

Caractéristiques des métaux lourds étudiés

: a) Plomb

- **Propriétés physico chimiques :**

Symbole : Pb

Masse atomique : 207,2 u

Point de fusion : 327,5 °C

Numéro atomique : 82

Configuration atomique : [Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p²

Le plomb, du latin *plumbum* est un métal mou, gris, habituellement trouvé en petite quantité dans la croûte terrestre à une concentration d'environ 15 mg/kg. Il n'a ni goût ni odeur caractéristique. Il appartient au groupe IV b de la classification périodique des éléments (Huynh, 2009).

C'est un métal qui résiste bien à la corrosion. Il s'oxyde très lentement au contact de l'air en prenant à la surface une couleur blanche. En dépit du fait que le plomb est toxique et écotoxique, il est doté quand même d'une propriété malléable ; ce qui facilite sa manipulation.

- **Propriétés biologiques :**

Tout le monde est exposé à des quantités infimes de plomb par l'air, le sol, la poussière domestique, les aliments, l'eau potable et y compris divers produits de consommation. Quelle que soit la voie de pénétration, une fois absorbé par l'organisme, le plomb emprunte la circulation sanguine et s'accumule dans les tissus, surtout les os, ou est excrété du corps. Une partie de celui-ci est absorbée dans les tissus mous, comme le foie, les reins, le pancréas et les poumons. La demi-vie (temps requis pour que l'organisme excrète la moitié du plomb accumulé) est d'environ 25 ans ; le plomb peut donc demeurer dans l'organisme pendant de nombreuses années après une exposition.

- **Toxicité :**

Le plomb est un élément toxique chez l'homme même à faible dose. Il est classé comme cancérogène depuis quelques années. Une intoxication au plomb se caractérise par des troubles digestifs : forts coliques associés à des douleurs, crampes abdominales, vomissements. Il peut également y avoir des atteintes rénales, des

atteintes au niveau du système nerveux central ainsi que des atteintes hépatiques. Ces différentes atteintes peuvent dans certains cas se révéler mortelles selon la sévérité des lésions.

- **Utilisations :**

La présence généralisée du plomb dans l'environnement est essentiellement due aux activités humaines. Cette origine anthropique est multiple car les utilisations passées ou présentes du plomb sont très nombreuses.

L'utilisation du plomb est directement liée à la métallurgie. Avec deux pics notables : sous l'empire romain pour la production de la monnaie, les canalisations et la vaisselle ; et pendant la révolution industrielle pour l'industrie, l'imprimerie, les peintures et les carburants automobiles. Cette dernière utilisation qui consistait à ajouter du plomb à l'essence comme antidétonant est aujourd'hui prohibée (Miquel, 2001).

Le plomb est très souvent associé au zinc dans les minerais mais aussi à de nombreux autres éléments qui sont en grande partie récupérés lors des opérations métallurgiques à l'exception du fer. Les minerais mixtes Pb-Zn représentent 70 % de la production minière de plomb, les minerais de plomb en représentent 20 %, et 10 % de la production de plomb proviennent d'une coproduction lors du traitement du minerai de cuivre, de zinc ou d'autres métaux. Le principal minerai du plomb est la galène (espèce minérale composée de sulfure de plomb (PbS) très souvent associée à la blende et à la pyrite (Chiffolleau et *al.*, 1999).

Par contre, plus de 90 % du plomb utilisé dans les batteries sont récupérés. Activités métallurgiques : elles comprennent la métallurgie de première fusion lors de laquelle le minerai de plomb subit différents traitements afin d'extraire le plomb et les autres métaux.

b) Cadmium :

- **Propriétés physico chimiques :**

Symbole : Cd

Numéro atomique : 48

Point de fusion : 321,07 °C

Configuration électronique : [Kr] 5s² 4d¹⁰

Le cadmium (Cd) est un métal mou, brillant, blanc argenté ou bleu, que l'on trouve habituellement dans des gisements de plomb, de cuivre ou de zinc. Le cadmium existe généralement sous la forme d'oxyde de cadmium, de chlorure de cadmium ou de sulfate/sulfure de cadmium. C'est dans les gisements de zinc qu'on en retrouve le plus souvent sous forme de sulfure de cadmium. Puisque le cadmium est un sous-produit du traitement des concentrés de zinc, sa production dépend de la demande en zinc (Anonyme, 2009).

- **Propriétés biologiques :**

Le cadmium n'est pas essentiel au développement des organismes, animaux ou végétaux et ne semble pas biologiquement bénéfique au métabolisme cellulaire (Chiffolleau et *al.*, 1999).

Contrairement à de nombreux métaux, le cadmium n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants. Il remplace parfois le Zn dans des systèmes enzymatiques carencés en ce métal et chez le plancton (Price et Morel, 1990; Lane et Morel, 2000). En revanche, ses propriétés physiques et chimiques, proches de celles du calcium, lui permettent de traverser les barrières biologiques et de s'accumuler dans les tissus. (Nakib, 2010).

Le cadmium fait également partie des métaux lourds les plus dangereux. Même à de faibles concentrations, il tend à s'accumuler dans le cortex rénal sur de très longues périodes (50 ans) où il entraîne une perte anormale de protéines par les urines (protéinurie) et provoque des dysfonctionnements urinaires chez les personnes âgées (Bendada et Boulakradeche, 2011).

- **Toxicité :**

Chez l'homme la dose hebdomadaire tolérable (DHT) est de 7 µg de Cadmium par kilogramme de poids corporel et par semaine (FAO /OMS). Il faut noter que, outre la boisson et la nourriture, le tabagisme est une source importante de cadmium notée dans toutes les études épidémiologiques. De la même façon que pour le mercure, le règlement (CE) n° 466/2001 fixe les quantités maximales de cadmium dans les denrées alimentaires à (1 mg/kg poids humide).

Le CIRC a classé le cadmium et ses composés dans le groupe 1, puisqu'il disposait de suffisamment de données étayant la cancérogénicité de ces agents, tant chez les humains que chez les animaux (Anonyme, 2009).

- **Utilisations :**

Le cadmium métal est utilisé pour le revêtement anticorrosion des métaux (cadmiage par électrolyse ou par trempage et pulvérisation au pistolet). La réalisation d'électrodes négatives pour batteries et accumulateurs rechargeables Nickel-Cadmium à l'Argent-Cadmium. La constitution de nombreux alliages avec :

- l'acier (alliage antifriction) : fabrication de roulements à billes
- le cuivre (alliage à haute conductibilité) : fabrication de câbles électriques
- le plomb, l'étain, le zinc, l'antimoine (alliage à bas point de fusion) : fabrication de fusibles, cellules photoélectriques, composants électroniques
- l'or ou le mercure : pour le soudage et le brasage en bijouterie et orfèvrerie, fabrication de barres capteurs de neutrons dans les réacteurs nucléaires.

L'oxyde et l'hydroxyde de Cadmium sont employés pour :

- le cadmiage électrolytique comme agent catalyseur en synthèse organique pour l'oxyde.
- la fabrication d'accumulateurs pour l'hydroxyde.
- le cadmiage électrolytique (iodure et acétate).
- la fabrication de pigments pour peintures, encres, plastiques, émaux, textiles et papiers (chlorure et sulfure jaunes, sulfosélénium rouge-orange).

La fabrication de stabilisants des matières plastiques (chlorure, nitrate) (Cinquandre et *al.*, 2005).

c) Le mercure :

- **Propriétés physico-chimiques :**

Symbole : Hg

Masse atomique ; 200,59 u

Point de fusion ; - 38,83 °C

Numéro atomique : 80

Configuration électronique : [Xe] 6s² 4f¹⁴ 5d¹⁰

Le mercure est le seul métal qui se présente sous format liquide lorsqu'il est soumis dans les conditions normales de température et de pression. Il se présente sous la forme d'un liquide argenté. En dehors des gaz rares, le mercure est le seul élément qui existe sous la forme d'une vapeur monoatomique. Dans l'air sec il ne s'oxyde pas mais forme un oxyde en présence d'air humide.

- **Propriétés biologiques :**

Le mercure n'a aucun rôle particulier dans l'organisme humain. Ce n'est pas un oligo-élément et il est tout simplement toxique pour l'homme quelle que soit sa forme. La vapeur monoatomique du mercure est hautement toxique et plus dangereuse, car plus facile à assimiler par l'organisme par simple inhalation. Ce métal a pourtant tendance à s'accumuler et est très faiblement éliminé par l'organisme.

- **Toxicité :**

Le mercure est un élément très toxique pour l'homme, quels que soient le composé et le degré d'oxydation. Il se fixe facilement dans la matière organique ainsi que les processus métaboliques. Il peut avoir des effets toxiques sur les systèmes nerveux, digestif et immunitaire, sur les poumons, les reins la peau et les yeux.

- **Utilisations :**

Le mercure a diverses utilisations :

- En médecine : il a été longtemps utilisé comme antiseptique (mercurochrome). Depuis 2006, ce produit n'est plus commercialisé en France et aux Etats Unis. Il entre également dans la composition des amalgames dentaires (45-50% de la composition). Précédemment il a été utilisé comme fluide dans les thermomètres ; cet usage a été abandonné et les thermomètres à mercure sont aujourd'hui interdits. Cependant on le trouve encore parfois dans certains tensiomètres.
- En électrochimie : il est utilisé dans la fabrication de certaines piles,
- En industrie : il est utilisé dans la conception de lampes à vapeur de mercure.
-

2.3 Sources de pollution des métaux lourds dans l'environnement :

Les métaux lourds existent naturellement mais en quantité très faibles dans les sols, l'eau et l'air. Certaines activités humaines, comme la combustion du charbon, du pétrole, des déchets et certains procédés industriels sont à l'origine d'une augmentation de ces éléments traces métalliques dans l'environnement.

a) Sources naturelles :

Tous les métaux lourds sont une part constituante naturelle de la croûte terrestre et sont donc toujours présents dans le sol, dans l'eau souterraine et dans l'eau de surface. Les formations géologiques, le sol, les océans et l'atmosphère sont les sources des éléments traces (Fig. 3).

Cycle géochimique simplifié des métaux lourds

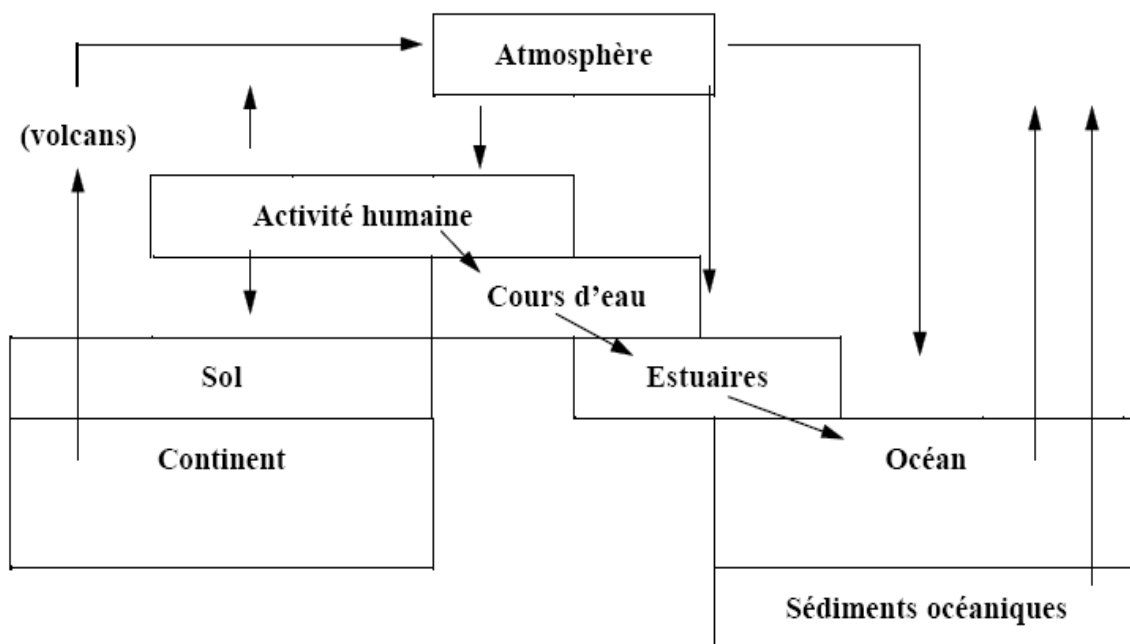


Figure 3 : Cycle géochimique simplifié des métaux lourds (Source : Evaluation de l'impact de la marée noire sur les sédiments marins. Etude de cas : HAP et métaux lourds, juillet 2008)

b) Sources anthropiques :

Les propriétés physiques des métaux lourds les plus intéressantes sont : la conduction de chaleur, l'électricité, la dureté, la malléabilité et alliage. Les sources anthropogènes

responsables de l'augmentation des flux de métaux sont : la pétrochimie, l'énergie fossile, les centrales électriques, le trafic routier, les déchets urbains (Boulkrah, 2008).

Le tableau VIII présente le rapport de flux lié à l'activité humaine et le flux naturel des métaux lourds.

Tableau VIII: Rapport du flux lié à l'activité humaine et le flux naturel des métaux lourds (Biney et *al.*, 1991)

Elément	Flux lié à l'homme / Flux naturel (%)
Plomb	34,583
Mercure	27,500
Cadmium	1, 897

3. TECHNIQUES D'ANALYSES :

Plusieurs techniques ont été mise en œuvre pour l'analyse des métaux lourds. Parmi elles, on peut citer : la chromatographie ionique, l'électrophorèse capillaire, la spectrométrie d'absorption atomique, la spectrométrie de fluorescence X.

Dans ce travail, nous avons utilisé la spectrométrie d'absorption atomique (SAA) et la fluorescence X.

3.1 L'absorption atomique (SAA) :

La SAA est fondée sur le principe que les atomes libres peuvent absorber la lumière d'une certaine longueur d'onde, l'absorption de chaque élément est spécifique, aucun autre élément n'absorbe sa longueur d'onde. L'absorption de lumière par les atomes fournit ainsi un puissant instrument analytique à la fois pour l'analyse quantitative et qualitative. (Bendada et Boullakradeche, 2011).

L'élément à doser doit être en solution diluée. La spectrométrie permet en effet un dosage d'élément sous forme de traces (parties par million ou mg/L). La lampe à utiliser doit émettre des photons dont l'énergie correspond à l'excitation d'un atome (lampe à cathode creuse mono-élément) (Nakib, 2010).

La chaleur nécessaire pour faire passer l'échantillon à l'état gazeux et placer l'élément à doser dans un état « fondamental » est généré par une flamme ou un four de graphite. La SAA de flamme analyse seulement les solutions de fortes concentrations, tandis que la SAA de four de graphite analyse les solutions de faibles concentrations ou à l'état de trace. Le spectromètre doit être préalablement étalonné : l'absorption est convertie par l'appareil en absorbance (ABS) qui est proportionnelle à la concentration de l'élément à doser. On trace une droite d'étalonnage ABS obtenue pour la solution étudiée, ce qui permet d'en déterminer la concentration (Bendada et Boullakradeche, 2011).



Figure 4 : Schéma du spectromètre d'absorption atomique (SAA) (Laboratoire de chimie CERES)

3.2 Technique de fluorescence X :

En spectroscopie de fluorescence X, le rayonnement utilisé pour irradier l'échantillon et le rayonnement détecté sont tous les deux des rayons X. Les rayons X sont des rayonnements électromagnétiques possédant une énergie entre 0.1 keV et 250 keV. La spectroscopie de fluorescence X conventionnelle est confinée dans la bande d'énergie comprise entre 0.5 keV et 50 keV. Il y a quatre modes à travers lesquels les rayons X interagissent avec les atomes : l'absorption photoélectrique, transition par effet Auger, diffusion élastique et inélastique. L'interaction la plus prépondérante en spectroscopie de fluorescence X est l'absorption photoélectrique. Dans cette interaction le photon X est entièrement absorbé par l'atome qui passe à un état excité. Durant sa phase de désexcitation, un rayonnement de fluorescence X de faible énergie est émis et ce rayonnement est caractéristique pour chaque élément. En plus du rayonnement électromagnétique il est aussi possible d'utiliser des particules chargées (électrons, protons, particules alpha, etc.) pour exciter les éléments dans un échantillon et générer un spectre caractéristique de fluorescence X.

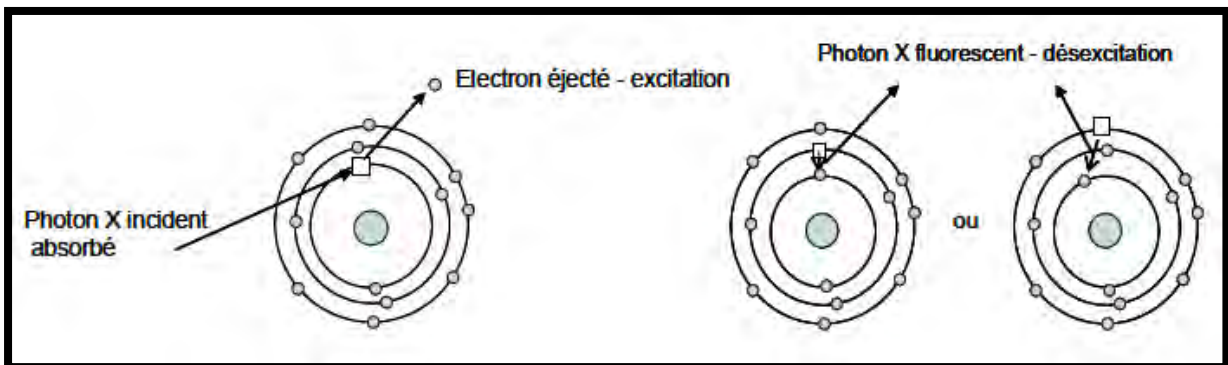


Figure 5 : Technique de la fluorescence X

II. PARTIE EXPERIMENTALE

1. Cadre de l'étude :

1.1. Présentation de la fondation :

La Fondation CERES-Locustox (fig 5) est un Centre Régional de Recherches en Ecotoxicologie et Sécurité Environnementale, Accréditée ISO/IEC 17025 v 2017, reconnue d'utilité publique (Décret N° 99-1297 du 31/12/99) et placée sous la tutelle technique du Ministère chargé de l'Agriculture.

Il est unique dans son genre au niveau de la sous-région ouest africaine et a essentiellement pour mission de veiller sur la sécurité chimique environnementale et de promouvoir la sécurité sanitaire des aliments liée aux résidus de pesticides et aux traces de métaux lourds dans les limites compatibles avec une agriculture saine, durable, productive et compétitive.



Figure 6 : schéma de la présentation de la fondation CERES locustox

1.2. Organisation de la fondation :

La Fondation est structurée comme suit :

- Conseil de Fondation ;
- Conseil Scientifique ;
- ✚ Administration Générale :
 - Administrateur Général ;
 - Conseiller Technique & Coordonnateur des Unités Techniques ;
 - Assistanat de Direction ;
 - Quatre Unités Opérationnelles :
 - Unité Chimie Environnementale (UCE) ;
 - Unité Qualité des Eaux et Engrais (UQEE) ;
 - Unité Biologie (UB) ;
 - Unité Qualité et Réglementation (UQR) ;
- ✚ Deux services :
 - Administratif ;
 - Finances et comptabilités

1.3. Domaines d'activités :

- Recherches en Ecotoxicologie, en général et sur les effets des traitements phytosanitaires sur l'environnement, la santé animale et humaine en particulier ;
- Monitoring environnemental et évaluation de l'impact de la lutte contre les nuisibles à caractère de fléaux (criquets, oiseaux, et moustiques, ...) ;
- Analyse de résidus de pesticides et de traces de métaux lourds sur les récoltes, les produits carnés, les eaux et sols pour les besoins d'autocontrôle et de certification de la qualité ;
- Suivi de la Qualité Environnementale des Traitements Antiacridiens ;
- Réalisation d'essais résidus de pesticides sur cultures maraichères et fruitières pour le compte des tiers ;
- Suivi de l'exposition aux pesticides des applicateurs de produits phytosanitaires et d'agents de la Direction de la Protection des Végétaux et de ceux des usines de formulation de pesticides ;
- Analyse de la qualité de l'eau ;
- Caractérisation des eaux résiduaires ;

- Analyse de la conformité des engrais ;
- Formation-sensibilisation des producteurs sur les risques liés aux pesticides et sur les alternatives à la lutte chimique ;
- Encadrement de stagiaires et étudiants dans le cadre de Mémoires de fin d'Etudes ou de Thèses.

2. Echantillonnage :

Les échantillons ayant fait l'objet de cette étude (fig 6 et 7) ont été prélevés dans différents points de vente de pâte d'arachide. Le choix de site de prélèvement des échantillons a reposé sur la facilité d'accès et leur disponibilité.

Huit (8) sites ont été échantillonnés. Les six échantillons sont des pâtes d'arachides locales prélevées dans différents marchés puis amenées au laboratoire pour analyse, le 7^e échantillon est une pâte d'arachide industrielle que nous avons achetée dans une des grandes surfaces à Dakar. Le dernier échantillon nous a été donné par l'Institut de Technologie Alimentaire (ITA).



Figure 7 : Echantillons de pâtes d'arachide locales



Figure 8 : Echantillon de pâte d'arachide industrielle

3. Matériel et méthodes :

3.1. Dosage du mercure, du plomb et du cadmium dans les échantillons de pâte d'arachide :

a) Préparation des solutions étalons et du blanc:

- Rincer la verrerie avec de l'eau distillée
- Prendre la solution commerciale de 1000 ppm (dilué dans HNO_3), préparer des solutions étalons qui correspondent à la partie linéaire de la courbe $C=f(\text{abs})$
- Préparer une solution d'eau acidifiée: 14 mL de HNO_3 dans environ 2000 mL d'eau distillée

b) Préparation de l'échantillon :

Echantillon de pâte d'arachide :

- Peser 0,1 g d'échantillon
- Ajouter 15 mL de HNO₃ 68%
- Ajouter 9 mL HCl 37%
- Ajouter 0,5 mL HClO₄
- Ajouter 6 mL HNO₃ 1% (tube collecteur)
- Laisser reposer toute une nuit
- Minéraliser à l'aide de la plaque chauffante ODLAB avec une programmation de température (chauffer à 200°C pendant 2 heures)
- Laisser refroidir à la température ambiante
- Transvaser dans une fiole de 50 mL
- Ajuster avec de l'eau acidifiée 0,1 N
- Lecture par SAA

c) Préparation du réducteur le chlorure d'étain pour l'analyse du mercure

- Peser 62,5 g de SnCl₂ dans un ballon
- Ajouter 85 mL de HCl 37%
- Agiter manuellement
- Chauffer jusqu'à dissolution
- Laisser refroidir
- Transvaser dans une fiole de 250 mL
- Ajuster avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge

Lecture par SAA :

- Allumer l'appareil
- Positionner la lampe du mercure
- Régler l'axe des lampes à l'aide d'une carte axiale
- Ouvrir une feuille de travail avec le logiciel
- Plonger chaque tuyau dans la solution correspondante le réducteur

- Ouvrir la bouteille gaz (argon 7,5 bars, pression de sortie)
- Développer la couleur
- Analyse :
 - laisser chauffer la lampe pendant 30 min
 - l'optimisation de la lampe se fait à l'aide de deux vis situées sur le support de la lampe
 - optimiser le signal en présentant le blanc
 - Présenter l'étalon correspondant à la sensibilité : s'il n'y a pas de signal agir sur la lampe ou redéfinir l'échelle
 - Cliquer sur démarrer pour commencer la lecture

Suivre les instructions données par l'ordinateur

d) Dosage du Plomb (Pb) et du Cadmium (Cd) dans la pâte d'arachide :

Le processus d'analyse du mercure est similaire à celui des autres métaux (Plomb, Cadmium..) jusqu'à la minéralisation, la différence survient lors de la lecture au niveau de la SAA.

La méthode utilisée pour le dosage du mercure est la spectrométrie d'absorption atomique par génération de vapeurs froides après digestion sous pression. Cependant pour les autres métaux (plomb, cadmium) on utilise la spectrométrie d'absorption atomique par four graphite.

Lecture par SAA pour le plomb et le cadmium

Une goutte de solution de quelques dizaines de microlitres (environ 1ml) est déposée par un échantillonneur robotisé dans une cuvette contenue dans le four en graphite. L'échantillon est désolvaté, séché à plus de 100°C, pyrolysé et calciné de manière à éliminer la matrice puis atomisé. On détecte l'absorption de la teneur en atomes maintenue dans la cellule durant environ 5s. Cette absorbance est mesurée à l'aide d'une lampe à cathode creuse dont la longueur d'onde est spécifique de l'élément à doser.

Le processus se déroule comme suit :

- Une goutte du minéralisât est déposée dans le tube en graphite ; le four est chauffé progressivement. Ce qui a pour conséquence de soumettre l'échantillon à un programme de séchage, pyrolyse/calcination et atomisation.
- Une lampe à décharge qui émet un rayonnement correspondant à la longueur d'onde de résonance de l'élément à doser ;
- Ce rayonnement est absorbé par les atomes libres de l'échantillon, et seulement par les atomes de l'élément à doser, ce qui nous permet de lier l'absorption lumineuse que l'on mesure à la concentration de l'élément recherché.

Cependant il y a toujours une absorption non spécifique si minime soit-elle. Cette dernière est significativement diminuée par l'emploi d'un correcteur de bruit de fond (lampe au deutérium) ou par la dilution des échantillons.

Pour chaque élément, l'absorbance (A) est calculée par l'ordinateur suivant la loi de Beer Lambert :

$$A = \text{Log} I_0 / I = KLC$$

Avec :

- I_0 : intensité de la radiation monochromatique incidente
- I : intensité de cette radiation après qu'elle soit transmise
- L : trajet optique
- C : concentration de l'élément à doser
- K : coefficient de l'absorption atomique

L'absorbance est égale au rapport I_0 sur I et la transmission est égale au rapport inverse.

3.2. Dosage des protéines dans les échantillons de pâte d'arachide :

Minéralisation

- Peser une prise d'essai de 0.5 g de chaque échantillon, et l'introduire dans les tubes de minéralisation ;
- Ajouter 1g de sulfate de cuivre, 15 g de sulfate de potassium, 20 mL d'acide sulfurique pur et pierre ponce ;
- Laisser reposer pendant 30 minutes ;

- Placer les tubes dans le bloc minéralisateur puis mettre en marche l'appareil sous une hotte ;
- Laisser minéraliser pendant 1heure à 420°C jusqu'à la disparition totale des vapeurs blanches sulfureuses
- Laisser refroidir à température ambiante

Préparation acide borique

- Peser 20 g d'acide borique ;
- Chauffer 500 mL d'eau distillée, puis transvaser dans une fiole jaugée de 1000 mL
- Ajouter les 20 g d'acide borique, 10ml de solution rouge de méthyl, 2 mL de bleu de méthylène ;
- Ajuster jusqu'au trait de jauge.

Distillation

- Mettre dans un erlenmeyer récepteur 30 mL de la solution d'acide borique préparée ;
- Mettre l'appareil de distillation sous tension ;
- Placer le tube contenant l'échantillon minéralisé dans l'appareil de distillation, ouvrir le robinet relié à l'appareil de distillation et appuyer sur START pour commencer la distillation en présence de NaOH 12,5 N
- Recueillir le distillat dans l'erlenmeyer récepteur
- Puis doser l'azote avec l'acide sulfurique 0,1 N.

3.3. Dosage de la matière grasse dans les échantillons de pâte d'arachide

- Peser 10 g de chaque échantillon ;
- Placer la prise d'essai dans la cartouche de l'appareil d'extraction ;
- Utiliser un tampon pour boucher la cartouche ;
- Peser à 1mg près un ballon contenant quelques grains de pierre ponce ;
- Verser dans le ballon contenant la cartouche la quantité de solvant nécessaire ;
- Adapter le ballon à l'appareil à extraction sur la plaque chauffante ;
- Effectuer le chauffage de sorte que le débit du reflux soit d'au moins 3 gouttes par seconde ;

- Procéder à une première extraction de 4 heures, laisser reposer puis faire une deuxième extraction de 4 heures ;
- Après extraction, éliminer par séchage la totalité du solvant du ballon ;
- Laisser refroidir le ballon dans le dessiccateur ;
- Peser le ballon et faire la différence des masses.
- La teneur en matières grasses, exprimée en pourcentage en masse de produit tel quel est donnée par la formule :

$$(M_2 - M_1) / M_0 \times 100$$

Avec :

M₀ : la masse en (g) de la prise d'essai

M₁ : la masse en (g) de la fiole d'extraction vide

M₂ : la masse en (g) de la fiole d'extraction et des matières grasses totales après séchage.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à la qualité biochimique de huit (8) échantillons de pâtes d'arachide (pâte d'arachide locale et pâte d'arachide industrielle). Nous avons analysé les paramètres suivants : protéines, matières grasses, métaux lourds (plomb, cadmium, mercure) et deux nutriments (potassium, phosphore).

1. Matières grasses et protéines :

Ces deux paramètres ont été analysés pour les 2 types de pâte d'arachide, c'est-à-dire la pâte d'arachide locale et la pâte d'arachide industrielle.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau IX :

Tableau IX : Teneurs en matières grasses et protéines

Echantillons	Matières grasses (%)	Protéines (%)
Pâte d'arachide locale	34,14	13,99
Pâte d'arachide industrielle	36,9	15,33
Normes (CIRIHA.org)	50	30

Les teneurs en matières grasses ont été obtenues en utilisant la méthode d'extraction au Soxhlet. Les valeurs varient entre 34,14 et 36,9 %. La valeur minimale est obtenue dans l'échantillon de pâte d'arachide locale. Il n'apparaît pas de différences significatives entre les deux échantillons. Cependant les valeurs obtenues après analyse de ces deux échantillons de pâtes sont inférieures à celles fixées par la norme qui est de 50 %.

Les teneurs en protéines des différents échantillons ont été obtenues en utilisant la méthode de Kjeldal. Les valeurs varient entre 13,99 et 15,33 %. L'échantillon de pâte d'arachide industrielle présente une teneur en protéine plus élevée que celle de la pâte locale. Il n'apparaît pas aussi de différences significatives entre les deux échantillons.

On note cependant une différence significative entre la teneur en protéines des deux échantillons analysés et celle fixée par la norme qui est de 30 %.

2. Métaux lourds :

Pour cette étude, nous nous sommes intéressés aux métaux considérés comme toxique pour l'organisme, en l'occurrence le plomb, le cadmium et le mercure.

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau X :

Tableau X : Quantité de métaux en mg/kg dans les pâtes d'arachide

Echantillons	Plomb (mg/kg)	Cadmium (mg/kg)	Mercure (mg/kg)
Pâte d'arachide locale (ITA)	2,12	0,29	1,08
Pâte d'arachide industrielle	1,46	0,22	0,74
Marché Cambérène	< 0,01	17,31	< 0,05
Marché Zinc	< 0,01	13,65	< 0,05
Marché Niary Tally	< 0,01	16,46	< 0,05
Marché Tilène	< 0,01	13,07	< 0,05
Marché Diaobé	< 0,01	11,5	< 0,05
Marché Dior	< 0,01	14,26	< 0,05
Normes (CODEX STAN 193)	0,1	0,1	0,03

Les résultats d'analyses des différents échantillons de pâtes ont montré que les polluants métalliques recherchés (plomb, cadmium et mercure) ont été retrouvés dans les échantillons étudiés à des concentrations très hétérogènes. Les teneurs variant entre 0,22 et 17,31 mg/kg sont largement supérieures à celles fixées par la norme CODEX STAN 193-1995.

Le cadmium est présent dans tous les échantillons mais les échantillons prélevés dans les marchés Cambérène, Zinc, Niary Tally, Tilène, Diaobé et Dior ont des teneurs en Cadmium très élevées.

Le plomb et le mercure ne sont présents que dans l'échantillon de pâte d'arachide locale de l'ITA et dans l'échantillon de pâte d'arachide industrielle. Pour les autres

échantillons les teneurs en plomb et mercure sont inférieures à la limite de détection de l'appareil utilisé.

3. Nutriments :

L'analyse des métaux lourds par la XRF fluorescence a permis de détecter la présence de quelques nutriments comme le phosphore et le potassium qui sont des éléments essentiels pour l'organisme.

Le tableau XI rapporte les valeurs trouvées en mg/kg de quelques nutriments présents dans les échantillons de pâtes d'arachide.

Tableau XI : Valeurs mesurées de quelques nutriments dans les échantillons de pâtes d'arachide par XRF fluorescence

Echantillons	Phosphore (mg/kg)	Potassium (mg/kg)
Marché Cambéréne	11270,37	52070,32
Marché Zinc	12852,29	61394,68
Marché Niary Tally	13071,18	53394,03
Marché Tilène	13594,54	56639,11
Marché Diaobé	10764,27	46838,63
Marché Dior	8987,58	43413,74

Les résultats montrent que la teneur en phosphore des différents échantillons de pâtes d'arachide varie entre 8987,58 et 13594,54 mg/kg. En comparant ces différentes concentrations trouvées on peut dire que l'échantillon du marché Tilène est plus riche en phosphore que les autres échantillons.

Les concentrations en potassium des échantillons de pâtes d'arachide varient entre 43413,74 et 61394,68 mg/kg. L'échantillon du marché Dior présente la plus petite valeur contrairement à l'échantillon du marché Zinc qui est plus riche en Potassium. Ces résultats montrent que la pâte d'arachide est très riche en éléments nutritifs à savoir le phosphore et le potassium.

Cette étude a permis de confirmer la problématique de la présence des métaux lourds dans les aliments. La présence des métaux lourds peut être due à une contamination du sol de culture, de l'eau d'arrosage, des pesticides et engrais utilisés, du stockage de la graine d'arachide non décortiquée et décortiquée etc. D'où la nécessité de mettre en place des plans de surveillance afin de contrôler les aliments commercialisés sur le marché sénégalais.

CONCLUSION

Dans le cadre de ce travail, nous avons réalisé une étude comparative de la qualité des pâtes d'arachides (locale et industrielle) commercialisées au Sénégal.

Nous avons analysé dans les échantillons prélevés les teneurs des éléments traces métalliques (plomb, cadmium, mercure) et deux macroéléments (potassium et phosphore). De même, les teneurs en matières grasses et protéines ont été déterminées.

Les concentrations des métaux lourds varient entre 0,22 et 17,31 mg/kg. Nous avons noté que les valeurs trouvées dans les échantillons de pâtes d'arachide industrielles sont plus faibles. Le cadmium est présent dans tous les échantillons et les teneurs trouvés sont supérieurs à la norme autorisée (0,1 mg/kg). Les concentrations des nutriments (phosphore et potassium) varient entre 8,9 et 61,39 g/kg.

Enfin les valeurs des teneurs, en protéines et matières grasses dans les pâtes d'arachide (locale et industrielle), sont comparables et inférieures aux normes autorisées.

Cette étude permettra aux autorités d'avoir des premières données sur la pâte d'arachide commercialisée au Sénégal. En effet l'Etat devra mettre en place des mécanismes de contrôle des denrées brutes et transformées de manière industrielle mais aussi de manière artisanale.