

**ETUDE SUR L'ANALYSE DU
NIVEAU DE POLLUTION
DES DETERMINANTS
ENVIRONNEMENTAUX DANS
LA ZONE D'IMPLANTATION
DES ICS**

ANNEE : 2022

TABLE DES MATIÈRES

SIGLES ET ABREVIATIONS	3
LISTE DES CARTES	4
LISTE DES GRAPHES	4
LISTE DES PHOTOS	4
LISTE DES TABLEAUX	4
INTRODUCTION	5
I. CONTEXTE GENERAL	6
I.1. La problématique	6
I.2. Objectif général de l'étude	6
I.3. Objectifs spécifiques	6
I.4. Approche méthodologique	6
II. ICS ET SES ACTIVITES	8
II.1. Les ICS	8
II.2. Les activités des ICS dans la zone	8
III. ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES	11
III.1. Résultats d'analyses des fumés de soufre sur les feuilles et sèves d'arbres	11
III.2. Résultats d'analyse du phosphore sur les feuilles et sèves	12
III.3. Résultats des analyses Physicochimiques des eaux et des sols	13
III.4. Discussions	16
IV. RECOMMANDATIONS	19
CONCLUSION	19
BIBLIOGRAPHIE	20
WEBBIBLIOGRAPHIE	21
ANNEXES	21

SIGLES ET ABREVIATIONS

AMT	Apport Maximal Tolérable
CO	Oxyde de Carbone
CO2	Dioxyde de Carbone
CSPT	Compagnie Sénégalaise des Phosphates de Taïba
COV	Composés Organiques Volatiles
GES	Gaz à Effet de Serre
HSE	Hygiène Sécurité Environnement
H2SO4	Acide Sulfurique
H3PO4	Acide Phosphorique
ICS	Industries Chimique du Sénégal
MCV	Maladie Cardio-Vasculaire
NOx	les Oxydes d'Azote
PM	Particules Fines
SH2	Sulfure d'Hydrogène
SOx	les Oxydes de Soufre
XRT	Spectromètre de Fluorescence des Rayons X (X-Ray Fluorescence)

LISTE DES CARTES

Carte 1. L'industrie du phosphate de Taïba au Sénégal : front minier et tensions locales	9
--	---

LISTE DES GRAPHES

Graphe 1:Taux de soufre	12
Graphe 2: Taux de phosphore	13
Graphe 3: Taux de phosphore dans les eaux de Gade et au niveau de la mer Weuta	14
Graphe 4: Taux de phosphore sur les sols de Gade, Tobène et Darou-khoudoss-Mboro	15

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Village Gade, images prises le 04 février 2022	7
Photo 2:Village Tobène, images prises le 04 février 2022	7
Photo 3: Lieu de déversement, images prises le 10 février 2022	8
Photo 4: Dépôt des poussières et fumés d'acide des mines sur la végétation et les cultures	17
Photo 5 : soufre qui coule des camions au bord de la route	18

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Résultats d'analyse sur le soufre	11
Tableau 2: Les seuils de toxicité du soufre	11
Tableau 3: Résultats d'analyse sur le Phosphore	12
Tableau 4: Résultats d'analyse d'eau de robinet et de mer en mg/L	13
Tableau 5: Résultats des analyses des sols	14

INTRODUCTION

La présente étude porte sur l'analyse du niveau de pollution des déterminants environnementaux dans la zone d'implantation des Industries Chimiques du Sénégal (ICS). La zone d'étude se situe dans les communes de Darou-Khoudoss, Taiba Ndiaye, Méouane et Mboro. L'entreprise dénommée les Industries Chimiques du Sénégal (ICS) est le siège d'une grande exploitation minière. Le secteur des ICS est compris dans la région naturelle des Niayes située sur la Grande Côte, au nord-ouest du Sénégal. L'usine se situe dans la commune de Darou Khoudoss, arrondissement de Méouane, département de Tivaouane et région de Thiès. Elle a pour activité l'exploitation de phosphate, la fabrication d'acide phosphorique et d'engrais. L'entreprise ICS est considérée comme un levier important qui contribue à la création d'emplois et au développement, bien qu'elle fasse l'extraction de phosphate. De ce fait, son activité est cadrée par les réglementations nationales. Lesquelles réglementations visent à réduire la pollution de l'eau, de l'air, des sols et des écosystèmes engendrés par la production à grande échelle liée à la compétitivité. D'où la nécessité de la mise en place des politiques écologiquement responsables dans un contexte mondial marqué par le Développement Durable. En effet, il s'agit, à travers cette étude, d'analyser et d'évaluer les impacts des activités des ICS sur l'environnement et sur la santé des populations environnantes. Ce qui revient à dire qu'il y a une nécessité de la mise en place des stratégies et des mesures préventives tendant à réduire les impacts négatifs des activités sur les milieux physiques, biophysiques et socioéconomiques de la zone d'implantation.

La présente étude ne s'intéressera pas seulement à l'impact environnemental des ICS, mais aussi aux conséquences sanitaires qu'engendrent les effets négatifs des polluants dans la zone environnante.

Le travail sera donc structuré en quatre parties.

- ▶ Une première partie relative au contexte général, l'intérêt de l'étude et la méthodologie utilisée.
- ▶ Une seconde partie est consacrée sur les activités des ICS et leur impact sur la zone.
- ▶ Une troisième partie est réservée à l'interprétation des résultats des analyses physico-chimiques.
- ▶ Une quatrième partie qui s'intéresse aux recommandations de l'étude et enfin une conclusion générale.

I. CONTEXTE GENERAL

I.1. La problématique

Les activités industrielles ont des impacts positifs comme négatifs sur l'homme, la faune et la flore et le milieu physique. L'exploitation minière est à l'origine d'une bonne partie des émissions mondiales de gaz à effets de serre (GES) tels que les oxydes d'azote (NOX) et dioxyde de soufre (SOX) et aussi des poussières (PM10 et PM2.5) et de métaux lourds. De ce fait, un certain nombre de mesures est nécessaire pour atténuer les incidences négatives prévisibles de l'exploitation minière.

Le phosphate est un produit très utile mais dont l'exploitation constitue un risque potentiel sur la santé publique et sur l'écosystème si les mesures ne sont pas mises en œuvre pour une bonne protection. L'analyse de la nature et de l'importance des impacts négatifs liés à l'exploitation du phosphate montrent que les gênes et nuisances seront causées aux environnants, notamment les habitants qui sont aux alentours immédiats de la frontière minière (front minier) et de l'usine. Déjà, dans cette zone à vocation rurale, il y a une transformation du paysage, mais aussi une emprise sur les activités du secteur primaire. Car, la fabrication de phosphate, dans un milieu aussi sensible que la zone des Niayes, cause d'énormes nuisances telles que le bruit sonore, l'utilisation de l'eau en grande quantité, la dégradation des ressources naturelles... Tout au long du processus, elle impacte négativement l'environnement à travers l'émission de poussière polluante, de gaz nocifs et de vibrations des machines durant l'exploitation. A cela s'ajoute la forte concentration humaine aux alentours de l'entreprise (commerces et autres activités) qui est assujettie aux conséquences des effets nocifs émanant de l'exploitation du phosphate dans la zone. Les mines détruisent, lors de leur exploitation, une partie de la flore et des paysages et font fuir la faune.

En effet, la transformation de la matière première extraite en produit final est un processus qui consomme beaucoup d'énergie, et le procédé chimique de fabrication est de surcroît émetteur de gaz à effet de serre.

Il faut noter également que l'industrie minérale requiert de transports susceptibles de provoquer de nuisances écologiques. Cette situation alarmante interpelle les entreprises extractives à repenser leur mode de production en intégrant des politiques sociales et environnementales dans leur plan d'action. Lesquelles politiques consisteront à prendre en compte l'amélioration du cadre de vie des populations des communes environnantes.

I.2. Objectif général de l'étude

L'analyse du niveau de pollution et les impacts environnementaux et sanitaires des activités des ICS dans la zone d'implantation.

I.3. Objectifs spécifiques

Faire l'analyse de l'impact environnemental des ICS au niveau de la zone par des mesures des polluants :

- ▶ Sols,
- ▶ Eaux ;
- ▶ Pollution atmosphérique.

I.4. Approche méthodologique

Dans le cas de cette étude, une démarche méthodologique a été adoptée conformément aux exigences de la commande. Elle relate les différentes étapes pour mener à bien l'étude. La méthode adoptée dans le cadre de cette étude commence par une revue documentaire qui permet de recueillir des données secondaires ; puis une descente sur le terrain pour observation directe et recueillir des données primaires auprès des acteurs et des personnes ressources des différentes structures en place ; enfin les analyses physicochimiques et l'exploitation des résultats.

L'observation directe

Elle a été une étape essentielle en ce sens qu'elle a permis de voir l'intensité, l'étendue des effets directs sur l'environnement et indirects sur l'homme, la consistance et la diversité de l'exposition des produits.

La zone des Niayes est un territoire particulièrement convoité grâce à plusieurs facteurs comme : la proximité de la mer, les centres urbains, la disponibilité en eau, l'adaptabilité du sol, le climat favorable et pour terminer le potentiel minéral dans le sous-sol. L'agriculture est considérée comme l'activité économique la plus pratiquée par la population dans la zone des Niayes. Ainsi, la zone des Niayes a une vocation maraîchère, arboricole et fruitière. L'implantation des ICS dans la zone des Niayes pour exploiter le phosphate représente à tous les niveaux un danger pour l'environnement (extraction, transformation et transport). L'exploitation à ciel ouvert occupe une grande partie de la zone et est à l'origine de plusieurs problèmes tels que les phénomènes de défrichements, les pertes de terres agricoles, les poussières, la pollution chimique, l'épuisement des nappes phréatiques, etc...

Les entretiens avec les populations

Ils sont adressés à la population riveraine et aux ouvriers des ICS pour mieux connaître le degré d'exposition de la pollution ainsi que les conséquences directes et indirectes dans la zone environnante de l'entreprise. Pour les ouvriers, l'objectif visé est de savoir si les conditions répondent à leurs aspirations et respectent les normes HSE.

L'objectif recherché était de bien situer la problématique et d'avoir une guide pour les zones les plus impactées et les plus sensibles.

Choix des zones pour les prélèvements

Compte tenu des visites d'observation sur le terrain, quatre (4) zones stratégiques ont été choisies :

- **Zone 1 - Gade Ngomène** : situé dans la commune de Taïba Ndiaye, les villages de Gade Ngomène et Ngomène sont considérés comme le centre du front minier (une île qui est entourée par les mines des ICS).

Photo 1 : Village Gade, images prises le 04 février 2022



- **Zone 2 - Tobène** : situé au sud des ICS, le village de Tobène dans la commune de Méouane constitue un point stratégique compte tenu de sa proximité avec le prolongement du front minier et aussi sa proximité avec le système qui transporte le phosphore vers l'usine.

Photo 2 : Village Tobène, images prises le 04 février 2022



Zone 3 – Darou Khoudoss / Mboro : situé au nord de l'usine juste à la délimitation entre Darou khoudoss et Mboro. C'est la zone la plus proche de l'usine et du dépôt des déchets de phosphogypse (gypse non naturel, issu du traitement industriel des minerais phosphatés, pour la fabrication de l'acide phosphorique) des ICS.

Zone 4 – Weuta –Mer (nord-ouest de Mboro) : dans cette partie de la plage de Weuta se trouve les installations pour le déversoir des déchets liquides des ICS au niveau de la mer.

Photo 3 : Lieu de déversement, images prises le 10 février 2022



II. ICS ET SES ACTIVITES

II.1. Les ICS

Le phosphate est exploité par la Compagnie Sénégalaise des phosphates de Taïba (CSPT) depuis 1960. C'est qu'en 1984, avec le démarrage de la première unité de fabrication d'acide phosphorique des Industries Chimiques du Sénégal (ICS), qu'une part croissante du minerai est transformée localement. En 1996, le Groupe des ICS, avec la fusion-absorption des ICS et de la CSPT qu'a commencé la valorisation de minerai en engrais et l'entreprise développe une grande souplesse dans la politique de production et de vente (site web ics).

Il y a trois sites que sont : le site acide à Darou Khoudoss, les sites des mines et le site d'engrais à Dakar. Les Industries Chimiques du Sénégal, grâce aux trois sites (mines, engrais, acides) sont aujourd'hui l'une des plus grandes industries de fabrication d'acide phosphorique et d'engrais en Afrique.

II.2. Les activités des ICS dans la zone

Les industries minières sont généralement implantées à proximité des mines, ce qui leur permet d'éviter de supporter des coûts de transport élevés. Les ressources primaires sont directement issues du milieu naturel par extraction.

Le processus de production se fait par étape suivant trois ateliers : les ateliers utilités, les ateliers sulfuriques et les ateliers phosphoriques. Pour chaque atelier, il est nécessaire de voir son but, sa description mais surtout son procédé.

► Les ateliers utilités

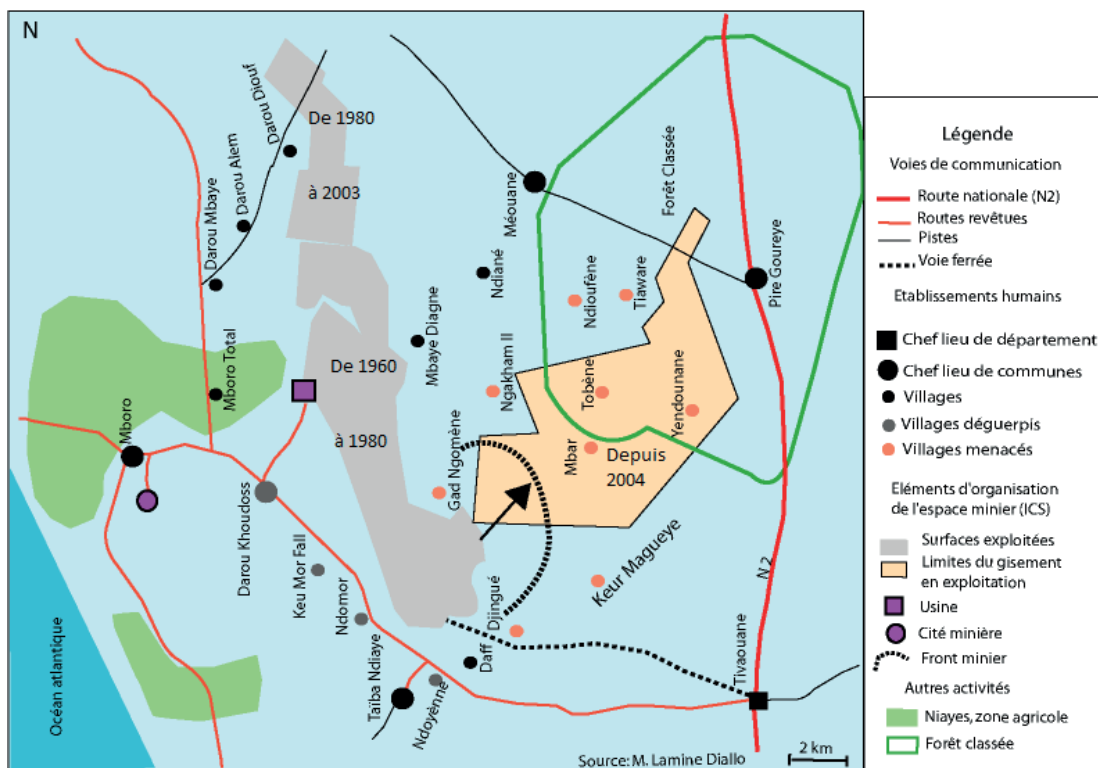
Les ateliers utilités jouent le rôle de soutien aux deux ateliers de production d'acides, ils les approvisionnent en eau, vapeur, air et énergie.

► Les ateliers Sulfuriques

Grâce à l'importation du soufre du port de Dakar aux ICS, ces ateliers sont à l'origine de la production de l'acide sulfurique (H_2SO_4). On notera bien que cette production n'est utilisée que pour l'attaque du minerai de phosphates lors de la production de l'acide phosphorique (H_3PO_4). Ces ateliers produisent de l'acide sulfurique mais participent aussi à une très grande production de vapeur et d'électricité.

Les ateliers Phosphoriques

Ces ateliers produisent l'acide phosphorique et constituent le cœur des ICS car le but majeur, c'est la production en grande quantité. Ces ateliers sont soutenus par les deux précédents pour un bon rendement de production.



Carte 1. L'industrie du phosphate de Taïba au Sénégal : front minier et tensions locales

Et plus récemment Kër Magor, Ndoiyène et Mbar. Les villages déplacés sont réinstallés dans d'autres localités des communes de Darou Khoudoss, Taïba Ndiaye, Méouane et Pire Goureye. Ces personnes subissent des préjudices liés au changement d'environnement social et économique, de certaines activités génératrices de revenus telles que les bergers et les maraîchères.

La pollution de la phase d'exploitation est énorme notamment les impacts environnementaux liés à l'occupation d'une bonne partie de la zone et de la pollution atmosphérique des ateliers d'acides. La pollution sonore et atmosphérique qu'engendre la ligne de production du phosphate a provoqué la destruction de la biodiversité et à cela s'ajoute les effets néfastes de la mise en service de la centrale électrique alimentée à charbon. La destruction d'arbres entraîne des perturbations du milieu écologique avec des conséquences socio-économiques désastreuses dans la zone.

En effet, la pollution et les nuisances affectent la santé humaine (le bien être en général) du personnel et des populations autochtones. Les bruits et la dispersion des poussières par le vent accentuent des effets néfastes. L'exploitation du phosphate est à l'origine de rejets de polluants dans l'air et d'émissions sonores. Chacune de ces opérations engendre des pollutions directes ou indirectes affectant les éléments de la nature.

On peut citer à titre d'exemples :

- **Les particules de poussière (PM 10 et PM 2.5) :** Plus une particule est fine, plus elle peut pénétrer profondément dans les voies respiratoires et donc sa toxicité potentielle est élevée. Les plus grosses particules (PM 10) sont retenues par les voies respiratoires supérieures. Les plus fines (PM 2.5) peuvent se retrouver dans le système sanguin. Certaines particules peuvent avoir des propriétés mutagènes et cancérigènes.

Dans l'environnement, les poussières absorbent et diffusent la lumière, limitant la visibilité. Elles suscitent la formation de salissure par dépôt et peuvent avoir une odeur désagréable.

- ▶ **Les oxydes de carbone (CO et CO₂)** : Selon le niveau d'exposition, le CO peut provoquer des affections bénignes (vertiges, maux de tête), des problèmes cardiovasculaires ou neurologiques et peut même entraîner le coma ou la mort pour les cas les plus sévères.

Ces gaz participent à l'acidification de l'air, des sols et des cours d'eau. Ils concourent aussi à la formation d'ozone troposphérique de GES.

- ▶ **Les oxydes de soufre (SO_x)** : Ce sont des gaz irritants. Des expositions courtes à des valeurs élevées (250 µg/m³) peuvent provoquer des affections respiratoires surtout chez les personnes sensibles. Ils entraînent également des irritations des muqueuses de la peau.

En présence d'eau, les SO_x forment de l'acide sulfurique (H₂SO₄) qui contribue comme l'ozone à l'acidification de l'environnement. La famille des SO_x figure parmi les gaz responsables des pluies acides.

- ▶ **L'oxyde d'azote (NO_x)** : Il est une source croissante de la pollution de l'air et contribue à l'effet de serre et au dérèglement climatique. Acidifiant et eutrophisant, il constitue la principale source de pluies acides.

Les NO_x sont des gaz irritants pour les bronches. Ces molécules pénètrent facilement les bronchioles, affectent la respiration et provoquent une hyperactivité des bronches chez les asthmatiques ainsi qu'une vulnérabilité accrue des bronches aux microbes, au moins chez les enfants.

- ▶ **L'ozone (O₃)** : Dans la basse atmosphère ou troposphère, ce gaz se transforme en polluant. Respiré en grande quantité, il est toxique, nuisible au système respiratoire et provoque la toux. Il peut également causer des irritations oculaires.

En quantité très élevée, l'ozone peut avoir des conséquences dommageables pour l'environnement. Il provoque une acidification qui perturbe la composition de l'air, des eaux de surface et du sol. Ce gaz porte atteinte à la chaîne alimentaire et dégrade les bâtiments et les cultures.

- ▶ **Les métaux lourds** : Cette famille comprend le plomb (Pb), le mercure (Hg), l'arsenic (As), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni). Les métaux proviennent de la combustion des charbons, pétroles, d'exploitations minières, ordures ménagères mais aussi de certains procédés industriels. Ils peuvent :

- affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques et respiratoires ;
- contaminer des sols et des aliments ;
- accumuler dans les organismes vivants et perturbation de l'équilibre biologique.

- ▶ **Les composés organiques volatils COV** : Les composés organiques volatils sont libérés lors de l'évaporation des carburants, par exemple lors du remplissage des réservoirs, ou par les gaz d'échappement. Ils provoquent des irritations et une diminution de la capacité respiratoire, et certains composés sont considérés comme cancérigènes.

- ▶ **Les phosphates (PO₄³⁻)** : Les phosphates sont les principaux responsables des phénomènes d'eutrophisation et de dystrophisation. En effet, non toxiques en eux-mêmes pour la vie animale et végétale, ils portent atteinte à l'environnement dès lors qu'ils sont en fortes concentrations.

- ▶ **Les odeurs** : Les odeurs constituent plus une gêne qu'un réel danger, car elles sont perceptibles bien en dessous des seuils de toxicité admissible. La perception d'une odeur varie en fonction de la concentration du corps odorant.

- ▶ **Le bruit** : Tout son qui dérange est un bruit. Le bruit est défini comme tout phénomène acoustique produisant une sensation désagréable ou gênante. Le son est une variation acoustique capable d'éveiller une sensation auditive. Tout son est dû à une variation de la pression régnant dans l'atmosphère engendrée par une source sonore. Cette variation de pression est appelée pression acoustique. Les molécules d'air agitées vont et viennent autour d'une position moyenne un certain nombre de fois par seconde, ce nombre est la fréquence. Les effets auditifs sont nombreux :

- la fatigue auditive est un phénomène réversible, c'est une diminution temporaire de l'acuité auditive surtout pour une fréquence 500-4000 Hz ;
- la surdité est un phénomène irréversible (le trou s'installe d'abord vers les fréquences aigües puis s'étend).

III. ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES

III.1. Résultats d'analyses des fumées de soufre sur les feuilles et sèves d'arbres

La spectrométrie par fluorescence XRF, une technique analytique qui permet d'obtenir des analyses quantitatives élémentaires a été utilisée.

Tableau 1 : Résultats d'analyse sur le soufre

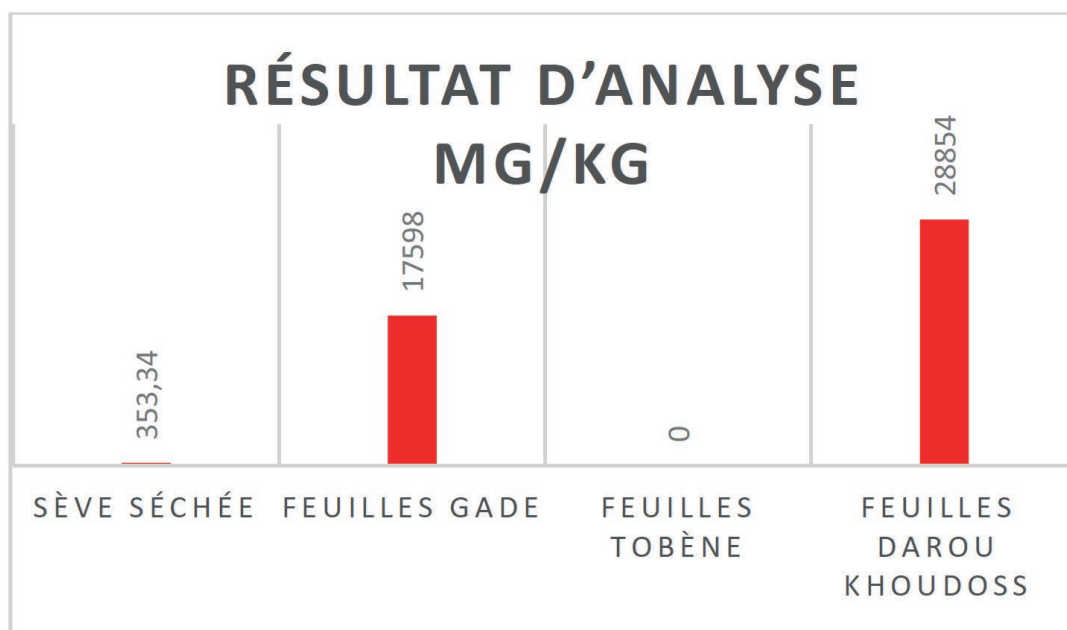
Echantillon	Résultat d'analyse mg/kg
Sève séchée	353,34
Feuilles Gade	17598
Feuilles Tobène	<LOD
Feuilles Darou Khoudoss (mangue)	28 854

Tableau 2 : Les seuils de toxicité du soufre

Toxicité	Valeur Limite-Normes OMS
Toxicité orale aiguë Toxicité :	> 8437 mg/kg
Toxicité cutanée aiguë :	> 2000 mg/kg
Toxicité aiguë par inhalation :	> 5.43 mg/L

Les résultats d'analyse des fumées de soufre sur les prélèvements de feuilles montrent des concentrations qui dépassent plus de deux fois la toxicité aiguë, plus de huit (8) la toxicité cutanée, et plus de trois mille (3000) fois la toxicité aiguë par inhalation au niveau de Gade. A Darou Khoudoss ces valeurs sont trois fois plus, plus de quatorze fois (14) et plus de cinq mille (5000) fois pour la toxicité aiguë par inhalation. Au moment où les échantillons de feuilles prélevés à Tobène ne présentent aucun danger sur l'organisme humain. Ce qui s'explique par la distance importante entre Tobène et les ateliers d'acide de l'usine. Il faut noter aussi au niveau de Gade, la présence de soufre même sur les sèves sèches des arbres morts (353,34).

Graphe 1 : Taux de soufre



La forte présence de soufre sur les feuilles et sèves d'arbres à Gade et Darou Khoudoss-Mboro montre et confirme aussi la **pollution atmosphérique des ateliers d'acides des ICS**. Les conséquences sont très visibles sur le terrain (voir photo 1). La zone est très délabrée avec une forte déforestation sans oublier les conséquences sur la santé humaine (**exemple le rapport de l'ICP de Taïba Ndiaye du 13 octobre 2014 en annexe**).

III.2. Résultats d'analyse du phosphore sur les feuilles et sèves

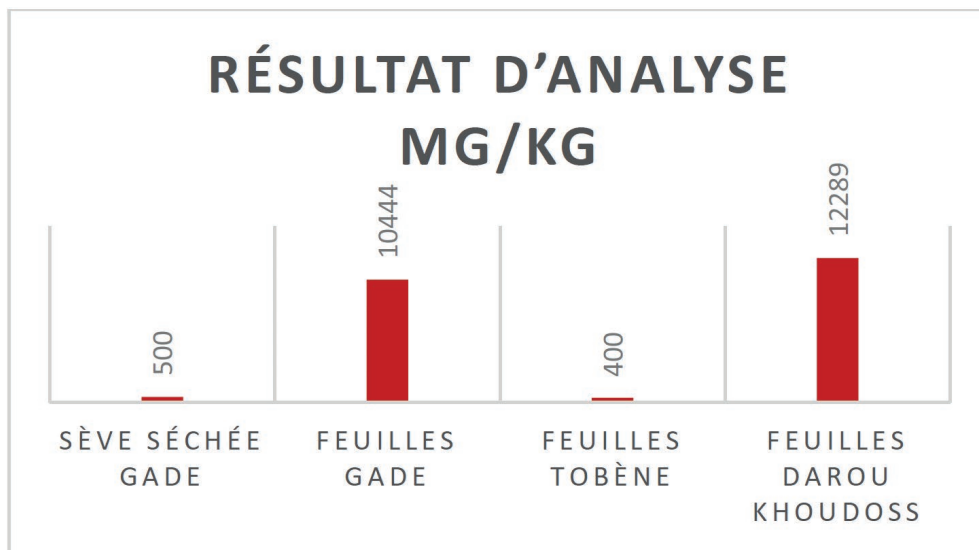
La spectrométrie par fluorescence XRF, une technique analytique qui permet d'obtenir des analyses quantitatives élémentaires a été utilisée.

Tableau 3 : Résultats d'analyse sur le Phosphore

Echantillon	Résultat d'analyse mg/kg
Sève séchée	500
Feuilles Gade	10444
Feuilles Tobène	400
Feuilles Darou Khoudoss (mangue)	12289

Les importants taux de phosphore sur les feuilles et sèves d'arbres confirment encore une forte pollution de fumés des ateliers d'acides phosphoriques et des poussières (PM) des mines. Il faut noter aussi que la zone de Tobène commence à subir l'effet de la pollution avec la traversée qdu front minier. **Les résultats montrent une forte exposition au phosphate au niveau de la zone.**

Graphe 2 : Taux de phosphore



Rien que sur la base des valeurs en apport journalier (1000 mg/jour ou plus) et les pathologies liées, nous pouvons alarmer et confirmer sur les **risques sanitaires dont les populations de la zone sont exposées**.

Les taux de Gade et de la frontière de Darou khoudoss-Mboro sont très importants voir même excessifs.

III.3. Résultats des analyses Physicochimiques des eaux et des sols

III.3.1. Analyse des eaux

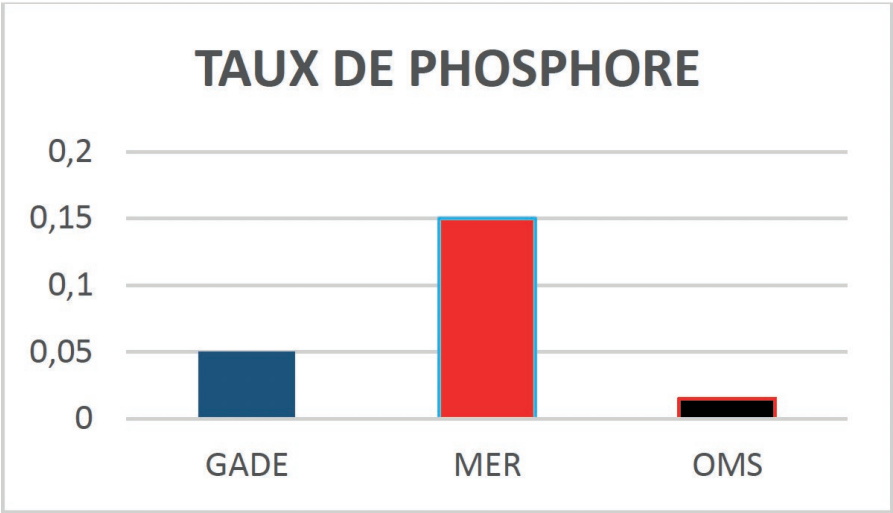
L'absorption atomique a été pour les analyses des sols. C'est une méthode d'analyse très précise et particulièrement sensible utilisée pour la détermination de la concentration des minéraux en solution. Le protocole a été réalisé suivant les normes Afnor.

Tableau 4 : Résultats d'analyse d'eau de robinet et de mer en mg/L

Eléments	Gade	Mer Weuta	Normes OMS
pH	5,14	6,06	6.5–9.2
Chlorures (mg/l)	71	17927,5	<200
Bicarbonate (méq/l)	2,28	1,14	
Carbonates (méq/l)	00	0,44	<50
TH (°f)	14,2	660	<15
Conductivité (µS/cm)	458	55	<400
Résidu sec (mg/l)	370	357510	<1000
Nitrates (mg/l)	5,26	13,45	<50
Sulfates (mg/l)	<0,1	<0,1	<250
Calcium (mg/l)	23	23	<200
Sodium (mg/l)	46	11615	<150
Potassium (mg/l)	3,87	13,95	<12
Magnésium (mg/l)	9,45	13,06	<50
Fer (mg/l)	0,47	0,29	<0.5
Phosphate (mg/l)	0,05	0,15	<0.015

La présence du phosphore à une telle concentration peut être expliquée par la nature de la roche endogène et les conséquences liées à des pratiques et méthodes non respectueuses de l'environnement par les ICS. En ce qui concerne l'eau de mer, le taux de phosphore confirme le non traitement des déchets des ICS qui sont directement déversés au niveau de la mer.

Graph 3: Taux de phosphore dans les eaux de Gade et au niveau de la mer Weuta



Sur les analyses effectuées l'élément qui suscite inquiétude est le phosphore qui a une concentration dépassant plus de trois fois la normale au niveau de Gade.

Le déversement des déchets des ICS au niveau de la mer est une catastrophe écologique avec des conséquences sanitaire et économique (la pêche locale). Ces composés phosphorés se retrouvant concentrés dans les eaux peuvent mettre en péril toute l'équilibre de ces écosystèmes avec de graves problèmes (perte de poissons et le développement des algues bleues vertes).

III.3.2. Analyses Physicochimiques des sols

L'absorption atomique a été pour les analyses des sols. C'est une méthode d'analyse très précise et particulièrement sensible utilisée pour la détermination de la concentration des minéraux en solution. Le protocole a été réalisé suivant les normes Afnor.

Tableau 5 : Résultats des analyses des sols

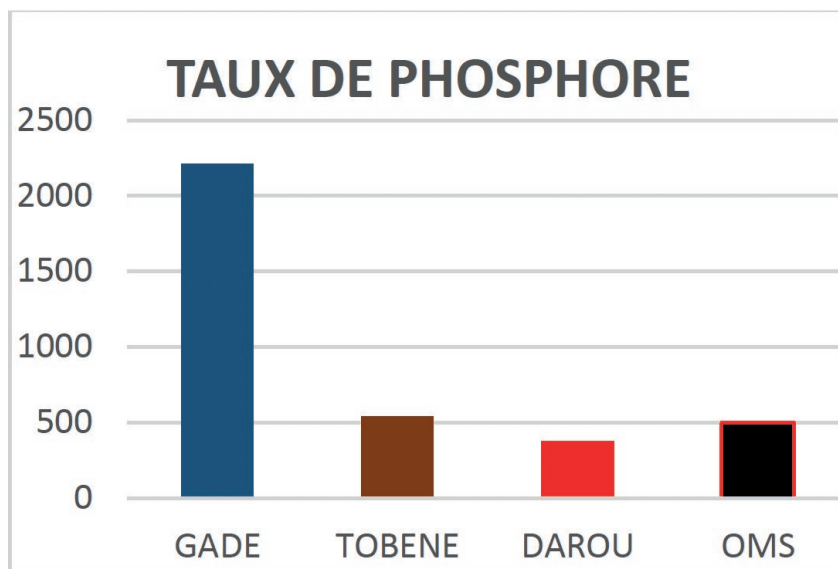
Eléments	Gade	Tobéne	Darou	Niveau maximal admissible dans les sols (mg/kg) OMS 1996
As (mg/kg)	0,28	0,38	0,21	<20
Cd (mg/kg)	0,88	0,88	0,83	<0,8
Cr (mg/kg)	1,10	1,44	1,27	<100
Cu (mg/ml)	2,29	1,95	2,12	<36
Hg (mg/kg)	0,80	0,86	0,73	<1.9
Pb (mg/kg)	0,24	0,28	0,27	<100
Zn (mg/kg)	4,15	3,73	3,90	<50
Soufre (mg/kg)	<LOD	<LOD	<LOD	-
Phosphate (mg/kg)	2211,00	542,00	375,00	500–800 mg/kg

En dehors du soufre et le phosphore, il est aussi important de faire l'analyse des métaux. Les métaux lourds dans le sol proviennent à la fois de sources naturelles et anthropiques. Les sources naturelles sont principalement attribuées à la lithogénèse, à la météorisation, à l'érosion et à d'autres processus géologiques. Les sources anthropiques comprennent l'exploitation minière, les activités industrielles, les émissions du trafic et les activités agricoles (principalement l'utilisation de pesticides et d'engrais chimiques). L'exploitation minière, les activités industrielles et les émissions du trafic ont été considérées comme les principales sources anthropiques de la pollution des sols par les métaux lourds. Dans le processus d'exploitation minière, les métaux lourds d'origine géologique peuvent être libérés dans l'environnement. Rodríguez et al. (2009) ont signalé que les teneurs en Pb, Zn, Cd près des zones minières étaient significativement plus élevées que celles de la zone non affectée. Les métaux lourds et leurs composés sont fréquemment utilisés comme catalyseurs et additifs chimiques dans les processus industriels. Par conséquent, les sols peuvent être pollués par les émissions industrielles.

Les métaux lourds présents dans les sols agricoles peuvent présenter un risque pour la santé humaine, lié à la consommation des cultures et à l'exposition chronique aux particules du sol. Il a été rapporté que l'exposition chronique au cadmium (Cd) provoque des adénocarcinomes pulmonaires, des cancers du poumon, des dysfonctionnements rénaux et des fractures osseuses. L'exposition à long terme, à de fortes doses de zinc (Zn), affecte l'équilibre du cholestérol et la fertilité. Le plomb (Pb) a des effets néfastes sur les enzymes sanguines et le système nerveux central. L'exposition chronique à l'arsenic (As) peut entraîner une hyperkératose, des lésions cutanées et des cancers du poumon, de la vessie et du rein. Le mercure (Hg) peut s'accumuler dans les tissus gras après une exposition à long terme et peut endommager le système nerveux central humain. Le cuivre (Cu), le chrome (Cr) et le nickel (Ni) ont également des effets néfastes sur la santé humaine lorsque les expositions dépassent les niveaux de dose tolérable.

Des taux excessifs de phosphore sont trouvés à Gade. Il faut noter une forte concentration de phosphore à Tobène (le prolongement du front minier). Ces résultats confirment une sévère pollution des activités des ICS due à leurs pratiques non respectueuses de l'environnement.

Graph 4: Taux de phosphore sur les sols de Gade, Tobène et Darou-khoudoss-Mboro



La forte concentration du phosphore dans la zone va entraîner une pollution des sols en métaux, micropolluants organiques et micro-organismes pathogènes. L'excès de phosphore contribue à l'eutrophisation des sols et des eaux de surface et aussi peut introduire des métaux lourds comme le cadmium dans l'environnement. Ce qui explique certainement nos taux élevés de cadmium (0.88, 0.88 et 0.83 de Gade, Tobène et Darou khoudoss respectivement).

III.4. *Discutions*

Au regard de ces résultats, force est de constater l'existence d'une pollution atmosphérique, des eaux et des sols sévères dans la zone en soufre et phosphore. Les activités des ICS perturbent tout l'écosystème avec des conséquences environnementales et sanitaires multiples. Avec des taux de soufre et de phosphore excessifs, la situation des villages comme Gade et Ngomene et du village de Darou-khoudoss et sa frontière avec Mboro est plus que catastrophique et il est urgent de prendre des mesures nécessaires pour améliorer leur cadre de vie.

Le soufre chauffé et sec peut dégager des gaz toxiques de sulfure d'hydrogène (SH₂) et d'oxydes de soufre (SOX). À partir des niveaux de concentration croissants, ces gaz peuvent provoquer une irritation des yeux et des voies respiratoires. L'exposition à de fortes concentrations peut entraîner l'arrêt respiratoire, la perte de conscience et la mort si les personnes sont exposées à de fortes concentrations de sulfure d'hydrogène qui n'a pas d'odeur pouvant servir d'avertissement.

Cette situation est très préoccupante dans la mesure où cette localité est habitée par des paysans qui pratiquent des activités pouvant créer la formation de ces composés toxiques. En présence d'agents oxydants, métaux alcalins, hydrogène, chlore, fluor, le soufre peut former des mélanges explosifs avec des oxydants puissants tels que les chlorates, les perchlorates et/ou les nitrates.

- ▶ **Sur la Peau et Œil :** le soufre fondu en contact avec la peau provoque des brûlures thermiques. Le soufre fondu dans les yeux provoque des brûlures et des dommages des lésions permanentes. L'exposition aux vapeurs de soufre peut être irritante pour les yeux. Le contact des poussières avec les yeux peut être irritant aussi.
- ▶ **Inhalation :** Les poussières peuvent être irritantes pour la gorge et les poumons. L'inhalation de faibles niveaux de vapeurs contenant du sulfure d'hydrogène ou du dioxyde de soufre peut produire une irritation des voies respiratoires caractérisée par des éternuements, de la toux, des maux de gorge et des douleurs thoraciques. À des concentrations croissantes, l'exposition au sulfure d'hydrogène et au dioxyde de soufre peut entraîner un œdème pulmonaire, des étourdissements, des nausées, une paralysie respiratoire, une perte de conscience et la mort. Les asthmatiques peuvent être plus sensibles aux expositions du dioxyde de soufre.
- ▶ **Ingestion :** L'ingestion de soufre sec peut provoquer une irritation de la bouche et des maux de gorge.
- ▶ **Chronique :** Le contact répété ou prolongé avec la poudre de soufre sec peut être irritant pour les yeux et la peau chez certains individus, entraînant des dermatites, de l'eczéma, des ulcères cutanés et des réactions allergiques. L'exposition répétée à la poussière par inhalation peut provoquer des bronchites et des irritations des muqueuses et des voies respiratoires. L'exposition prolongée à de faibles niveaux de dioxyde de soufre produit des problèmes respiratoires chez les animaux.

Le phosphore est un élément essentiel dont ont besoin tous les organismes vivants. Il s'agit également d'une ressource non renouvelable qui dépend exclusivement des phosphates de roche extraits. L'apport de phosphore est crucial pour la production alimentaire, car toutes les plantes ont besoin d'un apport adéquat pour une croissance réussie. Une pénurie de phosphore entraîne une réduction du rendement des cultures. Les aliments pour le bétail contiennent également du phosphore minéral ajouté pour compléter l'alimentation des animaux. L'agriculture est de loin le principal utilisateur de phosphore miné au niveau mondial, représentant entre 80 et 90% de la demande mondiale totale²¹. Mais une forte exposition au phosphate peut provoquer **de maladies ou être un facteur aggravant et aussi des phénomènes d'eutrophisation**.

- ▶ **Toxicité du phosphate :** Comme toutes les extractions et transformations minières, les mines de phosphate transforment profondément le paysage, extrait de grandes quantités d'eau des systèmes d'eau voisins et peuvent contaminer l'eau, le sol et l'air autour des mines. Les mines de phosphate sont impliquées dans des modifications importantes des systèmes d'approvisionnement en eau, comme en Floride, où les résidents proches d'une grande mine de phosphate sont en conflit juridique au sujet des dommages causés à leur approvisionnement en eau potable. L'ingestion de phosphore blanc ou jaune élémentaire provoque généralement des vomissements et une diarrhée

sévères, qui sont tous deux décrits comme fumants, luminescents et ayant une odeur d'ail. Les autres signes et symptômes d'un empoisonnement grave peuvent inclure la dysrythmie, le coma, l'hypotension et la mort. Le contact avec la peau peut provoquer de graves brûlures en quelques minutes ou quelques heures.

Bien que le statut phosphoré ne soit pas généralement évalué, le phosphate peut être mesuré à la fois dans le sérum et le plasma. Chez les adultes, la concentration normale de phosphate dans le sérum ou le plasma est de 2,5 à 4,5 mg/L (0,81 à 1,45 mmol/L)

- **Maladies cardiovasculaires (MVC) :** Plusieurs études d'observation confirment l'existence d'un lien entre des taux élevés de phosphate et le risque de MCV chez les personnes ayant ou non des antécédents de MCV. Par exemple, une analyse portant sur 14 675 participants (55% de femmes) sans fibrillation auriculaire a révélé, sur la base d'un suivi de près de 20 ans, que chaque augmentation de 1 mg/L du taux de phosphate sérique était associée à un risque accru de 13% de fibrillation auriculaire²⁴.

Les apports élevés en phosphore peuvent produire des effets indésirables chez les personnes en bonne santé. Certaines études ont montré des associations entre des apports élevés en phosphore (1000 mg/jour ou plus) et des effets néfastes sur le système cardiovasculaire, les reins et les os, ainsi qu'un risque accru de décès²⁵. L'Apport Maximal Tolérable (AMT) de phosphore provenant des aliments et des suppléments pour les personnes en bonne santé est donc fondé sur des apports associés à des concentrations sériques normales de phosphate.

Les ICS utilisent des matières premières extraites près de la surface du sol. Des dégradations ne peuvent être observées au site de l'extraction. Les impacts sur le paysager sont les plus visibles, ils se traduisent par une modification du milieu physique. L'implantation de l'usine dans une zone agricole affecte les revenus procurés par la production agricole, les personnes les plus concernées sont les agriculteurs et éleveurs. Les dépôts de poussières le long des axes des mines et de circulation entraînent une multiplication des feuillaisons des arbres, et accentuent le stress des jeunes pieds de plantes qui croissent difficilement, alors que les plantes âgées semblent bien s'adapter. L'effet de la pollution atmosphérique sur l'environnement est divers et complexe par exemple les arbres et les produits maraîchers dépérissent pour des causes variées.

Photo 4 : Dépôt des poussières et fumées d'acide des mines sur la végétation et les cultures



Les terres sont fertiles à la culture maraîchère mais la pollution atmosphérique et les poussières des mines (PM) compromettent leur développement. La nuisance atmosphérique, sonore et la vibration gênent les villages environnants, le mouvement des véhicules exacerbe les habitations les plus proches. Les effets de la pollution sonore sur la santé peuvent se manifester selon le niveau sonore enduré et la durée. Les villages les plus proches de l'usine (Gade et Darou-Mboro) sont particulièrement les plus touchés par cette pollution atmosphérique, sonore et vibration. La poussière produite par les mines a des conséquences néfastes sur la santé et sur les cultures maraîchères. Les polluants affectent dangereusement le sol et contaminent la nappe phréatique, donc endommagent les sources d'eaux. Ce qui se traduit par des conséquences directes sur l'agriculture, l'élevage et les eaux potables que consomme la population. L'exploitation du phosphate et la fabrication d'acide sulfurique et phosphorique dans la même zone

constitue un danger majeur aux impacts négatifs de large envergure à savoir la consommation d'énergie et les émissions dans l'air de gaz à effets de serres (GES). La partie du corps de l'être humain la plus touchée par les polluants rejetés par les ICS sont les poumons qui sont une vaste surface d'échange. L'appareil respiratoire a une fonction essentielle, celle des échanges gazeux (apport d'oxygène et élimination de gaz carbonique) et ses poussières causent des maladies respiratoires et des allergies.

Le développement rapide des produits de l'industrie chimique entraîne de sévères rejets de produits toxiques et de déchets industriels dans la nature, au niveau des cours d'eaux et des océans. A cela s'ajoute les effets liés au transport des produits chimiques (soufre, acide, déchets, etc..) ne respectant pas les normes HSE. Ils se desservent et coulent sur la route en mettant en danger la population et le milieu physique.

Photo 5 : Soufre qui coule des camions au bord de la route (photo prise le 10 février 2020 juste à la sortie de Mboro vers Notto)



Analysant dans le détail les contraintes majeures liées à l'implantation de l'entreprise les ICS dans la zone ainsi que les perturbations diverses qui en découlent, nous en déduisons une baisse notoire des revenus provenant de différentes exploitations dont les fruits, le maraîchage, l'agriculture sous pluies, l'élevage, et la commercialisation des produits de la cueillette (source enquêtes).

IV. RECOMMANDATIONS

La cohabitation entre les communes et l'entreprise ICS doit être dans les conditions respectueuses de l'environnement pour un bon brassage entre les deux entités. La population est très exposée aux impacts négatifs de l'usine (pollution atmosphérique, des sols et des eaux ; l'approfondissement des nappes phréatiques). L'entreprise doit prendre des mesures nécessaires adéquates pour remédier ces problèmes. Les recommandations ci-dessous sont adressées aux ICS dans le but d'**améliorer le cadre de vie de la population environnante** :

- ▶ Accélérer le recasement des populations vulnérables (proche ou entouré par le front minier) ;
- ▶ Mise en place d'une bonne gestion et traitement des déchets ;
- ▶ Moderniser l'usine avec des méthodes beaucoup plus respectueuses de l'environnement ;
- ▶ Réhabiliter les zones après exploitation ;
- ▶ Organiser des journées de reboisement dans la zone ;
- ▶ Créer des espaces verts dans l'usine, autour de l'usine et des mines pour limiter la propagation des poussières vers les habitations et la déforestation ;
- ▶ Organiser des journées de consultation médicale dans les villages impactés ; Aménager des voies de parcours autour des mines pour faciliter le déplacement des populations ;
- ▶ La certification aux différentes normes est nécessaire.

CONCLUSION

Les enjeux de la pollution restent pour les pouvoirs publics et pour les populations une question d'intérêt commun. Les conséquences de la dégradation de l'environnement par la pollution des ICS revêtent un coût économique et social aussi bien pour les services de l'Etat que pour le grand public qui en ressent les conséquences.

L'Etat, à travers ses structures compétentes doit contrôler les activités des ICS pour définir des stratégies d'abattement dans l'optique de réduire les effets de la pollution sur la zone et la santé des populations, il se doit de créer un système destiné à informer les populations du niveau de concentration des polluants. En effet, l'information est à la base de la participation, un des principes du développement durable. Une population bien informée est plus encline à participer à tout processus ayant un impact sur son cadre de vie et sur sa santé. Ce qui va permettre aux différentes cibles de comprendre la pollution, ses manifestations et ses effets sur la santé et sur l'environnement, la prévention, la participation à la limitation des émissions de polluants et à la formation d'éco-citoyens sensibles à la question environnementale. Cette participation peut être renforcée en impliquant les populations en tant qu'acteurs de la lutte contre la pollution des ICS.

Compte tenu des résultats des analyses physicochimiques et des constats sur le terrain, la pollution des ICS constitue un **creuset de perturbations écologiques**. Et face aux effets négatifs des polluants de l'entreprise les ICS sur la santé des populations environnantes et la qualité de leur environnement, des comportements éco-citoyens est plus nécessaire pour façonner de véritables acteurs de la lutte anti-pollution. Une participation efficiente des populations, des relais, des sentinelles et la création d'une plateforme est indispensable pour que les ICS puissent prendre sérieusement en compte les recommandations.

BIBLIOGRAPHIE

1. Arnaud Berger et Al, Le développement durable - (Repères pratiques N°73) – 2018
2. Emile Durkheim, 1997, Les règles de la méthode, PUF, Paris. Page 19
3. Mouhamadou Lamine Diallo, L'industrie du phosphate de Taïba au Sénégal : front minier et tensions locales, <https://doi.org/10.4000/vertigo.18301>
4. Stafilov, T., Sajin, R., Boev, B., Cvetkovic, J., Mukaetov, D., Andreevski, M., Lepitkova, S., 2010. Distribution of some elements in surface soil over the Kavadarci region, Republic of Macedonia. *Environ. Earth Sci.* 61, 1515e1530
5. Anju, M., Banerjee, D.K., 2012. Multivariate statistical analysis of heavy metals in soils of a PbeZn mining area, India. *Environ. Monit. Assess.* 184 (7), 4191e4206
6. Gu, Y.G., Li, Q.S., Fang, J.H., He, B.Y., Fu, H.B., Tong, Z.J., 2014. Identification of heavy metal sources in the reclaimed farmland soils of the Pearl River estuary in China using a multivariate geostatistical approach. *Ecotox. Environ. Safe* 105, 7e12
7. Han, W.Y., Zhao, F.J., Shi, Y.Z., Ma, L.F., Ruan, J.Y., 2006. Scale and causes of lead contamination in Chinese tea. *Environ. Pollut.* 139, 125e132
8. Rodríguez, L., Ruiz, E., Alonso Azc_arate, J., Rinc_on, J., 2009. Heavy metal distribution and chemical speciation in tailings and soils around a PbeZn mine in Spain. *J. Environ. Manag.* 90 (2), 1106e1116
9. Gowd, S.S., Reddy, M.R., Govil, P.K., 2010. Assessment of heavy metal contamination in soils at Jajmau (Kanpur) and Unnao industrial areas of the Ganga Plain, Uttar Pradesh, India. *J. Hazard Mater.* 174 (1e3), 113e121
10. Krishna, A.K., Govil, P.K., 2008. Assessment of heavy metal contamination in soils around Manali industrial area, Chennai, Southern India. *Environ. Geol.* 54 (7), 1465e1472
11. Boim, A.G.F., Melo, L.C.A., Moreno, F.N., Alleoni, L.R.F., 2016. Bioconcentration factors and the risk concentrations of potentially toxic elements in garden soils. *J. Environ. Manag.* 170, 21e27
12. Liu, B.L., Ai, S.W., Zhang, W.Y., Huang, D.J., Zhang, Y.M., 2017. Assessment of the bioavailability, bioaccessibility and transfer of heavy metals in the soil-grainhuman systems near a mining and smelting area in NW China. *Sci. Total Environ.* 609, 822e829
13. Oliver, M.A., 1997. Soil and human health: a review. *Eur. J. Soil Sci.* 48, 573e592. Pan,
14. D., Wu, P.G., Jiang, X.G., 2016. Levels and potential health risk of heavy metals in 14. Zukowska, J., Biziuk, M., 2008. Methodological evaluation of method for dietary heavy metal intake. *J. Food Sci.* 73 (2), 21e29
15. Huang, P., McBride, B.B., Xia, H.P., Li, N.Y., Li, Z.A., 2009. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Sci. Total Environ.* 407, 1551e1561
16. Kaufmann, R.B., Staes, C.J., Matte, T.D., 2003. Deaths related to lead poisoning in the United States, 1979e1998. *Environ. Res.* 91 (2), 78e84
17. Hughes, M.F., 2002. Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. *Toxicol. Lett.* 133 (1), 1e16
18. Lee, C.S., Li, X.D., Shi, W.Z., Cheung, S.C., Thornton, I., 2006. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: a study based on GIS and multivariate statistics. *Sci. Total Environ.* 356, 45e61
19. Clarkson, T.W., 1987. Metal toxicity in the central nervous system. *Environ. Health Perspect.* 75, 59e64.
20. USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2000. Risk Based Concentration Table. United States Environmental Protection Agency, Washington DC.
21. Childers DL, Corman J, Edwards M & Elser JJ (2011). Sustainability challenges of phosphorus and food: solutions from closing the human phosphorus cycle. *Bioscience*, 61: 117-124
22. Calcium, Magnesium, and Phosphate, DOI:10.1309/LMGLMZ8CIYMFNOGX Corpus ID: 57957709

23. Calcium, phosphate and calcium phosphate product are markers of outcome in patients with chronic heart failure. <https://dx.doi.org/10.1007/s40620-014-0075-y>
24. Impact of Phosphorus-Based Food Additives on Bone and Mineral Metabolism DOI: 10.1210/jc.2015-2279
25. High dietary phosphorus intake is associated with all-cause mortality: results from NHANES III doi: 10.3945/ajcn.113.073148. Epub 2013 Nov 13

WEBOBIBLIOGRAPHIE

1. <https://www.ics.sn/>

ANNEXES

1. Résultats d'analyses physicochimiques
2. Norme OMS
3. Rapport de l'ICP de Taïba Ndiaye du 13 octobre 2014

