, en augmentant la rétention d'eau des sols sableux [5].

Les lombriciens participent à l'aération du sol en creusant des galeries dont la distance peut atteindre 4000 km par hectare. Ils opèrent un travail fin et en profondeur du sol, ce qui assure la bonne répartition des fractions organiques et les prépare physiquement à la formation du complexe argilo-humique. Enfin, ils sécrètent un mucus qui maintient les fines particules du sol ensemble [6].

Comme les vers de terre, les racines, les bactéries et les champignons sécrètent des polysaccharides qui agrègent les particules minérales entre elles.

Enfin l'activité intense des micro-organismes influe sur les propriétés thermiques du sol [25].

I-9-1-2- Qualités chimiques

Les MOS constituent le réservoir d'éléments nutritifs pour les plantes. Les plantes sont composées d'éléments minéraux classés selon leur abondance [26]:

Eléments majeurs (95%) : carbone (C), hydrogène (H), oxygène (O), azote (N)

Eléments moyens (4%) : phosphore (P), potassium (K), calcaire (Ca), magnésium (Mg), Sodium (Na), chlore (Cl), soufre (S)

Elément mineurs (1%) : fer (Fe), zinc (Zn), cuivre (Cu), bore (B)...

Les MOS agissent sur l'alimentation minérale des plantes selon leur besoins particuliers et ce, par les deux voies différentes et simultanées que sont la mise à disposition des éléments minéraux et la modification des caractéristiques chimiques du sol [26].

Comme les éléments minéraux existent pour la plupart sous la forme organique et sont inassimilables par la plante, l'ensemble des composés fertilisants (éléments structurants tels que l'azote, la phosphore et le soufre) et des oligo-éléments sont progressivement minéralisés et libérés sous l'action des micro-organismes du sol.

Cette libération est marquée par sa continuité et son rythme, la période de minéralisation active coïncidant généralement avec les besoins importants des végétaux, du fait d'une similitude de facteurs du développement végétal et microbien (température, humidité, teneur en oxygène, etc.) [15].

L'humus agit également sur la nutrition des plantes grâce à sa minéralisation continue.

Mais Il améliore surtout les caractéristiques physico-chimiques du sol par ses réactions acides et ses propriétés colloïdales : rétention sur sa surface électro-négative de minéraux, des oligo-éléments et des métaux lourds, formation de complexes avec le phosphore,... De nombreux minéraux du sol, en particulier ceux qui portent au moins une charge positive, comme le potassium (K^+) le calcium (Ca^{2+}) et le magnésium (Mg^{2+}), adhèrent aux surfaces chargées négativement des particules colloïdales.

En retenant ces minéraux, l'humus contribue à prévenir le lessivage (l'écoulement) des nutriments et des polluants lors des pluies abondantes ou sous l'effet de l'irrigation. Ils les relâchent au profit de la solution du sol progressivement lorsque des protons du sol viennent les remplacer à la surface des particules. Ce processus, appelé échange de cations, est stimulé par les racines qui sécrètent des protons et des composés formant des acides dans la solution du sol.

C'est grâce à cette capacité d'échange que la présence de MOS favorise l'action des engrais minéraux et ce, en permettant l'absorption des éléments fertilisants à travers la membrane cellulaire des radicelles des plantes. A ce propos, on constate une baisse d'efficacité des engrais dans les terres qui s'appauvrissent en MO.

La capacité d'échange cationique exprime également la capacité d'un sol à résister aux changements de PH (capacité tampon) et est fortement liée à sa composition (sol minéral à CFC généralement faible ou sol organique à CFC souvent élevée).

I-9-1-3- Qualités biologiques

Les MOS représentent la vie biologique dans le sol que celle-ci soit microbienne (microflore et microfaune), animale (vers de terre, faune de sol) ou végétale (racines).

Elles sont aussi le support de cette vie et son habitat : les MOS sont une source d'énergie et de nutriments pour tous les organismes hétérotrophes qui vivent dans les sols. « Il y a donc une relation étroite entre les teneurs en MO et l'activité biologique des sols. » [27].

La micro faune et micro flore d'une extrême richesse ainsi entretenue est composée d'insectes, de vers de terre, de nématodes, d'actinomycètes, de champignons, d'algues.

Plus ce monde souterrain est varié, plus il assurera un maintien des pathogènes potentiels du sol au dessous de leur seuil de nuisibilité [27].

Entre 20 et 75% de l'activité microbologique des sols inféodée aux galeries de vers de terre [6].

[1] : <http://www.mtaterre.fr/dossier-mois/chap/867/Comment-se-forme-le-sol>

[2]: **Baize ET Jatsiol** ,Master sciences de la Terre et environnement,
Ecologie.Pédologie Emmanuel ...Source Baize ET Jatsiol 1995

[3]: **Aurélien Lavaud**, Thèse de doctorat, pour obtenir le grade de docteur de
l'université de poitiers, Soutenue prévue le 08 Avril 2010, Extraction et caractérisation
de la matière organique soluble des horizons profonds d'un sol arable, Chimie et
Microbiologie de l'eau,P: 5,7-11.

[4]: **Campbell** Euro 2004, UEFA have said referee Urs Meier was right to rule out sol
Campbell's controversial headed goal against Portugal-althangh.,2004.

[5]: **Soltner** ,Mémoire IGEAT 2006-2007: Gestion des matières organiques dans les
sols cultivé en region.... Peut le decomposer en plusieurs fractions (Soltner,1992)

[6]: **Mustin. M.** (1987) Le compost : gestion de la matière organique ... National
agronomique Paris Grignon, INRA-Centre de Grignon-Unité de sciences des sols.

[7]: **Dhiel cite par Soltner**, 1992, P13: mem-envi.ulb.ac.be / Mémoire- en .../MFE-
Frisque- 06-07.pdf. 1992.

[8]: **Muriel Frisque**, Gestion des matières organiques dans les sols cultivés en Région
Wallonne: avantages agronomiques, avantage environnementaux, IGEAT 2006-2007, P
: 3-4,6-7,10-12,15-16,18-21,68-71,73-76. IGEAT 2006-2007

[9]: **ITV France** Fertilisation de la vigne, Un point sur les préconisations la matière
organique fiche 3, P: 1.

[10]: D'après **Chenu et Balabane**, 2001,.le carbone organique :principal Constituant des
matières organiques.

[11]: Mémoire IGEAT 2006-2007: Gestion des matières organiques dans les sols....
Les premiers debris de decomposition d'une roche "Soltner, 1992, P37"

[12]: Mémoire IGEAT 2006-2007: Gestion des matières organiques dans les sols
cultivés en Région Wallonne, **Chenu** 2003 P 109.

[13]: livrés ... les clés d'un sol vivant.. (2002, **Blaise lerclerc**),

- [14]: Nicolardot, 1993: la matière organique dans le sol tropicaux à argiles
1:1..153,293-299 Felier,C,P , La velle, A,Albrecht,and B.
- [15]: Leclerc 2002 : le sol régule sa temperature le climat interne du sol est relié au climat ... comme le suggère.
- [16]: Pamaudeau 2005: le sol et notamment la pollution de la nappe phréatique, aussi une reduction de ... fréquence de double reduction est faible chez la Luzerne.
- [17]: Swift et al. et Houot et al cites par pamaudeau,2005.
- [18]: Duthil 1973, la teinte foncée des terres richee en MO favorise l'absorption de l'energie solaire, Ceci se traduit par un réchauffement plus rapide des sols nus.
- [19]: Chaussod, 1999: le dénombrement des micro-organismes du sol a fait l'objet de nombreux travaux exposés dans les traits de mrobiologie.
- [20]: le travail du sol, l'utilisation de fertilisants minéraux divers et l'irrigation des organiques compatibles avec une utilisation agricole (le Villio et al,2001) .
- [21]: La pruche de l'Ouest, le sapin gracieux et le thuya semée à meme le sol forestier out servi de ... Shade tolerance for all species (OMD 1999).
- [22]: CEEM: Compartive Evaluation of European for sampling and...
L'échantillonnage, le transport et la conservation des échantillons de sol, 1998.
- [23]: les organisms' vivants du sol sont varies et nombreux et conferment aux sols des.... Totale de 12000 kg ha-(d'après Gobat et al, 1998).
- [24]: les vers de terre sont presents dans tous les sols avec cependant des differences que ce soit au ... mm et 72% Sont subverticales (KRETZSCHMAR).
- [25]: Baldock et SKjemstad 1999 cité par Krukkead, le problem reside dans le fait qu'une diminution de la teneur en MO du sol au.. Of decomposition.
- [26]: Lemaire 1993,Mémoire IGEAT 2006-2007 :Gestion des matières organiques dans les ss ols et la modification des caractéristiques chimiques du sol.
- [27]: Raffin,: le sol est macule de pausements et de gants de caout chouc usagés et les mouches ont... se demande le docteur Raffin-1993.
-

II -1-Définition du CO des sols

Le carbone organique est le principal constituant des matières organiques. Il représente environ 50% de celle-ci, suivi de l'oxygène (40%), de l'hydrogène (5%), de l'azote (4%) et du soufre (1%).

Dans les analyses de terre, la quantité de matières organiques du sol est connue à partir d'une mesure de teneur en carbone organique. Elle correspond à une concentration de carbone organique dans le sol, souvent exprimée en g/kg, et représente un indicateur de qualité du sol. Cette teneur permet de déduire :

- Le pourcentage de matières organiques, en la multipliant par 1,724.
- Le stock de carbone organique, indicateur de qualité, en la multipliant par la Masse de Terre Fine (fonction de la teneur en éléments grossiers, de l'épaisseur de sol et de la densité apparente)

La teneur est couramment mesurée dans l'horizon labouré (couche superficielle du sol d'environ 30 cm d'épaisseur). Le stock est donc calculé sur ce même horizon. [1]

II -2-Les différentes formes de carbone

Le carbone se trouve sous deux principales formes dans la nature. Il s'agit (a) du carbone organique (CO), qui est produit par des organismes vivants et lié à des éléments comme l'hydrogène, l'azote, le phosphore, le soufre ou l'oxygène dans les molécules organiques ou les hydrocarbure et (b) du carbone inorganique (CI) présent dans des composés inorganiques (minéraux carbonatés) ne comportant pas de liaison C-C ou C-H. [2]

II -2-1-Le carbone organique

Le CO constitue environ 50% de la matière organique [3] et leurs évolutions sont liées. La matière organique est issue de la composition des végétaux, des animaux et des micros organiques, d'où la difficulté d'en donner une description précise ou une composition précise ou une composition moyenne. Dans la nature, le carbone organique est susceptible de se transformer en des composés de nature différentes, par des minéralisations ou des enfouissements (tourbe, lignite, charbons, hydrocarbures liquides, gaz naturels). Ces transformations constituent le cycle organique du carbone (Figure II-1).

A court terme (à l'échelle du siècle), la biomasse joue un rôle important, elle stocke et recycle le carbone organique. Les processus de photosynthèse (transformant le carbone inorganique du CO₂ en carbone organique), de respiration (processus inverse à la photosynthèse) et de fermentation sont à la base de ce cycle.

Par contre, à long terme, les processus dominants sont l'enfouissement des matières organiques, la transformation en combustibles fossiles et l'altération. Dans ce cas, les réservoirs de carbone mis en jeux sont très grands mais les flux entre ceux-ci sont Faibles, ce qui explique les temps de résidence relativement longs dans les différents réservoirs.

L'érosion du carbone organique continental représente un phénomène majeur dans le cycle global du carbone [4]. Le carbone organique est transféré dans les eaux continentales sous deux principales formes que sont le carbone organique dissous (COD, 25% du flux de carbone total pour la moyenne à l'échelle globale) et le carbone organique particulaire (COP, 20% du flux de carbone total). La limite entre ces deux formes de carbone est définie analytiquement et arbitrairement par filtration à travers un filtre en membrane en fibres de verre de porosité 0,7µm. En terme de flux à l'océan, les plus récentes estimations du flux global de carbone organique apporté par les rivières sont de l'ordre de 400 x 10⁶ t C.an-1 dont 170-195 x 10⁶ t C.an-1 sous forme particulaire [5] et 200-215 x 10⁶ t C.an-1 sous forme dissoute [6]. En classant les transports fluviaux de carbone organique par régime climatique, [7] a mis en évidence l'importance de la zone tropicale qui contribuerait à 60% au flux global estimé.

D'après [5], 50% du flux global de COD et 43% du flux global de COP proviennent de la zone climatique tropicale humide.

Selon leur origine, les apports fluviaux de carbone organique peuvent être classés en deux groupes [8] :

- les apports allochtones issus (a) du lessivage continental des litières (biomasses vivantes et détritiques peu ou pas dégradées) ou des sols (MO associée aux matrices minérales argileuses ou contenue dans les roches), ou (b) des apports anthropiques (rejets domestiques, industriels ou agricoles) ;

les apports autochtones issus de la production primaire fluviale constituée en majeure partie de phytoplancton et de bactéries, mais aussi de macrophytes et d'algues

bentiques, [9] donne des détails sur les origines naturelles des différentes formes de carbone, dont la synthèse est présentée au **tableau II-1**.

Formes spécifiques			Origines naturelles
Carbone total (CT)	Carbone dissous (CD)	Carbone inorganique dissous (CID)	- Dissolution des carbonates - CO ₂ atmosphère et sol - Oxydation des MO
		Carbone organique dissous (COD)	- Lessivage du sol
	Carbone particulaire (CP)	Carbone organique particulaire (COP)	- Erosion du sol - Erosion des roches sédimentaires - Autochtones = production planctonique
		Carbone inorganique particulaire (CIP)	- Autochtones = précipitation de calcite - Erosion des roches sédimentaires

Tableau II-1. Formes spécifiques du carbone dans les rivières [9]

La nature des sources du CO conditionne le devenir de la matière organique. En effet, dans le milieu aquatique, il existe une fonction organique dite labile opposée à une autre dite réfractaire, discrimination établie en se basant sur l'utilisation de la matière organique par les bactéries hétérotrophes. La MO labile est la fraction organique qui est minéralisée en moins d'un an [11] ; cette fraction représente une grande part de la MO autochtone et de la MO liée aux rejets domestiques.

A l'opposé, la MO allochtone, issue du lessivage des bassins versants et de l'érosion des sols, a subi très souvent de nombreuses transformations biogéochimiques dans les sols avant son arrivée ; elle représente donc un large part du carbone organique réfractaire, dont la dégradabilité doit être envisagée à l'échelle du millénaire [12].

Le COD est pour une large part constitué de substances humiques qui sont les produits de dégradation des plantes terrestres dans les sols ; ces composés humiques sont lessivés et transférés jusqu'aux rivières [13] . Le COD, généralement considéré comme réfractaire, est transporté de manière quasiment conservative jusqu'à la zone côtière

[14]. Toutefois, des études récentes montrent que sur certaines rivières, il existe un COD « jeune », dégradé sur un laps de temps court, (émission de CO₂), équivalent au trajet des eaux fluviales vers la zone côtière .Ce COD serait issu des litières fraîchement décomposés (Bloom, 1991) ou de la production phytoplanctonique fluviale [15] . [2]

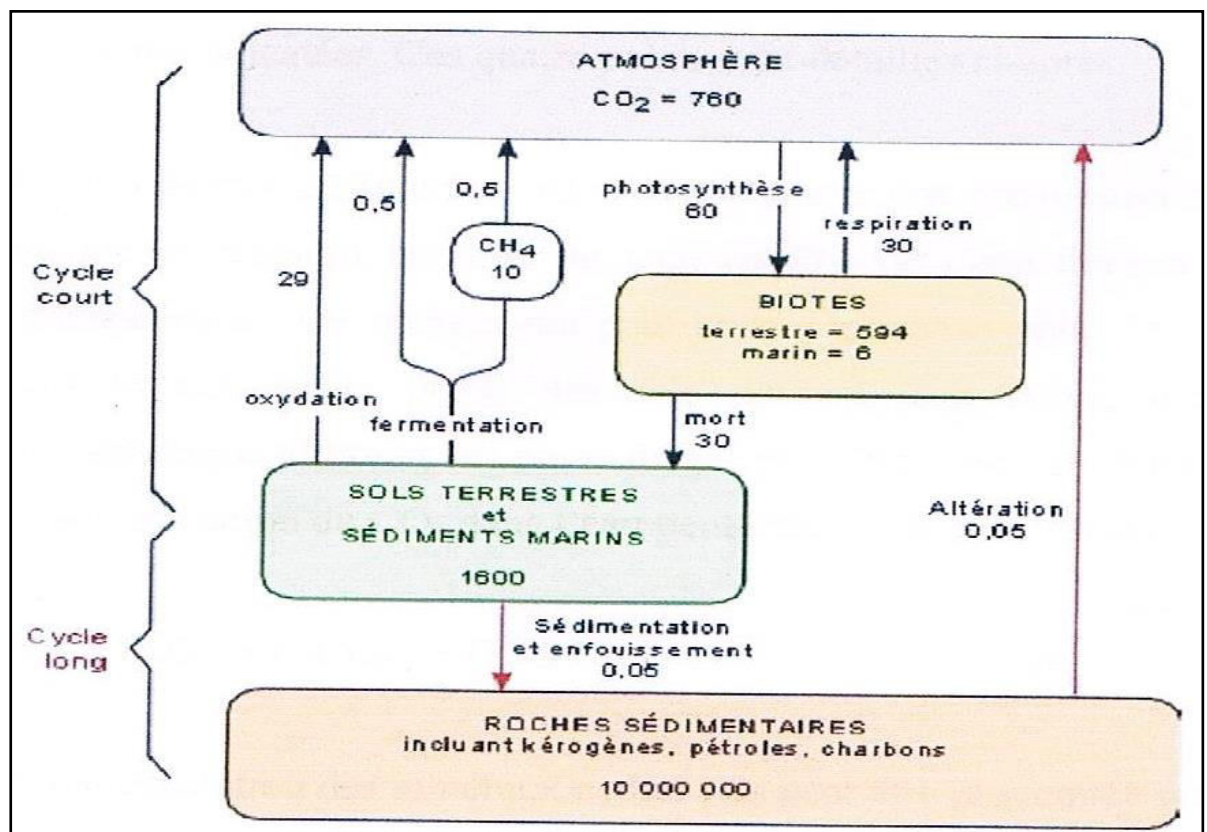


Figure II-1. Cycle du carbone organique d'après [16]. Les stocks sont en GtC, les flux entre réservoirs en GtC.an-1

II -2-2-Le carbone inorganique

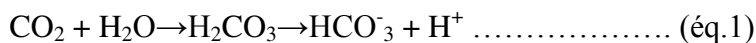
A l'échelle du globe, le CI est présent dans trois réservoirs que sont l'atmosphère, le carbone inorganique est sous forme gazeuse (CO₂) avec pour principale source le dégazage du manteau lithosphérique (volcanisme). Dans les eaux continentales et marines, le carbone inorganique se présente sous deux formes : le carbone inorganique particulaire (CIP, 17% du flux de carbone total à l'océan) et le carbone inorganique dissous (CID, 38% du flux). [17] ont estimé un flux total de carbone inorganique à 320 x 10⁶ t C.an-1 soit 55% du flux total de carbone exporté des continents à l'océan. Le CIP provient essentiellement de l'érosion mécanique des carbonates, même si dans certains cas il résulte partiellement d'une précipitation de calcite au sein des rivières [19]. Dans l'océan, deux tiers du CID proviennent du CO₂ d'atmosphère et un tiers de l'altération chimique des minéraux carbonatés des roches et des sols. Dans les eaux continentales, le CID a quatre origines: le CO₂ atmosphérique, la dissolution des

carbonates, l'oxydation de la matière organique des sols ou des rivières et l'altération des roches silicatées. Ces quatre points sont détaillés ci-après.

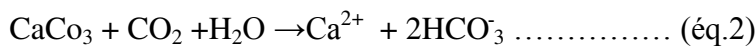
*On observe à l'interface eau – atmosphère une dissolution du CO_2 atmosphérique lorsque la pression partielle du CO_2 (PCO_2) de l'eau devient inférieure à la PCO_2 atmosphérique. Ce phénomène peut aussi s'observer entre les sols et l'atmosphère ;

Dans le cas où la PCO_2 des sols devient trop faible, une migration du CO_2 atmosphérique à travers les pores du sol peut être observée [20].

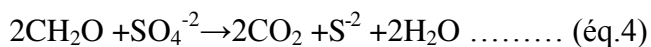
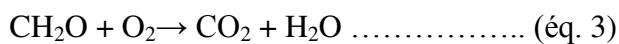
La solubilisation du CO_2 dans l'eau peut s'écrire de la façon suivante :



- La dissolution des minéraux carbonatés peut être provoquée soit par des acides forts provenant des eaux de précipitation qui s'infiltrent [21] (éq.2), soit par des acides faibles résultant de la décomposition de la matière organique du sol et des exsudats racinaires (éq .3).



- La minéralisation de la matière organique résulte de l'oxydation des débris végétaux et animaux par les microorganismes du sol d'une part et des exsudats racinaires d'autre part l'oxydation de la matière organique est favorisée par la dissolution de l'oxygène dans les solutions de sol ou par la réduction des sulfates (éq.4 et 5) [22]



A l'échelle globale, environ deux tiers des ions bicarbonates transportés par les rivières ont pour origine le carbone organique du sol qui a été minéralisé. Une partie de ce carbone se dégaze au contact de l'atmosphère libre et l'autre partie produit de l'acide carbonique et participe à l'altération chimique, libérant des ions bicarbonates. Dans certains rares cas, la décomposition de la matière organique par les bactéries aboutit à la formation du méthane, pour laquelle [22] proposent l'équation suivante :



- L'acide carbonique produit par la minéralisation de la matière organique joue un rôle très important dans l'altération des silicates, comme par exemple dans l'hydrolyse de l'albite[23] . L'équation suivante illustre cette transformation :



Albite

Kaolinite

Pour mieux comprendre les processus d'érosion continentale et l'évolution du climat, de nombreuses études se sont focalisées sur l'estimation des bilans d'altération et de consommation de CO₂ à l'échelle globale [24] et sur des grands bassins comme l'Amazone [25] ou le Congo[26] , ainsi qu'ont montré que l'altération des silicates est consommatrice de CO₂, uniquement si on considère le cycle du carbone à long terme, Les bilans de consommation de CO₂ atmosphérique ont été établis sur la base des flux de bicarbonate à l'océan. Malgré les avancées dans la connaissance des flux initiée par le programme SCOPE-UNEP/CARBON [27], des lacunes subsistent du fait que certains des fleuves importants de la planète n'ont pas encore été suffisamment étudiés [28]. Ainsi en zone tropicale d'où sont issus environ 60% des flux de carbone à l'océan, les études ont principalement été focalisées sur les bassins de l'Amazone et du Congo ; cependant, de nombreux autres bassins dont les apports en carbone peuvent être significatifs restent insuffisamment étudiés [29]. [2]

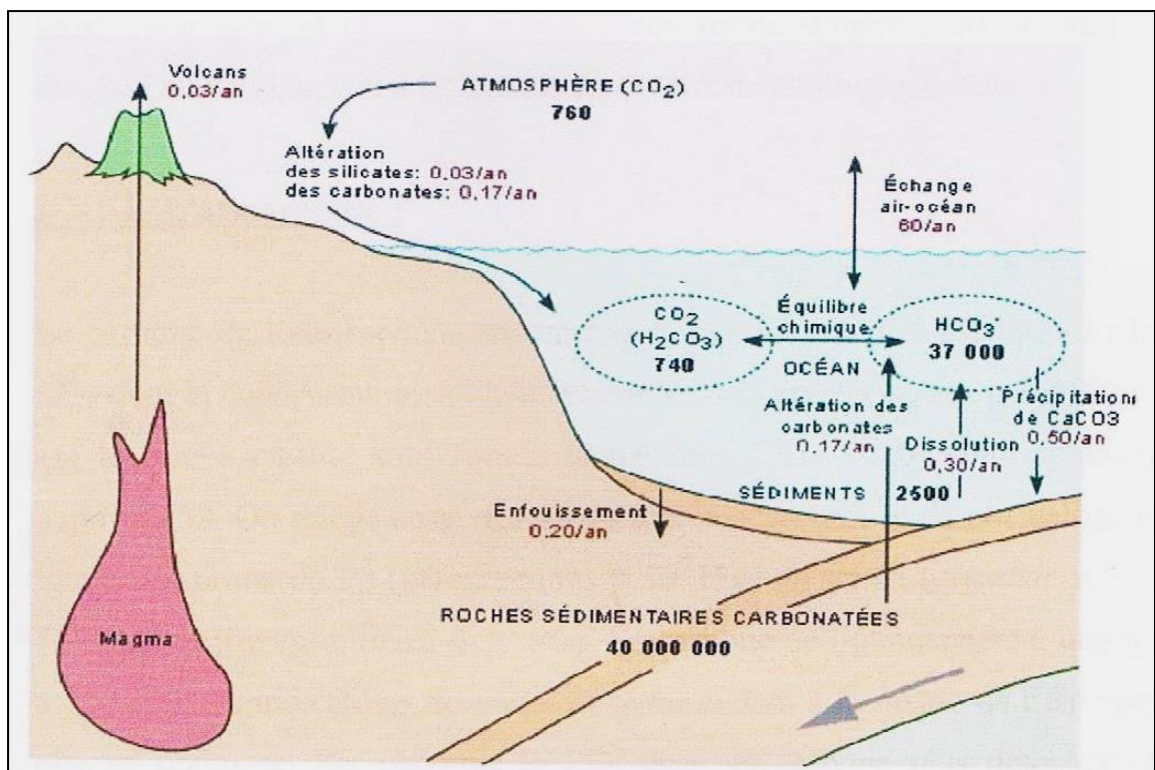


Figure II-2. Cycle du carbone inorganique d'après [16] Les stocks sont en GtC, les flux entre réservoirs en GtC.an-1.

II -3- Le cycle du carbone

La mécanique globale du cycle du carbone n'est pas très éloignée de celle d'une plomberie élaborée, à base de baignoires, de pompes, de robinet et de carbone de fond.

Le cycle du carbone est un processus dynamique fermé dans lequel le carbone est transféré par des forces identifiables entre réservoirs distincts selon des flux mesurables, le bilan global des échanges entre les réservoirs étant nul.

Avant d'aborder le dynamisme proprement dit du cycle, soit les forces qui l'animent, nous allons faire un rapide tour d'horizon de la répartition du carbone sur cette planète, ce qui nous permettra d'en définir les principaux réservoirs.

II -3-1-Les réservoirs de carbone

L'élément carbone représente environ 0,8% de l'écorce terrestre. Il se présente naturellement sous deux formes, cristalline (pure) et moléculaire. La forme cristalline, le graphite et le diamant, existe en quantité infinitésimale au regard de la forme moléculaire, elle est par conséquent négligeable pour ce qui suit.

Le carbone se retrouve dans l'ensemble de notre environnement dans l'atmosphère, sur terre, sous terre et dans les océans, sous forme minérale ou organique (vivante et morte). On distingue ainsi les grands réservoirs de carbone suivants.

II -3-1-1-L'atmosphère

Le carbone de l'atmosphère est représenté majoritairement par le dioxyde de carbone CO₂ dont la concentration actuelle les 360 ppmv (parties par million en volume).

On le trouve ensuite sous forme de méthane CH₄, à 0,8 ppmv et de monoxyde de carbone CO. On relève aussi des traces d'hydrocarbures et de gaz halogènes. La masse totale s'exprime en Pg (pentagrammes = 10^E15g) ou en Gt (gigatonnes = 10^E 9t) 1Pg = 1Gt c'est-à-dire en milliard de tonnes. Le carbone de l'atmosphère à une masse évaluée à 750 Gt. Les indications de masses correspondent à la masse de l'élément carbone de chaque composé. Par exemple le CO₂ pèse un carbone plus deux oxygènes soit en masses atomiques 12+2x16 c'est-à-dire que 1Kg de CO₂ équivaut à 12/44 (masse de carbone sur masse totale)= 0,27 Kg de carbone.

Il en va de même pour tous les autres composés carbonés.

II -3-1-2- La biosphère

Le carbone est en représentation pondérable le deuxième plus important matériau constitutif des êtres vivants après l'oxygène. Parce que pour subsister, la vie doit mourir et se nourrir d'elle-même, on pressent dès maintenant le dynamisme particulier du carbone dans ce réservoir.

La surface de la terre est le domaine de prédilection de la vie qui recouvre entièrement. Même dans les régions les plus désertiques on rencontre encore statistiquement quelques microgrammes de carbone organique au mètre carré. La masse de l'ensemble des êtres vivants rencontrés sur les terres émergées constitue la biomasse terrestre. On distingue conventionnellement la biomasse végétale et animale, vivante et mortes.

On opère également dans les calculs de biomasses une distinction entre les divers écosystèmes terrestres. En fonction de leur dynamique propre. La vie terrestre, globalement proliférant, produit une grande masse de débris organiques qu'elle stocke, le temps de la décomposition, dans le sol. On constate que cette biomasse morte

souterraine de 1500 Gtc et de loin plus importante que la biomasse aérienne (600-800Gtc).

Dans la partie océanique de la biosphère, la biomasse océanique se répartit principalement dans deux compartiments distincts.

Les eaux de surface accessible à l'énergie solaire ou couche euphotique accueillent logiquement les organismes réalisant la photosynthèse le phytoplancton et ceux qui les consomment, le zooplancton (on néglige les espèces nageuses qui ne représentent qu'une biomasse infime)

Sur le plancher océanique, près des côtes ou dans les abysses se développent les organismes du benthiques, phytobenthos, zoobenthos, organismes dont l'existence est liée aux sols marins (algues pédonculées, coquillages...). la biomasse totale des organismes marins est estimée à 6,7 Gtc.

Milieu terrestre	
Végétaux	600 à 800
Animaux	1 à 2
Hommes	0.03
Bactéries	2
Champignons	1
Litière	60
Humus	160
Carbone organique du sol (autres)	1500
Milieu océanique	
Phytoplancton	3
Phytobenthos	0.3
Zooplancton	1.7
Zoobenthos	1.7

Tableau II-2. Tableau récapitulatif des différentes biomasses en milieu terrestre et marin les masses sont exprimées en Gtc [30].

II -3-1-3- L'hydrosphère

Le carbone océanique, majoritairement minéral, est le résultat de la dissolution du CO₂ atmosphérique dans les eaux de surface, brassées plus profondément par les courants le carbone océanique, majoritairement minéral, est le résultat de la dissolution du CO₂ marins, On retrouve le carbone minéral sous trois formes : hydrogénocarbonates (CO₂,1%). Au final, le réservoir de carbone ainsi constitué représente une masse d'un peu plus de 50% fois celle du réservoir atmosphérique avec 39000 Gtc.

II -3-1-4- La lithosphère

Le carbone contenu dans la lithosphère, qu'il soit minéral ou organique est d'origine sédimentaire, c'est-à-dire le résultat d'une accumulation patiente sur des millions d'années.

Le carbone minéral provient de la sédimentation au fond des océans durant des millions d'années du calcaire (Caco₃ inorganique) contenu dans les débris d'animaux marins et constitue le plus gros réservoirs de carbone de notre planète puisqu'il avoisine les 50000000 Gt soit plus de 1200 fois le carbone contenu dans les océans.

La part organique du carbone lithosphérique se présente comme le résultat de l'accumulation de matière organique dans les roches sédimentaire. On en distingue trois sortes : le charbon, les hydrocarbures (bitumes, huiles, gaz naturel) et les hydrates de méthane (clathrates).Ils représentent un stock estimé à 13000 Gtc. [2]

II -4-Le cycle du carbone organique en milieu terre

Comme nous l'avons déjà vu dans la définition des réservoirs de carbone organique la biomasse animale est relativement négligeable. Cependant elle joue un rôle déterminant dans la dynamique du cycle. C'est par son activité de consommation des végétaux que le cycle reste à un équilibre relatif.

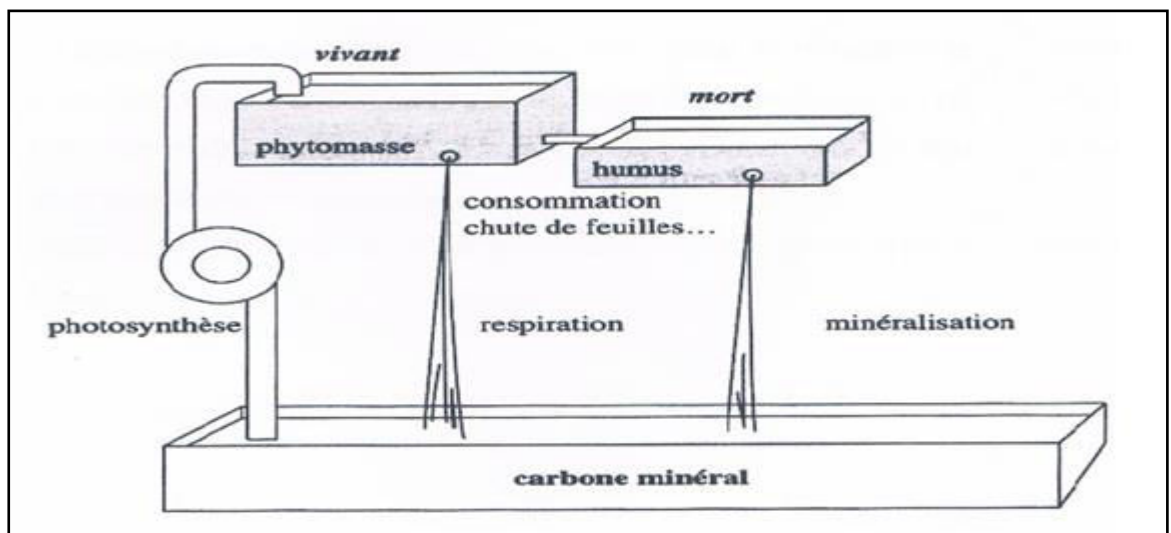


Figure II-3. Schéma du cycle du carbone dans écosystème forestier [30]

La photosynthèse incorpore le carbone en une phytomasse généralement représentée par la partie aérienne des végétaux et leurs racines, c'est la partie vivante de la biomasse.

Au sol on retrouve l'humus formé des débris organique d'origines végétale et animale que les microorganismes s'affairent à décomposer, L'humus est globalement considéré comme une biomasse morte bien qu'étant le lieu d'une intense activité animale microscopique. Les végétaux sont constitués de matériaux cellulaires de structures très différenciées mais que l'on peut regrouper en lipides, glucides et protéines, constitutifs du contenu et de l'enveloppe des cellules végétales. A chaque type de molécule végétale correspondent un ou plusieurs microorganismes adaptés à sa décomposition (principalement enzymes, bactéries et champignons). Cependant, en bout de chaîne existent des molécules finales ou substances réfractaires qu'aucun organisme n'est en mesure de décomposer.

Progressivement ces substances s'accumulent définitivement dans le sous sol pour former un produit insoluble et complexe, le kérogène (nous aurons l'occasion d'en reparler).

Comparé à la production primaire annuelle d'un écosystème le flux de carbone ainsi piégé peut paraître négligeable, cependant sur l'échelle des temps géologiques il est à l'origine l'impressionnante accumulation de carbone organique que constituent les sédiments de la lithosphère.

La compréhension des enjeux relatifs au cycle global du carbone ne peut se satisfaire d'une approche globale sur la base des principes décrits ci-dessus. En effet les différents écosystèmes de la biosphère ont des comportements spécifiques qui modulent la théorie et en enrichissent la compréhension.

Au niveau planétaire on définit les écosystèmes selon les grands types de végétation ou biomes.

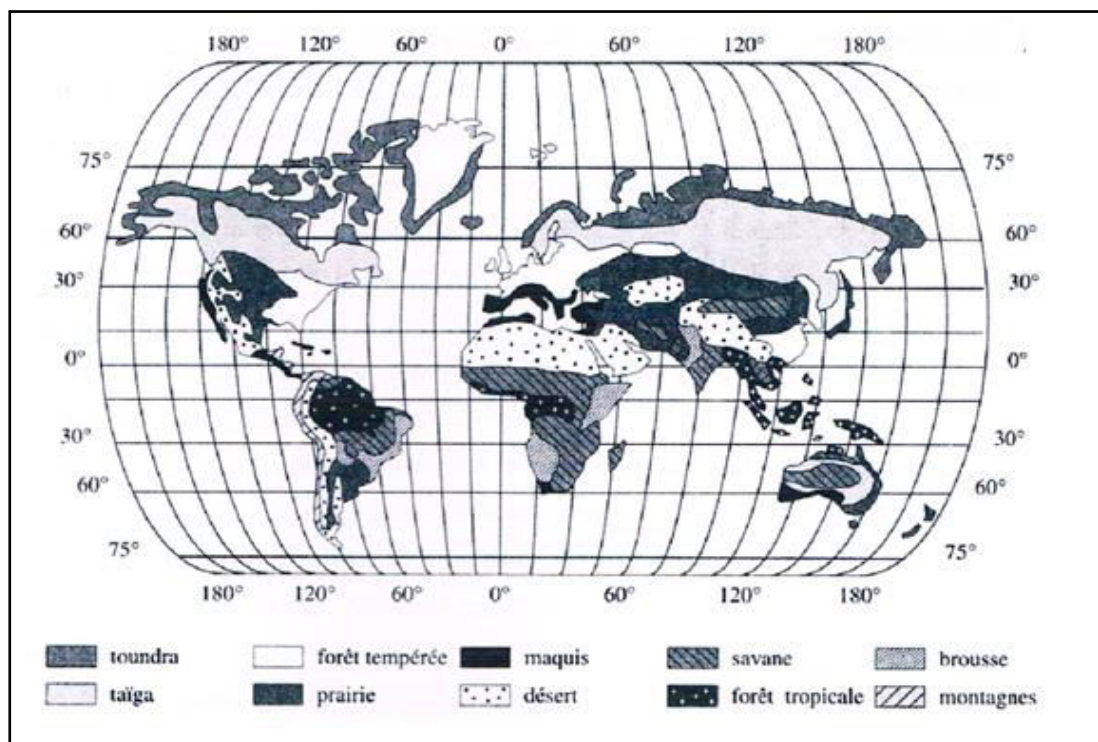


Figure II-4. Les écosystèmes terrestres [31]

Biomes	Tonnes de carbone par hectare			% dans le sol
	Vegetation	sols	total	
Forets tropicales	120.4	122.3	243.0	50.5
Forets tempérées	56.8	96.2	153.0	62.9
Taïga	64.2	343.8	408.0	84.3
Savanes tropicales	29.2	116.8	146.0	80.0
Prairies tempérées	7.2	235.8	243.0	97.0
Déserts et semi deserts	1.8	42.2	44.0	96.0
Toundra	6.3	127.7	134.0	95.3
Zones humides	42.9	643.1	686.0	93.8
Terres de culture	1.9	80.1	82.0	97.7

Tableau II-3. Contenus en carbone des divers types de végétation [32]

Ces documents sont riches d'informations, ils permettent des constats saisissants. En premier lieu il apparence denses et globalement bien représentées à la surface du globe cumulent une biomasse inférieure à celle des prairies. En effet les forêts tropicales dynamisées par un climat chaud et humide ont une activité photosynthétique permanente et intense. De plus la chaleur active la décomposition microbienne. Les matériaux tombés au sol sont ainsi très rapidement recyclés, ce qui ne laisse pas le temps à l'humus de s'accumuler. Les forêts tropicales ne sont donc exceptionnelles par leur biomasse mais plutôt par le recyclage qu'elles exercent dessus.

Dans la continuité de cette observation et à l'opposé des forêts tropicales on découvre que les forêts de la taïga, des hautes latitudes nordiques, constituent une biomasse totale très élevée due aux importants stockages réalisés en sous-sol. Cette accumulation s'explique par un climat froid qui ralentit, et peut même arrêter la décomposition microbienne.

On y voit ensuite que la production totale de la photosynthèse de tous les biomes cumulés représente un flux de carbone correspondant à presque 20% du stock de carbone atmosphérique. Ce qui veut dire que la biomasse seule est théoriquement capable de renouveler complètement le carbone de l'atmosphère en de 6 ans. [3]

[1] :**M. Vigot** (CRA PC), Le carbone organique des sols cultivés de poitou-Charentes, Quantification et évolution des stocks, Etude méthodologique P :2,7 ,Juin 2012 .

[2] : **Gustave Raoul Ndong**, Thèse de doctorat, pour obtenir le grade de docteur de l'université de Toulouse III – Paul Sabatier, Le Cycle du carbone en domaine tropical humide : exemple du bassin versant forestier du Nyong au Sud Cameroun, Bio géochimie de l'environnement, P :12-17. Soutenue le 25 Novembre 2008.

[3] :**Schlesinger et melaek** , Meybeck, 1984 : Transport of organic carbon in the world's rivers Tellus 33 :172-181, 1981

[4] :**Kemp** , , Degen 1982 ,Ludwing et al 1996b, Perobst et al , 1997 : Geochemistry of organic matter in the ocean, 1979

[5] :**Ludwing et al** Meybeck et vorosnarty,1999 : River discharges of carbon to the world's oceans determining local inputs of alkalinity and dissolved and particulate organic carbon C .R Acad. Sci. Paris 323(1996) , pp.1007-1014. 1996,

[6] :**Meybeck, vor**: Estimation de stocks de carbone organique des sols à différentes échelles d'espace et de temps 1999

[7] :**Meybeck**: Carbon, nitrogen, and phosphorus transport in world rivers, American Journal of Sciences 282 : 401-450, 1982

[8] :**Veyssy**: Soil Erosion and Carbon Dynamics , 1988

[9] :**Meybeck** : C,N,P,and S in rivers : from sources to global inputs . In : Wollast, Machenzie and Chou, Editors, Interaction of C,N,P ,and S Biogeochemical Cycle on global change Springer verlag (1993),pp. 163-193, 1993

[10] :**Machenzie and Chou**, Editors, Interaction of C,N,P ,and S Biogeochemical Cycle on global change Springer verlag pp. 163-193, (1993)

[11] : **Lemair et al** 2002 : challenges for grassland science : managing research priorities, agriculture , ecosystems et environment ,108-99-108, Lin, 1988

[12] : **Hedges**: Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River .Limnology and oceanography 31 , 717-738, **1992** .

- [13] :**Malcolm Opsahl et Benner** 1997 : geochemistry of stream fulvic and humic substances, in : sons , J.W.a.(Ed), Hmic substances in soil , sediment ,and water : geochemistry , isolation, and chracterization, new york,pp 181-209, 1990,
- [14] :**Mantoura et woodward** :L'analyse du carbone organique dissous en milieu halin : interet et difficultes , 1983
- [15] :**Bianchi et al**: Source of terrestrially-derived organic carbon in lower missippi river and louisiana shelf sediments : implications for differential sedimentation and transport at the coastal margin . marine chemistry , 77(2-3) -211-223, 2004
- [16] :**Kump et al** :The earth system. Prentice Hall, 1999
- [17] :**Ludwing et al**: River discharges of carbon to the world's ocean : detrmining local inputs of alkalinity and of dissolved and particular organic carbon compltes rendus de l'académie des science de paris, 323(2a) : 1007-1014, (1999a)
- [18] :**Ludwig** : Predicting the oceanic input of organic carbon by continental erosion . Global Biogeochemical Cycle, 10 (1) : 23 -41, (1999b)
- [19] :**Dandurand et al** :kinetically controlled variation of major compoents and carbon and oxygen isotopes in a calcite-percipitang spring . Chemical geology, 36 :299-315. 1982.
- [20] :**Pawellek et veizer**: Carbon cycle in the upper danube and its tributaries constraints . Israel Journal of Earth Sciences, 43 : 187-194. 1994
- [21] :**Mook 2000 Sigg et al** : stables carbon isotopes in riners and estuaries in biogeochemistry of major world Rivers (E.T.Degens ,S.Kemeo and J.E. Richey, eds) SCOPE Volume,John Wiley ansons, London ,NewYork, 245-264. 2000
- [22] :**Clerk et fritz**: Environmental Isotopes in hydrogeology, 1997
- [23] :**Probst et al** : Carbon river fluxes and weathering CO2 consumption in the Congo and Amazon river basins. Applied Geochemistry,9 : 1-13. 1994 .
- [24] :**Meybeck**; Berner et al. 1983 ; Meybeck 1987 ; Amiotte-Suchet et Probst, 1993a, 1993b, 1995 , Gaillardet et al. 1997 ;Ludwig et al. 1998 ; Gaillardet et al. 1999 , Amiotte-Suchet et al. 2003: Concentration des eaux fluviales en élément majeurs et apports en solution aux océans .Rev .Géol .Dyn .Géolgr .Phys.,21 :215-246 , , 1979 .
-

[25] :**Stallard**; Probst et al. 1994 ; Mortatti et Probst, 2003 ; Tardy et al. 2005 : Major element geochemistry of the amazon river system, cambridge MA, 362 p pp, 1980

[26] :**Probst et al**, 1994. Garrels et mackenzie (1971), ainsi que Berner et al...(1983) : Dissolved major elements exported by the congo and the ubangi rivers during the period 1987-1989. Jornal of hydology, . 1992

[27] :**Degens** ; Degens et al.1991 :evolution du carbone organique particulaire « alagl »et détritique dans trois rivères du bassin parisien ,1982

[28] :**Meybeck**; Balakrichna et Probst, 2005 : Carbon, Nitrogen, and Phosphorus transport by world rivers .American Jornal of Science, 282 (4) : 401-450. , 1982, 1993

[29] :**Dupré et al; Boeglin et Probst**, 1996, 1998 ; Braun et al, 2004 ; Tardy et al, 2004 : Major and trace elements associted with colloids in organic-rich river waters ultrfiltration of naturaland spiked solution . Chemical geology 160 (1-2) , 63-80. 1996

[28] :**Henri jupin hachette** :Nd-Sr isotopic compositions of dissolved and particulate materiel transported by the parana and Uruguay rives during high, 1996

[30] :**Jéromre Renaudat**, Mémoire de fin de formation à la Haute Qualité Environnementale, Ecole d'Architecteure de Lyon, , Le cycle du carbone, une clé pour l'environnement,P :07-08,13-16, Janvier 2005

[31] :**GIEC** : Le changement climatique et l'eau , 2001.

III- L'AZOTE

De tous les éléments chimiques prenant part à la nutrition de la plante, l'azote est le plus important pour la croissance des cultures et les niveaux de rendement. Cet élément existe sous des formes organiques relativement stables (acides humiques contenant 3 à 5 % d'azote par exemple), sous des formes organiques aisément minéralisables (acides aminés, hexosamines), ou sous des formes minérales (nitrates, nitrites et azote ammoniacal). On distinguera aussi l'ammonium libre, faiblement lié, fortement lié et fixé non échangeable [1]

L'étude de l'azote dévoile un double intérêt : économique et environnemental. Sur le plan économique, la connaissance et la maîtrise de la distribution de l'azote entre les différents compartiments du sol, permet de raisonner la fertilisation azotée. Sur le plan environnemental, l'étude du bilan quantitatif de l'azote évite les pertes par lixiviation qui peuvent contaminer les nappes phréatiques ou bien rejoindre le réseau hydrographique [1] Une quantité optimale d'azote dans le sol stimule l'absorption des autres éléments nutritifs et favorise le développement de la plante et des racines et, il faut savoir aussi qu'un excès d'azote peut conduire à des baisses de rendement, favoriser les infestations de maladies et d'insectes et augmenter la pollution des cours d'eau et des nappes souterraines [2].

Face à ces préoccupations économiques et environnementales les recherches sur l'azote constituent des thèmes d'actualité et des axes de recherches prioritaires. En effet, parmi les problèmes multiples et complexes posés par l'utilisation de l'azote en agriculture, la dynamique et les différentes transformations que subit l'azote dans le sol constitue une problématique environnementale à résoudre. Ces transformations sont sous la dépendance, dans les conditions naturelles, des très nombreux facteurs : climat (la température, la pluie, l'humidité relative, ...), façons culturales (aération, drainage, ...), propriétés physico-chimiques des sols et nature des plantes cultivées. Néanmoins, malgré la diversité des études portant sur ce sujet, de nombreuses interrogations subsistent encore. S'il est possible d'apprécier, dans les sols cultivés et fertilisés les réserves en P, K, Ca, Mg pouvant être rapidement mises à la disposition de la plante, grâce à des analyses saisonnières, il n'en est pas de même pour l'azote, à cause de variations considérables intervenant au cours de l'année, notamment sous l'influence des

microorganismes. Toutefois, cet azote se trouve principalement sous forme organique et doit être minéralisé par les micro-organismes du sol avant de devenir disponible pour les plantes. On ne peut connaître avec certitude les quantités et les formes d'azote mises à la disposition de la plante, mais lorsque les niveaux sont élevés, on peut être presque certain que l'alimentation azotée est suffisante ou parfois trop importante.

III.1. Origine et Définition

Du nom latin « **nitrogenium** » provenant du grec « *nitron gennan* », ce qui signifie « formateur de salpêtre » (nitrate de potassium). L'azote a pour symbole chimique N.

En français, l'appellation *azote* est la plus fréquente. Cette appellation, composé de *a-* (privatif) et du radical grec *zō-*, « vivant » signifiant « privé de vie », du fait que contrairement à l'oxygène, il n'entretient pas la vie des animaux, a été choisie par **Antoine LAVOISIER**.

Il est le 34^e élément constituant la croûte terrestre par ordre d'importance.

Dans la nature, les « minéraux » contenant de l'azote sont essentiellement les nitrates (nitrate de potassium KNO_3 , constituant du salpêtre ou « nitre » qui servait autrefois à faire des poudres explosives, nitrate de sodium NaNO_3 , constituant du *salpêtre du Chili*).

Dans le langage courant, l'azote désigne le gaz diatomique di-azote (N_2), constituant majoritaire de l'atmosphère terrestre, représentant presque les 4/5^e de l'air (78.06 %, en volume).

III-2- Carte d'identité de l'azote**III.2.1. Informations Générales**

Nom, Symbole, Numéro	Azote, N, 7
Série Chimique	Non-métaux
Masse Volumique	1,2506g/l
Masse atomique	14,0067 # 177 ; 0,0002 uma
Coloration	Incolore
Odeur	Inodore
Saveur	Insipide

Tableau III-1. Information général sur l'azote [3]**III-2-2- L'azote dans le système sol-plante**

La principale source d'azote est l'atmosphère où on le rencontre sous sa forme diatomique (N₂). La fixation biologique, symbiotique ou non, est à l'origine de l'enrichissement du sol en produits organiques azotés. La majorité de l'azote du sol est formée d'azote organique qui ne sera disponible pour les plantes que par minéralisation, processus lié étroitement avec l'activité des microorganismes. Seule une petite fraction se trouve sous des formes inorganiques et est directement disponible pour les plantes. Ainsi, la matière organique constitue la principale réserve d'azote du sol.

III-2-3- Rôles de l'azote dans les plantes

Parmi les éléments nutritifs apportés aux cultures, le plus important est souvent l'azote, auquel on peut imputer, dans certains cas, 75% de l'augmentation observée des rendements [4]. En effet, il participe au développement et à la croissance de toutes les parties de la plante : feuilles, tiges et racines. L'azote joue un rôle essentiel dans la synthèse de la matière vivante. Il entre, avec d'autres éléments (carbone, oxygène, hydrogène...), dans la composition des acides aminés formant les protéines. L'azote est un élément essentiel pour la constitution des cellules et la photosynthèse (chlorophylle). C'est le principal facteur de croissance des plantes et un facteur de qualité qui influe sur le taux de protéines des végétaux [5].

III.3. Etat de l'azote

L'azote est le seul élément nutritif qui n'est pas issu de la roche mère. On le trouve dans la nature sous deux états : à l'état libre où il constitue 80% de l'atmosphère terrestre et à l'état combiné, sous la forme organique ou minérale [5].

III-3-1- Azote Libre

L'azote de l'atmosphère est la principale source de l'azote utilisé par les plantes. Ce gaz inerte représente 78% des gaz de l'atmosphère et est fixé biologiquement pour former l'ammoniac.

III-3-2- Azote Combiné

On appelle azote combiné, l'azote sous toutes ses formes, à l'exception de l'azote moléculaire N_2 . Il s'agit de l'azote organique et/ou de l'azote minéral.

III-3-2-1- Azote organique

L'azote organique est celle combiné à des atomes de carbone qui constitue la matière organique. Cette forme n'est pas assimilable par la plante. Elle est la source d'approvisionnement en azote des végétaux provenant de la population microbienne du sol et de l'accumulation des différents déchets (végétaux et animaux) dans le sol [5].

Sous forme organique, L'azote constitue les réserves du sol. Cette forme organique évolue, passe par différents stades pour aboutir à la minéralisation. Lorsque les déchets végétaux sont enfouis, ils sont attaqués par des micro-organismes (champignons, levures, bactéries) qui vont les transformer en produits de plus en plus simples.

Pour [6], l'azote organique est l'azote qui est lié au carbone pour former des molécules complexes. Dans les êtres vivants, l'azote organique se trouve principalement sous forme de protéines, d'acides nucléiques (ADN, ARN).

III.3.2.2. Azote minérale

C'est le produit de la décomposition de l'azote organique par la flore et la faune du sol notamment par la microflore bactérienne et fongique.

Pour [8] l'azote minéral proviennent aussi, pour une part non négligeable, de l'azote ammoniacal fixé sur les argiles.

Il existe trois formes d'azote minéral. Il s'agit de : l'azote Ammoniacal ou ammonium, nitrique et nitrite.

III-3-2-2-1- Azote ammoniacal ou ammonium (NH_4^+)

L'azote ammoniacal résulte de la combinaison de l'azote (N) et de l'hydrogène (H). Sa formule chimique NH_4^+ est très proche de celle du gaz ammoniac (NH_3) d'où elle dérive et qui se volatilise dans l'air. C'est une forme essentiellement transitoire et est le premier résultat de transformation dans le sol de l'azote organique (ammonification). Il est soluble dans l'eau mais bien retenu par le pouvoir sorbant du sol.

Les ions NH_4^+ , issus de l'ammonification, sont retenus sur le complexe sorbant grâce à leurs charges positives, ce qui limite le risque d'entraînement en profondeur, mais aussi la disponibilité instantanée pour les plantes.

L'ammonium étant fixé par le sol, il ne peut se déplacer dans le sol. Aussi l'absorption par la plante ne peut s'effectuer que dans un périmètre proche de la zone racinaire.

Certains de ces ions sont fixés plus ou moins durablement entre les feuillets d'argile (la montmorillonite), mais la plupart sont oxydés par les bactéries nitrifiantes (Nitrobacter, Nitrosomonas), et transformés en nitrates.

III-3-2-2-2- Azote nitrique ou nitrate (NO_3^-)

Il se forme naturellement par combinaison de l'azote (N) et de l'oxygène (O) du sol. Sa formule chimique est NO_3^- . C'est la forme la plus disponible pour les plantes qui provient de la transformation de l'azote ammoniacal (Nitrification).

Les nitrates, très solubles dans l'eau ne sont pas retenus par le pouvoir sorbant du sol. Ils suivent l'eau dans ses déplacements et peuvent descendre, par vagues successives, à une vitesse qui dépend de l'état physique du sol et de la quantité d'eau infiltrée. Ils peuvent également, s'ils n'ont pas migré à trop grande profondeur, remonter dans le profil du sol par capillarité, en période sèche.

Elle est la seule forme la plus mobile dans le sol qui est assimilée de façon importante par les plantes, et cela même par temps froid et humide.

Les nitrates sont présents dans le sol soit directement par l'apport d'engrais contenant des nitrates (exemple : ammonitrate, nitrate de potasse, nitrate de chaux) soit indirectement par l'activité biochimique grâce à la microflore du sol.

L'azote nitrique est l'élément qui pose le plus de problèmes en agriculture. Les nitrates très solubles et mobiles dans la solution du sol sont facilement lixiviés vers les eaux souterraines et constituent ainsi une source potentielle de pollution de la nappe phréatique.

III-3-2-2-3- Azote nitrite ou (NO_2^-)

Polluants chimiques les plus répandus, les nitrites sont produits par l'oxydation de l'ammoniaque ou proviennent de déchets agricoles, urbains et industriels.

Les nitrites sont extrêmement toxiques et leur toxicité ne dépend pas du pH [7].

III-4- Cycle de l'Azote

L'azote du sol, dont la source principale est l'atmosphère, présente plusieurs voies d'évolution: La fixation biologique, La minéralisation (ammonification et nitrification), la dénitrification, la volatilisation ammoniacale et immobilisation.

Dans le cadre de ce travail nous allons beaucoup mettre l'accent sur la nitrification, car elle fait l'objet de notre étude.

III-4-1- Fixation biologique

La fixation biologique de l'azote est la transformation du N_2 de l'atmosphère en ammoniac et son intégration directe dans le métabolisme de la plante.

Pour [8] il s'agit d'un processus par lequel l'azote est pris de sa forme moléculaire normale et relativement inerte (N_2) dans l'atmosphère et converti en composés d'azote (comme ammoniacque, nitrate et bioxyde d'azote).

C'est un processus qui permet aux organismes (les végétaux et microorganismes) de fabriquer des substances protéiques à partir de l'azote gazeux présent dans l'atmosphère et l'environnement.

Deux groupes de microorganismes sont responsables de la fixation et, partant d'eux, il existe deux types ou modes de fixation.

- Fixation symbiotique, dont le rhizobium, comme organisme symbiotique, agit dans les racines des plantes ;
- Fixation non symbiotique, apanage des *Clostridium* (anaérobique), *Azotobacter* (aérobie), ...

Après fixation, l'azote moléculaire aboutit à la formation de substances azotées organiques qui, une fois au sol, subissent la minéralisation.

III-4-2- Minéralisation de l'azote organique

La minéralisation est la réaction biologique conduisant à la formation de l'azote minérale (Nitrique et Ammoniacal) à partir de l'azote organique.

Cette renaissance de l'azote minéral se produit en trois étapes : l'ammonification, l'oxydation de l'ammonium et l'oxydation du nitrite ; les deux dernières étapes sont combinées dans ce qu'on appelle la nitrification.

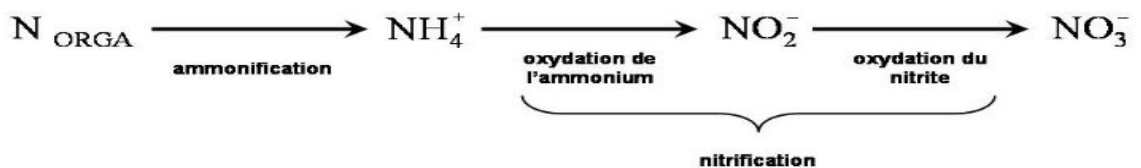


Figure 2. Processus de minéralisation de l'azote

III-4-2-1- Ammonification

L'ammonification est la transformation de l'azote organique en ammonium (NH_4^+) sous l'action de micro-organismes hétérotrophes qui utilisent des substrats carbonés comme source d'énergie [9] car, elles n'ont pas la capacité d'oxyder le NO_2^- en NO_3^- . Cette forme est transitoire et sera transformé ensuite en azote nitrique.

Vu la diversité des micro-organismes ammonifiantes, l'ammonification est un processus sans exigence écologique particulière, car quelles que soient les conditions de l'environnement, il se trouve toujours dans les sols des espèces microbiennes ammonifiantes adaptées à ces conditions, sauf bien sûr s'il s'agit de conditions incompatibles avec la vie.

III-4-2-2-Nitrification

III-4-2-2-1-Définition

La nitrification est la conversion biologique de l'azote minéral réduit (NH_4^+) en azote minéral oxydé sous forme de NO_3^- en passant par le NO_2^- .

C'est un processus contrôlé par certains micro-organismes spécifiques, qui conduit la transformation de l'ion ammonium en nitrite puis celle de nitrite en nitrate [10].

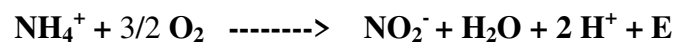
III-4-2-2-2-Etapes de la nitrification

La nitrification s'opère en deux étapes dont :

- la Nitratisation ou nitrosation et
- la Nitratisation

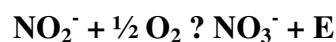
III-4-2-2-2-1-Nitrosation ou Nitratisation

C'est l'oxydation de l'ammonium en nitrite qui se réalise grâce aux bactéries dites nitreuses (les nitrosomonas) qui, oxydent l'ammonium en nitrite selon la réaction :



III-4-2-2-2-Nitratation

La nitratation est l'oxydation du nitrite en nitrate réalisée par des bactéries nitriques (les nitrobacters).

**III-4-2-3- Organismes de la nitrification**

Dans le sol, il existe deux genres des bactéries qui assurent la nitrification : les Nitrosomonas (Bactéries nitreuses) et le Nitrobacter (Bactéries nitrique). Ils sont des chemoautotrophes obligatoires ou stricts, c'est-à-dire leur énergie est limitée à l'oxydation inorganique d'un seul groupe de composés minéraux et le CO₂ comme unique source de carbone.

Ces bactéries apparaissent dans les sols à des pH entre 4,5 - 10, mais elles préfèrent des conditions de pH neutre.

Espèce	Morphologie cellulaire Taille	Reproduction	Mobilité	Cytomembranes	Habitats
Nitrosomonas	Bacille ; 0,8-1,0 x 1,0-2,0 um	Scission binaire	177;1 ou 2 flagelles subpolaires	Périphériques, Lamellaires	Sols, égouts, eaux douces, marines
Nitrobacter	Bacille ; 0,6-0,8 x 1,0-2,0 um	bourgeonnement	177;1 flagelle polaire	Calotte polaire et vésicules aplaties à la périphérie de la cellule	Sols, eaux douces, marines

Tableau III-2. Caractéristique des bactéries nitrifiantes

Les bactéries nitrifiantes (les Nitrosomonas et les Nitrobacter) présentent des exigences écologiques très strictes : in vitro, elles sont aérobies et neutrophiles ; mais dans le sol, l'interaction de divers processus physico-chimiques et biologiques leur permet de se développer à des pH moyens inférieurs à 6,0 ou même 5,0.

L'activité de bactéries nitrifiantes est proportionnelle à la concentration en azote ammoniacal, et inversement proportionnelle à celle de nitrite (rétrocontrôle). Cette activité est fortement ralentie en dessous de 5° C et optimale entre 30 et 35° C [11].

Dans les sols acides, la nitrification peut être réalisée par des organismes hétérotrophes (champignons, actinomycètes et autres bactéries comme l'*Aspergillus flavus*). On parle de nitrification hétérotrophe. Ces organismes oxydent les composés azotés réduits (incluant l'azote organique) en NO_3^- . Ces organismes ont des exigences écologiques moins stricts que les autotrophes, mais le rendement est bien inférieur.

III-4-2-4- Facteurs influençant la nitrification

Les bactéries nitrifiantes sont très sensibles aux conditions du milieu dans les quelles ils vivent. Leur croissance et les enzymes qu'ils produisent pour catalyser chaque stade de la séquence de nitrification de l'azote, subissent l'influence des facteurs du milieu.

Les quelques facteurs, parmi ceux qui conditionnent la vie des bactéries nitrifiantes que nous avons citées dans ce travail ne constituent pas une liste exhaustive.

III-4-2-4-1- Aération (l'oxygène)

La nitrification est un processus d'oxydation enzymatique. Les organismes nitrifiants ont fortement besoin d'oxygène (O_2) pour leur vie (ils sont aérobies). En effet, l'oxygène est exploité comme accepteur ultime d'électrons, par les bactéries nitrifiantes, pour réaliser les réactions de la nitrification.

Nous pensons qu'un labour à des moments favorables pourrait offrir de bonnes conditions pour l'activité des microorganismes nitrifiants et c'est également le moyen de doper l'horizon travaillé en éléments minéraux.

III-4-2-4-2- Disponibilité de l'ammonium (NH_4^+)

L'assimilation microbienne d'ion NH_4^+ diminue la disponibilité de ce dernier pour les nitrifiants et donc réduit la nitrification. La disponibilité des ions ammoniums dépend, pour [12], de l'assimilation microbienne ou racinaire (qui consomme de l'ion NH_4^+),

alors que la production d'azote ammonium dans un sol donné est fortement liée aux teneurs de ce sol en azote.

III-4-2-4-3- Température

La température joue un double rôle, sur la croissance des microorganismes et sur les enzymes qu'ils produisent.

La nitrification est sensible à la température. Elle se produit, la plupart du temps, entre 5 et 40°C, son optimum se situant entre 25 et 35°C.

Il est à noter que la nitrification hétérotrophe, peut aller jusqu'à 50 voire 60°C.

III-4-2-4-4- Structure et Teneur en eau du sol

La quantité d'eau présente dans le sol constitue un facteur important pour la nitrification de l'azote. A l'absence de l'eau, la nitrification est inhibée.

Il faut signaler que l'eau du sol qui ne se trouve pas à l'état libre, y est soumise aux forces de rétention suivantes : forces matricielles (qui provient de l'attraction des molécules d'eau sur les particules solides et du phénomène de capillarité) et forces osmotiques (résultant de la présence dans l'eau du sol de substances dissoutes). La combinaison de ces deux forces s'appelle « Potentiel Hydrique ».

Selon [13], le maximum de nitrification se manifeste à un potentiel hydrique de -10 à -30kPa (pF 2 à 2.5). À 0 kPa, la nitrification est absente ou très faible à cause de l'absence d'oxygène causée par l'excès d'eau.

La nitrification diminue quand le potentiel hydrique diminue. En dessous d'un potentiel hydrique de -15000kPa (très sec), l'activité des organismes nitrifiantes est inhibée.

Quand le sol est réhumidifié, il y a une augmentation soudaine de la minéralisation et de la nitrification.

III-4-2-4-5- PH

Le PH du sol est un facteur capital qui affecte la nitrification. Le PH optimal donné dans la littérature pour la nitrification varie entre 7 et 9 [14].

Plusieurs études prouvent que la nitrification s'amplifie quand le PH du sol croît.

Il a été généralement rapporté que la nitrification est faible à PH acide car, les bactéries nitrifiantes sont sensibles à l'acidité [15].

III-4-2-4-6- Composés toxiques

La nitrification est inhibée par une large variété de composés. [17] cite spécialement les métaux lourds (le cuivre, le nickel, le cobalt, le zinc et le chrome), les amines, les phénols, les composés cycliques azotés et les composés contenant le groupe SCN.

L'auteur souligne cependant, que tous ces composés ne sont pas inhibiteurs aux mêmes concentrations et il faut noter que les micro-organismes nitrifiants possèdent une forte capacité d'adaptation.

III-4-2-4-7- Les engrais

Les engrais apportés au sol procurent à ce dernier des sels de tous genres et même des oligoéléments, ce qui active la nitrification. C'est pourquoi, l'apport surabondant d'un élément entre N, P et K, au détriment des autres, risque de compromettre les autres phases de la minéralisation de l'azote. Il ne renseigne que l'application des quantités considérables d'azote ammoniacal sur des sols basiques à pour effet de retarder la deuxième phase de la nitrification. Dans ce type de sol, les effets nuisibles peuvent également résulter de l'application d'un composé tel que l'urée qui apporte des ions NH_4^+ dans le sol par hydrolyse.

III-5- Perte d'azote

L'azote est le premier élément minéral limitant le niveau de production de nombreux systèmes de productions agricoles dans le monde. C'est paradoxal que cet élément, qui représente une charge importante pour l'agriculteur, échappe au système et vienne

polluer les cours d'eau, les nappes souterraines et l'atmosphère. Les pertes d'azotes est une question des plus préoccupantes.

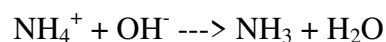
Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes servis de l'urée ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) car, c'est l'engrais azoté les plus concentré (46% N) et le plus utilisé dans la pratique agricole.

Nonobstant sa concentration la plus élevée en azote, l'application de l'urée demande cependant certaines précautions à cause de pertes en azote que peuvent subir l'élément dans les sols agricoles.

Il existe trois formes des pertes :

III-5-1- Perte par volatilisation ammoniacale

C'est la transformation de l'azote sous forme d'ammonium en ammoniac qui est volatilisé. Voici la réaction:



La volatilisation est souvent la principale voie de perte d'azote lorsque des amendements riches en azote comme l'urée sont appliqués au sol. Elle se produit lorsqu'il a accumulation d'azote ammoniacal [$\text{NH}_3(\text{gaz})$ et NH_4^+ (solide)] près de la surface du sol.

Rochette (2008), souligne que c'est pendant les 5 premiers jours d'application de l'urée que les risques de la volatilisation d'ammoniac sont grands, mais, selon Lumpungu (1980), cela peut largement varier d'un sol à un autre et selon divers facteurs, comme :

- Le pH du sol,
- -La température,
- Mode d'apport de l'engrais (en couverture ou enfouissement),
- La vitesse du vent,
- L'humidité du sol

III-5-2- Perte par lixiviation

La lixiviation représente l'entraînement d'éléments minéraux dissous dans l'eau du sol. Pour l'ion nitrate NO_3^- , très soluble dans l'eau, on parlera donc de lixiviation et non de lessivage, qui représente l'entraînement de particules (argile, matière organique, ...) [16].

Elle est provoquée par le drainage naturel, car l'ion nitrate, très soluble, a une grande affinité pour l'eau.

Les paramètres influant sur ce phénomène de lixiviation sont la quantité d'azote minéral (NO_3^-), sa répartition dans le profil et la quantité d'eau drainée. A cela il faut ajouter l'effet de la matrice du sol, qui dans certains sols tropicaux a pour effet de retenir les nitrates dans les horizons superficiels lorsque la filtration de l'eau dans ce sol n'est pas possible si non difficile.

La menace de lixiviation est plus élevée dans les sols sableux, dont la texture favorise l'égouttement rapide de l'eau.

L'urée est facilement lixiviable et donc doit être employée en agriculture par un couplage le plus précis possible entre besoins et fournitures.

III-5-3- Perte par dénitrification

La dénitrification est un processus de réduction microbienne par le quel les nitrates (et accessoirement les nitrites) sont réduits à l'état de produits gazeux (azote moléculaire, les oxyde d'azote gazeux) qui sont ainsi perdus pour le sol.

Il s'agit d'une succession de réductions des oxydes d'azote (NO_3^- , NO_2^- , N_2O , NO) jusqu'au stade de l'azote moléculaire (N_2).

La dénitrification est effectuée par un nombre restreint de genres bactériens (*Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Spirillum*, *Bacillus*, bactéries hétérotrophes), il s'agit de bactéries anaérobies très répandus dans les sols, dont la présence n'est pas limitant.

Les étapes de la dénitrification sont schématisées comme suit :



Nitrate Nitrite Oxyde nitrique Oxyde nitreux Azote Gazeux

Chaque étape est catalysée par une enzyme spécifique: nitrate réductase (NAR), nitrite réductase (NIR), oxyde nitrique réductase (NOR) et enfin oxyde nitreux réductase (N₂OR) [14].

Les facteurs régulant ces transformations sont [16] La faible teneur du milieu en oxygène,

- La présence d'azote sous forme nitrique ou nitreuse utilisée comme accepteur final d'électrons dans la chaîne respiratoire à la place de l'oxygène manquant;
- La présence d'un substrat carboné assimilable,
- Les conditions de pH : la dénitrification maximale est atteinte entre 6 et 8, un pH plus acide entraînant un dégagement important de protoxyde d'azote (N₂O),
- La température, qui régule non seulement les transformations décrites ci-dessus, mais également les réactions consommatrices d'oxygène,
- La présence des substances donatrices d'électrons en quantité suffisante (la matière organique fraîche métabolisable),
- La teneur en eau élevée (sol pauvre en O₂ : anaérobie)
- La teneur en carbone organique élevée, car les bactéries ont besoin du carbone organique pour leur respiration. [17].

Le phénomène de dénitrification n'est plus possible dès que l'oxygène est disponible car, de très nombreuses bactéries capables de "respiration nitrate" sont, généralement, aussi capables de "respiration oxygène" et elles s'abstiennent de respirer le nitrate dès que de l'oxygène devient disponible, parce qu'il est énergétiquement plus rentable de respirer sur l'oxygène que sur le nitrate [18].

A ces pertes, nous associons le phénomène d'organisation de l'azote qui consiste à l'assimilation de l'élément azote par les microorganismes du sol pendant l'oxydation de substrats carbonés. Ce phénomène est aussi appelé immobilisation, car les plantes étant

moins compétitives que les microorganismes ne peuvent accéder à l'azote incorporé dans la biomasse microbienne [19].

III-5-4- L'immobilisation de l'azote

L'immobilisation s'opère simultanément avec la minéralisation. C'est une forme de perte temporaire pour les cultures ou les microorganismes consomment l'azote minérale

C'est un processus par lequel les micro-organismes du sol assimilent l'azote pour leurs propres besoins de renouvellement et de croissance. L'immobilisation ou la réorganisation est d'autant plus importante que le sol a une forte activité biologique

Selon [20] l'immobilisation et la minéralisation sont deux phénomènes qui opèrent simultanément et dépendent du rapport carbone-azote

En effet, si le rapport carbone azote est:

- $C/N < 30$: Minéralisation > Immobilisation ; la minéralisation est plus soutenue que l'immobilisation
- $C/N > 30$: Immobilisation > Minéralisation ; l'immobilisation est plus contractée

L'immobilisation ou la réorganisation ne doit pas être considérée comme une perte pour le système sol plante ; mais elle représente une immobilisation de l'engrais dans le compartiment organique du sol.

Elle arrive souvent lorsque ; stimulés par un rapport excessif en carbone facilement assimilable les micro-organismes du sol prolifèrent ; ils risquent de consommer tout l'azote disponible ; l'azote « immobilisé » dans les cellules bactériennes est alors hors de portée des plantes pour un temps

Dès l'apport d'engrais azoté (cas de l'urée) dans le sol , une compétition s'engage entre les micro-organismes du sol et la culture pour la consommation de cet azote . l'urée n'est pas sujette à une réorganisation spécifique ; mais elle est plutôt immobilisée via la réaction biologique entre forme ammoniacale et micro-organismes

Lixiviation

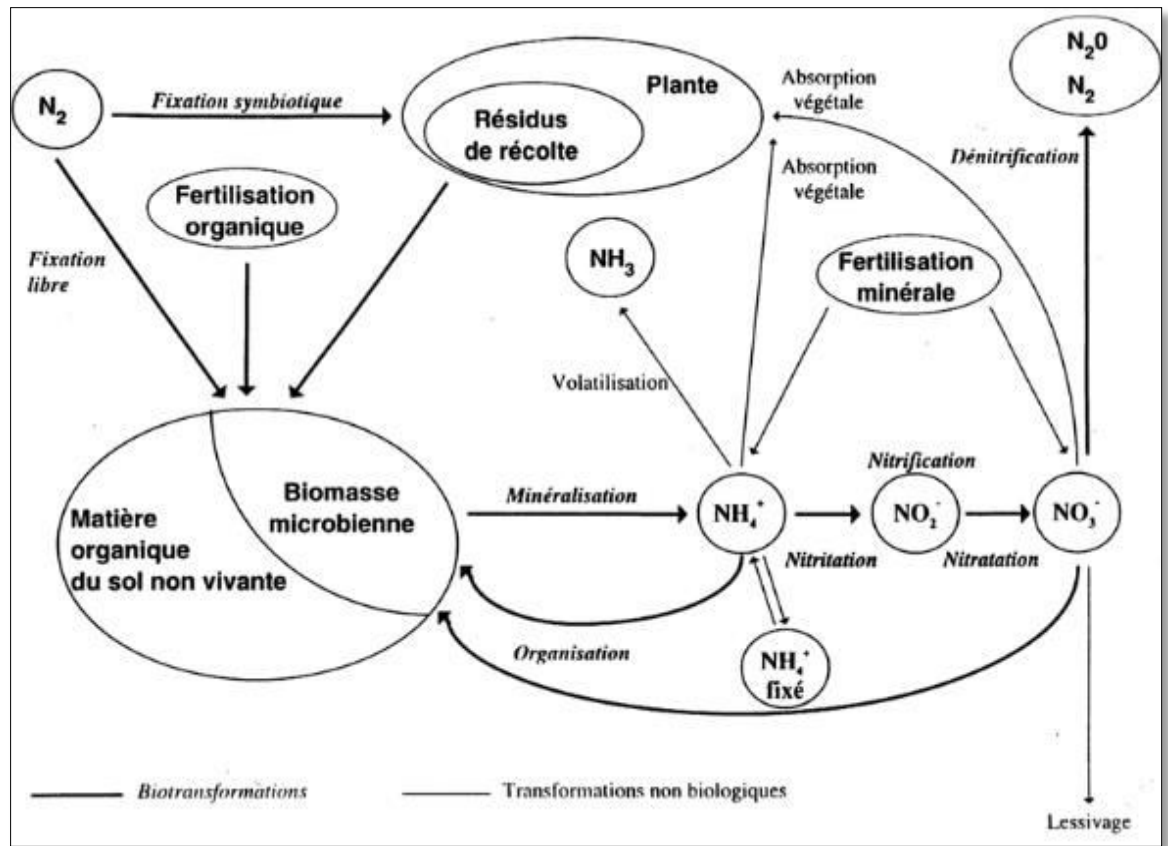


Figure III-1. Transformation biologiques et non biologiques affectant le devenir de l'azote dans le sol

[1] :**Daridi et al**, distribution de l'azote et caractérisation des sols de la Tunisie du nord, Unité de recherche de pédologie , département de géologie , campus universitaire, 2092 Tunis , Tunisie 2006

(Evaluation de la capacité de nitrification d'un sol sableux de kinshasa : une contribution à l'étude de la dynamique de l'azote dans le sol)

[2] :**N'DAYEGAMIYE** : La contribution en azote du sol reliée la minéralisation de la MO : facteur climatique et régies agricoles influençant les taux de minéralisation d'azote, ,2006 .

[3] : **DAVID**: handbook of chemistry and physics ,crc press inc, 90 eéd,

Relie, 280 P

(Evaluation de la capacité de nitrification d'un sol sableux de Kinshasa : une contribution à l'étude de la dynamique de l'azote dans le so,2009)

[4] : **DAVSO et ESKEW** : L'azote pour les plantes vivances, 1984.

[5] : **ANON** : La bioéconomie à l'horizon 2030, , 2005

[6] : **KACHAKA** : coure de biologie du sol faculté des sciences agronomiques, université de Kinshasa 2009

(Evaluation de la capacité de nitrification d'un sol sableux de kinshasa : une contribution à l'étude de la dynamique de l'azote dans le sol) , 2009

[7] : **PAGNI** :

(Evaluation de la capacité de nitrification d'un sol sableux de kinshasa : une contribution à l'étude de la dynamique de l'azote dans le sol) 1998

[8] : **POSTGATE**: fixation de l'azote, 3éme édition pression d'université de Cambridge, Cambridge R-U

(Evaluation de la capacité de nitrification d'un sol sableux de kinshasa : une contribution à l'étude de la dynamique de l'azote dans le sol) 1998

[9] : **VALE** : Quantification et prédiction de la minéralisation nette de l'azote du sol in situ , sous divers pédoclimats et systèmes de culture français, thèse n° 2367,INRA-France

(Evaluation de la capacité de nitrification d'un sol sableux de kinshasa : une contribution à l'étude de la dynamique de l'azote dans le sol) 2006

[10] : BARBAULT : Ecologie générale : structure et fonctionnement de la biosphère, 5ème édition, p 32,ed.Dunod

(Evaluation de la capacité de nitrification d'un sol sableux de kinshasa : une contribution à l'étude de la dynamique de l'azote dans le sol) 2009

[11] : VAN Burg et al: Agricultural value of various nitrogen fertilizers netherlands nitrogen technical bulletin 13.Agricultural bureau of the netherlands fertilizer industry , the hague

(Evaluation de la capacité de nitrification d'un sol sableux de kinshasa : une contribution à l'étude de la dynamique de l'azote dans le sol) , 1982

[12] : ANDIANARISOA : Minéralisation de l'azote et nitrification dans les écosystèmes forestiers effet du type de sol et de l'essence forestière 2009

[13] : MALHI et MCGILL : Vers une prévision opérationnelle des flux d'azote résultant de l'épandage de lisier : paramétrage d'un modèle dynamique de simulation des transformations de l'azote des lisiers (STAL) 1982

[14] : BOUGARD : Application de nitrification dénitrification dans le traitement des eaux usées 2004

[15] : BOER et KOWALCHUK

(Evaluation de la capacité de nitrification d'un sol sableux de kinshasa : une contribution à l'étude de la dynamique de l'azote dans le sol) 2001

[16] : FERRUGIA: détermination de la valeur azotée d'effluents Agro-industriels et urbains, conditions de l'expression de la minéralisation de l'azote organique dabs des émissions d'ammoniac gazeux, mémoire de fin d'études, école supérieure d'agriculture de purpan

(Evaluation de la capacité de nitrification d'un sol sableux de kinshasa : une contribution à l'étude de la dynamique de l'azote dans le sol) 2001

[17] : MARTIN : le problème de l'azote dans les eaux. Technique et documentation, éd France-Agricole 1979

[18] : **ROCHETTE** : gestion des engrais minéraux et organiques : volatilisation de l'ammoniac, colloque en agroenvironnement, le respect de l'environnement ; tout simplement de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec –canada 2008

[19] : **LUMPUNGU** : la perte en azote et la phytotoxicité de l'urée dans le sol .Anale de Gembloux, 2ème trimestre, 89ème année, Association des ingénieurs issus de la faculté des sciences Agronomique de l'état des Gembloux (Belgique) 1980

[20] : **GAGNON**: Impact des différentes formes d'azote sur la croissance des plants et sur le lessivage des engrais, session de formation sur la nutrition minérale de plantes forestières, ministère des forêts, direction de la recherche. Rapport interne n°349. 20p. 2009

IV-1-Méthode de W-B modifiée**IV-1-1- Principe**

Oxydation du carbone des sols par le bichromate de potassium suivie par un dosage volumétrique au sel de Mohr du bichromate en excès.

IV-1-2-Réactifs

- Acide sulfurique 36N ;
- Bichromate de potassium exactement normal= solution a 49,035 g/l de $K_2Cr_2O_7$ en milieux aqueux ;
- Sel de Mohr 0,1N : solution à 39,214g/l de sel de Mohr contenant 20 ml/l de H_2SO_4 (disposer en permanence de 1 litre de cette solution) ;
- Fluorure de sodium en poudre ;
- Diphénylamine à 0,5% en milieu H_2SO_4 (à conserver en flacon brun à l'abri de la lumière).

IV-1-3- Mode opératoire

- Dans une fiole jaugée de 200 ml peser P g de sols finement broyé (P varie de 0,5 à 5g selon de richesse supposée en carbone, pour les sols Dior P= 5g). Mettre le sol dans la fiole à l'aide d'un entonnoir parfaitement sec et éviter les dépôts de sel sur les parois de la fiole ;
- Ajouter à l'aide de l'éprouvette 20 ml de H_2SO_4 . Agiter en tournant pour bien mélanger puis laisser reposer ½ heure. Ajouter alors à chaque fiole à la pissette à gros débit de l'eau distillée jusqu'à un volume de 170 ml environ et homogénéiser. Laisser refroidir environ ¼ d'heure puis ajuster chaque fiole à l'eau distillée et homogénéiser ;
- Laisser décanter quelques minutes puis prélever dans chaque fiole 50 ml exactement de solution surnageant et les mettre dans un erlenmeyer de 300 ml ajouter juste avant le dosage de chaque échantillon une cuillerée (environ 1g) de fluorure de sodium et 3 gouttes de diphénylamine puis titrer par le sel de Mohr jusqu'à virage du bleu-noir au vert file du liquide ;
- Rincer abondamment les erlenmeyer de titrage à l'eau ordinaire puis distillée dès la manipulation terminée pour éviter au maximum l'attaque des verres par fluorure de sodium

- Faire un blanc sans sol dans les mêmes conditions que les échantillons répéter 2 fois le titrage de ce témoin.

IV-1-4- Calculs

Si :

V = volume de la fiole jaugée.

V₀ = volume de la prise d'essai pour dosage.

P = poids de sol en g.

N_T = volume du sel de Mohr versé pour le témoin (très proche de 25 ml)

NE = volume de sel de Mohr versé pour l'échantillon.

d = densité du sol utilisé (en général d=2).

On a :

$$CO\% = [NT(\frac{V}{V-\frac{P}{d}}) - NE](\frac{V-\frac{P}{d}}{V_{op}}) * 0.39 * \frac{25}{NT}$$

La correction P/d est négligeable si P<1g. Le facteur 0,39 tient compte d'un taux d'oxydation par le sol de 77%, la réaction étant incomplète. [7]

Dans cette partie de notre travail nous allons appliquer la méthode de W-B qui comporte une oxydation par voies humide.

IV-1-5- Domaine d'application

Cette méthode sert à déterminer le carbone organique dans les échantillons solides.

La limite de détection rapportée est de 0,05% et le domaine d'application se situe entre 0,05% et 100% C.

IV-1-6- Principe et théorie

Le carbone organique total dans les solides peut être déterminé par titrage. Pour ce faire, une solution de bichromate de potassium est ajoutée à un échantillon en présence d'acide sulfurique. Après la réaction, le dosage de la quantité de bichromate qui n'a pas réagi avec l'échantillon permet d'établir la concentration de carbone organique total.

IV-1-7- Interférence

La présence de tout produit réducteur inorganique peut causer une surévaluation de la valeur de carbone organique total.

IV-1-8- Protocole opératoire**IV-1-8-1- Prélèvement et conservation**

Le prélèvement des échantillons a été effectué sur différentes régions productrices les blés :

- Le premier échantillon a été prélevé de la région d'Alger et deuxième échantillon a été prélevé de la région de EL HAMMA (environ l'université), le troisième échantillon est prélevé de CONSTANTINE, et un autre échantillon a été prélevé de la région de MASCARA.

Une quantité d'un 100gramme environ pour chaque échantillon a été recueillie dans des contenants en plastique ou dans des boites de carton ou verre étiqueté.

- le délai de conservation entre prélèvement et l'analyse en doit pas excéder 28 jours.

IV-1-8-2- Séchage

L'échantillon est homogénéisé manuellement.

-Le séchage des échantillons a été effectuée à l'air ambiant ou à l'étuve à 37 °C dans une pièce libre de poussière, préalablement brisé les grosse mottes de terre.

Note

L'échantillon ne doit pas être sécher à 105°C afin d'éviter de perdre de la matière organique volatile.

- Après le séchage, enlever les roches et les débris végétaux et réduire les agrégats à l'aide d'un broyeur ou d'un mortier.



Figure IV-1. L'étuve



Figure IV-2. L'étape de la réduction des agrégats.

IV-1-8-3- Broyage

-Le broyage et le tamisage des échantillons a été effectués à 0,11 mm.



Figure IV-3. L'étape de broyage



Figure IV-4. L'étape de tamisage

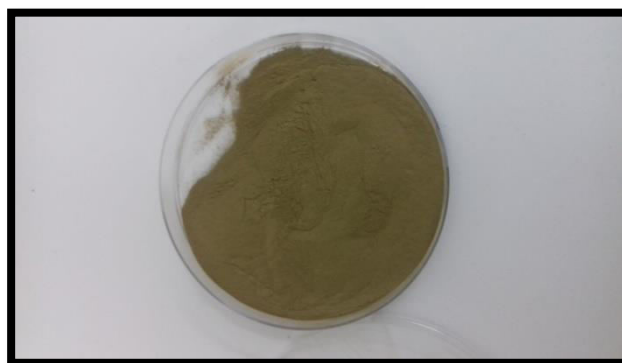


Figure IV-5. Le sol après le tamisage

Note

Le broyage et le tamisage à 0,11 mm (100 Mesh) pour les analyses de la matière organique (méthode W-B seulement) et de l'azote total (micro-Kjeldahl).

IV-1-8-4- Appareillage

- Balance analytique dont la sensibilité est de 0,1 mg ;
- Spatule ;
- Burette 50 ml ;
- Support ;
- Etuve à 105 °C ;
- Bécher 600 ml ou 1000 ml ;
- Pipette ;
- Entonnoir ;
- Eprouvette gradué (25 ml) ;
- Verre de montre ;
- Erlenmeyer ;
- Barreau magnétique ;
- Fiole conique ;
- Agitateur.

IV-1-8-5- Réactifs et étalons

-L'eau utilisée est de l'eau distillée ou déminéralisée.

A moins d'indication contraire, les solutions préparées peuvent être conservées indéfiniment à la température ambiante. Elles doivent cependant être refaites si un changement de couleur est noté ou s'il y a formation de précipité.

- Acide sulfurique, H_2SO_4 ;
- Acide phosphorique, H_3PO_4 ;
- Bichromate de potassium, $K_2Cr_2O_7$;
- Sulfate ferreux, $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$;
- 1-10- phénanthroline monohydraté, $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$.

IV-1-8-6-Préparation des solutions**IV-1-8-6-1-Solution de bichromate de potassium 1N**

- On pèse exactement environ 49,04 g de $K_2Cr_2O_7$ Préalablement séché à 105 °C pendant 2 heures, et on dissous dans environ 700 ml d'eau. On agite et on complète à 1 litre avec de l'eau.



Figure IV-6. Pèse 49, 04 g de chromate de potassium



FigureIV-7. L'étape de séchage de $k_2Cr_2k_7$ à 105C°

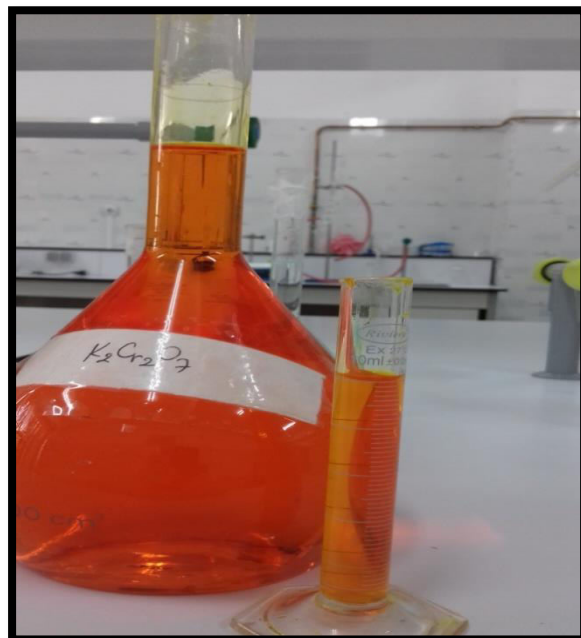


Figure IV-8 1 litre de $k_2Cr_2k_7$ 1N

IV-1-8-6-2- Solution indicatrice de ferroïne

- On pèse exactement environ 1,485 g de 1,10 – phénanthroline monohydraté et 0,695 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ et on dissous dans environ 70 ml d'eau. On complète à 100 ml avec de l'eau.



Figure IV-9. La pesée 1,485 g de $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$



Figure IV-10. La pesée de 0,695 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$



Figure IV-11. Fiole contient solution indicatrice de ferroïne

IV-1-8-6-3- Sulfate ferreux 0,5N

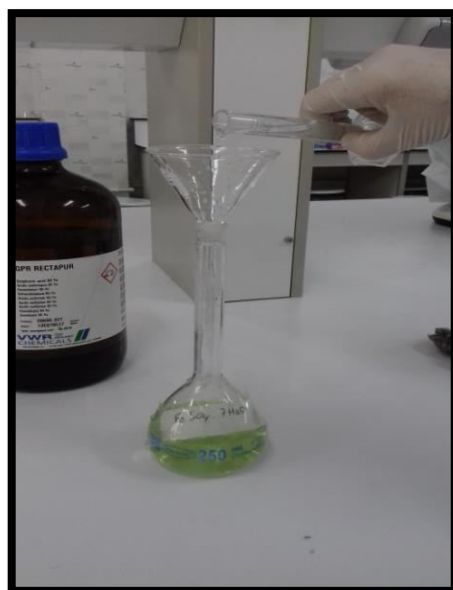
- On pèse exactement environ 35 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ et on dissous dans environ 150 ml d'eau. On ajoute 10 ml de H_2SO_4 et on complète à 250 ml avec de l'eau.

Note :

Cette solution se conserve à la température ambiante.



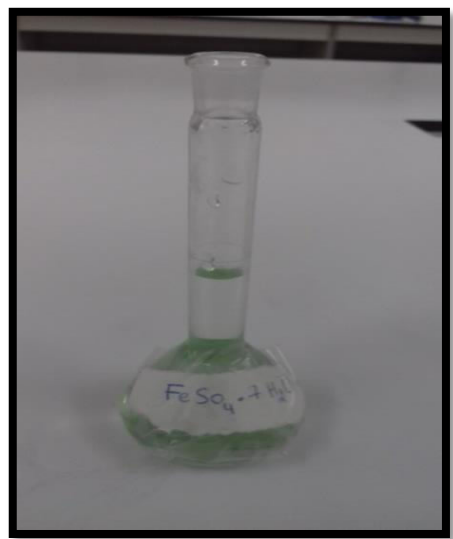
**Figure IV-12. Pesée de 35 g
de $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$**



**Figure IV-13. L'ajoute de 10 ml
de H_2SO_4**



**Figure IV-14. Complété avec l'eau
jusqu'à 250 ml**



**Figure IV-15. La solution
de $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$**

IV-1-8-7- Dosage du carbone organique total

- On pèse une portion de solide entre 0,25 g et 1,0 g de sol dans une fiole conique de 250 ou 300 ml et on ajoute 10 ml de bichromate de potassium 1 N ; on met un barreau aimanté dans la fiole.



Figure IV-16. La pesée 1 g de sol

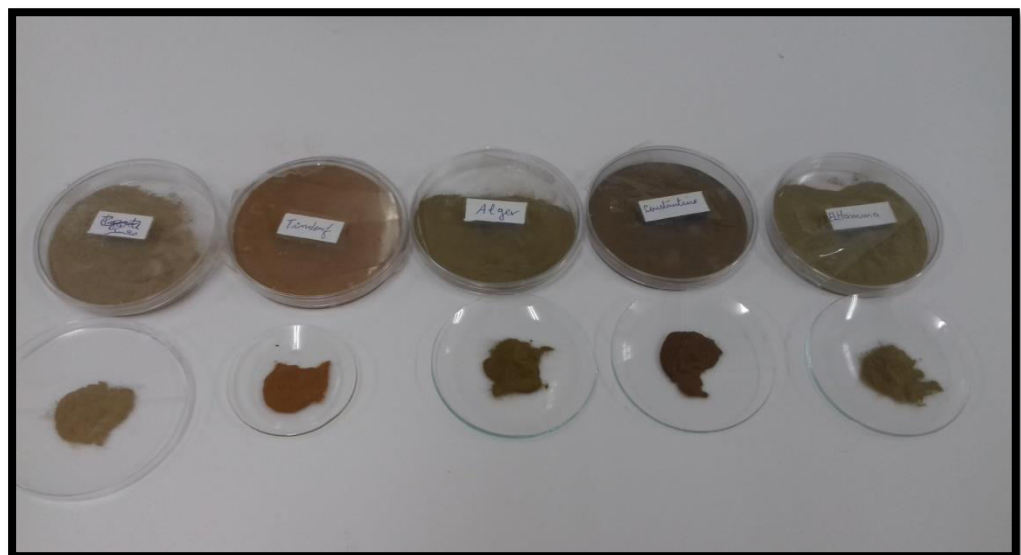


Figure IV-17. La pesée de 1 g de chaque sol.



Figure IV-18. Placer la masse du sol dans la fiole conique



Figure IV-19. L'ajoute de 10 ml de $K_2Cr_2O_7$

- On ajoute 20 ml d'acide sulfurique concentré et on place un verre de montre sur la fiole conique préalablement rincé le verre de montre

Note : L'ajout de l'acide sulfurique doit être lentement, car il peut y avoir projection.

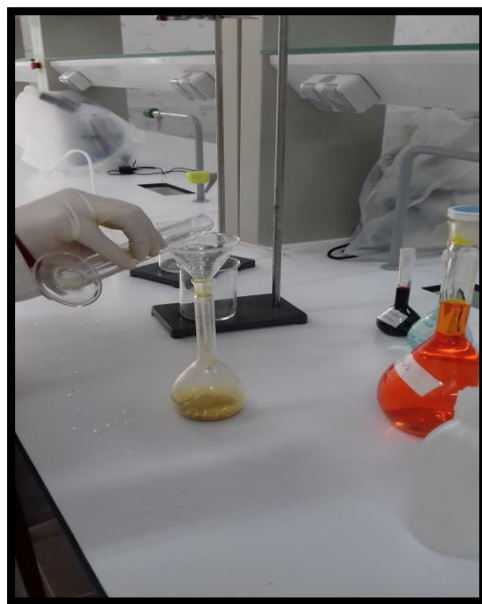


Figure IV-20: l'ajoute de H_2SO_4 après l'ajoute de 10 ml de $K_2Cr_2O_7$.



Figure IV-21: Laisse repose pendant 30 minutes

- On agite vigoureusement pendant 1 minute et on laisse reposer 30 minutes.
- On ajoute 200 ml d'eau déminéralisée, 10 ml d'acide phosphorique concentré et 15 gouttes de la solution indicatrice de ferroïne.

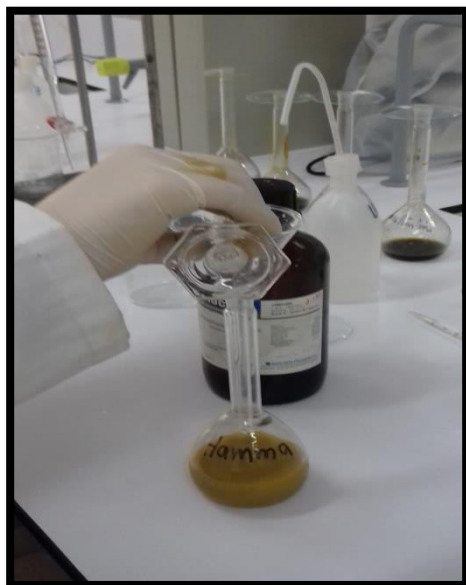


Figure IV-22: L'ajoute de 10 ml de H₃PO₄

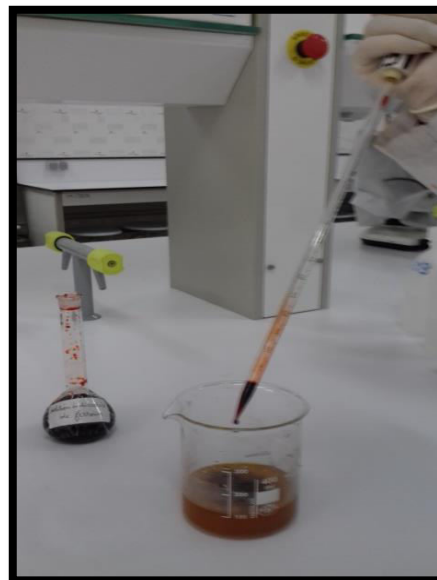
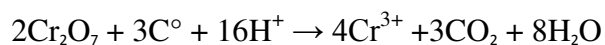


Figure IV-23: L'ajoute de 15 goutte de la solution Indicatrice de ferroïne

- On titre l'excès de bichromate de potassium avec la solution de sulfate ferreux 0,5 N ; lors de l'apparition de la coloration turquoise, on titre lentement jusqu'à la coloration finale brune et on note le volume utilisé.
- La matière organique est oxydée à froid et en milieu acide (H₂SO₄) par du bichromate de potassium en excès (1 M) conformément à la réaction suivante :



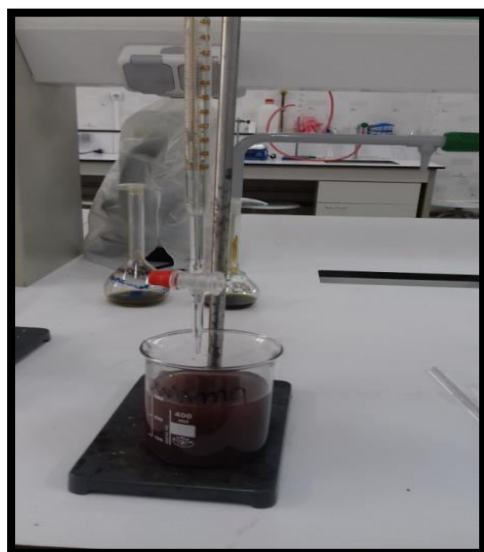


Figure IV-24: L'étape du titrage



Figure IV-25: Le point de virage



Figure IV-26: la coloration au point de virage

IV-1-8-8- Préparation d'un témoin

- Introduire dans un erlenmeyer un barreau aimante, 10 ml de bichromate de potassium 1N et 20 ml d'acide sulfurique. Couvrir d'un verre de montre puis agiter vigoureusement pendant une minute avant de poursuivre la procédure décrite aux paragraphes précédents.

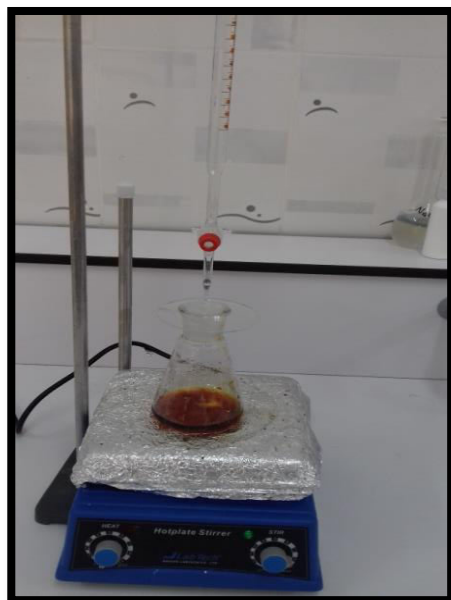


Figure IV-27. Le titrage de témoin.

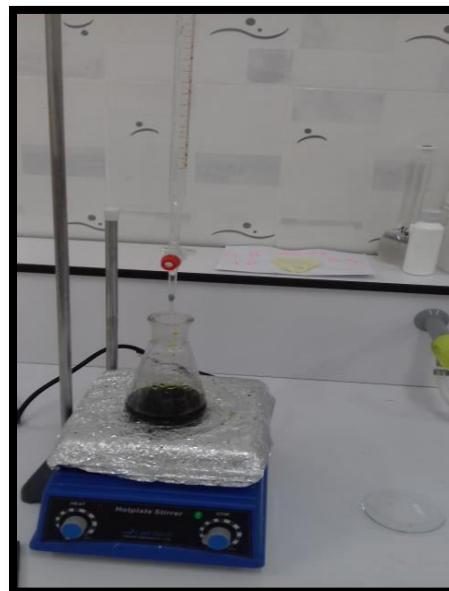


Figure IV-28. Le point de virage du témoin.

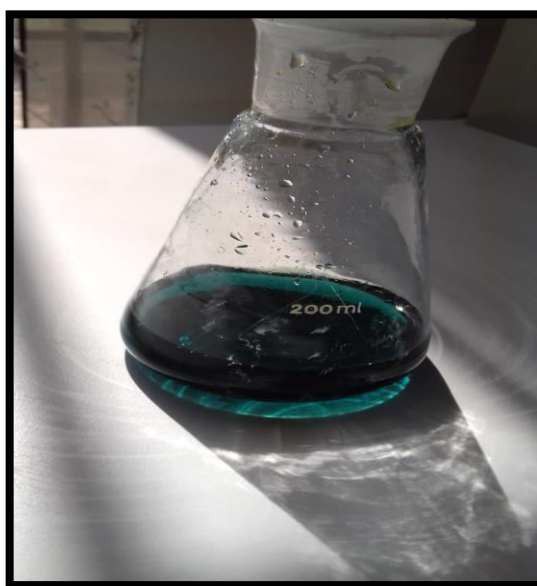


Figure IV-29. Le témoin prend la couleur bleu turquoise après le dosage.

IV-2- Azote Kjeldahl (NK)**IV-2-1- Principe**

La méthode de dosage de l'azote Kjeldahl (NK) permet d'analyser globalement la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal présent dans l'échantillon :

$$NK = N_{\text{organique}} + N\text{-NH}_4^+$$

Le principe est le suivant :

- Minéralisation de la matière organique en milieu acide, en présence de catalyseur et à température élevée,
- Ajout d'une solution d'hydroxyde de sodium pour déplacer en ammoniac l'azote ammoniacal formé,
- Entraînement à la vapeur (distillation) de l'ammoniac,
- Dosage par titrimétrie.

L'azote ammoniacal seul est ensuite dosé selon le même principe, sans effectuer l'étape de minéralisation.

On peut alors déterminer par différence l'azote organique :

$$N_{\text{organique}} = NK - N\text{-NH}_4^+$$

IV-2-2- Matériel

- Matras Kjeldahl.
- Unité de minéralisation avec système de récupération des fumées.
- Unité d'entraînement à la vapeur (distillation).
- Microburette de 5 mL ou burette de précision de 10 mL

IV-2-3- Réactifs

- Acide sulfurique concentré (98 % – densité 1,84).
- Acide borique : solution à 10 g/L.
- Acide sulfurique : solution titrée à 0,05 mol/L.
- Hydroxyde de sodium : solution à environ 400 g/L.
- Catalyseur de minéralisation.

On utilisera un mélange commercial prêt à l'emploi (spécial azote Kjeldahl) en poudre ou en granulés. On peut également préparer par broyage un mélange homogène contenant 995 g de sulfate de potassium et 5 g de sélénium.

- Solution de rouge de méthyle et de vert de bromocrésol (= Indicateur mixte ou indicateur de Tashiro) :

Dissoudre 100 mg de rouge de méthyle et 500 mg de vert de bromocrésol dans 500 ml d'éthanol à 95 %.

IV-2-4- Mode opératoire

Analyse de l'azote Kjeldahl

IV-2-4-1- Minéralisation

- Introduire 100 mL d'échantillon dans un matras Kjeldahl.
- Ajouter quelques billes de verre pour réguler l'ébullition.
- Ajouter 1 g de catalyseur.
- Ajouter 10 mL d'acide sulfurique concentré.
- Placer dans le bloc de minéralisation. Recouvrir par le système d'extraction des fumées et brancher le système d'extraction.
- Porter lentement à ébullition et évaporer jusqu'à apparition de fumées blanches.
- Forcer ensuite le dosage pendant environ 2 heures.

Le liquide résiduel doit être limpide ; dans le cas contraire, recommencer en diminuant le volume d'échantillon.

- Laisser refroidir quelques minutes.

IV-2-4-2- Distillation

- Placer le matras Kjeldahl sur le système d'entraînement à la vapeur.
- Ajouter 50 ml d'hydroxyde de sodium à 400 g/L.
- Pour recueillir le distillat, on placera à la sortie de l'appareillage un erlenmeyer de 250 ml contenant 10 ml d'acide borique à 10 g/L.
- Admettre la vapeur pendant environ 20 minutes.

IV-2-5- Dosage

- Dans l'erenmeyer qui a recueilli le distillat, ajouter 2 à 3 gouttes de l'indicateur mixte.
- Titrer avec la solution titrée d'acide sulfurique à 0,05 mol/L.

IV-2-6- Analyse de l'azote ammoniacal

- On procédera exactement de la même manière que pour l'azote Kjeldahl, mais en supprimant l'étape de minéralisation.
- Le dosage de l'azote ammoniacal peut également s'effectuer par l'une des méthodes décrites au § A-1.

IV-2-6-1- Résultats

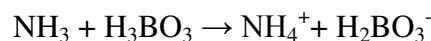
Examen des équations chimiques qui se produisent au cours des différentes étapes :

IV-2-6-2- Minéralisation

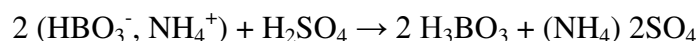
Matière organique + Acide + catalyseur \rightarrow NH_4^+ + autres produits de réaction

IV-2-6-2-1- Passage de la forme ionisée à la forme moléculaire

(Entraînable à la vapeur) : $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3$

IV-2-6-2-2- Entraînement à la vapeur de NH_3 et piégeage dans l'acide borique**IV-2-7- Dosage par l'acide sulfurique**

- en présence d'indicateur coloré :

**IV-2-7-1- BILAN**

- 1 mole d'acide sulfurique permet de dosage de 2 moles de NH_4^+ .
- La concentration en azote Kjeldahl ou en azote ammoniacal, exprimée en mg/L d'azote (N) est donnée par la formule :

$$\frac{2(V_1 - V_0)c \cdot 1\,000 \cdot 14}{V}$$

Avec :

- c = concentration (en moles/L) de la solution – d'acide sulfurique utilisée Pour le dosage.

- V1 = volume (en ml) d'acide sulfurique utilisé pour le dosage de l'échantillon.
- V0 = volume (en ml) d'acide sulfurique utilisé pour le dosage de l'essai blanc.
- V = volume (en ml) de la prise d'essai.

IV-2-7-2- Remarques

- Pour améliorer la précision, on pourra utiliser une solution d'acide sulfurique à 0,01 mol/L, ou encore doser l'azote ammoniacal libéré par la méthode colorimétrique au bleu d'indophénol (voir dosage de l'ammoniac § A-1),
- Dans les eaux naturelles, les teneurs en azote organique déterminées par la méthode de Kjeldahl sont le plus souvent comprises entre 0,5 et 1,5 mg/L,
- De nombreux appareillages sont disponibles dans le commerce pour la minéralisation des échantillons et pour l'entraînement à la vapeur (distillation).

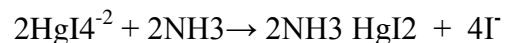
Dosage de l'azote ammoniacal

IV-3-1- Introduction

La teneur des eaux en azote ammoniacal est très variable. En présence d'une eau riche en chlorures ou en matières organiques ; il est nécessaire d'effectuer une distillation préalable avant de procéder au dosage. Dans les autres cas la réaction de NESSLER pourra se faire directement sur le prélèvement.

IV-3-2- Principe

Le réactif de NESSLER (iodo-mercurate de potassium alcalin) en présence d'ammoniaque est décomposé avec formation d'iodure de dimercure ammonium qui permet le dosage colorimétrique des ions ammonium (NH₄⁺).



IV-3-3- Matériels et réactifs

IV-3-3-1- Matériels

- Bêchers : (2) ;
- Eprovettes : 50 ml (1), 500ml (1) ;
- Fioles : 100ml (1) ;
- Pipettes : 5ml (3) ;
- Tubes à essai : 10ml (7) ;

- Balance, vortex, et spectrophotomètre.

IV-3-3-2- Réactifs

- Solution mère étalon à 1g/l d'ammonium ;
- Réactif de NESSLER :
- Iodure de potassium -----50g
- Dichlorure de mercure -----solution saturée
- Solution d'hydroxyde de Na 9N-----400ml

IV-3-4- Préparation du réactif de NESSLER

- Dissoudre l'iodure de potassium dans 35ml d'eau ;
- Ajouter une quantité suffisante de solution saturée de dichlorure de mercure jusqu'à ce qu'un léger précipité subsiste ;
- Introduire la solution d'hydroxyde de sodium ;
- Ajuster le volume à 1L ;
- Laisser reposer ; décanter.
- Agiter au vortex pendant 10secondes ;
- Laisser reposer pendant 10 minutes ;
- Effectuer la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde 420nm.

N.B :

- Traiter les solutions inconnues de la même manière que les étalons ;
- La lecture doit se faire dans un temps bien limité si non on risque d'avoir la formation d'un précipité, en conséquence, les résultats seront erronés.

Dosage des nitrites méthode au réactif de Zambelli

IV-4-1- Introduction

Suivant l'origine des eaux, la teneur en nitrites est assez variable. La méthode au réactif de ZAMBELLI a une sensibilité de l'ordre de quelques micro-grammes par litre.

Il sera nécessaire d'en tenir compte pour l'interprétation des résultats et de prendre toutes précautions utiles pour la pureté des réactifs et la propreté de la verrerie.

L'équilibre entre l'ammoniaque, les nitrites et nitrates peut évoluer rapidement sous l'influence de phénomènes biologiques, il convient donc de procéder au dosage des nitrites le plutôt possible après prélèvement, en les conservant à 40°C.

IV-4-2- Principe

L'acide sulfanilique, en milieu chlorhydrique en présence d'ion ammonium et de phénol, forme avec les ions NO₂ un complexe coloré jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en Nitrite.

IV-4-3- Matériels et réactifs**IV-4-3-1- Matériels**

- Fioles jaugées : 1L (2) ;
- Bêchers : (3) ;
- Eprouvettes : 500ml (1), 1000ml (1), 25ml (1) et 10ml (1) ;
- Pipettes : 10ml (1), 5ml (1), 2 ml (1) ;
- Tubes à essai : 15ml (1) ;
- Bain-marie, balance, agitateur.

IV-4-3-2- Réactifs

- Ammoniaque pur (d = 0,925) ;
- Solution mère étalon de NO₂- 0,23g /l (détailler ce calcul dans le rapport) :
 - ✓ Nitrite de sodium-----0,345g
 - ✓ Eau fraîchement distillée -----1000ml
- Cette solution se conserve mieux si l'on prend la précaution d'y ajouter 1 ml de chloroforme.
- Solution fille étalon d'ion NO₂- à 0,0023g/l :
- Préparer cette solution dans une fiole jaugée de 100 ml à partir de la solution mère avec de l'eau distillée.

Réactif de ZAMBELLI

- HCL pur (d = 1,19) -----260ml
- Acide sulfanilique -----5g
- Phénol cristallisé -----7,5g
- Chlorure d'ammonium-----135g
- Eau distillée (exempte de NO₂-) -----625ml

IV-4-4- Préparation du réactif de ZAMBEILLI

- Introduire dans une fiole jaugée d'un litre : l'eau distillée et l'HCL ;
- Dissoudre dans le mélange l'acide sulfanilique et le phénol en chauffant légèrement au bain-marie jusqu'à dissolution complète ;
- Ajouter le chlorure d'ammonium et agiter jusqu'à dissolution ;
- Après refroidissement ajuster jusqu'à 1L avec l'eau distillée.

N.B : Le nitrite est un produit qu'il faut manipuler avec délicatesse vue sa toxicité et son impact sur la santé de l'homme.

- Effectuer la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 435 nm.

N.B :

- Opérer le dosage le plus rapidement possible après prélèvement ;
- Sensibilité : $[\text{NO}_2^-] > 0,05 \text{ mg/l}$.

Dosage des Nitrates**IV-5-1- Introduction**

Le dosage des Nitrates fait appel à des méthodes relativement complexes avec une grande probabilité de présence de constituants interférents, de ce fait, la détermination des Nitrates est délicate.

La méthode spectrophotométrique proposée exige un échantillon limpide, l'échantillon doit être filtré sur membrane 0,45 micromètre après avoir vérifié qu'elle ne contient pas de nitrates.

Remarque

- Les colorations développées sont sensibles aux interférences ;
- Les échantillons sont prélevés en flacon de verre ou de polyéthylène ;
- Le dosage doit se faire dans les meilleurs délais pour éviter l'évolution des nitrates en nitrites.

IV-5-2- Principe

En présence de salicylate de Na, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrophotométrique.

IV-5-3- Matériels et réactifs**IV-5-3-1- Matériels**

- Pipettes : 10ml; 1ml ; 0,2ml ;
- Eprouvettes : 25ml ;
- Bêchers : 25ml ou 50ml (5) ;
- Tubes à essai : 10ml (5) ;
- Spectrophotomètre ;
- Bain- Marie : réglé à une t°: 75°C – 80°C ;
- Fioles : 100ml (3) ;
- Flacon en polyéthylène (solution NaOH).

IV-5-3-2- Réactifs

- Solution étalon d'azote nitrique : 5.10-2mg/l :
 - ✓ Nitrate de potassium anhydre ----- 0,361mg
 - ✓ Eau permutée qsp ----- 1000ml
- Cette solution est renouvelable après 2mois.
- Eau distillée ;
- Acide acétique ;
- Solution de salicylate de Na (1%) (Cette solution est renouvelable toutes les 24 heures) ;
- Solution d'hydroxyde de sodium à conserver dans un flacon de polyéthylène:
 - ✓ NaOH ----- 200g
 - ✓ EDTA----- 50g
 - ✓ Eau distillée qsp ----- 1000ml
 - ✓ Acide sulfurique pur.
- Attendre 5 minutes ;
- Evaporer dans un bain-marie porté à 75 °c – 80°C (l'évaporation dure entre 45min et 1 heure) ;
- Ajouter 1 ml de la solution de salicylate de sodium, mélanger puis évaporer, (temps d'évaporation : 15 – 20 minutes),
- Aisser refroidir ;
- Reprendre le résidu par 1ml d'acide sulfurique concentré ;

- Après 10 minutes ajouter :
 - ✓ 15ml d'eau distillée ;
 - ✓ 10ml de la solution d'hydroxyde de Na.
- Une coloration jaune se développera, effectuer la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde 415nm.

Note :

- Azote total= azote ammoniacal+ nitrate + nitrite
- Azote organique = azote kjeldahl – azote ammoniacal
- Azote kjeldahl = azote organique + azote ammoniacal

Dosage de l'azote organique par le spectrophotomètre**IV-6-1-Introduction**

La loi de Béer-Lambert nous apprend que l'absorbance est proportionnelle à la concentration d'une solution, du moins lorsque la concentration est inférieure à 10^{-2} mol.l⁻¹. Une mesure de l'absorbance peut donc permettre de remonter à la concentration d'une solution. Elle peut du même coup permettre de suivre la cinétique d'une réaction chimique.

IV-6-2-Principe

Un spectrophotomètre mesure l'absorbance d'une solution à une longueur d'onde donnée. Dans la pratique, l'appareil réalise une mesure de l'intensité de la lumière après son passage au travers d'une cuve contenant la solution à étudier.

L'intensité de la lumière monochromatique émise (I_0) est connue.

A partir de la mesure de l'intensité de la lumière transmise (I), l'appareil donne l'absorbance (A) selon la formule suivante :

$$A = \text{Log} (I_0/I)$$

IV-6-3-Matériels et Réactifs**IV-6-3-1-Matériels**

- Verre de montre ;
- Spatule ;
- Balance analytique ;
- Bécher (100 ml, 200 ml) ;

- Barreau magnétique ;
- Agitateur ;
- Eprouvette gradué (10ml) ;
- Spectrophotomètre ;
- Cuve en verre.

IV-6-3-2- Réactifs

- Nitrate d'argent (AgNO_3) ;
- Eau distillée ;
- Echantillon (sol).

La partie pratique

IV-6-4- Préparation de solution AgNO_3



Figure IV-30. Pesée 0,17 g de AgNO_3

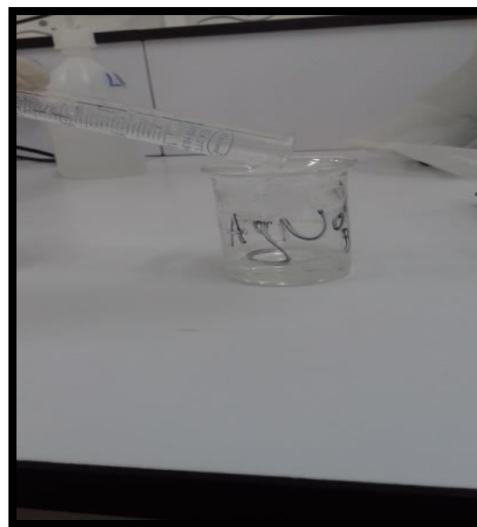


Figure IV-31. Ajouter 10 ml de l'eau distillée

IV-6-5- Dosage de l'azote organique total

- On pèse une portion de solide entre 0,25 g et 1,0 g de sol dans un bécher de 200 ml ou 250 ml, et on met un barreau aimanté dans le bécher pour agiter bien.



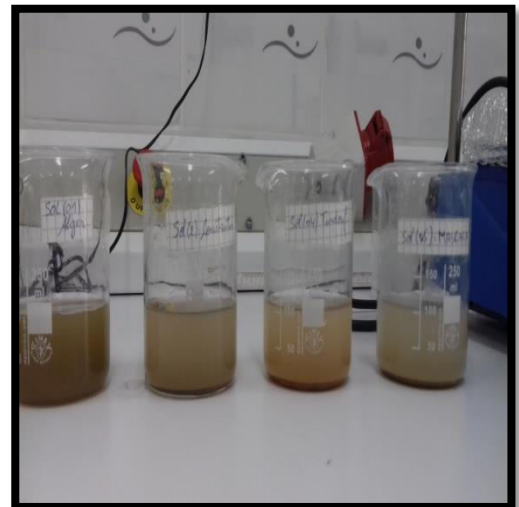
FigureIV-32. La pesée 1 g de sol



FigureIV 33. Placer 1 g de sol dans un bécher contient 100ml d'eau



FigureIV- 34. L'étape de l'agitation.



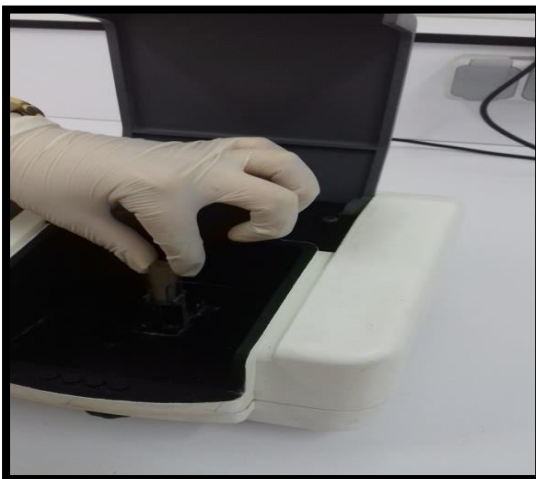
FigureIV-35. Les 4 échantillons.



FigureIV-36. Prélevée une petite quantité pour l'analyse



FigureIV-37. Fixée l'appareil à 540 nm



FigureIV-38. Placer l'échantillon dans la spectrophotomètre



FigureIV-39. L'absorbance de l'échantillon

IV-6-6- Calcul et expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en %C. En considérant les concentrations de sulfate ferreux et du bichromate de potassium, chaque ml de bichromate de potassium qui réagit correspond à 4 mg de C.

Le pourcentage de carbone dans l'échantillon exprimé en %C est déterminé comme suit :

$$C = \frac{(A - B)10 \cdot 0.004 \cdot 100}{P \cdot A}$$

C : concentration de carbone organique (% C) ;

A : volume de sulfate ferreux utilisé pour le témoin (ml) ;

B : volume de sulfate ferreux utilisé pour l'échantillon (ml) ;

10 : volume de bichromate ajouté initialement ;

0,004 : nombre de g de C par ml de bichromate ;

P : poids de l'échantillon titré exprimé sur base sèche (g) ;

100 : facteur pour obtenir un pourcentage.

On peut également calculer la matière organique (M.O.). Le résultat obtenu en carbone est transformé pour obtenir la matière organique présente en prenant comme référence que 58 % du carbone organique de l'humus du sol constitue la matière organique.

$$\% \text{ M.O.} = \% \text{ C} \cdot 1,724$$

Pour l'azote

Déterminer à partir d'une courbe d'étalonnage la concentration d'une solution (sol).

Loi de Béer – Lambert : $A = \epsilon \cdot \ell \cdot C$

ℓ : longueur de la cuve (1 cm en général, avec une précision de 1%) ;

C : concentration de la solution (mol/l) ;

ϵ : absorbance linétique décimale ou coefficient d'extinction spécifique qui dépend de la longueur d'onde. ϵ varie également en fonction des forces intermoléculaires et donc du solvant utilisée.

-Dans une cuve, mettre le solvant (eau distillée) sue lequel on fera le (Zéro optique).

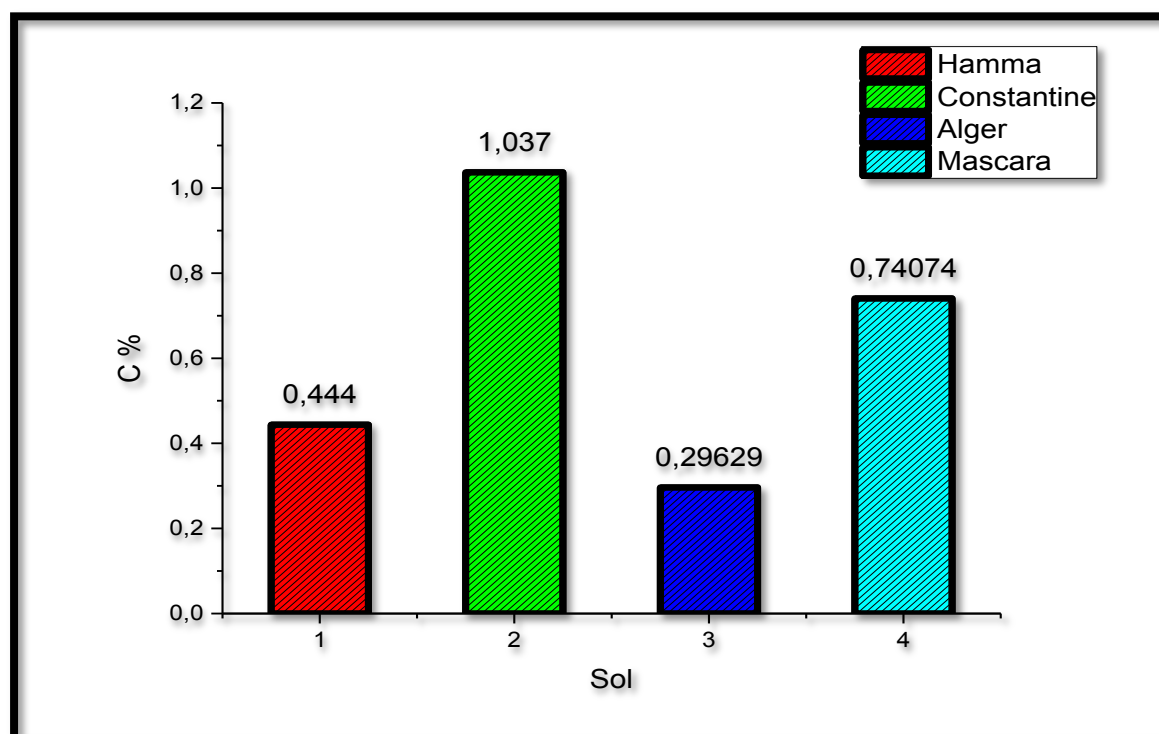
-Dans une autre cuve, mettre une solution de (sol 1).

-La longueur d'onde de travail est constante $\lambda = 540$ nm.

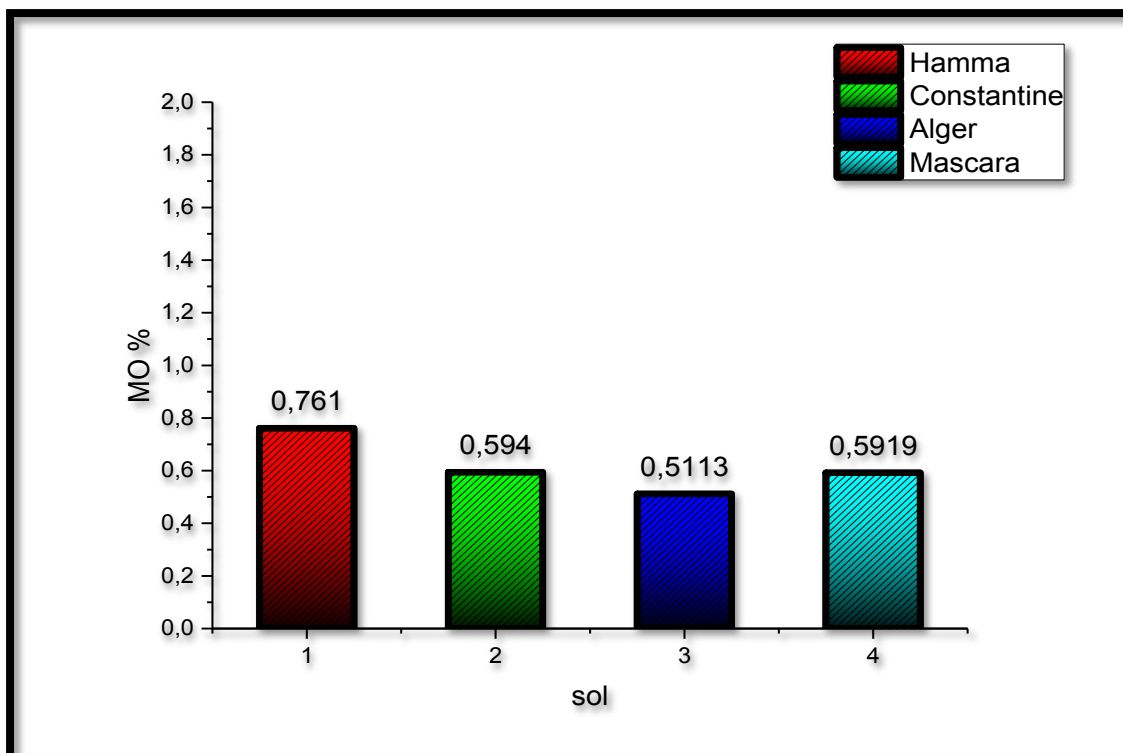
IV-6-7- Résultats :

Tableau VI-1 : résultats des analyses

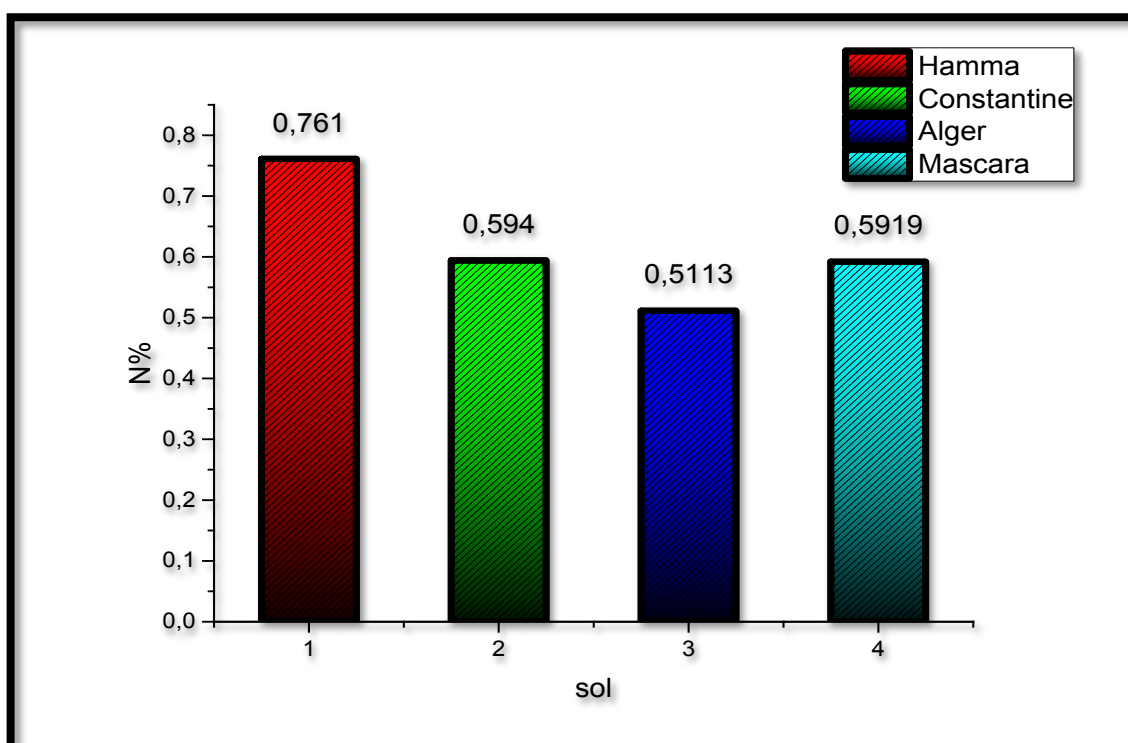
SOL	Horizon	Teneur de CO (%)	Teneur de MO (%)	Teneur de N (%)	Le rapport C/N	Niveau de richesse
Hamma	0-5cm	0,444	0,766	0,761	5,83	Pauvre
Constantine	0-5cm	1,037	1,7877	0,594	17,457	Riche
Alger	0-5cm	0,296	0,5108	0,5113	5,794	Pauvre
Mascara	0-5cm	0,74074	1,277	0,5919	12,514	Moyen



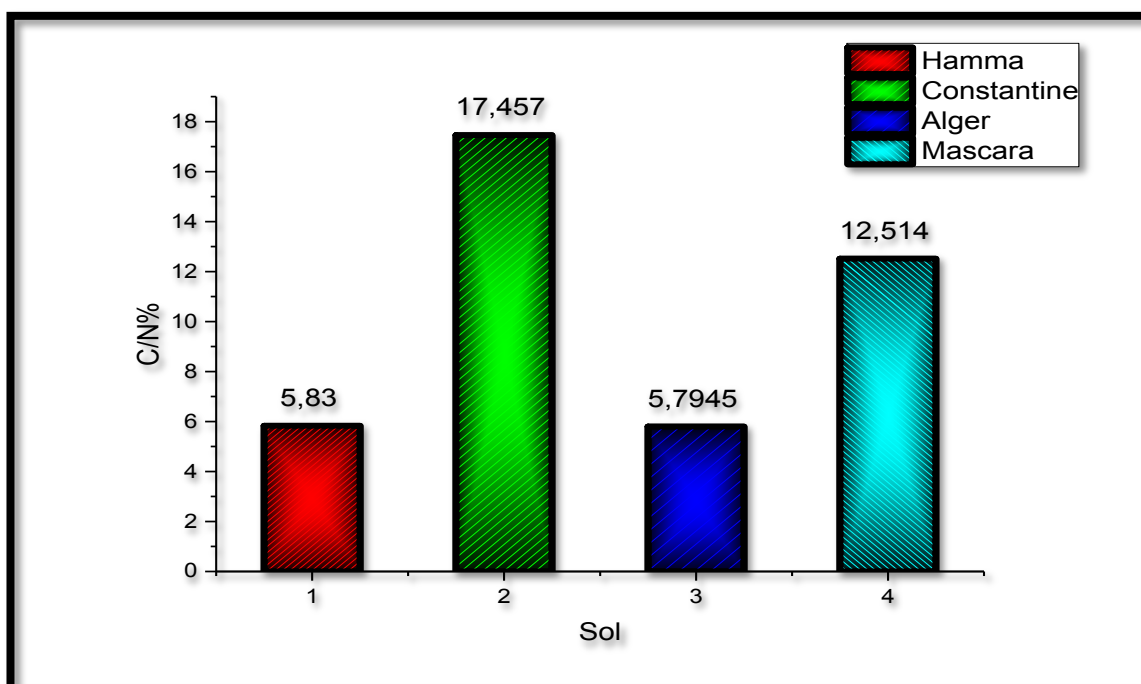
Graphe IV-1 : Teneur de carbone organique dans le sol



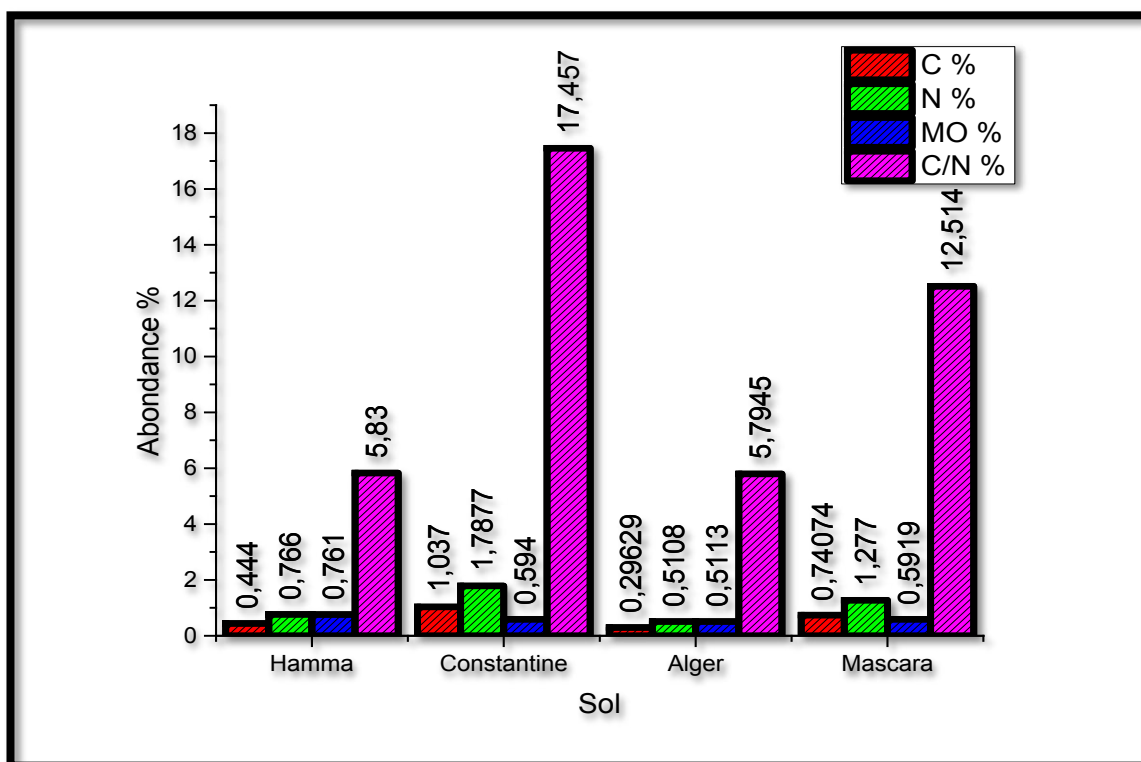
Graphe IV-2 : Teneur de la matière organique dans le sol.



Graphe IV-3 : Teneur de l'azote organique dans le sol.



Graphe IV-4 : La Teneur entre le carbone et l'azote.



Graphe IV-5 : Abondance.

Discussion:**La matière organique**

Pour la plupart de ces unités, la fertilité chimique potentielle a été caractérisée en fonction principalement de la teneur en matière organique des horizons superficiels.

Les résultats obtenus après analyse des échantillons de sol montrent des valeurs de C/N qui sont inférieures à 10. En se référant à la classification du projet PNUD/FAO Gui 72/004 (voir encadré ci-dessous), nous pouvons dire que la matière organique évolue de façon satisfaisante dans ces sols.

Cependant, cela illustre plus la faiblesse de la teneur en matière organique des sols étudiés.

Remarque: Les valeurs élevées sont à relier avec les conditions d'évolution défavorables (acidité, défaut d'aération). D'après Dabin B., une bonne teneur en matière organique dans un sol sableux doit être supérieure à 11 %.

Pour calculer la teneur en matière organique du sol (MO %, ou g/100g de sol sec), la teneur en carbone du sol (C %) est multipliée par un coefficient de valeur 1,72. Cette valeur correspond à la proportion moyenne de carbone dans la matière organique du sol (cette proportion doit être 58%).

Nous avons constaté que les pourcentages de matière organique obtenus après application de cette formule sont inférieurs à 10. Pour les échantillons qui ont fait l'objet d'analyses.

Les matières organiques jouent un rôle important dans le fonctionnement global du sol, au travers de ses composantes qui définissent la notion de fertilité. Elles sont essentiellement décrites par les teneurs en Carbone et en Azote. Les matières organiques jouent un rôle physique, biologique et chimique au niveau des sols. L'évolution de la matière organique incorporée au sol s'accompagne d'une diminution progressive du rapport C/N jusqu'à des valeurs de 10 environ.

C/N: le rapport carbone/azote du sol est un indicateur du plus ou moins bon fonctionnement du sol. La classification des rapports C/N dans les sols est définie dans le projet PNUD/FAO Gui 72/004 comme suit:

- satisfaisant si C/N est inférieur ou égal à 10
- un peu élevé si C/N est compris entre 10 et 12
- assez élevé si C/N est compris entre 12 et 15
- élevé si C/N est supérieur à 15.

L'azote est aussi un élément important de la fertilité des sols. En effet, il est indispensable pour la plante et il constitue un des facteurs essentiels du rendement.

Dans le sol l'azote qui est principalement sous forme organique, se minéralise sous l'action des microorganismes. Cette minéralisation est très liée aux conditions du milieu: température, humidité, aération, PH.

Ainsi la fertilité des sols en azote peut être déterminée à partir d'un abaque proposé par Dabin B. (tableau ci-dessous) qui est fonction de la teneur en azote total et du pH qui propose 5 échelles de fertilité (1 à 5).

<i>Echelle</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>pH</i>	<i>Mauvais</i>	<i>Médiocre</i>	<i>Moyen</i>	<i>Bon</i>	<i>Très bon</i>
<i>4,5</i>	<i>< 0,6</i>	<i>0,6 à 1,2</i>	<i>1,2 à 2,5</i>	<i>>2,5</i>	
<i>5</i>	<i>< 0,45</i>	<i>0,45 à 0,8</i>	<i>0,8 à 1,5</i>	<i>1,5 à 3</i>	<i>>3</i>
<i>6</i>	<i>< 0,3</i>	<i>0,3 à 0,45</i>	<i>0,45 à 0,8</i>	<i>0,8 à 1,5</i>	<i>>1,5</i>
<i>6,5</i>	<i>< 0,2</i>	<i>0,2 à 0,3</i>	<i>0,3 à 0,45</i>	<i>0,45 à 1</i>	<i>>1</i>
<i>7</i>	<i>< 0,1</i>	<i>0,1 à 0,2</i>	<i>0,2 à 0,3</i>	<i>0,3 à 0,45</i>	<i>>0,45</i>

IV- : Les causes :

Il existe plusieurs indices qui ont identifié la pauvreté en MO des sols :

- La présence d'une faible agrégation (le sol comporte beaucoup de fines particules et peu d'agréats-cet indice ne s'applique pas aux sols sableux) ;
- La présence d'une structure massive (le sol est compact et difficile à fragmenter) ;
- L'apparition rapide chez les cultures de symptômes de stress hydrique en période de sécheresse ;
- La formation fréquente d'une croûte en surface à la suite de précipitations de pluie ;
- La présence d'érosion par l'eau ou le vent ;

- Des besoins de fertilisation élevés pour maintenir les rendements (en azote particulièrement).

IV- : Solution pour maintenir et améliorer la teneur en MO des sols :

Deux approches permettant de maintenir ou d'augmenter la teneur en MO des sols :

-réduire les pertes par une minéralisation trop rapide de la MO :

La pratique du sol est la pratique culturale qui à le plus d'influence sur la minéralisation de la MO. Lorsqu'il est trop intensif, il en accélère le processus. Le travail du sol favorise en effet l'aération du sol et accroît l'activité des microorganismes participant à la minéralisation de la MO.

Il peut également rendre le sol susceptible aux pertes de la MO par le biais d'une érosion accrue.

- Les correctifs suivants sont à envisager lorsque le travail du sol favorisé une minéralisation trop intense de la MO :
 - Labourer moins profondément ;
 - Limiter le nombre de passages avec les instruments de travail secondaire ;
 - Remplacer le labour par le travail réduit, la culture sur billons ou le semis direct.

-augmenter les apports de MO :

Il est possible d'augmenter les apports de MO en modifiant certaines pratiques culturales, parmi ces dernières :

- Optimiser la régie de la culture pour favoriser d'une quantité élevée de résidus ;
- Intégrer à la rotation des cultures produisant des quantités importantes de résidus ;
- Employer des engrais organiques comme source de fertilisation ;
- Laisser la paille des céréales au champ ;
- Cultiver des engrais verts.

Conclusion :

L'analyse compartimentale des MO du sol permet une meilleure visualisation de la qualité de la MO du sol. Le conseil portera sur la gestion de la MO et du travail du sol : quantité et qualité des produits organiques à apporter, enherbement etc. ...

La répartition des fractions de MO permettra le choix du produit organique adapté par rapport à son ISB (Indice de Stabilité Biologique). Si déficit de MO liées, on préférera l'emploi d'un produit à fort ISB. A l'inverse, on utilisera un produit à faible ISB pour stimuler la biomasse du sol, et l'enherbement pourra être également envisagé.

Les rapports C/N expliquent l'origine des MO ainsi que leur état d'évolution biologique (« humification »). Retenons que le rapport C/N des matières organiques va baisser tout au long de leur vie dans le sol.

La mise en culture sous irrigation conduit à une accumulation de la matière organique dans les sols de l'Algérie. La plupart des études sur la matière organique dans le monde ont été effectuées principalement sur l'horizon superficiel (0-10 cm, 0-15 cm, ou 0-20 cm).

Cependant, nos résultats indiquent que l'accumulation de la matière organique est plus importante dans les horizons inférieurs (20-50 cm). Dans les sols inondés, compte tenu des différents mécanismes qui interviennent dans l'accumulation de la matière organique et de la lixiviation de la matière organique dissoute, les études devraient concerner tout le profil cultural. Il est important de comprendre et de déterminer les facteurs responsables de l'accumulation de la matière organique et les mécanismes qui y contribuent.

Résumé:

Le rapport carbone sur azote est un indicateur de la capacité d'un produit organique à se décomposer. Lorsqu'une plante ou amendement organique est déposé au sol, il est dégradé par les micro-organismes. Or ceux-ci ont besoin d'azote pour leur constitution.

Si le C/N de l'amendement est supérieur à 25, il y a trop de carbone par rapport à l'azote. Les micro-organismes vont puiser dans les réserves du sol au lieu d'en libérer. C'est le phénomène de faim d'azote.

A l'inverse, si le C/N est inférieur à 25, les micro-organismes vont libérer l'azote en excès, à disposition des plantes.

المخلص :

نسبة الكربون على الازوت هو دليل على قدرة الأرض على تفكيك المادة العضوية إذا وضعنا عشباً أو نبتة في الأرض فإنه يتفكك بسبب الجسيمات الصغيرة (البكتيريا) التي تحتاج بدورها للازوت كي تتشكل إذا كانت نسبة الكربون على الازوت اكبر من خمسة وعشرون أي أنه يوجد الكثير من الكربون بالنسبة للازوت فتصبح البكتيريا حريصة على تخزينه بدل تحليله أو ما يسمى بظاهرة الجوع الازوتي وبالعكس نسبة الكربون على الازوت اقل من خمسة وعشرون فالبكتيريا هنا ستحرض الازوت بوفرة من اجل استغلال النباتات له