



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi – Tébessa-
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie Appliquée



MÉMOIRE FIN D'ÉTUDE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences biologiques

Option : Biochimie appliquée

Intitulée :

Enquête sur l'impact de l'exploitation minière du phosphate sur l'état sanitaire des habitants de Bir El-Ater

Présenté par :

M^{elle} : SEHAILIA Kaouther

M^{elle} : Ghalloussi Soundes

M^{me} : BOUGUERRA Alya

Devant le jury :

Dr. Messaâdia Amira MCA Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi Présidente

Pr. Guedri Kamilia Pr Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi Promotrice

Dr. Hamiri Manel MAA Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi Examinatrice

Date de soutenance : 03/06/2026

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah de nous avoir permis de réussir dans ce travail et de nous avoir donné la force et la patience nécessaires pour surmonter les obstacles.

*Nous exprimons notre gratitude envers le **Dr. Messaadia Amira** d'avoir accepté d'être la présidente du jury. Nous lui exprimons notre gratitude pour Son intérêt pour cette tâche.*

*Nous tenons à exprimer ma profonde gratitude envers **Pr. Guedri Kamilia** pour son soutien et son suivi constants tout au long de la réalisation de ce travail, ainsi que pour tout ce qu'elle a fait pour me permettre d'atteindre ces résultats.*

*Nous exprimons notre gratitude envers le **Dr. Hamiri Manel** d'avoir accepté de faire partie du jury d'examen. Nous lui exprimons notre gratitude pour sa gentillesse et sa patience lors de la discussion de ce travail.*

Nous adressons un vif remerciement à l'ensemble des enseignants qui ont assuré notre formation le long de toutes nos années d'études.

Nous remercions également tous nos enseignants pour leur générosité et la grande patience dont ils ont fait preuve malgré leur charge de travail académique et professionnelle.

Nos sincères remerciements vont à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenus de près ou de loin.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite.

A ma mère Nassima

A mon père Ramdane, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant mes études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

A mes adorables frères : Khaled, Oussama, Yassine. Puisse dieu vous donne santé, bonheur et réussite dans la vie.

A mes chères soeurs : Djihane et Sana pour leurs soutiens moraux.

A mes meilleur amies: Lilià, Aya, Sihem .

À tous mes amies.

À tous ceux qui m'aiment.

À tous ceux qui j'aime.

Je dédie ce travail.

Kaouther SEHAILIA



Dédicace

À celui qui a dit : "Elle est mienne, et je l'aurai par ma détermination et mon combat." Le voyage fut long et semé d'embûches, mais le rêve est aujourd'hui réalité, grâce à Dieu, puis à ma persévérance et aux armes de la science et du savoir. Je dédie ce travail, fruit d'un long labeur, à :

Mon cher père, Nasser : Mon pilier, ma fierté et mon modèle de droiture, qui m'a soutenu sans limites et m'a appris que la vie est un noble combat.

Ma chère mère, Soumia : Mon refuge, la lumière de mes nuits et la source de ma force, dont les prières bienveillantes ont guidé chacun de mes pas. Mes chers frères et sœur (Rayan, Abdelatif et Salsabil) : Mon soutien inébranlable, ma joie et ma sécurité au quotidien. Vous êtes ma plus belle bénédiction. À l'âme de ma chère sœur, Istibrak : La soie de mes jours, même si tu m'as quitté ; tu resteras à jamais gravée dans mon cœur et mes prières. Que Dieu te fasse miséricorde. Mon cher Alla : Merci pour ta présence rassurante, tes encouragements et les moments où tu as su alléger la difficulté du chemin. Mes amis fidèles et compagnons de route : Tous ceux qui, de près ou de loin, ont partagé mes efforts et m'ont encouragé. Louange à Dieu Tout-Puissant pour Sa guidance, Son aide et Ses innombrables bienfaits.

GHALLOUSSI Soundes

Dédicace

Nous n'avons emprunté les débuts qu'avec Sa guidance, et nous n'avons atteint les fins qu'avec Sa réussite et Son soutien, et nous n'avons réalisé nos objectifs que par Sa grâce. Louange à Allah du commencement jusqu'à l'aboutissement. Le voyage n'a pas été court, et le chemin n'a pas été parsemé de facilités, mais je l'ai accompli. Avec tout mon amour et toute ma fierté, je dédie ma réussite et l'obtention de mon diplôme : À moi-même, à cette âme ambitieuse qui a patienté, trébuché puis s'est relevée malgré les difficultés.

À celui dont je porte le nom avec fierté et honneur, celui qui m'a appris que la vie est un combat et que son arme est le savoir et la connaissance, mon cher père. À celle sous les pieds de qui Dieu a placé le Paradis, celle qui a facilité mes épreuves par ses prières.

Ma chère mère. À mon pilier inébranlable, mon compagnon de route et mon soutien dans cette vie, celui qui m'a encouragée et soutenue à chaque étape, mon cher mari. À ceux grâce à qui j'ai renforcé mon courage et qui ont toujours été mon soutien dans cette vie, mes chères sœurs et mon cher frère.

À ma première joie et compagne de mon cœur, celle qui illumine ma vie par son sourire et son innocence, ma chère fille Ritel, je te dédie cette réussite afin qu'elle soit pour toi une motivation dans l'avenir.

À l'âme pure de mon cher grand-père, qui nous a quittés physiquement mais qui demeure vivant dans mon cœur, je te dédie ce succès et prie Dieu de faire de sa tombe un jardin parmi les jardins du Paradis. Enfin, je remercie toute ma famille ainsi que toutes les personnes qui m'ont aidée, soutenue et accompagnée tout au long de ce parcours.

BOUGUERRA ALYA

Résumé

L'exploitation du phosphate constitue une activité industrielle majeure contribuant au développement économique de la région de Bir El-Ater. Toutefois, cette activité représente également une source importante de pollution environnementale susceptible d'affecter la santé des populations vivant à proximité des sites miniers.

La présente étude épidémiologique observationnelle de type transversal a été réalisée entre février et avril 2026 afin d'évaluer l'impact des émissions générées par l'exploitation phosphatière sur l'état de santé des habitants de Bir El-Ater, dans la wilaya de Tébessa. Les données ont été collectées à l'aide d'un questionnaire administré à un échantillon représentatif de 300 résidents exposés aux émissions minières.

Les résultats révèlent une forte prévalence de plusieurs symptômes au sein de la population étudiée, notamment la toux persistante (56 %), les difficultés respiratoires (55 %), les manifestations allergiques (54,7 %) ainsi que les irritations oculaires, cutanées et pharyngées (51,3 %). Près de la moitié des participants (47,7 %) déclarent également souffrir de céphalées récurrentes. En outre, la majorité des habitants rapporte une exposition régulière aux odeurs et aux émissions gazeuses provenant du site minier, tandis que 97,3 % des répondants considèrent ces émissions comme potentiellement dangereuses pour la santé publique. Les mesures de protection adoptées demeurent principalement individuelles, telles que l'aération des habitations et le port de masques.

Face à cette situation, les habitants préconisent la mise en œuvre de mesures préventives plus efficaces, notamment l'installation de systèmes de filtration industrielle, le reboisement des zones avoisinantes et le renforcement du suivi médical de la population exposée.

Ces résultats soulignent la nécessité d'une surveillance environnementale et sanitaire renforcée ainsi que la mise en place de stratégies durables visant à réduire les émissions polluantes, dans le but de protéger la santé des populations locales et de préserver l'équilibre écologique de la région de Bir El-Ater.

Mots clés: Exploitation phosphatière, pollution environnementale, santé publique, émissions minières, étude épidémiologique, Bir El-Ater.

Abstract

Phosphate mining is a major industrial activity that contributes significantly to the economic development of the Bir El-Ater region. However, it also represents an important source of environmental pollution that may adversely affect the health of populations living near mining sites.

The present cross-sectional observational epidemiological study was conducted between February and April 2026 to assess the impact of emissions generated by phosphate mining activities on the health status of residents of Bir El-Ater, located in the Tebessa Province, Algeria. Data were collected using a structured questionnaire administered to a representative sample of 300 residents exposed to mining emissions.

The findings revealed a high prevalence of several health complaints among the study population, including persistent cough (56%), breathing difficulties (55%), allergic manifestations (54.7%), and eye, skin, and throat irritation (51.3%). Nearly half of the participants (47.7%) also reported recurrent headaches. Furthermore, most residents indicated regular exposure to odors and gaseous emissions originating from the mining site, while 97.3% of respondents considered these emissions to be potentially harmful to public health. The protective measures adopted by residents were mainly individual actions, such as home ventilation and the use of face masks.

To address these concerns, residents recommended the implementation of more effective preventive measures, including the installation of industrial filtration systems, reforestation of surrounding areas, and enhanced medical monitoring of the exposed population.

These findings highlight the need for strengthened environmental and health surveillance, as well as the implementation of sustainable strategies aimed at reducing pollutant emissions in order to protect public health and preserve the ecological balance of the Bir El-Ater region.

Keywords: Phosphate mining, environmental pollution, public health, mining emissions, epidemiological study, Bir El-Ater.

ملخص

يُعدّ استغلال الفوسفات من الأنشطة الصناعية الأساسية التي تساهم في التنمية الاقتصادية لمنطقة بئر العاتر، إلا أنه يُعتبر في الوقت ذاته مصدرًا مهمًا للتلوث البيئي الذي قد ينعكس سلبيًا على صحة السكان القاطنين بالقرب من المواقع المنجمية.

أُنجزت هذه الدراسة الوبائية الوصفية المقطعية خلال الفترة الممتدة من شهر فيفري إلى شهر أفريل 2026، بهدف تقييم تأثير الانبعاثات الناتجة عن استغلال الفوسفات على الحالة الصحية لسكان منطقة بئر العاتر بولاية تبسة. وقد تم جمع المعطيات من خلال استبيان وُزِعَ على عينة ممثلة تضم 300 فرد من السكان المعرضين للانبعاثات المنجمية.

أظهرت النتائج انتشارًا ملحوظًا لعدة أعراض صحية لدى أفراد العينة المدروسة، حيث بلغت نسبة الإصابة بالسعال المستمر 56%، وصعوبات التنفس 55%، والحساسية 54.7%، وتهيجات العين والجلد والحلق 51.3%. كما صرّح 47.7% من المشاركين بمعاناتهم من الصداع المتكرر. بالإضافة إلى ذلك، أفاد معظم السكان بتعرضهم المنتظم للروائح والانبعاثات الغازية الصادرة عن الموقع المنجمي، بينما اعتبر 97.3% من المستجوبين أن هذه الانبعاثات تشكل خطرًا على الصحة العامة. وقد اقتصر تدابير الوقائية المتخذة في الغالب على إجراءات فردية، مثل تهوية المنازل وارتداء الكمامات.

كما أوصى السكان باتخاذ تدابير أكثر فعالية للحد من التأثيرات السلبية لهذه الانبعاثات، من بينها تركيب أنظمة ترشيح صناعية، وتشجير المناطق المجاورة، وتعزيز المتابعة الطبية للسكان المعرضين.

وتبرز هذه النتائج الحاجة الملحة إلى تعزيز المراقبة البيئية والصحية، واعتماد استراتيجيات مستدامة للحد من الانبعاثات الملوثة، بما يساهم في حماية الصحة العامة والحفاظ على التوازن البيئي في منطقة بئر العاتر.

الكلمات المفتاحية : استغلال الفوسفات، التلوث البيئي، الصحة العامة، الانبعاثات المنجمية، دراسة وبائية، بئر العاتر.

Liste des Figures

Figure	Titre	Page
1	Schéma Technologique de préparation mécanique.	8
2	Schéma Technologique du débouillage	9
3	Répartition des participants selon le tranche d'âge.	26
4	Répartition des participants selon le sexe	27
5	Analyse croisée du profil socioprofessionnel des répondants et leur niveau d'exposition environnementale par rapport à la mine de Bir El Ater .	27
6	Durée de résidence des participants à Bir El Ater.	28
7	Exposition directe des participants aux émissions minières.	29
8	Fréquence de perception des odeurs.	29
9	Proximité des activités des répondants par rapport à la mine.	30
10	Nature des activités pratiquées à proximité du site minier.	30
11	Prévalence des différents symptômes signalés par la population.	31
12	Périodicité d'apparition des symptômes chez les habitants.	32
13	Répartition saisonnière de l'apparition des symptômes.	32
14	Présence de symptômes similaires chez les membres de la famille.	33
15	Perception des habitants vis-à-vis de l'impact des gaz miniers sur la santé	33
16	Stratégies de protection utilisées par les habitants contre les émanations gazeuses.	34
17	Répartition des principales suggestions d'amélioration exprimées par la population enquêtée.	35

Liste Des Abréviations

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

BPL : Bone Phosphate of Lime

CH₄ : Méthane

CO : Monoxyde de carbone

CO₂ : Dioxyde de carbone

DK : Dépoussiérage / Atelier de traitement

EN FERPHOS : Entreprise Nationale du Fer et du Phosphate

EREM : Entreprise de Recherches et d'Études Minières

H₂S : Hydrogène sulfuré

H₃PO₄ : Acide phosphorique

HCN : Cyanure d'hydrogène

IUGGU : International Union of Geological and Geophysical Sciences

NO : Monoxyde d'azote

NO₂ : Dioxyde d'azote

NO_x : Oxydes d'azote

O₃ : Ozone

OCP : Office Chérifien des Phosphates

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

P : Phosphore

P₂O₅ : Pentoxyde de phosphore

PbO : Oxyde de plomb

PM_{2,5} : Particules fines de diamètre inférieur à 2,5 µm

PM₁₀ : Particules de diamètre inférieur à 10 µm

PN : Phosphate Naturel

SO₂ : Dioxyde de soufre

SO₃ : Trioxyde de soufre

TPL : Teneur en Phosphate de Chaux

UE : Union Européenne

U-238 : Uranium 238

Ra-226 : Radium 226

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Abstract

الملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

Partie 1: Synthèse bibliographique

Chapitre I : Le phosphate

I.1.Définition et importance du phosphate	1
I.1.1. Définition chimique du phosphate	1
I.1.2.Rôle des phosphates dans l'industrie	1
I.1.3.Importance économique en Algérie	2
I.2.L'exploitation minière des phosphates	2
I.2.1.Techniques d'extraction	3
I.2.2.Étapes du traitement industriel	4
I.2.3.Sources potentielles de pollution	5
I.3. Présentation de la mine de Jebel El-Onk	6
I.3.1.Situation géographique	6
I.3.2.Historique de l'exploitation	7
I.3.3.Activités industrielles principales	7
I.3.4.Types d'émissions générées	9

Chapitre II : Pollution atmosphérique liée aux activités minières

II.1.Introduction	10
II.2.Définition de la pollution atmosphérique	10
II.2.1.Types de polluants	10
II.2.2.Polluants primaires et secondaires	11
II.3.Les émissions gazeuses phosphatées	14
II.3.1.Fluorures	14
II.3.2.Poussières phosphatées	14
II.3.3.Dioxyde de soufre (SO₂)	14
II.3.4.Autres composés chimiques	14
II.4.Dispersion des polluants dans l'environnement	15
II.4.1.Facteurs climatiques	15
II.4.2.Direction des vents	15
II.4.3.Distance par rapport à la source	15

Chapitre III : Impact des polluants phosphatés sur la santé humaine

III.1.Introduction	16
III.2.Voies d'exposition	17
III.2.1.Inhalation	17
III.2.2.Contact cutané	17
III.2.3.Contamination indirecte (eau, sols)	17
III.3.Effets respiratoires	17
III.3.1.Asthme	17
III.3.2.Bronchite chronique	18
III.3.3.Irritations des voies respiratoires	18

III.4.Effets dermatologiques et oculaires	18
III.4.1.Irritations cutanées	19
III.4.2.Conjonctivites	19

Partie 2: Etude épidémiologique

I. Objectif de l'étude	21
II. Matériels et méthode	21
II.1. Lieu de l'étude	21
II.2. Population étudiée	21
II.3. Source d'information	22
II.4.Déroulement et période de l'enquête	22
II.5.Contenu de questionnaire de l'enquête	22
II.6.Difficultés rencontrées	23
II.7.Traitement des données	23

Résultats et discussion

I. Résultats.....	26
I.1.Profil sociodémographique de l'échantillon	26
I.1.1.Répartition des répondants selon l'âge et le sexe	26
I.1.2.Situation professionnelle et répartition géographique des participants	27
I.2.Analyse de l'exposition aux émissions de gaz phosphatés	27
I.2.1.Durée de résidence des habitants dans la zone de Bir El Ater	27
I.2.2.Évaluation de l'exposition directe aux émissions de la mine	28
I.2.3.Fréquence de perception des odeurs de gaz	29
I.2.4.Corrélation entre la proximité des activités quotidiennes et le site minier	29

I.3.Impact des émissions sur la santé des habitants Inventaire et prévalence des symptômes ressentis	30
I.3.1.Inventaire et prévalence des symptômes ressentis	30
I.3.2.Analyse de la périodicité des symptômes	32
I.3.3.Bilan des consultations médicales et diagnostics	32
I.3.4 Étude de la propagation des symptômes au sein des familles	34
I.4.Perception des risques et mesures de prévention	34
I.4.1.Évaluation de la conscience des risques	34
I.4.2.Mesures de protection adoptées	34
I.4.5.Synthèse des suggestions d'amélioration	35
II. Discussions.....	36
II.1.Prévalence des pathologies respiratoires et dermatologiques	36
II.2. Perception du risque et réalité environnementale	37
II.3. Limites des stratégies de protection	37
II.4. Vers une approche environnementale intégrée	37
Conclusion et perspectives	38
Références bibliographiques	

Annexe



Introduction

L'exploitation minière constitue un secteur stratégique majeur contribuant au développement économique à l'échelle mondiale. Toutefois, malgré son importance économique et industrielle, elle peut engendrer des conséquences néfastes sur l'environnement ainsi que sur la santé des populations vivant à proximité des sites d'exploitation minière **(Kabore, 2015)**. Cette dualité entre croissance économique et dégradation environnementale est particulièrement observable dans les régions riches en ressources minérales, notamment celles exploitées pour le phosphate.

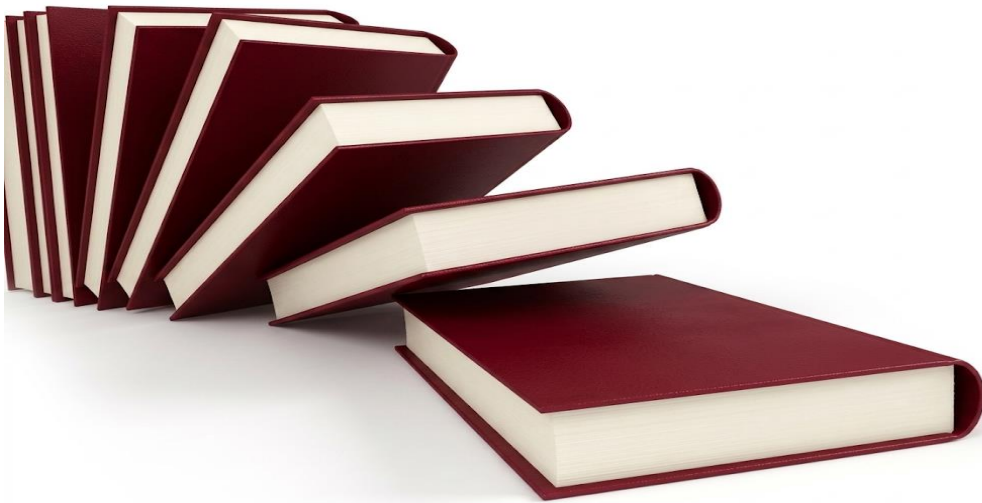
De nombreuses études scientifiques ont démontré que les populations riveraines des zones minières figurent parmi les groupes les plus exposés aux risques sanitaires liés aux activités extractives **(Ndiaye, 2020)**. En effet, les émissions de poussières, les rejets industriels ainsi que la dispersion de contaminants dans l'air, l'eau et les sols constituent des sources majeures de pollution environnementale susceptibles d'altérer l'équilibre biologique et sanitaire des habitants.

Dans la région de Bir El Ater, l'exploitation du phosphate représente l'une des principales activités industrielles et économiques. Cependant, cette activité, bien qu'essentielle au développement local et national, pourrait avoir des répercussions importantes sur la santé des populations exposées quotidiennement aux poussières minières, aux émissions atmosphériques et aux différentes formes de pollution environnementale **(Bouziane et al., 2022)**. L'exposition chronique à ces contaminants pourrait favoriser l'apparition de divers troubles sanitaires, notamment respiratoires, dermatologiques et autres pathologies liées à la dégradation du milieu de vie.

C'est dans ce contexte préoccupant que s'inscrit la présente étude, dont l'objectif principal est d'évaluer les effets potentiels de l'exploitation phosphatée sur la santé des populations locales exposées aux différentes sources de pollution générées par les activités minières. Cette recherche vise également à identifier les principaux facteurs de risque environnementaux présents dans cette région, notamment l'exposition aux poussières phosphatées et de mettre en évidence la relation entre l'environnement minier et l'apparition de certaines manifestations pathologiques chez les habitants de Bir El Ater, afin de contribuer à une meilleure compréhension des impacts sanitaires associés à l'exploitation du phosphate. Les résultats

obtenus pourraient ainsi constituer une base scientifique utile pour l'élaboration de stratégies de prévention, de surveillance sanitaire et de protection de l'environnement au sein des zones minières.

Partie 1 : Synthèse Bibliographique



Chapitre I : Le phosphate

I.1.Définition et importance du phosphate

I.1.1.Définition chimique du phosphate

Le phosphate est une substance minérale dérivée de gisements naturels, principalement sous forme de minerais magmatiques ou de dépôts sédimentaires. Les exemples incluent la fluorapatite carbonatée, la chlorapatite et l'hydroxyapatite, qui possèdent des compositions chimiques spécifiques, incluant des substitutions dans leur réseau cristallin **(Bokerna, 2011)**.

L'évaluation de la valeur d'un phosphate repose essentiellement sur son contenu en équivalents P_2O_5 , variable selon les gisements et les méthodes de concentration minéralogique. La qualité d'un phosphate se mesure par sa concentration en P_2O_5 et par la présence d'impuretés dans le minéral. La substitution du groupement PO_4^{3-} peut également inclure des éléments comme le (CO_3^{2-}) , (SO_4^{2-}) et des cations tels que le Mg et le Sr, qui peuvent introduire des composants indésirables ou nocifs, ainsi que divers sous-produits, y compris des éléments rares et radioactifs, récupérables lors de la transformation du phosphate en acide phosphorique **(Dumon, 1980)**.

I.1.2.Rôle des phosphates dans l'industrie

L'industrialisation des phosphates est essentielle, en particulier pour le secteur agricole, qui utilise plus de 80 % de la production mondiale. Les fertilisants phosphatés, qui se distinguent par des composants principaux tels que l'azote (N), le phosphore (P ou P_2O_5) et le potassium (K_2O), On évalue leur qualité grâce à des tests de solubilité et d'absence de contaminants, tels que le cadmium. L'acide phosphorique (H_3PO_4), obtenu à partir du phosphate de calcium par une réaction avec l'acide sulfurique, joue un rôle crucial dans de nombreuses applications industrielles. Il est notamment utilisé dans la fabrication de boissons et de ciments dentaires, ainsi qu'en tant que catalyseur. Les phosphates sont aussi utilisés dans divers domaines tels que la métallurgie, l'industrie chimique et l'industrie pétrolière. De plus, des métaux précieux tels que l'uranium, généralement présents en faibles concentrations, On peut extraire des phosphates, dont 12% de l'uranium employé à l'échelle mondiale provient. Cette utilisation met en évidence le rôle polyvalent des phosphates dans différents secteurs industriels **(Ferrag Dit Alleg, 2010)**.

I.1.3.Importance économique en Algérie

En Algérie, les gisements de phosphate sont d'une importance capitale, principalement concentrés dans l'Est du pays, avec des réserves et ressources estimées autour de deux milliards

de tonnes. Ces gisements se divisent en deux grandes catégories géologiques : l'une au sud des Hauts-Plateaux, proche de la frontière tunisienne, incluant les sites de Djebel El Kouif, Djebel Onk et Djebel Dyr, et l'autre s'étendant du nord des Hauts-Plateaux, allant de Bordj-Bou Arreridj à Souk-Ahras, avec des sites tels que Tocqueville, Bordj Ghdyr, M'Zaïta, et Djebel Dekhna. Les gisements sont classifiés en deux catégories selon leur statut d'exploitation : ceux en cours d'exploitation, comprenant Djebel Onk (nord et sud), M'Zaïta, et Bordj Ghdyr, et ceux non exploités tels que Djebel Dekhna et Djebel Dyr, qui ont été abandonnés à cause de faibles teneurs en phosphate (Ministère de l'Industrie et des Mines, n.d.).

Les réserves d'algues phosphatées, qui ne représentent qu'une partie de ce qui pourrait être extrait, pourraient subvenir à près de deux cents ans de production aux rythmes actuels. De façon spécifique, les réserves connues se répartissent comme suit : 500 millions de tonnes à Djebel Onk Sud, 100 millions de tonnes à Djebel Onk Nord, 29 millions de tonnes à M'Zaïta, 27 millions de tonnes à El Kouif, et 8 millions de tonnes à Djebel Dyr (**Documents algériens, 2005**).

- Utilisation des phosphates

Les phosphates jouent un rôle essentiel dans la vie, tant humaine qu'animale, principalement utilisés dans la fabrication d'engrais. Ils sont également présents dans les détergents comme agents anti-calcaire et dans l'alimentation, tant animale qu'humaine. Il est à noter que plus de 80 % de la production de phosphates dans le monde est destinée à l'agriculture, soulignant leur importance vitale pour le règne végétal (**Kechiched, 2011**).

I.2. L'exploitation minière des phosphates

I.2.1. Techniques d'extraction

La phase d'exploitation minière se fera en surface et comprend plusieurs étapes telles que le forage, l'explosion, l'enlèvement, le chargement et le transport des déchets, l'épierrage, le criblage et la mise en stock. Les terrains de couverture au-dessus des couches phosphatées seront extraits pour récupérer le minerai de phosphate, qui sera ensuite chargé sur des camions en direction des installations pour l'épierrage et le criblage. Le phosphate traité est un phosphate sédimentaire meuble pouvant contenir jusqu'à 40% de stériles constitués de blocs calcaires et de silex, dont la taille varie entre 90 et 1500 mm. Ces stériles seront enlevés durant les processus d'épierrage et de criblage (**Clean Tech Maroc, 2011**).

1-Foration: La foration consiste à percer des trous de 228,6 mm de diamètre, ce qui permet de libérer une quantité importante d'énergie grâce aux explosifs. Ces trous servent de supports pour les charges explosives, et leur profondeur est déterminée par le niveau de phosphate.

2-Sautage : La procédure de sautage consiste à intégrer des explosifs dans des trous forés et à déclencher la détonation. Pour les mines à ciel ouvert de Khouribga, l'explosif utilisé est l'Amonix, composé de 94% de nitrate d'ammonium et de 6% de fuel. Ce choix est justifié par sa sécurité (résistance aux chocs de 10 kg/cm²), son coût économique de 4 DH/kg, et sa simplicité d'application. La procédure de sautage inclut l'insertion des explosifs dans les trous de mine, le remplissage au-dessus de ces explosifs, et le déclenchement de l'explosion via l'acide des objets. Des précautions spécifiques doivent être respectées, telles que s'éloigner d'au moins 500 mètres du site de sautage, informer les machines à proximité, et fermer les accès avec des gardiens munis de drapeaux rouges, un processus connu sous le nom de gardiennage. Après le sautage, il appartient au superviseur de vérifier les résultats de l'opération.

3- Décapage: Le décapage consiste à éliminer les résidus d'explosion pour révéler la couche phosphatée, en utilisant un bulldozer pour les bas recouvrements ou une dragline pour les hauts recouvrements.

4- Défruitage: Le document décrit le processus de chargement et de transport du minerai de phosphate vers des silos ou des réserves. Pour la disposition des couches minces, des bulles sont utilisées et elles sont chargées par des chargeuses. En revanche, les draglines sont employées pour le chargement des couches épaisses.

5- Transport du Phosphate par Camion: Les camions de 110 et 170 tonnes transportent le phosphate vers les trémies de concassage et criblage, avec des règles d'allocation pour éviter l'arrêt des machines. Les critères incluent la performance des équipements, le cycle des engins, l'écart de transport, le niveau de chargement, et la capacité des trémies. Les opérations sur le phosphate comprennent un tri initial sur un tamis de 90 x 90 mm, où les déchets sont broyés à moins de 200 mm avant d'être envoyés aux terrils. Le matériau trié passe par des cribles de 30 x 50 mm et 15 x 30 mm, et le refus va vers le circuit des déchets non réutilisables. L'entreposage s'effectue selon la « qualité source » du phosphate, évaluée par les niveaux de BPL et d'éléments traces (Clean Tech Maroc, 2011).

I.2.2. Étapes du traitement industriel

1-Lavage: Le lavage est une technique physique humide employée pour se débarrasser des fractions granulométriques d'un matériau. Cette procédure comprend la séparation des

particules supérieures à 2500 μm par criblage humide, et l'extraction de la fraction inférieure à 40 μm conformément à la classification hydraulique.

2-Broyage: La mouture est une méthode de fragmentation qui cherche à diminuer la taille des particules provenant du lavage, qui varie entre 400 et 2500 μm , pour obtenir des particules très fines d'une taille inférieure à 180 μm . Cette technique simplifie le processus de flottation ultérieur en exerçant une série d'efforts qui engendrent des fissures sur les surfaces des grains, conduisant à leur dissociation et à la formation de particules plus petites.

3-Flottation : La flottation est une technique visant à rehausser la qualité des segments fins de phosphates, qui ont une taille comprise entre 40 et 125 micromètres. Son but principal est de séparer les éléments indésirables par le biais de la flottation en abaissant la valeur du minerai utile, notamment le phosphate qui a une valeur économique.

4- Décantation: L'extraction du phosphate à partir du minerai nécessite plusieurs phases, comprenant les étapes de lavage, flottage et broyage, qui nécessitent une grande consommation d'eau. Afin d'optimiser l'usage de l'eau, le recyclage par décantation s'avère essentiel, car il offre une séparation efficace entre les matières solides et les liquides. Cette technique est basée sur le concept de sédimentation utilisant les forces gravitationnelles pour extraire les particules en suspension dans le liquide.

5- Adaptation: Cette unité d'adaptation a pour objectif de garantir la compatibilité du produit avec le transport par pipeline vers les usines de valorisation. Le projet est conçu pour ajuster les phosphates des niveaux C2 et C3 traités et enrichis à la laverie MERAH, en utilisant des techniques de lavage et flottation pour le C2, ainsi que lavage, flottation et broyage pour le C3. La section d'adaptation comprend un atelier de broyage avec un broyeur principal assurant une fragmentation de 160 microns et trois broyeurs capables de fragmenter à 40 microns. De plus, un atelier aménagé sera équipé de deux décanteurs.

6- Manutention: Le produit fini, après le processus d'égouttage, sera entreposé avec une capacité de 800 000 tonnes grâce à des bandes transporteuses de phosphate. Dans le cadre du processus d'adaptation, le stockage se fera dans deux décanteurs, contrairement aux formations habituelles utilisées par l'OCP. Ces décanteurs auront pour fonction de conserver le produit adapté tout en récupérant l'eau recyclée issue de la décantation, et de faciliter le transport du produit adapté vers la station Head via un circuit de pipeline alimenté par une pompe du décanteur jusqu'à Jadida (**Laverie, 2014**).

I.2.3. Sources potentielles de pollution

Origine de la poussière:

Chaque carrière produit de la poussière issue de diverses activités, y compris le forage, l'utilisation d'explosifs, le déplacement des équipements, le chargement des matières et la chute des blocs extraits.. Les données révèlent que, dans une station de concassage, la production de particules fluctue entre 7 et 84 g/m³ par mois pour des particules allant de 0.1 à 10 micromètres, qui peuvent nuire à la santé des travailleurs. Les particules de plus de 10 microns sont arrêtées par le système respiratoire. Cette poussière affecte la photosynthèse en obstruant l'absorption de lumière solaire par les feuilles, empêchant ainsi la production de nourriture et d'énergie nécessaire à la reproduction des plantes. De plus, les activités minières émettent des contaminants tels que les particules, le dioxyde de carbone (CO₂) et les oxydes d'azote (NO₂), notamment à cause des explosions et des moteurs diesel. Sur le plan sonore, l'exploitation minière génère un bruit considérable, particulièrement lié à des explosions, perforations, moteurs d'engins et signaux sonores. Les niveaux de bruit peuvent atteindre 70 dB, avec une perception accrue par les riverains en raison de la nature généralement calme de leur environnement. Les vibrations peuvent également être ressenties, surtout celles associées aux explosions et à la perforation. L'exploitation des carrières modifie le paysage, entraînant des impacts visuels et morphologiques, tels que des excavations et des déboisements. À long terme, elle affecte les infrastructures routières en les érodant et en causant des dommages aux constructions voisines à cause des vibrations. Le déplacement régulier des matériaux détériore les routes, rendant également les conditions de circulation plus dangereuses.

Effet biologique: L'accroissement de l'extraction minière dans un secteur spécifique a souvent pour effet de détruire la végétation et d'éliminer la faune.

Effet socio-économique: Les activités d'extraction de pierres ont une répercussion sociale importante qui touche la santé des employés et des habitants des régions adjacentes, tout en transformant le cadre de vie et les conditions d'existence des communautés locales. Sur le plan économique, elles induisent des transformations comme l'édification de nouvelles infrastructures routières et la reconversion des terrains, en particulier lorsque ces lieux ont été précédemment exploités à des fins agricoles ou sylvicoles (**Bouhariche, 2017**).

I.3. Présentation de la mine de Jebel El-Onk

I.3.1. Situation géographique

La wilaya de Tébessa est située à la frontière de deux zones géographiques distinctes, le domaine Atlasique au nord et le domaine Saharien au sud. Elle est délimitée au nord par la wilaya de Souk Ahras, au sud par la wilaya d'El Oued, et à l'ouest par les wilayas de Khenchela

et d'Oum El Bouaghi. Tébessa se trouve à 16 km en ligne droite et 45 km par la route nationale 10 de la frontière algéro-tunisienne, à 130 km au sud de Souk Ahras par la route nationale 16, 233 km d'Annaba, 200 km de Constantine, et 634 km au sud-est d'Alger. Cette région est positionnée à l'extrémité orientale de l'Algérie, occupant une place stratégique entre le tell et les hauts plateaux du sud, s'étendant jusqu'aux zones proches du Sahara.

Situation géographique de la zone d'étude

Le Djebel Onk est une chaîne de montagnes située à environ 100 km au sud de Tébessa, à proximité de la frontière algéro-tunisienne. Elle se trouve à l'extrême nord-est de l'Algérie, à 630 km d'Alger, et est bordée au nord par la wilaya de Souk Ahras, au sud par la wilaya d'El Oued, et à l'ouest par Khenchela et Oum El Bouaghi. Le point culminant du massif atteint 1198 m au Djebel Tarfaya et s'étend sur 20 km sous forme de formation calcaire. Les altitudes minimales au pied de ce massif sont d'environ 635 mètres. Par ailleurs, le Djebel Onk abrite un massif phosphaté constitué de cinq gisements : Kef Es sennoun, Djemi Djema, Onk nord, Bled El Hadba, et Oued Betita (**Bouaraba, 2022**).

I.3.2. Historique de l'exploitation

En 1873, PH.THOMAS a identifié les phosphates à BOUGHARI en Algérie. De 1907 à 1908, L.JOLEAU a localisé le gisement de Djebel Onk, suivi par D.DUSSERT qui a apporté des précisions. C'est FLANDRIN, en 1948, qui a donné des détails significatifs. En 1931, la Compagnie des phosphates de Constantine obtient les premiers droits d'exploitation des phosphates, menant à la création de la S.D.O en 1936.

Entre 1961 et 1963, des prospections aériennes radiométriques ont été menées sur Djebel Onk, et en 1963, la société SERMI effectue des études pour le gisement de Djami-Djema, alors que SOFREMINE propose un projet d'exploitation pour KEF-ESSENOUN en 1962. L'exploitation de Djemi-Djema commence en février 1965, remplaçant l'exploitation de DJEBEL-KOUIF débutée en 1894. Entre 1971 et 1974, la SONAREM relance les recherches phosphatées à l'est algérien, suivies par une évaluation du district minier de Djebel Onk (1977-1979).

De 1985 à 1987, l'EN FERPHOS mandate l'EREM pour évaluer les ressources autour du Djebel-Onk, notamment en 1986 avec une cartographie détaillée et des forages au gisement de KEF ESSENOUN. En novembre 1989, l'EN FERPHOS présente un cahier des charges pour le développement du Complexe minier de Djebel Onk, et un contrat est signé en avril 1992 avec BRGM/SOFREMINE pour définir un projet de développement des gisements de phosphates de Djebel Onk (**Behlouli, 2014**).

I.3.3. Activités industrielles principales

Les principaux processus industriels réalisés à la mine de Djebel Onk incluent la préparation mécanique du minerai (concassage, broyage, criblage), puis les techniques de traitement humide et à sec, en plus de l'entreposage et du transport du produit fini.

1. Concassage: L'objectif de la procédure est de réduire la taille des blocs de tout-venant alimentant l'usine de traitement, passant d'un mètre à moins de 200 mm, grâce à deux concasseurs: le concasseur giratoire « BABITLESS » (1000 t/h) et le concasseur à percussion « HAZEMAG » (1200 t/h) avec scalpage.

2. Broyage: La procédure consiste à réduire le matériau broyé à une taille de 20 mm à l'aide de trois broyeurs à marteaux articulés « WEDAG », chacun ayant une capacité de production de 300 t/h.

3. Criblage: Cette étape finale de la préparation mécanique implique l'élimination des matériaux dépassant 15 mm, en utilisant trois cribles vibrants résonants « WEDAG » d'une capacité de 300 tonnes par heure et deux cribles vibrants inclinés « HAZEMAG » d'une capacité de 600 tonnes par heure avec une ouverture de 10 mm. Les particules de moins de 15 mm alimentent les deux voies pour le produit commercial.

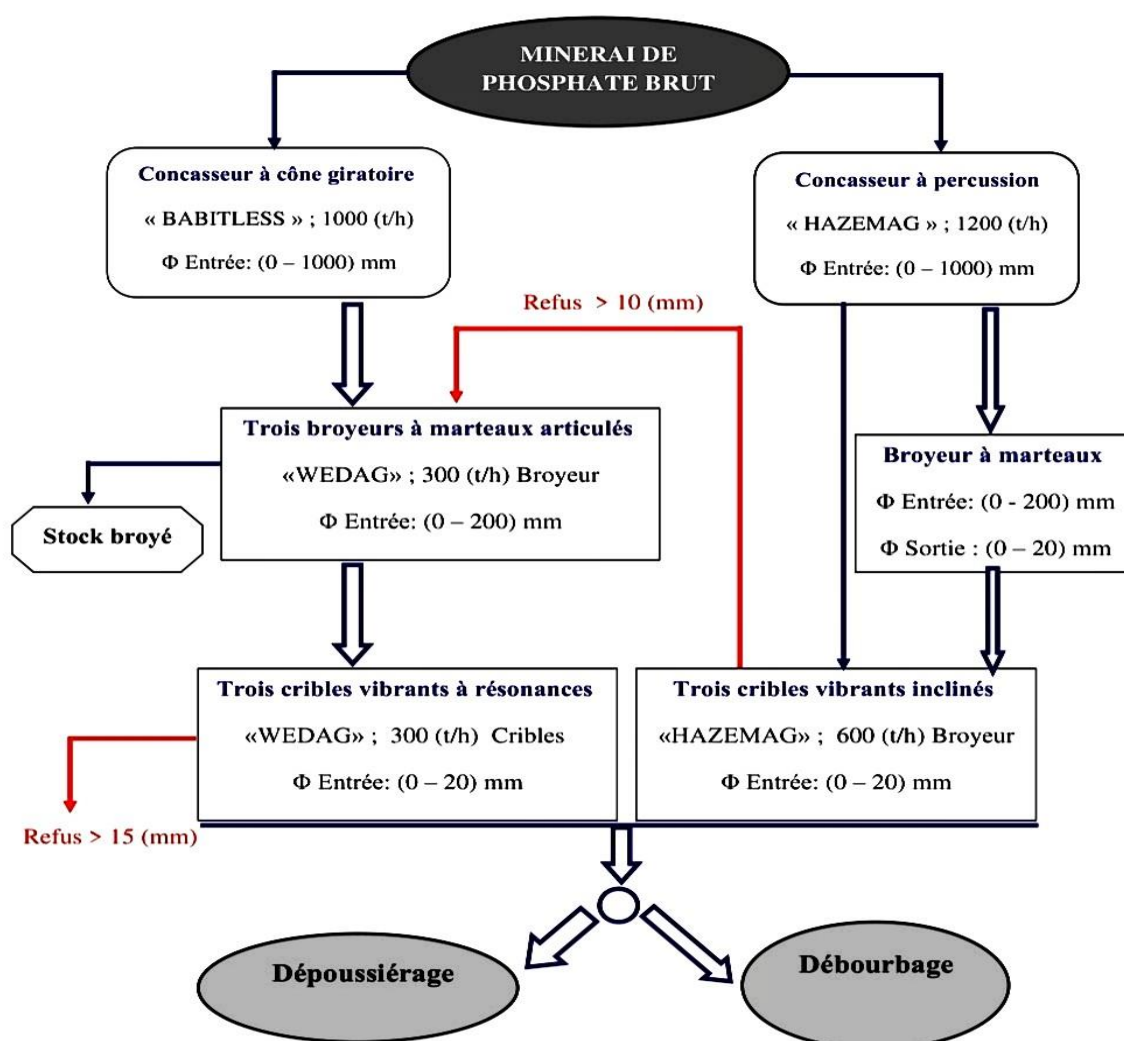


Figure 1: Schéma Technologique de préparation mécanique

* **Traitement par voie humide:** Cette procédure, effectuée dans les installations de calcination (DK1), vise à accroître la concentration du minerai à un niveau tricalcique de 63 à 65% TPL.

1.Débourbage: L'objectif de cette procédure est d'éliminer les argiles, silicates, substances organiques et sels, à travers plusieurs étapes : mise en pulpe, criblage à l'eau, classification, hydrocyclonage et filtration.

1.a.Principe de traitement par voie humide

Le matériau de taille inférieure à 15 mm est mélangé avec de l'eau dans un rapport solide/liquide de 2/3, puis traité par des grilles courbes qui éliminent les particules de moins de 1,25 mm. Les hydrocyclones récupèrent le matériau pour enlever les particules sous 0,8 mm. les fines particules chargées en phosphate vont vers l'épaississeur, tandis que le produit noble,

avec une teneur en TPL de 63% à 64,5%, est essoré et préparé pour la deuxième étape du processus.

2. Séchage: Le produit débourbé est un produit semi-fini humide nécessitant une déshydratation à 1% d'humidité pour être commercialisé, utilisant deux techniques de séchage : le four de calcination et le four horizontal.

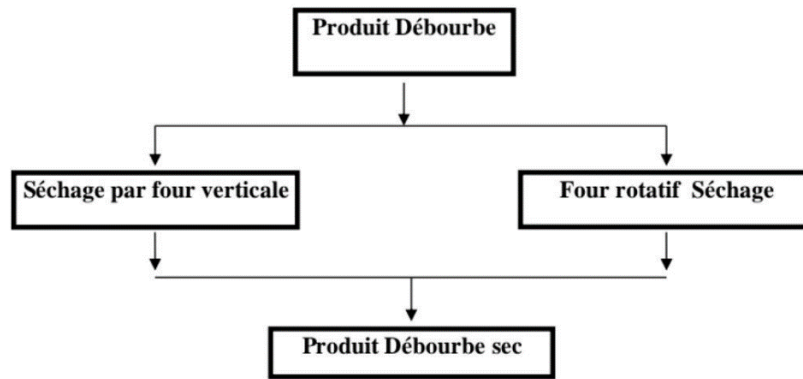


Figure 2: Schéma Technologique du Débourage

- **Traitement par voie sèche (Dépoussiérage):**

Cette procédure d'enrichissement du minerai de phosphate, réalisée dans les ateliers de dépoussiérage DK2 et DK3, utilise une technique physico-mécanique visant à obtenir un concentré de 29 à 30 % P_2O_5 . Le procédé, basé sur la décarbonatation par impact et l'ajustement granulométrique, améliore la qualité d'un produit initial ayant un taux de TPL de 54 à 56 %. Après broyage et criblage, le produit final atteint un contenu en TPL de 62,5 % à 63,5 % et une granulométrie de 800 à 900 μ . Chaque ligne de traitement peut traiter jusqu'à 230 t/h en alimentation, avec une sortie de 137,5 t/h et un rendement pondéral de 60 % à 62 %. Cinq étapes de préparation et d'enrichissement sont nécessaires pour le traitement du produit à sec.

1. Séchage à lit fluidisé: Ce processus permet d'éliminer une partie des solides les plus fins grâce aux gaz de fluidisation et comprend deux fours de séchage, évalués selon les modes d'opération de combustion et de dilution, ainsi que de séchage par fluidisation.

2. Criblage à 2(mm): Cette procédure utilise un crible avec un tamis de 2(mm) pour éliminer les produits dépassant cette taille, en particulier les éléments en calcaire. Les particules inférieures à 2(mm) sont acceptées et envoyées aux broyeurs, avec un rendement de poids de 88%.

3. Broyage à attrition: Pour améliorer l'enrichissement des grains de phosphate dans l'exogangue, des broyeurs « Broyeur dragon » sont utilisés, équipés d'un rotor avec marteaux et d'une chambre de broyage.

Sélection par une turbo sélection ventilée: L'objectif de cette procédure est d'améliorer la qualité du produit en éliminant les particules fines de moins de 80 microns à l'aide de ventilateurs équipés d'un filtre à manches pour récupérer les poussières.

Criblage à (0,8mm): Cette étape finale utilise deux cribles d'environ 0,8 mm pour traiter chaque DK, recueillant les résidus via un convoyeur vers une trémie à stériles. Les particules criblées de 80 à 800 microns sont récupérées comme produit commercial, avec une teneur en métal précieux de 63 à 65 % et de 66 à 68 % TPL.

Stockage du produit marchand et expédition: Le complexe minier de « djebel onk » dispose de cinq silos pour le phosphate traité par voie sèche, chacun ayant une capacité de 4000 tonnes, ce qui totalise 20000 tonnes. Les trémies de stockage pour le phosphate traité par voie humide ont une capacité de 400 tonnes par unité, totalisant 2800 tonnes.

Transport du phosphate: Le transport du phosphate marchand est effectué par voie ferroviaire à l'aide de convois de 34 wagons (appelés rames) de type auto-videur, ainsi que par camions d'une capacité de 40 tonnes (**Allouche & Ghouli, 2022**).

I.3.4.Types d'émissions générées

1. Les rejets de la station de traitement

1.1. Refus: Les déchets bruts de l'usine de traitement ont été conservés pour une utilisation ultérieure. Le site de stockage des résidus bruts de l'usine de traitement a été choisi à proximité de l'usine, conformément aux directives et aux conseils du cabinet d'études allemand DMT.

1.2. Rejets liquides: L'atelier de débouillage réalise le traitement du phosphate, ce qui entraîne le rejet de volumes significatifs d'une combinaison de matières solides et d'éléments chimiques. Un bassin de sédimentation a été établi à la carrière de Djemidjema zone II pour la collecte des eaux boueuses issues du débouillage.

On utilise l'eau surnageante pour irriguer les pistes des carrières et de l'usine de traitement.

a- Eau de traitement: L'eau est employée à travers diverses phases du processus d'extraction du phosphate, chaque phase étant définie par son émanation liquide.

Ces rejets liquides proviennent de l'atelier de débouillage ainsi que du lavage des phosphates et d'autres étapes de traitement.

Les analyses portent sur les eaux suivantes :

- Eau de la source.

- Eau du réservoir.
- Eau de l'épaississement.
- Eau des boues vers le lit du fleuve.

Ces rejets liquides sont principalement constitués de matières solides et de substances chimiques. Ces études sont effectuées afin de contrôler la présence potentielle de métaux dans ces eaux

Les données indiquent que les concentrations des divers métaux lourds fluctuent peu, par exemple, pour le plomb, la variation est de 0.01 à 0.02 ppm et de 1.25 à 1.30 ppm pour le zinc.

Ces résultats indiquent que les divers facteurs n'exercent pas une grande influence sur la qualité de l'eau.

b. Les schlamms : Ces résidus liquides, souvent sous forme de boues, proviennent généralement du processus de débouillage. La granulométrie se caractérise par des particules de taille très fine (**Bouaraba, 2022**).

Chapitre II : Pollution atmosphérique liée aux activités minières

II.1. Définition de la pollution atmosphérique

MASCLET (2005) définit la pollution atmosphérique comme la présence dans l'air d'impuretés de nature à nuire à la santé ou au confort de l'homme et à l'environnement. Selon la loi française n°96-1236 de 1996, ce phénomène consiste à introduire dans l'atmosphère, par l'homme, des substances qui peuvent nuire à la santé humaine, porter atteinte aux écosystèmes, affecter le climat, et causer des nuisances olfactives. En Algérie, la loi n°83-03 de 1983 précise que la pollution de l'air inclut l'émission de gaz, fumées et particules pouvant mettre en danger la population et l'environnement. Bien que la plupart des polluants proviennent d'activités humaines, des sources naturelles telles que les éruptions volcaniques et les incendies de forêt peuvent aussi contribuer à la pollution atmosphérique. Un exemple contemporain de ce problème est l'incident de la plateforme de British Petroleum dans le Golfe du Mexique en 2010, qui illustre l'impact néfaste des activités humaines sur la qualité de l'air (**Masclet, 2005**).

II.2.1. Types de polluants

On distingue deux catégories de polluants atmosphériques issus des transports : les polluants primaires, qui sont émis directement à la sortie du pot d'échappement, et les polluants secondaires, qui sont le produit de la transformation chimique des premiers au sein de l'atmosphère.

a. Les polluants atmosphériques primaires

➤ Le dioxyde de carbone

Le CO₂, qui est ce qui se passe quand des matières organiques brûlent, contribue au réchauffement climatique en agissant sur le serre. En moyenne, 30 % des émissions de CO₂ d'un pays proviennent de la combustion de carburants pour le transport (**Conférence de Kyoto, 1997**).

➤ Le monoxyde de carbone

Le CO est généré par la combustion de matières organiques, les véhicules produisant des niveaux différents, principalement au ralenti, où près de 70 % du CO provient du secteur des transports. L'inhalation de CO substitue l'oxygène dans le sang, réduisant ainsi l'approvisionnement des tissus organiques et exacerbant les problèmes associés au tabagisme

➤ Les oxydes d'azotes

Les oxydes d'azote (NO et NO₂, désignés NO_x) résultent de l'oxydation de l'azote contenu dans l'air lors de la combustion des carburants, dont 75 % proviennent des véhicules routiers. Le monoxyde d'azote (NO) n'est pas particulièrement toxique et ses effets demeurent flous,

néanmoins, il a la capacité de se transformer en dioxyde d'azote (NO_2), qui modifie les alvéoles des poumons, perturbant ainsi nos mécanismes de défense contre les agressions telles que les gaz et les virus (Aouadi, 2010).

➤ **Hydrocarbures imbrûlés**

Une partie du carburant dans le moteur ne se consume pas, ce qui peut affecter l'effet de serre et la santé, surtout à cause du méthane (CH_4) émis par les véhicules au gaz naturel. 60 % des hydrocarbures proviennent des automobiles, même sans le CH_4 (DRIRE-AIRPARIF, 2000).

Particules

Lors de combustions de mauvaise qualité (hydrocarbures partiellement brûlés), des particules sont libérées. Ces dernières produisent les émissions que l'on observe à la sortie des pots d'échappement des camions fonctionnant au diesel. Ces particules peuvent avoir des tailles différentes et provoquer divers effets. Les particules de taille réduite peuvent pénétrer dans le corps humain et provoquer des pathologies sévères ou de longue durée comme le cancer, alors que les particules plus volumineuses se déposent rapidement au sol ou sont filtrées par l'appareil respiratoire.

➤ **Le dioxyde de soufre**

Le dioxyde de soufre (SO_2), issu de la combustion de carburants contenant du soufre, tels que le diesel, est libéré en même temps que des particules et participe ainsi à la formation des pluies acides. En général, les mécanismes de défense nasale captent les particules de SO_2 respirées et les neutralisent, sauf lors d'une exposition à des niveaux élevés qui peuvent intensifier l'impact d'autres polluants. Environ 13 % des émissions de SO_2 sont attribuables aux transports.

b. Les polluants atmosphériques secondaires

➤ **L'ozone**

L'ozone (O_3), naturellement présent dans la troposphère, peut voir sa concentration accrue par les oxydes d'azote grâce à des réactions chimiques. Même s'il n'est pas directement émis par les moteurs, il est considéré comme un polluant secondaire. L'exposition à l'ozone peut causer différents troubles de santé chez l'être humain, tels que le rétrécissement des voies respiratoires, une réduction de la capacité pulmonaire, des quintes de toux, des irritations oculaires et des muqueuses, des céphalées et peut provoquer des épisodes d'asthme, surtout pendant l'exercice physique (Aouadi, 2010).

➤ **Métaux**

Le plomb est un métal nocif, susceptible de provoquer des troubles de saturnisme chez les enfants, semblable aux conséquences de certaines vieilles peintures. Il s'introduit dans l'organisme par inhalation et peut toucher le système nerveux, provoquant des retards dans le développement psychologique. Toutefois, son rôle en tant qu'indicateur de pollution automobile a diminué avec la généralisation de l'utilisation de l'essence sans plomb (**Germain, 2006**).

➤ **Autres**

Le benzène, substance cancérigène, devrait petit à petit être éliminé des carburants, alors que l'hydrogène sulfuré (H_2S), qui procure une odeur d'œuf pourri, peut se former dans les pots catalytiques (**Herreboudt, 1999**).

II.3. Les émissions gazeuses phosphatées

II.3.1. Fluorures

Les sources naturelles et anthropiques sont à l'origine des fluorures présents dans l'air, que ce soit sous forme de gaz ou de particules. On retrouve parmi les gaz le fluorure d'hydrogène, le tétrafluorure de carbone, l'hexafluoroéthane et le tétrafluorure de silicium. Quant aux particules, elles comprennent la cryolite, la chiolite ainsi que divers fluorures de calcium et d'aluminium. Selon l'Organisation mondiale de la santé, la concentration moyenne de fluor dans l'air est d'environ 5 ng/m³, et les émissions volcaniques constituent une source naturelle significative. Habituellement, les concentrations inhalées sont faibles, sauf dans les régions industrielles. Selon une recherche menée par Thompson et al., la concentration de fluorures est supérieure en zone urbaine comparativement à la zone rurale (**Tressaud & Haufe, 2008**).

II.3.2. Poussières phosphatées

La production de phosphate génère une importante quantité de poussière qui contamine les régions avoisinantes. L'extraction libère des particules solides et liquides qui, une fois qu'elles atteignent une concentration suffisante et sont conservées pendant un certain temps, deviennent des substances toxiques. En outre, l'usage de carburant durant le processus d'extraction participe à la contamination atmosphérique ; l'oxydation du diesel produisant des polluants tels que le NO_2 , le CO_2 , le H_2 et le PbO (**Gaied, 2017**).

II.3.3. Dioxyde de soufre (SO_2)

Le dioxyde de soufre émis dans l'air provient essentiellement de la combustion de combustibles fossiles, puis se classe par ordre d'importance avec la métallurgie des métaux non ferreux. Le

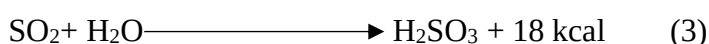
processus d'extraction du métal commence par l'oxydation de la pyrite, comme le montre la réaction associée à la pyrite cuivreuse.



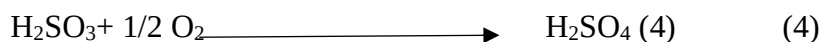
Dans le processus naturel du cycle biogéochimique du soufre, le dioxyde de soufre (SO_2) libéré dans l'atmosphère est soumis à différentes métamorphoses, y compris sa transformation en anhydride sulfurique lorsqu'il est exposé à la lumière ultraviolette.



La formation d'acide sulfureux est induite par la présence de vapeur d'eau dans l'atmosphère.



Étant donné son instabilité, l'acide sulfureux se convertit de manière spontanée en acide.



Un autre genre de réaction a lieu dans les atmosphères polluées.



II.4. Dispersion des polluants dans l'environnement

II.4.1. Facteurs climatiques

- **Vent:** C'est un élément météorologique essentiel pour le déplacement et la propagation des polluants, agissant sur le sens et la rapidité, qui s'accroît avec l'élévation. Un vent puissant contribue à la diffusion des contaminants, entraînant ainsi une diminution des niveaux de pollution, tandis qu'un vent faible encourage leur concentration locale (**Diaf et al, 2003**).
- **Température et rayonnement** L'augmentation de la pollution atmosphérique due à l'utilisation accrue du chauffage urbain et des véhicules pendant les périodes froides influence la qualité de l'air. En outre, la température a un impact sur la création de polluants secondaires (**Guelleet al, 1998**).

Les fluctuations de température et l'intervention du soleil modulent les réactions des polluants de l'air, ce qui peut provoquer une hausse de leur concentration (par exemple, l'ozone) ou, inversement, une baisse par dissociation tel que les NO_x) (**Atmo, 2011**).

- **Précipitations et l'humidité:** La pluie diminue la pollution en interceptant les particules polluantes grâce aux gouttes d'eau (**Bebba et al., 2007**).

La pluie et la neige contribuent à la réduction de la pollution atmosphérique en la faisant tomber au sol, ce qui affecte les surfaces, la flore et les plans d'eau, entraînant des précipitations acides **(Atmo, 2011)**.

Les concentrations de polluants, tels que l'acide sulfurique, sont influencées par l'humidité de l'air et du sol qui jouent un rôle déterminant dans leur formation et leur élimination par dépôts humides **(Bebba et al., 2007)**.

Chapitre III : Impact des polluants phosphatés sur la santé humaine

III-1. Introduction

Les substances chimiques nocives pour la santé humaine et présentes dans l'environnement du fait de l'activité humaine sont appelées polluants environnementaux. La pollution environnementale est également causée par des événements naturels tels que les éruptions volcaniques. Les activités humaines introduisent des polluants en contaminant l'eau, l'air et le sol. L'inhalation, l'absorption orale et l'ingestion sont les trois principales voies d'exposition des contaminants. Pour indiquer la quantité d'un polluant spécifique ingérée, on utilise fréquemment le terme « dose ». La dose dépend de la durée et de l'intensité de l'exposition. Selon le niveau d'exposition, différents effets sur la santé peuvent en résulter. Bien que l'industrialisation contribue au développement d'un pays, elle introduit un grand nombre de polluants dans l'environnement, ce qui nuit à la santé des populations exposée **(Manisalidis et al., 2020)**.

III.2. Voies d'exposition

III.2.1. Inhalation

Les poumons, qui assurent les échanges gazeux entre l'air, les alvéoles et le sang, sont essentiels à la respiration car ils facilitent l'absorption et l'expulsion des gaz. Le document aborde les toxiques sous forme de gaz et volatils comme le HCN, CO et CO₂, en plus des toxiques transportés par voie aérienne tels que les pesticides organophosphorés. Il précise que des particules supérieures à **10μ** parviennent moins efficacement aux alvéoles pulmonaires et leur élimination est réduite. Des spasmes réflexes ou des œdèmes pulmonaires ou laryngés peuvent aggraver la toxicité de substances absorbées. L'exposition répétée à la silice ou à l'amiante peut entraîner des dommages fibrosants dans les poumons et favoriser l'apparition de tumeurs séreuses telles que le mésothéliome.

III.2.2. Contact cutané

La peau sert de protection étanche pour l'organisme, toutefois, elle peut être traversée par différentes substances toxiques lors de son contact avec des liquides, solides ou gaz (**Bachtarzi, 2023**).

III.2.3. Contamination indirecte (eau, sols)

On peut être exposé indirectement à la pollution en consommant des végétaux, des produits issus de l'élevage ou de la pêche, qui peuvent être contaminés s'ils sont en contact avec des sols, des eaux ou des poussières polluées. Il est essentiel de prendre en compte les types d'activités pratiquées par les individus dans les environnements pour définir les modes d'exposition, au-delà de leur simple présence (**Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2017**).

III.3. Effets respiratoires

III.3.1. Asthme

L'asthme est une affection respiratoire de longue durée, qui se manifeste par une inflammation constante des bronches. Cette affection entraîne des épisodes répétés, conduisant à des manifestations comme le souffle court, les sifflements, la toux non productive et une sensation de constriction thoracique. Dans le contexte du projet ELAPSE, des chercheurs ont étudié la fréquence de l'asthme chez les adultes en relation avec l'exposition prolongée aux PM_{2,5}, au NO₂ et au carbone. Une association significative entre ces polluants et l'asthme a été découverte, même à des niveaux inférieurs aux seuils établis par l'UE et les États-Unis. Par ailleurs, l'ozone pourrait exacerber les symptômes chez les patients atteints d'asthme (**Li et al., 2017**).

III.3.2. Bronchite chronique

La bronchite chronique est un trouble caractérisé par l'inflammation et la constriction des bronches, se traduisant par une toux durable dépassant trois mois par an sur une période minimale de deux ans (**Doiron et al., 2021**).

Cette recherche a examiné le lien entre la pollution atmosphérique et la bronchite chronique, en tenant compte de l'occurrence et de l'incidence de cette pathologie, ainsi que de la toux persistante et des symptômes liés à l'expectoration, associés à une exposition aux particules PM_{2,5}, au dioxyde d'azote (NO₂) et aux suies de carbone. Tous les contaminants étaient associés à des symptômes de toux ou d'expectoration, mais seule la présence de NO₂ et de suie de carbone était notablement liée à la bronchite chronique (**Liu et al., 2021**).

III.3.3.Irritations des voies respiratoires

Les voies respiratoires inférieures sont touchées par les infections respiratoires, entraînant des pneumonies, bronchites aiguës et bronchiolites. Ces dernières constituent 18% des mortalités chez les enfants de moins de 5 ans, dont 8% pourraient être évitées grâce à une diminution de la pollution atmosphérique (**Prüss-Üstün et al., 2016**).

La pollution de l'air est liée à un risque augmenté d'infections des voies respiratoires supérieures, comme la pharyngite et la sinusite. Une recherche menée à Pékin a fait le lien entre différents contaminants de l'air (O₃, NO₂, CO, SO₂, PM_{2,5} et PM₁₀) et les cas d'infections respiratoires aiguës. On a établi une corrélation entre l'exposition à ces polluants et une hausse des consultations ambulatoires pour des infections des voies respiratoires supérieures, de la bronchite aiguë et de la pneumonie (**Li et al., 2017**).

Un risque augmenté d'infections des voies respiratoires supérieures, telles que la pharyngite et la sinusite, est lié à la pollution atmosphérique. Une recherche menée à Pékin a révélé un rapport entre divers polluants de l'air (O₃, NO₂, CO, SO₂, PM_{2,5} et PM₁₀) et les infections respiratoires aiguës. Cela a conduit à une hausse des consultations en ambulatoire pour ces troubles, ainsi que pour la bronchite aiguë et la pneumonie (**Boczkowski, 2021**).

III.4.Effets dermatologiques et oculaires

III.4.1.Irritations cutanées

Les principaux types de pollution nocifs pour la santé humaine incluent la pollution de l'eau, de l'air, des sols, ainsi que la pollution lumineuse et sonore (**Ghorani-Azam et al., 2016**). La pollution de l'air est particulièrement nocive pour la peau (**Portugal-Cohen et al., 2017**). La peau, en tant que couche externe du corps humain, agit principalement comme une barrière contre les agressions environnementales tout en assurant des fonctions sensorielles et métaboliques essentielles (**Proksch et al., 2008 ; Kanwar, 2018**). La peau est la deuxième voie la plus fréquente, après les voies respiratoires, pour l'entrée de particules et toxines présentes dans l'air dans le corps (**Lewtas, 1993 ; Madison, 2003**).

Un contact avec des polluants atmosphériques peut entraîner des rougeurs cutanées. Une exposition prolongée peut causer divers problèmes dermatologiques comme le vieillissement cutané, des réactions inflammatoires, des dermatites allergiques et irritantes, de l'eczéma, de l'acné, et même des cancers (**Portugal-Cohen et al., 2017 ; Bickers & Athar, 2006 ; Puri et al., 2017**).

III.4.2. Conjonctivites

La cornée, étant la structure la plus sensible du corps humain grâce à ses innervations, est particulièrement vulnérable aux agents environnementaux **(Al-Aqaba et al., 2019 ; Tuominen et al., 2003)**.

Les yeux humains se protègent des substances nocives par un film lacrymal pré-cornéen, mais restent sensibles à la pollution atmosphérique **(Koh et al., 2018)**.

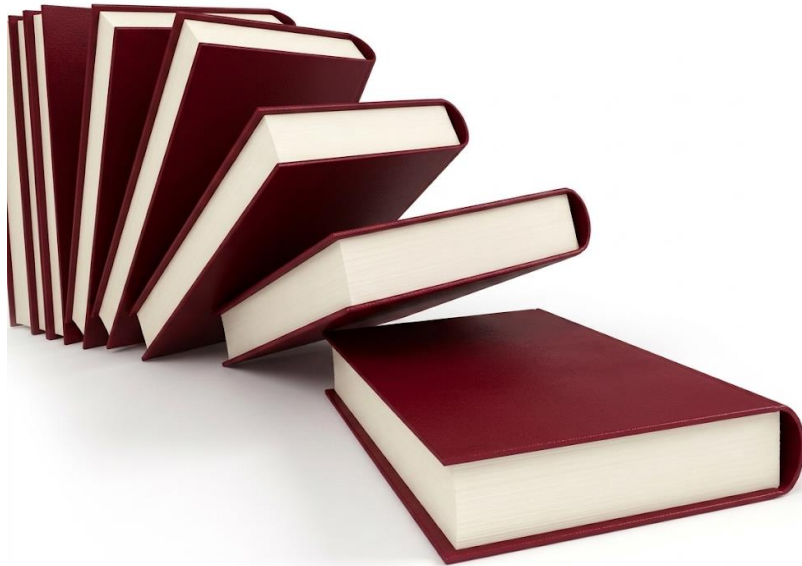
Les polluants atmosphériques comme le CO, les NO_x, les PM et l'O₃ causent principalement irritation et inflammation des yeux humains, avec la conjonctivite étant un problème fréquent **(Schwela, 2000)**.

De nombreuses études révèlent un lien entre les polluants atmosphériques, tels que les PM_{2,5}, et la conjonctivite allergique. La conjonctivite et la sécheresse oculaire résultent directement de la pollution atmosphérique. L'inflammation chronique, le stress oxydatif et la pollution atmosphérique peuvent entraîner des maladies oculaires telles que les cataractes, le glaucome, l'uvéite, l'amincissement de la rétine, la dégénérescence maculaire et la rétinopathie diabétique **(Hong et al., 2016 ; Mimura et al., 2014)**.

Partie II: Etude épidémiologique



Matériels et méthodes



1. Objectif et type d'étude

Il s'agit d'une étude épidémiologique observationnelle de type transversale visant à évaluer l'impact de l'exposition aux mines de phosphate sur la santé de la population de Bir El Ater.

2. Lieu de l'étude

L'étude a été réalisée au niveau de la commune de Bir El-Ater, située à l'extrême Sud-Est de la wilaya de Tébessa. Elle s'étend sur une superficie de 1 987,34 km² et occupe une position stratégique en tant que chef-lieu de daïra. Sur le plan géographique, la commune se situe à 100 km au sud du chef-lieu de la wilaya et à 45 km à l'ouest de la frontière tunisienne. Limites administratives :

- Au Nord : la commune d'Ogla El Melha.
- Au Sud : la commune de Négrine et la Tunisie.
- À l'Est : la commune de Safsaf El Ouesra et la Tunisie.
- À l'Ouest : la commune de Tlidge.

On estime que Bir El-Ater compte entre 100 000 et 170 000 résidents, ce qui traduit une densité de population significative exposée aux opérations industrielles. Cette zone est réputée à l'échelle internationale pour son gisement de phosphate de Djebel Onk, parmi les plus significatifs au monde. La croissance urbaine de la cité s'est opérée à proximité directe des zones d'extraction et des voies de transport du minerai.

Dans notre recherche, nous nous concentrons tout particulièrement sur les résidents des zones les plus touchées par les poussières de phosphate, en particulier :

- Le secteur El Atik : une zone historique située à proximité des infrastructures.
- Le secteur 1er Mai : fortement exposé aux dépôts atmosphériques.
- Le secteur El Houria : positionné le long de l'itinéraire des transports en commun lourds de phosphate.

2.2. Population étudiée

L'étude porte sur les résidents permanents de la commune de Bir El Ater. Afin d'assurer la pertinence des résultats, nous avons sélectionné un groupe représentatif de 300 personnes incluant différentes tranches d'âge et des deux sexes. On a accordé une attention spéciale aux individus résidant à proximité des zones où le phosphate est stocké et traité et aussi aux employés de l'industrie minière ainsi qu'aux patients qui se rendent dans les établissements de santé locaux pour des problèmes respiratoires.

- Critères d'exclusion :

- maladies préexistantes non liées
- travailleurs exposés professionnellement
- Habitants moins de 10 ans

2.3. Source d'information

Cette étude s'appuie principalement sur une enquête de terrain réalisée directement auprès des résidents de la commune de Bir El Ater.

Afin de collecter les données requises, nous avons utilisé un questionnaire structuré en tant qu'instrument de recueil primaire. Cette méthode descriptive nous a fourni des renseignements directs sur la perception de l'état de santé par la population, leurs constatations journalières en ce qui concerne les nuisances environnementales (poussières, fumées), et leur compréhension des dangers associés à l'exploitation minière du phosphate dans leur cadre de vie proche.

2.4. Déroulement et période de l'enquête

L'enquête s'est déroulée sur une période de trois mois, allant du 2 Février 2026 au 2 Avril 2026. L'enquête s'est caractérisée par une participation directe dans la communauté locale de Bir El Ater. Pour garantir une collecte optimale, nous avons réparti le questionnaire en différents lieux clés de la municipalité, dans le but d'atteindre le plus grand nombre possible de résidents : Dans les quartiers d'habitation : En réalisant des visites dans les zones les plus touchées (Cité El Atik, 1er Mai, El hay El jadid, ...etc.).

Dans les espaces publics : Par exemple, sur les places principales et aux abords des centres médicaux, où les individus sont davantage portés à évoquer leurs soucis de santé.

Via les réseaux sociaux : (Si applicable) Pour atteindre la catégorie jeune de la population.

2.5. Contenu de questionnaire de l'enquête

L'outil principal pour cette recherche, le questionnaire, a été conçu de façon méthodique en trois parties essentielles suivies d'une section d'informations générales :

-Informations générales: Cette section permet d'établir le profil socio-démographique des participants (nom, âge, sexe, adresse et profession). Dans le but de déterminer les catégories qui sont le plus affectées.

-Section A: Exposition aux émissions (Gaz et particules):

L'objectif est d'apprécier le niveau de contact des résidents avec les émissions de la mine. Les interrogations concernent la durée du séjour à Bir El-Ater, La fréquence à laquelle on perçoit les émanations et la distance physique (individuelle ou professionnelle) par rapport au site de Djebel Onk.

-Section B: Impacts sur la santé

C'est le volet principal de l'étude. Elle recense les symptômes éprouvés par la population, comme les problèmes respiratoires, les irritations des yeux, les céphalées et les allergies. Elle souhaite aussi déterminer si un diagnostic médical a été établi et si les symptômes affectent d'autres membres de la famille.

-Section C: Prise de conscience et prévention :

Ce segment étudie le degré de sensibilisation des résidents aux dangers sanitaires associés au phosphate. Elle dresse également la liste des protections mises en place (masques, ventilation, etc.) et collecte les propositions des citoyens pour optimiser l'état de la santé publique locale.

2.6. Difficultés rencontrées:

Problèmes rencontrés

L'accomplissement de cette étude sur le terrain à Bir El-Ater a été jalonné de nombreuses contraintes significatives.

-Absence de données environnementales officielles: Il y a un déficit de données officielles relatives aux taux précis de pollution atmosphérique dans la région minière.

-Réticence de la population: Scepticisme de certains citoyens ou insuffisance de sensibilisation à l'importance de la recherche.

-Contraintes climatiques: Conditions météorologiques difficiles (chaleur et poussière) rendant les déplacements sur le terrain pénibles

2.7. Traitement des données

Après l'achèvement de la phase de collecte, les données obtenues grâce au formulaire Google Forms ont été extraites et ont fait l'objet d'une analyse statistique minutieuse. Nous avons entrepris les démarches suivantes pour y parvenir :

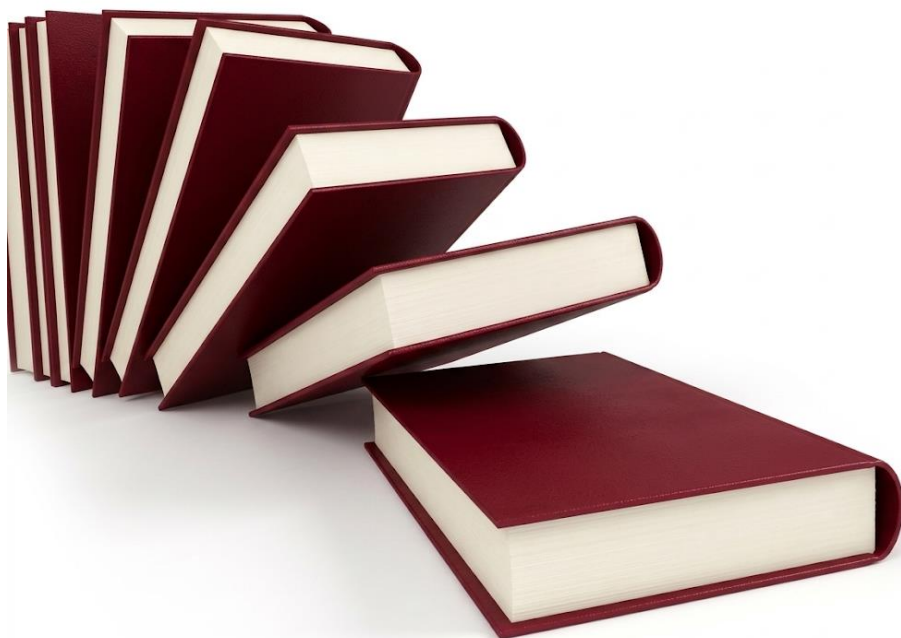
-Codification et Nettoyage: Les réponses ont été examinées pour exclure les formulaires incomplets ou incohérents, afin d'assurer la crédibilité des résultats.

-Analyse Statistique: Nous avons fait appel au logiciel Microsoft Excel pour réaliser une analyse descriptive. Cela a rendu possible le calcul des fréquences et des pourcentages pour chaque variable (âge, durée d'exposition, type de symptômes).

-Représentation Graphique: Les résultats ont été transformés en représentations visuelles comme les cercles et les diagrammes. Ces diagrammes simplifient l'interprétation des informations et soulignent la relation entre l'exposition aux rejets miniers et la santé des résidents.

-Interprétation: Ces données traitées ont été utilisées comme fondement pour discuter des résultats en mettant en parallèle les observations sur le terrain et les notions théoriques discutées dans la première section du mémoire.

Résultats et Discussion



I. Résultats

I.1. Profil sociodémographique de l'échantillon

I.1.1. Répartition de la population selon l'âge et le sexe

Les résultats (Fig 04) indiquent une prédominance de la participation féminine par rapport à la masculine avec une estimation approximative de 65% contre 35%. En outre De plus, environ 75% des participants se situent dans la tranche d'âge de 18 à 35 ans. On observe que la tranche d'âge de 35 à 55 ans constitue environ (20%), tandis que les individus de plus de 55 ans représentent quasiment (5%).

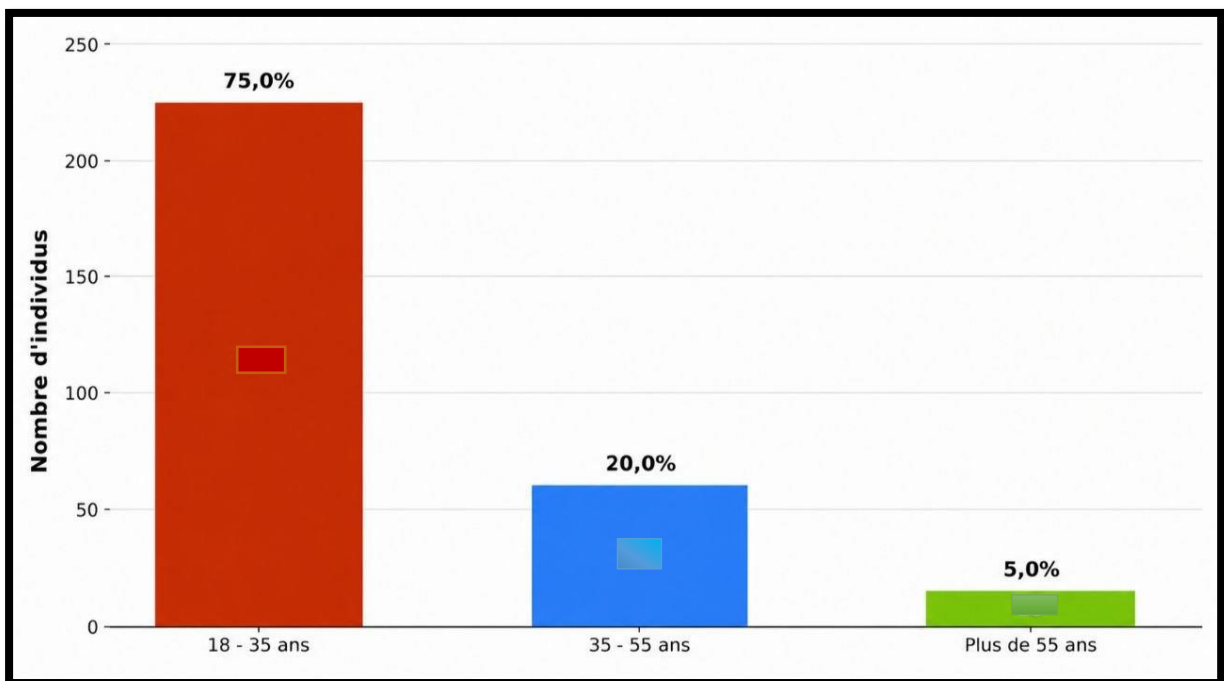


Figure 03: Répartition des participants selon les tranches d'âges.

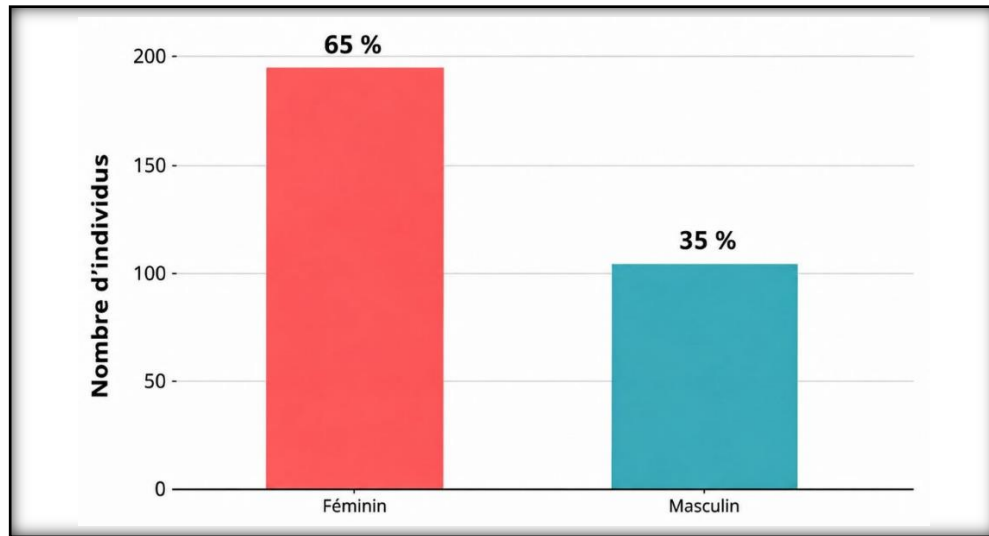


Figure 04: Répartition des participants selon le sexe.

I.1.2. Situation professionnelle et répartition géographique des participants

Les résultats montrent que la plupart des personnes interrogées sont des étudiants. Environ 60% de l'échantillon est constitué d'individus, suivi de près par les employés avec 30%, alors que les personnes sans emploi représentent approximativement 10%. En termes de localisation, la plupart des participants vivent dans des quartiers à proximité du site minier de Bir El Ater, ce qui augmente leur exposition aux émissions polluantes.

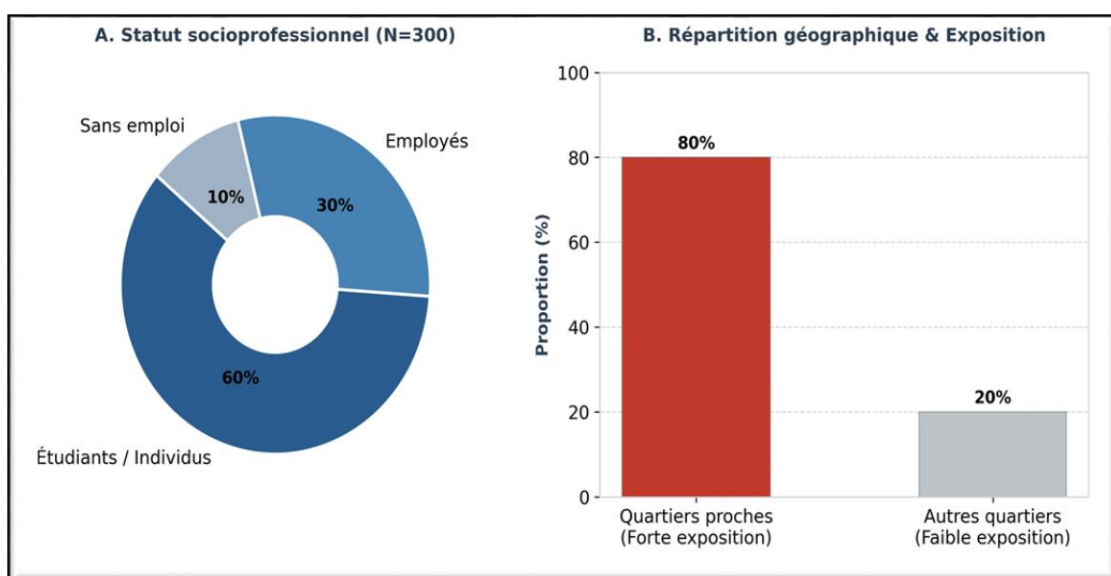


Figure 05 : Analyse croisée du profil socioprofessionnel des répondants et de leur niveau

d'exposition environnementale par rapport à la mine de Bir El Ater.

I.2. Analyse de l'exposition aux émissions de gaz phosphatés

I.2.1. Durée de résidence des habitants dans la zone de Bir El Ater

Les résultats indiquent que la plupart des personnes sondées habitent à Bir El Ater depuis longtemps. Près de 70,7% de l'échantillon résident dans la région depuis plus d'une décennie, tandis que 19,3% y habitent depuis 5 à 10 ans. Les résidents récemment établis représentent une minorité, avec 7% pour la catégorie de 1 à 5 ans et simplement 4% pour ceux qui sont là depuis moins d'un an.

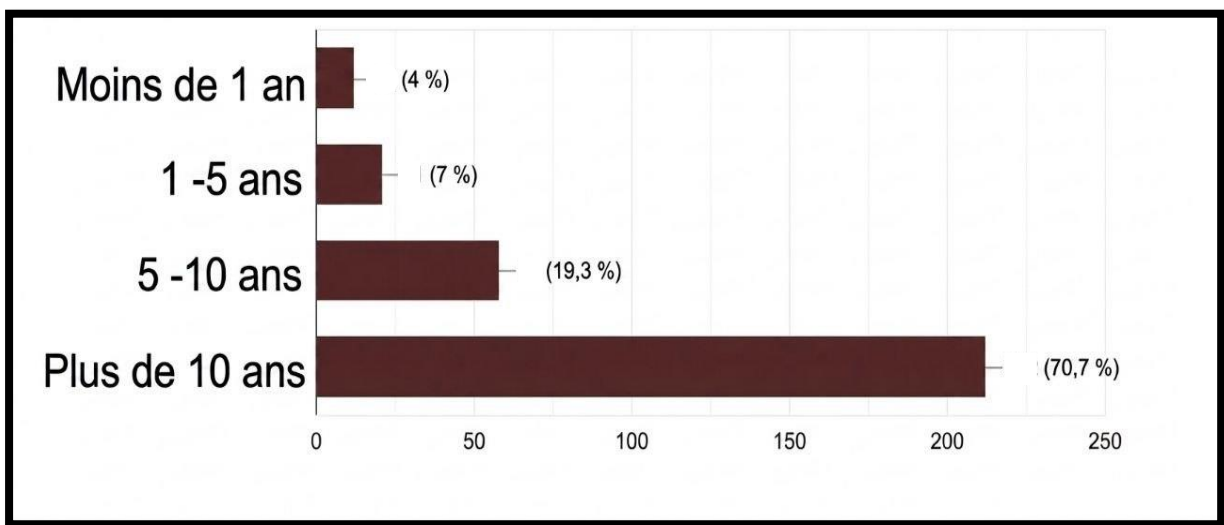


Figure 06: Durée de résidence des participants à Bir El Ater.

I.2.2. Évaluation de l'exposition directe aux émissions de la mine

Les données indiquent que la plupart des participants ne se sentent pas directement affectés par les émissions provenant de la mine. Près de 68,7% des personnes interrogées affirment ne pas être exposées directement. Alors que 31,3% des participants attestent d'une exposition directe aux émanations provenant du site minier. Bien qu'elle puisse sembler minoritaire, cette proportion est toujours importante pour votre recherche. Insistant sur l'importance d'étudier les effets de santé particuliers sur ce segment de la population vivant près des zones d'extraction à Bir El-Ater.

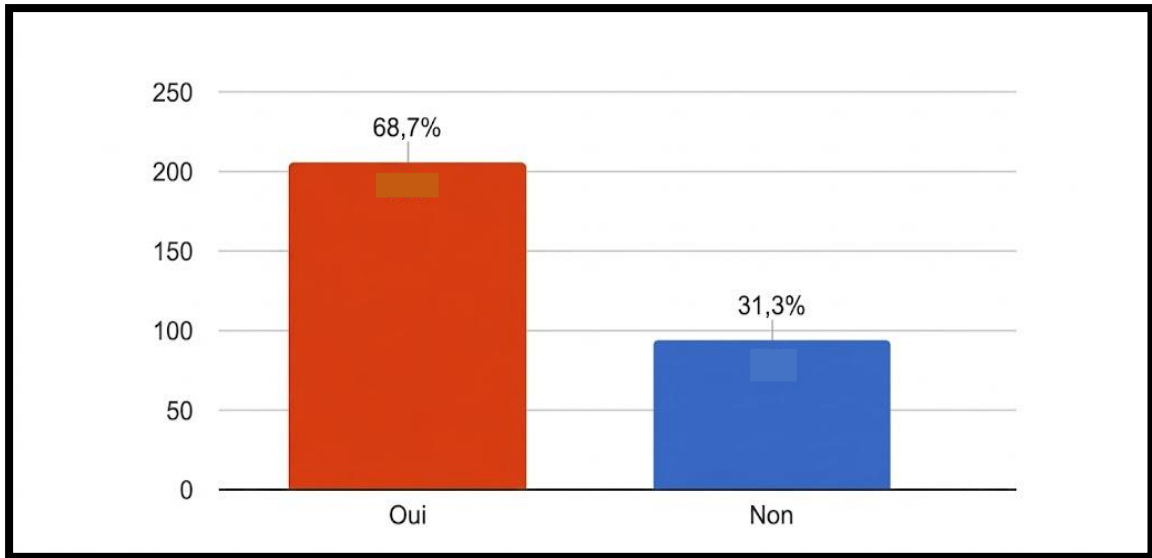


Figure 07: Exposition directe des participants aux émissions minières.

I.2.3. Fréquence de perception des odeurs de gaz

Les conclusions indiquent que la plupart des participants détectent régulièrement des senteurs de gaz. Près de 63,5% des participants affirment percevoir ces senteurs fréquemment (34,4 % indiquent « souvent » et 29,1 % « toujours »). 27,2% des participants les ressentent 'parfois', tandis que seulement 9,3% d'entre eux affirment ne les éprouver que 'rarement'.

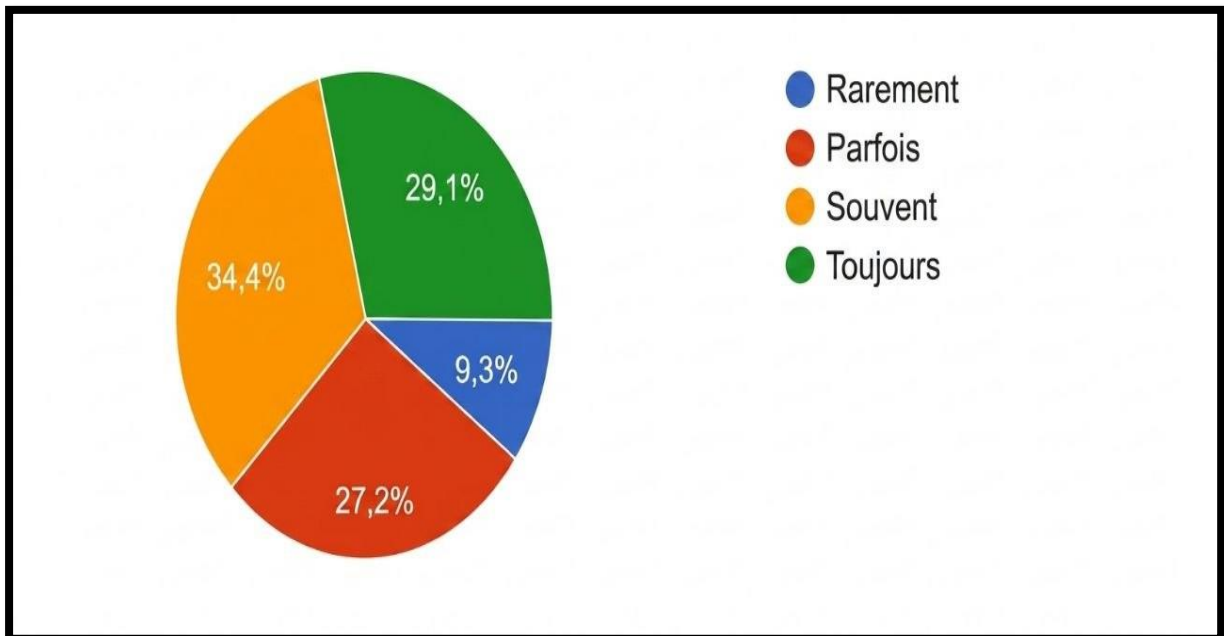


Figure 08: Fréquence de perception des odeurs.

I.2.4. Corrélation entre la proximité des activités quotidiennes et le site minier

Les résultats indiquent qu'une vaste majorité des participants ne pratiquent pas d'activités professionnelles ou personnelles aux alentours immédiats du site minier. Près de 74,1% de l'échantillon affirment ne pas avoir de relation directe (professionnelle ou personnelle) avec la région minière, tandis qu'une partie notable de 25,9% indique être impliquée dans cette zone.

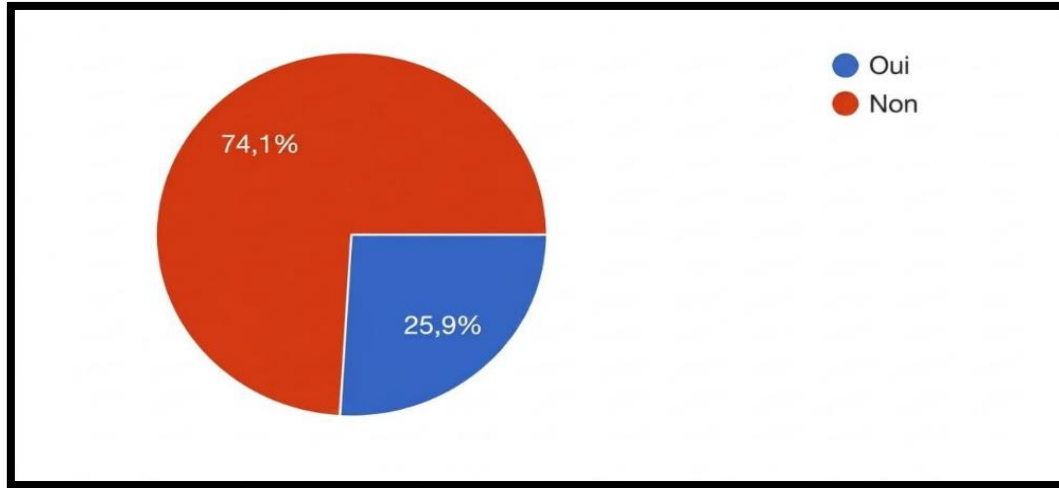


Figure 09: Proximité des activités des répondants par rapport à la mine.

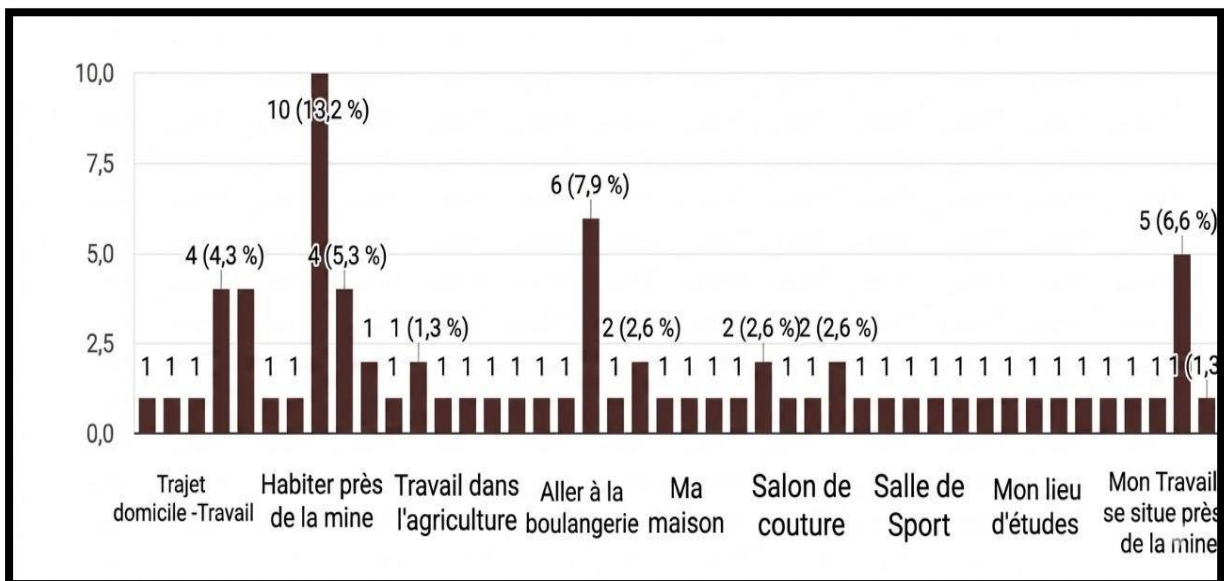


Figure 10: Nature des activités pratiquées à proximité du site minier.

I.3. Impact des émissions sur la santé des habitants inventaire et prévalence des symptômes ressentis

I.3.1. Inventaire et prévalence des symptômes ressentis

L'analyse indique une prévalence notable de symptômes respiratoires et irritants parmi la population étudiée. Une majorité des participants (56%) rapportent une toux continue, des

problèmes respiratoires (55%), des allergies (54,7%) et des irritations oculaires, pharyngées ou cutanées (51,3%). Une proportion considérable de l'échantillon (47,7%) est également affectée par les maux de tête. Par contre, les maladies plus sévères telles que le cancer ne sont signalées que par une minorité (3%).

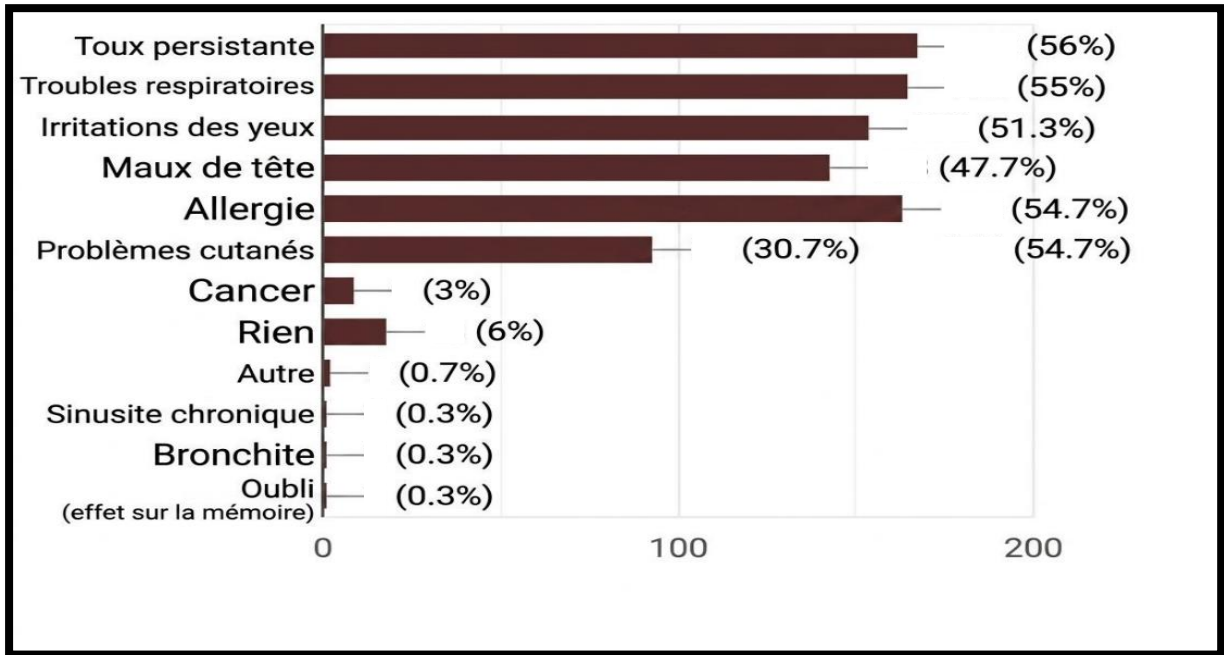


Figure 11: Prévalence des différents symptômes signalés par la population.

I.3.2. Analyse de la périodicité des symptômes

Les observations indiquent que pour la plupart des participants, les symptômes demeurent persistants pendant toute la journée. Effectivement, près de (64,3%) de l'échantillon indique éprouver ces désagréments sur une période continue (tout au long de la journée), Alors que (23,7%) signalent leur présence uniquement durant le jour. Un petit groupe, soit (12%).

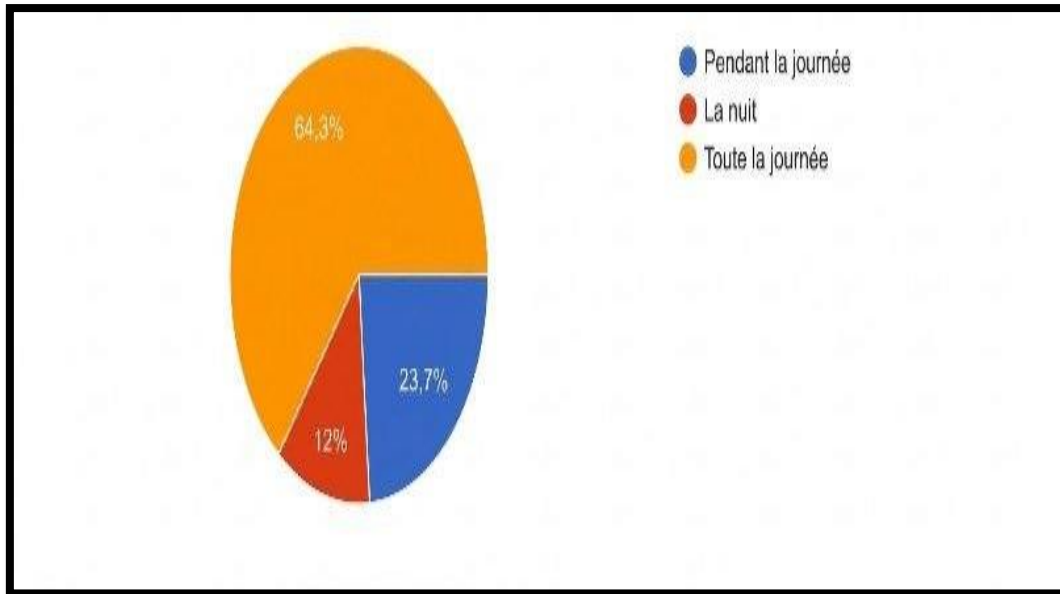


Figure 12: Périodicité d'apparition des symptômes chez les habitants.

I.3.3. Bilan des consultations médicales et diagnostics

Les données indiquent qu'une grande partie des participants a sollicité une consultation médicale en raison des symptômes perçus. Effectivement, 60,3% des personnes interrogées affirment avoir vu un médecin, alors que 39,7% admettent ne pas l'avoir fait alors que (39,7%) affirment ne pas l'avoir réalisé. Ce pourcentage important (60,3%) met en évidence la gravité des problèmes de santé éprouvés par les habitants de la région.

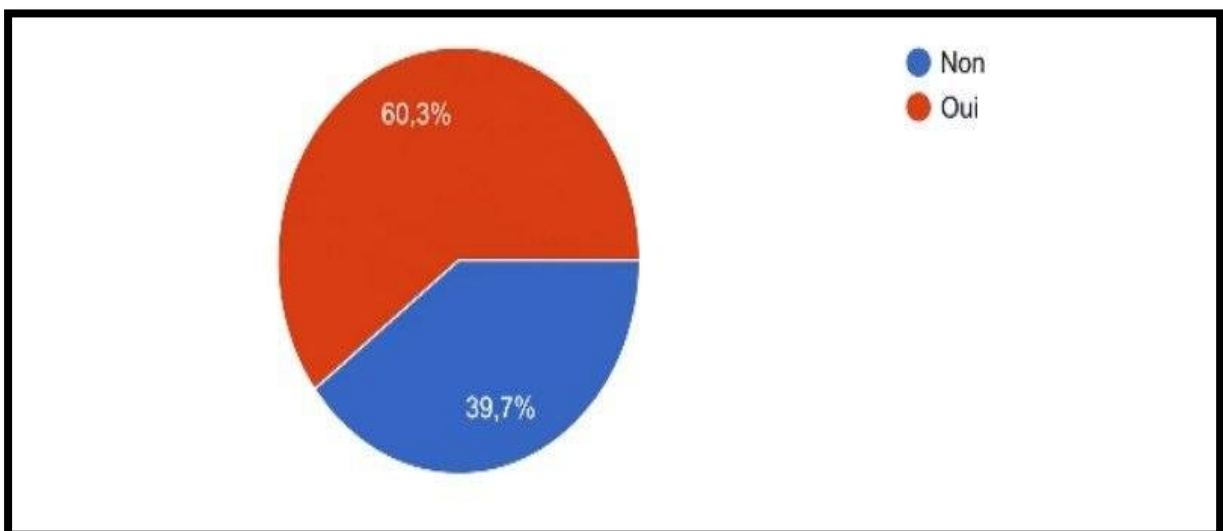


Figure 13: Répartition saisonnière de l'apparition des symptômes.

I.3.4 Étude de la propagation des symptômes au sein des familles

Les résultats indiquent qu'une proportion significative de participants rapportent que d'autres membres de leur famille éprouvent des symptômes similaires. Près de (69,3%) des participants à l'enquête affirment que leurs proches sont aussi concernés, alors que 30,7% soutiennent le contraire.

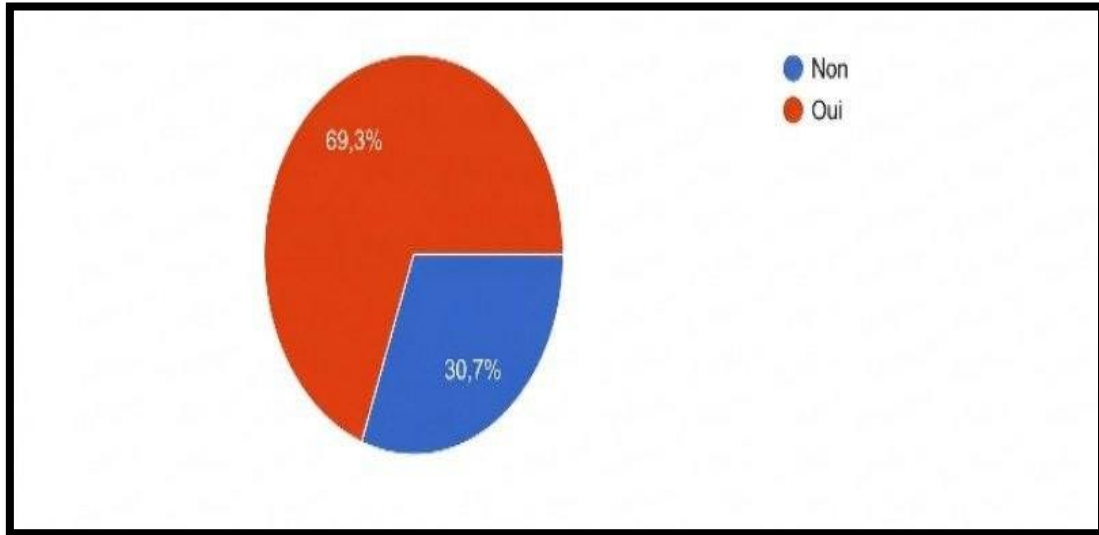


Figure 14: Présence de symptômes similaires chez les membres de la famille.

I.4. Perception des risques et mesures de prévention

I.4.1. Évaluation de la conscience des risques

L'impact nocif des émissions gazeuses provenant du complexe minier sur la santé est quasiment unanimement reconnu par les participants, comme l'indiquent les résultats. Effectivement, (97,3%) des participants affirment que ces gaz ont un impact sur la santé publique, aucun d'entre eux (0%) n'ayant exprimé une opinion contraire, tandis que (2,7%) des individus sondés se sont définis comme n'ayant pas d'avis.

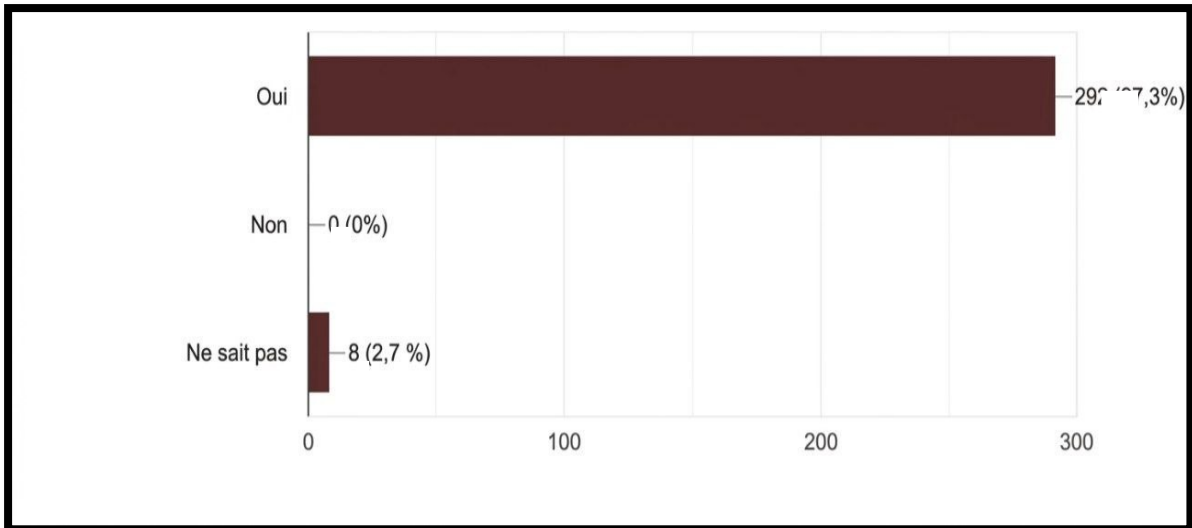


Figure 15: Perception des habitants vis-à-vis de l'impact des gaz miniers sur la santé

I.4.2. Mesures de protection adoptées

Les résultats sur les mesures préventives prises par les résidents afin de réduire l'impact des gaz provenant du site minier montrent une réaction adaptative répandue. La mesure la plus courante, adoptée par 83,3 % des participants, est la ventilation. Elle est suivie par le port du masque (75,7 %) et l'éloignement physique des sources d'émission (68,3 %). L'utilisation marginale d'autres méthodes (chacune ne représentant pas plus de 1,3 %) témoigne du fait que les communautés possèdent peu de ressources spécifiques ou technologiques pour se défendre contre cette pollution.

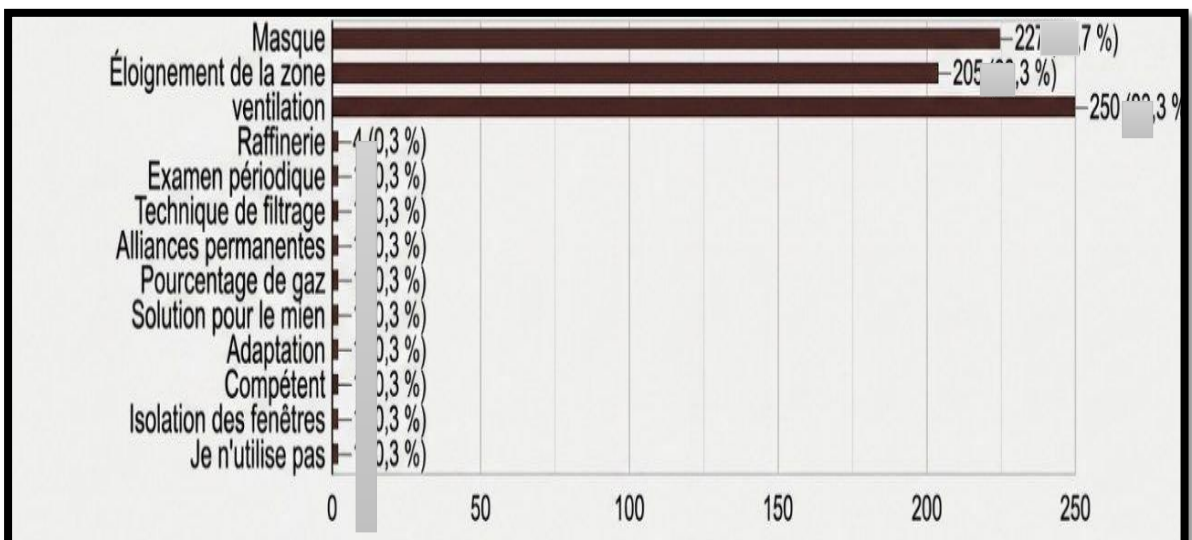


Figure 16: Stratégies de protection utilisées par les habitants contre les émanations gazeuses.

I.4.5. Synthèse des suggestions d'amélioration

Les résultats montrent que 80% des participants appuient la proposition d'établir des filtres pour réduire les émissions polluantes. Alors que 64% recommandent la reforestation des zones avoisinantes. De plus, 59% des personnes interrogées désirent un meilleur suivi médical de la population. Alors que 54% préconisent de situer le site minier loin des zones résidentielles

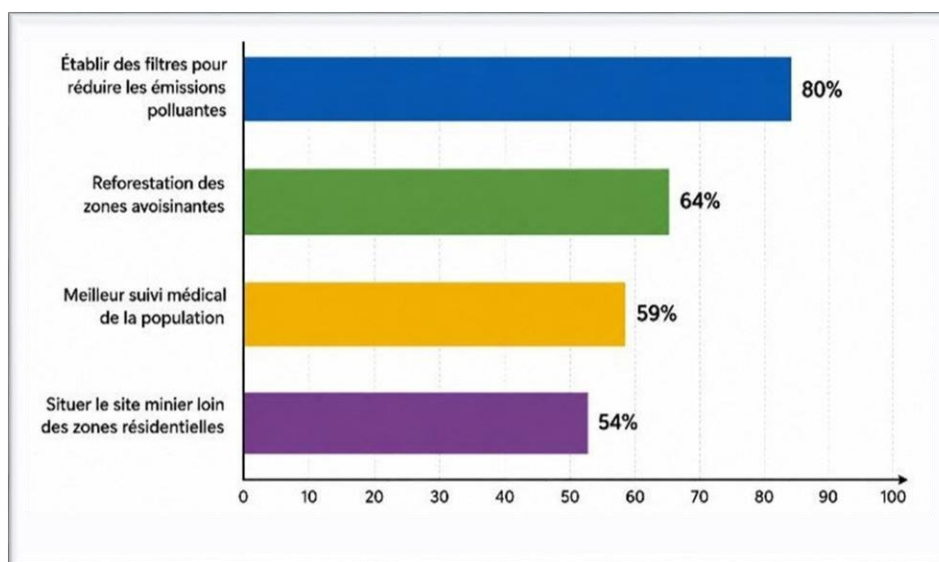


Figure 17: Répartition des principales suggestions d'amélioration exprimées par la population enquêtée.

Discussion

II.1.Prévalence des pathologies respiratoires et dermatologiques

L'étude révèle une forte proportion de troubles respiratoires (55 %) associée à des irritations oculaires, cutanées et pharyngées chez 51,3% d'entre eux. Ces données suggèrent que la population serait exposée de façon prolongée aux émissions provenant des activités extractives. Ces conclusions corroborent les travaux de **Zayed et al., (2020)** ainsi que ceux d **Elkhayat et al., (2025)**, qui ont rapporté des symptômes analogues et mis en évidence la persistance d'affections pulmonaires sévères, telles que la silicose, dans les zones minières. Il est d'autant plus préoccupant d'inhaler ces poussières que les roches phosphatées libèrent des radionucléides naturels (U-238 et Ra-226) et du fluorure. Selon l'étude de **(Hazou et al., 2021)** ces éléments accroissent les indicateurs de risque radiologique et la probabilité de pathologies chroniques graves **(Nasr, 2024)**. Globalement, ces résultats confortent l'hypothèse selon laquelle l'exposition chronique aux particules fines et aux gaz soufreux serait au cœur de la dégradation de la santé pulmonaire. Les haldes sont en effet des sources continues d'aérosols

nocifs transportés par le vent vers les quartiers résidentiels (IUGGU, 2021). Toutefois, l'absence de mesures environnementales directes empêche de déterminer avec précision la corrélation quantitative entre les niveaux d'exposition et les effets sanitaires observés.

II.2. Perception du risque et réalité environnementale:

Néanmoins, près de la totalité des répondants (97,3 %) est d'accord pour affirmer que les rejets miniers constituent un danger immédiat pour la santé publique. Cette perception élevée correspond parfaitement aux données environnementales de la région de Tébessa, où de nombreuses études ont mis en évidence la présence de métaux lourds et de composés soufrés dans les effluents industriels (Boumaza et al, 2023; Yahiaoui et al., 2024). Cette inquiétude citoyenne est scientifiquement corroborée par la présence de métaux hautement toxiques, tels que le cadmium et le plomb. Ces métaux s'accumulent dans l'organisme et contaminent la chaîne trophique locale (ANSES, 2026). Par ailleurs, les travaux effectués au niveau local par Lemita et al., (2021), ont montré qu'au travers de l'activité minière, l'exposition au plomb induisait une hépatotoxicité et de graves dysfonctionnements mitochondriaux. Les analyses toxicologiques confirment que les craintes des riverains ne sont pas des suppositions, mais répondent à une dégradation sanitaire réelle et concrète. En outre, cette perception est renforcée par l'expérience quotidienne des nuisances visibles (poussières) et olfactives (odeurs), ce qui renforce le sentiment d'insécurité. Ce phénomène est le signe d'une dégradation profonde du capital social et environnemental de la région, et provoque une « éco-anxiété » chez des populations dont la qualité de vie est lourdement impactée par l'industrie (Jain & Kaushik, 2026). En somme, bien que la perception populaire ne remplace pas des analyses physico-chimiques rigoureuses, elle représente un indicateur indirect majeur de l'état de dégradation de l'écosystème à Bir El Ater.

II.3. Limites des stratégies de protection

Les résultats indiquent que les mesures de protection prises par les habitants de Bir El Ater restent principalement individuelles, comme la ventilation des habitations (83,3 %) et le port du masque (75,7 %). Ces pratiques sont utiles, mais elles ne suffisent pas à réduire efficacement l'exposition chronique aux polluants atmosphériques. Cette situation montre l'absence de gestion globale du risque et le manque de dispositifs industriels de réduction des émissions à la source (Mostafa et al, 2025). Soulignent à cet égard que les approches basées uniquement sur les comportements individuels ont une portée limitée dans les contextes miniers. Ils préconisent, comme des solutions techniques intégrées dès la source, considérant les mesures domestiques comme de simples solutions (palliatives) (Martins et al, 2025). L'absence de

stratégies de contrôle global augmente inévitablement le fardeau des maladies professionnelles et environnementales au sein de la région. Selon les données géochimiques et géologiques, l'atténuation de l'impact ne peut être assurée que par la stabilisation des terrils et le confinement des poussières lors du transport **(IUGGU, 2021)**. Enfin, l'écart observé entre une conscience élevée du risque et une protection inadéquate met en lumière la nécessité impérieuse pour les pouvoirs publics d'imposer des normes plus strictes de filtration et de rejet, conformément aux récentes recommandations sanitaires internationales **(ANSES, 2026)**.

II.4. Vers une approche environnementale intégrée

Enfin, notre étude corrobore les conclusions de **(Kumar & Rajput., 2022)**. Concernant les impacts multidimensionnels de l'exploitation minière montrant que les dommages environnementaux dépassent largement la santé humaine pour atteindre la flore et la faune locales. L'extraction du phosphate modifie profondément la structure géochimique des sols et facilite la migration d'éléments toxiques vers les nappes phréatiques, mettant en danger tout l'écosystème régional **(IUGGU, 2021)**. Cette dégradation est attestée par des travaux récents **(Aksakal & Görmez, 2026)**, ce qui prouve que la mauvaise gestion des rejets phosphatés conduit à une lixiviation des métaux lourds dans la biosphère. Devant ce constat, l'intérêt net des répondants pour le reboisement (64 %) et le suivi médical systématique (59 %) reflète un besoin sociétal pressant d'une approche de développement durable. Le reboisement serré apparaît alors non seulement comme une mesure esthétique, mais une solution biotechnologique préconisée pour fixer les poussières minérales et agir comme une barrière biologique capable d'absorber une partie des métaux lourds **(Jain & Kaushik, 2026)**. En somme, la richesse des données collectées rend nécessaire une politique territoriale stricte à Bir El Ater, avec un suivi environnemental régulier et des investissements technologiques ciblés pour préserver l'équilibre écologique et la santé publique durablement.

Conclusion et perspectives



Conclusion et perspectives

L'exploitation des ressources phosphatées est un enjeu stratégique majeur pour l'Algérie du fait de leur importance économique dans les secteurs agricole et industriel. Toutefois, les travaux des mines, surtout dans la région de Djebel Onk à Tébessa, suscitent des inquiétudes croissantes quant à leurs impacts sanitaires et environnementaux. Le but du présent travail était d'évaluer l'impact de l'exploitation du phosphate sur l'état de santé des habitants de Bir El-Ater. L'enquête terrain a été menée auprès de 300 résidents (56% d'hommes et 44% de femmes), a montré que plus de 57% de la population étudiée habite dans la zone immédiate des zones d'exploitation minière depuis plus de 20 ans. Nos résultats révèlent une forte prévalence de pathologies associées à cette exposition : 55 % des personnes interrogées souffrent de troubles respiratoires, 56,3 % d'une toux chronique et 51,3 % d'irritations cutanées et oculaires. Par ailleurs, l'étude met en évidence que 60,3 % des habitants ont déjà consulté un médecin pour ces motifs, ce qui confirme une dégradation de l'état de santé publique. Ces données suggèrent que l'inhalation prolongée de poussières de phosphate, riches en éléments chimiques irritants, représente un facteur de risque majeur pour le système respiratoire et immunitaire des riverains.

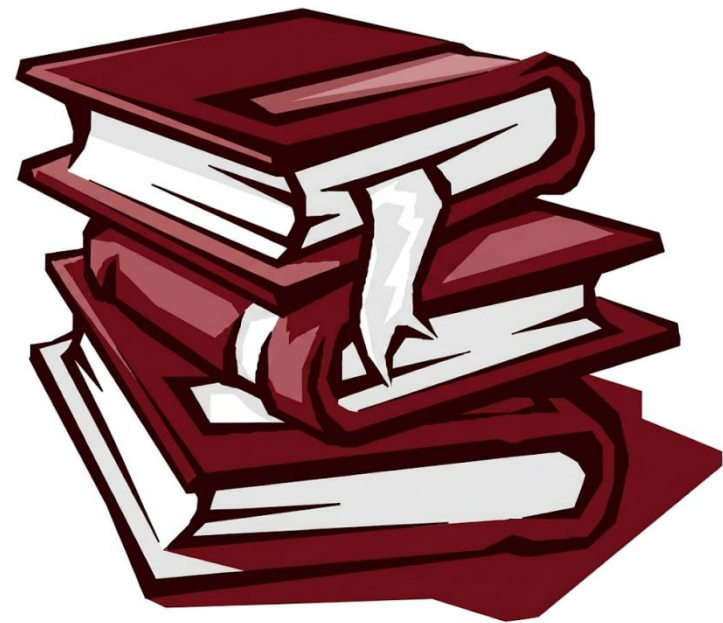
Ainsi, les habitants signalent le plus souvent des affections respiratoires, à savoir des difficultés à respirer, une toux chronique, ou des manifestations évoquant des bronchites ou des réactions allergiques. On a également observé des effets dermatologiques, notamment des irritations cutanées et des démangeaisons, ainsi que des troubles oculaires se traduisant par des rougeurs et des irritations. Ces observations révèlent une vulnérabilité spécifique des populations vivant près des zones minières et soulignent l'importance du dépistage précoce et d'un suivi médical régulier pour prévenir l'apparition ou l'aggravation de maladies chroniques liées à une exposition prolongée aux poussières phosphatées. L'étude révèle également que les mesures de protection adoptées par les habitants demeurent principalement individuelles, telles que la ventilation des habitations ou le port de masques, et restent insuffisantes face à une exposition continue et prolongée. Cette étude pourrait également ouvrir la voie à l'élaboration de programmes de prévention et de sensibilisation destinés aux populations locales, ainsi qu'à la mise en place de mesures de surveillance sanitaire et environnementale plus rigoureuses dans les régions minières. Enfin, les résultats obtenus pourraient contribuer à orienter les décideurs vers l'adoption de stratégies de gestion durable conciliant développement économique, protection de l'environnement et préservation de la santé publique.

Dans une perspective future, plusieurs mesures préventives et correctives ont été proposées, notamment l'installation de systèmes de filtration adaptés, l'amélioration de la gestion des déchets miniers ainsi que le renforcement du suivi médical des populations riveraines.

Par ailleurs, des analyses environnementales complémentaires portant sur la qualité de l'air, de l'eau et des sols pourraient être menées afin d'identifier avec précision les principaux contaminants issus de l'exploitation du phosphate et d'évaluer leur niveau de toxicité. L'intégration d'analyses biologiques et biochimiques chez les populations exposées représenterait également une approche intéressante pour détecter d'éventuels biomarqueurs d'exposition ou d'effets toxiques.

Il est également recommandé de mettre en place une surveillance environnementale continue de la qualité de l'air, de l'eau et des sols, ainsi qu'un suivi sanitaire régulier des populations concernées. Enfin, le développement de politiques environnementales intégrées visant à réduire les émissions polluantes à la source demeure indispensable.

Références Bibliographiques



-A-

Aksakal, E., & Görmez, G. (Eds.). (2026). Applied Biological Sciences: Biotechnology, Environmental Impacts and Health Perspectives. Haliç Publishing House.

Al-Aqaba, M. A., Dhillon, V. K., Mohammed, I., Said, D. G., & Dua, H. S. (2019). Corneal nerves in health and disease. Progress in Retinal and Eye Research, 73, 100762. Alger, Algérie. Documents algériens, série économique : mines ; Les mines en Algérie.

Allouche, H., & Ghouli, T. (2022). Maintenance des réducteurs de vitesse à l'entreprise SOMIPHOS Bir-El-Ater. Mémoire de Master, Université Larbi Tebessi, Tébessa.

Amrouche, S., & Bounouar, S. (2007). Étude des sources des polluants atmosphériques dans la région de Béjaïa. Mémoire de fin d'études, Université de Béjaïa.

Aouadi, A. (2010). Cartographie de la distribution de la pollution atmosphérique d'origine automobile au niveau de la région d'El Kala en utilisant Pistacia lentiscus. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba.

Atmo. (2011). Le contrôle de la pollution de l'air. 24 p.

-B-

Bachtarzi, K. (2023). Cours de toxicologie générale et spéciale.

Bebba, D., & Derouiche, B. N. (2007). Détection de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures à l'aide d'un bio-indicateur lichénique (*Xanthoria parietina*) et quelques végétaux supérieurs (*Casuarina equisetifolia* et *Phoenix dactylifera*) dans la région de Hassi Messaoud. 104 p.

Behlouli, M. (2014). Calcination du phosphate de Djebel-Onk pour la production des superphosphates. Mémoire de Projet de Fin d'Études, École Nationale Polytechnique, Alger.

Benchouala, A. (2021). Pollution de l'environnement. Cours destiné aux étudiants de troisième année licence, spécialité Science de l'environnement. Université Mustapha Ben Boulaïd, Batna 2.

Bickers, D. R., & Athar, M. (2006). Oxidative stress in the pathogenesis of skin disease. Journal of Investigative Dermatology, 126, 2565.

Boczkowski, J. (2021). Pollution atmosphérique et infections virales. *Annales des Mines - Responsabilité et Environnement*, 104, 36–41.

Bokerma, H. (2011). Synthèse et caractérisation structurale de phosphates métalliques à charpente organique. Thèse de Magister en Cristallographie.

Bouaraba, L. (2022). Contribution à l'étude environnementale et valorisation des rejets de la mine de phosphate du Djebel Onk - Tébessa (NE Algérien). Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Bouhariche, I. (2017). Étude d'impacts sur l'environnement d'exploitation et de mise en valeur des phosphates de Djebel Onk, Tébessa.

Boumaza, B., et al. (2023). Environmental geochemistry of potentially toxic metals in phosphate rocks, products, and their wastes in the Algerian phosphate mining area (Tébessa, NE Algeria). *Minerals*, 13(7), 853.

Bouziane, S., et al. (2022). Contribution à l'étude environnementale d'une mine d'exploitation de phosphate : étude de cas de l'unité SOMIPHOS, commune de Bir El Ater, wilaya de Tébessa. Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie.

-C-

Clean Tech Maroc. (2011). Synthèse de l'étude d'impact environnementale et sociale (EIES) des projets miniers de développement. OCP Khouribga.

-D-

Diaf, N., Bouchaour, M., Merad, L., & Benyoucef, B. (2003). Paramètres influençant la dispersion des polluants gazeux. 142 p.

Diallo, O., & Sidibé, A. (2015). Biosurveillance de la qualité de l'air par les mousses au niveau de la ville de Tlemcen : cas du plomb (Pb). Mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun, Tiaret.

Doiron, D., Bourbeau, J., de Hoogh, K., & Hansell, A. L. (2021). Ambient air pollution exposure and chronic bronchitis in the Lifelines cohort. *Thorax*, 76, 772–779.

Dumon R. (1980). Le phosphore et les composés phosphorés (propriétés utilisations) ''.Edition Masson, France.

-E-

Elkhayat, M. R., et al. (2025). Silicosis among phosphate mine workers: A cross-sectional study. The Egyptian Journal of Bronchology.

-F-

Ferrag Dit Alleg, S. (2010). Recyclage des eaux et récupération des schlamms phosphates issus des procédés de classification gravimétrique [Magister thesis, Université Badji Mokhtar-Annaba].

-G-

Gaied, 2017 « Cours intégré : Environnement minier » 1er année Mastère de Recherches GBS /FS Gafsa, pages : 13-15, 22.

Germain G., 2006 : La pollution atmosphérique Rappel des objectifs de notre association, Observatoire des Nuisances Aériennes, le 22 Février 2006, p.3- 4-6.

Ghorani-Azam A., Riahi-Zanjani B., & Balali-Mood M. Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran. J. Res. Med. Sci. 21, 65, 2016.

-H-

Hazou, E., Patchali, T. E., et al. (2021). Assessment of radiological hazards in the phosphate mining area of Kpogamé, Togo. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 3, 100077.

Herreboudt, F., 1999 : Compte-rendu de la réunion du C.A. du 18 mars 99, Direction de la communication de Renault, AGM-ITA - Revue - Numéro 48 Pollution automobile.

Hong, Bd., Joo, RN., Lee, KS., Lee, DS., Rhie, JH., Min, SW., & Song, SG. (2016). fluoride in soil and plant. Korean journal of agricultural science. 43 :522-536.

Hong, J.; Zhong, T.; Li, H.; Xu, J.; Ye, X.; Mu, Z.; Lu, Y.; Mashaghi, A.; Zhou, Y.; & Tan, M. (2016). Ambient air pollution, weather changes, and outpatient visits for allergic conjunctivitis: A retrospective registry study. Sci. Rep. 2016, 6, 23858.

-I-

International Union of Geodesy and Geophysics (IUGGU). (2021). Environmental and geological impacts of phosphate mining and processing. Journal of IUGGU, 61.

-J -

Jain, P., & Kaushik, R. (2026). Discerning the influence of mining activity on the socio-economic determinants of health. *Discover Public Health*, 23, 284.

-K-

Kabore, M. (2015). Impact de l'exploitation minière industrielle sur la santé humaine et environnementale au Burkina Faso. Mémoire de Master, Université de Ouagadougou, Burkina Faso.

Kanwar, A.J. (2018). Skin barrier function. *The Indian Journal of Medical Research*. 147, 117.

Kechiched, R (2011). Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention de diplôme Magister en Géologie, typologie géochimique et géostatistique des minerais du phosphate du gisement de Bled El Hadba –Djebel Onk- TEBESSA (Algérie Orientale) , université d'Annaba page 13.

Khemri, L. (2021). Chimie de l'environnement 2 : Pollution et nuisances (Chapitres I et II) [Support de cours]. Institut d'Hygiène et de Sécurité Industrielle, Université Chahid Mostefa Ben Boulaïd - Batna 2, Algérie.

Koh, S., Tung, C.I., Inoue, Y., & Jhanji, V. (2018). Effects of tear film dynamics on quality of vision. *Br. J. Ophthalmol.* 102, 1615–1620.

Kumar, D., & Rajput, N. S. (2022). Air pollution in mining industries and its adverse effects on human health, flora, and fauna. *International Journal of Engineering Technology Management Science*.

-L -

Landolsi, F. Cours de techniques de surveillance « Etude des principaux défauts.

Laverie merah (2014). Rapport de stage, OCP Khouribag.

Lemita, L., Djabri, B., Gasmi, S., Yousfi, A., Rouabhi, R., & Ben Aicha, B. (2021). Hepatotoxicity and mitochondrial dysfunction after lead (Pb) exposure and the protective effect of fennel essential oil of this toxicity in Wister rats. *Acta Scientifica Naturalis*, 8(2), 16–27.

Lewtas J. (1993). Airborne carcinogens. *Pharmacol. Toxicol.* 72, 55.

Li, R. (2017). Impact of Air Pollutants on Outpatient Visits for Acute Respiratory Outcomes. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* 14, 47.

Liu, S (2021). Long-term exposure to low-level air pollution and incidence of asthma: the ELAPSE project. Eur. Respir. J. 57, 2003099.

–M–

Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review, Frontiers in Public Health. Frontiers Media S.A 8.

Madison K.C. (2003). Barrier function of the skin: “la raison d’être” of the epidermis. J. Invest. Dermatol. 121, 231.

Martins, F. P., Botelho Junior, A. B., Batalhão, A. C. S., Paschoalotto, M. A. C., & Veras, M. M. (2025). Mining Chemical Exposures on Health & Environment Impact: A Global Scoping Review. Journal of Sustainability, 1(2), 1–31.

Masclat, P., (2005). Pollution atmosphérique, causes, conséquences, solutions et perspectives. Edition: Ellipses, Paris, p.54

Mecheri, I. (2022). Pollution atmosphérique [Cours de 5ème année toxicologie]. Faculté de Médecine, Algérie

Meramria, A (2020). Impact de l’exploitation minière sur l’environnement – Cas des mines de phosphate, Mémoire de Fin d’Etudes, université Larbi Tébessa faculté sciences et de la technologie département génie minier.

Meraouna, F., & Rezgui, R. (année inconnue). Étude de la dispersion des polluants atmosphériques. École Nationale Polytechnique (ENP)

Mimura, T., Ichinose, T., Yamagami, S., Fujishima, H., Kamei, Y., Goto, M., Takada, S., & Matsubara, M. (2014). Airborne particulate matter (PM2.5) and the prevalence of allergic conjunctivitis in Japan. Sci. Total Environ. 487, 493–499.

Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer. (2017). Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués. Direction générale de la Prévention des Risques.

Mishra, S., & Mishra, S. (2011). Fluoride contamination and fluorosis in rural community in the vicinity of a phosphate fertilizer factory in India. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 46(11), 1207–1214.

Mostafa, M.T., Farhat, H.I., & Abd El-Bakey, S.M. (2025). Release of potentially toxic elements from an operational phosphate mine (Sebaiya east, Egypt): geochemical characterizations, environmental risks and mining sustainability. *Environ Earth Sci* **84**, 445.

Nasr, A. S. (2024). Evaluation of terrestrial radionuclides and occupational effective doses at phosphate mills. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 333, 3977–3987.

Ndiaye, A. (2020). Impacts socio-économiques et environnementaux de l'exploitation du phosphate dans les communes riveraines des Industries Chimiques du Sénégal. Mémoire de Master, Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal.

-P -

Portugal-Cohen M., Oron M., Cohen D., & Ma'or Z. (2017). Antipollution skin protection – a new paradigm and its demonstration on two active compounds. *Clin. Cosmet. Investig. Dermatol.* 10, 185.

Proksch E., Brandner J.M., & Jensen J.M. (2008). The skin: an indispensable barrier. *Exp. Dermatol.* 17, 1063.

Prüss-Üstün, A., Wolf, J., Corvalán, C. F., Bos, R. & Neira, M. P (2016). Preventing Disease through Healthy Environments: A Global Assessment of the Burden of Disease from Environmental Risks.

Puri P., Nandrar S.K., Kathuria S., & Ramech, V. (2017). Effects of air pollution on the skin: A review. *Indian J. Dermatol. Venereol. Leprol.* 83, 415.

-S-

Schwela, D. (2000). Air pollution and health in urban areas. *Rev. Environ. Health.* 15, 13–42.

-T-

Tressaud, A., & Haufe G. Fluorine and Health, Molecular Imaging Biomedical Materials and Pharmaceuticals Edition. Elsevier B.V. 2008.

Tuominen, I.S., Konttinen, Y.T., Vesaluoma, M.H., Moilanen, J.A., Helintö, M., & Tervo, T.M (2003). Corneal innervation and morphology in primary Sjögren's syndrome. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 44, 2545–2549.

-Y-

Yahiaoui, Y. (2024). Analysis of the environmental impact of phosphate mining: The case of Djebel Onk deposit (Tébessa), Algeria. Chemical Engineering: Ecology and Environmental Technology.

-Z-

Zayed, HA. (2020). Assessment of respiratory health and environmental safety measures in phosphate fertilizer industry. Environmental Science and Pollution Research.

Site Webographie

-<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100077>

-<https://doi.org/10.2478/asn-2021-0015>

-<https://doi.org/10.55845/jos-2025-1211>

Annexe

**Formulaire d'enquête sur l'impact des émissions de gaz phosphatés de la mine
de Jebel Al-Anq sur la santé des habitants de Bir El-Ater**

Informations générales

- Nom et prénom :
- Âge : ans
- Sexe : ☐ Masculin ☐ Féminin
- Adresse :
- Profession :

Section A : Exposition aux gaz phosphatés

- 1. Depuis combien de temps habitez-vous dans cette zone (Bir El ater) ?**

☐ Moins de 1 an ☐ 1-5 ans ☐ 5-10 ans ☐ Plus de 10 ans

- 2. Êtes-vous exposé(e) directement aux émissions de la mine ?**

☐ Oui ☐ Non

- 3. À quelle fréquence sentez-vous l'odeur des gaz ?**

☐ Rarement ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Toujours

- 4. Avez-vous des activités professionnelles ou personnelles proches de la mine ?**

☐ Oui ☐ Non

Si oui, précisez : _____

Section B : Effets sur la santé

5. Quels symptômes avez-vous ressentis ? (cochez tout ce qui s'applique)

- ☐ Toux persistante
☐ Troubles respiratoires
☐ Irritations des yeux
☐ Maux de tête
☐ Problèmes cutanés
☐ Allergie préciser le type
☐ Cancer

Autres :

6. Ces symptômes apparaissent-ils :

- ☐ Pendant la journée ☐ La nuit ☐ Toute la journée

7. Avez-vous consulté un médecin à cause de ces symptômes ?

- ☐ Oui ☐ Non

Si oui, quel diagnostic a été donné ?

8. D'autres membres de votre famille présentent-ils ces symptômes ?

- ☐ Oui ☐ Non

Si oui, précisez :

Section C : Perception et prévention

9. Pensez-vous que les gaz de la mine affectent la santé de la population ?

- ☐ Oui ☐ Non ☐ Ne sait pas

10. Quelles mesures de protection utilisez-vous ?

- ☐ Masque
☐ Éloignement de la zone
☐ Ventilation
☐ Autres :

Suggestions pour améliorer la situation sanitaire :

.....

