HAL
open science

Mutations socio-spatiales et environnementales du bassin minier de Gafsa (Sud Ouest de Tunisie) : apport des outils géomatiques

Bilel Salhi

To cite this version:

Bilel Salhi. Mutations socio-spatiales et environnementales du bassin minier de Gafsa (Sud Ouest de Tunisie) : apport des outils géomatiques. Géographie. Le Mans Université, 2017. Français. NNT : 2017LEMA3006 . tel-01808373

HAL Id: tel-01808373

https://theses.hal.science/tel-01808373v1

Submitted on 5 Jun 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Thèse de Doctorat

Bilel SALHI

Mémoire présenté en vue de l'obtention du
grade de Docteur de Le Mans Université
sous le sceau de l'Université Bretagne Loire

École doctorale : Droit, Economie, Gestion, Environnement, Sociétés et Territoires (DEGEST)

Discipline : Géographie physique, humaine, économique et régionale
Spécialité : Géographie sociale et régionale (CNU 23-24)
Unité de recherche : *Unité Mixte de Recherche CNRS 6590 Espace et Société (ESO)*

Soutenue le : 29 septembre 2017
Thèse N° : 2017LEMA3006

Mutations socio-spatiales et environnementales du bassin minier de Gafsa (Sud-Ouest de Tunisie) :

Approche par les outils géomatiques

JURY

Rapporteurs :	**Rachid NEDJAI,** Professeur des universités, Université d'Orléans
	Bezunesh TAMRU, Professeure des universités, Université Paris 8
Examinateurs :	**François LAURENT**, Professeur des universités, Le Mans Université
	Mathieu DURAND, Maître de conférences, Le Mans Université
Co-directrice de Thèse :	**Yamna DJELLOULI**, Professeure des universités, Le Mans Université
Co-directeur de Thèse :	**Mohsen DHIEB**, Professeur des universités, Université du Sfax, Tunisie

« Pourtant l'eau fut souveraine en ces lieux. La mer a longtemps recouvert ces contrées… un jour, les eaux se sont retirés, très vite, comme une nappe que l'on arrache d'un seul coup. Les poissons, les crustacés, les mollusques, ont pourri sur place, par épaisseurs prodigieuses. Toute cette vie a fait retour au règne minéral. Le charnier est devenu gisement. Squelettes, carapaces, coquilles, tout cela ne forme plus qu'une couche géologique : le phosphate».

(Georges DUHAMEL 1884-1966)

Dédicace

A

MA FAMILLE

MES ENSEIGNENTS

MES AMIS

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pas vu le jour sans le concours et l'aide de plusieurs personnes et organismes. Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, par leurs encouragements, leurs conseils et leurs soutiens pour mener à terme mes travaux de recherche. Mes vifs remerciements s'adressent en particulier à :

- Monsieur Mohsen DHIEB, Professeur à l'Université de Sfax, pour la confiance qu'il m'a témoigné et pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de diriger ce travail. Il a eu la lourde tâche de guider mes premières recherches de mastère. C'est sous sa responsabilité que j'ai réalisé les travaux qui font l'objet de mon projet de thèse.

- Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans la disponibilité et l'accueil chaleureux que m'a témoignés Yamna DJELLOULI, Professeure à Le Mans Université pour son soutien, sa grande disponibilité, malgré ses lourdes responsabilités et ses nombreuses occupations durant l'avancement, la rédaction et la finalisation de ma thèse.

- Ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien de laboratoire SYFACTE (Université de Sfax) et du Professeur Ali BENNASR, son directeur et également la direction du laboratoire ESO (Le Mans Université), qui m'a permis de réaliser une partie de mes recherches. J'ai pu bénéficier d'une allocation de l'Ecole doctorale de Le Mans université et d'une aide financière du Ministère de l'Enseignement supérieur (Tunisie), afin de me consacrer sereinement à mes recherches doctorales.

- Je tiens à remercier vivement François Laurent, professeur et Mathieu Durand, Maître de Conférences à Le Mans Université, pour avoir échangé avec eux lors de mes séjours au Laboratoire ESO et pour accepter de faire partie de mon jury de thèse

- Mes remerciements vont également à François MESSNER (ESO, Le Mans) pour ses conseils et son aide précieuse, ainsi que les doctorants du laboratoire ESO.

- Mes remerciements s'adressent également aux responsables de la Compagnie de Phosphate de Gafsa et les ingénieurs du Commissariat Régional au Développement Agricole, DR Gafsa pour les diverses facilités, lors de mes séjours sur le terrain et la communication des documents précieux qui m'ont été fournis pour avancer dans mes recherches. Je tiens à leur exprimer mes respects et ma profonde gratitude.

- Mes remerciements s'adressent particulièrement à mon ami MABROUKI Mohamed Ingénieur en Urbanisme dans la Direction Régionale de l'Equipement de l'Habitat et de l'Aménagement de Territoire de Gafsa pour ses accompagnements sur le terrain, ses conseils judicieux, ce qui m'a beaucoup aidé.

- Mes fidèles remerciements s'adressent également à mon enseignant de l'école primaire, Mr. ABDELLI Moncef, inspecteur de la langue française à Gafsa, pour son soutien moral et ses précieux encouragements.

- Ma reconnaissance s'adresse également à mes collègues et amis du département de géographie; Ali LANGAR, Bassem AGUERBI, Dorra TOUNSI,… pardon pour ceux que j'ai oubliés.

- Je tiens, aussi, à remercier tous mes éminents enseignants à la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Sfax et toute l'équipe du Laboratoire SYFACTE (Sfax).

Sommaire

Introduction générale……. 13
1. Présentation du travail……. 23
2. Présentation de la zone d'étude …….. 28
3. Plan général du travail……..……..…… 34
4. Les acteurs dans le Bassin Minier de Gafsa…….....……..…… 35

Partie I. : Spécifité d'une région minière

Introduction et concept de base…….……..… 42
Chapitre I. Particularité d'un espace minier, approche bibliographique
1. Principes de localisation des populations en fonction des activités minières……. 44
2. L'environnement minier…….. 51
Chapitre II. La mise en œuvre d'un projet SIG-Minier
1. Préparation des données pour la création d'un projet SIG-Minier……. 61
2. La télédétection ; outil de détection des changements environnementales…… 65
Chapitre III. Spécifité de la région minière de Gafsa
1. Histoire de la découverte de phosphate en Tunisie…….……...…… 70
2. Variation spatiale du gouvernorat de Gafsa…… 75
3. Le contexte climatique et géo-stratigraphique……...…… 79
4. Etude hydrologique et hydrogéologique…….…….…….…… 89
Conclusion……. 100

Partie II : Evolutions spatiales et urbaines du Bassin Minier de Gafsa

Introduction……..…….……..… 102
Chapitre IV. Naissance et formation des villes minières
1. Naissance et formation de la ville de Métlaoui……..……. 105
2. Naissance et formation de la ville de Rdeyef…….……... 113
3. Naissance et formation de la ville de Moularès……..…… 121
4. Naissance et formation de la ville de Mdhilla……....…… 128
Chapitre V. Exploitation minière et contraintes d'urbanisation dans le BMG
1. Contraintes liées è l'aménagement du Bassin Minier de Gafsa…….……. 137
2. Contraintes liées à l'aménagement des villes minières……..…… 148
3. Risque d'inondation dans les villes minières…….. 157
Conclusion…….. 164

Partie III : Mutations économiques et sociales dans le Bassin Minier de Gafsa

Introduction……..…….……..… 166
Chapitre VI. Disparités régionales et ces impactes sur le Bassin Minier de Gafsa
1. Naissance et évolution des disparités entre le littoral et l'intérieur ……..……. 167

2. Disparité et marginalisation de l'espace minier ……..…….…..... 172
3. Hiérarchie urbaine des villes minières……....……..…… 174
Chapitre VII. Situation économique de la région minière de Gafsa
1. Exploitations minières et économie de la région …….……. 184
2. Le secteur minier face aux autres secteurs économiques ……..……..……..…… 192
Chapitre VIII. Le chômage et l'environnement opérationnel dans le Bassin Minier de Gafsa
1. Structure de la population active dans le BMG……. 201
2. Chômage et crise opérationnel dans le Bassin Minier de Gafsa……..…….….. 207
Conclusion……. 222

Partie IV : Les dimensions environnementales dans le Bassin Minier de Gafsa

Introduction……..…….……..… 224
Chapitre IX. Diffusion spatiale des composantes minières à ciel ouvert
1. Evolution spatiale des composantes minières entre 1972 et 2016……..…… 225
2. Etude qualitative des rejets miniers …….……. 230
Chapitre X. Pollution minière et variation de la température de surface dans le Bassin Minier de Gafsa
1. Variation de la température de surface en fonction des rejets miniers ……...…. 233
2. Impact des exploitations minières sur la toxisation des sols…….……....…… 251
Chapitre XI. Exploitations minières et dégradation des ressources en sols
1. Cartographie de l'impact des exploitations minières sur la dégradation de la couverture végétale et sur la vulnérabilité de sol…… 259
2. Cartographie de l'impact des exploitations minières sur la vulnérabilité du sol……. 264
Chapitre XII : Impact des exploitations minières sur la santé humaine, l'agriculture et les ressources hydriques
1. Pollution atmosphérique dans l'agglomération de Mdhilla…… 269
2. Impact des exploitations minières sur l'agriculture…… 274
3. Impact des exploitations minières sur les ressources en eaux dans le Bassin Minier de Gafsa …….…….…….. 280
Conclusion……. 287

Conclusion générale et perspectives……..……. 288

Références bibliographiques…… 294

Annexes…….…… 313

Résumé

Depuis la fin du 19ème siècle, l'espace minier de Gafsa (Sud-Ouest de Tunisie) s'est spécialisé dans la mono-activité de l'extraction et l'enrichissement du phosphate pour des raisons de profits économiques certains. Avec ces exportations, l'espace a subi une dégradation intense des ressources du sol, de la couverture végétale et une détérioration avancée des zones agricoles. La gestion des infrastructures minières n'a pas su répondre aux normes environnementales et a provoqué ainsi des inégalités sociales et spatiales et a accentué le niveau des risques environnementaux.

L'activité minière a été à l'origine de la naissance et de la genèse des villes minières dans le Bassin Minier de Gafsa (BMG). La formation de cités spontanées a provoqué la désarticulation du tissu urbain. Les extensions urbaines notamment l'expansion des quartiers anarchiques, s'étendant vers les laveries et vers les mines, ont créé ainsi des conflits avec le domaine phosphatier. Tous ces facteurs rendent onéreuse et compliquée toute tentative d'aménagement et de réhabilitation que les compagnies minières n'osent engager.

Tenant compte de la complexité des multiples aspects sociaux, spatiaux et environnementaux du BMG, nous avons utilisé à la fois l'approche géographique classique et l'approche géomatique qui nous a semblé appropriée pour aider à la prise de décision. L'intérêt de cette dernière approche permet d'identifier, d'analyser, et de modéliser l'état des lieux, les mutations urbaines et environnementales en relation avec la croissance spatiale-minière. Les outils géomatiques permettent d'analyser, d'agréger et de modéliser diverses composantes spatiales à différentes échelles. Les principaux résultats permettent d'avoir une banque de données statistiques et cartographiques pour une vision synthétique et une meilleure compréhension du BMG et de réaliser un modèle d'aide à la décision.

Mots clés : Bassin Minier, SIG, télédétection, cartographie, modélisation, ségrégation socio-spatiale, inégalités environnementales, Tunisie.

Abstract

Since the end of the 19th century, the mining area of Gafsa (south-west Tunisia) has specialized in the single-activity extraction and enrichment of phosphate for reasons of economic profits. With these exports, this area has suffered an intense degradation of soil resources, vegetation cover and an advanced deterioration of agricultural areas. The management of the mining infrastructure has failed to meet environmental standards, causing social and spatial inequalities and increasing the level of environmental risks.

The mining activity was at the origin of the birth and genesis of the mining towns in the Basin of Gafsa (BMG). The formation of spontaneous cities has caused the disarticulation of the urbanization. Urban extensions, including the expansion of anarchic cities, extending to laundries and to mines, thus created conflicts with the phosphatier domain. All these factors make costly and complicated attempts at development and rehabilitation that mining companies do not dare to commit.

Taking into account the complexity of the many social, spatial and environmental aspects of the BMG, we used both the classical geographical approach and the geomatics approach that seemed appropriate for better decision-making. The interest of this latter approach makes it possible to identify, analyze, and model the state of the sites, the urban and environmental mutations in relation to the spatial-mining growth.

Keywords: Mining Basin, GIS, remote sensing, cartography, modeling, socio-spatial segregation, environmental inequalities, Tunisia.

تلخيص

يتميز الحوض المنجمي بقفصة (جنوب غرب تونس) ، منذ أواخر القرن التاسع عشر، بهيمنة نشاط استخراج وغسيل الفوسفاط لارتفاع مردوديته الاقتصادية. ولكن إلى جانب مزايا هذا القطاع، تشهد المنطقة تقهقر التُربْ و غطاءها النباتي وتدهور المناطق الزراعية. حيث ان هذا النشاط لا يلتزم بالمعايير البيئية، مما تسبب في تفاوت على المستوى الاجتماعي و المجالي كذلك تباين المناطق الملوثة او المتعرضة للأخطار البيئية بكافة اشكالها.

من جهة اخرى، و لان كان الفضل يعود للقطاع المنجمي في نشأة و تطور المدن المنجمية فان بروز المساكن العشوائية ادى الى تفكك و تباين في النسيج الحضري. فتوسع المدن و خاصة امتدادها العشوائي باتجاه مغاسل ومناجم الفوسفاط ادى الى خلق صراعات نتيجة التداخل بين الامتداد الحضري و المنجمي مما جعل محاولات التنمية وإعادة التأهيل مكلفة او تكاد تكون مستحيلة.

نظرا الى الإشكالات الاجتماعية و المجالية و البيئية لمنطقة الحوض المنجمي بقفصة، يصبح اعتماد مقاربة الجيوماتك امرا ضروريا. تتثمل أهمية هذه المقاربة في نمذجة و تحديد وتحليل الوضع الحالي للتغيرات العمرانية والبيئية بالتزامن مع التطور المجالي للقطاع المنجمي. أيضا التجأنا لنظم المعلومات الجغرافية لقادرتها على تجميع مختلف المكونات المكانية بمختلف مقاييسها. اما الاستشعار عن بعد فيهدف الى دراسة و تمثيل خرائطي للأبعاد البيئية للحوض المنجمي بقفصة. كذلك استنجدنا بالخرائط الموضوعية كأداة لدعم القرار من خلال عديد المعالجات و التحاليل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ومعالجة الصور في رؤية تحليلية وجامعة للإشكالية الاجتماعية والمجالية والبيئية للحوض المنجمي بقفصة.

كلمات البحث: الحوض المنجمي، شركة فسفاط قفصة، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد، خرائطية، النمذجة، التباين الاجتماعي و المجالي، التفاوت البيئي.

Sigles et acronymes

ACP : Analyse en Composantes Principales

ANPE : Agence National de Protection de l'Environnement

API : Agence de Promotion Industrielle

BMG : Bassin Minier de Gafsa

BTS : Banque Tunisien de Solidarité

CES : Conservation des Eaux et des Sols

CPCFG : Compagnie des Phosphates et de Chemin de Fer de Gafsa

CPG : Compagnie de Phosphate de Gafsa

DBO_5 : Demande Biochimique ou Biologique en Oxygène pour 5 jours

DGRE : Direction Générale des Ressources en Eaux

DMA : Drainage Minier Acide

FCP : Fer à Cheval Phosphatier

FOPRODI : FOnd de PROmotion et de Décentralisation Industrielle

FRDCM : Fonds de Reconversion et de Développement des Centres Miniers

GCT : Groupe Chimique Tunisien

IDR : Indice de Développement Régional

ITCEQ : Institut Tunisien de la Compétitivité et des Etudes Quantitatives

MD : Millions de Dinars

MDRP : Ministère du Développement Régional et de Planification

MEHAT/DGAT : Ministère d'Equipement d'Habitat et d'Aménagement de Territoire/ Direction Générale d'Aménagement de Territoire

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

OCP : Office Chérifien de Phosphate

ONG : Organisation Non Gouvernementale

ONM : Office National des Mines

ONTC : Office National de Topographie et de la Cartographie

PAU : Plans d'Aménagement Urbain

PDR : Programme de Développement Rural

PIB : Produit Intérieur Brut

PIF : Périmètre d'Intervention Foncière

PME : Petites et Moyennes Entreprises

RSE : Responsabilité Sociale de l'Entreprise

SGBD : Système de Gestion de Base de Données

SDA : Le Schéma Directeur d'Aménagement

SDATN : Schéma Directeur d'Aménagement de Territoire National

SCET : Société Centrale pour l'Equipement du Territoire, Tunisie

SIG : Système d'information Géographique

SIRS : Système d'Information à Référence Spatial

SM-Gafsa : Station Météorologique de Gafsa

SNAT : Schéma National d'Aménagement du territoire

SNIT : Société Nationale Immobilière de Tunisie

SONEDE : Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux

SPROLS : Société de PROmotion des Logements Sociaux

STEG : Société Tunisienne d'Electricité et de Gaz

TSP : Triple Super Phosphate

UGTT : Union Générale Tunisienne du Travail

Glossaire

Caïd : agents d'ordre

Cheikh : représente le pouvoir politique et dépend du caïd.

Douars : cité à base ethnique

El Janoubia = du Sud

Fillège = Village

Imada : Secteur

Macheikhat : localité gérée par le Cheikh

Makhzen : l'administration centrale

Quabila : tribu

Chehili : Siroco

Introduction générale

L'essor considérable de la demande mondiale en ressources minérales depuis la fin du XXème siècle a conduit à la multiplication des grands projets miniers repoussant plus loin les limites de l'acceptable. En effet, pendant trente dernières années, la demande mondiale des ressources naturelles a augmenté de plus que 50 %, pour atteindre environ 60 milliards de tonnes de matières premières par an, ce qui explique en grande partie la montée en puissance des pays émergents comme l'Inde, le Brésil, et bien sûr la Chine en tant que pays très gourmands en matières premières pour assurer leur croissance (Vision africaine des mines, 2009 ; Thomas F., 2013). Le climat politique a eu une incidence importante par le passé sur le choix des emplacements opérés par l'industrie et a entraîné une discrimination au niveau des pays en développement (Bosson R. et Bension V., 1977).

Le secteur minier apparaît comme l'un des principaux moteurs du développement économique par l'augmentation des recettes fiscales, la croissance du PIB (Produit Intérieur Brut), les possibilités d'emplois et le développement des infrastructures. Ainsi, malgré divers crises économiques et financières mondiales (1929, 1968 et 2008), la hausse des prix des minéraux a constitué une tendance générale sous forme d'un "super-cycle" (Thomas F., 2013). Au Togo, par exemple, le phosphate présente la principale ressource minérale par une production de 2,5 millions de tonnes en 2002 (environ 600 millions de dollars). Il participe pour environ 40% des recettes d'exportation selon North-South Environment (2007). Alors qu'aux Philippines, les recettes minières s'élevaient à plus de 618 millions de dollars en 2011.

En outre, pour la Tunisie et le Maroc, le phosphate représente une source essentielle de rentrées devises dont le montant est à peu près comparable aux revenus qui proviennent du tourisme. Ces deux pays exploitent de véritables trésors (Ben Romdhane M., et Kadel A., 2008). L'Office Chérifien de Phosphate (OCP), contribue avec 6% de PIB et près de 35 000 emplois ; le secteur minier prend beaucoup d'ampleur dans l'économie du Maroc. Alors qu'en Tunisie, l'industrie minière reste le principal secteur économique sur lequel s'appuie l'Etat pour soutenir l'économie (Brahmi M., et al. 2014). On note à titre d'exemple que les recettes d'exportation de phosphate et dérivés dépassent 825 millions de dinars tunisiens (MDT) 2010, soit 434 environ millions de dollars US. Il est usuel que les grands groupes miniers deviennent souvent un Etat dans l'Etat (Lerat S., 1971).

En revanche, les projets miniers constituent le plus souvent des "enclaves de production", sans liens avec le reste de l'économie des pays producteurs (rapatriement des bénéfices, absence de transfert de technologies, importations des biens d'équipement, exportation de la production à

l'état brut,…). L'emploi créé par les compagnies minières est le principal argument pour convaincre les populations locales d'accepter le développement d'un projet, même s'il est polluant. Les industries extractives, sous l'effet de la mécanisation, demandent beaucoup de capitaux et peu de mains d'œuvre, alors que pour les mines informelles ou artisanales, la demande de main d'œuvre est importante.

Pour le Maroc, Sahsah M., (1996) pense que : « les effets induits sur le tissu économique du pays restent très limités». Il est évident que les bénéfices tirés de l'activité minière ont servi à alimenter le budget de l'État, mais en termes d'industrialisation du pays, les investissements induits sont restés très restreints. Mais l'autre face de "Janus" n'est guère reluisante.

L'exploitation minière cause des dégâts de pollution très lourds.

Pour accéder aux minerais, les compagnies minières déplacent des quantités énormes de sols et les accumulent sous forme de tas de déchets. Elles libèrent aussi dans son processus d'enrichissement (ou de traitement) divers produits chimiques toxiques. Par ailleurs, elles demandent une consommation abondante d'eau qu'en outre, elle contamine (Machault J., 2012). En effet, à cause de l'impact de l'activité minière sur les ressources hydriques et sur les terres fertiles, les Philippines sont classées parmi les premières importateurs mondiaux de riz bien qu'elles aient été un pays exportateur de riz dans les années 1980 (Thomas F., 2013). Pour le Chili, l'économie dépend fortement de ses exportations de cuivre, mais les conséquences environnementales sont lourdes, les compagnies minières ont endommagé les ressources en sols, pompant et polluant l'eau, asséchant les fleuves et les lagunes, poussant à l'exil les populations villageoises. Au bénin, la société North-South Environment, (2007) a montré que la pollution due au traitement du phosphate est ressentie jusqu'à Grand-Popo et elle est visible par la coloration de la mer sur près de 400 mètres de la côte béninoise. Ainsi, les pollutions marines perturbent surtout l'environnement côtier béninois. Au Nord-Pas-de-Calais (nord de la France), Baudelle G., (1996) décrit l'environnement minier : « …l'arrêt d'un charbonnage ne fait pas disparaître tous les dangers qui lui sont liés… les affaissements et les dégâts hydrauliques consécutifs, la pollution de l'eau et des sols et les échappements de gaz ». Au Maroc, Sahsah M., (1996) montre que les agglomérations minières sont les premières victimes du processus de dégradation de l'environnement à cause des rejets solides, liquides et gazeux de la mine.

L'étude des conflits et des inégalités environnementaux en relation avec de l'exploitation minière constitue une charnière de la géographie politique et de la géographie économique comme l'indique Deshaies M., (2011).

Le travail que nous réalisons dans le cadre de notre recherche doctorale concerne l'étude spatiale, socio-économique et environnementale dans les régions minières tunisiennes et le Bassin Minier de Gafsa (BMG) précisément. Dans notre zone d'étude, la compréhension et la modélisation des facteurs et des impacts positifs et négatifs des changements de l'occupation des sols, suite à l'extraction et l'enrichissement de phosphate, représente un enjeu majeur. Elle tient compte de plusieurs critères : ceux relatifs aux villes minières avec ses déséquilibres dynamiques et urbains, aux situations sociales critiques face à une mono-activité économique fragile et fortement dépendante du marché mondial, au milieu physique déjà vulnérable et aux différentes composantes de l'infrastructure minière.

Il est évident pour le cas du BMG que la compagnie minière a créé des emplois et a amélioré d'une façon remarquable la balance commerciale de la Tunisie et surtout au développement régional de sud-ouest enclavé. En effet, les hausses des encaissements enregistrés suite à l'augmentation des prix des phosphates et dérivés dès 2008 ont eu des retombées très positives assurant environ 12% de la progression totale des exportations du pays en 2016. Cependant, le BMG souffre d'une multitude de problèmes : des extensions urbaines des villes minières à caractères tribales, anarchiques et ségrégatives favorisant la dégradation de niveau de vie des habitants, des modifications et des détériorations des structures paysagères et des épandages miniers à ciel ouvert qui ont entraîné depuis ces dernières décennies des problèmes de gestion de cet espace minier.

Ainsi, une étude multicritère associant des approches géo-spatiales, socio-économiques et environnementales parait nécessaire pour la compréhension de vraies interactions entre, d'une part, les infrastructures minières avec ses différentes composantes et, d'autre part, les autres éléments constitutifs de l'occupation de sol qui constituent l'un des principaux enjeux de notre recherche. Du point de vue méthodologie, la bibliographie, la collecte de données existantes (statistiques et cartographiques), les entretiens avec les responsables des différents ministères et les visites sur le terrain sont indispensables pour notre recherche. Aussi, nos enquêtes ont été menées auprès des habitants du BMG pour déterminer l'impact de l'exploitation minière sur la vie et la santé de ces derniers et pour mesurer le degré d'influence de l'activité minière sur leurs pratiques quotidiennes. Outre ces méthodes classiques, nous souhaitons développer une approche géomatique qui paraît intéressante en raison de son apport cartographique à caractère synthétique et qui permette une aide à la décision. Elle permet aussi de représenter, sur un seul support numérique, les diverses composantes multi-sources et multi-échelles formant l'espace minier de Gafsa. Il serait

intéressant de réaliser une cartographie synthétique de la genèse des zones urbaines en fonction du développement des infrastructures minières.

Ce travail ne se limitera pas à faire ressortir les nuisances sur l'environnement des zones urbaines, de la couverture végétale et de la faune et la flore mais aussi à cartographier les zones à risque. Par ailleurs, nous avons appliqué un SIG et une Analyse Multi-Critère pour étudier les zones agricoles et les pâturages vulnérables à l'épandage minier. En outre, Il semble pertinent de délimiter les régions minières dangereuses d'une manière précise.

Le Bassin Minier de Gafsa a fait l'objet de plusieurs travaux

Les premiers travaux intéressant le BMG sont de nature géologique qui remonte à la fin du XIXème siècle suite à la découverte des phosphates en 1884. La zone d'étude a fait l'objet de diverses études débutant avec Philippe T., dès 1884 et qui restent descriptives. Ensuite, on peut citer Belayouni, H., (1983) ; Sassi B., (1984) et Chaabani F., (1995) qui ont étudié les différentes séries phosphatés et surtout celles d'âge Paléocène-Eocène qui présentent les accumulations phosphatés les plus importantes dans la région.

Sur le plan urbain, la genèse et la structuration des villes minières est en rapport étroit avec les ressources en phosphates. En effet, ce sont les plans d'extraction de phosphate qui favorisent la prolifération des habitats sous ses différents aspects (Groupe Huit 1970). Il existe trois principaux types d'habitats traditionnels ; les concentrations bédouines, les habitats Soufis et les habitats Tripolitains. La description de ces habitats est résumée dans l'ouvrage de Zarka C., (1975). En outre, jusqu'aux années 1970, la compagnie était le seul acteur de l'organisation spatiale mais aussi de la vie sociale et culturelle de la région (Tababi H., 1993 ; Dougui N., 1995 et Belhedi A., 2002). Nous tenterons une étude sociale et spatiale au niveau du Bassin Minier de Gafsa (BMG).

Malgré la succession des Plans d'Aménagement Urbain (PAU) des villes minières (1968, 1992, 2008,…) et les ouvrages réalisés par le Ministère d'Equipement, d'Habitat et d'Aménagement de Territoire (MEHAT[1]) en 2007-2008-2009-2010-2011-2012 et 2014 avec ses diverses orientations et propositions d'aménagement, le développement urbain est en grande partie spontané et s'est implanté autour des infrastructures minières. Ajoutons que plusieurs études ont présenté les villes minières comme des espaces ségrégatifs qui traduisent la variété sociale et tribale de la main d'œuvre employée et des cités qui s'ébauchent (Chandoul S., 2010 et Belhedi A., 2012).

[1] MEHAT/DGAT: Ministère d'Equipement d'Habitat et d'Aménagement de Territoire/ Direction Générale d'Aménagement de Territoire

Sur le plan démographique, la zone d'étude était une région attractive, caractérisée par une forte proportion d'étrangers (Européen, Algériens, Tripolitains,…) jusqu'aux années 1940 (Brunet R., 1958 ; Damette F., 1970 et Baduel P., 1982). L'accroissement de la population était de 5% dans les années 1930 puis à diminuer avec 3% en 1956 ; 1.2% en 1984 pour atteindre 0.9% en 2014. Le BMG a était très attractif jusqu'après l'indépendance de la Tunisie (1956) et même en 1970 où il devient "répulsif" suite à la structuration de la Compagnie minière qui a mené à la dégradation du bassin d'emplois (mise à la retraite anticipé, limite de recrutement,…). La limitation de la natalité, de départ des jeunes vers les villes du littoral et à l'étranger et le vieillissement de la population montrent une stagnation démographique au niveau de BMG.

Sur le plan économique, l'espace territorial national, hérité de la période coloniale, comme la juxtaposition de deux Tunisies : la Tunisie du littoral dynamique et la Tunisie intérieure plus ou moins marginalisé (Dlala H. 1981 ; Haydar A., 1996-2006 et Grasland C., 2012). Ces auteurs ont montré que ces indicateurs économiques (investissement publique, revenu, santé, emploi, infrastructure de base,…) sont de plus en plus faibles au fur et à mesure de l'éloignement par rapport au littoral. Le rapport du Ministère du développement régional réalisé en 2011 et l'ouvrage de Gharbi M., (2012) montrent que le littoral accapare, durant les six dernières décennies, la plupart des branches des activités industrielles et tertiaires.

En outre, Malgré l'apport du secteur phosphatier sur l'économie Tunisienne et à la balance commerciale, la région d'étude n'a pas bénéficié de ses richesses (Brahmi M., 2010). Tous protestent contre un système local jugé corrompu et contre une politique de l'emploi injuste (Allal A., 2010-2010b). Le BMG souffre de l'absence d'une dynamique économique diversifiée sur son territoire. L'activité régionale s'est appuyée depuis plus d'un siècle sur une mono-activité d'extraction et d'enrichissement de phosphate selon les Schéma Directeur d'Aménagement (SDA) des zones sensibles (2012 et 2014). D'autre part, il y a beaucoup de problèmes sociaux liés à l'activité minière à savoir la ségrégation des femmes dans le secteur minier et la faible intention entrepreneuriale des jeunes de cette région (Nasri R., 2015).

Sur le plan environnemental, l'impact des exploitations minières a fait l'objet de plusieurs travaux. Ceux, s'intéressant aux impacts des rejets fins des Laveries[2], montrent une forte accumulation des rejets dans les réseaux hydrographiques (GENIVAR-SCET 1999-2002). A

[2] Le phosphate tunisien se présente en plusieurs couches séparées par des marnes. Ce minerai contient 58 à 63% de phosphate tricalcique. Cette teneur est médiocre comparée à celle des minerais découverts et produits par d'autres pays plus favorisés comme le Maroc, principal concurrent de la Tunisie, qui ont des phosphates titrant 75% à 82% de phosphates tricalciques. Cette infériorité des phosphates tunisiens a obligé la Compagnie à enrichir artificiellement les phosphates bruts d'où la nécessité de créer des laveries auprès des gisements.

une échelle fine, les analyses effectuées, à partir des échantillons sur terrain, sur les rejets des Laveries dans la région de Mdhilla et Métlaoui montrent une toxicité des ressources naturelles surtout au niveau du sol (Ounis A., 2002 et Chokri A., 2003). Ces auteurs indiquent que 70% des métaux lourds passent dans les différents profils du sol, le contaminant. Par ailleurs, on note que peu de travaux sont consacrés au transfert des polluants miniers par le vent.

Des corrélations entre l'épandage minier et la phytotoxicité des espèces végétales et du système biologique ont été établis tout en mettant l'accent sur celles du voisinage des zones de rejets (Galfati I., 2010-2011).

Quelques travaux ponctuels basés sur des mesures (à la source et au voisinage des sources de nuisances) où le Cadmium, l'Oxyde de Soufre et le Fluor montrent que ce sont les principaux polluants atmosphériques dans la région (Mohamed R., et *al*. 2012-2014).

Par ailleurs, la question de la pollution et de la surexploitation des nappes phréatiques et profondes par le domaine minier, fait l'objet de publications. Ils ont montré un rabattement du niveau piézométrique des nappes profondes suite aux pompages excessifs utilisés pour les Laveries risquant la pénurie des ressources en eaux conventionnelles dans le BMG (Chalbaoui M., 2000 ; Hamed Y., 2012 ; Karaouli F., et al. 2013).

Evolution spatiale de la zone minière de Gafsa

Dans les années 1860, le sud-ouest de Gafsa est occupé par diverses tribus nomades qui sont principalement Ouled Bou Yahya à Métlaoui, Ouled Mgadim à Rdeyef, El Akarma et Ouled Tlijen à Mdhilla…. Ils comptent entre 5000 et 6000 personnes. La région était, à l'origine, un espace de transhumance de tribus nomades et semi-nomades dont la majorité sont des agriculteurs caractérisés par un fort lien familial et une mentalité conservatrice.

Au début de la période coloniale (1881-1956), « l'espace minier de Gafsa » représente un système social tribal fondé sur des activités pastorales et commerciales dans une morphologie agricole étendue dans une région semi-désertique. Depuis la découverte du phosphate en (1884-1887), les migrants qui sont venus travailler dans la mine et s'y sont installés « ont bâti leurs propres gourbis, et ne peuvent compter sur aucune autre ressource que celle que procure le travail à la mine, dans ce pays quasi désertique où rien n'existait avant 1908» (Brunet R., 1957). Ces migrants représentent une combinaison de groupes sociaux installés dans de petites localités nommées localement "*Douar*" (Zarka C., 1972). En effet, le BMG constituait un centre d'attraction des tribus nomades des zones limitrophes, des nomades venant d'autres régions des Hautes Steppes de la Tunisie et même des autres régions extérieures de la Tunisie comme les Algériens arrivés en 1915 et les Marocains en 1925. Ces petites communautés ont

formé, dans les années 1930, le premier noyau urbain des villes minières, classées comme des « centres locaux » d'après le premier Schéma Directeur d'Aménagement de Territoire National (SDATN, 1956). Les quatre villes minières : Métlaoui, Rdeyef, Moulares et Mdhilla ont connu presque la même évolution en matière d'infrastructures de base et d'équipements.

Chaque ville présente un schéma général caractérisé par un noyau industriel occupant la place de ce qui devrait être le noyau urbain. L'héritage colonial se voit encore avec les habitats construits et destinés aux Européens. Le choix du site de l'implantation des cités européennes, qui vont constituer le noyau urbain des villes minières par la suite, étaient certes motivé par sa position centrale par rapport à l'emplacement des infrastructures minières et l'étendue du gisement connu à l'époque. Les souvenirs nostalgiques de la "mère France" se trouvent dans les moindres détails : villas aux toits de tuiles, plantations, églises... Une hiérarchie professionnelle avec une ségrégation nette : d'un côté, des cadres français dans les résidences, de l'autre les ouvriers qualifiés italiens dans les casernes de "la petite Sicile" (Amira T., 1971). Le type et le style d'habitats sont très soignés donnant l'image d'une agglomération du midi de la France et y ajoutant même de la verdure. A l'époque, l'équipement était presque complet avec une fonction essentiellement commerçante : épiceries, bazar, cinéma, cafés, des logements de type villas en majorité.

La population locale ouvrière était logée dans des cités spontanées, elle a été à l'origine de la désarticulation du tissu urbain dans les villes minières. Ces cités sont vite étranglées par une disposition organisées en quartiers (de forme triangulaires ou de carrés). Ce sont des logements typiques très denses (environ 200 habitants/ha), installés soit dans les oueds, soit dans le corset de la zone industrielle. D'où le morcellement de l'agglomération dans un système « d'hyper-ségrégation hiérarchique » (Chandoul S., 2010)[3]. Les villes minières n'ont pas la même structuration. La disposition des infrastructures minières et le relief ont déterminé la morphologie urbaine de chaque ville minière. Une morphologie dominée par la prolifération des habitats spontanés dans les oueds et les zones de servitudes minières, et marqués par des groupements ethniques, par nationalités et par catégories socioprofessionnelles (Hamzaoui S., 1970). De son côté Dougui N., (1995) a défini ces groupements tribaux comme « des groupements lignagers » : Souèfè, Jridi, Tripolitains, Abidi, Bou Yahya,…

[3] Dans l'exemple de Maroc, Sahsah M., (1996) décrit : « il faut toutes les fois qu'on le peut, diviser le bloc indigène, le dissocier, en isoler les éléments. Nous devons faire de l'assimilation individuelle en arrachant au bloc berbère les éléments les meilleurs ».

Les mutations économiques et sociales de la région minière de Gafsa

Le début du 20ème siècle, était l'âge d'or de la Compagnie minière. Le "secteur phosphatier" occupe une place importante dans l'économie nationale et en particulier dans la croissance économique de la région de Gafsa, tant au niveau de l'emploi, de la production qu'au niveau de développement régional. En revanche, après l'indépendance (1956) la région a connu une réduction progressive de la carte de recrutement. Le changement de mode d'extraction des phosphates de "souterraine" à "ciel ouvert" et la mécanisation de l'extraction des phosphates pendant la période 1980-1987, a amené la Compagnie de phosphate de Gafsa (CPG) à la retraite anticipée ou l'expulsion arbitraire d'environ 6000 ouvriers formant 60% de ces employés. Cet évènement a influé négativement sur la capacité opérationnelle de la région, ce qui s'est traduit par une animosité et une aversion envers cette Compagnie. Dès lors, la question de recrutement des mineurs est devenue la principale source de conflits affectant ainsi la relation entre les communautés locales et le gouvernement de la région (2008, 2011 et 2013). Par ailleurs, la qualité de vie connait une dégradation certaine (condition environnemental et sanitaire). Seule la ville de Métlaoui demeure dynamique en terme de service et d'administration minière.

Le secteur économique n'est pas diversifié, il est défavorisé par le manque d'autres activités économiques notables. L'économie de la région de Gafsa est en relation directe avec les emplois basiques de la compagnie minière, et indirectement avec des organisations de sous-traitance, des ateliers d'entretiens et de maintenance.

Exploitations minières et dimensions environnementales du Bassin Minier de Gafsa

Tout en soulignant son importance économique et sociale, l'industrie minière est une activité polluante à cause des destructions des écosystèmes et du paysage qu'elle occasionne, que ce soit, lors de l'ouverture et de l'exploitation des carrières ou bien au niveau des rejets des matières stériles et des boues à ciel ouvert (Deshaies M., 2011). Dans le BMG, bien que le mode d'extraction ait été changé de mine "souterraine" à "ciel ouvert" (1986), et de la ventilation vers le lavage humide par l'eau (1991), pour l'enrichissement du phosphate, le domaine minier soulève encore différents problèmes environnementaux notamment pour les populations qui se sont installés près des Laveries. L'enrichissement du minerai par lavage fait appel à un ensemble d'opérations de traitement des phosphates dans les Laveries qui s'accompagne de rejets sous forme de boues déversées directement dans le lit d'écoulement des oueds et contaminant ainsi le sol. Ces rejets liquides riches en métaux lourds et autres polluants toxiques, non conformes à la norme, deviennent une source de contamination de

l'environnement récepteur et de l'écosystème. Un énorme dommage environnemental apparait sur le milieu naturel, dégradant la couverture végétale des steppes à vocation pastorale.

Le BMG est impacté par les exploitations minières : travaux d'extraction, émissions atmosphériques et rejets hydriques.

- **Les travaux d'extraction de phosphates** décapent et détruisent la couverture végétale, modifient la topographie des sites par les verses stériles sous forme de tas posés ici et là. L'explosif utilisé est l'ammonium nitrate-huile qui a des effets néfastes sur l'environnement. D'autre part, le décapage est réalisé entièrement par des grandes machines (Dumper) qui avec leur taille exigent un aménagement préalable de la plate-forme. Après l'exploitation, des tas de "terrains morts" altèrent la morphologie de la région.

- **Les émissions atmosphériques :** de façon générale, toutes les industries extractives et particulièrement celles des mines de phosphates, participent amplement à la dispersion de poussières polluantes dans l'atmosphère. Dans le BMG, les rejets gazeux contiennent surtout le Cadmium, l'Oxyde de Soufre et le Fluor. Les poussières émanant des Laveries ont nui aux habitants des centres miniers durant des décennies ; leur impact a atteint les communautés avoisinantes même en dehors du BMG. L'impact de ces rejets atmosphériques est variable, il est aussi en fonction du climat de la région (force de vent, pluviométrie, humidité…) et de la distance par rapport à la source de pollution. A Rdeyef par exemple, les habitants protestent à toute occasion contre la poussière et expriment leur mécontentement, en organisant des grèves (2015) pour protester contre cette situation. Avec le changement progressif des usines de ventilation[4] par des Laveries, le problème a été sensiblement résolu, mais des rejets hydriques ont apparus. Le problème environnemental est toujours présent.

- **Les rejets hydriques :** l'enrichissement des phosphates bruts dans les Laveries, par voie humide aboutit à la libération des rejets hydriques très polluants et provoque la toxicité du sol et de la couverture végétale. Ces effluents boueux sont drainés à ciel ouvert ou conservés dans des digues plus ou moins étanches.

Sachant qu'il y a des écarts au niveau de pollution entre les délégations minières, notre travail nous permettra d'identifier les problèmes environnementaux générés par les points d'extraction et d'enrichissement ainsi que les risques potentiels de pollution tout en mettant l'accent sur les zones les plus polluées. Ce travail vise donc à déterminer les origines et les

[4] La ventilation permet la récupération des matériaux de granulométrie allant de 70 microns à 2mm. La fraction inférieure à 70 microns se dégage dans l'air sous forme de poussière. Les sédiments de diamètre supérieur à 2 mm sont déposés dans la nature.

impacts des pollutions engendrées par les activités minières sur l'environnement et l'écosystème dans le BMG.

Toutes ces complications de développement de l'espace minier nécessitent d'introduire une approche de synthèse qui répond au besoin de notre recherche. Nous proposons d'assembler les diverses composantes naturelles et anthropiques du BMG et d'utiliser un Système d'Information Géographique (SIG) permettant d'avoir une banque de données et une cartographie thématique et synthétique, utiles pour les acteurs en charge du territoire (projet SIG-Miner).

Le recours aux outils Système d'Information Géographique pour une spatialisation

La planification urbaine suppose que l'on ait accès à des données fiables et continuellement mises à jour. Dans les pays en voie de développement, ces données sont rarement disponibles car les moyens traditionnels de collecte de l'information sont chers et trop souvent hors de portée des possibilités financières des principaux responsables de la planification ce qui entraîne des extensions spatiales incontrôlées selon Conchita M. G. Kedowide (2010). En Tunisie, seules les métropoles disposent de moyens informatisés de gestion de leur territoire. Actuellement une bonne partie du territoire national connaît un déficit dans la cartographie et la mise à jour des données à référence spatiale (MEHAT/DGAT, 2009).

L'étude du BMG s'avère à la fois intéressante et compliquée parce qu'elle touche plusieurs secteurs : l'urbanisation, l'économie, le social et l'environnement,... Ceci nécessite la mise en œuvre de puissants outils pour gérer à la fois des données quantitatives (paramètres alphanumériques) et spatialisées (paramètres de localisation), en veillant à les actualiser, les analyser et les interpréter d'une manière synthétique. Ceci nous nous conduire à proposer un SIG et de la Télédétection pour résoudre ces difficultés[5]. L'intérêt de disposer d'un nouvel outil suffisamment performant pour intégrer les différentes sources de données, les analyser et les mettre à la disposition dans des formes techniques ou de communications et dans des délais rapides, devient essentiel (Salhi B., et Dhieb M., 2012[6]). La réalisation d'une cartographie thématique couvrant l'espace minier pourrait donner lieu à une vision globale et de synthèse. L'intérêt de l'approche géomatique est d'identifier et d'analyser l'état des lieux

[5] Les cartes analogiques présentent des limites dues notamment au support physique qui est le papier, ce qui implique des difficultés de changer l'échelle pour une analyse globale de l'information. Donc, les mises à jour sont souvent coûteuses, périodiques et consommatrices du temps (JOERIN F. 1997).

[6] https://sig2012.esrifrance.fr/iso_album/sig.2012_salhi_bilel.pdf

et des mutations urbaines et environnementales en relation avec la croissance spatiaux-minières (épandages des infrastructures minières).

Durant huit mois de stage dans la CPG (Février-Septembre 2017), on est en mesure de repérer certains défauts du système actuel, et c'en interrogeant les gestionnaires d'exploitation et en consultant les plans qu'ils nous ont fournis. Ces problèmes se présentent ainsi:

- Pour laisser les plans d'exploitations lisibles, certaines données sont sacrifiées (infrastructures de base, nature d'occupation de sol…) ou sont conservées dans d'autres dossiers qui sont difficiles à stocker ou à consulter ;
- Vu la rapidité d'évolution des exploitations minières, l'unité cartographique n'a pas pu suivre parallèlement le rythme d'actualisation et de mise à jour des données. De ce fait, on trouve plusieurs plans d'extraction non mis à jour et donc obsolètes ;
- Les cartes créées en 1930 jusqu'aux années 2000 sont devenues illisibles et nécessitent une récupération et une informatisation (digitalisation);
- Les fonds de plan ne sont pas modifiables et il est impossible de mettre à jour certaines données, qui sont assez longues et se font souvent de manières périodiques ;
- L'absence d'une échelle commune et d'un système de projection pour tous les plans ;
- Etant donné l'absence d'une base de données et d'un système (ou une application) de gestion, la CPG utilise des fichiers simples et est incapable d'établir des requêtes croisées permettant d'extraire des données à partir de plusieurs tables en même temps ;

1. Présentation du travail

1.1. Problématique

Avant la découverte de phosphate, la zone d'étude était une région pastorale dans une morphologie agricole vaste étendue dans la zone aride. Après 1890, les infrastructures minières se sont développées ou le phosphate devient primordial dans la naissance et la genèse du BMG (installations des habitats, infrastructure de base,…). En revanche, les années 1930 ont marqué la prolifération des habitats anarchiques dans les zones de servitude minière (Laveries et mines) ou naturelles (Oueds, élévations…). Ces constructions anarchiques sont soumises aux risques miniers de différentes formes (pollution, effondrement de terrain, risque d'inondation,…) et ont provoqué de graves problèmes sur ce territoire. Par ailleurs, divers problèmes de santé ont touché les habitants limitrophes des infrastructures minières. Selon la société Chaire en éco-conseil, (2013), les impacts et les enjeux de l'industrie minière sont récapitulés selon trois dimensions : sociale, économique et environnementale.

La région minière de Gafsa a fait l'objet de plusieurs études sectorielles et/ou localisées, sans qu'il y ait une étude cartographique synthétique, d'envergure. L'idée de traiter ce sujet nous est venue après avoir constaté, d'une part, des inégalités socio-économiques et environnementales entre les quatre villes minières et, d'autre part, des problèmes de gestion de l'espace minier en relation avec l'extraction et l'enrichissement de phosphates et ses impacts sur les sociétés. L'intérêt de l'approche géomatique est d'identifier et d'analyser l'état des lieux et des mutations urbaines et environnementales en relation avec la croissance spatiale des infrastructures minières. Cette cartographie thématique couvrant l'espace minier pourrait donner lieu à une vision globale synthétique.

- ✓ Dans quelle mesure les compagnies minières ont-elles créé une ségrégation spatiale pour les habitations destinées aux cadres et celles destinées aux ouvriers ?
- ✓ Quels sont les impacts de cette ségrégation sur l'organisation spatiale de chacune des villes minières (Métlaoui, Moularès, Rdeyef et Mdhilla) ?
- ✓ A quel niveau les infrastructures minières ont-elles pris tellement d'ampleur jusqu'à décourager l'installation et le développement des autres secteurs économiques dans la région ?
- ✓ Malgré les diverses subventions et les aides sociales par les compagnies minières, pourquoi les tensions sociales demeurent-elles toujours présentes ?
- ✓ Après plus d'un siècle d'extraction et de traitement des phosphates, le niveau de pollution atteint aujourd'hui est très élevé. Quel est l'apport des outils SIG pour mieux étudier la variation du niveau de pollution par les exploitations minières ?

1.2. Hypothèses de recherche

Nous envisageons de partir sur diverses hypothèses que nous tenterons de vérifier tout au long de notre recherche :

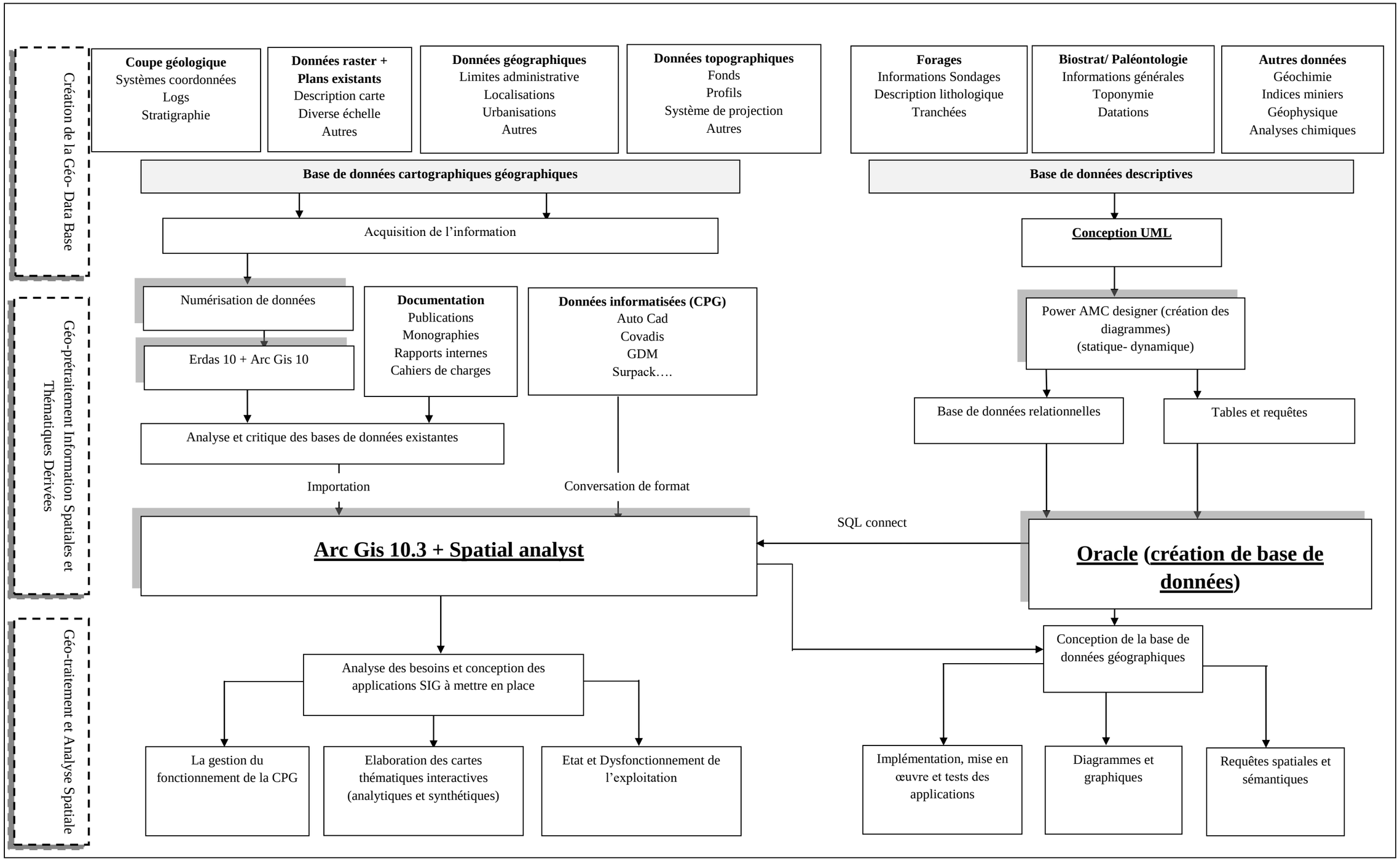
- La configuration spatiale des activités d'extraction et d'enrichissement de phosphates dans le BMG engendre : - des déséquilibres spatiaux dans l'espace minier plus particulièrement entre les quatre villes minières ; - des déséquilibres économiques entre les zones d'extraction et lavage des minerais de phosphate (BMG) et les zones d'enrichissement chimique et d'exportation (ports de Sfax et Gabès),
- La variation de niveau de dégradation environnemental, déjà observable suite à l'enrichissement de phosphates pourrait aggraver les disparités spatiales dans la région. La modélisation (SIG et Analyses Multi-Critère) permet de montrer cette variation spatiale des pollutions dans les villes minières;

- L'activité minière ne joue pas le rôle du moteur de développement local espéré, elle présente plutôt un impact sur l'environnement, la santé et la qualité de vie des citoyens. La Compagnie minière est le principal acteur de ségrégation spatiale et ne permet pas la mise en place d'une démarche de développement durable ;
- Le recours aux outils de la géomatique (SIG et télédétection) s'avère utile pour la visualisation, le suivi, l'analyse et la compréhension des phénomènes liés à l'extraction minière. L'approche géomatique peut contribuer à aider les décideurs pour leurs stratégies d'actions. C'est aussi un outil nécessaire pour l'analyse et la simulation de scénarios d'aménagement.

1.3. Objectifs de travail

Durant ce travail, nous étudions, d'abord, l'interaction entre les trois éléments: exploitations minières, mutations spatiales-urbaines et environnement dans la région. Nous tenterons de déceler, nous décelons la relation contradictoire entre la contribution des exploitations minières au développement économique du pays et l'impact négatif sur l'environnement de la région et sur les sociétés. Nous présenterons les différentes données quantitatives et qualitatives des variables concernant l'espace urbain et économique du BMG (démographie, niveau de vie, mutation sociale, équipement des aménagements…) pouvant expliquer les tensions sociales et spatiales. Enfin, nous proposons un modèle sur la base des outils de la géomatique (SIG et télédétection), l'état du fonctionnement et du dysfonctionnement de l'exploitation minière et les inégalités de l'occupation de sol (zones urbaines, zones agricoles, environnement miniers…). Le modèle mis en œuvre est réalisé avec la contribution des responsables de la Division Planification Minière, unité cartographie et le Centre de Recherche (figure 1). Ce projet devrait répondre aux objectifs suivants :

- Localiser, stocker et gérer l'infrastructure minière (Laveries, gisements, rejets, …) dans une base de données géoréférenciée de façon sécurisée et homogène sur un fond de plan permettant à tous les acteurs (élus, techniciens,…), de se repérer et d'avoir une vision synthétique ;
- Cartographier les zones de rejets et de verse à stériles en contrôlant aux mieux leur impact sur les ressources hydrologiques et la couverture végétale et l'agriculture de la région ;
- Réaliser un certain nombre de combinaisons significatives de couches d'informations thématiques afin de créer des cartes pouvant servir d'outils d'aide à la décision.



Elaboré par : Bilel SALHI (vérifié par Division géologie, Division Planification Minière et Unité Cartographie (CPG))

Figure 1 : Méthodologie adoptée pour la mise en œuvre d'un projet SIG-Minier

1.4. Démarche et méthodologie de travail

La démarche adoptée dans ce travail passe par les étapes suivantes :

- ✓ Effectuer une synthèse bibliographique à travers la collecte des travaux de recherche, les documents cartographiques, statistiques et des données municipales qui concernent la zone d'étude ;
- ✓ Procéder au traitement des données multi-sources et la réduction des imprécisions et des incertitudes dans la base de données ;
- ✓ Concevoir, numériser et cartographier d'une base de données à partir d'une compilation de plusieurs documents (cartes, photographies aériennes, images satellitaires, plans d'aménagements, travaux de terrain…) en vue de la mise en place d'une base de données informatisée sur tout l'espace minier;
- ✓ Confronter avec la vérité-terrain (enquêtes, entretiens avec les principaux acteurs, échantillonnages et analyses chimiques, traitement statistique…) en vue de confirmer et/ou de compléter les données déjà citées ;
- ✓ Elaboration des cartes thématiques interactives (analytiques et synthétiques) et créer des requêtes spatiales et sémantiques ;

Dans la Méthodologie de travail j'ai mené, d'abord, des entretiens semi-directifs auprès des principaux acteurs dans la région minière à savoir les deux Compagnies minières, les associations et les collectivités territoriales, les acteurs de la société civile, les administrations publiques,… Ensuite, j'ai fait beaucoup de terrain à savoir les infrastructures minières, les villes minières, les zones steppiques, les régions rurales et agricoles,…pour mieux comprendre et étudier le BMG. En outre, j'ai réalisé deux enquêtes : la première porte sur le chômage et la crise opérationnelle dans le BMG, car le chômage est le problème crucial dans notre région avec un taux supérieur à 23%. Personnellement, j'ai réalisé cette enquête sur la base de 1000 chômeurs. J'ai eu la chance d'être assisté par le bureau d'emplois qui m'a autorisé à réaliser cette enquête dans les locaux (pôle emploi) dans les 4 villes minières. La deuxième enquête concerne plus la problématique environnementale et sanitaire où j'ai questionné 118 ménages dans la région de Mdhilla, la région la plus polluée dans le BMG. Pour cette enquête j'ai eu beaucoup de difficulté bien que j'avais une attestation de la part de l'Université de Sfax.

Par ailleurs, dans les zones de rejets miniers les plus polluées, j'ai effectué des échantillonnages et des analyses chimiques sur deux sites dans le Centre de Recherche Metlaoui et l'ENIS (Ecole Nationale des Ingénieurs de Sfax). Enfin, dans la mesure où la région minière de Gafsa ne possède pas d'étude synthétique, j'ai implanté un projet SIG-Minier dans le but de créer une base

de données statistique et cartographique. Pour ce travail j'ai utilisé des outils géomatiques comme Arc Gis, Envi, Erdas, Idrissi, GDM, etc.

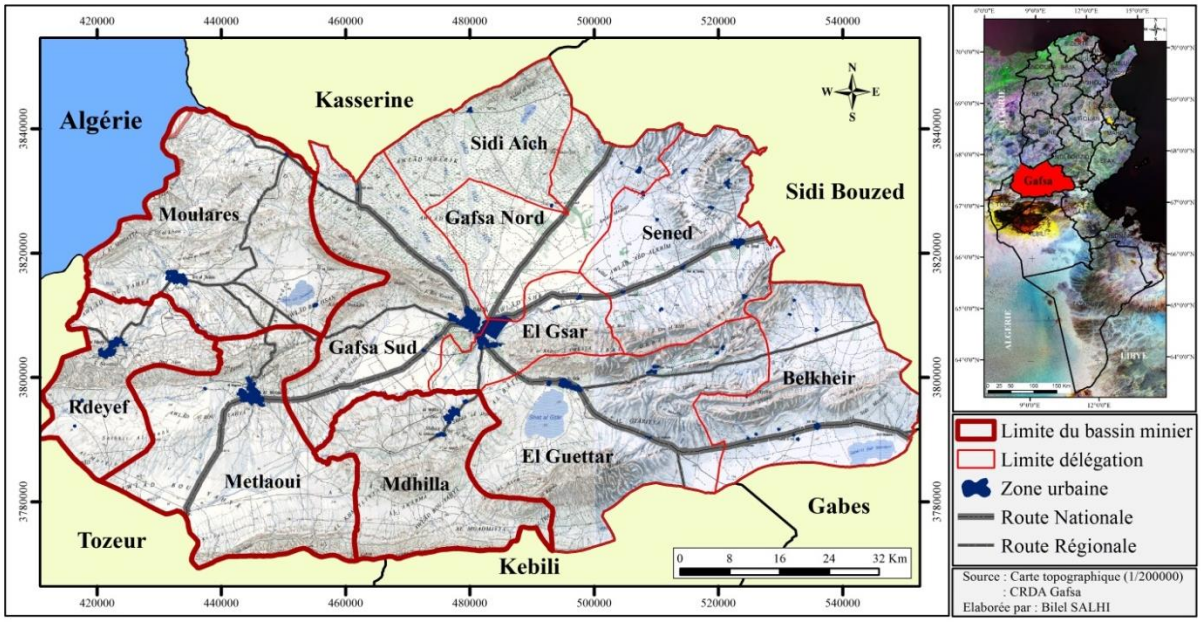
2. Présentation de la zone d'étude

L'intérêt d'étudier le BMG vient également du fait qu'il est déclaré comme une "zone sensible"[7] par l'état (décret n°98-2092 du 28 octobre 1998 fixant la liste des agglomérations urbaines et des zones sensibles).

2.1. Localisation et délimitation de la zone d'étude

Le BMG se situe au sud-ouest de la Tunisie, précisément à l'ouest et au sud de la ville de Gafsa (chef-lieu du gouvernorat) renfermant les délégations de Métlaoui, Moularès, Rdeyef et Mdhilla (carte 1). Ce bassin couvre une superficie de 3000 Km^2 et abrite 107 928 habitants soit 34% de la population du gouvernorat en 2014. Toutes les villes minières sont implantées aux alentours des points d'extraction et de traitement des phosphates.

La zone d'étude correspond à l'ancienne appellation "sillon de Gafsa" et se situe à la limite de deux domaines paléogéographiques différents : la plateforme saharienne stable au sud du bassin minier, et l'île de Kasserine au nord. « Ces deux domaines sont caractérisés par des séries condensées et des lacunes importantes en phosphate. Ils sont définitivement émergés à la fin du crétacé » (Thomas P., 1950).



Carte 1: Présentation du gouvernorat de Gafsa et ses délégations

(Source : Carte topographique (1/200 000) et CRDA, 2014)

[7] Zone sensible : « Toute zone qui présente des caractéristiques naturelles spécifiques et qui constitue un écosystème fragile ou un élément ou un ensemble d'éléments dans ce système et requiert pour sa protection contre la dégradation la mise en œuvre de norme et de procédés d'aménagement...» (MEHAT/ DGAT, 2009)

2.2. Histoire des Compagnies minières de Gafsa

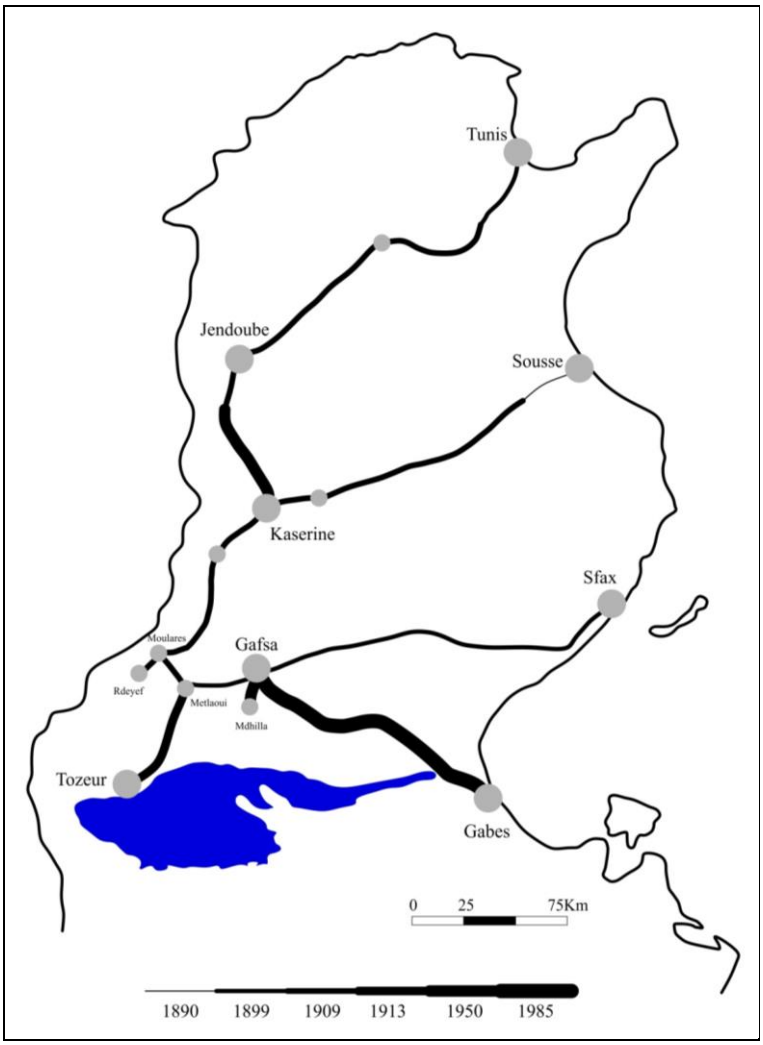
2.2.1. La Compagnie de Phosphate de Gafsa (CPG)

La Compagnie des Phosphates et du Chemin de Fer de Gafsa a été déclarée adjudicataire, et fut constituée en 1897 au capital de 18 millions d'anciens Francs. Elle devait mettre en exploitation le gite de phosphate inclus dans un certain périmètre au sud-ouest de Gafsa. Aussi il fallait construire un chemin de fer à voie métrique reliant le centre d'exploitation des phosphates au port de Sfax et mettre en valeur et complanter d'oliviers un domaine agricole de 27000 hectares situé à Chaâl, région éloignée de 50 km de Sfax dans la direction Sud-Ouest (Archives Nationales 1949). L'année 1920 a vu naître une nouvelle Compagnie ; la Compagnie Tunisienne des Phosphates de Djebel Mdhilla (CIPHOS) qui prend en charge l'exploitation du gisement de Mdhilla. Depuis août 1994, le secteur des phosphates et dérivés a connu la nomination d'un directeur général à la tête des deux organismes.

L'ensemble des lignes ferrées exploitées par la Compagnie s'étend sur 440 km et comprend (carte 2):

- La ligne Métlaoui-Sfax et embranchements sur Rdeyef et Moularès ;
- La ligne Métlaoui Tozeur ;
- La ligne Ghraîba Gabès ;
- L'embranchement Gafsa-Mdhilla.

La construction du chemin de fer, commencée en 1897, fut achevée en moins de deux ans. En 1905, la Compagnie, répondant à l'adjudication des phosphates de Moularès, en obtenait la concession et construisait à ses frais la ligne de Tebedditt à Henchir Souatir qui raccorde l'embranchement Métlaoui-Rdeyef à la ligne de Henchir Souatir à Sousse de la Régie des Chemins de Fer Tunisiens. Enfin le chemin de fer de la Compagnie était complété en 1912 par la ligne Métlaoui-Tozeur et en 1916 par la ligne de Ghraîba à Gabès.



Carte 2 : Phases de construction des lignes ferroviaires entre le BMG et le littoral

(Source : MEHAT/ DGAT, 2012)

2.2.2. Le Groupe Chimique Tunisien (GCT)

Le GCT, implantée en 1985, se situe au sud de la cuvette de Gafsa à 10 Km de celle-ci et à 4 Km de la ville de Mdhilla. Le GCT comprend ; une unité d'acide phosphorique, une unité d'acide sulfurique et deux lignes de Triple Super Phosphate (TSP). Les expéditions de TSP sont effectuées par le port de Sfax.

La CPG et le CGT sont des établissements publics dotés de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Ils sont gérés par un seul directeur nommé par l'Etat. Ce directeur dispose de moyens juridiques et de pouvoirs élargis lui permettant d'agir au niveau de la prise des décisions au même titre qu'un directeur d'une société privée. Néanmoins, ce dernier reste toujours sous contrôle d'un conseil d'administration. Sur le plan fiscal, les deux compagnies minières élaborent leur propre budget indépendamment du budget général de l'Etat. Elles

effectuent leurs opérations de recettes et de paiements, font leur comptabilité et règlement leurs comptes. Elles déterminent aussi les sommes à verser au budget de l'Etat. Par ailleurs, nous pouvons dire que la CPG et le GCT fonctionnent comme une société privée à caractère industriel et commercial. Reste à signaler que les agents des deux compagnies sont soumis à la règlementation du droit privé, ce ne sont pas des fonctionnaires publics. Ces agents sont liés à leurs compagnies par un contrat de travail dont le statut accorde un certain nombre d'avantages (congé payé, transport gratuit…). Durant ce travail de recherche, nous étudions chacune de ces compagnies minières (CPG et GCT) qui fera l'objet d'une étude au vu du niveau de pollution et de l'étendue de la zone d'influence de chaque Compagnie. La figure 2 permet de comprendre la chronologie de la firme minière du BMG.

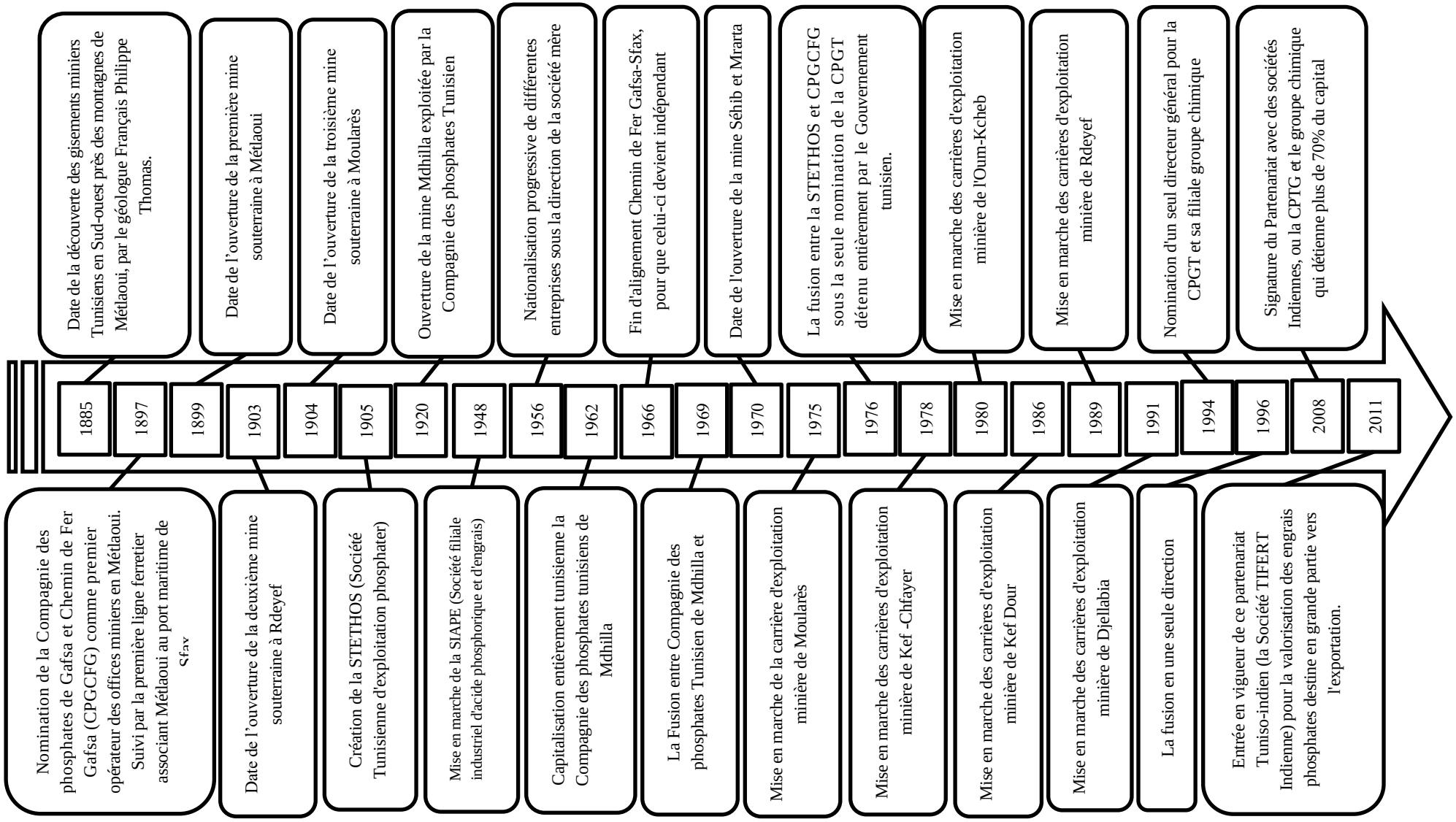
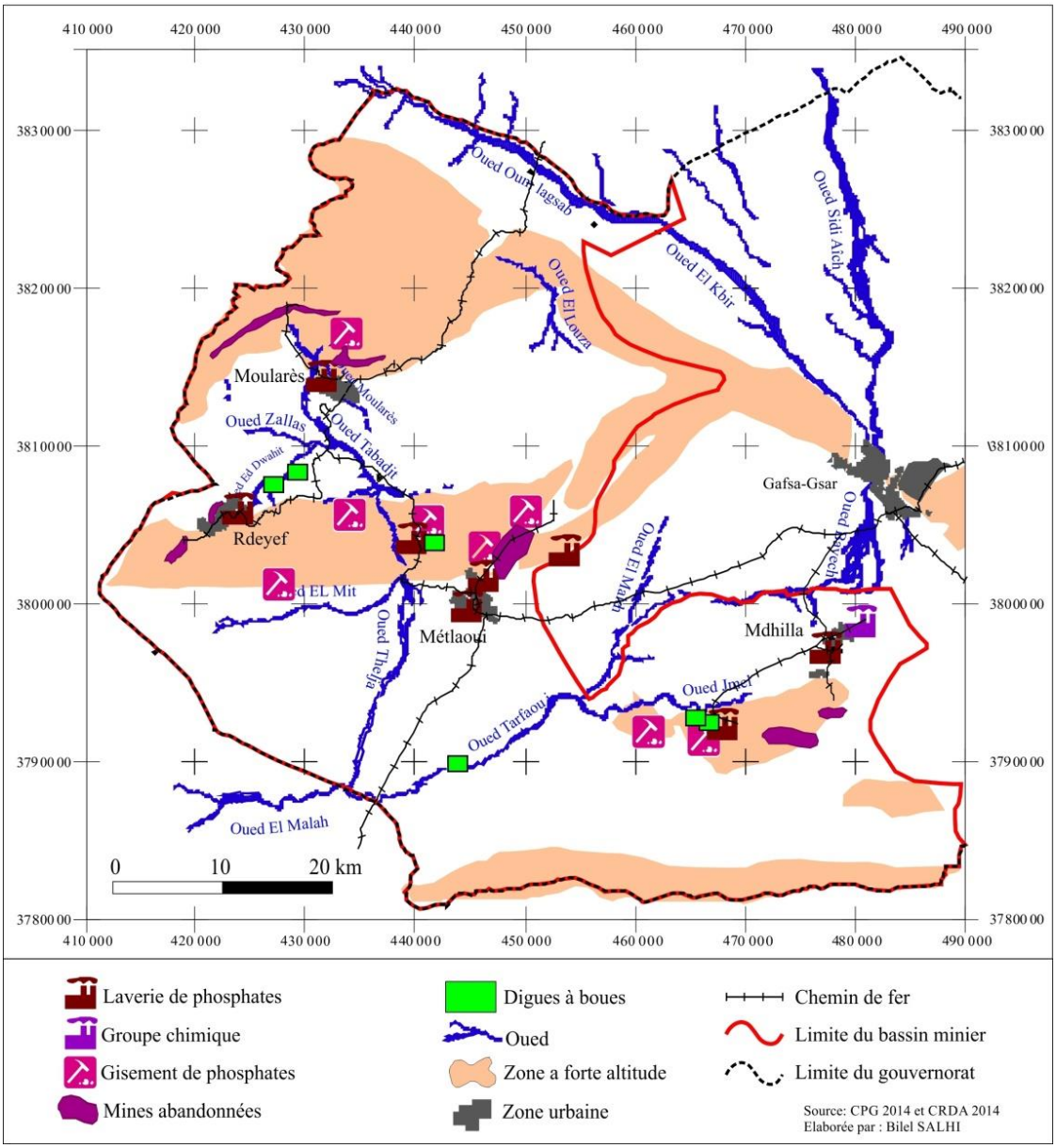


Figure 2 : Chronologie de la firme minière du bassin minier Tunisien

(Source : CPG, Centre documentation et planning 2011)

2.2.3. Répartition spatiale de l'infrastructure minière

Pour la CPG, les sites d'exploitation (extraction et enrichissement) sont regroupés, selon leur implantation géographique, en cinq centres de production localisés dans un rayon de 50 km autour de la ville de Métlaoui (principale ville minière). Les gisements à ciel ouvert sont situés à une distance de quatre kilomètres de la ville de Métlaoui et de Moularès et à dix de kilomètres des villes de Rdeyef et Mdhilla (carte 3). Les phosphates bruts extraits des gisements sont transférés vers les Laveries qui sont des unités de lavage et d'enrichissement de phosphates. La zone d'étude compte huit Laveries dont cinq sont implantées au sein des villes minières.



Carte 3 : Localisation des infrastructures minières

(Source : CPG 2014 et CRDA 2014)

Une autre unité, à la fois dédiée à l'enrichissement et au traitement chimique du phosphate, nommée le Groupe Chimique Tunisien (GCT), est implantée à 3 km au nord-est de la ville de Mdhilla. Ainsi, la CPG prédomine sur tout le territoire minier et la GCT uniquement à proximité de la région de Mdhilla.

Les déchets de phosphates, de nature boueuse, sont rejetés par les Laveries directement dans les oueds, en les polluants. Les digues à boues (ou bassin de décantation) créées dès les années 1990, servent à empêcher en partie la diffusion de ces polluants dans la nature par un simple stockage. Ces digues sont plus ou moins étanches à la perméabilité et à la pollution des régions limitrophes. Dès l'année 1985, les mines souterraines sont abandonnées et remplacées par celles à ciel ouvert. Malheureusement, ces mines présentent à ce jour des risques d'effondrement et de glissement de terrain.

3. Plan général

Ce travail a pour objectif général d'étudier le niveau de déséquilibre des changements spatiaux et environnementaux dans le BMG suite aux travaux d'extraction et d'enrichissement de phosphates. Pour réaliser cette étude, il nous nous proposons de la structurer en quatre parties:

- La première partie présente une recherche bibliographique sur la particularité des espaces miniers (organisation de l'espace, état économique, impact environnemental…) et les modèles de mutations spatiales par approche géomatique. Ensuite, le BMG est étudié dans le contexte national dans un réseau d'extraction, de traitement et d'exportation de phosphates marchands. Puis, et après avoir indiqué les différents types de données, les traitements nécessaires, nous mettrons l'accent sur l'apport et les limites de la géomatique pour étudier les mutations spatiales de notre zone d'étude. Finalement nous présentons le BMG dans son cadre géographique et structural.
- La deuxième partie consiste à étudier, à l'aide des recherches antérieures, l'impact du domaine minier sur la succession de naissance et de genèse des villes minières, en mettant l'accent sur les points de leur ressemblance et leur dissemblance. Ensuite, il s'agit d'étudier l'évolution de l'urbanisation de ces villes minières. Au point de vue méthodologique, on se base sur les données bibliographiques, les recueils statistiques, les Plans d'Aménagement Urbain (PAU), l'entretien avec les directeurs des municipalités ainsi que sur nos propres observations du milieu. Les vérifications sur terrain sont aussi, des sources d'information indispensables à l'étude des problèmes d'urbanisation. Nous tentons de modéliser les inégalités de la pollution des villes minières par la combinaison des outils géomatiques (SIG

et une Analyse Multi-Critère (SIG-AMC), afin de relier l'impact des inégalités de pollution sur la hiérarchie des villes minières présentées dans la partie suivante;

- La troisième partie est consacrée à étudier la hiérarchie des villes minières et son interaction avec les villes portuaires Sfax et Gabès par une série de comparaisons de divers indices de développement à savoir l'IDR[8] (Indice de Développement Régional),… Puis, nous tentons d'expliquer les principaux facteurs des inégalités hiérarchiques entre les villes minières. À l'aide de divers indicateurs de décentralisation industrielle, nous étudions les causes de stagnation économique de BMG et son impact sur la variation de la structure de population active dans la région. Finalement, il faut dépister l'influence des compagnies minières (principalement la CPG) sur l'intensification des inégalités socio-spatiales et les conflits tribaux dans la région, par la réalisation d'une enquête (1000 enquêtés) dans les quatre villes minières. Nous nous appuyons sur des questions ouvertes d'opinion sur le "mauvais" état opérationnel dans la région minière et l'évolution de l'ampleur du conflit existant entre les chômeurs et l'industrie minière.
- La quatrième partie concerne le niveau actuel de la détérioration du BMG sous l'effet du domaine minier. Le premier chapitre est une étude spatiale et qualitative des rejets miniers. Les données sont issues des travaux multidate, et des analyses réalisées par nos soins dans le laboratoire chimique de la CPG et l'École nationale d'ingénieurs de Sfax (ENIS). Les analyses physico-chimiques des sols pollués permettent une comparaison et une actualisation des travaux antérieurs de recherche de notre zone d'étude. Enfin, le troisième chapitre décrit le niveau de dégradation de la couverture végétale et la vie écologique en général, suite aux rejets miniers. Le traitement des images Landsat permet de cartographier l'épandage minier à ciel ouvert, tandis que l'impact sur les citoyens est réalisé à l'aide d'une enquête (118 enquêtés) portant principalement sur le niveau de la pollution atmosphérique dans la région urbaine de Mdhilla et son impact sur l'environnement de la région.

4. Les acteurs et la gouvernance dans le Bassin Minier de Gafsa

Un acteur est tout ce qui est capable de changer l'espace à une échelle quelconque ou capable de prendre une décision de nature à modifier l'espace et de changer le comportement et la pratique des autres (Belhedi A., 2002). L'acteur peut être une entité sociale (un Etat, une entreprise, une association, une collectivité territoriale ou même un individu, …) dotée de la capacité d'action autonome, et peut influencer les autres acteurs en terme de décision et de

[8] L'Indicateur du Développement Régional (IDR) est obtenu par la moyenne simple de 17 variables regroupées en quatre domaines supposés significatifs du développement économique et social: «Savoir», «Richesse et emploi», «Santé et population», «Justice et équité».

comportement "spatial" à savoir les compagnies minières. Dans notre cas, la CPG représente le principal acteur de la région. L'Union Générale Tunisienne du Travail (UGTT), en tant que syndicat puissant, se comporte aussi comme un acteur puissant par sa capacité à déclencher des grèves pour augmentation des salaires, primes,... (Tababi H., 1993). Les comportements de l'UGTT peuvent contribuer à une grande inégalité dans la société entre les mineurs et les travailleurs dans les autres secteurs.

4.1. La période précoloniale : l'assise tribale

La *quabila* constitue l'élément de base du système administratif. Chaque *quabila* reconnaissant le pouvoir central est commandée par un *caïd* nommé par le *Makhzen* (l'administration centrale). La Tunisie était subdivisée en 70 *caïdats* sous la responsabilité d'un *Caïd* qui a une fonction principalement fiscale. Chaque *caïdat* correspond à un territoire tribal ; à la base, nous trouverons le *Macheikhat*, dirigé par le *Cheikh* qui aide le *Caïd* dans la collecte des impôts et assure le lien entre la population et le pouvoir local. Le *Cheikh* est souvent un notable d'une fraction de tribu, désigné par le *Caïd* parmi les notables choisis ou désignés par la population (Belhedi A. 1989). Une fois la colonisation instaurée en Tunisie, différents dispositifs dans l'organisation des commandements du territoire ont été élaborés.

4.2. La période coloniale (1887-1956) ; naissance de la Compagnie minière

4.2.1. 1887-1900 ; la naissance des communes

A l'échelle de la Tunisie, les pouvoirs coloniaux ont gardé l'ancienne structure tout en réduisant le nombre de *caïdats* à 36 après le processus de fixation et de sédentarisation, parfois forcée. Le système communal a été développé là où la colonie était importante. Ce sont surtout les villes littorales et les centres de colonisation agricole ou minière qui ont été les premiers à être dotés d'un statut communal. L'importance de la colonie et le prélèvement agricole ont dicté un découpage passant d'un niveau serré au nord qui se relâche au centre et plus encore au sud. Ce dernier fut doté d'une administration militaire dont les unités administratives ont d'importantes étendues.

4.2.2. 1900-1930, Compagnie minière et organisation de l'espace

Les pouvoirs coloniaux détiennent le quasi-monopole de l'exploitation des ressources minières du pays. Les régions phosphatières de Métlaoui, Rdeyef, Moularès, sont le fief de la Compagnie des Phosphates et du Chemin de Fer de Gafsa ; les mines de Mdhilla sont exploitées par la Compagnie du Djebel Mdhilla dans laquelle la Banque de Paris et des Pays-Bas est majoritaire (Kassab A., et Ouanies A., 2010). Pour encadrer une population d'origine géographique diverse, la Compagnie (sous entendue le pouvoir colonial) a mis en place une

forme d'organisation nouvelle et spécifique à la région. En effet, dans chacun des villages miniers construits par la Compagnie sur des terrains acquis par expropriation, l'encadrement administratif s'organise comme suit[9] :

- ✓ La Compagnie est représentée par un agent appelé «chef de village» et un surveillant autochtone à qui on subordonne un adjoint, placé sous les ordres directs du chef de la main-d'œuvre. Ils sont en mesure de transmettre immédiatement les ordres dans le village;
- ✓ Le contrôle civil détache à chaque village et pour chacune des cités, un groupe de *Mokhaznie* (agents d'ordre), agents d'exécution de l'autorité coloniale;
- ✓ Un *cheikh* représente le pouvoir politique et dépend du *caïd*.

Pendant un demi-siècle environ, la Compagnie était le seul acteur de l'organisation spatiale mais aussi de la vie sociale et culturelle par la force de nourriture et le logement dans tout l'espace minier (Tababi H., 1993). Le choix de construire des logements et les infrastructures de base a non seulement créé une interdépendance entre la Compagnie et les citoyens mais a façonné l'organisation et la morphologie de l'espace. Ces responsables ont opté pour un marquage ethnique de l'espace : "*les Douars*[10]" réservés aux Arabes et "les villages" destinés aux Européens. La mise en exploitation du gisement phosphatier a transformé à jamais le paysage du BMG. Ainsi, la vie s'est structurée autour de l'exploitation du phosphate. Les éléments de l'organisation sont : mineurs, recettes, traînage, terrils, cités minières,...

4.2.3. 1930-1956, une multiplicité d'acteurs

La Compagnie minière assure toujours le plein emploi et procure à la population locale les services et les infrastructures de base (hôpital, économats, distribution de l'eau et de l'électricité, clubs sportifs,...), prenant en charge la quasi-intégralité de la vie sociale et économique jusqu'au milieu des années 1960. Au-delà de cette date, ces services sont transférés progressivement vers des sociétés publiques ou privées.

4.3. La période postcoloniale : la consolidation du pouvoir municipal

Le *Macheikhat*, l'unité administrative la plus fine, fut remplacée en 1969 par le secteur (*Imada*) dont le chef est *l'Omda*. Depuis un certain nombre d'années, il est devenu un véritable fonctionnaire de l'Etat. Outre les acteurs traditionnels des villes (Compagnie minière, syndicat, ouvriers de la compagnie, opérateurs des réseaux, les textes législatifs[11] et

---

[9] Même principe d'organisation de l'espace en Maroc (Sahsah M., 1996)

[10] Au Maroc, les "*noualas*" sont similaires aux Douars en Tunisie (Sahsah M., 1996)

[11] De nombreux textes législatifs ont été décrétés, notamment la loi n°94-122 du 28 novembre 1994 portant promulgation du code de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme (C.A.T.U.), paru dans le J.O.R.T. n°96 du 6 décembre 1994). Ce C.A.T.U. vient rassembler, compléter et affiner une législation d'aménagement du territoire disparate, et organiser les compétences des différents intervenants.

les codes miniers etc.), de nouveaux acteurs apparaissent et prennent place sur la scène. En effet, En 1989, le gouvernorat de Gafsa, à l'instar des autres gouvernorats du pays, a été doté d'un conseil régional composé des élus locaux (Allal A., 2010b), qui a pour tâche, entre autres, la réalisation des plans de développement régionaux, la coordination et le suivi des projets et programmes qui ont trait au gouvernorat[12]. « C'est une tentative de socialisation des acteurs locaux dans le processus de développement régional grâce à l'expansion des tâches et de la socialisation des municipalités, de gouvernement et des membres de la Chambre des députés » (Belhedi A., 2014).

Jusqu'à présent, l'exploration et la production de phosphate ont été réglementées par le Code Minier (loi N ° 2003-30 du 28 Avril, 2003) qui n'a pas d'indication dans ses articles pour la participation ou la consultation des communautés locales dans le processus de prise de décision[13]. Les acteurs régionaux du développement subissent les orientations nationales. Ajoutons que l'affectation des projets aux différentes régions dépend généralement des considérations politiques ou géographiques. Les obstacles pourraient aussi se dresser par le comportement négatif des acteurs locaux du développement lorsqu'ils ne participent pas activement au choix, à l'exécution et au contrôle des projets locaux. En somme, les principaux acteurs dans le BMG sont :

- ✓ **La Compagnie minière** : principal opérateur dans la région, créateur des emplois miniers directes et indirectes, actionnaire dans les projets de développement mais aussi propriétaire de l'espace minier ;
- ✓ **L'Etat** : est unitaire, c'est-à-dire qu'il est soumis à un seul centre d'impulsion politique et à un seul ordre juridique. L'Etat est l'investisseur public dans la région et l'impulseur du guide des investissements privées par ces lois ;
- ✓ **Les plans d'orientations et d'aménagement** : les SDA (Schéma Directeur d'Aménagement) national et/ou régional et les PAU (Plan d'Aménagement Urbain) sont sous la direction de MEHAT (Ministère d'Equipement d'Habitat et d'Aménagement de Territoire);
- ✓ **Les municipalités** : elles sont sous la direction de l'Etat et en collaboration, "théoriquement", avec les Compagnies minières ;

[12] Le Vème plan prévoit aussi que l'accent soit mis sur le développement rural au bénéfice des régions les moins favorisées en particulier Kasserine, Le Kef, Gafsa, Jendouba et Médenine, avec 42% du montant global des investissements affectés au P.D.R (Dlala H. 1981).

[13] La Tunisie dispose d'un système politique centralisé, les revenus de l'activité minière vont au gouvernement central puis il les réalloue aux gouvernorats, les délégations et les municipalités (Nasri R., 2015).

✓ **La société civile** : est constituée de nombreuses organisations ou associations (34 associations) situées à l'interface entre l'Etat et les ménages et qui développent des activités d'intérêt général ou communautaire, les droits humains et le développement ;

✓ **Les populations** : ce sont les occupants locaux en tant que tribus,

✓ **Les mineurs** : ce sont les fonctionnaires dans les Compagnies minières et des syndicats (principalement UGTT).

La figure 3 présente l'interaction entre les acteurs dans le BMG. Outre les deux compagnies minières et malgré le désengagement de l'État et l'effacement de l'État-providence, il reste toutefois le principal acteur avec ces municipalités et pour les plans d'orientation et d'aménagement du territoire.

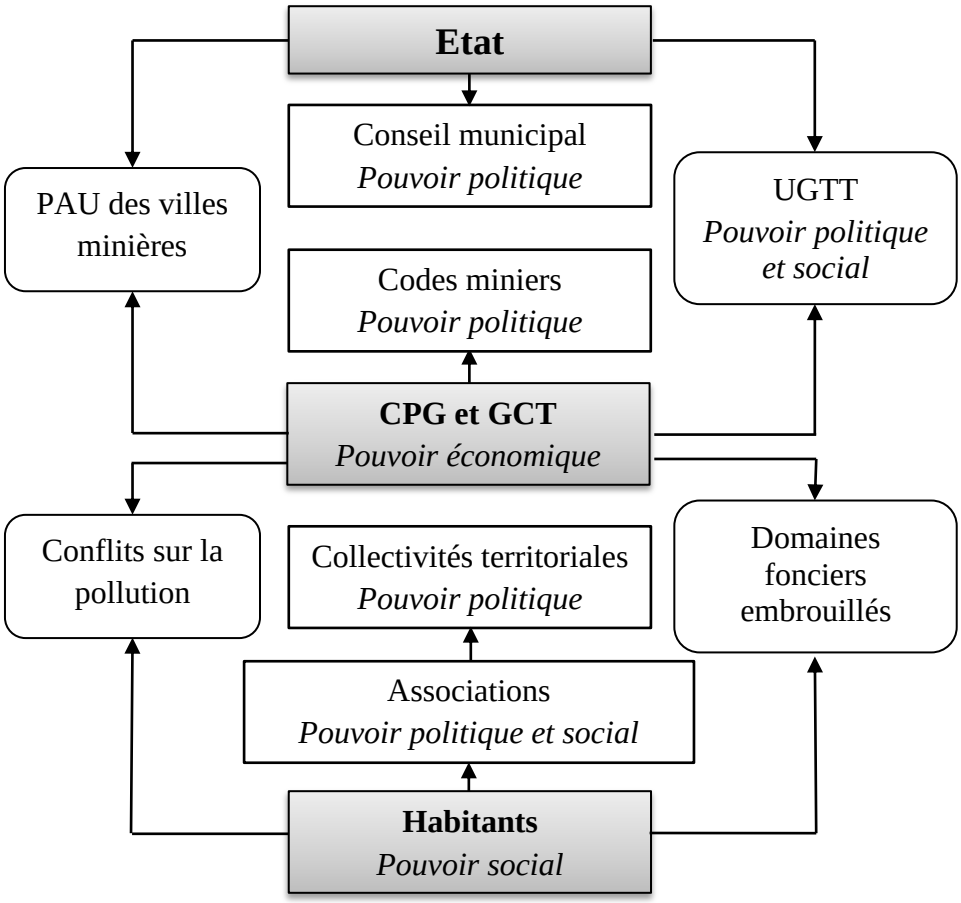


Figure 3: Les acteurs dans le BMG

(Source : Chandoul S., (2010), modifié par Salhi B., (2015))

Conclusion

L'approche proposée pour l'étude de l'espace minier de Gafsa est multicritère dans un domaine qu'on appelle le SIRS (Système d'Information à Référence Spatiale) qui intègre dans la gestion du changement au cours du temps des données à références spatiales. Aujourd'hui, l'extension des méthodes de géomatique et d'analyse intégrées comme les (SIG) et les avantages de la télédétection, nous permettent d'approfondir les études spatiales et environnementales dans les espaces miniers en accédant à une information multi-scalaire et multi-temporelle et de faire une cartographie numérique détaillée. La connaissance précise du terrain, de son occupation et de son utilisation est indispensable pour ces études. Dans cette première partie, nous étudions les spécificités des régions minières en général puis notre zone d'étude tout en mettant l'accent sur l'approche géomatique.

Partie I. : Spécifité d’une région minière

Introduction et concept de base

La mutation, au sens large du mot, n'est pas un événement ; elle peut être l'action qui établit des changements ou le résultat de cette action. En outre, l'événement peut engendrer des mutations, mais il ne se confond pas avec elles. La représentation discrète d'une mutation consiste à introduire explicitement les informations concernant les changements entre deux états (Bordin P., 2006). L'étude d'une mutation doit passer par l'intermédiaire des facteurs qu'on doit identifier. En effet, en partant l'état 1 (ou l'état initial) en appliquant la mutation 1 on obtient l'état 2, connaissant l'état 2 on en déduit alors l'état 3, et ainsi de suite (figure 4).
En outre, l'espace peut être décrit dans le temps en relevant ses évolutions comme la modification des occupations en fonction des facteurs d'appropriation (mutation des facteurs sociodémographiques, technico-économiques et culturels) selon Hanin Y., (2004). Alors que dans les "SIG standard", le temps n'est qu'un jalon pour identifier les différentes versions des bases de données (Laaribi A., 2000). En effet, il est difficile de faire un suivi du territoire autre que visuel et/ou comparatif. L'étude des mutations spatiales en général nécessite, d'une part, de définir les facteurs de changement que ce soit naturelles ou anthropiques et, d'autre part, de spatialiser ou localiser la variation de deux étendues multi-dates.

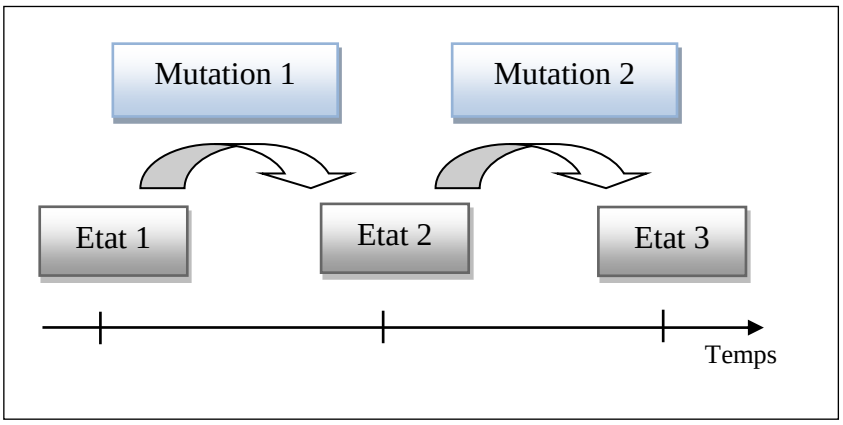


Figure 4 : Phénomène géographique représenté par une série de mutations
(Souce : Bordin P., 2006)

La modélisation du changement de l'occupation des sols pose un certain nombre de problèmes méthodologiques, parmi lesquels la détermination des facteurs qui motivent ces changements, le choix des variables permettant de décrire les changements passés observés et les changements à venir, la prise en compte d'informations incomplètes et imprécises (Corgne S., 2004). La méthode d'observation multi-niveaux développée par Bordin P., (2006) propose d'effectuer des observations statiques en établissant un lien entre plusieurs niveaux d'observation géographiques en exploitant un lien chronologique entre ces états. La méthode

fonctionne avec trois stades de mise en œuvre : de la méthode générique jusqu'à l'obtention des valeurs observées (avant l'étape d'interprétation), passant par la méthode spécifique. Le passage des uns aux autres s'effectue, en différentes étapes successives, par des appellations distinctes qui passent par la mise en œuvre en arrivant à la réalisation.

Par ailleurs, le SIG-temporel (TGIS en anglais ou SIGT en français) est un modèle pour la gestion d'évènement sur une base de données spatio-temporelles, adéquates pour des entités de nature surfacique. Ce modèle propose de séparer le temps, l'espace et les attributs, qui évoluent indépendamment les uns des autres. Plumejeaud C., (2011) a classé les modèles de représentation de l'information spatiale en trois niveaux : le niveau utilisateur, le niveau informatique, et le niveau géométrique.

- ✓ **Le niveau utilisateur** : les données à références spatiales sont liées à un contexte spécifique d'application, et décrivent souvent l'espace via des divers termes qui varient énormément selon les différents pays et langages (ou l'utilisateur en général). Il est difficile de transférer les relations spatiales définies au niveau utilisateur ;
- ✓ **Le niveau informatique** : les objets spatiaux sont représentés comme des types de données dont ces relations sont calculées par des opérateurs spatiaux : c'est la représentation carto-numérique des objets géographiques. Ce niveau est intrinsèquement concerné par l'approximation car les objets réels sont représentés avec un modèle simplifié, et il peut exister plusieurs descriptions du même objet selon des niveaux de précision différents. Le degré d'incertitude est loin d'être parfaitement résolu, aussi il faut étudier le niveau géométrique ;
- ✓ **Le niveau géométrique** ; ce niveau peut être considéré comme le niveau le plus primitif pour l'étude des relations à référence spatiales, puisqu'il permet de retrouver des définitions formelles, et peut être considéré comme sans erreur. Les objets spatiaux sont modélisés comme des représentations mathématiques (points, lignes, surfaces) dont les relations topologiques peuvent être explicitement formalisées : les objets surfaciques se touchent comme les limites des secteurs dans une zone urbaine ou bien ne se touchent pas comme les zones d'influences.

L'espace minier se développe et se modifie pour former plusieurs unités spatiales : la cité minière, la zone industrielle, la ville minière, la vallée minière, le bassin minier, la région industrielle Pascu G., (2015)... Par exemple, le bassin minier se développe sur de grands gisements et peut concerner plusieurs vallées alors que dans la région minière l'argumentation peut être soutenue par des indicateurs chiffrés à savoir le pourcentage d'emplois dans le domaine minier ou le pourcentage de la surface utilisée. La ville présente le miroir des intérêts

de la compagnie minière. Cependant, l'espace de la ville est "espace public" par excellence, théâtre où les intérêts antagoniques se confrontent "librement" selon Eckert C., (1991).

Chapitre I. Particularité d'un espace minier, approche bibliographique

L'exploitation minière est une action déterminée par le contexte géographique (les ressources souterraines déterminent l'emplacement et le développement des établissements) et la connexion entre le mineur, la terre et le mine est direct et profond. Tous ces éléments déterminent la formation des géo-système miniers (Pascu G., 2015). Le choix de la localisation dépend de plusieurs paramètres, les principaux sont les frais de transport, l'énergie, les matières premières et le marché dont l'importance relative a évolué au cours du temps (Belhedi A., 2012). En effet, l'industrie se caractérise par une localisation ponctuelle qui se résout à l'établissement industriel à un point précis qui minimise les coûts de transport ou de transfert, c'est le principe du taylorisme[14].

1. Principes de localisation des populations en fonction des activités minières

Le processus d'urbanisation n'est qu'un élément du processus d'évolution économique et sociale. Aussi, le problème de développement urbain peut s'analyser d'une façon quantitative qui montre l'importance du développement urbain et l'autre qualitative repose sur le caractère plus ou moins harmonieux de ce développement (Taamallah M., 1986). La connaissance de la ville ne peut être acquise sans l'étude sa valeur historique : il est de première importance pour l'élaboration des schémas directeurs et de faire préalablement l'analyse précise du logement (armature, typologie, architecture…), dans les différents secteurs. Les critères de base pour une étude du domaine urbain sont variables suivant l'angle sous lequel celui-ci est abordé : ethnologique, sociologique, urbanistique, aménagement…

Dans une région minière, l'espace est aussi important que le temps. La gestion rigoureuse du temps est souvent mariée à l'obsession d'occuper "rationnellement" et judicieusement l'espace. L'infrastructure minière à grande échelle peut s'étendre sur plusieurs dizaines de

[14] Le taylorisme est une méthode de travail qui tire son nom de son instigateur : l'ingénieur américain Frederick Winslow Taylor (1856-1915). C'est l'ensemble des méthodes d'organisation scientifique du travail mises au point et préconisées par Taylor. C'est une logique spatio-temporelle du travail industriel où le temps est l'élément le plus important du système L'esprit Taylorien signifie l'espace économique rationalisé est divisé de manière à optimiser la production en répartissant l'espace d'une manière judicieuse (configuration des ateliers et des sites de productions).

kilomètres, ce qui nécessite de la compagnie minière la recherche d'une localisation optimale des sites de production, des installations de traitement, des bureaux et des cités minières. Le choix du site où seraient implantées les cités ouvrières fut situé approximativement au centre de l'aire où pouvaient être créés les points d'extraction offrant des conditions d'exploitation optimales. Ces derniers devaient se trouver proches des lieux d'habitat ouvrier, permettant ainsi des économies en termes de coûts du travail, et présenter des conditions techniques favorables pour ramener le minerai aux sites où devaient être installés les équipements techniques avant le traitement.

L'étendue de l'infrastructure minière est construite en fonction de l'aire de production notée aussi "limites géographique de la rentabilité" (figure 5). C'est le modèle de l'économie spatiale définie par "le modèle de Van Thünen" (théoricien de l'économie classique) qui montre que les coûts de transport unitaires sont constants, les coûts de transport totaux sont croissants en fonction de la distance, du poids et de la nature des produits.

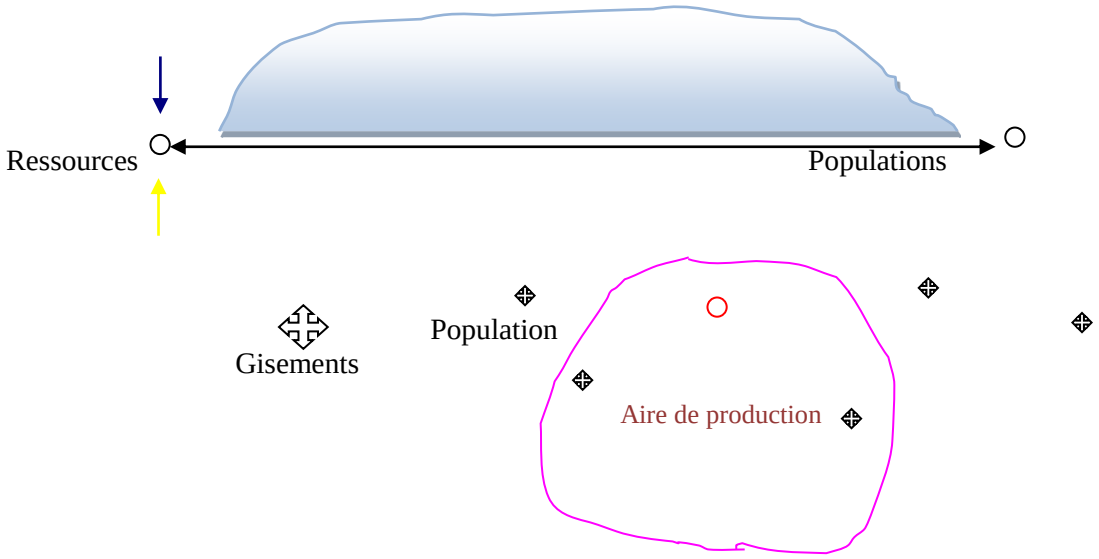


Figure 5: Principe de localisation des populations en fonction des activités minières (Source : Lerat S., 1971)

Le système rationalisé taylorien est introduit dans le BMG dès sa naissance. Le principe constitutif de ce système peut être énuméré comme suit :

♦ La décentralisation de la production : la Compagnie minière refuse de dépendre d'une seule mine dès le départ. Par conséquent, elle exploite en même temps plusieurs sites de production éloignés l'un de l'autre de quelque dizaine de kilomètres, (Kef Eddour à Métlaoui, El Mghatta à Rdeyef, Table Nord à Moularès…). Chaque gisement appartient à un centre régional de production nommé aussi secteur de production;

♦ À l'intérieur de chaque zone de production, nous procédons à un rassemblement spatial entre les différentes fonctions minières (Laverie, aire de stockage, gestion administrative, zone urbaine, halte ferroviaire) à l'exception des mines qui sont à quelques kilomètres ;

♦ La concentration des fonctions ou la minimisation des distances : la Compagnie tâche de ne pas trop éloigner les distances entre les différents points d'exploitation afin de respecter la loi du moindre effort pour le maximum d'efficacité et de rendement;

En général, les compagnies minières investissent des sommes d'argent considérables : les frais de la mise en exploitation sont souvent accrus par les dépenses nécessaires pour construire une infrastructure régionale de transport et les logements pour ses personnels (Adidi A., 2000). Dans notre cas, la Compagnie minière a réalisé dans les centres miniers, des cités ouvrières pour ses agents (cadres et ouvriers) ainsi que les agents du Chemin de Fer et des installations qui répondent aux besoins des collectivités sont ainsi constituées ; écoles, hôpitaux, dispensaires, salles des fêtes, stades sportifs, cinémas,… même la nomination des *Douars* (cités minières actuellement) est en fonction de la toponymie origine de tout un système de vie dans le départ de l'implantation de la région minière (Cité des Marocains, Ecole des Souèfè, station de l'église,….). Les divers travaux et constructions de la Compagnies seront détaillés dans la deuxième partie de thèse (naissance et genèse du BMG).

1.1. Spécifités des villes minières

Les villes du régime industriel représentent des unités indépendantes en terme d'espace de vie (travail, consommation, résidence). Denses et compactes, elles se caractérisent par une juxtaposition des fonctions quotidiennes « nées de la découverte et de la mise en exploitation d'un gisement » (Lerat S. 1971). La logique de proximité spatiale s'érige en nécessité où la vitesse de déplacement est relativement faible (Rérat P., 2006). Une autre définition d'Eckert C., (1991) qui pense que la ville minière est une ville artificielle qui démarre d'une "stratégie industrielle". C'est une ville qui est fondée par la volonté de la compagnie minière pour garantir un contrôle sur le développement urbain par le biais d'un domaine politique local. Alors que Guyot F., (1968) définit «la ville est minière, qu'elle soit née ou non de la mine, lorsque l'activité minière est une activité motrice de la ville… La croissance est un processus de relais continuel d'activités motrices…». Donc, les villes minières au sens étroit du terme, sont des espaces urbains liées à une industrie extractive, voire au conditionnement des minerais… ou encore à la fusion du minerai et au raffinage du métal.

Les villes minières élémentaires sont en général de petite taille, la mine à proximité de laquelle elles sont édifiées… n'employant qu'un effectif limité de travailleurs. Quel que soit son site, la ville minière industrialisée associe des paysages urbains différents. Si certaines de ces villes sont issues de noyaux villageois ou urbains antérieurs au développement de l'exploitation minière, d'autres sont des créations contemporaines de l'industrialisation (Lerat S., 1971). La ville minière peut être "spontanée" ou planifiée et créée de toutes pièces par la Compagnie minière et ne peut être isolée de l'activité et de l'espace minier qui l'a sécrété (Adidi A., 1986-2000). En effet, le domaine minier est une activité étroitement localisée, dont le développement peut entraîner la formation de groupements de populations denses au sein de l'étendue minière.

La morphologie urbaine des villes minières au Nord de l'Afrique (Tunisie, Algérie et Maroc) suit deux logiques qui se recoupent : les constructions des Européens et les constructions des maghrébins. Généralement, la séparation entre les deux modèles urbains est matérialisée par la voie ferrée qui permet d'acheminer le phosphate vers les villes portuaires. Cette morphologie est présentée dans la figure suivante :

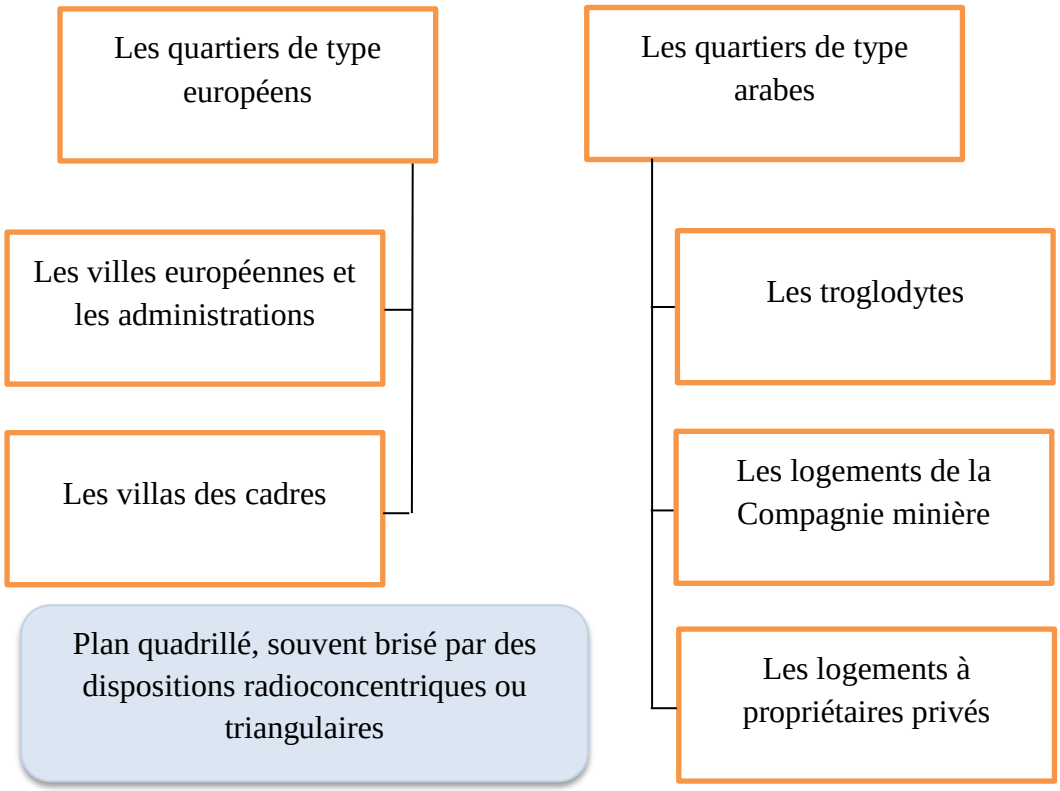


Figure 6 : Morphologies des villes minières

(Source : Bleuchot H., 1969), modifié par Salhi B., (2015)

Toutes les définitions déjà citées affirment que les villes minières sont des concentrations urbaines plus ou moins anarchiques qui se singularisent par leur morphologie, et leurs fonctions économiques, sociales et territoriales qui sont fortement liées à l'extraction et l'enrichissement des minerais. L'aspect des villes minières traduit la variété sociale et ethnique de la main d'œuvre employée et des cités qui s'ébauchent. Autrement dit, l'urbanisation future d'une ville minière dépend largement de l'importance économique des ressources minières, de sa situation géographique et des circonstances socio-économiques et politiques du pays.

1.2. Mode de composition urbaine et production foncière et immobilière

Rappelons que les compagnies minières et, dans une deuxième étape, les sociétés industrielles, ont dû pratiquer une politique active de construction de logements pour accueillir les immigrants. Le paysage urbain, les styles urbanistiques voire la toponymie, traduisent du reste les étapes de croissance des compagnies minières. Le modèle des villes minières est similaire au schéma nucléaire qui combine différentes mesures caractéristiques de la population, de l'économie, du bien-être, et de l'habitat (figure 7). En outre, le travail de la mine a toujours réclamé une main-d'œuvre relativement nombreuse sur un espace géographique restreint (Cosinschi M., et Racine J.B., 1998).

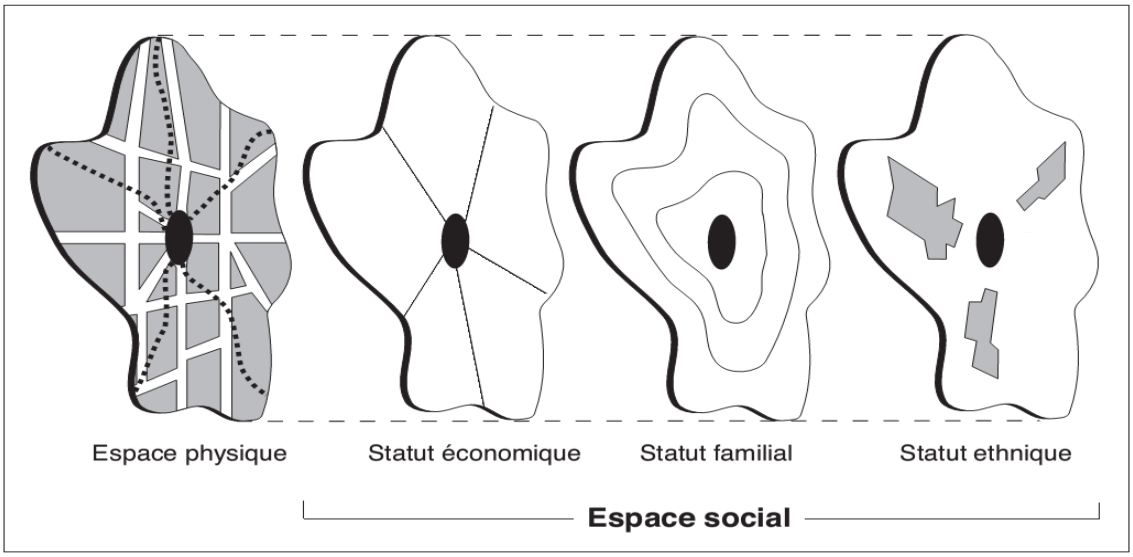


Figure 7: Le modèle des villes minières

(Source : Cosinschi M.et Racine J.B., 1998)

En outre, l'analyse photométrique réalisée par Belhedi A., (1992) sur les espaces urbains a permis d'étudier les Modes de Composition Urbaine (MCU[15]). L'auteur, le définit comme «un concept synthétique qui nous épargne la lourdeur du descriptif ou de l'inventaire… c'est le processus social mis en jeu pour produire un espace à un moment donné ». Donc, le MCU du BMG est le mode capitaliste, a été en Tunisie coloniale au début et s'est généralisé après l'indépendance, en particulier après 1970. Ce mode a abouti à une contradiction : les masses sont expulsées et expropriées dans les campagnes.

1.3. Projets miniers et valeurs sociales

Le monde agricole et rural fournissait aux compagnies minières des ouvriers. Le développement croissant de l'activité a exigé d'attirer, de professionnaliser et d'enraciner durablement une nouvelle population d'ouvriers : les mineurs. L'exploitation minière associe deux fonctions élémentaires : la production et le logement (Simard M., et Brisson C., 2013). La compagnie minière, comme dans le BMG, prendra à sa charge aussi l'éducation des enfants, et la mise en place de tout un système de protection sociale, notamment à travers la mise en œuvre d'une Caisse de Secours, d'une Caisse de Retraites et d'écoles, une assistance rare dans le monde ouvrier du XIXème siècle (Eckert C., 1991). Le choix de construire un habitat ouvrier individuel est une volonté d'encadrer et de contrôler chaque moment de la vie du mineur et de sa famille (organisation d'activités de loisirs, présence d'écoles, de commerces,...). La mine apportait des infrastructures qui facilitaient les déplacements (par l'eau ou par voie ferrée) et la dynamique (des produits et des hommes). En même temps, la grande agglomération favorisait les échanges économiques et culturels. Par conséquent, la relation constituait un soutien réciproque. En revanche, Diallo L. (2014) voit que le développement minier peut engendrer des impacts considérables sur la cohésion sociale, la santé et le bien être des communautés, les femmes et les autres couches vulnérables de la société. Ajoutons aussi, l'exploitation d'une mine peut faire émerger de nouveaux modes de vie et des modèles de consommation exotiques et entraîner la disparition des modes de vie traditionnels surtout dans les régions rurales.

La fin du travail à la mine est la fin du métier de mineur, vidée de sa substance industrielle qui avait forgé l'identité de ces habitants. Cela signifiait aussi la rupture d'une tradition du groupe, de la "grande famille corporative" et, d'une tradition familiale, celle des "familles de mineurs" (Eckert C., 1991). Dans ce contexte aussi, Pascu G., (2015) décrit : « une autre conséquence

[15] Le MCU est déterminé par le développement socio-économique et culturel de la division sociotechnique du travail qui forme les déterminants dont les effets sont les formes, les usages et les significations de cet espace.

de migration est le vieillissement de la population locale. Ce processus peut être changé seulement en favorisant l'implantation des attracteurs économiques et en accordant un soutien social aux jeunes et aux jeunes familles, pour s'installer dans la région ». Ces citations ont montré qu'avec l'épuisement des réserves ou même dans les périodes de crise de commercialisation[16], les régions minières, comme le cas du BMG, souffrent d'une chute des demandes d'emplois miniers ou même la disparition des postes (suite à la mécanisation ou au plan d'ajustement industrielle dans les années 1980) qui provoque des crises sociales graves, à titre d'exemple, la consommation d'alcool, les conflits tribaux[17] entre la population locale et les immigrés et le vieillissement de la population minière par le départ des forces (migration des jeunes surtout les diplômés).

1.4. Ressource minière et mono-activité industrielle

Grâce aux revenus tirés de ces exportations, le secteur minier constitue la principale source de devises étrangères. Il joue le rôle de moteur de développement économique des pays producteurs bien qu'il génère diverses conséquences socio-économiques et environnementales dans les régions minières. En effet, les bassins miniers, comme notre zone d'étude, se plongent souvent dans une crise économique suite à sa structure mono-industrielle. Cette crise touche également tous les autres niveaux de la vie quotidienne marqués par un manque de perspectives d'avenir professionnel, hérité d'une région considérée comme défavorisée.

Une fois la fermeture de l'exploitation minière réalisée ou est en cours, l'image parfois ne cesse de s'aggraver : vulnérabilités environnementales, démographiques et sociales qui entretiennent une stagnation économique. Dans ce contexte, Diallo L. (2014) décrit : « les mauvais résultats économiques sont la conséquence de facteurs indépendants de l'abondance en ressources, et s'expliquent par l'exportation de produits primaires ou de matières brutes ne subissant aucune transformation préalable permettant de créer de la valeur ajoutée ». Alors Pascu G., (2015) pense que la réorientation de la population en cours temps, vers d'autres activités est presque impossible. Pour le BMG, le résultat est la migration des populations le littoral ou l'étranger ; vers des endroits avec une croissance économiques et avec une plus forte probabilité de trouver un emploi.

[16] Les périodes de crise de commercialisation sont nommées aussi "les temps de la récession".

[17] La différence du pouvoir tribal peut laisser un sentiment d'impuissance et de non appartenance au milieu. L'évènement de Métlaoui 2011 est une preuve de l'impuissance tribale.

La meilleure solution est de négocier au niveau local des lois qui favorisent l'insertion de Petite et Moyenne Entreprise, soutenue par des projets qui améliorent la qualité de vie mais aussi préservé l'environnement vulnérable aux rejets miniers.

2. L'environnement minier

La norme "ISO 31000 de 2009" offre une définition officielle et claire de la notion de "risque lié à l'environnement", la désignant comme étant « la possibilité qu'un événement survienne et dont les conséquences (ou effets de l'incertitude) seraient susceptibles d'affecter les personnes, les actifs de l'entreprise, son environnement, les objectifs de la société ou sa réputation». Le BRGM, (1997) définit les déchets miniers comme tout produit ou dépôt qui résulte de l'extraction ou d'enrichissement du minerai. Selon notre objectif de recherche, nous pouvons définir le risque environnemental comme la probabilité plus ou moins grande résultante des pollutions générés par les deux compagnies minières. Il englobe aussi les régions susceptibles d'être touchées par les effluents miniers. Ce risque environnemental est accentué par des contraintes naturelles comme la sécheresse, la désertification, l'érosion éolienne, le glissement de terrain…

Nous pouvons classer les déchets miniers comme naturels (stériles ou terrils en forme de tas issus des mines) ou des produits artificiels, issus de la phase d'enrichissement ou de transformation du minerai (comme les rejets des Laveries dans le BMG) contenant ainsi des additifs chimiques. De ce fait, le critère d'évaluation des impacts environnementaux de l'exploitation minière consiste à déterminer, d'une part, leur importance qui est en fonction de la probabilité de la réalisation et, d'autre part, de la conséquence (gravité de la perturbation provoquée, réversibilité, durée, portée géographique).

2.1. Exploitation minière et impact sur l'environnement

La notion de l'impact environnemental ne prend tout son sens que si elle inclut un changement des paramètres environnementaux, suite à une activité minière par exemple. Ces paramètres, qui régissent la qualité de l'environnement, peuvent avoir trois principales composantes (Artignan D. et Cottard F. (2003):

- la composition chimique des eaux, des sols, des sédiments, etc. ;
- la diversité biologique ;
- les qualités esthétiques visuelles etc.

Les installations de traitement et d'épuration des minerais se trouvent la plupart du temps directement à côté du puits de mine, et beaucoup de produits chimiques toxiques y sont utilisés (BRGM, 1997). Selon une étude commanditée par l'Union européenne en 2000 : « les

chocs et les vibrations, à la suite d'abattages en relation avec l'exploitation minière peuvent entraîner du bruit, de la poussière et conduire à la destruction des structures dans les zones environnantes non-habitées. ».[18]

La société North-South Environment, (2007) décrit : « l'accumulation des métaux lourds se manifeste également au niveau des animaux (produits laitiers, viandes, etc.) qui n'ont d'autres sources d'alimentation que les espèces fourragères disponibles dans la zone et qui sont exposées avec une importante teneur en ces métaux …».

Pour être en mesure de juger le degré d'impact dans le BMG, il faut d'abord, montrer que chaque composante soit exprimée en termes de paramètres quantifiables (pH, concentration des polluants, mesure de diversité biologique...). Ensuite, il faudrait comparer les valeurs mesurées à une gamme de valeurs naturelles du paramètre pour l'environnement du site non minier, c'est-à-dire à ceux qui auraient existé avant les travaux miniers, définit aussi par "*premining conditions*" (Shelley A., Minns et al. 1995). Dans ce contexte, nous définissons "le facteur et le degré de contamination". Ils permettent l'évaluation de la contamination du sol. Le calcul du facteur de contamination (FC), appelé aussi bruit de fond, s'obtient en divisant la concentration de chaque élément dans le sol par la concentration dans le sol non pollué. Les niveaux de contamination peuvent être classés en fonction de leurs intensités sur une échelle allant de 1 à 6 présenté comme suit:

- FC < 1 : Bas facteur de contamination ;
- 1 < FC < 3 : Facteur de Contamination modéré ;
- 3 < FC < 6 : Facteur de Contamination considérable ;
- 6 < FC : Facteur de Contamination très élevé.

Le facteur de contamination est un indice pour un seul élément en trace. La somme de tous les facteurs de contamination pour tous les éléments examinés représente le degré de contamination de l'environnement ($D_{eg}C$). Loska K., et al. (2003) définit trois classes :

- $8 < D_{eg}C < 16$: degré de contamination modéré ;
- $16 < D_{eg}C < 32$: degré de contamination considérable ;
- 32 k< $D_{eg}C$: degré de contamination très élevé.

En outre, le terme "phytodisponibilité" désigne l'ensemble de processus (figure 8) qui contribuent au transfert des polluants solides du sol aux tissus de la plante (Barber S.A., 1984 et Morel J.L., 1985). Les métaux toxiques (ou les éléments traces) se distinguent des autres polluants chimiques par une faible biodégradabilité et un pouvoir de bioaccumulation le long

[18] MInEO Consortium (2000) "Review of potential environmental and social impact of mining" http://www2.brgm.fr/mineo/Userneed/IMPACTs.pdf

de la chaîne trophique. L'accumulation de ces éléments peut avoir pour conséquences, à long terme, des risques pour le développement des plantes, la santé des Hommes et des animaux. Les métaux lourds, qui présentent les risques les plus notables sont le cadmium, le cuivre, le molybdène, le nickel et le zinc. Ce sont des phytotoxiques. Le molybdène et surtout le cadmium peuvent être toxiques pour les animaux et l'Homme, même à des concentrations bien inférieures aux seuils de phytoxicité (Salhi B., 2011).

Les rejets miniers sont contaminés par les métaux lourds qui présentent une faible mobilité originelle et leur apport dans ce milieu se traduit par une accumulation dans les organismes vivants et les végétaux et par la suite provoquant la contamination des chaînes trophiques. En effet les polluants, qui sont des éléments introduites dans un écosystème, contribuent à dégrader sa qualité, à perturber son fonctionnement ou à contraindre ses usages. Le risque engendré par un polluant donné pour l'environnement n'existe que si sa concentration dépasse un certain seuil, le seuil de phytotoxicité.

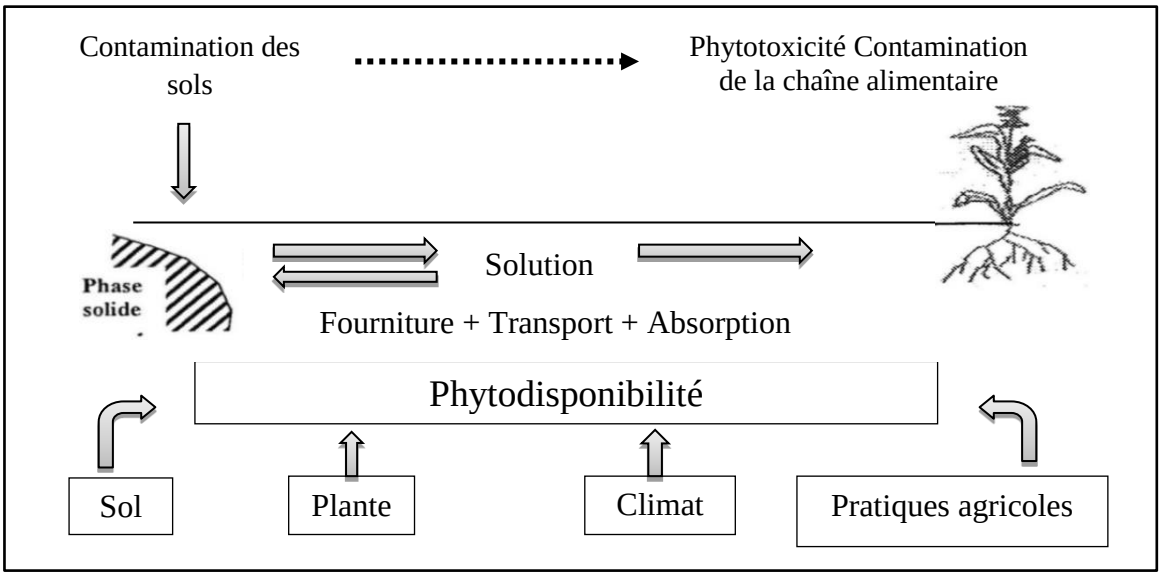


Figure 8 : Phytodisponibilité des éléments en traces dans les sols

(Source : Morel J.L., 1985)

La salinisation du sol et la pollution nitrique des eaux souterraines constituent les principaux problèmes environnementaux liés aux rejets miniers (BRGM, 1997). Alors que les rejets solides amènent à la constitution d'énormes terrils formés à partir des différentes substances stériles dont l'effet est la défiguration du paysage naturel. La pollution par les phosphates était l'une des principales plaies environnementales de cette seconde moitié du XXème siècle ; il était donc nécessaire de tout mettre en œuvre pour y remédier (Neveu A., et al. 2001). Dans le

BMG, puisque les habitants est en contact permanent avec son environnement, les contaminants d'origines minières peuvent pénétrer dans l'organisme par plusieurs voies :

- ✓ **L'inhalation (Aérosols)**: l'activité respiratoire entraine les particules contaminées de taille inférieure à 80 µm à l'intérieur des poumons issues par exemple du GCT. Les particules fines < 2,5µm (PM 2,5) peuvent atteindre les alvéoles alors que les particules plus grosses s'arrêtent au niveau du nez de la trachée et des branches ;
- ✓ **L'ingestion directe**: c'est l'incorporation orale directe de particules contaminées. Les retombées de particules contaminées dans les lieux de vie, dans les aliments et l'eau de boisson peuvent conduire à l'ingestion de particules, mais aussi, par l'habitude des enfants de porter les mains à la bouche ;
- ✓ **L'ingestion indirecte**: elle résulte de la consommation d'aliments ou d'eau déjà contaminée comme, par exemple, les légumes et fruits cultivés sur des sols pollués par les rejets miniers;
- ✓ **Le contact dermique** (**la contamination par voie cutanée)**: il consiste dans le contact des contaminants directement avec la peau. Un simple contact peut entraîner une contamination, souvent grâce à des microcoupures sur la peau.

2.2. Le Drainage Minier Acide (DMA)

Les problèmes de pollution provenant des sites miniers, abandonnés ou actifs, viennent principalement d'un phénomène appelé le Drainage Minier Acide (DMA). Il peut être produit à partir de plusieurs sources tels les stériles d'excavation, les rejets de laveries ou les murs (en forme de tas) des exploitations à ciel ouvert (figure 9). L'identification du DMA ne se produit qu'au moment du débordement, soit, parfois, quelques années après l'arrêt des pompages d'exhaure. Ce DMA se caractérise par de très fortes concentrations en métaux lourds liées aux pH acides de ces eaux et apparaissent dès le début de l'exploitation minière et s'étale sur plusieurs années même après la fermeture du site minier (Collon P., 2003 ; Robin P., 2009 et Ghorbel Ben Abid M., 2012).

En outre, la mise en place d'une usine de traitement chimique du DMA est très coûteuse. L'effet des DMA s'étend bien au-delà du secteur de l'extraction et d'enrichissement de minerai et de stockage des résidus. Ils sont transportés vers les sols, les communautés végétales, les réseaux hydrographiques et même les nappes par infiltration provoquant ainsi la dégradation de la qualité de l'eau superficielle et/ou souterraine.

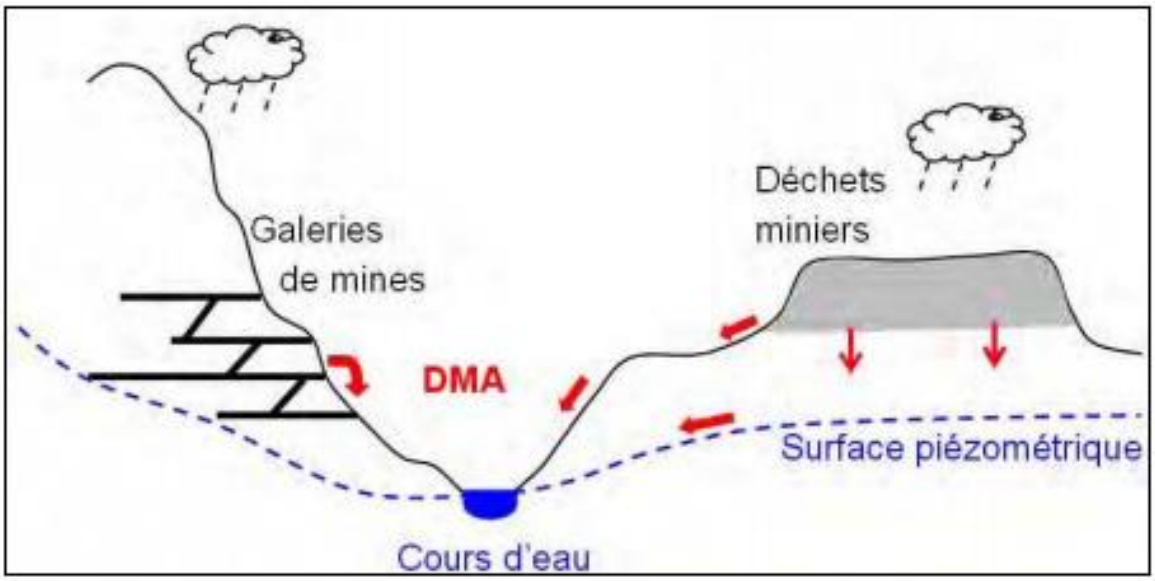


Figure 9 : Production et transfert de Drainage Minier Acide (DMA)

(Source: Ghorbel Ben Abid M., 2012)

2.3. Espace minier et ambigüité de développement durable

La notion de développement durable est définie de plusieurs manières selon les différents courants de pensée économique ou centrée sur la satisfaction des besoins humains. Le concept de durabilité désigne une gestion des ressources naturelles respectueuse des capacités de reproduction. La définition du développement durable proposée en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement[19] est : «un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs besoins». Cette définition consiste à s'assurer que le projet minier est durable, c'est-à-dire que le développement né de l'extraction de la ressource minérale se poursuivra même après l'épuisement de cette ressource. Le débat sur la problématique de développement durable des compagnies minières résulte des enjeux et des impacts qui touchent à la fois les habitants des agglomérations minières et même des agglomérations limitrophes, les écosystèmes et l'environnement minier (air, ressources en sol, ressources hydriques,) et de la nature non renouvelable des ressources minières.

Les piliers du développement durable présentent un équilibre entre le progrès social, l'efficacité économique et le respect de l'environnement. Les progrès dans la prise en compte des trois dimensions du développement durable pourraient être réalisés grâce à, d'une part, l'investissement des revenus générés pour assurer le développement à long terme des

[19] En 1987, la Commission des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (World Commission on Environment and Development, WCED) publiait le Rapport Brundtland, du nom de sa présidente, Gro Harlem Brundland, et intitulé «Our Common Future». Ce document est devenu la conception directrice du développement durable tel qu'on l'entend aujourd'hui encore.

communautés et, d'autre part, la réduction au minimum des impacts environnementaux de l'exploitation et la réhabilitation des territoires pour permettre leur utilisation après la fermeture des sites d'extraction et/ou d'enrichissement.

2.3.1. Caractère éphémère de l'espace minier

Les établissements miniers, dans le contexte de ces trente dernières années, sont considérés comme étant des établissements vulnérables. Un certain nombre de facteurs: environnementaux, économiques, sociaux et démographiques, convergent vers cette décision (Pascu G., 2015). En effet, il n'est certainement pas facile de conjuguer développement durable et exploitation des ressources minières en raison de leur caractère éphémère et surtout en raison de l'histoire et de la situation actuelle des régions minières. Par exemple au Maroc, l'infrastructure minière, qui s'étend sur plusieurs kilomètres carrés, entraînent la destruction des ressources en sols, des terres agricoles, et même d'agglomérations rurales limitrophes (Adidi A., 1986 et Sahsah M., 1996).

Nous pouvons dire que la question du réaménagement du territoire minier pose de vrais problèmes du fait que les infrastructures de base nécessaires aux villes minières sont souvent propriétaires ou au moins dépendantes des compagnies minières, comme le cas du BMG. S'ajoute que ces villes minières sont les premières victimes du processus de dégradation de l'environnement à cause de divers types de polluants (solides, liquides et gazeux) issus des mines et des laveries. Ainsi, un état de ségrégation socio-spatiale caractérise les villes minières d'une manière générale, auquel s'ajoute l'inégalité exposition des habitants devant le risque environnemental. Dans ce contexte, deux principales mesures permettant de prévenir le risque minier :

- ✓ Le Porter-à-connaissance (PAC) : permet aux collectivités locales de prendre en compte l'aléa minier pour l'aménagement de leur territoire ;
- ✓ Le Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM) : outil de gestion du risque minier par une réglementation de l'urbanisation et de l'aménagement d'un territoire ;

Malheureusement, ces plans n'existent pas encore en Tunisie. Aussi, les associations et les communautés locales du BMG ne sont pas incluses dans les opérations d'exploitations minières qui concernent les terres et les ressources dont ils vivent.

Selon Laurent E., (2009), le concept de "justice environnementale" désigne à la fois les inégalités dans l'exposition aux risques environnementaux (pollutions, déchets, inondations) et la mise à l'écart des minorités raciales. Il s'agit également de la question de la vulnérabilité des différents groupes sociaux aux risques environnementaux, avec le risque d'un impact

multiple et cumulatif de celles-ci. Selon la classification de cet auteur, le choix du lieu de résidence dans le BMG est fortement conditionné par le revenu, de sorte que l'environnement n'apparaît pas comme une donnée exogène. C'est ainsi qu'inégalités sociales et environnementales peuvent se cumuler et même se confondre.

2.3.2. Responsabilité Sociale de l'Entreprise minière

La "Responsabilité Sociale de l'Entreprise[20] (RSE)" est la démarche des entreprises pour prendre en compte les impacts sociaux et environnementaux de leurs activités pour adopter les meilleures pratiques possibles et contribuer ainsi à l'amélioration de la société et à la protection de l'environnement selon Labelle F., et Aka, G., (2010). Aussi, la RSE s'impose en véritable modèle interrogeant la légitimité de l'activité économique et le rôle de l'entreprise dans son milieu social. La RSE se résume à un ensemble d'obligations de l'entreprise vis-à-vis de la société qu'il regroupe, selon Diallo L., (2014), en quatre catégories : économiques (être profitable, fabriquer des produits respectant des normes de qualité et de sécurité etc.), légales (respecter les lois et les réglementations), éthiques (agir conformément à des principes moraux partagés au sein de la société) et philanthropiques (agir avec bienfaisance et charité).
D'autre part, la réhabilitation d'un site minier après sa fermeture vise à retourner le site à une condition qui ressemble le plus possible à la condition d'avant l'exploitation. Selon Pascu G., (2015), les procédures principales sont les suivantes: le diagnostic du site, la prise des mesures contre la pollution, la gestion des sols pollués et des déchets, la mise en place de mesures de réadaptation, la préservation du patrimoine historique et le contexte et la surveillance de l'efficacité des mesures de gestion. La notion de patrimoine minier, en extrapolant, réunit les éléments (bâtiments, infrastructure, paysages naturels ou anthropiques), qui constituent un bien précieux pour la société. Le patrimoine étant un des résultats de cessation d'exploitation minière, peut activer à nouveau des relations au niveau des territoires.

2.3.3. Législation des exploitations minières

Au début des années 1950, les pays sous-développés désirent d'avoir des industries chez eux permettant la réalisation d'une partie de la valeur ajoutée sur leur territoire, mais en sacrifiant l'environnement. Les habitants, qui souffrent des impacts négatifs de l'exploitation minière, sont dus en grande partie à l'absence d'un cadre réglementaire et légal qui protège leur environnement. Les législations en vigueur, notamment les codes miniers, n'imposent aucune contrainte aux entreprises exploitantes. « … La mise en application des codes de

[20] La Responsabilité Sociale de l'Entreprise appelle une modification profonde des pratiques de l'activité industrielle et donc de l'entreprise au sein de la société (Diallo L., 2014).

conduite de l'industrie minière est sérieusement limitée par l'absence de régulations externes et de pénalités, en particulier pour les compagnies non adhérentes aux associations et codes que ces dernières promeuvent » (Diallo L. 2014). En effet, le problème est qu'il n'y a pas une prise de conscience de l'importance de cette législation qui reste peu appliquée. Alors que dans d'autres pays, le minimum syndical est de rétablir le site d'exploitation après extraction ou le reboiser.

D'après l'article 25 de la loi de 89-20 du 22 février 1989 actualisé par la loi n° 2003-30 du 28 avril 2003, portant promulgation du Code Minier Tunisien, réglementant l'exploitation des carrières «l'exploitant est tenu, suite à la cessation de l'activité pour quelque cause que ce soit, de réparer tout dommage causé à l'environnement et à la sécurité publique, et de procéder à la remise en état des lieux conformément à la législation en vigueur et aux obligations particulières prévues par le cahier des charges. Le type d'aménagement d'une carrière, défini par l'étude d'impact, doit être fait par l'exploitant». Le réaménagement d'une carrière est conditionné par la prise en compte de divers éléments tels que :

- La nature du gisement exploité : roche massive ou riche meuble ;
- L'environnement socio-économique ; zone urbaine, rurale et/ou agricole ;
- Le Type de carrière : carrière à ciel ouvert ou souterraine ;
- La situation géographique : fond de vallée, flanc de couteau, montagne ;
- Les caractéristiques écologiques du milieu.

Les espaces miniers sont largement dépendants aux compagnies minières en termes d'organisation et de développement. En revanche, la notion des régions minières est souvent associée aux risques de pollution, maladies, désolation, dégradation des ressources hydriques….. En conséquence, les élus locaux doivent protéger leur environnement contre ces menaces et s'assurer que leurs valeurs et leur mode de vie seront préservés pour les générations actuelles et futures. Les complications d'étudier de naissance et de développement de notre espace minier nécessitent d'introduire une approche de synthèse qui répond au besoin de recherche dans ce manuscrit. C'est probablement l'implantation d'un projet SIG-Minier qui assemble les diverses composantes naturelles et anthropiques du BMG, qui pourrait répondre à ces questions.

Chapitre II. La mise en œuvre d'un projet SIG-Minier

En cartographie traditionnelle, la carte "papier" était le support de stockage et de visualisation de l'information géographique. Par conséquent, elle est utilisée comme un vecteur pour véhiculer une quantité condensée de l'information, sans pouvoir pour autant la dissocier, ni facilement l'analyser.

Historiquement, le terme SIG (en Français) ou GIS (Geographic Information System, en Anglais) a été développé à Canada au début des années soixante. Il a commencé à émerger lorsqu'on a eu la possibilité de créer des plans ou des cartes avec des outils de dessin assisté par ordinateur auxquels on associait des systèmes de gestion de fichiers. L'évolution des outils SIG est en fait liée au développement massif de l'information et des réseaux de communication matériel et logiciels car ils sont bâtis autour d'un équipement et de logiciels informatiques spécialisés permettant d'acquérir la Base de Données Géographique "BDG" et de l'analyser grâce à un Système de Gestion de Base de Données "SGBD" (figure 10) pour en extraire des informations (Salhi B., 2011).

Le SIG possède plusieurs synonymes tels que: Système d'Information à Référence Spatiale (SIRS), Système d'Information à base Géographique…. Il peut être perçu comme un système informatique. Selon la définition américaine, émanant du Comité Fédéral de Coordination Inter-agences pour la Cartographie Numérique (FICCDC, 1988), un SIG est un "système informatique de matériels, de logiciels, et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion". C'est un «ensemble des procédures de traitement des données géographiques par ordinateur » (Brunet et al. 1992). Ces deux définitions du SIG sont orientées vers les besoins des utilisateurs. D'autre part, Didier M., (1990) définit le SIG comme « un ensemble de données repérées dans l'espace, structurées de façon à pouvoir en extraire des synthèses utiles à la décision». Cette autre définition est davantage tournée vers les besoins des décideurs. Les SIG sont très utilisés dans différents domaines (gestion du territoire, gestion des ressources naturelles, prévention des risques naturels, assainissement et implantation des réseaux d'équipements publics…). Les (SIG) tiennent une place centrale dans la géomatique puisqu'ils sont les outils informatiques permettant la représentation et l'analyse des données. De plus, près de 80% des données ont un caractère géographique. De ce fait, la dimension géographique des données est

trop souvent sous-exploité alors qu'elle est un véritable avantage concurrentiel et un outil idéal d'aide à la prise de décision (ESRI France, 2017)[21].

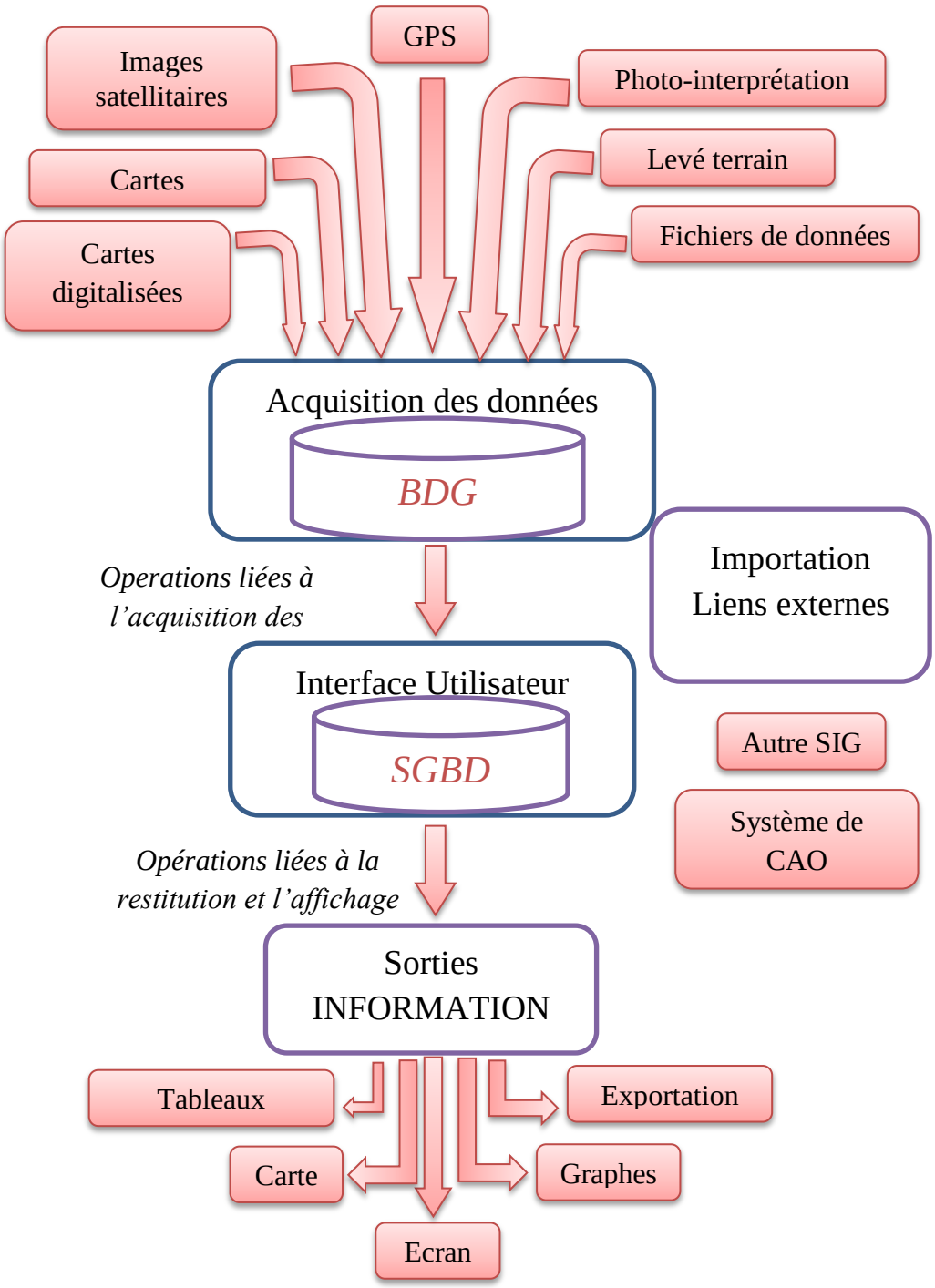


Figure 10: Les composantes d'un Système d'Information Géographique (Salhi B., 2011)

[21] https://www.esrifrance.fr/geomatique.aspx

1. Préparation des données pour la création d'un projet SIG-Minier

Après avoir défini brièvement le SIG, nous allons suivre les étapes d'élaboration du projet SIG-Minier sur Arc GIS et Envi EX. Ce dernier logiciel permet, entre autres, de prévoir l'évolution des infrastructures minières à ciel ouvert et leur impact sur l'occupation de sol. Notre recherche documentaire a été dirigée vers la lecture d'ouvrages, mémoires, articles, textes et la consultation de sites internet traitant le sujet. Nous avons aussi, essayé de rassembler les textes juridiques afférents à l'exploitation minière et la protection de l'environnement. Par ailleurs, l'utilisation de cartographies historiques (plans des villes, occupation de sol) peut ainsi fournir des informations précieuses concernant l'historique de la région surtout au début du 19ème siècle.

1.1. Données nécessaires d'un projet SIG-Minier

La qualité des données constitue une condition intrinsèque d'une bonne exploitation du SIG. L'importance d'une étude détaillée sur les données s'explique par sa représentation de 60 à 80% du coût de réalisation d'une base de données dans un projet SIG (Smida H., 2008). Donc, il est important de consacrer du temps à leur collecte, leur étude et leur traitement tant du point de vue de l'analyse que de la préparation. La bonne compréhension des dynamiques d'évolution de l'espace minier de Gafsa nécessite, tout d'abord, de recourir à une approche systémique dans la perspective de rassembler un maximum d'informations et de données sur notre sujet.

1.1.1. Les données urbaines et statistiques : les cartes et les plans d'aménagement

Ces documents constituent un corpus pour construire un projet SIG-Minier à l'échelle des villes minières. Nous disposons également de plusieurs autres couches vectorielles de format Dxf, et des plans de masse présentant les PAU des villes minières. Les données statistiques émanent principalement de l'INS (démographiques, limites des secteurs,…) et du MEHAT, (SDATN, PAU, Ouvrages d'aménagement,….). Parmi les documents nous avons :

- ✓ Les plans et les cartes topographiques à l'échelle 1/20 000 et 1/50 000 (date 1968 et 2010);
- ✓ Les photos aériennes, divers missions (1968, 1996 et 2008 échelle 1/2000);
- ✓ Les plans des réseaux de base;
- ✓ Les PAU des villes minières multi dates (1968, 1996, 2009);
- ✓ La base de données SIG offerte par la CRDA Gafsa (date 2007, 2012 et 2014).

1.1.2. Les données topographiques et hydrologiques

Les données topographiques sont issues de différentes sources. En effet, les points cotés sont issus de la carte des contraintes du site dérivé du PAU pour les zones urbaines, de la carte topographique de gouvernorat de Gafsa (1/50 000 et 1/200 000) ainsi que des images Landsat. Ces données sont disponibles à l'Office National de Topographie et de la Cartographie (ONTC) et le CRDA (DR, Gafsa). Alors que les données hydrologiques, à l'échelle du BMG, sont extraites des images satellitaires Landsat, de la carte d'Etat-major (1/50 000) du gouvernorat de Gafsa. Au niveau des villes, le réseau hydrographique est vectorisé à partir de la carte des contraintes de site (1/2 000) dérivé du PAU des villes minières et les extraits de Google Earth.

1.1.3. Les données rasters et les documents téléchargeables

Les extraits à partir de Google Earth constituent une opportunité pour la mise à jour de données antérieures (cartes topographiques, photographies aériennes et autres…). Ils sont utilisés pour la photo-interprétation. L'ensemble de ces extraits a été mosaïqué et géoréférencié à base du référentiel Lambert Nord Tunisie, afin d'assurer une meilleure superposition avec les autres types de données du projet SIG "CRDA, 2007". L'analyse par images satellites tend vers le même principe que l'analyse d'images aériennes. Elle permet de quantifier et de spatialiser les évolutions des sols, avec une résolution spatiale plus faible (variable selon les capteurs de 60 à 15 m[22]) mais qui permet de couvrir un territoire plus vaste. La photo-comparaison/interprétation des photographies aériennes constitue l'étape essentielle de la caractérisation à la fois de recouvrement et d'utilisation des sols. Les informations bruitées seront complétées par les travaux de terrain et un travail bibliographique en amont. Cependant, si l'utilisation de la photo-comparaison permet une observation visuelle intéressante, elle nécessite au préalable l'acquisition de la connaissance des processus socio-économiques qui ont eu lieu sur le territoire observé pour que les évolutions soient correctement interprétées.

1.1.4. Les données des infrastructures minières

Ces données sont disponibles à l'Office National des Mines (ONM) en collaboration avec la CPG, et auprès du CRDA de Gafsa (forages, qualité des eaux…). En outre, plusieurs couches d'informations sont extraites des cartes géologiques telles que la perméabilité des faciès, les failles et le pendage des couches. Le projet SIG-Minier est réalisé en collaboration

[22] Les premières captures images exploitables et commerciales date des années 1972 ; cependant leur résolution spatiale constitue un frein important à la détermination fine des types d'occupation et d'usages des sols (Lagabrielle E. et al. 2007).

avec la CPG, il doit couvrir trois activités principales qui sont la cartographie-topographie, la géologie et la planification minière afin d'effectuer des modélisations de l'environnement d'exploitation :

- **La topographie et la cartographie géologique:** ce travail sert à exploiter des coordonnées relevées sur terrain dans le but de préparer des fonds topographiques, des profils en long, des plans côtés d'exploitation... ;
- **La géologie :** il s'agit de faire un suivi des ouvrages de reconnaissance et des échantillons prélevés et ce en déterminant différentes données ;
- **La planification minière :** il s'agit d'exploiter les données hydrologiques, hydrogéologiques, topographiques, géologiques, urbaines… pour effectuer des modélisations sur l'environnement d'exploitation.

1.1.5. Les travaux de terrain

Il convient de signaler tout d'abord que nous sommes partis des archives nationaux bien qu'ils sont très étiques et ne couvrent que quelques périodes selon Tababi H., (1993). A titre d'exemple, la disparition de la note "Série E carton 343 D9" portant sur les mines de la région de Gafsa est un handicap. De plus, l'archive de Métlaoui, qui est la propriété de la CPG, ne contient pas une valeur historique importante, surtout la période 1920-1980. Quant à l'archive de Djebel Mdhilla et de l'UGTT, elles sont dépourvues, pour des causes inconnues, de quelque contenu suite à la crise politique de 1985.

Le travail de terrain (échantillonnages, enquête, description des sites…) est un complément important à la réalisation d'un projet SIG-Minier. Il permet de comprendre les différents processus de la dynamique spatiale de l'occupation de sol. Par exemple, les entretiens avec des acteurs municipaux permettent de connaitre avec plus de fiabilité les origines des changements de la couverture des sols bien que les dates de ces changements soient plus ou moins précises. L'enquête de terrain permet aussi de remonter loin dans le temps, offre une bonne compréhension des divers processus socio-spatiaux et environnementaux ayant eu cours sur un territoire, mais ne permet pas de spatialiser ou de quantifier les changements avec précision. Nous avons opté pour l'étude empirique à l'aide d'entretiens avec les responsables des différents ministères, d'entretiens auprès des mineurs, et des organisations gouvernementales.

1.2. Utilisation et critique des bases de données pour un SIG-Minier

Le contrôle des erreurs sur les données à référence spatiale est absolument important pour obtenir une distribution correcte des paramètres sur le territoire (Dhieb M., 2012). En revanche, les informations géomatiques (issues de la télédétection, SIG,…) sont plus ou moins exactes (Samaali H., 2011). En effet, la précision géométrique et la précision thématique sont les deux composantes de la qualité spatiale des données les plus souvent étudiées. Cette qualité s'appauvrit à mesure que ces données et la réalité correspondante divergent, car la réalité est incorporée dans un type de format de données rigides où les propriétés des unités spatiales sont au mieux estimées. Dans ce cas, une évaluation des données, à l'aide d'une typologique orientée, peut améliorer la qualité des données en amont de travail. Cette amélioration est basée sur le découpage des trois domaines (spatial, temporel et thématique) en classes discrètes. Il est possible d'identifier quatre catégories élémentaires d'imperfections de la base de données à référence spatiale, qui sont:

- ✓ **L'incomplétude** : il s'agit de lacunes des données totales ou bien partielles, c'est-à-dire l'absence de la connaissance et/ou une connaissance lacunaire. Dans notre cas, il est obligatoire de demander l'aide des experts (CPG, MEHAT, CRDA…) pour réaliser une analyse spatiotemporelle ou une généralisation;
- ✓ **L'imprécision** : elle est due au caractère vague ou approximatif de la sémantique utilisée. Elle concerne des informations mal définies ; on leur associe des qualifications approximatives dans un intervalle bien défini. L'imprécision représente la qualité de la connaissance que nous avons d'un phénomène ;
- ✓ **L'incertitude** : elle est liée à la validité d'une connaissance. Elle résulte essentiellement d'une épreuve dont le résultat n'est pas reconnu a priori et pourrait être changé si on le refait. L'incertitude représente la variabilité intrinsèque d'un phénomène ;
- ✓ **L'ambiguïté :** elle survienne lorsqu'il y a un doute sur la manière de définir un objet ou un phénomène, c'est-à-dire quand un élément peut appartenir à plusieurs catégories disjointes ou d'échelles différentes, ou encore quand la description de l'élément peut donner lieu à plusieurs sens.

L'ambiguïté est une forme d'imperfection combinant à la fois de l'incertitude et de l'imprécision. Cependant, l'incertitude, l'imprécision et l'ambiguïté ne permettent pas de décrire toutes les formes d'imperfections (De Runz C., 2008). La figure 11 montre que l'incertitude de l'information spatiale peut être issue d'erreurs liées aux données en amont de travail (mesure, traitement des données), dans la phase de modélisation (analyse, classement ou regroupement des classes) et en aval du modèle conceptuel (affichage).

Dans notre travail, le contrôle des erreurs est réalisé en deux phases, avant et pendant la procédure d'interpolation. Nous trouvons des divergences significatives entre la réalité et sa représentation cartographique. Nous adoptons deux approches pour rectifier des bases de données : la première consiste à réduire l'imprécision et l'incertitude d'informations vérifiables : cette action peut être assimilée à une mise à jour de la base de données (infrastructures minières à ciel ouvert, extension urbaine, dégradation des ressources en sol…), la seconde consiste à exclure certaines données qui ne pouvaient pas être vérifiées ou recollées à la réalité (travaux d'aménagement, fiabilité des ouvrages de protection contre l'épandage minier, travaux de protection de l'environnement…).

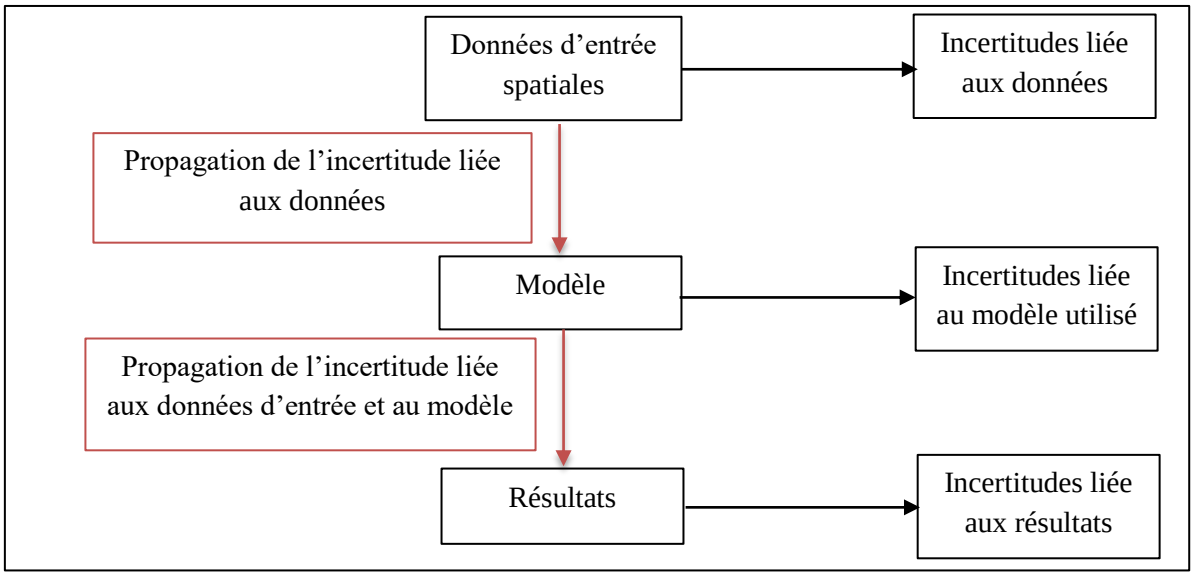


Figure 11 : Prise en compte de l'incertitude dans un processus de modélisation d'un phénomène (Source : Corgne S., 2004)

2. La télédétection : outil de détection des changements environnementaux

Le milieu steppique auquel appartient notre zone d'étude, peut se concevoir comme un paysage composé d'une mosaïque d'écosystèmes dont les limites correspondent, en première approximation, aux grandes unités géographiques formées essentiellement par des massifs montagneux, accumulation sableuse, dépression…. Nous avons utilisé les images à moyenne résolution spatiale MSS, TM et ETM+ de Landsat (figure 12) qui trouvent une place privilégiée comme outil d'observation de l'occupation de sol comme l'indique Bensaid A., (2006). Toutefois, l'augmentation de la résolution engendre une forte variabilité des mesures liées aux facteurs locaux et à l'hétérogénéité de l'objet géographique à référence spatiale (Andrefouët S.J. et al. 2002).

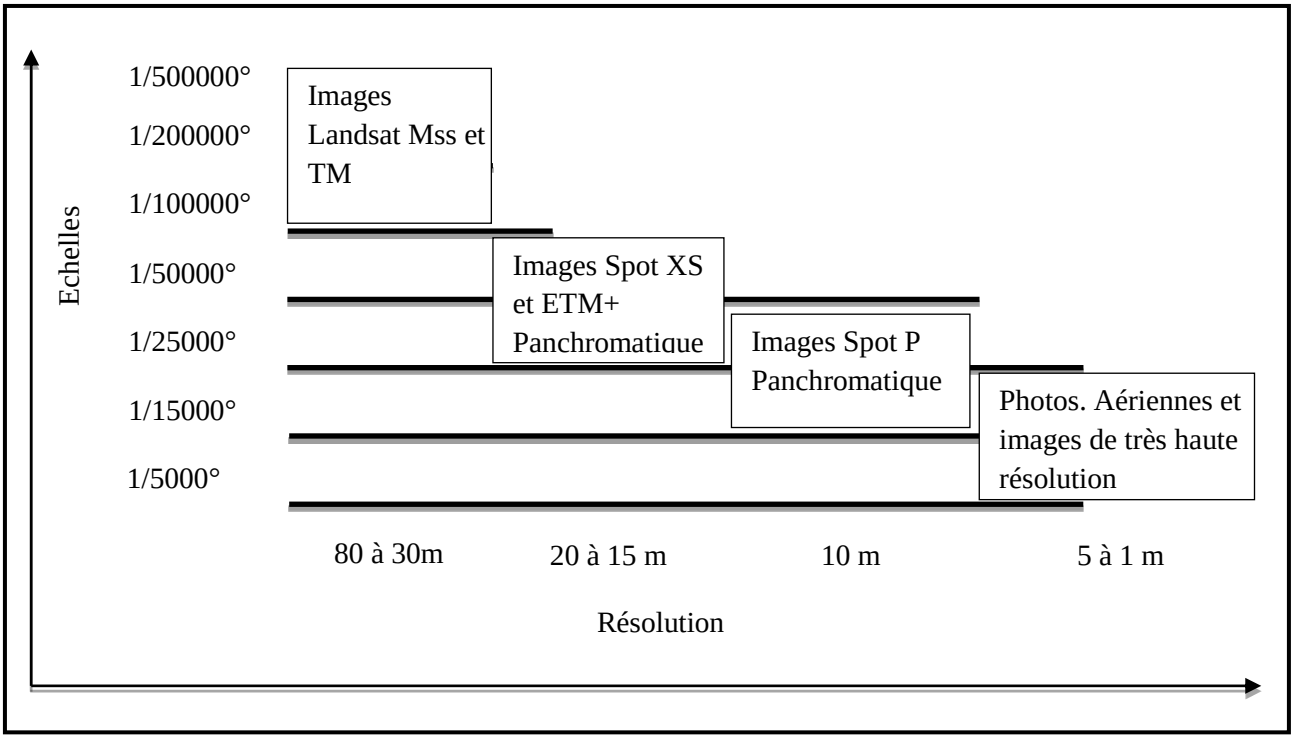


Figure 12: Résolution spatiale des images satellitaires et échelles de restitutions cartographiques (Bensaid A., 2006).

2.1. Choix de la méthode de détection des changements

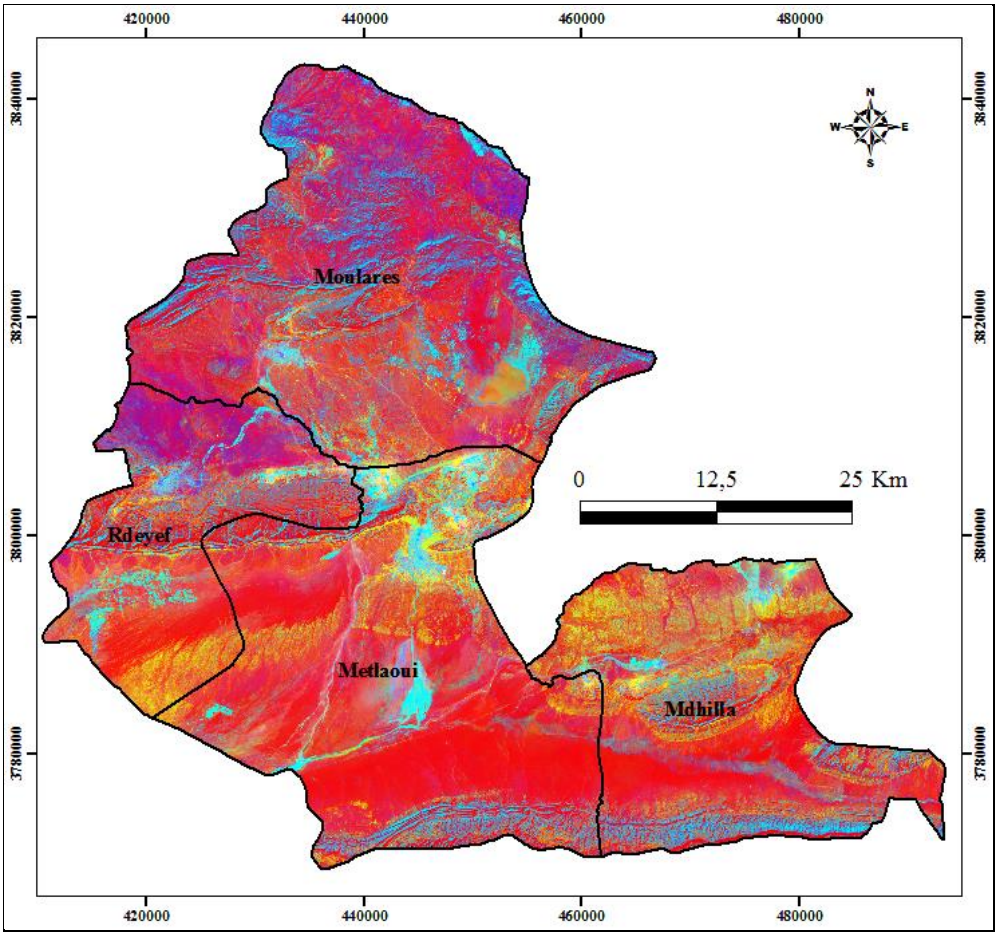
Le traitement des images satellitaires permet, d'une part, d'améliorer l'aspect visuel des objets présents et, d'autre part, d'extraire les informations de manière automatique ou semi-automatique (Samaali H., 2011). L'objectif est d'utiliser l'imagerie Landsat multi-date et multi-spectrale afin de faire ressortir l'évolution des exploitations minières à ciel ouvert, la dégradation de l'occupation de sol y compris la couverture végétale à l'aide de la méthode NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ainsi que la variation de sens d'écoulement des eaux dans le réseau hydrographique suite à l'intervention des compagnies minières.

Afin de détecter les changements à ciel ouvert, trois grandes catégories méthodologiques étaient envisageables : la photo-interprétation, l'analyse des comptes numériques des pixels (algèbre d'images, analyse statistique de compositions multi-dates) et la comparaison post-classificatoire (Lagabrielle E. et al. 2007). En outre, deux principales techniques sont envisageables ; comparaison pixel à pixel ou comparaison des classifications. La technique de détection des changements "pixel à pixel" s'est révélée très adaptée pour détecter tous les changements d'occupation du sol en raison de l'homogénéité des images et la diversité des modes d'occupation et d'utilisation des sols qu'elle affecte.

Tandis que les images Landsat se limitent dans l'étude les zones urbaines, l'homogénéité de certains espaces rend quasi impossible une approche spectrale. En effet, nous remarquons

(visuellement) une confusion entre l'espace bâti et les élévations limitrophes, celle-ci est le résultat d'une ressemblance dans les valeurs radiométriques des pixels de chaque thème. Les allures des signatures spectrales de l'espace bâti et la composition minérale des sols en général sont toujours très rapprochées en termes de réflectance.

Nous avons finalement mis en œuvre une procédure technique combinant la détection des changements par la méthode ACP[23] (Analyse en Composantes Principales) afin de comparer les classifications. L'approche générale de l'ACP (carte 4) consiste à définir, dans l'espace multi-spectral, de nouveaux canaux résumant l'information contenue dans l'image satellitale. Ce procédé vise donc à maximiser (statistiquement) la quantité d'information (ou variance) des données originales dans un nombre restreint de composantes et selon la résolution de l'image.



Carte 4 : BMG, Analyse en Composantes Principales (ACP) d'une image satellitale (04-03-2015), Salhi B., 2015

[23]L'Analyse en Composantes Principales (ACP) « est une transformation de l'image multi spectrale qui permet de supprimer la redondance de l'information entre ses composantes et de les ranger par ordre décroissant de variance » (Rabia MC., 1998). C'est une méthode linéaire qui permet de passer d'un système de coordonnées de l'espace spectral où les données sont corrélées entre elles à un nouveau système dans lequel elles sont indépendantes l'une de l'autre.

2.2. Variation de l'indice de végétation sous l'effet de l'exploitation minière

Une meilleure compréhension de l'évolution du couvert végétal est une préoccupation majeure pour les pays dont les écosystèmes subissent des dégradations sévères (Bouiadjra S.et al. 2011). Aussi, l'érosion des sols est un phénomène répandu dans les différents pays de la Méditerranée, et qui continue à prendre des proportions considérables en particulier sur les pentes à cause de la nature torrentielle des pluies, de la forte vulnérabilité des terrains, du surpâturage et de l'impact défavorable des activités humaines comme la désertification [24], la mauvaise conduite des travaux agricoles, l'urbanisme chaotique mais aussi de l'exploitation des carrières (Floret C. et al. 1986 ; Bou Kheir R. et al., 2001). En effet, l'extraction du phosphate, par exemple, nécessite l'enlèvement de couches superposées de "morts terrains" y compris la couverture végétale[25].

Diverses études se sont basées sur l'exploitation de l'imagerie satellitaire à basse-résolution pour quantifier les processus de désertification. Les indicateurs les plus fréquemment utilisés sont le suivi simple de l'évolution de la végétation au moyen de l'indice de végétation normalisé NDVI[26] (figure 13) ou de la combinaison de cet indice avec les précipitations sur des périodes de temps comme l'ouvrage de Hountondji Y.C., et al. (2004).

Notons que la végétation n'est perceptible sur une image satellitale que si elle couvre au moins 30 % de la surface du pixel. Lorsque le recouvrement végétal est inférieur à 30 %, ce sont les caractéristiques spectrales du sol qui prédominent. La précision de résultat crucial dépend de quatre principaux facteurs :

- La résolution au sol du pixel;
- Nombre et intervalle des bandes spectrales;
- Cycle d'enregistrement de données disponibles diurnes, nocturnes, multi-saisons;
- La superficie couverte par une seule image.

L'inconvénient des images satellitales c'est qu'elles ne fournissent que des informations sur les objets existants au moment de la saisie. Donc, à chaque date de prise de données correspondra une nomenclature dépendant des cycles naturels et des façons culturales (Bou

[24] Dans le BMG, les formations végétales steppiques sont caractérisées par un faible taux de couverture traduisant un état de dégradation très avancé du fait des conditions climato-édaphiques difficiles en relation avec les épisodes de sécheresse prolongées

[25] Plus l'excavation ne s'approfondit, plus le volume de stérile à extraire est important. En effet, les mines à ciel ouvert produisent en générale beaucoup plus de stérile (en moyenne de l'ordre de 10 fois plus) que les mines souterraines

[26] Le résultat d'un NDVI prend la forme d'une nouvelle image, la valeur de chaque pixel étant comprise entre 0 (sol nu) et 1 (couvert végétal maximal). C'est l'analyse de la palette de nuances s'étendant entre ces valeurs extrêmes (très peu fréquentes) qui renseigne l'observateur sur la densité du couvert végétal et la quantité de biomasse verte.

Kheir R. et al. 2001). Ajoutons la contrainte de la disponibilité des données thématiques, la résolution spatiale des images satellitaires et la limite méthodologique (dimension spatiale) (Bensaid A., 2006). Pour augmenter les contrastes numériques entre les pixels d'une même classe, nous procédons au calcul d'une (ACP) et le Tasseld-Cap (TC[27]) au sein des pixels de cette classe. Après rehaussement des contrastes radiométriques par l'ACP, leur comportement spectral est différencié.

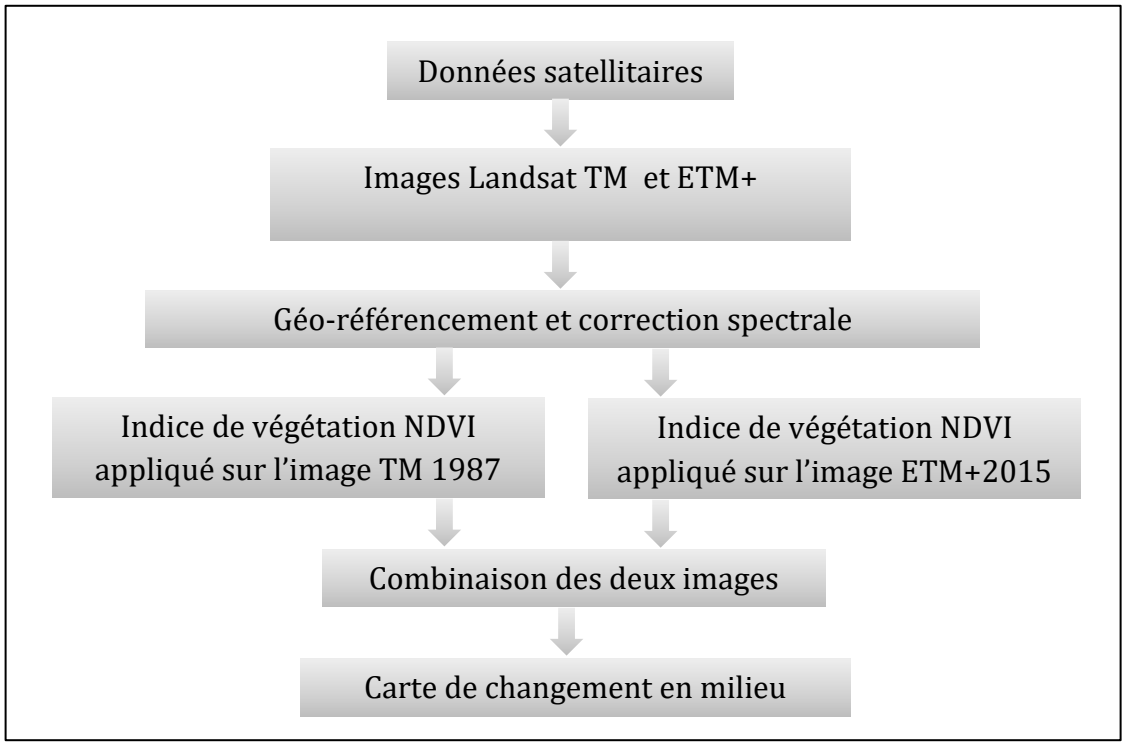


Figure 13 : Méthodologie de calcul de l'indice de la végétation NDVI
(Source : Hountondji Y.C. et al., 2004)

Dans le gouvernorat de Gafsa, les outils SIG mis en place sont peu opérationnels car ils ne disposent pas toujours de stratégies et de moyens d'archivages des données. Lorsque les décideurs et techniciens ont accès aux données géo-localisées, ces dernières se caractérisent essentiellement par leur diversité, leur inachèvement, leur incertitude et leur imprécision, ce qui ne facilite pas la prise de décisions (Salhi B., 2011). Le suivi d'un phénomène géographique à l'aide des outils SIG nécessite d'introduire une dimension spatio-temporelle dans l'observation. Ce suivi soulève le problème de la gestion du temps dans ces outils. Le croisement des données multi-sources constitue un volet indispensable pour le suivi et la détection des changements spatiaux et un document de synthèse.

[27] Tasseled Cap est l'indice de végétation ajusté au sol, il basé sur la luminosité, la verdure, et de l'humidité.

Après avoir présenté les avantages et limites de notre approche géomatique dans les études spatiaux-temporelles, le chapitre suivant s'intéresse à décrire les spécifités de BMG dans le contexte maghrébin, national puis local.

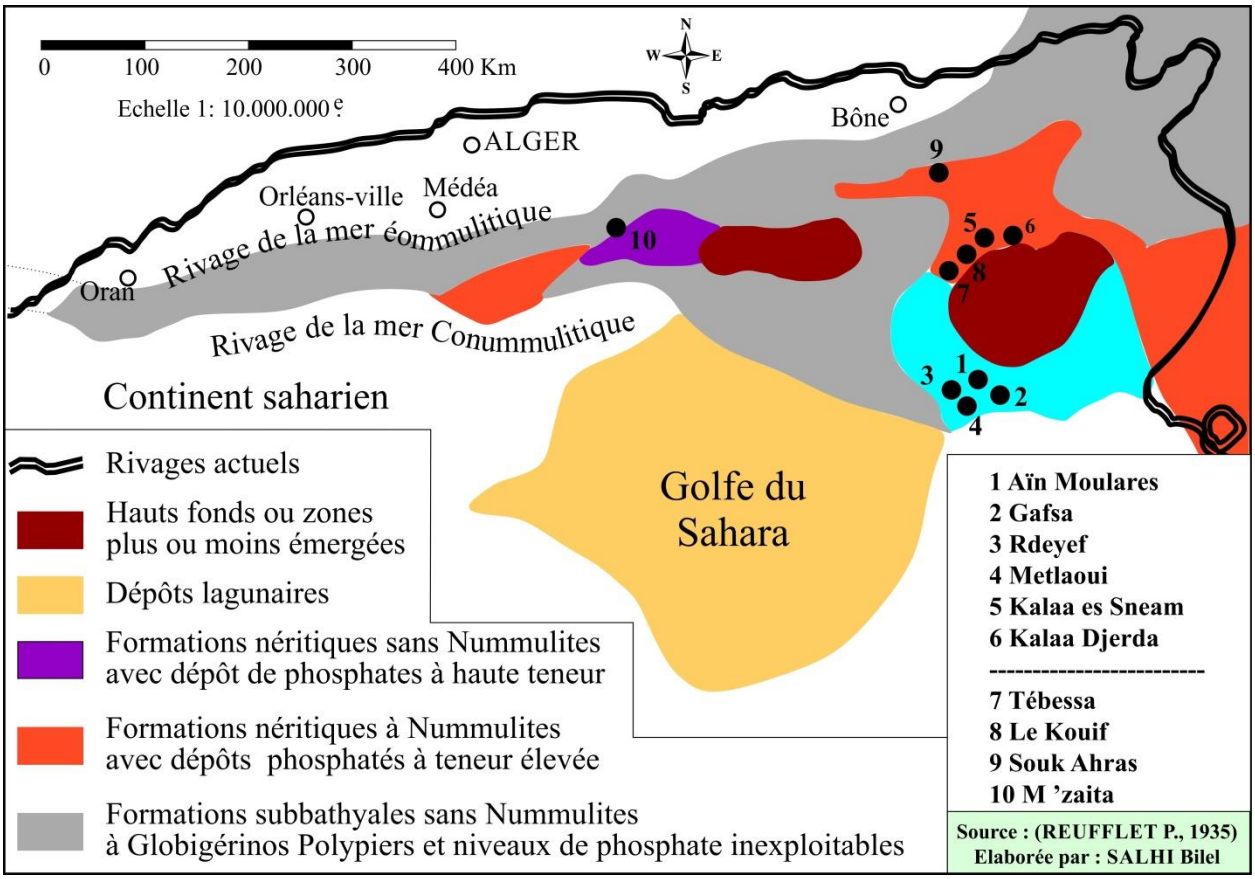
Chapitre III. Spécifité de la région minière de Gafsa

Les gisements naturels des roches phosphatées (Phosphate Rocks) localisés au nord de l'Afrique sont reliés aux chaines des montagnes de ces pays producteurs des phosphates : le Maroc, la Tunisie, l'Algérie et l'Afrique Subsaharienne (Zargouni F., 1985). Les élévations du BMG, constituent le point de départ de ces étendues chaines traversant l'Algérie et l'Afrique Subsaharienne, pour s'installer enfin face à l'océan Atlantique au Maroc. Ces ressources minières n'ont guère été révélées et n'ont pas été exploitées avant la période de la colonisation française. L'exploitation des phosphates débuta un peu plus tôt en Algérie qu'en Tunisie puis au Maroc. Elle a commencée dans l'est Constantinois (nord-est d'Algérie), au Djebel Dry en 1893 et au Kouif l'année suivante. En Tunisie l'ouverture s'est réalisée en 1899 ; de la voie ferrée de Sfax à Métlaoui qui a permis l'expédition des phosphates connus depuis 1885. Au Maroc les phosphates de Khouribga, repérés avant 1914, sont mis en exploitation en 1921, ceux de Youssfia, en 1932.

1. Histoire de la découverte de phosphate en Tunisie

Les gisements tunisiens de phosphate sont tout à fait analogues à ceux de l'Algérie et du Maroc en termes d'âge, de mode de formation, de faciès, de fossiles, et c'est ce qui a précisément permis à un simple cantinier de Gafsa, installé à El Bourj (région de Mdhilla), de les reconnaître aux dents de Requin que l'on y trouve souvent en grand nombre (Moret L., 1930). De même, en Algérie, le gisement du Djebel Onk (région de Tabassa), ainsi qu'un autre gisement, celui du bled el Hadba dans la même région appartient à la même bande de la région de Gafsa (carte 5).

Les ressources de phosphates qui se présentent en forme de bande et se prolongent vers l'Est jusqu'à 100 kilomètres environ de Sfax où elles disparaissent sous les formations géologiques plus récentes du Sahel. Il est possible que les phosphates exploitables existent en profondeur dans la région de Sfax, même s'il n'y a pas d'indications à ce sujet (Reufflet P., 1935). En bordure du golfe de Gabès et en Tripolitaine, l'Eocène n'existe pas.



Carte 5 : Accumulation de la série phosphaté Algéro-Tunisienne

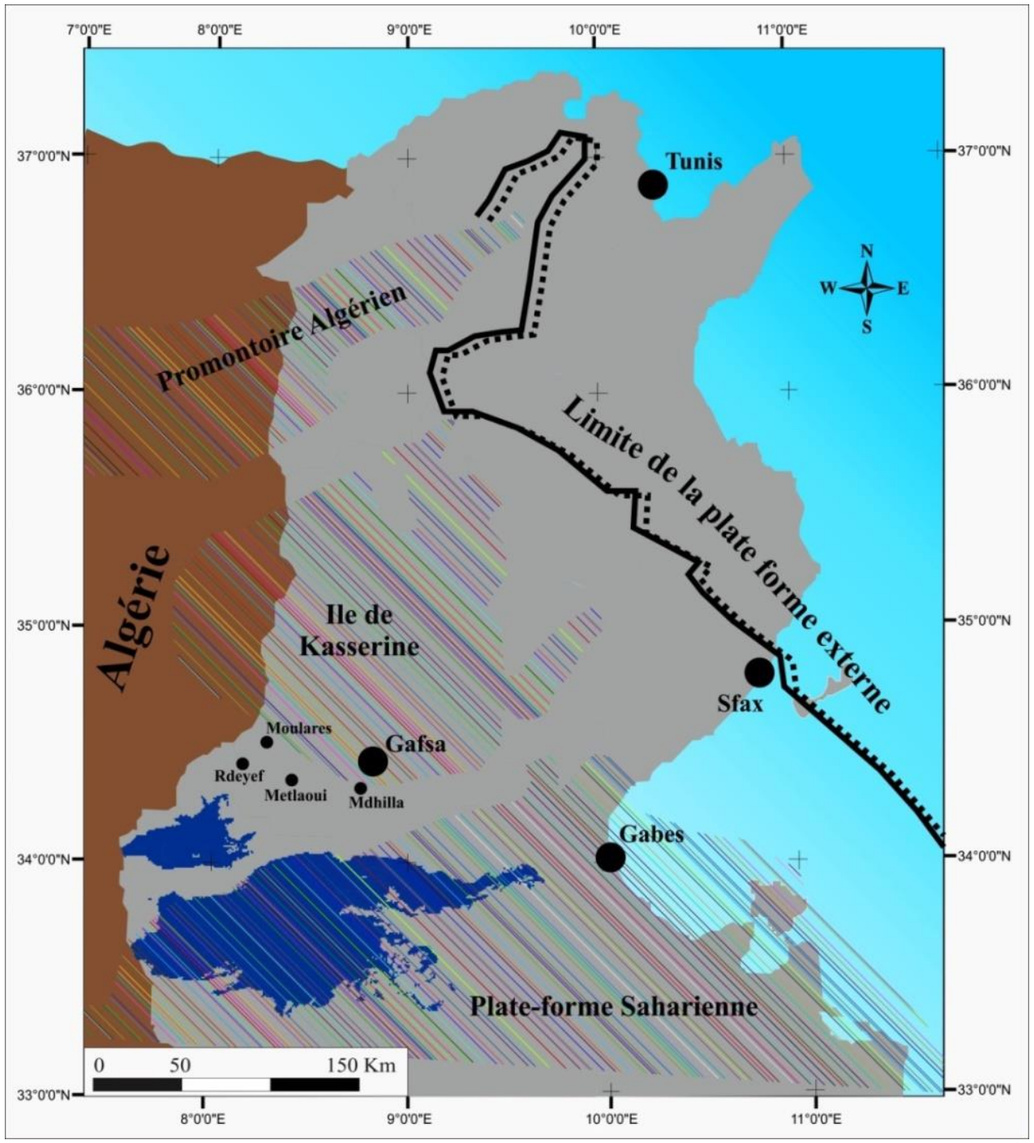
(Source : Reufflet P., 1935)

1.1. La formation tunisienne de phosphate ; les phosphorites d'origine marine

En Tunisie, les premières manifestations phosphatées datent de l'âge Sénonien supérieur. Cependant, les accumulations économiquement les plus intéressantes sont d'âge Paléocène-Eocène. Ces dépôts sont accumulés aux confins de bassins situés autour d'un paléo-relief baptisé "île de Kasserine" (Belayouni, H., 1983 ; Sassi B, 1984). L'île de Kasserine, d'âge Crétacé supérieur, formait une zone émergée au Paléocène-Eocène. Elle est bordée par trois petits bassins phosphatés qui sont: Sra-Ouartan, au Nord, Maknassy-Mezzouna, à l'Est et le bassin Gafsa-Métlaoui-Onk à l'ouest (carte 6). Ces dépôts phosphatés se sont accumulés sous forme de couches métriques à hémi-métriques séparées les unes des autres par des niveaux intercalaires stériles ; le tout formant la série phosphatée dont les composants sont en nombre et puissance variables, selon les bassins.

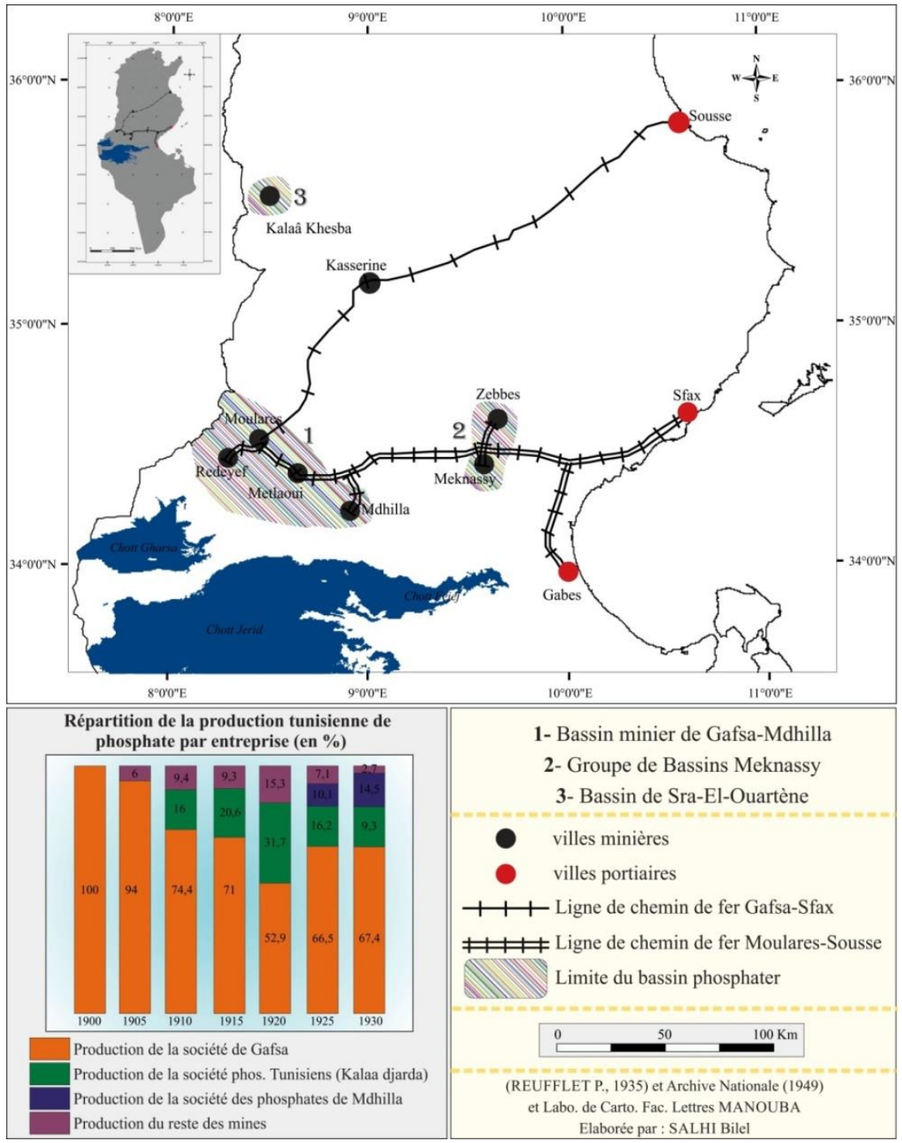
Du nord au sud, nous dénombrons trois bassins phosphatés de la Tunisie (carte 7) :

- **A l'Est** : le groupe de bassin de Méhari Zebbeus près de Maknassy ;
- **Au Centre Ouest** : la mine de Sra-Ouartan localisée à Kelàa Khesba ;
- **Au Sud-Ouest** : ou la Tunisie méridionale ou le bassin de Gafsa-Tozeur.



Carte 6 : Paléogéographe du bassin tunisien à l'Eocène inférieur

(Source : Sassi B., 1984)



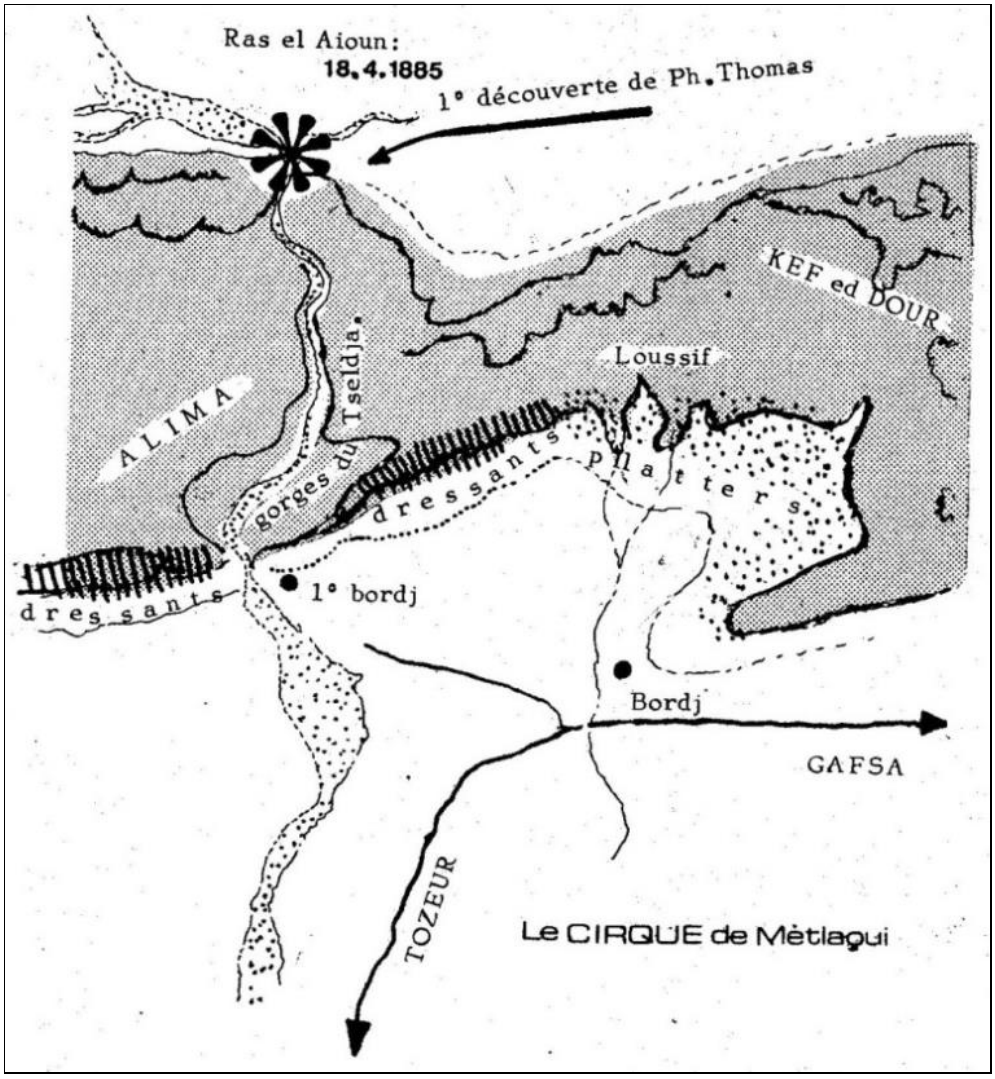
Carte 7: Les bassins phosphatés de la Tunisie entre 1900 et 1930

(Source : Reufflet P., (1935) et Archives Nationales (1949))

1.2. Le bassin phosphaté de Gafsa, découverte et genèse

1.2.1. Découverte du phosphate

Le 12 mai 1881, était signé le traité du Bardo consacrant l'instauration du protectorat français sur la Tunisie. Sans attendre la signature de la convention de la Marsa, le 8 juin 1883, l'instruction Française, met sur pied une mission d'exploration scientifique en Tunisie. Vinrent le Protectorat (1881) et les prospections de matières premières dans la Régence : envoyé en mission, Philippe Thomas (1883-1910), vétérinaire principal de l'armée, assura pour la région du sud la partie géologique de cette mission. Il découvrit entre 1885 et 1887 les gisements de phosphate dont la première découverte fut à l'ouest de Gafsa dans les gorges de Thelja (région de Métlaoui), les gisements de phosphates à partir desquels le destin de la région sera "bouleversé" (carte 8).

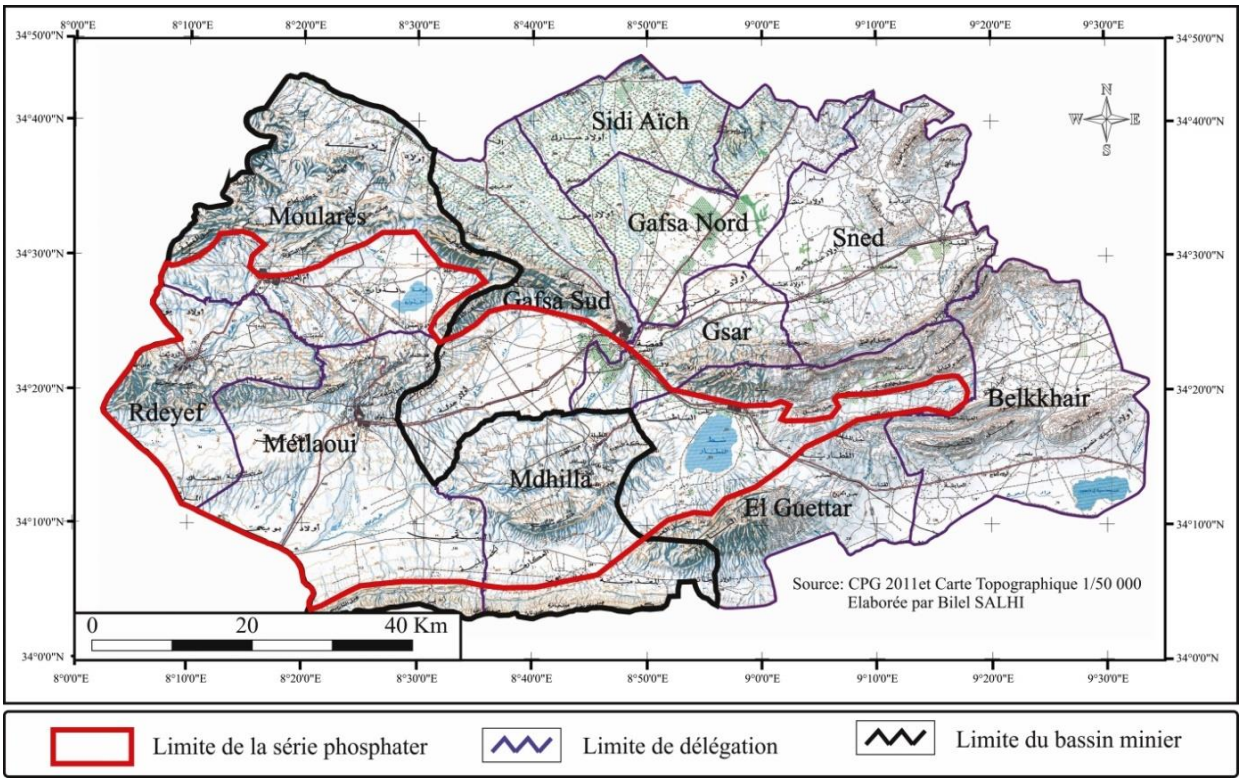


Carte 8 : Djebel Thelja, localisation de premier site d'extraction de phosphate (Source : Groupe Huit, 1970)

La convention de la concession est signée le 8 Aout 1896 ; la "Compagnie des Phosphates et de Chemin de Fer de Gafsa (CPCFG)" est constituée l'année suivante (Avril 1897). La construction de Métlaoui commença immédiatement parallèlement à celle de la voie ferrée : l'extraction débuta ; le séchage et le stockage se firent sur un terrain accidenté. Vers 1898, les travaux étaient avancés : la voie ferrée arrive à Métlaoui le 24 décembre 1898, le raccordement de la gare à la mine exécuté par le service des exploitations lui-même fût terminé en Avril 1899 ; la première expédition de phosphate vers Sfax fût effectuée le 19 Avril 1899. Quelques années plus tard (1913) une autre société, la Compagnie du Djebel Mdhilla, est créée pour exploiter le nouveau gisement de Mdhilla.

1.2.2. Origine géologique de phosphate

- **Hypothèse de découverte :** les services géographiques et géologiques de l'armée française ont cartographié la région sud de la Tunisie. Ils notent une région au-dessous du niveau de la mer, d'où l'idée d'une mer intérieure reliée à la Méditerranée durant les anciennes ères géologiques. Après le retrait de la mer, au cours du Mio-Pliocène on a une sédimentation fluviolacustre de l'ordre de plusieurs centaines de mètres ; elle peut atteindre un millier de mètres aux abords de la faille de Gafsa.
- **Origine et genèse :** l'origine géologique du phosphate de Gafsa remonte à environ 50 millions d'années. Leur formation s'est faite sur des dépôts sédimentaires formés en milieu marin peu profond. Issu de phosphorites marines primaires, le phosphate de Gafsa se caractérise par une structure micro-cristalline, une texture sablonneuse tendre et une porosité interne (Chantre B., 1909 ; Thomas P., 1950). La série phosphatée de Gafsa est caractérisée par des séries condensées et des lacunes importantes en phosphate, ces séries sont définitivement émergées à la fin du crétacé. En outre, la constitution minéralogique du phosphate du bassin de Gafsa est hétérogène avec des variations quantitatives selon les gisements et même les couches dans un même gisement selon Ben Hassen A., et al. (2010).
- **Limites et étendue :** le Bassin Phosphaté de Gafsa couvre environ 5000 à 6000 Km^2 (Slansky, 1980 ; CPG, service géologique 2014). Il s'étend depuis la région de Bir Saâd, au nord de Belkhir, en passant par Djebel Onk, Djebel Chemsi, à l'est et au sud d'El Guettar, jusqu'à Midès et Oued Sebseb, respectivement, au nord et à l'ouest de Tamaghza (carte 9). Au sud, il est limité par la chaîne montagneuse du nord des chotts. Les affleurements de phosphorites sont reconnus aux contrebas nord des reliefs d'El Atra et de Berda, au sud du Djebel Séhib.



Carte 9: Limite de la série phosphater de Gafsa

(Source : CPG, 2014)

Les accumulations phosphatées les plus importantes de la Tunisie s'étendent dans et aux alentours du BMG. Celles d'âge Paléocène-Eocène sont les plus rentables dans la région. L'exploitation débuta aussitôt avec l'installation de la voie ferrée vers Sfax puis l'installation des infrastructures minières dans la région. Entre temps, le gouvernorat de Gafsa subit des mutations spatiales très importantes qui influent largement sur le BMG.

2. Variation spatiale du gouvernorat de Gafsa

Le terme générique d'espace se rapporte simplement à l'étendue sur laquelle se déploient des phénomènes à référence géographique. L'espace est découpé en diverses unités spatiales dont le nombre et la forme varient selon le type de spatialisation retenu. L'espace géographique n'est pas l'étendue seulement ; c'est la société, la plate-forme, les réseaux, les espacements et les interrelations entre les lieux qui constituent sa structure.

La région est une entité homogène, individualisée par certains caractères marquants en commun, souvent d'ordre naturel ou culturel, qui la distingue suffisamment des autres régions : relief, climat, ressources, histoire, ethnies, langue, culture, activités, mentalité, (Belhedi A., 2013)…L'entité d'une région en Tunisie n'existe pas dans la fiction tunisienne que si elle devient le gouvernorat dans la plupart des cas. Cette grande confusion était probablement

intentionnelle entre la région, le gouvernorat et même le niveau local (délégation) et c'est le cas pour notre étude ; entre le BMG, la région minière de Gafsa et le gouvernorat de Gafsa.

De ce fait, la notion de multi-échelles doit être adoptée dans l'étude de notre espace géographique conjointement à des niveaux d'observation différents (figure 14). Il s'agit de déduire de la même base de données, d'autres bases de données avec des niveaux de détails plus ou moins importants et comportant moins d'informations à référence spatiale. Nous citons par exemple le passage de l'échelle d'une délégation, à celle passant d'une ville, puis à l'échelle des cités.

La démarche	**Multi-échelles**	**Multi-représentations**	**Multi-niveaux**
Evolution de la conceptualisation (dans le temps)	L'échelle en cartographie	De l'échelle aux niveaux de détails dans la représentation	Des niveaux de détails aux observations multi-niveaux
	de l'échelle à la représentation	de la représentation à la modélisation	de la modélisation à l'analyse
Fonctionnalités SIG concernées	**Affichage**	**Abstraction**	**Analyse**

Figure 14 : Principe de cartographie multi-échelle

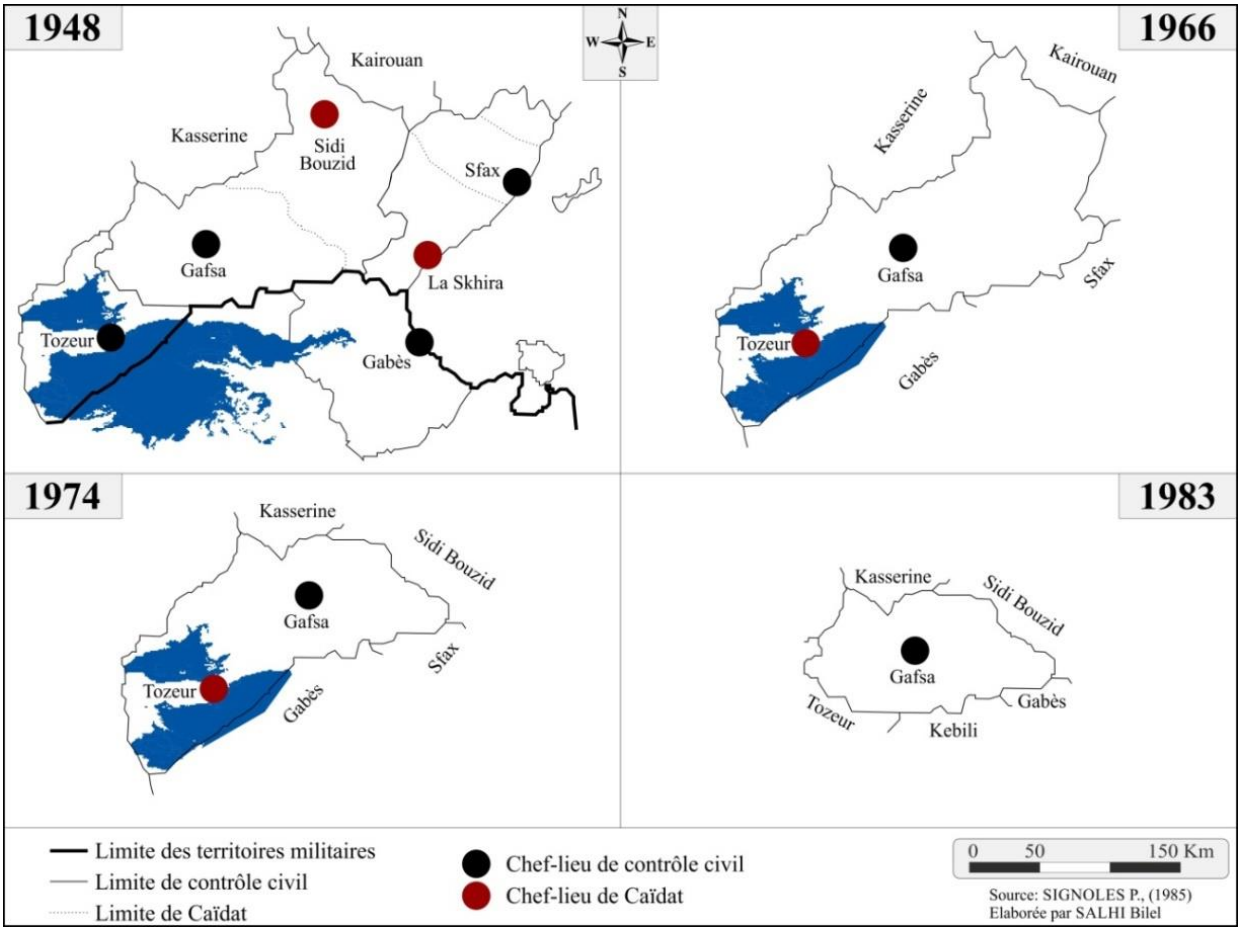
(Source : Bordin P., 2006)

La notion de limite passe toujours par la présence d'un seuil (*limen*) dans le sens de rupture dans la continuité d'un phénomène qui marque, à la fois, un changement qualitatif et quantitatif (Belhedi A., 2013b). Cette limite pose un problème de représentation cartographique précise Dhieb M., (2012) dans la mesure où elle n'est pas souvent une ligne claire qui s'inscrit dans l'espace. Donc, il nous semble intéressant d'étudier la variation des limites de la région Gafsa puis focaliser les recherches sur le BMG.

2.1. Gafsa : un gouvernorat aux limites fluctuantes

Historiquement, les limites territoriales du gouvernorat de Gafsa ont connu des fluctuations importantes (carte 10). Dans les années 1980, après l'affaire de Gafsa, à la suite d'évènements frontaliers Algéro-Libyenne, l'Etat a créé trois nouveaux gouvernorats dans le Sud : Tozeur, Kébili, et Tataouine qui sont, en fait, des zones frontalières détachées de leurs anciens gouvernorats ; respectivement Gafsa, Gabès et Médenine. Puis, en 1974, est créé Sidi Bouzid, un gouvernorat d'ex-nihilo comme un petit centre de contrôle militaire et de petit

relais économique attaché aux grands centres de gestion des domaines phosphatier (Gafsa) et portuaire (Sfax et Gabès).



Carte 10: Le gouvernorat de Gafsa : fluctuations des limites administratives

(Source : Signoles P., 1985)

2.2. Le Bassin Minier de Gafsa, espace de différenciation

Dans le gouvernorat de Gafsa, trois espaces majeurs peuvent être différenciés ; la partie ouest du gouvernorat comportant le BMG, la partie Est qui est essentiellement agricole et entre les deux espaces, s'intercalent le chef-lieu du gouvernorat qui se dote d'un rôle de fédérateur et de services. Le BMG est sans équivoque un territoire différencié du reste du gouvernorat et même de l'ensemble de la région du sud-ouest. Il a été structuré en rapport étroit avec les ressources physiques, naturelles et sectorielles. Le BMG est un espace à vocation industrielle par excellence, minière et chimique dont la CPG et le GCT sont les principaux monopoles industrialo-économiques dans la région.

2.3. Le Bassin Minier de Gafsa et la variation de la toponymie

Comme les limites du gouvernorat de Gafsa sont fluctuantes, la toponymie est aussi inconstante. Selon le dictionnaire Larousse, la toponymie (du grec tópos) fait «partie de l'onomastique qui étudie les noms de lieux, leur origine, leurs rapports avec la langue parlée actuellement ou avec des langues disparues», mais aussi les contextes et motivations de leur détermination et leur impact sur les sociétés. En revanche, la toponymie n'est pas une science exacte. Elle n'est pas une étude historique ou géographique mais elle peut servir ces matières. L'étude de Dhieb M., (2009)[28] montre que la transcription toponymique des noms de lieux géographiques sur un Atlas ou un autre document cartographique pose problème notamment dans des pays où il n'y a pas de tradition ou de "politique toponymique". Les noms des "villes tunisiennes" portent indéniablement des origines berbères ou romaines ; Gafsa (Capsa, fondée par les Romains au IIe siècle avant J-C.), Sfax (Syphax ou Sfakes Thaphura), Tunis (ex-Tunez) (Tounis), Nabeul (Neapolis), Tabarka (Tbarka ou Thrabaka, comptoir phénicien), Zaghouan (Zaghwène) et Tozeur (Thuzuros ou Tifurus).

Au septième siècle, plusieurs lieux existants ont vu leur nom se transformer pour subir les contraintes de la langue arabe : Capsa devient Gafsa. Ensuite, la colonisation française a créé de nouvelles localités portant des noms français ou a changé certains noms existants notamment en milieu urbain en noms à obédience bien française.

En somme, le tableau 1, transcrit les noms tels que prononcés localement, même si dans certains cas le résultat semble éloigné de l'original. Certains toponymes tunisiens comportent naturellement des articles au début comme El en arabe parlé (Al en arabe littéral) (Dhieb M., 2009) précédent Métlaoui, quelquefois appelé El Métlaoui. C'est une dérivation de l'arabe littéral qui a été la plupart du temps transformée en Le (ou La). Les indications d'orientation accompagnant certains noms comme Nord, Sud, Est et Ouest ont été tout simplement changés par l'équivalent en arabe : exemple Gafsa El Janoubia[29]…

Pour faciliter la tâche au lecteur de ce manuscrit, nous avons employé les noms après leur modification par ce qu'ils sont utilisés dans diverses données municipales et administratives (PAU, INS, CRDA[30]…) bien qu'il existe parfois une certaine dissemblance.

---

[28] http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2009/html/nonref/12_6.pdf
[29] El Janoubia = du Sud
[30] INS : Institut National de la Statistique
CRDA : Commissariats Régionaux au Développement Agricole

Tableau 1 : Gouvernorat de Gafsa ; les toponymes originaires et leur modification
(Source : Dhieb M., (2009), modifié par Salhi B., 2015)

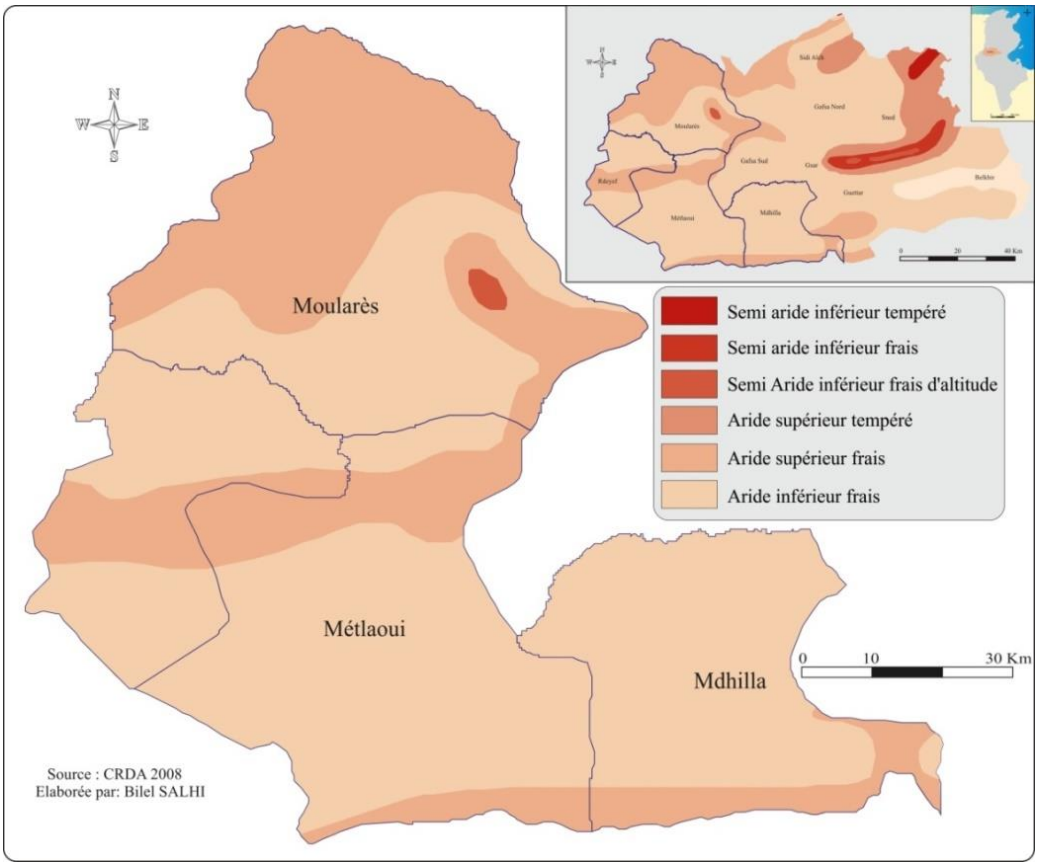
Toponymes originaire	Après modification	Traduction en arabe
El Métlaoui	Métlaoui	المتلوي
Er Rdayyef	Rdeyef	الرديف
Oum El Araïs	Moularès	ام العرائس
El Mdhilla	Mdhilla	المظيلة
Gafsa El Janoubia	Gafsa Sud	قفصة الجنوبية
El Gsar	El Gsar	القصر
Gafsa Ech Chamalia	Gafsa Nord	قفصة الشمالية
Sidi Ïch	Sidi Aîch	سيدي عيش
Belkhir	Belkhir	بلخير
Es Snad	Sened	السند
El Gtar	Guettar	القطار

3. Le contexte climatique et géo-stratigraphique

Le gouvernorat de Gafsa se situe dans le secteur sud de l'Atlas saharien, entre les Hautes Steppes et le Sahara. Il dispose d'une station principale située dans la ville de Gafsa qui relève tous les paramètres météorologiques (température, pluviométrie, humidité, dynamique éolienne…), et d'autres secondaires localisés dans quelques autres délégations. Ces stations ne relèvent que quelques paramètres avec une certaine interrompons de suivi. Par conséquent, l'étude climatique du BMG est en fonction de la disponibilité de ces données.

3.1. Le cadre climatique

Le BMG est soumis à un climat à une nuance aride supérieur à hiver frais et une amplitude thermique très forte selon l'indice bioclimatique de L. Emberger (Henia L., 1993). Toutefois, ce climat, qui est la conséquence d'un bilan hydrique déficitaire, assure la transition avec le climat saharien. Généralement, cette aridité est la conséquence d'un bilan hydrique déficitaire. En revanche, le bassin de Douara-Tebedditt (20 km à l'est de la ville de Moularès) bénéficie de précipitations un peu plus abondantes soit 174mm, d'étés un peu moins chauds (carte 11); les températures d'hiver sont également plus faibles.



Carte 11 : Etage bioclimatique de la région minière de Gafsa

(Source : CRDA, 2008)

3.1.1. La pluviométrie

Les moyennes sont relativement faibles : 154 mm/an à Gafsa, 131 à Moularès et 108 à Métlaoui. Ces précipitations sont caractérisées par une répartition irrégulière d'une année à une autre et un faible module pluviométrique. Les pluies sont parfois torrentielles, orageuses et peuvent survenir sous forme d'averses très violentes et concentrées dans le temps[31].

L'année se subdivise en deux saisons (figure 15), une saison relativement pluvieuse qui s'étend du mois de septembre jusqu'au mois de mai. En effet, après la sécheresse estivale, les pluies réapparaissent subitement en octobre, enregistrant une moyenne de 16 mm pour les deux stations, et atteignent leur maximum en Janvier avec une moyenne de 17mm. Dès le mois de mai les pluies diminuent progressivement jusqu'à atteindre en Juillet, le mois le plus sec de l'année, leur minimum (1,7 mm en moyenne). Les variabilités spatiales sont marquées par un gradient pluviométrique décroissant du nord vers le sud. L'intensité orageuse de la pluviométrie donne naissance à des ruissellements rapides générateurs d'érosions et à des

[31]Des pluies torrentielles se sont abattues au septembre 2009 sur le gouvernorat de Gafsa, occasionnant des fortes inondations notamment à Rdeyef.

crues dévastatrices pour les infrastructures sans être utile ni pour l'agriculture par sa rareté ni pour l'alimentation de la nappe par sa rapidité.

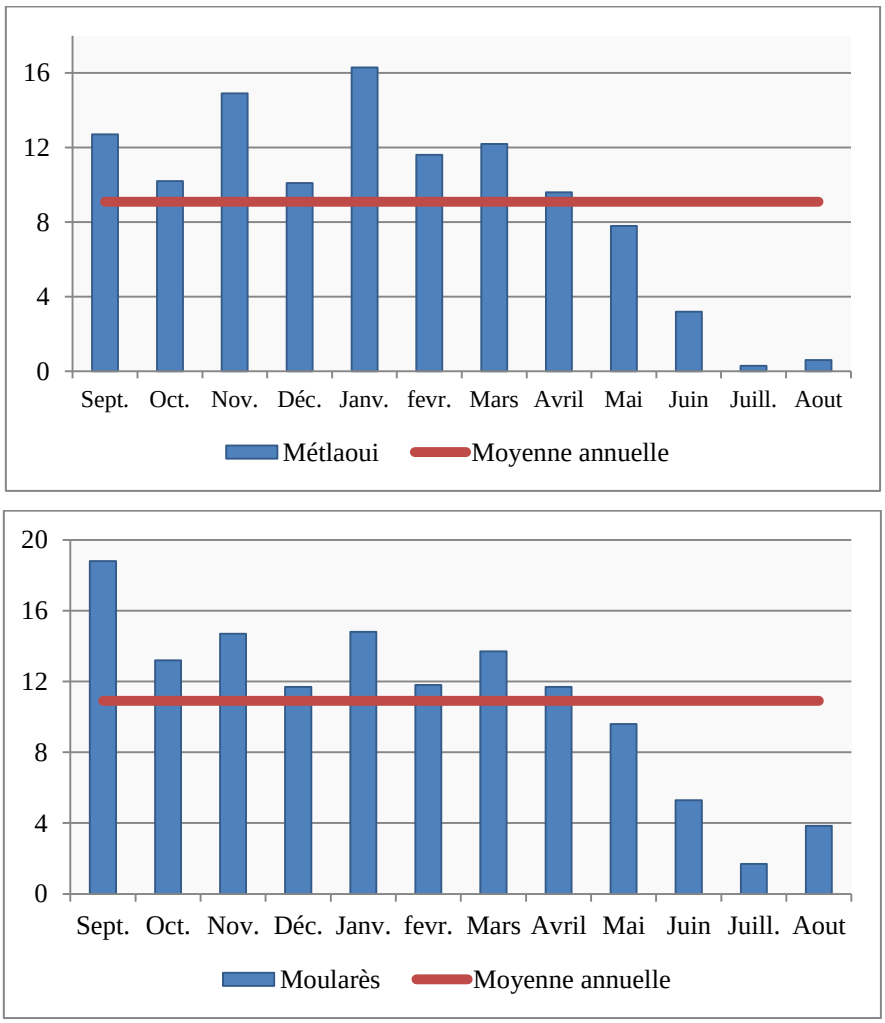


Figure 15 : Pluviométrie annuelle moyenne dans la région minière de Gafsa (1981-2015) (Source : SM-Gafsa)

3.1.2. La température

Le régime thermique de la région minière est marqué par l'alternance de deux saisons différentes. L'hiver a une température moyenne de 12,5°C et s'étend pratiquement du mois de Novembre jusqu'au mois de Mars. Décembre et Janvier sont les mois les plus froids de l'année, pour respectivement une moyenne de 11,1°C et 9,8°C ce qui correspond à un sous-étage à hiver chaud. Fortement contrasté par rapport à l'hiver (4,2°C), l'été est caractérisé par ses fortes chaleurs, la température moyenne estivale s'élève à 28,5°C. Le mois de Juillet, le plus chaud, présente une température maximale de l'ordre de 46°C. Quant au nombre d'heures d'ensoleillement annuel, il est de l'ordre de 8,9 h/j, favorisant l'évaporation. Les

données de pluviométrie et de température montrent une très bonne corrélation contradictoire et se comportent à des stations de région méditerranéenne aride (figure 16).

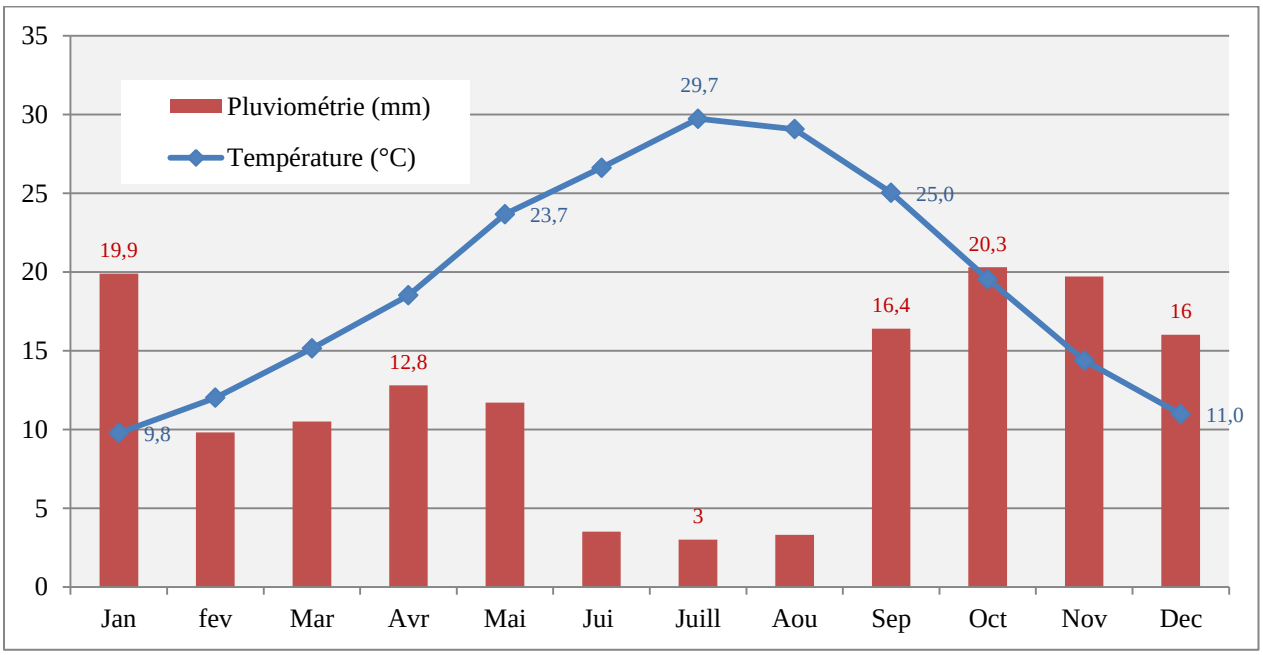


Figure 16 : Diagramme ombro-thermique (1981-2015) (Source : SM-Gafsa)

3.1.3. Le vent

Le BMG est classé parmi les zones ventées en Tunisie (vents forts et désastreux : poussières, vent de sable surtout dans la période automnale…). Les formes du relief avec les chaînes de montagnes et les plaines jouent un rôle déterminant dans la canalisation des vents (les vents d'origine orographique). En effet, en hiver, les vents dominants ont une orientation nord-est et nord-ouest qui sont les générateurs de pluies. En été, ils sont d'orientation sud-ouest (240° dans la rose du vent) apparent et des vents de sable (figure 17). Les principaux couloirs éoliens se situent à deux niveaux : le premier couvre la région de Sègui-Mdhilla et principalement dans son secteur ouest dans la zone de confluence des Oueds Thelja et Bayech. Le deuxième s'étend jusqu'à la région du Guettar.

D'autre part, la région de Gafsa est largement ouverte aux influences sahariennes, subit fréquemment le souffle du «Siroco» (localement nommé *Chehili*), du côté du sud-ouest avec une vitesse supérieure à 6 m/sec. Il s'agit d'un vent chaud et très sec soufflant du sud-ouest, pouvant entraîner une élévation notable de la température ressentie jusqu'à des valeurs dépassant largement 40°C avec une moyenne de 19 à 30 jours par an. Généralement les vents n'influent pas sur les travaux d'extraction et de traitement des phosphates, par contre ils sont les principales sources de transport des matières en suspension dans l'air et de poussières

(aérosols) de phosphates et des déchets fins. Ces derniers forment une sorte de pollution atmosphérique gênante pour les populations locales.

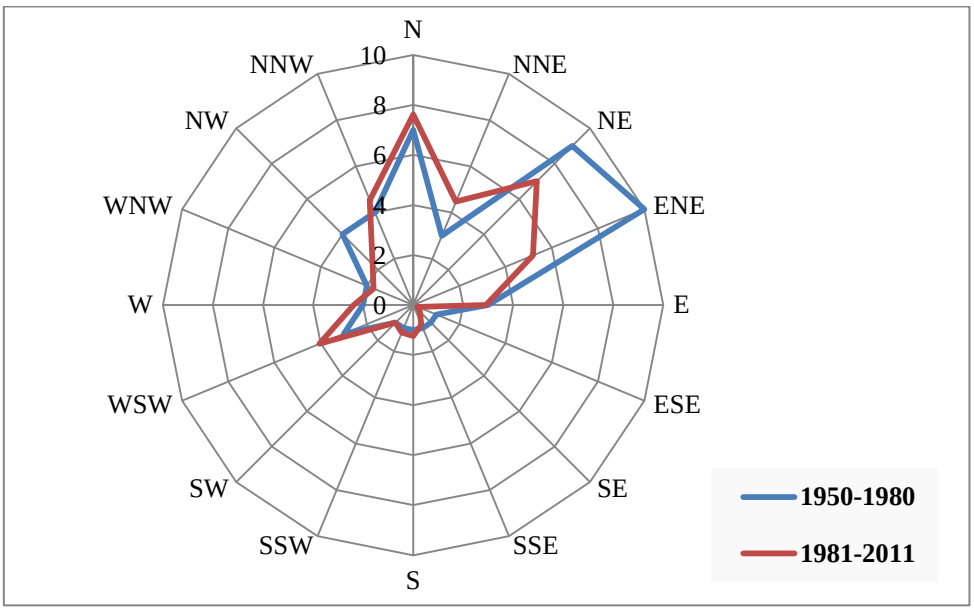


Figure 17 : Rose des vents annuels pour la période (1950-1980) et (1981-2011)
(Source : SM-Gafsa)

3.2. Le cadre géo-stratigraphique

La région minière de Gafsa est marquée par un paysage bien spécifique, il s'agit d'un ensemble d'élévations effilées, organisées en chaînons et séparées par des plaines rarement disposées en cuvette ou en couloir. Contrairement aux élévations, ces plaines sont le plus souvent très larges. Du point de vue altimétrique, la plupart des élévations présentent des sommets qui oscillent entre 600 m et 900 m.

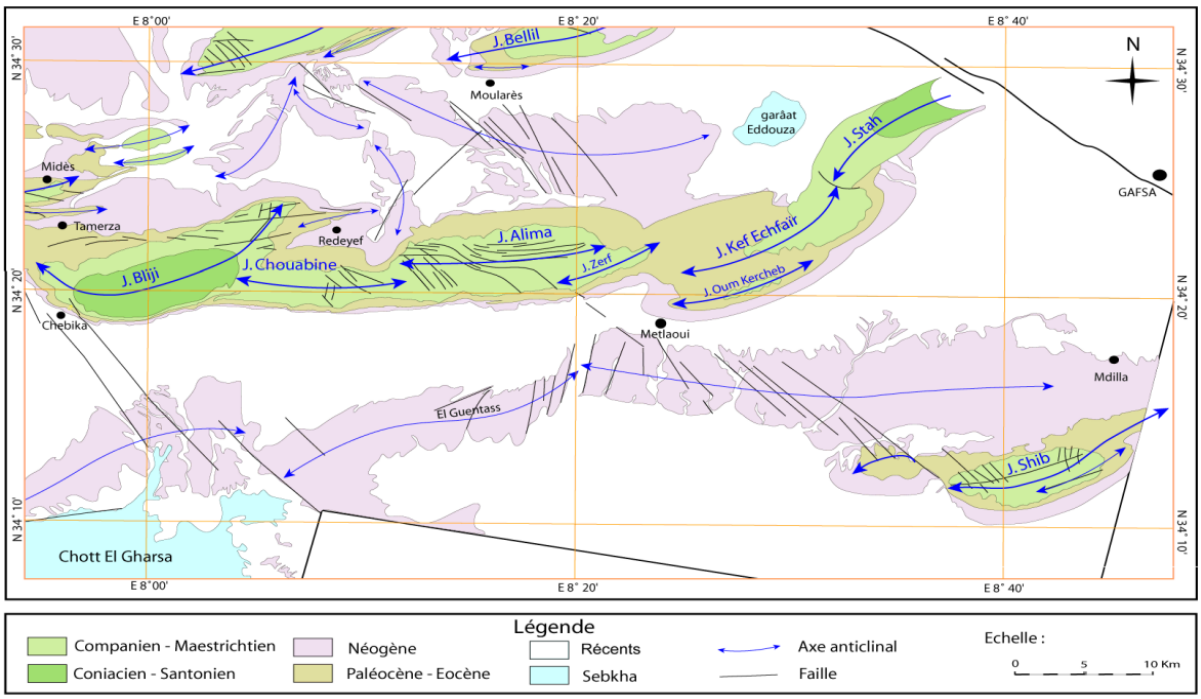
3.2.1. Les chaînes de la région minière de Gafsa

Le système montagneux du sud-ouest tunisien, y compris la chaîne de Gafsa, se caractérise par une longueur de plus de 100 km et d'orientation est-ouest. La région d'étude est traversée par un alignement de plis de direction NW-SE représenté à l'ouest par les Djebels Bou Ramli (1156 m), Ben Younes (870 m) et à l'est par les Djebels Orbata (1170) m et Bouhedma (790 m). Ces altitudes diminuent progressivement en se dirigeant vers le sud. A l'ouest s'allongent des reliefs de la chaîne de Moularès et à l'est les plaines littorales du Golfe de Gabés. La succession des ensembles structuraux de l'ouest à l'est est présenté comme suit :

- **La chaîne de Moularès :** c'est un ensemble morphologique qui appartient à l'Atlas méridional. La chaîne prend comme origine le nord de l'oasis de Tamaghza et s'étend le long de la frontière algéro-tunisienne sur plus de 50 Km de long, et se présentent comme un triangle nommé « triangle de Moularès » (Sghari A., 1991). Plusieurs gorges apparaissent, par

exemple, la gorge de Boudiaf creusée par l'oued Moularès qui représente l'amont de l'oued Tebedditt et la gorge de l'oued Louza dans le Djebel Henchir Souatir (carte 12);

- **La chaîne de Métlaoui :** se prolonge, parallèlement à la chaîne de Moularès, et se prolonge jusqu'à l'Algérie par la chaîne d'El Mandra et son extrémité orientale (Djebel Stah). Cette chaîne présente plus de régularité d'altitude sur environ 90 km de long de Tamaghza aux environs de Gafsa en passant par la région de Métlaoui suivant une direction SW-NE. Elle est composée de plusieurs montagnes de l'ouest à l'est, Djebel Bliji (970 m), Djebel Alim, Djebel Oum El Kecheb (715 m), Djebel Stah (690 m). Deux cours d'eaux seulement traversent cette chaîne, l'Oued Khangua à Tamaghza (ou Tamerza) à l'extrémité occidentale et l'Oued Oum Kercheb au centre aux environs de la région de Métlaoui.



Carte 12 : Carte structurale de la zone d'étude

(Source : Ahmadi R., 2002)

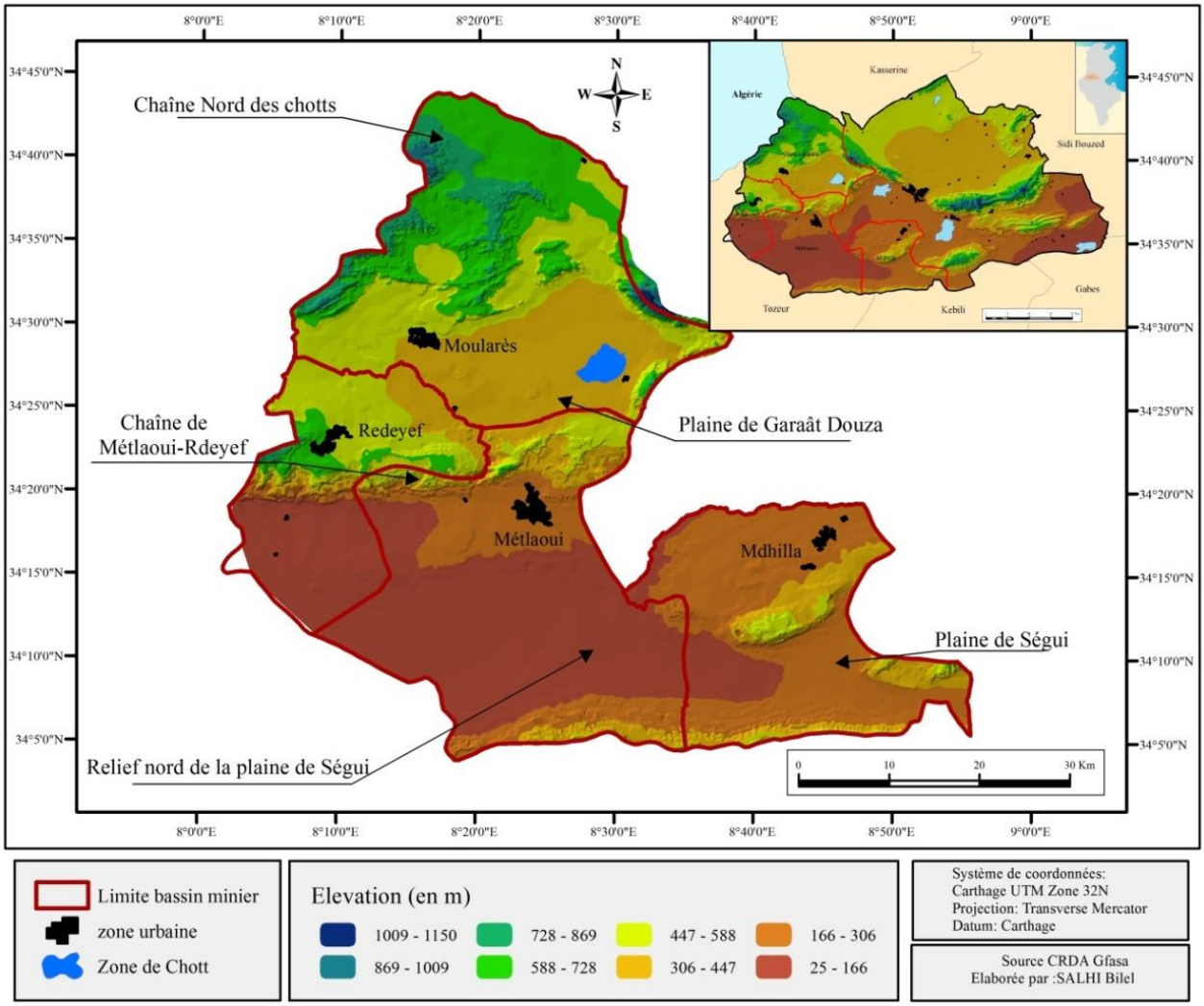
3.2.2. Les plaines de la région minière de Gafsa

Le BMG se situe dans la zone centro-méridionale de la Tunisie. Il comprend les vastes plaines, caractérisées par une topographie assez régulière, avec une inclinaison générale vers le sud, et s'étend de la frontière algérienne jusqu'à la Méditerranée. Les plaines séparent les chaînes de montagne et souvent très larges mais peu marquées (carte 13). Il s'agit de vastes étendues à surfaces homogènes. Nous pouvons citer de l'est en ouest :

- **La plaine de Gafsa-Sud Métlaoui :** s'étend de la chaîne de Métlaoui jusqu'à la chaîne de Gafsa ; limitée au nord, par Djebel Ben Younes, à l'ouest par Djebel Stah, à l'est et

au nord-est, par les monts de Orbata alors qu'elle est limitée au sud par les massifs des Djebels Séhib et Berda et par la chaîne de Chèreb qui longe le nord de Chott Djérid. Cette plaine montre une inclinaison régulière du nord-ouest vers le sud-est et se termine à la dépression Chott El Gharsa.

- **La plaine de Métlaoui-Rdeyef** : constitue une topographie plate de forme triangulaire. La plaine représente un synclinal très vaste qui se situe entre les faisceaux de plis de Moularès et de Métlaoui. Elle est bordée vers l'est par Djebel Stah (photo 1), qui constitue le prolongement est de la chaîne de Métlaoui, et vers l'ouest par la frontière algérienne. La plaine se caractérise par une topographie irrégulière et des altitudes élevées à l'ouest dépassant 550 m et diminuant à l'est jusqu'à 100 m à Garaât Douza (zone de chott) à l'est ;



Carte 13 : Orographie du bassin minier de Gafsa

(Source : CRDA, 2008)

Photo 1 : Plaine de Métlaoui-Rdeyef (22 km à l'est de la ville de Moulares)

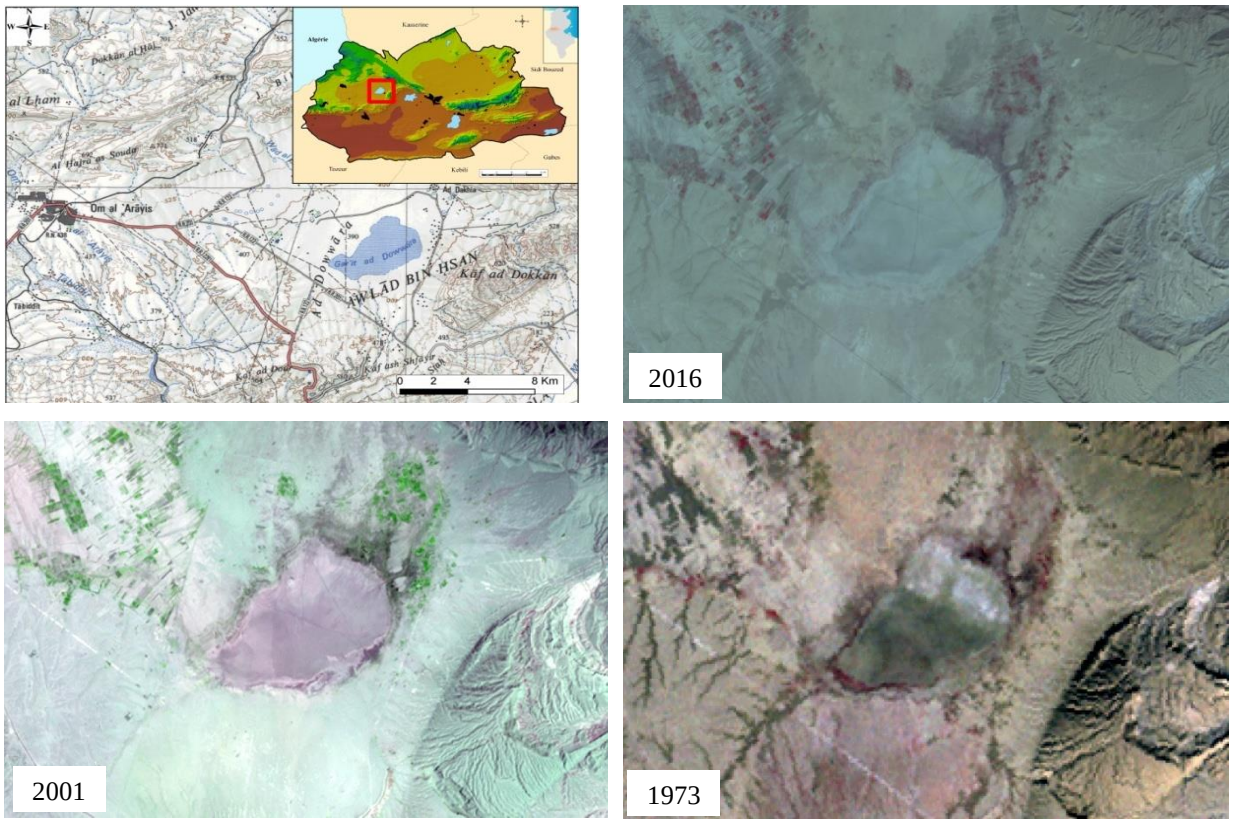
(Source : Salhi B., 01/10/2015)

3.2.3. Les dépression ou les chotts

Les zones de chotts sont des vastes dépressions de terrain renfermant ou ayant renfermé un lac salé et observés dans les systèmes endoréiques avec un régime de sebkha inondée temporairement (CRDA, 2007). La zone d'étude inclue une seule zone de dépression nommée Garaât Douza (ou Douara localement). C'est un bassin endoréique centré, à une distance de 23 Km à l'Est de la ville de Moularès. En période de précipitation exceptionnelle, les ruissellements issues des reliefs des bordures Est et Ouest alimente le lac temporaire où l'eau est rapidement reprise par évaporation. Ce bassin versant prend naissance dans les zones montagneuses (massif d'Aïn Moulares, Dj Bou Ramli, et les oueds se perdent dans un système de Garâat (Louza, Nabbich, etc.).

Tableau 2 : Variation de la superficie de Garaât Douza Source : Image Landsat (1973, 2001et 2016) (Salhi B., 2016)

	Périmètre (Km)	**Surface (Km²)**
1973	15,242	15,268
2001	15,489	15,908
2016	16,137	16,851



Carte 14 : Variation de la superficie de Garaât Douza à l'aide des images Landsat

3.2.4. Les ressources en sols

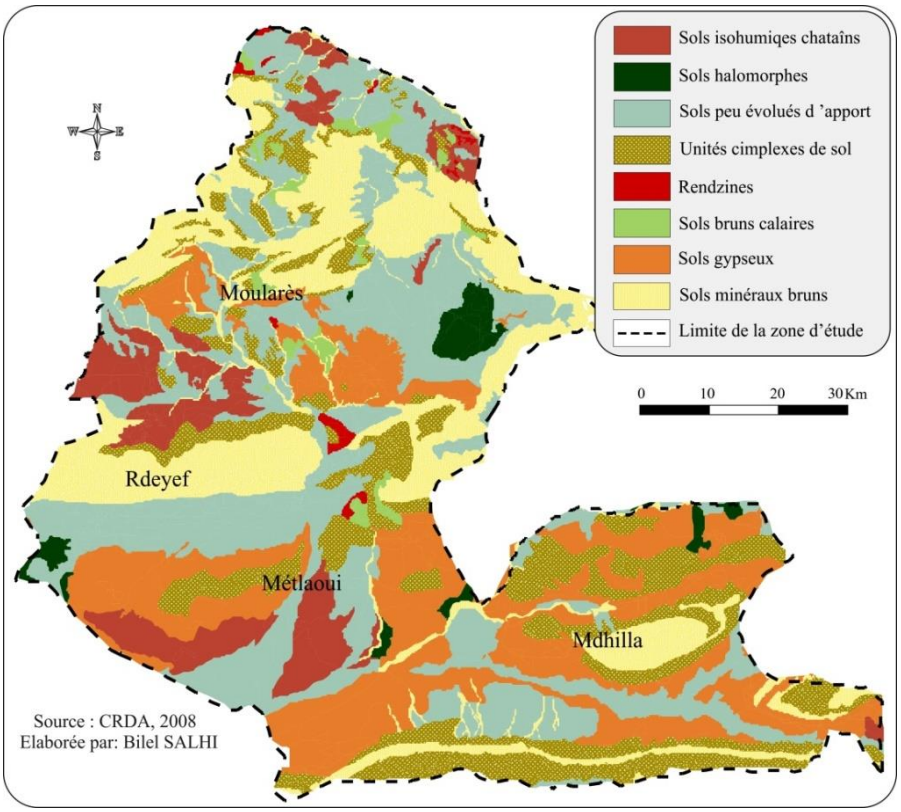
Dans le BMG, les élévations dénudées n'offrent qu'une végétation steppique occasionnelle sur les sols squelettiques entrainés par le ruissellement. Mais dans les vastes surfaces déprimées qui les cernent, le remblaiement quaternaire a donné naissance à des sols plus ou moins évolués, selon la nature des apports alluviaux (CRDA, 2008, Arrondissement CES[32]). La plus grande partie des sols sont de type calcimagnésiques, correspondant à des sols de faibles profondeurs et dominant notamment les glacis et les Djebels dans la partie nord du BMG. Les sols squelettiques à croûte gypseuse et calcaire dominent la partie sud du BMG. A un moindre degré, les sols peu évolués sont en général de deux origines principales, érosive et d'apports. Ils surmontent des accumulations éoliennes aux alentours de Garaât Douza ou des dépôts fluviatiles à croûtes calcaires ou gypseuses.

Selon la carte des ressources en sols (carte 15), il en existe différents types à savoir :

- **Les sols gypseux :** apparaissent localement le long de l'Oued El Melah au nord de la zone d'étude. Ils se développent particulièrement dans la cuvette de Moularès et au sud du chaînon de Métlaoui jusqu'à Chott El Gharsa, et au sud couvrant l'ensemble Chemsi-Belkhir. Ces sols sont peu profonds (60 à 90 cm) avec une texture grossière à moyenne ;

[32] CES : Conservation des Eaux et des Sols

- **Les sols bruns et bruns rougeâtres :** sont bien développés au nord et au nord-est du chaînon de Gafsa, dans quelques dépressions intramontagnardes, au nord de Moularès et aux alentours de Rdeyef. Il s'agit de sols le plus souvent calcaires peu profonds et de très faible salinité, appropriés à l'agriculture ;
- **Les sols de type rendzines ou calcimagnésiques :** ces sols sont constitués de croûtes calcaires, croûtes et encroûtement gypseux, d'éboulis, de colluvions et de sables. Les horizons constituant ces sols sont de texture moyenne à moyennement grossière. Ces sols constituent proportionnellement la plus grande couverture pédologique du bassin de Moularès-Rdeyef ;
- **Les sols isohumiques** : sont de types bruns steppiques et se trouvent au niveau des vallées d'oued Bayech, se caractérisent par une profondeur importante. Ils peuvent être de texture grossière, sableuse ou sablo-limoneuse, s'ils sont développés sur des colluvions. Ce sont des sols d'érosion et d'apports plus ou moins récents. Ils sont situés principalement dans la partie extrême ouest de la région de Moularès-Rdeyef ;
- **Les sols halomorphes (ou les sols salés)** : dominant aux bords des dépressions fermées. Ce sont des sols de type salins à dominante sables grossiers et devenant plus argileux en profondeur. Les sols halomorphes sont constitués de dépôts alluviaux fortement salés. Ils sont peu profonds (30 à 60 cm) à profonds (90 à 120 cm), avec une texture moyenne.



Carte 15 : Ressources en sol dans le bassin minier de Gafsa

(Source : CRDA, 2008)

4. Etude hydrologique et hydrogéologique

La recharge naturelle des nappes se fait non seulement par infiltration directe des eaux de pluies mais aussi à partir des crues des oueds, d'où l'importance de l'approche hydrogéologique régionale. Les ressources en eau dans le gouvernorat de Gafsa ont fait l'objet de plusieurs études hydrogéologiques et hydrologiques qui ont permis d'identifier les principales formations aquifères (Thomas P., 1950 ; Illy P., 1967 ; Gouasmia M., 2008 ; Hamed Y. at al. 2008-2009 et Karaouli F., 2008-2011 …). Dans ce qui suit, nous essayons d'identifier les aspects hydrodynamiques et la géométrie du réservoir de l'aquifère de la zone d'étude, de discuter les éventuelles communications hydrauliques entre la nappe et le système aquifère phréatique et profond.

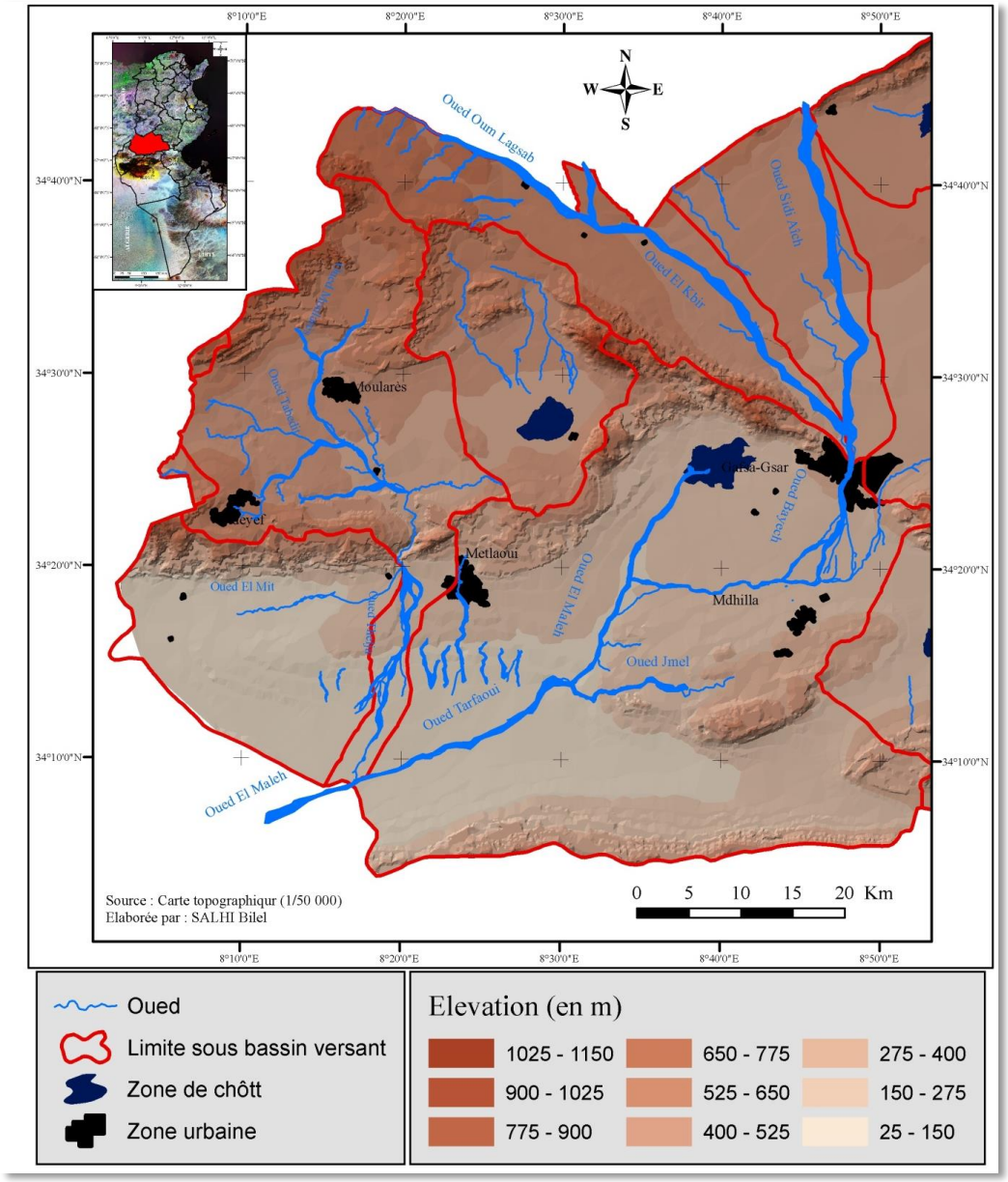
4.1. Cadre hydrologique du Bassin Minier de Gafsa

4.1.1. Les principaux sous-bassins versants

Les limites des bassins versants sont élaborées à l'aide de la carte topographique du gouvernorat de Gafsa (1/50 000) et à l'aide des images Landsat afin de tracer les limites des cours d'eau qui sont «modifiables lors des fortes crues» selon Karaouli F., (2013). Les sous bassins versants de BMG présentent la continuité de la région de Gafsa Nord (carte 16) et drainent aussi les oueds de l'Algérie.

- **Le sous-bassin versant d'Oued El Kébir :** d'allure rectangulaire, il couvre une superficie totale de 445 km² dont 80% environ sont situés en Algérie, collectant les eaux monts de Tébessa (Algérie). Il draine Oued Oum Lagsab, Oued El Kébir jusqu'à atteindre Oued Bayech au niveau de l'agglomération Gafsa-Gsar. Le bassin est bordé par des élévations aux sud-ouest et limité au nord par deux unités définies par la vallée d'Oum Lagsab et englobe la plaine de Kef Derbi et Ouled Slèmè ;

- **Le sous-bassin versant Oued Gouiflè** : prend naissance en Algérie et constitue le principal réseau hydrographique du BMG avec notamment la confluence des oueds El Kébir et Sidi Aîch. Oued Bayech prend aussi naissance à leur confluence et draine oued El Melah. Au pont de Gouiflè il rencontre l'oued Thelja au niveau de la ville de Métlaoui. L'oued Gouiflè a un relief fort, il est l'exutoire naturel de la majorité du réseau hydrographique du gouvernorat de Gafsa. La superficie du bassin versant drainée dans le gouvernorat de Gafsa est égale à 1 816 km². Avec un déficit d'écoulement égal à 189 mm, le ruissellement est faible et égal à seulement 6% des précipitations. Le potentiel d'écoulement moyen est égal à environ 20 millions de m^3 ;



Carte 16 : Les principaux bassins versants qui englobent le bassin minier de Gafsa (Source : carte topographique (1/50 000)

- **Le sous-bassin versant de Douza (Douara)** : la superficie est égale à 374 km². C'est un sous-bassin endoréique, prenant naissance dans des zones montagneuses entourant d'une dépression nommée Garaât Douza. Il draine principalement Oued Louza qui prend naissance entre le massif d'Ain Moularès et Djebel Bou Ramli. Les oueds se perdent dans un système de Garaât (Louza, Nabbich, etc.)... Avec un déficit d'écoulement égal à 202 mm, le ruissellement est égal à 6% des précipitations. Le potentiel d'écoulement moyen est égal à 4,8 millions m^3 et n'est disponible qu'une année sur 5 ;
- **Le bassin versant Moularès-Rdeyef**: ce bassin couvre la majeure partie du synclinal de Moularès-Rdeyef. Il couvre une superficie de 686 Km², et prend naissance dans la chaine

montagneuse de Djebel Mghatta et Djebel Seif Lhèm. Les Oueds Tebedditt, Oued Moularès et ses affluents traversent l'Ouest de la ville de Moularès (nommé Oued Moularès). Ce dernier draine à son tour oued Thwahir et Oued Zalles dans sa partie sud-ouest traversant la ville de Rdeyef dans sa partie ouest, ce qui a provoqué les inondations de 2009. Le volume moyen ruisselé au niveau des gorges est estimé à 5,4 Mm^3/an.

4.1.2. Hydrographie du Bassin Minier de Gafsa

Le réseau hydrographique du BMG est relativement important, il est formé par une ramification des oueds qui se caractérise par un régime d'écoulement non permanent et un débit de crue plus ou moins important au cours de l'année, favorisant une alimentation irrégulière des nappes phréatiques et profondes. Le Sud du BMG est drainé par Chott El Gharsa et Chott El Guettar, les bassins versants de cette zone représentent les exutoires finaux de l'ensemble du réseau hydrographique de BMG. Deux points pertinents sont à relever ; le premier se situe au niveau de la ville de Gafsa, où se passe la confluence des Oued Kébir et Oued Sidi Aîch pour donner naissance à l'Oued Bayech ; le second au niveau du pont de Gouiflè, où se réalise la confluence des Oued Thelja et Oued Melah-Bayech (DGRE[33], 2007), sans oublier d'autres oueds de moindre importance qui collectent les eaux des reliefs de moyennes altitudes pour alimenter les Oueds principaux à savoir Oued Tebedditt et Oued Zalles qui rejoignent Oued Thelja (au nord de la ville de Métlaoui).

- **Oued El Kébir :** il s'étale à côté du bassin versant d'oued Bayech, et constitue son affluent droit. Son bassin versant est de forme allongée (KC= 1.39) et couvre une superficie de 2 630 Km^2 dont 80% environ sont situés en Algérie, collectant les eaux des altitudes de Tébessa. Son apport moyen annuel est évalué à 22 Mm^3 (Fersi M., 1979) ;
- **Oued Bayech :** cet oued est alimenté principalement par oued Sidi Aîch et l'Oued Kébir qui descendent des altitudes proches. Son apport moyen annuel est estimé à 49 Mm^3 (Fersi M., 1979) et est responsable de la mise en place des puissants dépôts. Il prend naissance à la confluence des Oueds Sidi Aîch et Sidi Boubaker (nord-est du gouvernorat). Il a le bassin versant le plus vaste avec une superficie de 5 700 Km^2 avec une forme allongée (KC= 1.35). Oued Bayech débute dans le territoire algérien et longe des structures occidentales de Gafsa (Djebel Bouramli, Djebel Jallabia et Djebel ben Younes). Il traverse cette chaine et se dirige vers le sud pour se déverser dans chott Gharsa ;
- **Oued el Melah :** c'est le seul oued à écoulement pérenne avec un débit moyen de 80l/s. Son bassin versant s'étend sur 1 250 Km^2. C'est l'un des oueds qui drainent l'extrémité

[33] DGRE : Direction Générale des Ressources en Eaux

orientale de la gorge de Gafsa. Il commence dans le Djebel Orbata et se dirige vers la dépression El Guettar. Son bassin versant est de forme assez allongée (KC= 1.22) et s'étend depuis les versants septentrionaux d'Orbata jusqu'aux reliefs peu élevés formant sa limite nord. Le volume ruisselé annuellement est estimé à 14.8 Mm^3/an ;

- **Oued Magroun :** c'est un affluent de l'oued Bayech, il collecte les eaux des versants des chaînes de Ben Younes, Sateh ainsi que Sabkhet Maleh. Son bassin versant s'étend sur 320 km^2 et l'altitude passe de 860 à 160 m. Le volume annuel ruisselé moyen estimé est de 3 Km^3/an ;
- **Oued Tebedditt :** le bassin de cet oued couvre une superficie de 405 Km^2, et son périmètre est de 130.6 Km, c'est le plus important oued de la région minière de Gafsa. Il s'agit d'un bassin endoréique drainé par oued El Khangua qui prend naissance dans la région de Bir El Ater (Algérie) et trouve son exutoire dans la dépression de Chott El Gharsa. Cet oued collecte les eaux de ruissellement à partir du flanc sud de la chaîne de Moularès et s'écoule vers la région de Tamaghza puis vers Chott El Gharsa selon une direction nord-sud. La charge de ce réseau hydrographique est constituée principalement d'éléments fins puisqu'elle coule sur des terrains essentiellement sableux ;

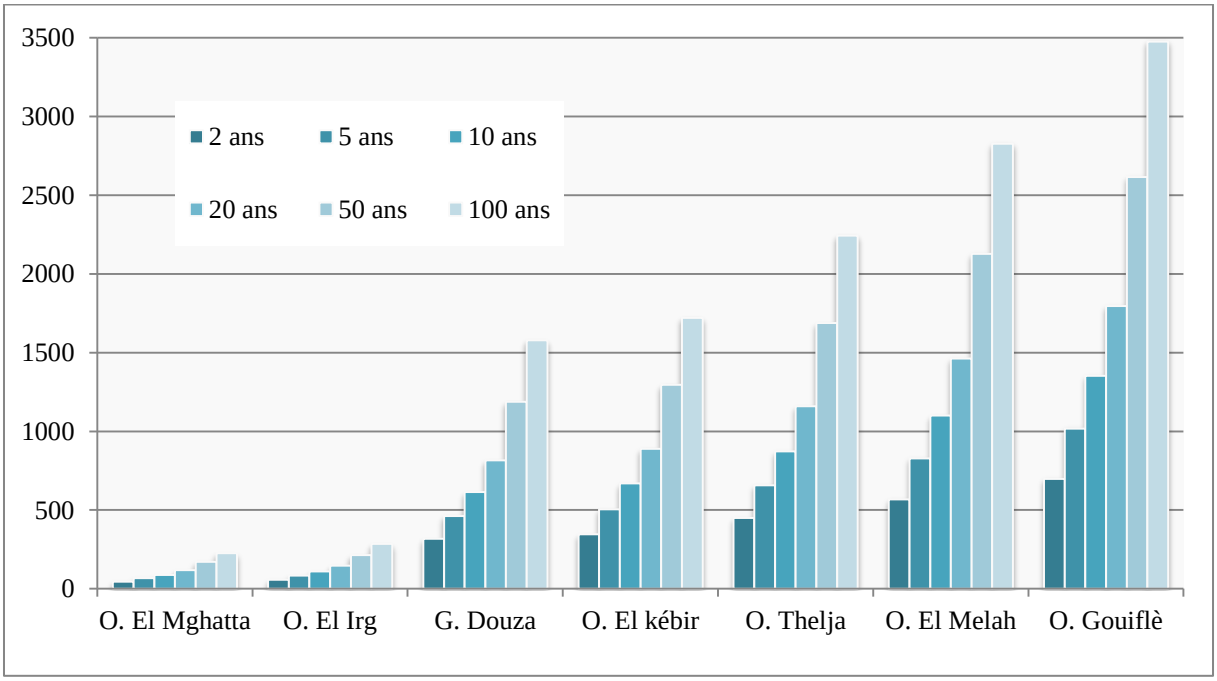


Figure 18 : Débits de crues (m^3/s) pour différentes périodes de retour

(Source : DGRE, 2007)

- **Oued Ennebch-Sghaier** : s'étend sur la bordure nord-est de la nappe de Moularès-Rdeyef; le bassin de cet oued couvre une superficie de 9.6 Km^2 et a un périmètre de 18 km ;

- **Oued Neguez :** se prolonge sur la bordure sud-ouest de la plaine de Moularès-Rdeyef, le bassin de cet oued couvre une superficie de 38.4 Km^2 et a un périmètre de 25.8 Km.
- **Oued Moularès :** il est situé au nord-ouest de la plaine de Moularès-Rdeyef, la superficie de son bassin est de 7.3 Km^2 et le périmètre est de 11 Km.

En somme, la description du réseau hydrographique de la région minière de Gafsa nous révèle que l'endoréisme constitue la règle ; de ce fait plusieurs dépressions fermées caractérisent le paysage morphologique de cet ensemble. Aussi, ce réseau hydrographique est composé d'oueds qui, en situation naturelle, sont temporaires, mais les flux permanent provenant des Laveries de la CPG et GCT ont conduit à l'apparition d'un écoulement permanent des boues du lavage dans les différents oueds récepteurs (oued Moularès, oued Métlaoui, oued Tebedditt, oued Thelja,…). L'alimentation des nappes phréatiques est entravée, en partie, par les rejets liquides et solides de la CPG suite au colmatage des alluvions des oueds.

4.2. Cadre hydrogéologique de la région d'étude

Les études hydrologiques réalisées sur la région minière de Gafsa ont montré une surexploitation des ressources hydriques au profit de l'agriculture et de l'enrichissement de phosphates.

4.2.1. Les nappes phréatiques

Le gouvernorat de Gafsa dispose de 11 nappes phréatiques indépendantes les unes des autres. Cependant, certaines d'entre-elles sont en communication avec les nappes profondes en raison de l'absence d'une couche imperméable entre deux aquifères (Chalbaoui M., 2000). Dans le BMG, il existe 4 nappes phréatiques (carte 17), les ressources exploitables sont évaluées à 8,47 Mm^3, pour un niveau d'exploitation de plus de 9 Mm^3, soit un taux d'exploitation d'environ 110% entre 2012 et 2016.

- **La nappe phréatique Oum Lagsab**: située au nord-ouest du BMG, cette nappe renfermée dans les alluvions des crues de l'oued Oum Lagsab s'étend sur environ 30 km^2. Latéralement l'aquifère s'étend sur 2 à 3 km de part et d'autre de même oued, l'épaisseur du réservoir varie de 20 à 30m en amont du goulet de Sidi Ahmed Saâda. Cette épaisseur descend à 5m plus en aval des crues de l'Oued Oum Lagsab selon Moumni. L., (1994).

Dans l'ensemble, la qualité chimique des eaux est bonne puisqu'elle est généralement inférieure à 1 g/l. Les réserves régulatrices sont estimées à 8,3 Mm^3/an et elles font partie d'une grande structure synclinale de Majel Bel Abbés (sud-ouest du gouvernorat de Kasserine). La nappe se développe dans l'underflow des oueds dans l'épaisseur de la

formation aquifère n'excède pas 15 à 25 m (Boukadi N. et al. 1996). En 2014, cette nappe comptait 392 puits dont 339 sont exploités. Ils prélèveraient 7,51 Mm^3/an à partir des ressources renouvelables estimées à 8,30 Mm^3/an ;

♦ **La nappe phréatique de Moularès-Rdeyef** : elle est renfermée dans des formations du Plio-Quaternaire essentiellement grossières localisées en bordure des reliefs et qui deviennent fines et plus argileuses au centre du bassin et particulièrement au niveau de Garaât Douza. La qualité chimique des eaux de cette nappe présente une grande variabilité. En effet, la salinité augmente progressivement dans le sens de l'écoulement, elle est comprise entre 2 g/l et 10 g/l. La répartition des eaux souterraines entre les aquifères est très inégale avec seulement 24% (13.3 Mm^3/an) pour les nappes phréatiques et 76% (41.4 Mm^3/an) pour les nappes profondes (Moumni. L., 1994).

Concernant l'hydrochimie de cette nappe, (Chalbaoui M., 2000) a identifié trois types de faciès chimiques : sulfaté-sodique prédominant, chloruré-sodique au niveau de Garaât Douza et sulfaté-calcique faiblement présenté au sud. Les prélèvements piézométriques de CRDA, en 2016 indiquent un rabattement excessif des niveaux piézométriques de 15 à 25 m au centre du bassin, surtout dans la région Berka (figure 19), et Moularès qui résulte principalement des forts prélèvements d'origine industrielle (forages de la CPG), et secondairement agricole. Alors qu'aux niveaux des bordures du bassin (oued Zèles, Henchir Souid et Tarfaya), ils sont différents avec un abaissement d'environ 10 m.

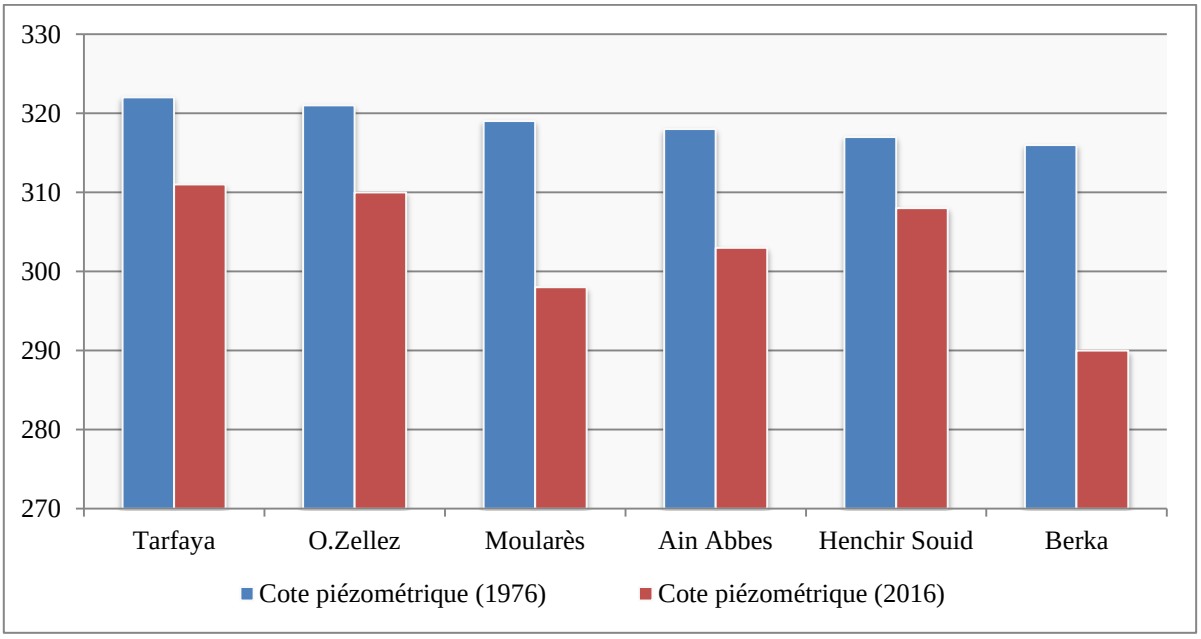


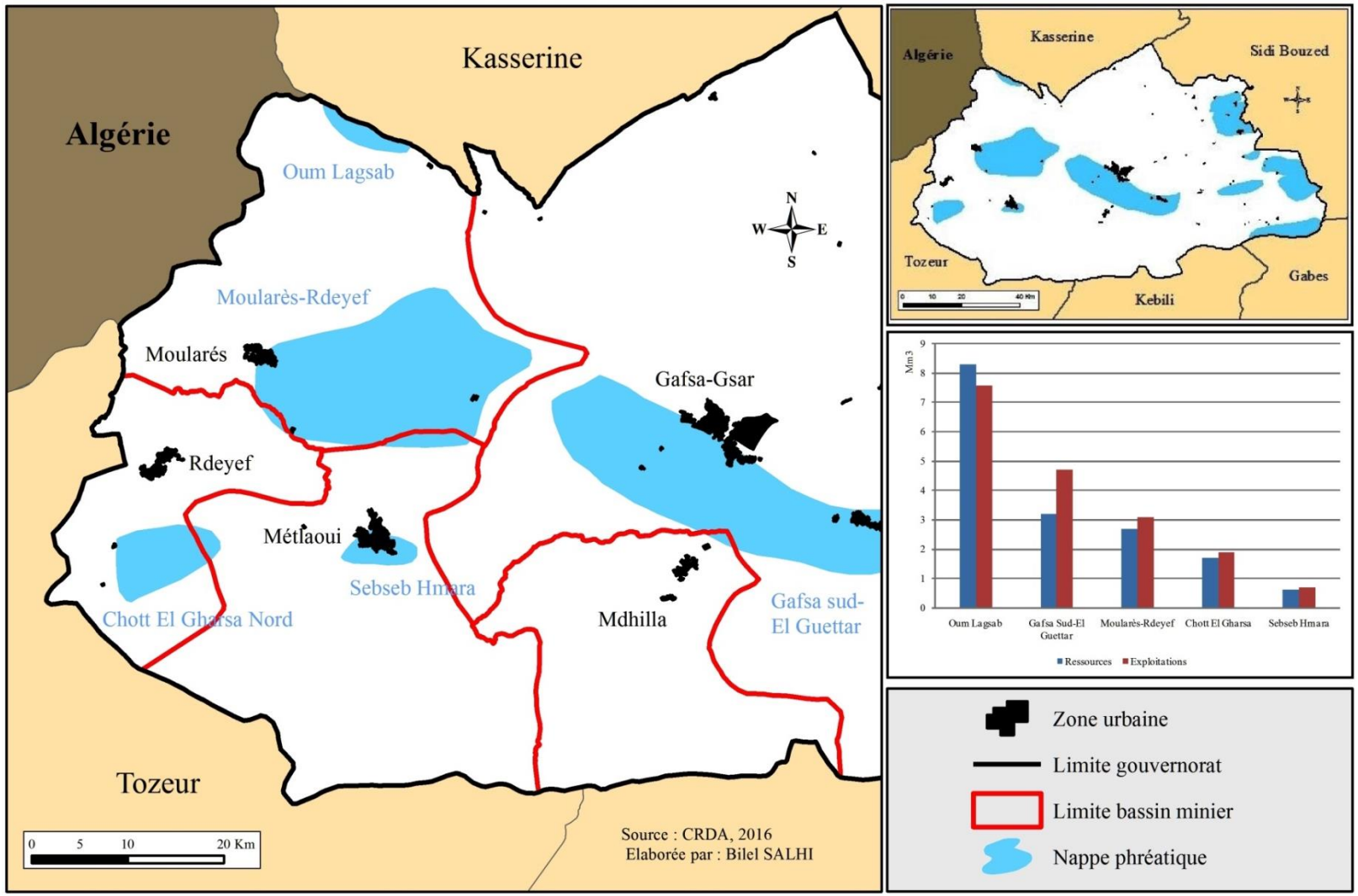
Figure 19 : Rabattement (en m) du niveau des forages du bassin Moularès-Rdeyef entre 1976 et 2016 (Source : DGRE, 2016)

♦ **La nappe phréatique de Sebseb Hmara :** c'est une nappe d'underflow et d'une petite entité hydrogéologique localisée au niveau de la confluence d'oued Hmara, oued Hamdi et oued Grab (nord du BMG), renfermée dans les séries grossières allant des sables à des galets. Cet aquifère est constitué par des alluvions détritiques grossières composées de galets, graviers et sables enrobées dans une matrice argileuse. Le niveau du plan d'eau est généralement faible, il varie de 3m au niveau du lit de l'oued à 15m à mesure que l'on s'éloigne latéralement (Farhat H. et Moumni L., 1989 ; DRGE, 2014). Cette nappe s'alimente à partir des crues des oueds et de l'infiltration directe des eaux de pluie.

La salinité de la nappe de Sebseb Hmara est comprise entre 1et 7g /l. Elle est exploitée par 75 puits prélevant 0,56 Mm^3/an pour des ressources renouvelables estimées à 0,31 Mm^3. Le réseau du suivi piézométrique montre un rabattement moyen de l'ordre d'un mètre pour la période comprise entre 2006 et 2016. Cette baisse pourrait justifier le dépassement des ressources renouvelables. En 2016, l'exploitation de cette nappe était de 0,6 Mm^3 pour des ressources renouvelables estimées à 0.7 Mm^3, ce qui donne un taux d'exploitation d'environ 117%. Cette importante surexploitation s'explique, entre autres, par la bonne qualité de ses eaux utilisées à des fins agricoles uniquement;

♦ **La nappe phréatique Chott El Gharsa Nord :** se localise dans les couches détritiques supérieures Mio-Plio-Quaternaires. L'essentiel de l'alimentation de cet aquifère provient de l'infiltration des eaux des pluies et du ruissellement dans les ravins descendants des versants sud du Djebel Alim. Les crues de l'Oued Bayech à l'est, Oued Khangua et Oued Thelja à l'ouest contribuent aussi en grande partie à l'alimentation de cette nappe. Une part non négligeable est assurée à partir de la chaîne de Gafsa-Métlaoui.

Le toit de la nappe se situe à des profondeurs supérieures à 1000m (Dhafria et Sègdoud) et décroît en allant vers l'est en direction de Thelja où il ne fait que quelques dizaines de mètres (Askri B., et al. 2010). Les apports en eau des oueds Tebedditt et Thelja sont évalués à plus de 8 Mm^3/an. Les séries sablo-argileuses du Plioquaternaire renferment une nappe exploitée par 50 puits de surface. La salinité des eaux est très variable puisqu'elle va de 2g/1 dans la partie nord pour dépasser 8g/1 dans la zone du Chott. Les ressources exploitables de cette nappe sont estimées à 350 l/s dont 200 l/s et sont allouées pour les besoins en eau d'irrigation des périmètres de Sègdoud.



Carte 17 : Carte des nappes phréatiques de la région minières de Gafsa

(Source : CRDA, 2016)

En somme, les nappes phréatiques sont susceptibles d'être affectées par les rejets des Laveries sous l'effet de ces formations perméables alimentées par des infiltrations directes et par les crues des oueds dont les plus importants servent au déversement des boues du lavage des phosphates. La nappe phréatique Moularès-Rdeyef, qui joue un rôle important dans l'agriculture, est la plus vulnérable au risque de dégradation la qualité de ses eaux par les rejets miniers. Par ailleurs, divers actions entreprises par la CPG pour limiter l'épandage des écoulements boueux, mais ces mesures s'avèrent insuffisantes pour limiter tous les risques que ces écoulements font courir aux ressources hydriques de la zone d'étude.

4.2.2. Les nappes profondes

- **La nappe profonde Miocène Moularès-Rdeyef :** alimentée essentiellement par les crues de l'oued Tebedditt et ses affluents, les oueds Neguez et El Berka. Cette nappe constitue l'aquifère le plus important de la région dont le réservoir couvre une superficie de 575 km^2. L'épaisseur maximale est observée au bassin de Tebedditt où elle atteint 350 m; elle décroît progressivement dans les zones anticlinales. La nappe est exploitée d'une manière intense dans le bassin à des profondeurs variant de 150 à 600 m. Les ressources de cette nappe sont évaluées à 17,8 Mm^3/an, exploitées par 25 forages.

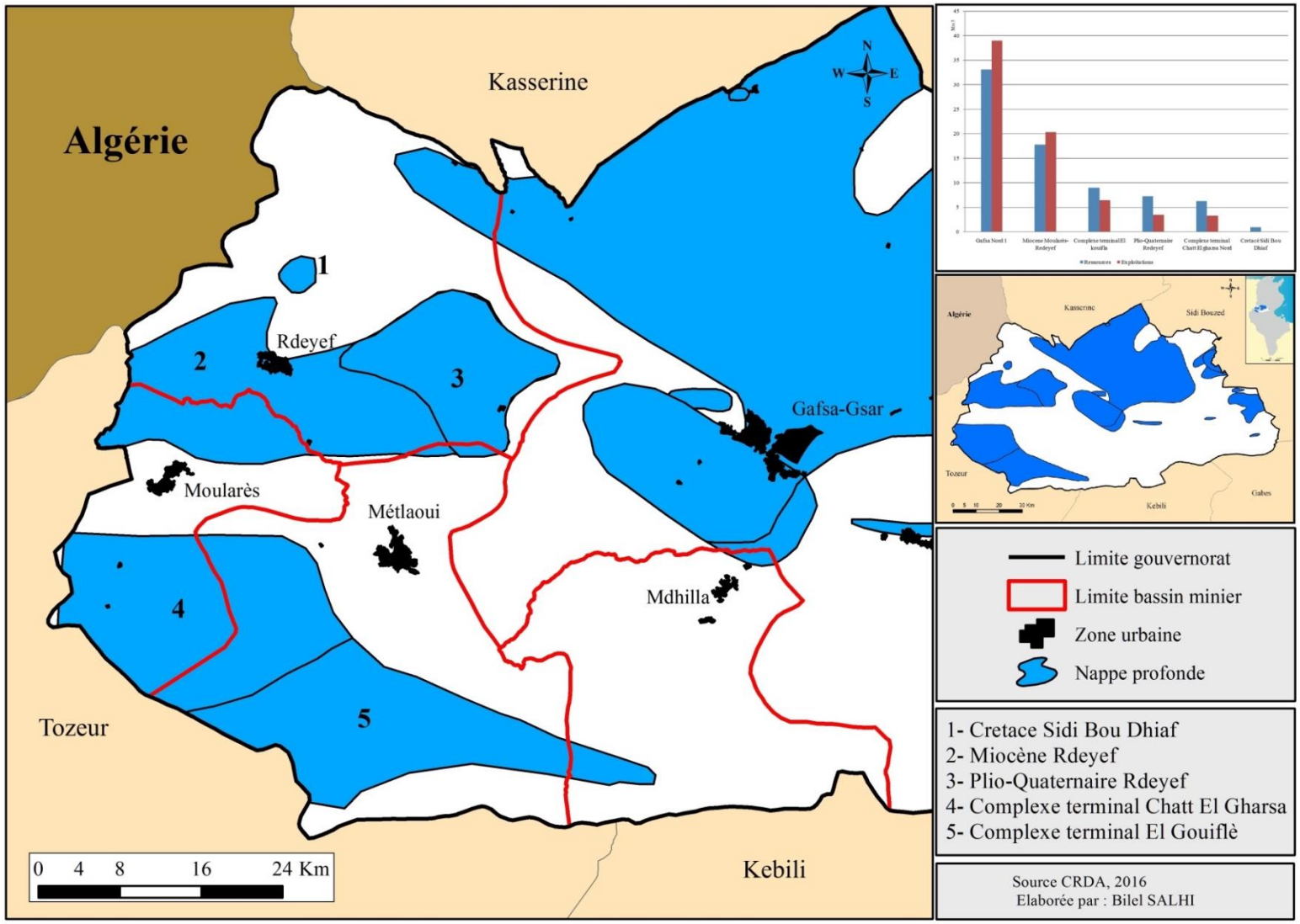
La salinité est très variable allant de 1.5 g/l jusqu'à 11.5 g/l. Les eaux douces avec un résidu sec inférieur à 1.5 g/l se présentent à proximité d'Oued Tebedditt et dans le synclinal de Moularès M'Rata (zone d'alimentation de la nappe). La partie inférieure de la nappe miocène captée par le forage Berka présente un résidu sec de 11.58 g/l où se localisent les forages de la CPG. En raison de la qualité chimique médiocre des eaux fournies par cette nappe, les ressources ont été allouées pour satisfaire les besoins en eaux industrielles des centres miniers de Moularès et Rdeyef[34]. La CPG exploite 14 forages en 1997 et 7 actuellement aux niveaux des localités de Tarfaya, Berka et Garaât Douara;

- **La nappe profonde Plio-Quaternaire Moularès-Rdeyef :** en raison de la bonne qualité de ces eaux, les ressources de cette nappe sont allouées entre la mise en valeur agricole et l'alimentation en eau potable. Mais les rejets industriels de plus en plus croissants, résultant d'enrichissement des phosphates dans les Laveries, vont causer à long terme leur pollution (contamination surtout par les métaux lourds) et la dégradation de leur qualité chimique. Le réservoir Plioquaternaire couvre une superficie de 245 km^2 et se localise dans les conglomérats de la formation Sègui-Rdeyef jusqu'au niveau du bassin de Tebedditt englobant

[34] Les forages Berka 1 et Berka 4 qui captent la partie inférieure de la nappe Miocène présentent des résidus secs de 8,7 et 9 g/l.

la majeure partie du bassin de Garaât Douza. La nappe est alimentée par l'infiltration des eaux des crues des oueds et des ruissellements diffus issus des reliefs de bordure à savoir Oued Ellouza et Oued Ennebch, cependant elle est exploitée à raison de 70 l/s dans la région d'Echennoufia. Les mesures de la salinité établie par Chalbaoui M., (2000) et Hamed Y., (2009) révèlent que les eaux les plus douces avec une salinité inférieure à 2 g/l sont rencontrées dans la région de l'Oued El Ellouza et Oued Ennebch, zone d'alimentation principale de la nappe. La salinité augmente progressivement dans le sens de l'écoulement pour atteindre 12.8 g/l;

- **La nappe profonde du Complexe Terminal de Chott El Gharsa Nord** : cette nappe est renfermée dans les sables fins à moyens parfois grossiers. Des intercalations d'argiles sableux et de gypse par endroit s'y intercalent. Cette série sableuse est attribuée à la formation Beglia dans le BMG et est très connue sous le nom de Complexe Terminal dans le Djérid et Chott El Gharsa. L'essentiel de l'alimentation provient du sud et du sud-ouest à travers la frontière algéro-tunisienne. Une part non négligeable est assurée à partir de la chaîne de Gafsa-Métlaoui. La nappe s'étend sur 350 000 Km^2, avec une profondeur qui varie entre 600 et 1200m, répartis sur trois pays qui sont la Tunisie, l'Algérie et la Lybie. La nappe fait partie de Système Aquifère de Sahara Septentrionale (SASS). Au niveau de la région de Gafsa, cette nappe a été exploitée par cinq forages d'Oued Shili, Sègdoud, Krichet Ennaâm et Thelja pour des allocations qui s'élèvent à 350l/s dont 200 l/s sont allouées pour les besoins en eau d'irrigation des périmètres de Sègdoud oued Shili et Neguez (6.3Mm^3) et 150l/s pour les Laveries de la CPG. La salinité varie de 3,2 à 4 g/l.
- **La nappe profonde du Complexe Terminal El Gouiflè :** l'étude de la nappe du complexe terminal a montré que Chott El Gharsa constitue l'exutoire le plus septentrional de cet aquifère. Cette nappe qui se répartit entre les gouvernorats de Gafsa et Tozeur a des ressources moyennes de 600 l/s. Les ressources exploitables de cette nappe sont évaluées à 450 l/s. Dans la région de Gouiflè, elle est exploitée exclusivement par la CPG (430 l/s) à cause de son résidu sec relativement élevé atteignant 6 à 7g/l. La CPG exploite 430 l/s, dont 400 l/s à Gouiflè et 30 l/s à Tarfaoui. La nappe de Berka, se trouve dans la partie basale du miocène avec une qualité d'eau très chargée en sel soluble avec un résidu sec de 7 à 8 g/l ;
- **La nappe profonde du crétacé de Sidi Boudiaf** : est renforcée dans les calcaires Abiod. C'est une entité hydrogéologique bien individualisée, limitée par le bassin de Moularès-Rdeyef et la frontière Tuniso-Algerienne.



Carte 18 : Carte des nappes profondes de la région minière de Gafsa

(Source : CRDA, 2016)

Conclusion

La demande en eau à des fins industrielles et agricoles ne cesse d'augmenter. La pression sur ces faibles ressources hydriques, majoritairement difficilement renouvelables, s'est particulièrement accentuée à la suite de la montée des périmètres irrigués. Ajoutons la mise en place des Laveries des phosphates qui exigent d'énormes quantités d'eau (traitement par voies humides). En effet, le suivi des niveaux piézométriques de ces nappes a montré un rabattement durant ces dernières années en plus d'une dégradation de la qualité chimique de l'eau (augmentation de la salinité, contamination par les nitrates). On s'attend à ce que des risques de pénurie d'eau peuvent avoir lieu en l'absence de mesures de régulation adéquates. Cette situation requiert un effort stratégique de régularisation qui inscrit la sécurisation des apports comme un objectif stratégique à long terme.

En outre, les espaces miniers sont tributaires d'un environnement industriel qui est souvent sous-estimé par la plupart des acteurs, y compris institutionnels, car il est difficile d'en observer les impacts concrets sur un espace minier. Ajoutons une forte identité qui s'est construite autour de la mine (nouveau mode de vie, activité lucrative,…). L'intégration des nouvelles technologies de traitement des données à référence spatiale sert à avoir une vue de synthèse afin de mieux comprendre la dynamique spatiale-minière. L'histoire démographique et sociale de la société du BMG est difficile à retracer en détail. Ce genre d'étude souffre du manque, voire même de l'inexistence de la documentation nécessaire. La partie suivante est consacrée à étudier la naissance et l'accroissement du BMG tout en mettant l'accent sur la période d'après l'indépendance et évidemment selon la disponibilité des données.

Partie II : Evolutions spatiales et urbaines du Bassin Minier de Gafsa

Introduction

La genèse du BMG se résume à trois phases étroitement liées à la CPG[35]. La première phase, classée comme la plus décisive, correspond à "l'âge d'or" du phosphate tunisien. C'est la période des investissements massifs, de l'installation des infrastructures minières qui se prolongent jusqu'en 1930. A cet égard, Signoles P., (2006) la décrit ainsi : «les années 1930 sont marquées en Tunisie par un gonflement des centres anciens, en particulier des centres miniers où apparaissent quelques petits noyaux de sédentarisation où viennent s'agglomérer des populations miséreuses». Après 1930, survient l'époque de crise économique et par la suite sociale qui se prolonge jusqu'à l'indépendance (1956). C'est la période de crise économique mondiale, pendant laquelle la Compagnie minière ne se livre plus qu'à quelques aménagements sur le plan industriel et n'engage aucun crédit sérieux pour ces noyaux miniers. La troisième période est celle qui suit l'indépendance : elle se caractérise par la relance d'une politique urbaine mais sans esprit et sans objectif cohérent, solutionnant les besoins du jour, sans embrasser les problèmes industriels et urbains dans leur ensemble.

De ce fait, l'étalement urbain des villes minières, avec une incontestable similarité, est influencé par un ensemble de facteurs qui a vu les deux phases principales :

- ✓ La première phase correspond au départ de cadres français opérant dans la Compagnie et les Italiens (cadres moyens), qui vivaient dans les cités adjacentes aux cités européennes. Ces derniers ont été remplacés par les cadres de la Compagnie qui sont en majorités des migrants du littoral (Sahel) et de l'agglomération Gafsa-Gsar;
- ✓ La deuxième phase, s'étend jusqu'à les années 1983, est associée au départ des employés de la Compagnie après leur retraite et qui ont cédé leurs logements aux nouveaux employés miniers (tunisiens : cadres moyens et ouvriers qualifiés).

Jusqu'en 1960, la Compagnie avait construit 1118 logements. Le total des logements était de 2249 unités en 1983[36]. Ils servent à loger des salariés selon des critères bien déterminés. Ils sont affectés en simple location ou en location-vente. Les logements vacants, ont été utilisés pour absorber l'importance des arrivés (travailleurs tunisiens et étrangers). La propriété appartenant à la Compagnie durant la période de travail. Des échanges avec les nouveaux recrutés après la retraite des anciens mineurs. Conséquemment, le taux d'inoccupation des logements appartenant à la Compagnie et sa disponibilité à la disposition des nouveaux

[35] Adidi A., (2000) décrit la situation au Maroc, assez semblable à celle de la Tunisie : «Khouribga est une création de la mine et donc de l'Office Chérifien des Phosphates (OCP). Avant 1921, la région était occupée par des populations semi-nomades pratiquant l'élevage et la céréaliculture extensive».

[36] Le nombre de logements construits par l'OCP depuis sa création est de 8101 (Es-Samti A., 1996).

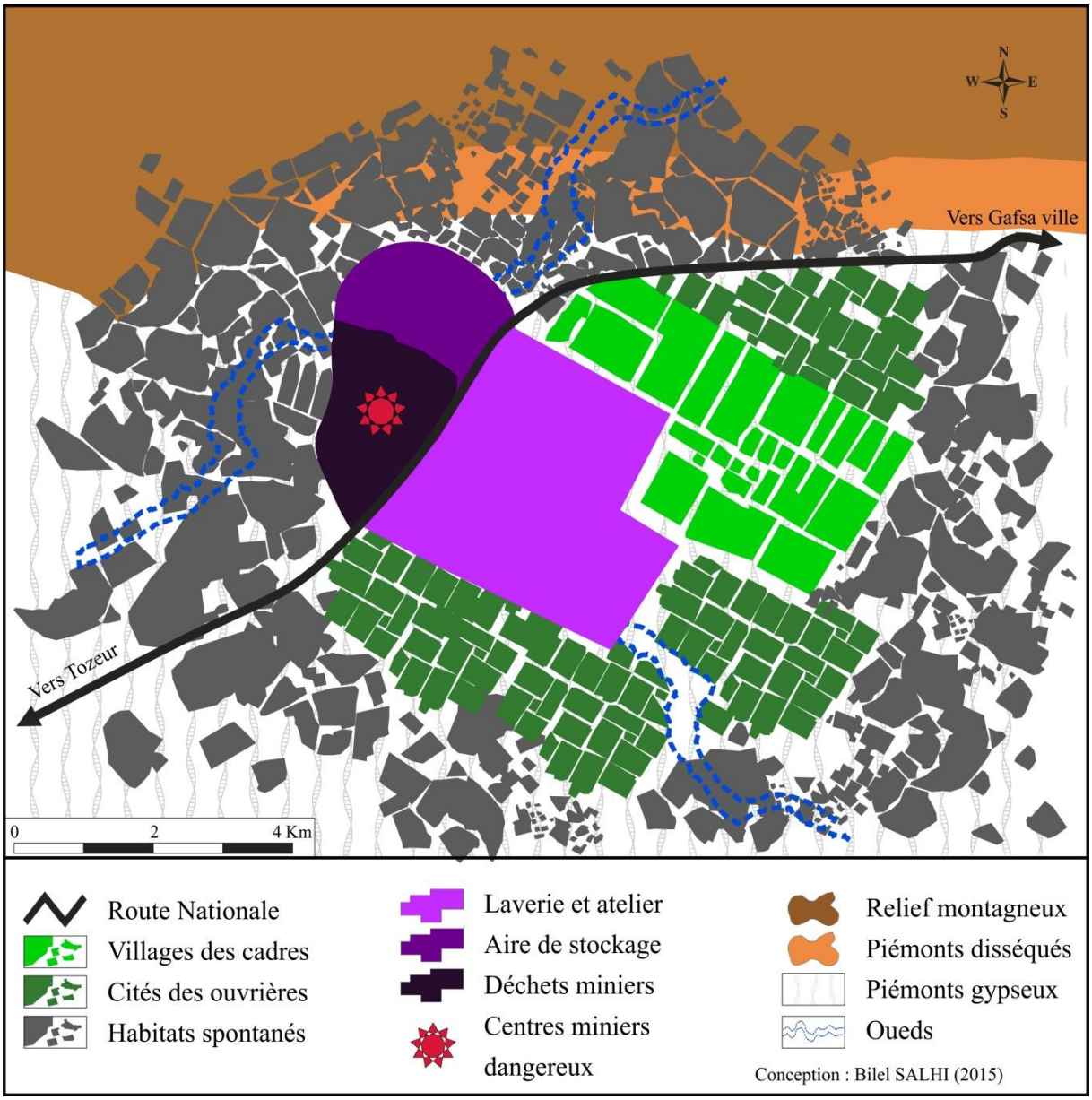
arrivants, a donné un impact d'une remarquable réduction de l'extension des logements dans les villes minières.

Chapitre IV. Naissance et formation des villes minières

L'espace minier de Gafsa était un espace ségrégatif à base ethnique d'abord, socio-économique ensuite (Belhedi A., 1992). Le modèle d'organisation est un modèle ségrégatif dualiste opposant, à la fois, un centre moderne autour d'un centre historique. Les quatre villes minières ont connu la même évolution en matière d'infrastructures de base et d'équipements. D'abord, L'infrastructure industrielle (principalement Laverie) s'est vue plus ou moins cohérente à l'origine et s'est dégrade peu à peu avec l'extension des zones de stockages et de stériles à ciel ouvert. Ensuite, le village européen (ou villages des cadres) est doté d'un certain nombre de services essentiels plutôt dispersés à sa périphérie : économat, administration minière, églises, hôpitaux (ou dispensaires), écoles, salles de fêtes, terrains de sport et de tennis (cf. photos 2 et 3)... Puis, des cités compactes des ouvriers se sont agglutinées de l'infrastructure industrielle et les villages des cadres (carte 19), dont les équipements limités au strict minimum. Enfin, les cités (ou Douar) des migrants (y compris les tribus locaux) nées spontanément dans les élévations et les zones de servitudes. Toutes ces installations forment les villes minières dont le site était donc de nature économique et le centre n'est pas toujours distinct.

Photo 2: Métlaoui, Tennis et Terrain de Jeux (1928)
(Source : Archives Nationales, 1949)

Photo 3 : Rdeyef, La Salle des Fêtes (1922)
(Source : Archives Nationales, 1949)



Carte 19 : Genèse des villes minières du BMG (Salhi B., 2015)

Les quatre villes minières portent toutes la marque de leur origine et de leur fonction unique. Cependant, chacune a une originalité incontestable qui tient, non seulement des conditions de site, évidemment différentes, mais aussi et peut-être surtout à son fonctionnement propre, à sa tonalité et à son style urbain.

L'analyse de chacune des villes minières par la suite fera apparaitre un niveau d'équipement sensiblement différent. En effet, chaque ville minière diffère des autres sous l'effet de plusieurs facteurs (localisation, distance par rapport aux ressources minières, problèmes d'aménagement, typologie des habitats…) ce qui nous amène à traiter chacune d'elles. Dans ce qui suit, nous étudions, d'abord, la ville de Métlaoui principale ville minière dans le BMG.

1. Naissance et formation de la ville de Métlaoui (Thelja)

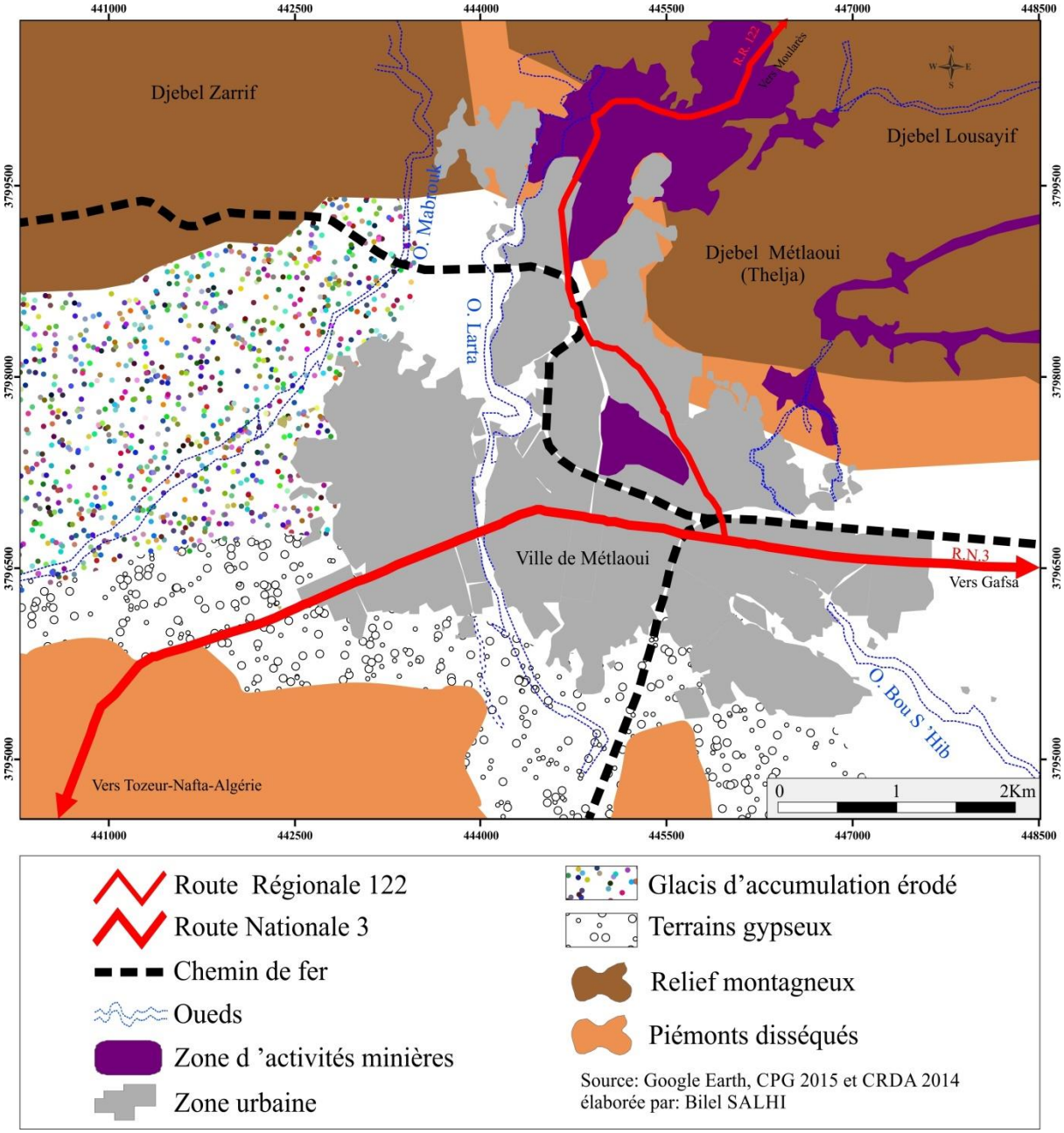
La ville de Métlaoui est nommée aussi Thelja, soit la première mine installée dans le BMG. Métlaoui est la première des quatre villes du BMG à tout point de vue. Historiquement, elle est née en 1898. La direction générale des exploitations minières s'y est installée. La ville a été déclarée, officiellement, le 11 septembre 1908, son périmètre communal a été élargi par un décret datant du 25 Mai 1978.

1.1. Localisation de la ville

À 40 Km au sud-ouest de la ville de Gafsa, la ville de Métlaoui est le cœur du bassin minier. Bien que la ville soit placée sur le trajet Gafsa-Tozeur-Nafta en même temps que sur la route Tunisie-Sahara Algérien, elle ne tire pas autant de profit de tout son contexte de ce qu'elle devrait. La ville est située sur un terrain limité à l'est et au nord par des élévations remarquables[37], à l'ouest par un glacis gypseux, elle est traversée par l'oued Métlaoui et ses affluents Larta (ou Jahcha). C'est une série de ravins déchiquetés par les marnes et les argiles recouvertes par le gypse (carte 20).

La ville se présente ouvertement par sa situation en bas du Chaînon de Métlaoui-Rdeyef. Le relief est collinéen et montagneux, constitué par la pointe de Kchereb, et est prolongée au nord par une zone montagneuse également, correspondant au domaine minier (gisements de phosphates), une autre zone du même type s'étend vers le sud, avec une plateforme géologique différente. Sa position géographique en bas du Djebel et au début des dépressions, lui confère un double rôle, l'un qui est rattaché aux activités minières et l'autre qui est rattaché aux activités agricoles notamment l'arboriculture et le pâturage qui s'étendent à une certaine distance de la ville (région agricole nommée Krichet Ennaâm). Le paysage de "bad-Lands" entoure la ville avec le manque remarquable de couvet végétal. Les oueds traversent la ville du sud vers le nord et orientent aussi bien les rues que le tracé de la voie ferrée. Ce sont des anticlinaux, très fortement érodés, disséqués et impropres à l'urbanisation.

[37] Djebel Métlaoui (327m) et Djebel Lousayef (433m) au nord-est et Djebel Zarrif (647m) au nord-ouest.



Carte 20 : Présentation du site de la ville de Métlaoui

(Source : Google Earth 2015, CPG, 2015 et CRDA, 2014)

1.2. Genèse de la ville

La genèse de la ville est étroitement liée au développement des mines de phosphate, les investissements de la Compagnie suivent de près l'évolution de la production marchande.

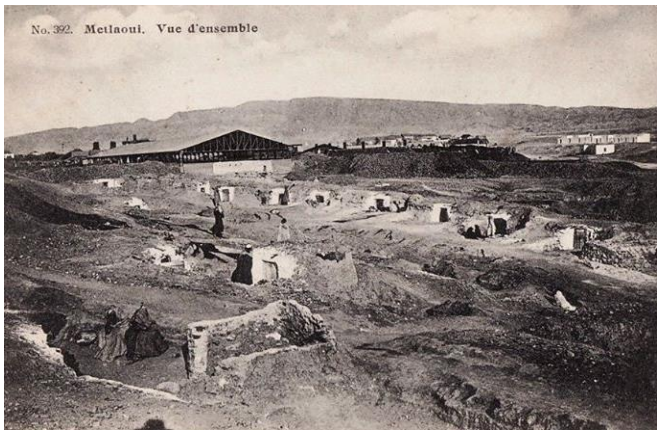
1.2.1. Avant 1940 : phase d'installation urbano-minière

Après la découverte de phosphate en 1885, à quelques kilomètres au pied du Djebel Thelja (ou Djebel Métlaoui), la ville connaît un fort développement. L'installation des infrastructures industrielles commence en 1886 avec la concession accordée à la Compagnie des Phosphates et des Chemins de Fer de Gafsa et la construction de la ligne de chemin de fer

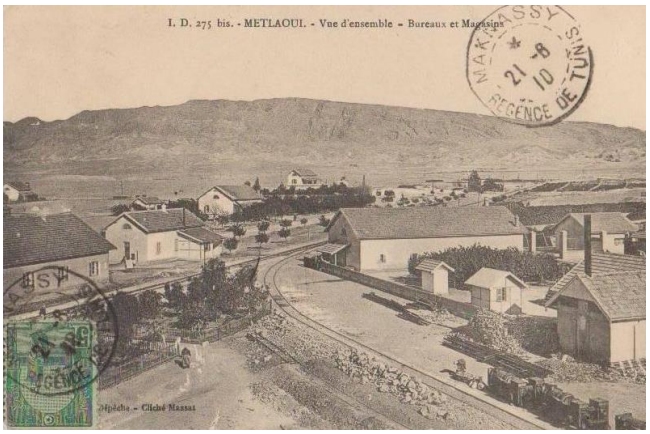
entre Métlaoui et Sfax (243 kilomètres) permettant d'acheminer le minerai vers le port pour l'exporter. Sans attendre l'achèvement des travaux de réalisation du chemin de fer, les travaux commencent à la fois à Djebel Lousayef où se fait l'extraction et à Métlaoui où un terrain moins accidenté va se prêter au séchage et au stockage du phosphate. En 1899, les travaux industriels sont très avancés, notamment la voie ferrée qui arrive à la ville. En effet, la première expédition de phosphate vers Sfax fût effectuée dès la fin de 1899. Les implantations industrielles et urbaines en deuxième lieu sont déterminées en fonction de deux principales contraintes;

- ✓ **La contrainte industrielle :** les circuits vers les gisements, les extractions minières et les implantations des unités d'enrichissement de phosphate ;
- ✓ **La contrainte anthropique :** la difficulté d'achèvement de la voie ferrée Métlaoui-Gafsa-Gabès où qui vient se brancher, un peu plus tard, la voie ferrée Tozeur Métlaoui.

La période de la 1ère guerre mondiale (1914-1918) correspond sur le plan urbain du ralentissement des constructions entreprises par la Compagnie. Par contre, les villages des migrants locaux en particulier le village tripolitain, se développent rapidement dans des conditions d'habitations précaires. Ce sont des habitats anarchiques et dispersés qui s'étend dans les piémonts disséqués (photo 4.1.). Après les années 1920, les autorités coloniales ont fait agrandir les revenus du phosphate en parallèle avec la construction de la Cité européenne (nommée actuellement Cité *Fillège*[38]) au nord de la Laverie (photo 4.2.) ainsi que quelques logements pour ses ouvriers qualifiés. En outre, la ville connait un développement d'habitats spontanés et non planifiés localisés au sud de la Laverie et aux alentours des cités européennes.



3.1. : Gourbis des indigènes (approximation 1910)



3.2. : Village de Métlaoui 1910 (appelé petit Paris)

Photo 4 : Noyau urbain de la ville de Métlaoui (Archives Nationales, 1949)

[38] Fillège = Village

1.2.2. Entre 1940 et 1970 : prolifération des habitats anarchiques et ségrégation urbaine

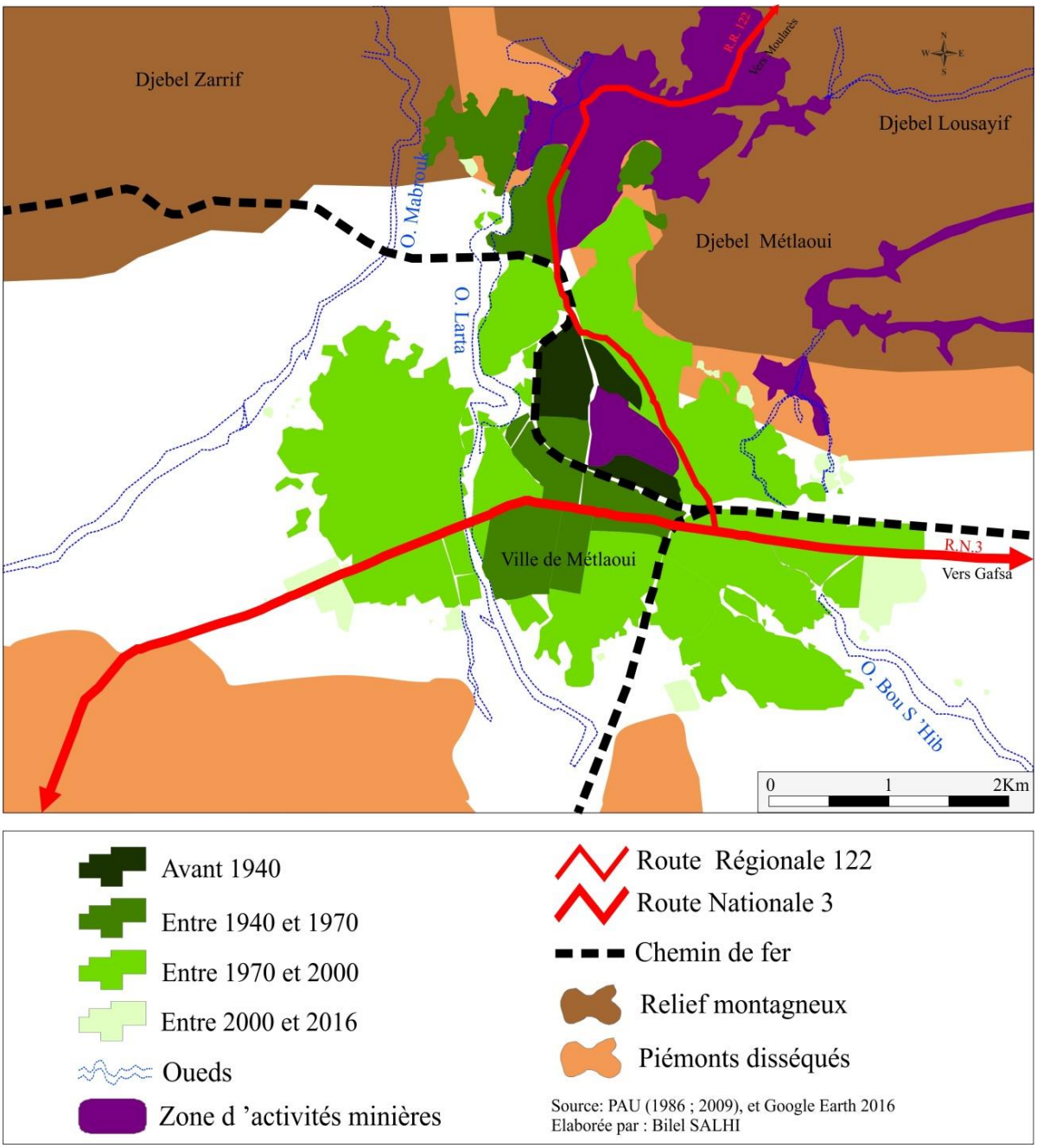
Dès les années 1940, la ville change de visage : la Compagnie revient au sud de la ville pour l'extension de la zone industrielle et deux nouvelles chaînes sont implantées en 1966 et 1968 sur l'ancienne aire de séchage (Amira T., 1971). Il s'agit d'une métamorphose marquée essentiellement par la création d'un nouveau noyau urbain anarchique réparti aux alentours de la RN 3 et les reliefs de Djebel Métlaoui et à la rive gauche d'Oued Métlaoui. De ce fait, la ville a connu deux transformations radicales à double phénomène : asphyxie périphérique et développement du "nouveau site de Métlaoui". L'habitat spontané va asphyxier la ville et dévorer des centaines d'hectares ; un véritable gâchis d'espace. En effet, le contrôle exercé sur les terrains à "construction surveillée" disparait et les vieux Douars (Souafa et Tripolitains) déshérités, continuent leur croissance. Enfin les cités périphériques occupées par Ouled Larta, Ouled Bou Yahya et Ouled Dinar sont le théâtre d'une sédentarisation accélérée. Entre 1963 et 1968 la Compagnie reprend une politique de construction et bâtit le "nouveau Métlaoui" avec 300 logements ouvriers au sud de l'agglomération entre la voie ferrée et la route Gafsa-Tozeur dans une tentative de s'éloigner des zones de servitude minière.

1.2.3. Après les années 1970 : densification de l'espace et faible extension urbaine

L'habitat sous toutes ses formes se développera, et conduira l'agglomération à son état actuel (carte 21). Les extensions urbaines se dirigent vers le sud de la ville sous forme de travaux dirigés par la SNIT[39] et la SPROLS[40] en 1980 et des habitats spontanés dans sa partie sud-est et nord-ouest. Actuellement la ville de Métlaoui couvre une superficie de 1380 ha, de surface urbanisable. Le développement urbain de la ville est sensiblement affecté par la situation foncière et par l'existence de ravins et d'oueds. Les risques d'inondation sont notables lors des précipitations torrentielles.

Les zones d'extension susceptibles d'être urbanisées se répartissent dans les zones ouest, sud et sur la RN°3 et le nord-ouest de la ville, caractérisées par une morphologie moyennement accidentée où on doit tenir compte des coûts d'aménagement. Les extensions, bien qu'elles soient faibles, se dirigent principalement vers les alentours de la RN°3, s'éloignant de l'infrastructure industrielle, dans les deux sens ; vers Gafsa principalement et vers Tozeur secondairement. En revanche, les extensions sont bloquées vers Moularès RR123, vue les servitudes de domaines miniers (emplacement très proche des mines et des stocks de déchets stériles).

[39] SNIT : Société Nationale Immobilière de Tunisie
[40] SPROLS : Société de PROmotion des Logements Sociaux



Carte 21 : Genèse de la ville de Métlaoui

(Source PAU, 1986 et 2009 ; Google Earth, 2016)

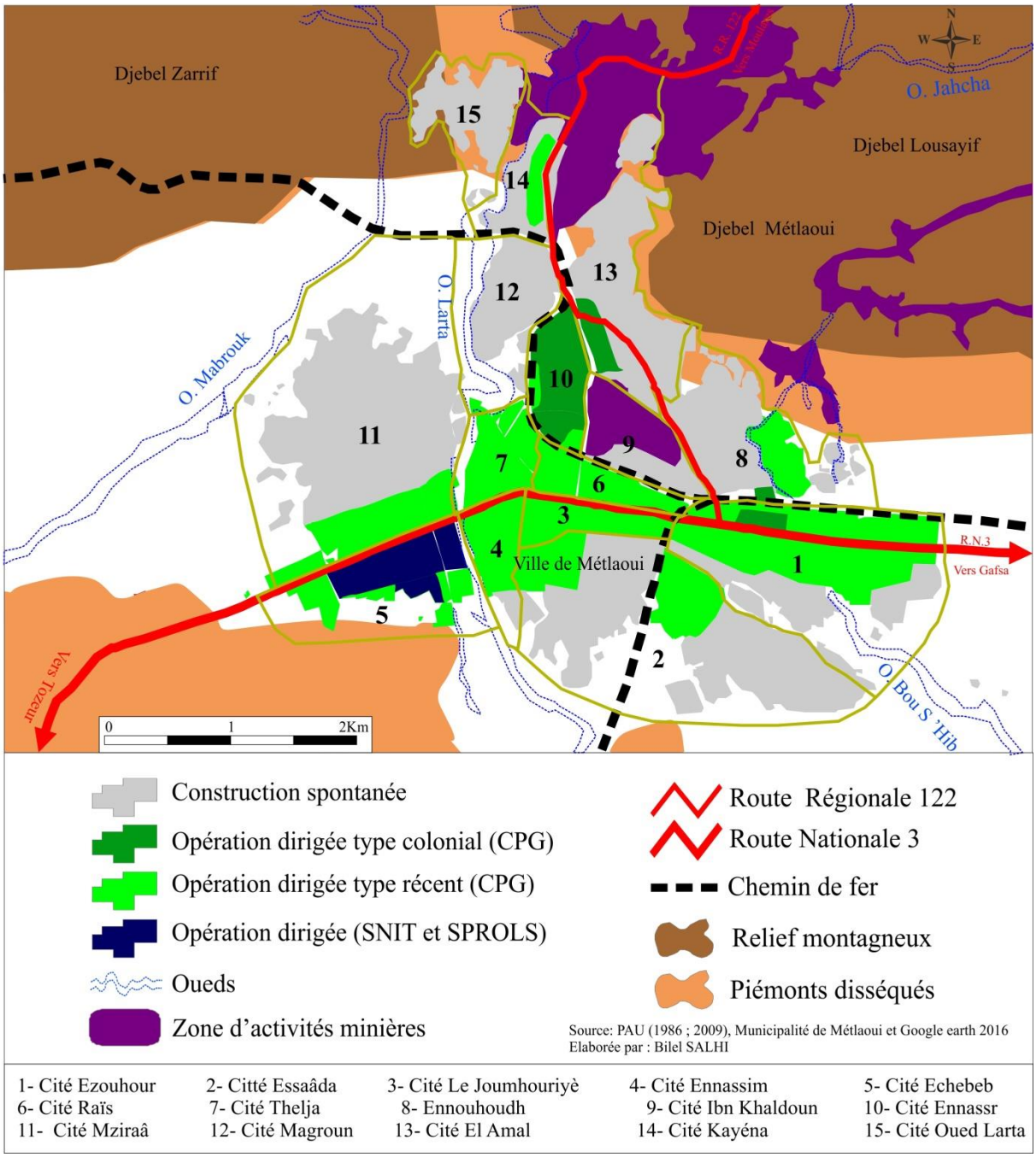
1.3. Armature urbaine de la ville

D'une façon générale, une grande partie des constructions dans la ville de Métlaoui est édifiée sans autorisation de bâtir. C'est une urbanisation illégale dans les zones de servitudes, surtout celles liées aux domaines miniers. En 2016, l'espace bâti de la ville s'étend sur environ 1380 ha dont les zones industrielles de la CPG accaparent 170 ha. Autour de la RN°3 se développent les cités résidentielles ainsi que les zones polyfonctionnelles et les activités tertiaires (commerces et services). Autour de la Route Régionale 122 (RR122) se développent

principalement les activités industrielles de la CPG dans sa partie est (Laveries, zone de séchage et de stockage) et ses administrations dans sa partie ouest (El Borj, Direction d'achat, Centre de Géologie…).

L'étude de la ville de Métlaoui a fait ressortir l'existence de trois pôles et trois centres : deux centres anciens, celui du village nommé actuellement Cité Ennasser, la gare nommée actuellement Cité Ezouhour et un nouveau centre, celui de la municipalité englobant la Cité El Joumhouriyè (ou Cité La République) et la Cité Ibn Khaldoun (carte 22). Ezouhour, l'ancienne ville de Philippe Thomas, est composée essentiellement de cheminots et de très mauvais groupements des habitats à la périphérie. Celui d'Ibn Khaldoun, situé entre les deux premiers, est récent et en pleine expansion. Les cheminements piétons s'organisent entre ces trois centres, qui groupent pratiquement toutes les administrations de la CPG, suivant une équerre dont Ibn Khaldoun constitue la charnière : une branche de l'équerre est constituée par la RN3, une autre par la route qui monte au village et à la seconde zone industrielle.

La boucle ferroviaire encercle la Cité européenne, supportant le trafic du phosphate marchand de Rdeyef et Moularès, découpe la ville en trois entités et pose problème au niveau de l'accessibilité de ces cités. Les cités d'habitations s'articulent en fonction du relief montagnarde et de l'implantation industrielle, suivant quatre grandes parties. D'abord, au centre, entre la première aire industrielle et l'affluent Oued Larta, le village des cadres ou les habitats à armature organisée. A l'extérieur de cette zone réservée, d'autres cités organisées, la Kayéna et Loussayef, au nord d'Ibn Khaldoun. Ensuite, des cités spontanées groupées en bandes continues se trouvent coincées entre la zone industrielle et les élévations, sur les piémonts. Enfin, plus à l'extérieur, existent des cités périphériques, éparses ou serrées : Cité Magroun, Cité Mziraâ et Cité Oued Larta occupées par les tribus Ouled Mbarek et Ouled Dinar. Les services administratifs et de base se répartissent en fonction des trois centres qui sont : Ennasser, Ezouhour et Ibn Khaldoun. Ce dernier englobe la plupart des équipements tendant à se regrouper autour de la municipalité de Métlaoui. Quant aux autres zones d'habitats anarchiques au sud-ouest de la ville, elles sont implantées pour la plupart, sur les terrains gypseux.



Carte 22 : Armature de la ville de Métlaoui

(Source PAU (1986 ; 2009), Municipalité de Métlaoui et Google Earth 2016

La Cité Ennasser est formée par un type nommé localement "Bazinga et moderne", construit par la CPG est de type colonial (photo 5). Les lots de type Moderne sont conçus pour les cadres par la CPG (les ingénieurs), il regroupe aussi le siège administratif de la CPG ainsi que d'autres logements de type isolé avec une trame orthogonale de type continu (20log./ha). Alors que les lots de type Bazinga sont composés par des logements de type continu et jumelé, ils sont conçus pour les ouvriers avec une densité de (34log./ha). La Cité Thelja, s'étend à l'ouest de la RR122, et est réservée aux cadres de la Compagnie dans sa

partie nord, formée principalement de villas. En revanche, la partie sud-est de la même cité est réservée aux ouvriers dont les constructions sont de type jumelés. La Cité Kayéna est constituée en partie par la CPG, les constructions sont des petites villas, conçues pour les ouvriers. L'ouest de la ville au niveau des Cités Mziraâ et Magroun est constitué par des logements isolés, spontanés, dispersés et de très faible densité (2,4log./ha), épousant la topographie du terrain.

Photo 5 : Habitats construits par la CPG de type colonial (Cité Ennasr), extrait Google Earth 2016.

Métlaoui présente aujourd'hui une typologie longiligne particulière qui a été profondément confectionnée par le domaine minier de la CPG, et accessoirement influencée par les oueds taillant la ville. La raison profonde de cet échec tient à l'histoire et à l'utilisation malheureuse d'un site assez judicieusement choisi. Également, cette ville est caractérisée par l'importance des cités anarchiques plus ou moins denses qui forment la ceinture extérieure de la ville avec un accès difficile au centre-ville. La description du cadre urbain a mis en valeur les fortes contraintes du cadre physique déjà cité dans la présentation de la ville.

Similaire à la ville de Métlaoui, Rdeyef souffre aussi d'un mauvais choix d'emplacement de site.

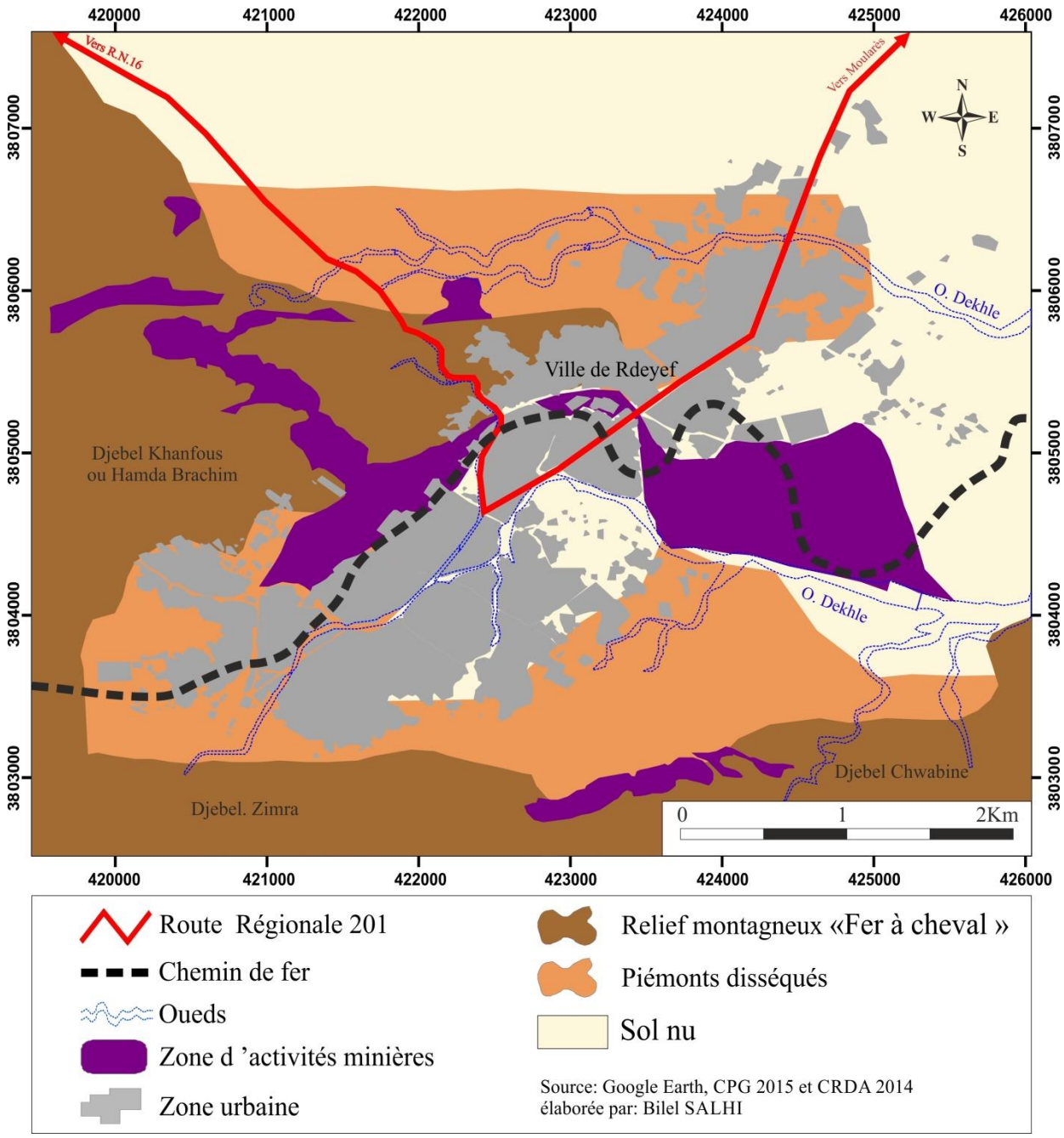
2. Naissance et formation de la ville de Rdeyef « *Khanfous* »

Historiquement, Rdeyef était nommée « *Khanfous* », c'est à dire "le cafard". Le Djebel Rdeyef a donné le nom à la ville minière qui s'implante en 1906. Avant la découverte du phosphate, la région de Rdeyef était plutôt une zone de passage qu'une zone de pâturage, et pratiquement dépeuplée auparavant. L'exploitation minière a pu créer un noyau urbain et donner à la région une activité permanente. Rdeyef, au début de sa création est décrite ainsi « n'est ni cité, ni village. C'est un ramassis, un campement administratif, une banlieue sans ville… Rien que des mécaniques, des fils électriques, des wagons et la montagne aveuglante qui pilonne au soleil vertical » (Chantre B., 1909)

2.1. Localisation de la ville

Rdeyef est située à environ 50 km au nord-ouest de la ville de Gafsa. On accède à la ville par la route régionale RR201 qui relie à Gafsa via Moularès. La ville se présente ouvertement par sa situation à l'extérieur de l'arc de cercle formé par les affleurements de phosphates nommée FCP, « soit Fer à Cheval Phosphatier ». Elle est entourée par les piémonts des chaines montagneuses "de Rdeyef" au nord, de Khanfous à l'ouest, de Zimra et Chwabine au sud (carte 23). Par sa forme en cul de sac, la ville constitue la limite de l'axe ferroviaire vers Sfax. Sa position géographique en bas du Djebel et au début des dépressions lui confie un double rôle : le premier est rattaché aux activités minières et le second est rattaché aux activités agricoles notamment l'arboriculture et le pâturage.

Du coté morphologique, la ville est implantée dans l'axe d'un synclinal, ses piémonts disséqués, très courts au nord et beaucoup plus larges au sud, bordent la plaine alluviale de l'oued Dekhle qui reçoit les eaux descendant des puissants abrupts des montagnes. Sur la vaste plaine synclinale, favorable partiellement à l'extension urbaine, la ville exploite des couches de phosphate régulièrement disposées dans un repli du chaînon.



Carte 23: Présentation du site de Rdeyef

(Source : Google Earth, CPG, 2015 et CRDA, 2014)

2.2. Genèse de la ville

L'évolution de la ville de Rdeyef est étroitement liée au développement des gisements de phosphate ; la ville prend le visage caractéristique minier colonial (Brunet R., 1958). La décision d'ouvrir l'exploitation est prise dès 1904. Deux ans après, se produit le démarrage des installations industrielles et urbaines ainsi que l'exécution de 42 km de voie ferrée reliant Métlaoui à Rdeyef.

2.2.1. L'installation de la ville (de 1906 à 1920)

Après les rapides installations et une montée en flèche de la production minière jusqu'à la 1ère guerre mondiale, les investissements s'arrêtent et l'habitat spontané se développe massivement durant cette période. La structure de la ville garde sa catégorie sociale des habitants qui se subdivisent, comme la ville de Métlaoui, en trois étages selon l'équation suivante[41] ; il y a trois rues, trois catégories, trois classes sociales : les maitres en haut, les contre maitres à mi pente, les autres dans le fond (PAU Rdeyef, 1989).

Après installation des infrastructures minières, la création des équipements publics et l'installation des réseaux ont donné une nouvelle dimension à la ville. En parallèle, les premiers ouvriers qui sont Marocains s'installent au pied du Djebel (à l'est de la cité nommée actuellement Abdelkader). Les premières constructions européennes se manifestent par le Borj qui occupe le terrain le plus propice et correspond à la plaine alluviale, limité au nord par la montagne et au sud par oued Dekhle. L'année 1909 se caractérise par l'ouverture de la voie ferrée qui définit une longue épine dorsale divisant le terrain constructible de la rive gauche de l'oued en deux unités ; au nord s'implante l'aire industrielle et au sud de la voie ferrée. Ils sont édifiés les chantiers d'habitations de la Compagnie.

2.2.2. Développement de l'habitat spontané (de 1920 à 1960)

Entre 1920 et 1940 : cette période se caractérisée par le développement de la production phosphatière en parallèle avec l'extension de ville dans une forme de ségrégation entre habitats planifiés réalisés par la Compagnie et habitats anarchiques réalisés par les autochtones. La Compagnie a mis l'accent sur le gain économique des phosphates marchands. Elle se tient à quelques agrandissements industriels. En parallèle à la construction des infrastructures minières, a lieu la construction en nombre limité d'habitations dans la Cité européenne pour ses cadres et évidemment une poussée formidable de l'habitat spontané-compact à l'est de la zone industrielle. La ville se structure de façon de plus en plus désordonnée (photo 6), les extensions suivront plus ou moins le déplacement du gros des exploitations vers le sud. Une poussée considérable répartit les cités sur une base ethnique : les habitats tripolitains s'étendent considérablement vers le sud et l'accroissement spontané des habitats soufis de l'autre côté de l'ouest de la voie ferrée.

Entre 1941 et 1960 : l'année 1940 est marquée par l'apparition d'un noyau d'une zone polyfonctionnelle centrale, appelée "*Souk-Rdeyef*". Différentes cités habitées par des étrangers (les Soufis, les Tripolitains et les Marocains) se sont implantées tout autour du centre urbain

[41] Décrit par George Duhamel dans "le prince Jaâfar"

de Rdeyef. Une aire de stockage s'est installée près de la Laverie actuelle. Mais la crise économique mondiale a diminué fortement la production de phosphate.

L'année 1950 connait de nouveau la mise en service de l'usine d'enrichissement qui contribua à relancer l'activité de la mine. En outre, il n'y a pas eu de changement notable du village contre la prolifération des habitats groupés nommés "Houmet Souk", dont l'extension va rapidement se faire vers le sud. Dix ans après, se produit la construction de la Cité La Gare à l'est sur la piste, dont les premiers collectifs horizontaux amorcent le déséquilibre de la ville qui va s'accentuer après une dizaine d'années.

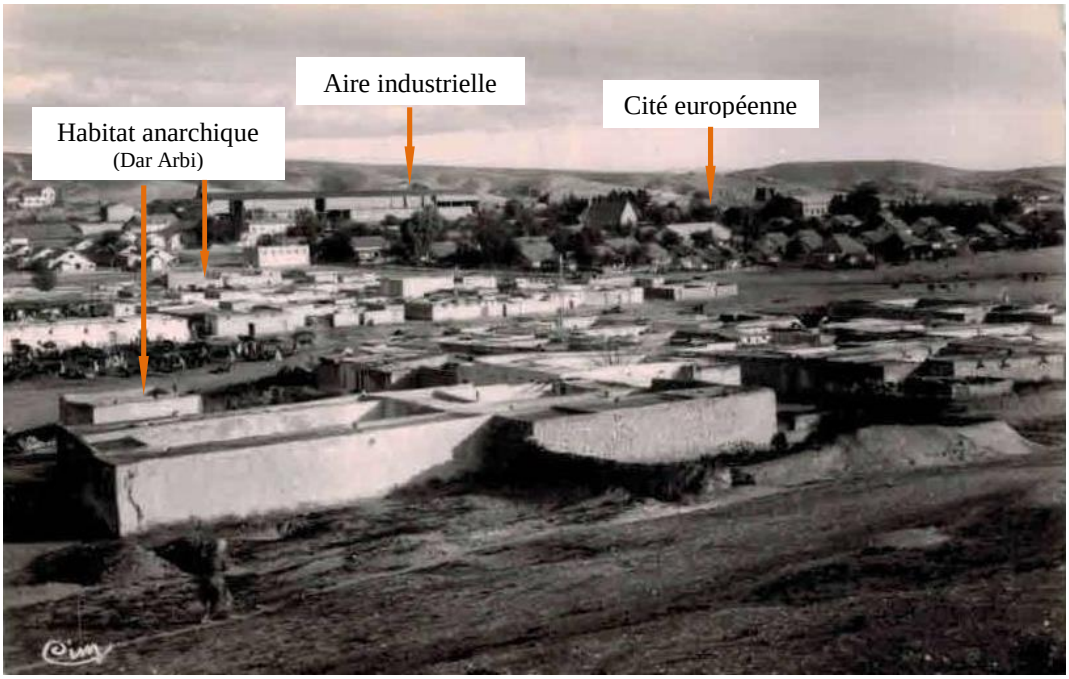


Photo 6 : Vue générale de la ville de Rdeyef (1960),

(Source : PAU Rdeyef, 1986)

2.2.3. La réorganisation de l'espace actuel (de 1960 à 2015)

Entre 1960 et 2000 : la période qui suit l'indépendance est marquée par quelques années d'hésitation de la relance régulière de l'activité, entrainant le déplacement de l'extraction au sud du FCP compte tenu de l'épuisement des mines des tables Nord. Les travaux s'éloignent du centre industriel. Conséquemment, les extensions urbaines se dirigent vers l'est, vers l'ancien site d'exploitation souterraine provoquant ainsi le risque d'effondrement de terrain. Peu après, une reprise en force de l'extraction minière, mènera l'exploitation de plus en plus loin de son siège. Un nombre de cadres européens quittent leurs logements et l'habitat sous toutes ses formes se développe, et conduit l'agglomération à son état actuel. Les travaux s'éloignent du centre industriel jusqu'à Chwabine, au sud-est de la ville. L'exploitation s'est

déplacée au sud du FCP et l'extension du circuit ferroviaire se poursuit. Un développement remarquable des habitats spontanés dans les rives d'oued Dekhle, d'abord dans la plaine alluviale (Souafa, Houmet Souk, Tripolitains) puis sur les piémonts (Abidi), et enfin au sud-ouest (Abdelkader) et au nord-est (Bou Yahya).

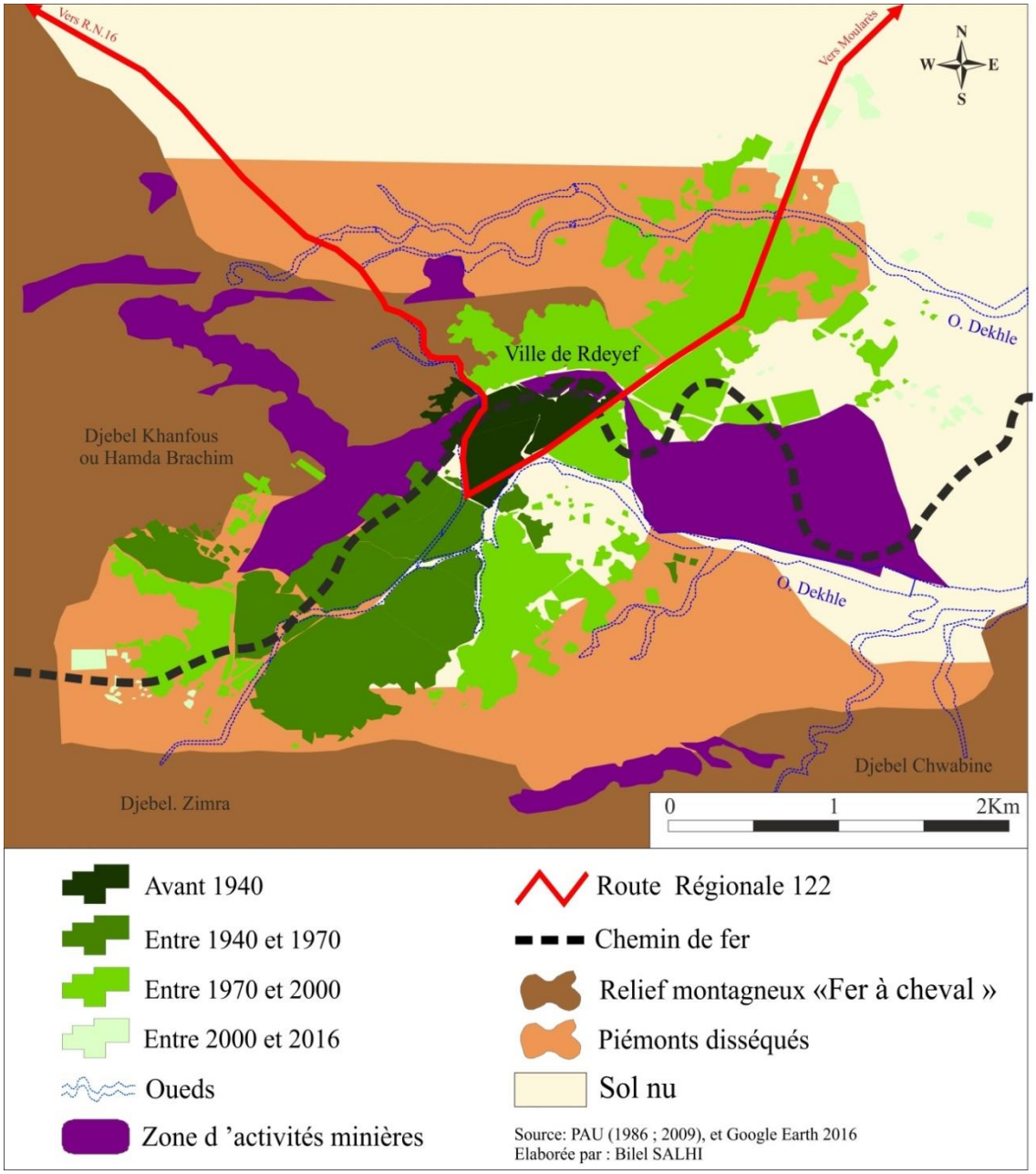
Entre 1965 et 2000 : A l'aide de la municipalité de Rdeyef, la CPG reprend, en 1967, un programme de logements basé sur l'implantation de cent logements populaires au centre et à l'est de la ville à laquelle s'ajoutent l'extension de dix villas à la Cité "Village". Le développement d'habitats épars au nord de Cité Bou Yahya, initialement implantés sur la rive droite d'oued Dekhle, achève la saturation du centre urbain de Rdeyef. L'édification d'un groupement de 250 logements ouvriers affirme l'étirement de la ville vers l'est qui tend à déplacer de plus en plus le poids de l'agglomération vers cette direction (carte 24). En 1965, le nouvel hôpital ainsi que la petite zone polyfonctionnelle qui l'entoure sont venus curieusement s'implanter encore plus loin, à deux kilomètres du centre, accentuant l'étirement de la ville le long de la route de Moularès.

Entre 2000 et 2016 : Cette dernière décennie, la ville a connu une extension vers le nord-est de la ville le long de la route vers Gafsa (photo 7) et une faible extension vers le sud-ouest, en s'éloignant ainsi de la Laverie et ses aires de stockages. L'extension urbaine ne peut s'effectuer que vers le nord et le nord-est de la ville longeant la RR 201, caractérisé par l'occupation des espaces interstitiels.

Photo 7: Extension urbaine au nord de ville, vers la ville de Moularès
(Source : Salhi B., 01-10-2014)

Le PAU Rdeyef, (2009) a proposé une extension susceptible d'être urbanisée sur la versant longeant la ville du côté sud et nord ; celui-ci peut être urbanisé mais avec un coût de réhabilitation assez élevé. La zone de stockage, qui s'étend à l'est de la ville, occupe le terrain

favorable à l'urbanisation. Néanmoins, la demande en terrains constructibles est soulagée car, à l'instar des autres villes minières, le taux d'accroissement annuel de la population est en fléchissement, jusqu'à devenir négatif dans le recensement de 2014 (-1,1%).



Carte 24: Genèse de la ville de Rdeyef

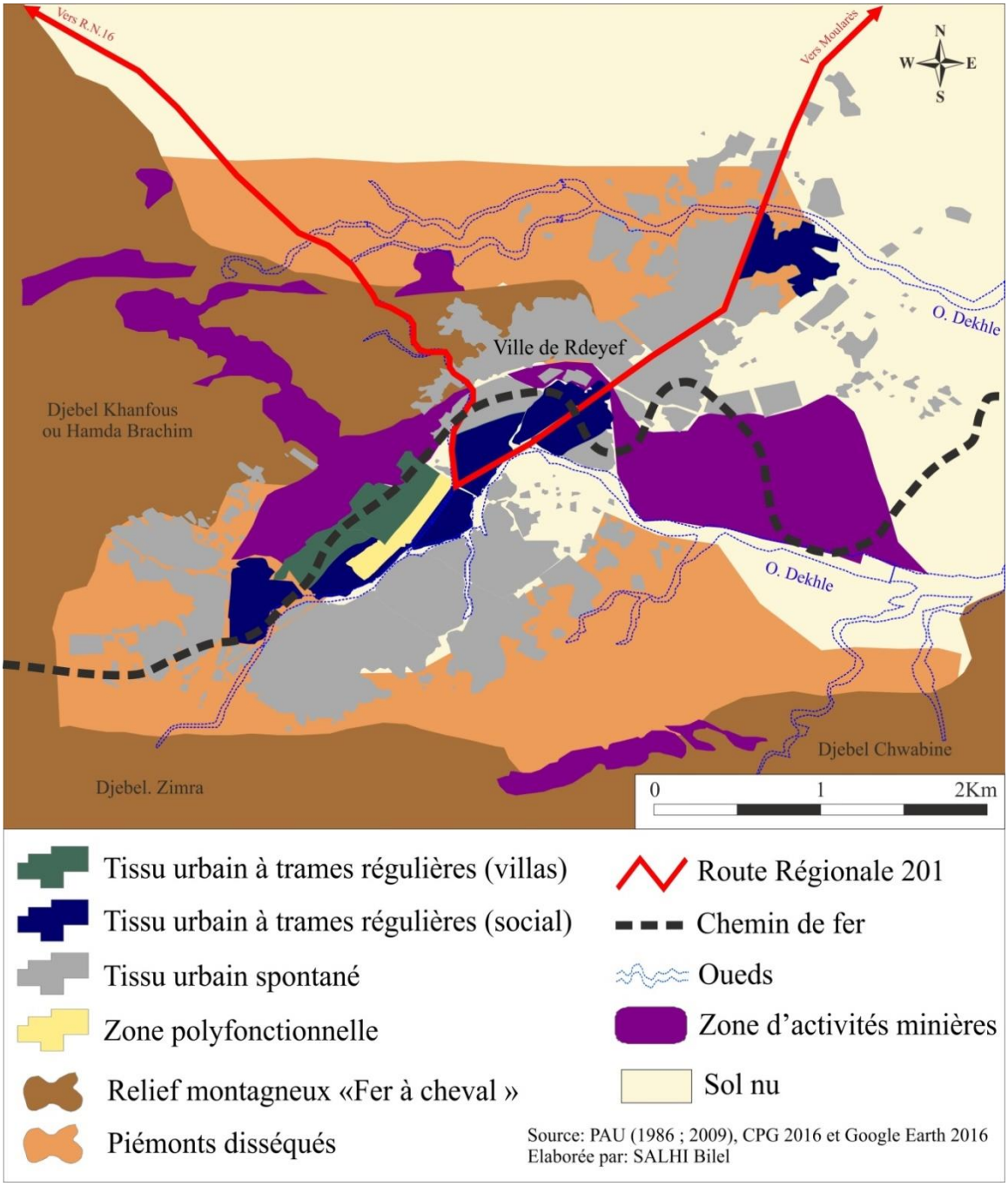
(Source : PAU (1986 ; 2009) et Google Earth, 2016)

2.3. Armature urbaine de la ville

La ville est constituée par une zone industrielle en entourée à la fois par des habitats ordonnés et anarchiques sur les deux rives gauche et droite. Elle est composée de trois entités urbaines qui convergent vers le Souk (ou la zone polyfonctionnelle) de la ville. Ce dernier constitue le point d'articulation des activités commerciales. Rdeyef est un relais régional

accusant un déséquilibre marqué par nuance de saturation de l'activité minière et une carence flagrante en matière d'équipement et de service.

La ligne ferroviaire, par sa forme en cul de sac, partage le terrain constructible en deux compartiments ; la partie sud, plus large, avec des habitations de type villas (carte 25), alors que la partie nord, en forme de lisière, a été réservée aux installations minières comme : la recette, les aires de séchage et de stockage, l'aiguillage des voies ferrées,...



Carte 25 : Armature urbaine de la ville de Rdeyef

(Source : PAU (1986 ; 2009), CPG 2016 et Google Earth 2016)

L'implantation de l'infrastructure minière et ses circuits de manœuvres quotidiennes n'ont pas engendré les mêmes difficultés qu'a Moularès et l'on constatera que le réseau ferroviaire est implanté à la limite nord de la ville et ne traverse que deux fois le réseau routier.

Les habitats ordonnés sont répartis dans les villas réalisées par la Compagnie en période coloniale et après l'indépendance et les travaux dirigés de la SPROLS :

✓ **Les villas européennes** prennent le visage caractéristique minier colonial (photo 8). La Compagnie construit un groupe de logements (40 logements) pour ses ouvriers bénéficiant de la rive gauche de l'oued Dekhle loin au fond de la vallée ;

✓ **Les habitats ordonnés** sont caractérisés par une trame urbaine régulière et orthogonale et les dessertes sont également ordonnées. L'extension illégale des ilots et des logements ont réduit fortement la dimension des voiries de circulations. Les habitats ordonnés occupent la Cité Village au centre et dans l'est de la ville (Rdeyef-Gare et Cité SPROLS)

Photo 8 : Cité "Village" à l'état actuel

(Source : Salhi B., 07-07-2014)

Les habitats anarchiques se présentent comme un amalgame qui ne réponde à aucune géométrie et dont la situation foncière n'est toujours pas claire. Ils forment une ceinture autour des villas européennes. Une large bande d'habitat inorganisé, spontané-compact, suit la rive droite, elle est composée de trois cités : Souafa, Houmet Souk et Tripolitains. Ce sont des groupements lignagers des cités à caractère tribal : Ben Oun, Abidi, Bou Yahya. Plus loin, une vaste ceinture de cités périphériques, inorganisées s'étalant au-delà de la voie ferrée où sont dispersés quelques habitats rudimentaires. De ce fait, la relation inter-cité est quasiment absente, vu le manque de route ou de piste reliant ces cités. Seul un petit espace interstitiel, occupé par des zones vertes, est à signaler au nord et au nord-est de la ville.

La facilité d'accès au foncier, renforcée par le faible contrôle de la municipalité, ainsi que les catégories socio-culturelles de ces habitants sont des paramètres qui ont encouragé la juxtaposition horizontale des logements individuels spontanés à typologie groupée ou séparée. Nous pouvons dire que l'armature urbaine de Rdeyef est relativement mieux disposée que la ville de Métlaoui.

L'existence de Rdeyef est consécutive à l'essor des revenus de la production, pourtant la ville est localisée dans un cul de sac. Les lotissements et la zone industrielle sont particulièrement mal situés l'une par rapport à l'autre, en fonction des vents dominants. Le centre polyfonctionnel est moyennement équipé et bien localisé par rapport à l'ensemble de la ville. Les cités périphériques, en majorité anarchiques, sont véritablement dépourvues de tous les équipements, sans doute jonction malaisée dans le lit de l'oued Dekhle. Rdeyef est une ville étalée, où la construction verticale est rare, voire inexistante.

3. Naissance et formation de la ville de Moularès (la mère des mariés)

Moulares, littéralement : la mère des mariés, d'après la légende selon laquelle sept mariés dans leurs palanquins et leur cortège auraient disparu dans l'un des étangs de la gorge dominée par Djebel Stah ou "Stah Essaoudda".

Dernier né des trois grands sièges miniers[42], Moularès possède des installations industrielles qui se sont implantées après la 1ère guerre mondiale bien que le gisement ait été pourtant acquis en 1906. Les objectifs commerciaux des autorités coloniales ont retardé l'exploitation. La ville était dépendante de Rdeyef, depuis sa création et jusqu'aux années 1950, elle fut érigée à la fois en commune et siège de délégation en 1956.

3.1. Localisation de la ville

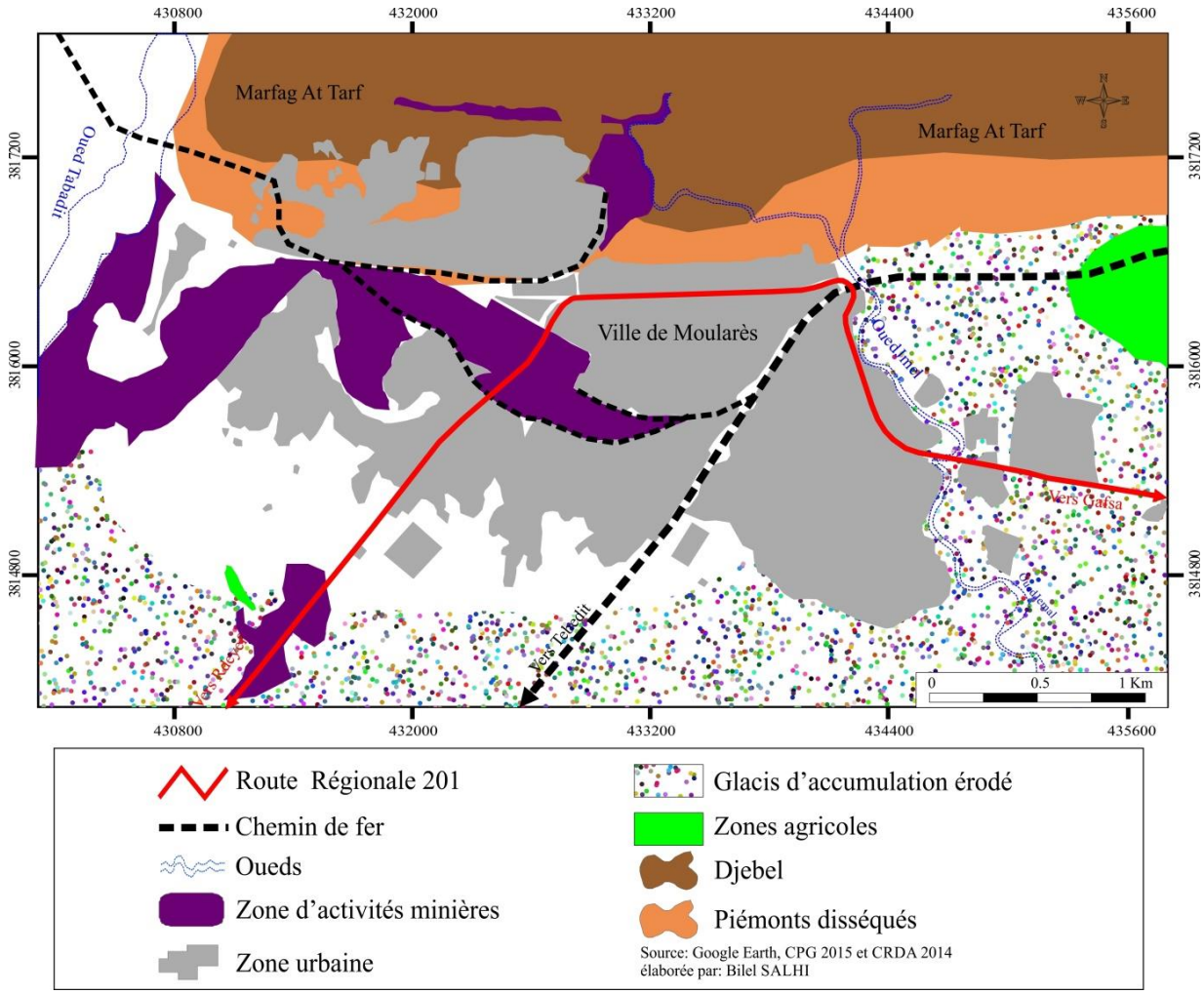
À 50 km à Ouest de la ville de Gafsa, la ville de Moularès est placée sur le trajet Gafsa-Tozeur-Nafta en même temps que sur la route Tunisie-Sahara Algérien. On accède à la ville de Moularès par la RR201 qui intersecte la RN3 et relie Tozeur à Gafsa en passant par Métlaoui ou directement par la nouvelle voie nommée "Stah" qui relie la ville de Gafsa à Moularès en passant par les chainons de Djebel Ben Younes.

Le cadre physique est constitué essentiellement d'un glacis d'accumulation limité au nord par une barrière accidentée. Ce dernier est constitué, dans sa partie ouest, par des piémonts assez pentus et dans sa partie Est par un relief montagneux très accusé et inurbanisable (carte 26). La ville a été fondée sur le flanc sud de Djebel Stah (roches très meubles), appelé par la suite

[42] Mdhilla n'a été considérée comme siège minier qu'après 1924

Djebel Moularès, à l'est de oued Tebedditt. La plaine alluviale de cet oued permet à la ville d'avoir une ouverture pour se développer, contrairement à Rdeyef qui est enclavée.

La ville de Moularès est à l'extérieur de l'arc de cercle formé par les affluents de phosphates et sa situation se présente dans de bonnes conditions d'accès (PAU Moularès, 1998). Le confluent est assez loin pour que ce dernier puisse reprendre l'érosion de ses berges, après avoir déposé son surplus de charge ; cela explique que les lits des oueds sont souvent entaillés assez profondément.



Carte 26 : Présentation de la ville de Moularès

(Source : Google Earth, CPG 2015 et CRDA 2014)

3.2. Genèse de la ville

La ville de Moularès se singularise, par rapport aux autres villes minières, par la construction simultanée de la Cité européenne et les cités des mineurs, mais séparées l'une de l'autre. La Compagnie a pris sérieusement en compte les problèmes de l'instabilité de la main-d'œuvre.

3.2.1. Avant 1930 : L'installation de la ville

L'installation de la ville est caractérisée par deux phases principales qui sont : l'acquisition du gisement (1902-1908) et la mise en réserve jusque 1918, suivie de l'installation d'un noyau urbain (1918-1930). L'implantation de l'aire industrielle a engendré l'installation des différents réseaux de base ; les circuits du phosphate des mines vers le siège dans le noyau urbain de la ville, ensuite vers Métlaoui. L'aire industrielle et le village sont implantés entre les recettes et la voie ferrée. Les installations industrielles commencent par l'aire de séchage en premier lieu, d'une dimension (450×800m). Puis, la cuve de stockage, qui emmagasine dans les années 1920, 17000 tonnes de phosphate marchand.

Bien que Moularès soit la première ville minière où le village d'ouvriers ait été implanté en même temps que le village des européens, le souci de ségrégation est flagrant. La zone réservée au village pour les cadres européens (130 logements) est une zone libre et encadrée où l'orthogonalité des trames et l'ordonnancement des logements sont stricts, suivant l'orientation des voies de l'aire industrielle et de la ligne de Tebedditt. Par contre, le village ouvrier a été implanté à l'écart entre l'aire industrielle, la voie ferrée de Henchir Souatir et les piémonts du Djebel Moularès. Quelques 20 à 30 logements, de l'autre côté de la voie ferrée, au nord, voient le jour sur les premiers contreforts du Djebel. La trame est alignée sur la voie ferrée en question : c'est le village ouvrier de Koceîla, bien séparé du village européen.

3.2.2. Entre 1930 et 1956 : l'implantation de l'habitat, un souci de ségrégation

Moularès a connu une faible transformation du point de vue industriel et urbain (quelques tentatives isolées) qui ne reflètent pas l'esprit d'organisation et le push de départ : à l'image de celles des autres sièges, ces derniers ont plutôt "un trait de laisser-aller". Cela est dû principalement à la période de crise mondiale de 1928-1930. Une urbanisation anarchique de type spontané et semi-traditionnel à caractère ethnique occupée en majorité des ouvriers non qualifiés de la compagnie (niveau tâcherons). En outre, les stocks de stériles apparaissent avec une certaine indécision et se trouvent déportés à l'ouest de "Douar Nesla"[43]. Une voie ferrée vient compléter l'installation en confinant les habitations par le sud.

La fermeture de la recette ouest en 1930 et l'ouverture d'une autre à Henchir Souatir, l'expédition du minerai par le port de Sfax à partir de 1941 au lieu de celui de Sousse, ont bouleversé l'organisation initiale des cités par rapport aux équipements miniers, aux voies ferrées et aux aires de séchage et de stockage (Chandoul S., 2010). En effet, la naissance de l'habitat spontané vient se greffer au nord, sur les logements ouvriers de Koceîla. Aussi

[43] Nesla est le noyau d'une cité marginalisée et polluée jusqu'à maintenant

l'extension spontannée de Nesla au sud de l'autre côté de l'aire de séchage, reste encore cantonnée en haut de la pente. Il s'agit d'un habitat spontané compact et groupé (photo 9), utilisant le minimum de terrain qui est strictement la propriété de la Compagnie.

Après la Seconde guerre mondiale, une autre forme d'habitat commence à se manifester. Ce sont des habitats épars, dans le Cité de Bou Yahya qui se prolongent au sud et à l'est de la ville, bien que la direction minière tende à limiter l'anarchie et améliorer les zones habitées (même procédure pour les autres villes minières).

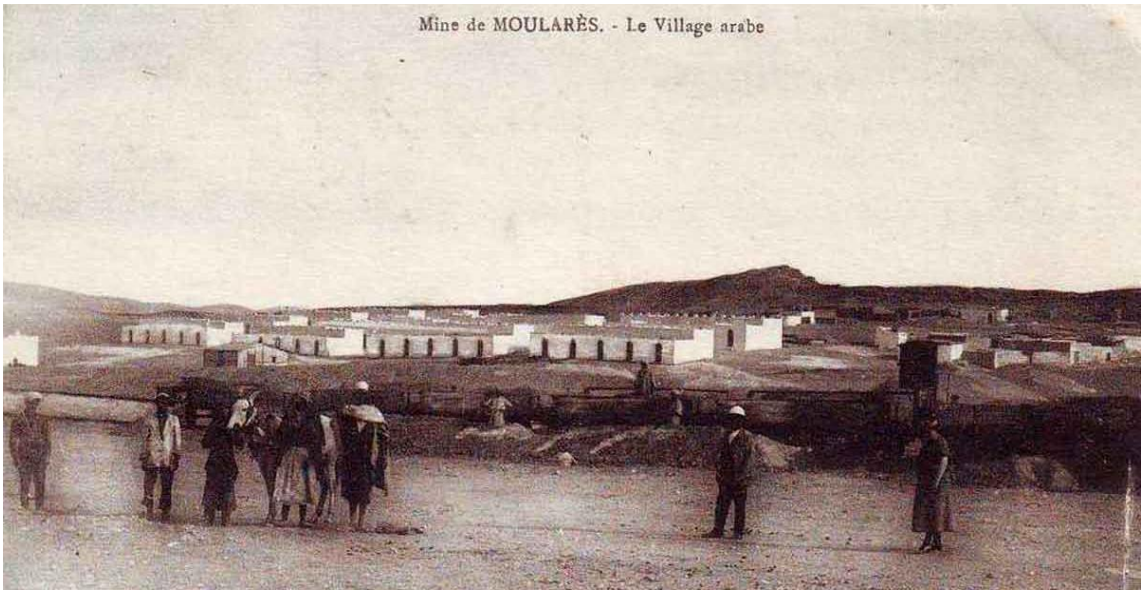


Photo 9: Mine de Moularès, le village arabe (1937)

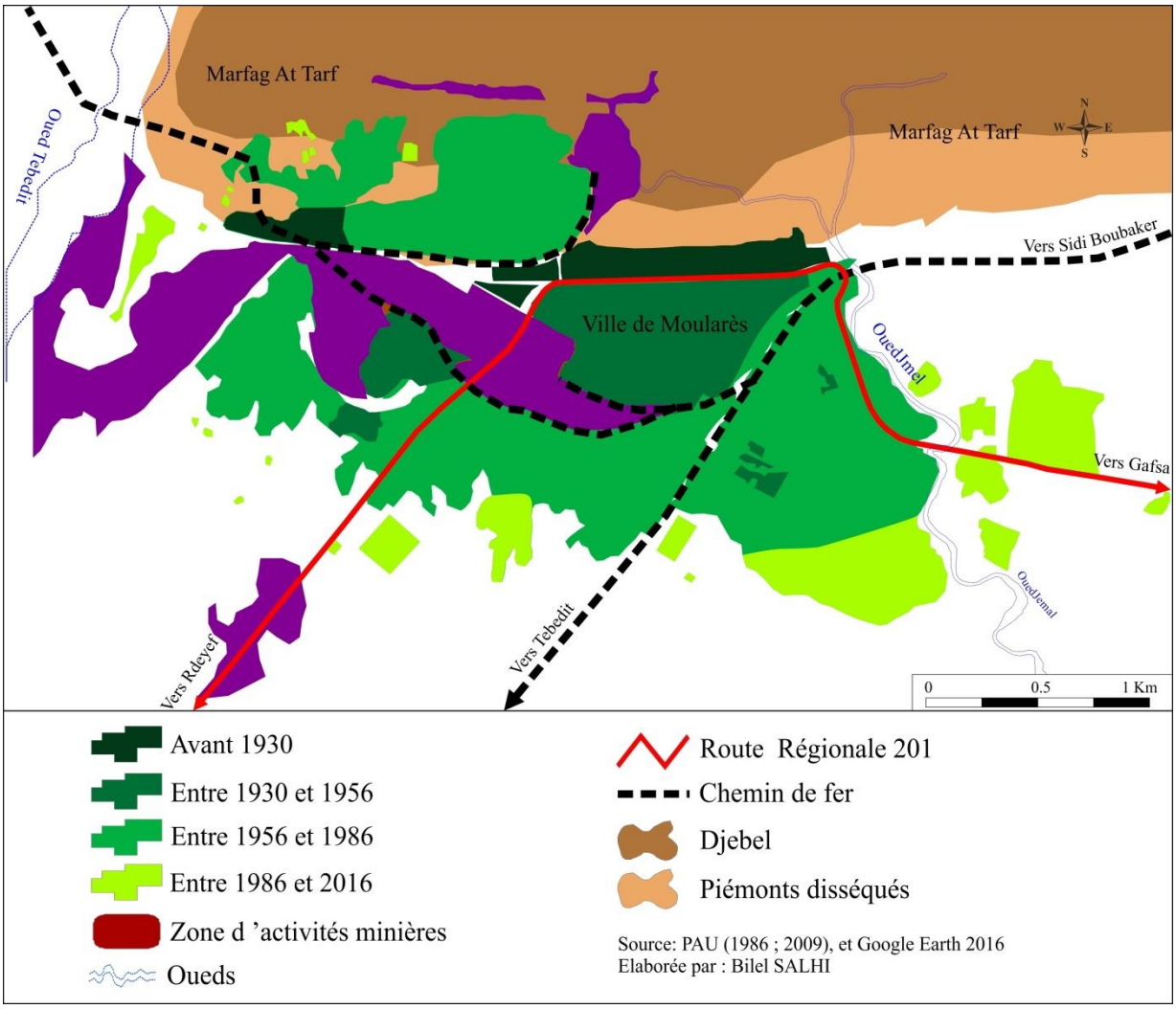
(Source : Archives Nationales, 1949)

3.2.3. Période d'après l'indépendance (1956), la densification des cités anarchiques

Durant 30 ans (de 1956 à 1986), la ville a connu un véritable développement, un peu lent au début de l'indépendance mais nettement remarquable de 1965 jusqu'aux années 1980. La métamorphose est marquée essentiellement par la création d'un nouveau noyau urbain, plus ou moins planifié selon une trame orthogonale simple couplée avec la prolifération de l'habitat spontané qui n'arrive pas à s'enrayer au sud-est. Il s'étale essentiellement le long de la ligne ferroviaire et à l'ouest de l'oued Jmel. La nouvelle extension urbaine, réalisée au début des années 1980 et qui s'étend sur 62 ha, est équipée de quelques infrastructures de base mais qui ne prend pas en considération les besoins des habitants.

Après 1986, les extensions urbaines se rapprochent de plus en plus du domaine minier (carte 27), et même de certains centres miniers classés actuellement comme dangereux d'après l'ANPE. Les extensions se dirigent lentement vers le sud-ouest de la ville et vers le nord-ouest dans les élévations (gisement Table Nord). Environ 80% des voies projetées de PAU de

1986 sont envahies par les constructions anarchiques. L'extension est contrariée par oued Tebedditt à l'ouest et par les domaines phosphatiers de la Compagnie au nord, outre la situation foncière. Le plan d'aménagement en cours (PAU Moularès, 2009) ne prévoit pas de zones d'extensions urbaines sous la contrainte du relief qui nécessite des coûts supplémentaires d'aménagement. Il a été interdit de construire en dehors des zones spécifiquement aménagées afin d'éviter tout risques d'inondation, de glissement de terrain ou d'éboulement. Une grande partie de ces zones ne peut être urbanisée vu son emplacement très proche des zones minières dangereuses. Alors quelques habitats s'étendent le long de la RR201 vers Rdeyef et vers Gafsa sont des signes du sens des extensions urbaines non planifiées et en dehors de limite de PAU actuel.



Carte 27 : Genèse de la ville de Moularès

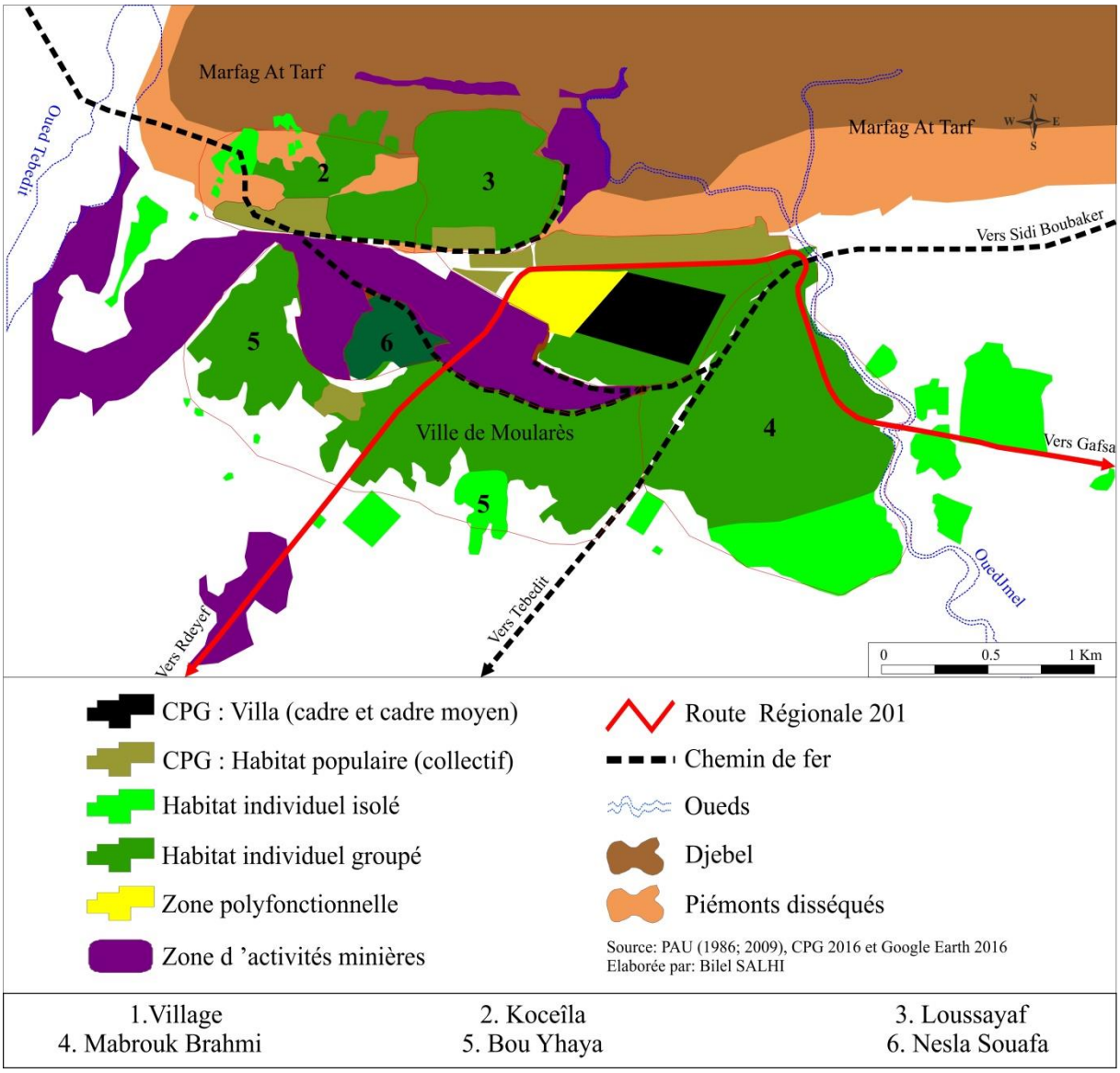
(Source : PAU (1986 ; 2009) et Google Earth 2016)

3.3. Armature urbaine de la ville

La ville est composée de trois ensembles distincts l'un de l'autre : la zone industrielle au centre, le village (ou Cité Coloniale) couplé avec les cités ouvrières, et les habitats anarchiques à la périphérie de la ville. Le village et l'aire industrielle sont implantés dans une zone plus ou moins plane, alors que les premiers logements ouvriers et anarchiques grimpaient sur les pentes des piémonts. Les équipements dans leur ensemble sont groupés au centre qui se fait difficilement par trois rues d'accès sur la RR201 et par conséquent vers le centre-ville. La zone industrielle se décompose en quatre grandes parties qui bloquent la zone urbanisable. L'aire de stockage, est divisée en deux, au centre et à l'ouest de la ville. L'aire de séchage et les stocks de terrils occupent le plein centre (carte 28), chose qui complique encore plus l'inter relation avec les autres parties de la ville. Les cités composant cette entité ne sont liées entre elles que par des rues sans importance en largeur. L'habitat spontané et inorganisé a proliféré autour de la Cité Koceîla, puis il a gagné sur les espaces environnants avec des densités de plus en plus faibles en allant à la périphérie et sur les pentes. Il s'agit d'un habitat de niveau social très modeste puisque construit par des migrants en quête d'emplois dans la mine (niveau tâcherons). Les constructions se détériorent rapidement car elles ont été réalisées avec le moindre coût.

Les cités s'articulent en fonction des données de relief et de l'implantation industrielle formant trois grandes entités :

- Un triangle, au centre, groupe l'habitat organisé : Cité Village et son appendice au nord de logements ouvriers. L'espace est réservé entre la zone industrielle et le relief montagneux, le village européen est inséré entre des piémonts de la montagne et la voie ferrée;
- A proximité du centre-ville et au nord de la zone organisée de la ville se trouve la cité spontanée et compacte, Koceîla. C'est un groupement qui a été construit sur les piémonts par la Compagnie, mais très vite, un agglomérat de spontané-groupé a surgi l'étouffant littéralement, lui enlevant son caractère organisé. Toute la Cité de Koceîla peut être considérée comme spontané-compact. Une autre Cité spontanée et compacte d'origine Soufi est coincée entre les stocks de stériles et l'aire de séchage, et se trouve complètement isolée dans la zone industrielle : Nesla ;
- Au sud et sud-est, une large zone en arc de cercle, plus à l'extérieur, s'étendent les cités périphériques spontanées-éparses, Bou Yahya et Mabrouk Brahmi. Accrochée à cet ensemble, la Cité Loussayef commence, dans sa partie sud, bien groupée pour se terminer en semi groupée et éparse.



Carte 28 : Armature urbaine de la ville de Moularès

(Source : PAU (1986 ; 2009), CPG 2016 et Google Earth 2016)

La ville de Moularès s'avère fonctionner en deux parties : boucle du nord d'un côté, avec Koceîla, et le souk ; boucle de sud, avec le village et ses équipements. Le nouveau centre, qui tend peu à peu grouper le maximum d'équipements pourra jouer le rôle de charnière. En revanche, ce centre reste lui-même difficilement accessible par l'ensemble de l'agglomération. S'il est en liaison directe avec le village, il demeure complètement isolé des cités de Nesla et Bou Yahya à cause de la zone industrielle. En outre, les cités Koceîla et Mabrouk Brahmi sont isolées par les voies ferrées.

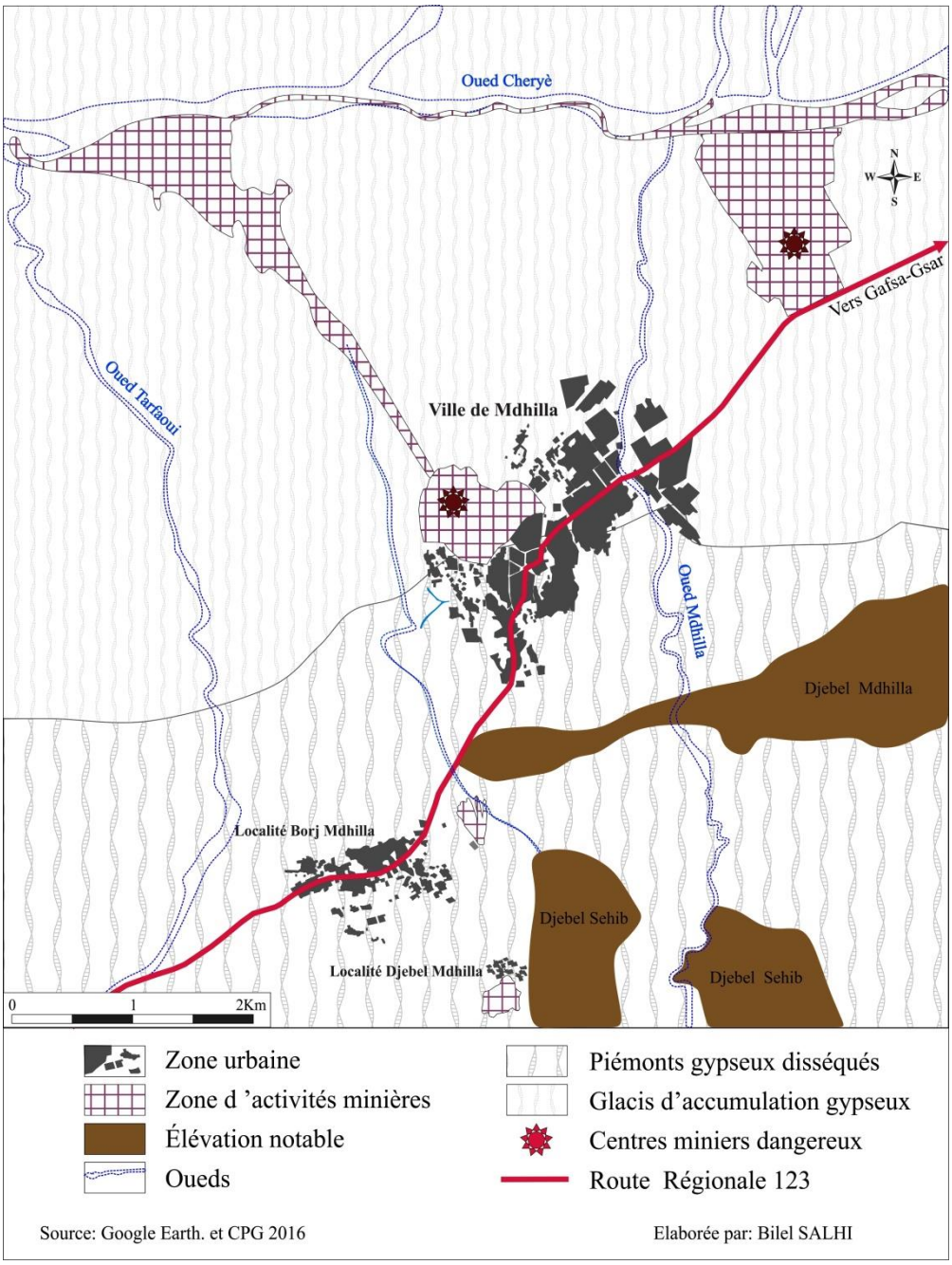
4. Naissance et formation de la ville de Mdhilla (Sehib)

Le nom de Mdhilla est apparu en 1909, après la découverte des gisements de phosphates. Elle a été nommée Sehib au départ qui puise ses racines dans le nom du compagnon du "prophète Souheib Erroumi". La région urbaine de Mdhilla englobe trois entités urbaines ; localité d'El Borj, localité de Djebel Mdhilla et commune de Mdhilla (ou la ville de Mdhilla), chef-lieu de la délégation.

4.1. Localisation de la région urbaine de Mdhilla

La ville de Mdhilla est située à 20 Km au sud de Gafsa, dans un cul-de-sac, accessible par la RR 123. À quatre kilomètres au sud, se trouve une autre localité nommée Borj Mdhilla suivie par une autre localité nommée Djebel Mdhilla. Dans ce contexte, le Groupe Huit et CERES (1976), ont comparé la région urbaine de Mdhilla à trois morceaux dont le schéma général fait penser à une bête difforme. La queue représente le village minier (la ville de Mdhilla actuellement), le long du corps filiforme accroche au passage le groupement du Borj, et la grosse tête faite du village central, désaxée et penchant sur le côté (carte 29).

Sur le plan topographique, la ville de Mdhilla se situe à la limite du piémont disséqué et au glacis d'accumulation sur un vaste plan incliné qui joint l'anticlinal du Djebel Séhib à la plaine de Gafsa. La carapace de gypse, de faible résistance, couvre la région, dénudée de toute végétation, où le minerai de phosphates constitue la seule raison d'être de cette région. Le terrain, coupé d'oueds, dont le plus important est l'oued Mdhilla, affluent d'oued El Maleh, le disloque en plusieurs morceaux.



Carte 29 : Présentation de la région urbaine de Mdhilla

(Source: Google Earth et CPG, 2016)

4.2. Genèse de la ville

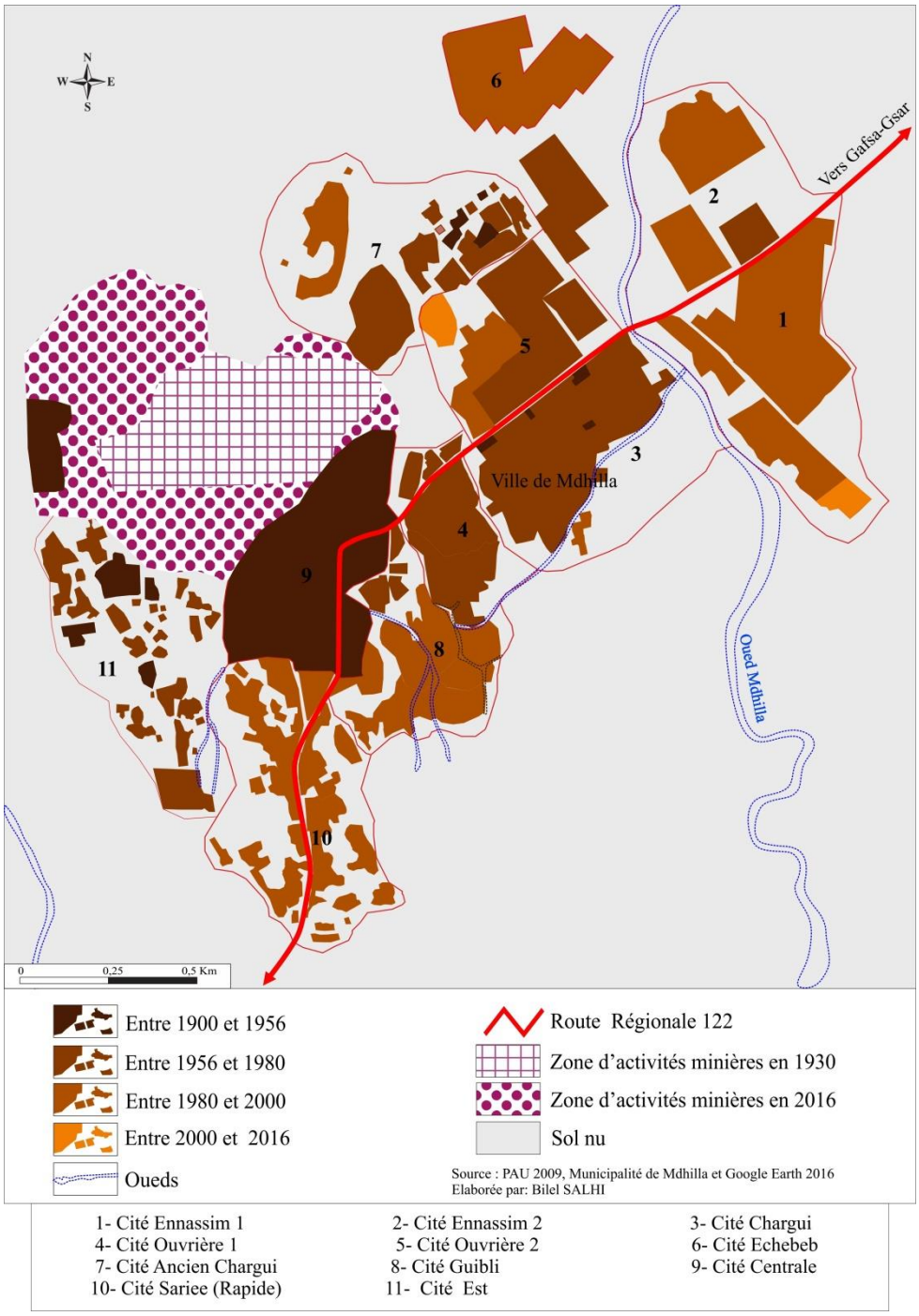
La ville de Mdhilla a été la première à avoir fait l'objet d'un plan d'aménagement (en 1934) dans le BMG, en fonction de son rôle minier et de ses liens avec la ville de Gafsa. Ce plan a été succédé par un PAU en 1979 et actualisé en 2009. L'évolution spatiale de la ville de Mdhilla est passée par 4 phases principales :

La première phase correspond à la naissance de la ville, elle s'étend de 1900 jusqu'à 1930. Le noyau urbain de Mdhilla est limité à la Cité Centrale créée dans les années 1915 à 1920 et

qui forme le noyau industriel actuel de la Mdhilla. Les années 1930 étaient marquées par la création des habitats dispersés à l'ouest de la Cité Centrale ainsi que le premier noyau de la Cité Caserne (destinée essentiellement aux gendarmes). L'étalement des habitats est plus ou moins spontané jusqu'à la mine (Borj-Village). Les travaux de préparations des galeries minières entre 1920 et 1923 consistent d'abord à établir sur quinze kilomètres de liaison ferrée avec la ligne Sfax-Gafsa. La voie rejoint la rive gauche de l'Oued Bayech (au niveau de Gafsa ville) qu'elle longe jusqu'à Gafsa-Gare. A cette époque, l'habitat est très rudimentaire ; la mine a construit, à proximité du Borj, quelques logements de service, une petite caserne et un économat pour les ouvriers autochtones. La grande majorité des mineurs s'installent au plus près de l'exploitation dans des habitations troglodytes.

La deuxième phase s'étend jusqu'à l'indépendance : l'installation du village ne commence qu'après 1923 bien que les plans se soient succédés depuis 1920. Quant aux ouvriers autochtones, leur logement est prévu bien à l'écart, initialement au Borj, où un premier schéma d'implantations importantes, qui date de 1921, connu en 1930, une réalisation partielle. Le problème du manque d'eau demeure pour la mine et les ouvriers, le souci majeur. Les crises sociales vont avoir de grosses répercussions sur l'évolution de l'agglomération particulièrement après 1936. Les problèmes évoqués ressortent des conditions générales de vie, les populations partent chaque année, pour aller chercher dans le nord « de quoi ne pas mourir » (Groupe Huit et CERES, 1976). Reste à signaler que dans les années 1950, la politique coloniale était une politique d'augmentation de la production sans investissements industriel. Ainsi, elle a ignoré complètement toute forme d'extension urbaine planifiée.

Entre l'indépendance et les années 1980 : le début des années 1970, correspond au top du recrutement des employés (ouvriers et cadres) et coïncide avec l'ouverture des carrières d'exploitation (Mzinda et Jallabiyè), sachant que les travaux d'extraction n'étaient pas encore bien mécanisés. La majorité des extensions urbaines sont réalisées dans les années 1960 jusqu'aux années 1980 (carte 30). Dix ans après, une politique de logements, plus prononcée que dans les autres sièges, tente par ailleurs de créer à Mdhilla un motif supplémentaire de fixation. Cent logements populaires s'implantent ainsi, de l'autre côté de l'oued qui limite le village au nord-est. Ils constituent la première tranche d'un important ensemble, particulièrement monotone et désolant, dont 270 logements constitueront en 1967 et 1968 la seconde tranche. Actuellement, ils sont inoccupés sous l'effet des rejets du GCT.



Carte 30 : Genèse de la ville de Mdhilla

(Source : PAU 2009, Municipalité de Mdhilla et Google Earth 2016)

Dès les années 1980 : la ville se caractérise par une densification à la périphérie de la cité Centrale et une négligeable extension urbaine non planifiée par les autorités. Le centre-ville est limité par les affluents d'oued Mdhilla à l'est et au sud-est par la Laverie à l'ouest. La seule extension possible est au nord-ouest, commencée avec l'implantation de 432 logements, mais ces nouveaux terrains sont en réalité séparés eux-mêmes de Mdhilla. « Il s'agirait donc d'une nouvelle agglomération plaquée sur l'ancienne et non pas intégrée » (Chandoul S.,

2010). Les habitats se développent autour de la Cité Centrale selon les axes sud-ouest, nord-est et sur la route de Gafsa. Ce développement confine de plus en plus le grand centre de Mdhilla dans une position périphérique, ce qui accroit la désarticulation de la ville, présentant ainsi les cités ouvrières.

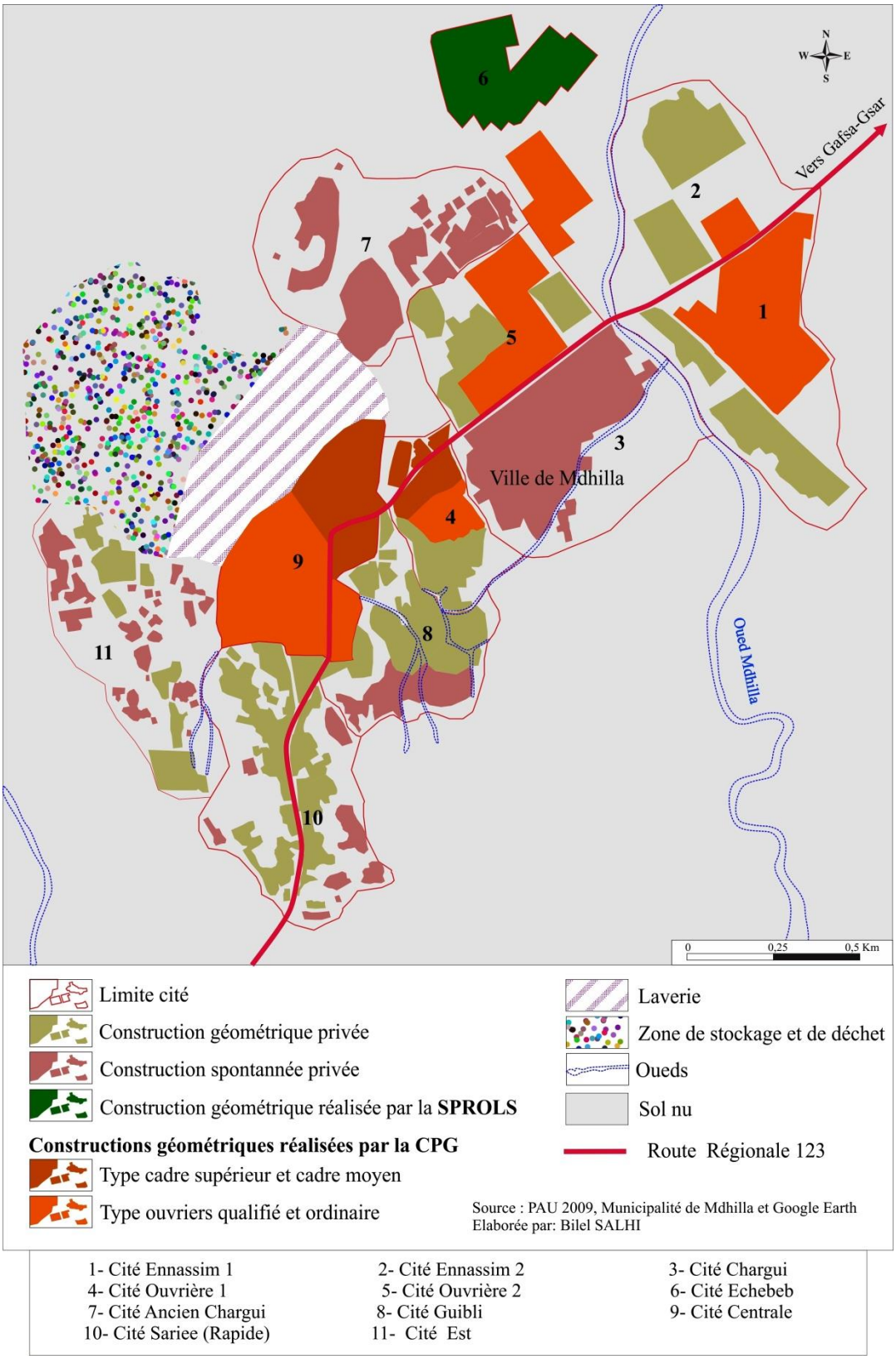
4.3. Tissu urbain et typologie des habitats de la ville

La ville de Mdhilla présente une structure urbaine éclatée en cités incontestablement distinctes les unes des autres, constituant ainsi, des unités spatiales différentes dans leur contenu social et morphologie. Les constructions la ville de Mdhilla sont "plein pied" de chaussée, mis à part quelques rares constructions en étage éparpillées, situées surtout dans la zone centrale. Entourant la Cité Centrale, le centre secondaire est en décrépitude, due à l'élimination de la ségrégation entre les cités planifiées et les cités anarchiques et au développement de la commune le long de la route de Gafsa dans des habitats en majorité non planifiés. Cette ambigüité du tissu urbain rend onéreuse toute tentative d'organisation et de réhabilitation pour retenir la population. Ainsi, la ville est occupée par deux hiérarchies des habitats. Le premier se caractérise par le tracé géométrique, exclusivement l'œuvre de la CPG et la société d'habitat SPROLS. Le second n'offre pas de tracé régulier de voies, il est créé par les citoyens de Mdhilla y compris les ouvriers de la Compagnie.

4.3.1. Tissu urbain ordonné construit par la CPG et la SPROLS

Similaire aux autres villes minières, l'habitat réalisé par la CPG est réparti en habitat colonial et habitat postcolonial réalisé après l'indépendance. Sa hiérarchie est bien aménagée et se répartit le long de la Cité Centrale, Cités Ouvrières 1 et 2, la Cité Caserne et aux alentours des constructions administratives de la CPG (magasins, locale UGTT…). La superficie des habitats de types coloniaux va en rétrécissant, en passant du pavillon du haut cadre, à celui du cadre de maîtrise et de ce dernier à celui d'agent d'exécution. Ce type d'habitat est surpeuplé jusqu'à nos jours par les cadres de la Compagnie mais uniquement des tribus locales (Ouled Maâmer et Ouled Tlijen). Les cités destinées aux ouvriers qualifiés ou les semi cadres sont formées par des logements n'excédant pas 200m^2 et disposés selon une grille orthogonale avec des voies de 35m de largeur lors de sa construction, inférieure à 14m actuellement[44]. Il y a un autre type d'habitat, construit sous forme de blocs dans les années 1930, destiné aux célibataires qui « offrent des conditions d'habitat médiocres » (PAU Mdhilla, 1967), transformée aujourd'hui, par rassemblement, en habitats collectifs (carte 31).

[44] Extension des logements dans les voiries



Carte 31 : Les acteurs des constructions dans la ville de Mdhilla

(Source : PAU 2009, Municipalité de Mdhilla et Google Earth 2016)

Les habitats postcoloniaux, situés à l'ouest de la Cité Centrale, reproduisent le modèle d'une villa, conçus pour les semi-cadres, agents de maitrise et agents d'exécution. Ils sont implantés dans les Cités Ouvrières 1 et 2 et le long de la route de Gafsa, occupée actuellement par les ouvriers de la GCT. Notons que le GCT n'intervient en aucune forme d'habitation de l'espace urbain de Mdhilla.

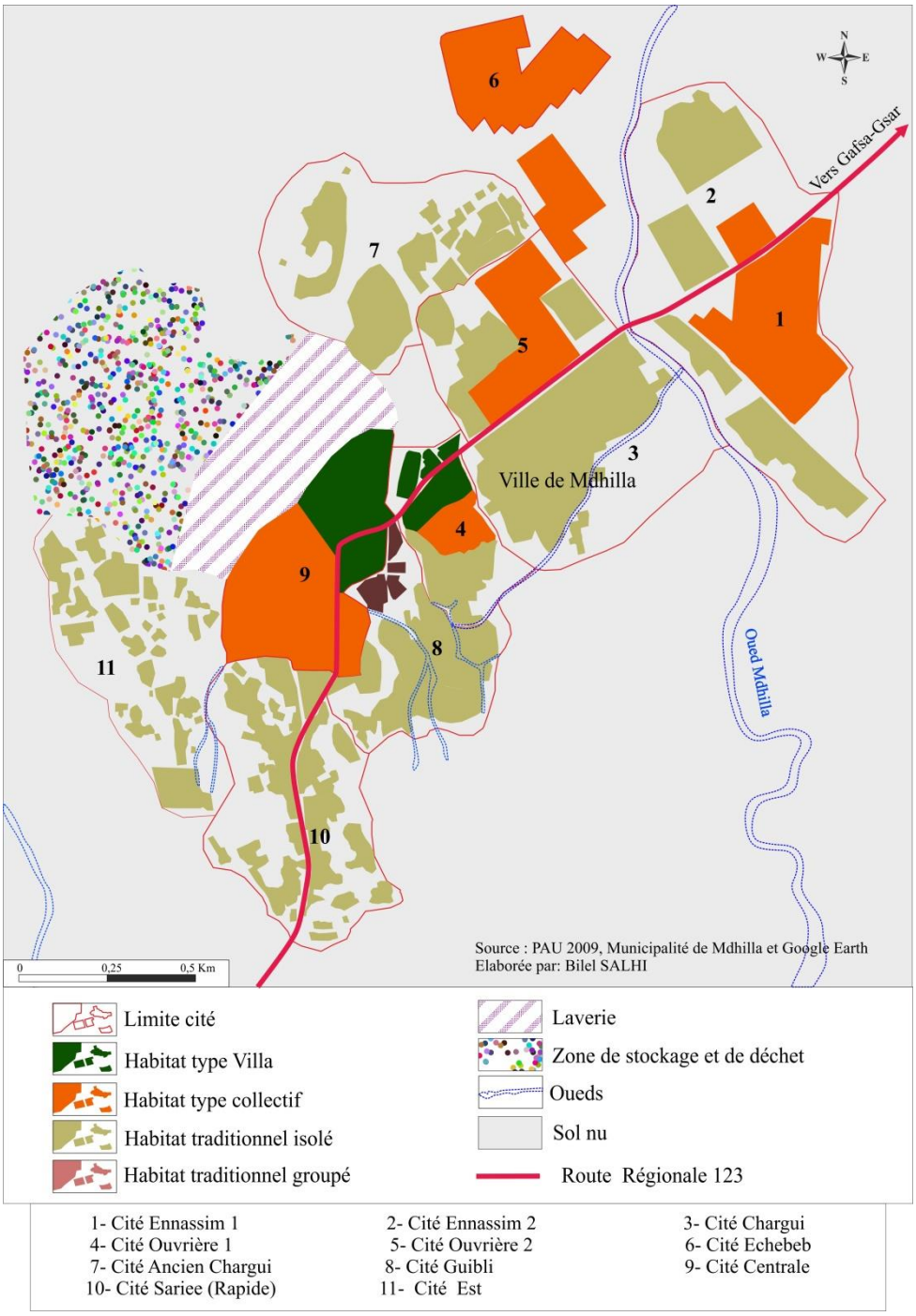
4.3.2. Habitat non géométrique

Ces habitats sont construits par les ouvriers de la Compagnie ainsi que les autres habitants liés directement et indirectement aux exploitations minières (magasins, boulangerie….). Les cités anarchiques similaires aux "Douars" (Ouled Maâmer, Ouled Ouhéba, Hnechriyè…). Les habitats spontanés à trame irrégulière sont formés généralement par deux ou trois pièces oblongues. Ils sont répartis en :

- **Habitat spontané à trame régulière :** il englobe Cité Chergui et Cité El Guibli. Elles se caractérisent par une trame orthogonale et un tissu organisé bien qu'il soit non planifié par la municipalité. Elles présentent des logements du type groupé ou en bande continue et toujours "plein pied";
- **Habitat spontané à trame irrégulière :** c'est principalement la Cité Rapide (ou Cité Sariâ) et la Cité Gharbi. Elles sont bâties dans les années 1980 et occupées par Ouled Bou Yahya et Ouled Slèmè. Ce sont des habitats spontanés à trame irrégulière avec une majorité de constructions édifiées sur des terrains accidentés et à la servitude des oueds (carte 32). Les habitats anarchiques comptent plus de 1000 logements sur une superficie de 85 ha avec une densité moyenne de 11 log./ha. La topographie accidentée entrave la densification de ces cités ; en outre, les travaux d'aménagement et de réhabilitation sont difficiles vu les faibles moyens de la commune et l'entassement des habitats non géométriques. Ces derniers sont répartis en habitats concentrés ou habitats éclatés :

✓ **Les habitats concentrés :** implantés sur des terrains escarpés. Ils sont occupés par des Soufis, Tripolitains et des paysans sédentaires (Jouaber). Les logements sont accolés les uns aux autres, formant des lotissements de 15 à 20 logement. Ce type d'habitat couvre principalement la partie sud-ouest de la ville de Mdhilla (Cité rapide) ;

✓ **Les habitats éclatés :** les grappes de logements n'excédant pas 4 logements sont occupés par la même origine tribale (généralement de même famille). Ils s'étendent sur des terrains étendus et quasiment plats occupés par des nomades et semi-nomades (Ouled Maâmer, Mgadmia…) au périphérique sud-ouest de la commune de Mdhilla (Cité Est).



Carte 32 : Typologie des habitats de la ville de Mdhilla

(Source : PAU 2009, Municipalité de Mdhilla et Google Earth 2016)

Durant la colonisation, les logements de Mdhilla sont souvent très modestes pour les catégories les plus défavorisées. Le village des mineurs est dans un piteux état puisque environ 70% des logements, qui sont plutôt des gourbis, sont en ruine. Les cités ouvrières sont plus ou moins en bon état et seuls les cadres bénéficient de villas. Actuellement, la municipalité de Mdhilla, avec ses faibles moyens, s'intéresse à l'élimination de la ségrégation entre les cités à typologies européennes et cités à typologies traditionnelles mais aussi au

développement de la commune le long de la route de Gafsa où le domaine minier limite les extensions urbaines du côté nord-ouest (stocks des laveries). Le centre-ville est limité par la zone industrielle au nord, la voie ferrée et un bras d'oued à l'ouest. Le noyau urbain de la commune est fortement habité par les habitats et une petite zone polyfonctionnelle et il n'y a aucune possibilité d'extension ou de densification selon Salhi B., et Dhieb M., (2014b). Les autres cités sont implantées sans grande logique, auprès des rives des oueds et toujours sur des terrains gypseux. Le sud-est (*Malaji*) et le sud-ouest de la ville sont implantés sur les lambeaux d'un glacis d'érosion démantelé, particulièrement inaccessibles et évidemment non urbanisable.

En somme, pour les quatre villes minières la disposition des installations industrielles (Laveries, aires de stockage, recettes) la gare et le village européen étaient disposés de façon relationnelle dans l'esprit taylorien en fonction des extensions des mines et des contraintes naturelles de la région (élévation, pente, cours d'eau). Autour de ces composantes minières, se sont agglutinés des logements à trame régulière de type européen, puis des cités d'ouvriers de trames traditionnelles et anarchiques en majorité. En 1939, la direction coloniale des exploitations minières fait élaborer une sorte de plan d'aménagement et un cahier de charge destiné à règlementer les constructions afin de séparer les habitats anarchiques des autres. D'autre part, ces plans empêchent la prolifération des habitats anarchiques construits sur des terrains non urbanisables (zones de servitude) selon le Groupe Huit (1970) et l'Archives Nationales (1949).

La période d'après l'indépendance jusqu'aux années 1980 est la plus prospère, durant toute l'histoire de la CPG, en matière de construction et d'urbanisation de ces villes minières. Les problèmes d'urbanisme ont apparus avec les extensions à bases tribales et non contrôlés par les pouvoirs municipaux, avec un habitat spontané là où la topographie le permettait, menaçant la population de divers risques. L'espace minier et les villes minières en particulier ont connu divers problèmes liées à l'urbanisation et des contestations entre les citoyens et la concession de domaines miniers.

Chapitre V. Exploitation minière et contraintes d'urbanisation dans le BMG

Ce chapitre a pour objectif de montrer que le domaine minier fait accentuer une multitude forme de problème lié à l'urbanisation dans le BMG. Rappelons que la Compagnie privilège installé les villes minières à une faible distance par rapport aux élévations et aux oueds dont le but de respecter le principe taylorien. Nous traitons la question de l'ambigüité relation entre l'espace minier et l'espace urbain. C'est que les villes minières supportent une grande partie des activités d'enrichissement et de transport du phosphate.

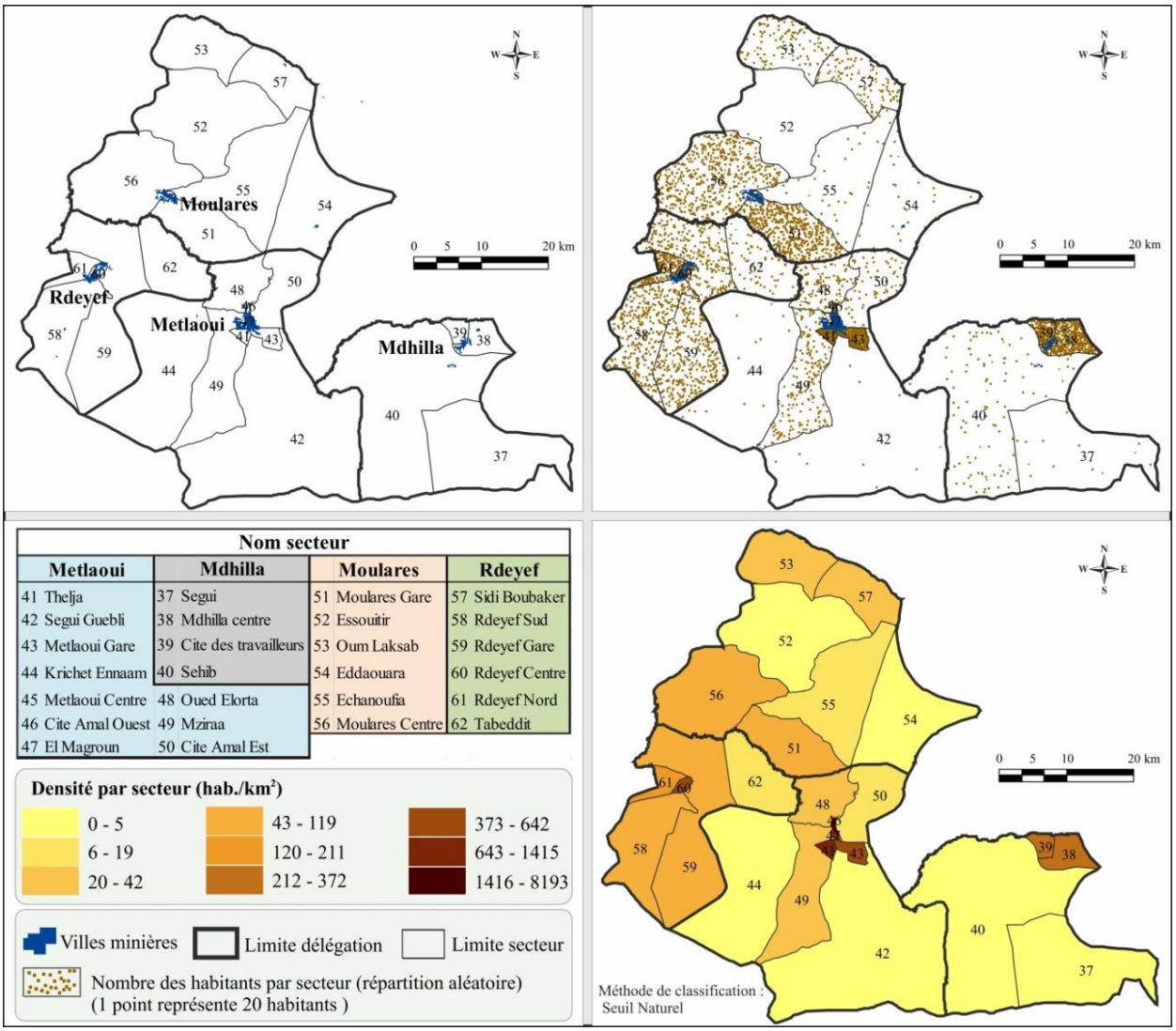
L'étude de la variation spatiale du niveau de pollution dans le BMG est réalisée à l'aide des outils SIG et de l'Analyse Multi-Critère (AMC). Nous dévoilons des inégalités en terme de pollution environnementale entre les villes minières. À l'aide de la cartographie, nous montrons que l'emplacement les infrastructures minières à affecter le niveau esthétique et l'harmonie des villes minières. Le risque d'inondation fait l'objet de la dernière étude. C'est dû à la prolifération des habitats dans les rives des oueds sans respecter les zones de servitude.

1. Contraintes liées è l'aménagement du Bassin Minier de Gafsa

Le BMG est géré par la Compagnie minière et les municipalités depuis l'indépendance. Divers décrets ont accordé la faveur à la Compagnie d'exploiter le phosphate et même se s'étendre sur 20 millions d'hectares. Conséquemment, la Compagnie a déclaré par un ensemble de législations, des dispositions en vigueur. Pour la confiscation de terres à propriétés tribales, ceci ne peut qu'amener à des conflits.

1.1. Densité de la population contrastée dans le BMG

Il existe une certaine confusion entre les limites des secteurs (ou imada) par rapport aux limites des cités des villes minières. En effet, les secteurs qui correspondent à de fortes densités de population correspondent toujours aux cités des villes minières. Les secteurs limitrophes des villes minières montrent une forte concentration de la population qui peut dépasser 8000 habitants /km² (carte 33). Ce sont les régions où on note la présence des Laveries. En dehors du domaine minier, la densité ne dépasse guère 42 habitants /km². Nous citons par exemple les secteurs de Krichet Ennaâm et Sègui Guibli (délégation Métlaoui), Séhib et Sègui (délégation Mdhilla).



Carte 33 : Densité de la population par secteur en 2014

(Source : INS, 2014)

1.2. Problèmes fonciers et dichotomie de l'espace minier

Il existe trois grands domaines de concessions dans le bassin minier : la première concerne la ville de Métlaoui, couvre le Djebel de Métlaoui, Djebel Alima, Djebel Esstah, Djebel Moularès ; la deuxième couvre les chaînons de Moularès, Djebel de Mrata, Djebel Elham, etc et la troisième couvre Djebel de Séhib, Djebel Mdhilla, etc.

Avec l'absence d'un titre de propriété de statut foncier[45], les villes de Métlaoui, Moularès et Rdeyef sont contrariées par les domaines de concession de la CPG. Le BMG (y compris les villes minières) se prolonge sur des terrains montagnards et des terres collectives réservées pour le pâturage (tableau 3) ce qui pose un grand handicap pour l'aménagement de la ville.

[45]Nommé localement titre bleu

Tableau 3 : situation foncière des terres dans le BMG en ha (Source : CRDA, 2014)

	Terres domaniales	**Terres collectives**	**Terres privées**
Métlaoui	37655	64987	41
Rdeyef	22138	24175	0
Moularès	41080	52005	0
Mdhilla	17910	45536	0
Total BMG	118783	186703	41
Pourcentage BMG	38,9	61,1	0,13
Pourcentage gouvernorat	35,5	58,6	6,0

Le problème foncier est à l'origine de la majorité de dépassements dans l'application de PAU des villes minières. Une grande partie des constructions, surtout les plus anciennes, sont édifiées d'une manière illégale, anarchique et sans respect au règlement d'urbanisme. La majorité des terrains sont en copropriété de la CPG et/ou des terrains domaniaux et collectifs.

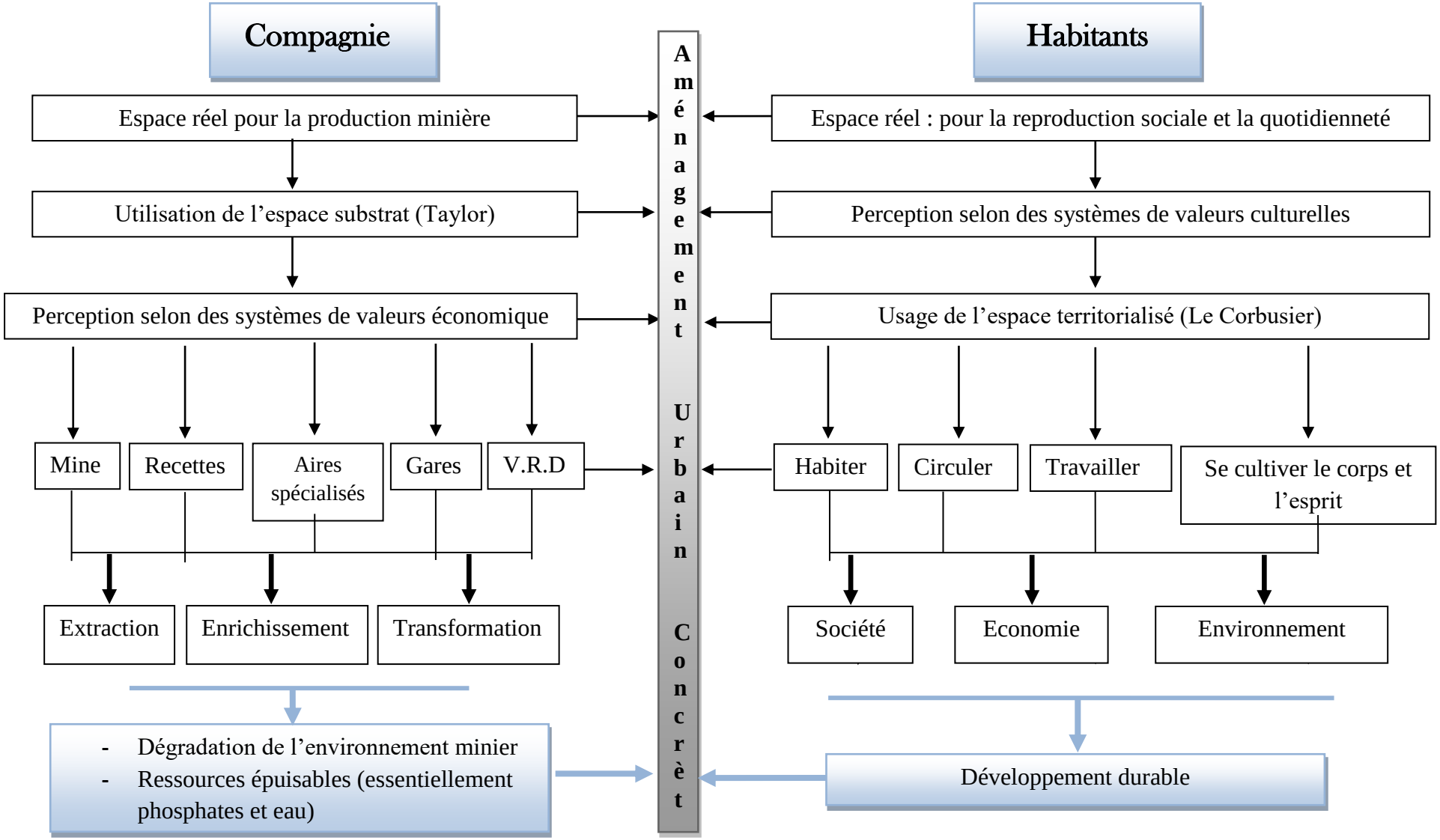
A la question aux habitants de pourquoi vous avez construit sans titre foncier ? Ils ont répondu que la CPG n'a pas le droit de confisquer ces habitats. Il semble que les municipalités et la CPG assistent indirectement à l'urbanisation illégale et à des constructions massives dans des zones dangereuses et sur les zones d'extractions minières.

L'espace urbain est un prolongement de l'espace minier (figure 20) ; il supporte une grande part de ses activités (enrichissement, stockage, transport…). Cette dichotomie de l'espace urbain rend toute intervention d'aménagement délicate, dans la mesure où elle risque de compromettre les intérêts de l'un ou l'autre des partenaires-usagers, ayant chacun sa propre conception de l'espace urbain.

Il semble que le BMG est ramifié dans une forme de discrimination au profit de la Compagnie minière. La vie quotidienne des habitants se trouve toujours gênée par les travaux d'extraction et d'enrichissement de phosphates. L'infrastructure minière ne détruit pas seulement l'environnement urbain mais le transforme en une zone de rejet dans une forme de mépris des droits de civilisation.

L'urbanisme anarchique fait que les villes minières s'étendent de part et d'autre d'un axe de transport de phosphate vers Gabès ou Sfax, aussi les cités avoisinantes des rails sont affectés par les sifflements du train.

Figure 20 : Bassin Minier du Gafsa : une représentation dichotomique (Source : Chandoul S., 2010)



L'Etat et la CPG laissent faire arguant que les usines à Gabès, Sfax, et Mdhilla doivent continuer à fonctionner pour l'impératif vital d'honorer leurs engagements envers des clients à l'export, mais la population locale n'a qu'à choisir entre développement et impératifs environnementaux. Pendant nos déplacements sur le terrain, nous avons constaté son état dégradé et même l'abandon de certains tronçons de ce réseau qui reste en général mal entretenu. Les camions et engins traversent les cités dans toute leur longueur : ce qui provoque des nuisances aux habitants. En effet, depuis 2012, les villes minières sont traversées par une multitude de gros camions, souvent non bâchés, chargés de phosphate appartenant à de nouvelles sociétés de sous-traitance. Il s'agit sans doute de manque de coordination entre la CPG et les municipalités, ce qui traduit en fait que l'irresponsabilité de chacun d'entre eux.

Le transport de phosphate s'effectue de jour comme de nuit, l'encombrement de la circulation, la nuisance et les risques qu'occasionne la traversée de l'unique radiale des cités par ce défilé des véhicules, dont les tournées peuvent atteindre plus de 50 camions par jour. S'ajoutent les dégâts occasionnés à la chaussée, le forcing et l'appât du gain entrainant des chargements de 40 tonnes au lieu de 25 par voyage et la transgression du cahier des charges signé avec la CPG régissant les modalités de ce transport.

Parallèlement, le développement urbain, en grande partie spontané, autour des Laveries et dans les élévations a généré divers problèmes tels que l'insuffisance d'assainissement, l'exposition à la pollution atmosphérique, la dégradation de la qualité de vie, l'habitat spontané insalubre….

A l'aide des outils SIG et de l'Analyse Multi-Critère (AMC), nous allons montrer la variation spatiale de niveau de pollution dans le BMG, tout en mettant l'accent sur les villes minières. En effet, chaque ville est soumise à un ou plusieurs polluants. C'est pourquoi l'analyse doit être traitée à part et toujours en relation avec le domaine minier.

1.3. Variation du niveau de pollution des zones urbaines

Les outils SIG sont la référence en matière de traitement de l'information géographique et d'analyse géo-spatiale. Cependant, la prise en compte de données dans le but d'une Analyse MultiCritère (AMC) n'est pas encore très utilisée. L'environnement de programmation de certains SIG permettent le développement ou contiennent des algorithmes qui rendent possible un simple traitement multicritère d'entités spatiales Ce travail s'intègre dans un concept communément appelé SADRS (Système d'Aide à la Décision à Référence Spatiale) selon Bensaid A., (2006). L'environnement de programmation de certains outils SIG

permettent le développement ou contiennent des algorithmes qui rendent possible un simple traitement multicritère d'entités spatiales (Jiang H., et Eastman J.R. 2000 ; Conchita M. G. Kedowide, 2006).

1.3.1. Méthodologie de travail

Une telle analyse a pour but de produire une cartographie sur les zones urbaines les plus touchées par les exploitations minières (Salhi B., et al. 2014). L'analyse multicritère a été complétée par l'apport d'un nouveau facteur, la température de surface dérivée du traitement d'une image Landsat 8 (carte 33.1. et 33.2.). L'information apportée par les températures de surfaces est importante car nous avons constaté une corrélation entre les températures élevées et la présence de résidus miniers (vérification sur terrain, voir partie IV). Deux méthodes sont utilisées dans l'analyse multicritère :

- Le WLC : Weighted Linear Combinaison, Combinaison Linéaire Pondérée ;
- Le OWA[46] : Ordered Weighted Average, Moyenne Pondérée Ordonnée.

La Méthodologie de travail et la présentation de la méthode SIG-AMC sont détaillées dans l'annexe 1.

1.3.2. Interprétation des résultats et discussion

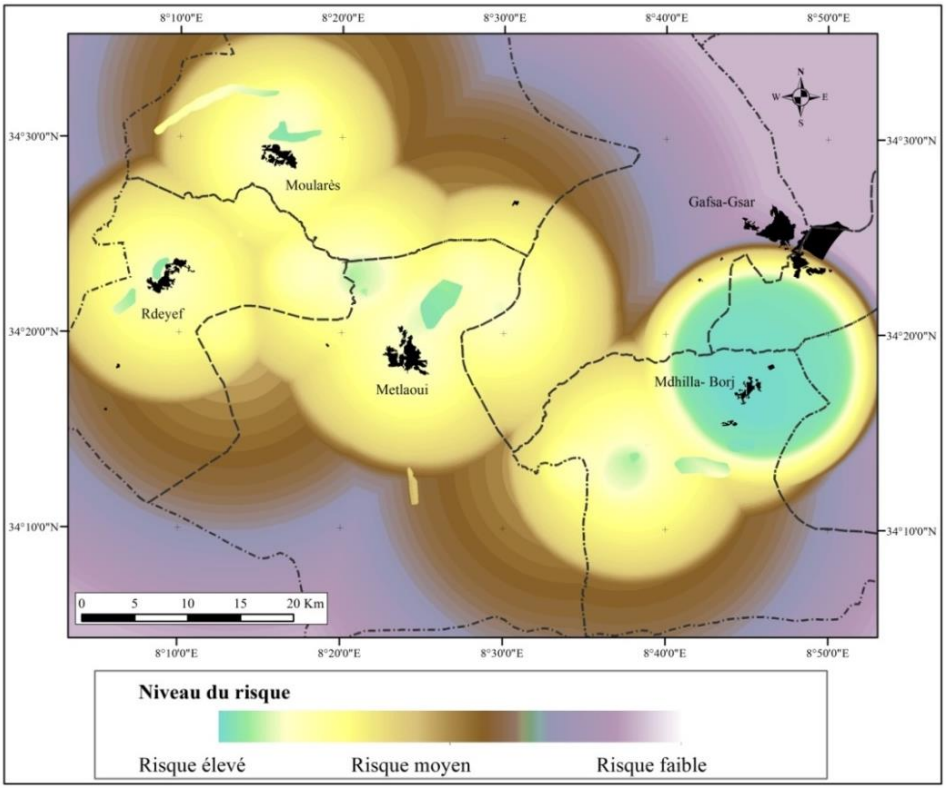
- **Impact sur l'espace régional minier** : à l'aide des directeurs de l'ANPE, nous avons attribué un risque élevé au GCT car il a de multiples incidences de pollution sur le milieu ; rejet atmosphérique, hydrique, zone de stériles, zones de déchets stockés en tas,…. La méthode OWA (carte 34.1.) permet de montrer surtout l'impact au niveau de la zone ou situe le GCT où le risque est plus élevé. Cette méthode permet l'atténuation, par une nouvelle pondération, de l'influence des infrastructures minières préalablement choisies et présentant un fort impact comme par exemple les Laveries en mettant l'accent sur le GCT. Parmi les possibilités de compromis que peut offrir la méthode OWA présenté dans IDRISI, nous avons

---

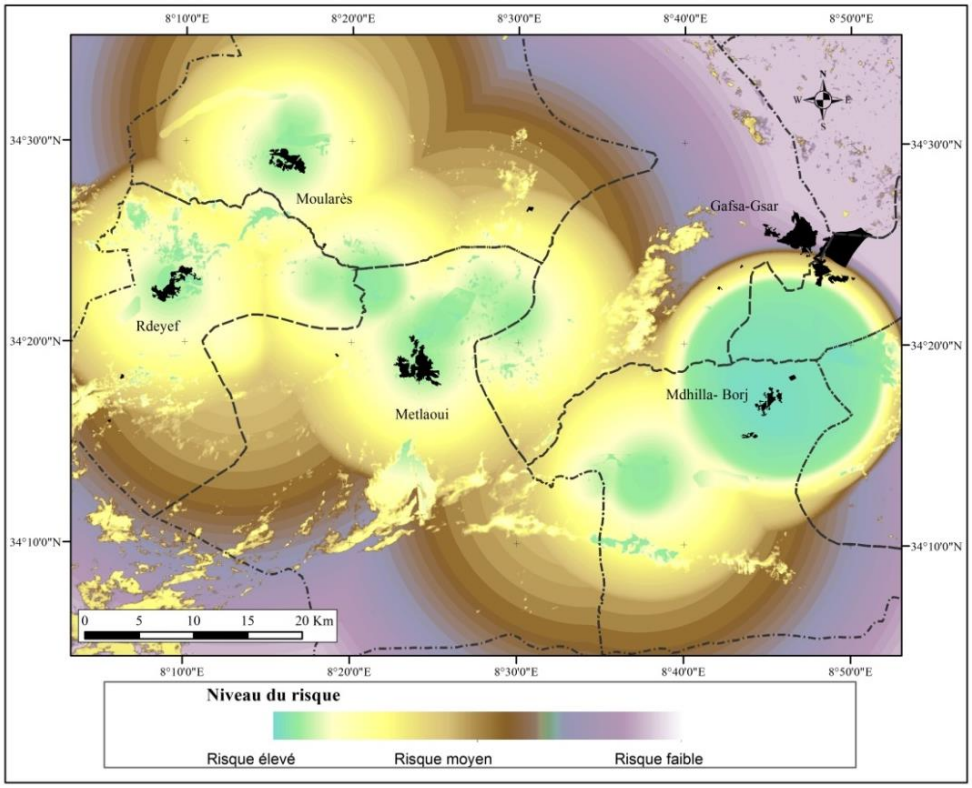
[46] **WLC** : Weighted Linear Combinaison, Combinaison Linéaire Pondérée. WLC est une technique permettant de déterminer la position moyenne (centrale) exactement à mi-chemin entre les opérations AND (minimum) et OR (maximum), c'est-à-dire entre la prudence extrême et la prise de risque extrême. Un des avantages de la méthode WLC est la possibilité de donner des poids relatifs différents à chacun des facteurs dans le processus d'agrégation. La pondération des facteurs, parfois appelés "pondération par compromis", revient à attribuer à chaque facteur un coefficient de pondération. Ces coefficients indiquent l'importance relative d'un facteur par rapport à tous les autres facteurs et contrôlent la façon dont les facteurs vont se compenser.
OWA : Ordered Weighted Average, Moyenne Pondérée Ordonnée. Cette méthode est utilisée au mieux avec des facteurs qui ont été normalisés selon une échelle continue d'aptitude et pondérés selon leur importance relative. la moyenne pondérée contrôlée (ordonnée) OWA, permet de contrôler la position de l'évaluation multicritère MCE le long des axes de risque et de compromis ce qui nous permettra de contrôler le niveau de risque que nous voulons prendre dans notre évaluation MCE et le degré avec lequel la pondération des facteurs influencera la carte finale d'aptitude [pondération par compromis (tradeoff weights).

choisi d'obtenir une représentation cartographique avec un niveau de risque faible et une possibilité de compensation.

Par ailleurs, la méthode WLC (carte 34.2.) a mis l'accent sur la zone urbaine de Mdhilla mais également là où le risque est modéré dans les autres régions. Cette méthode repose sur une combinaison de pondération pour laquelle l'attribution des poids a été définie selon notre connaissance du phénomène de pollution sur le territoire d'étude ;



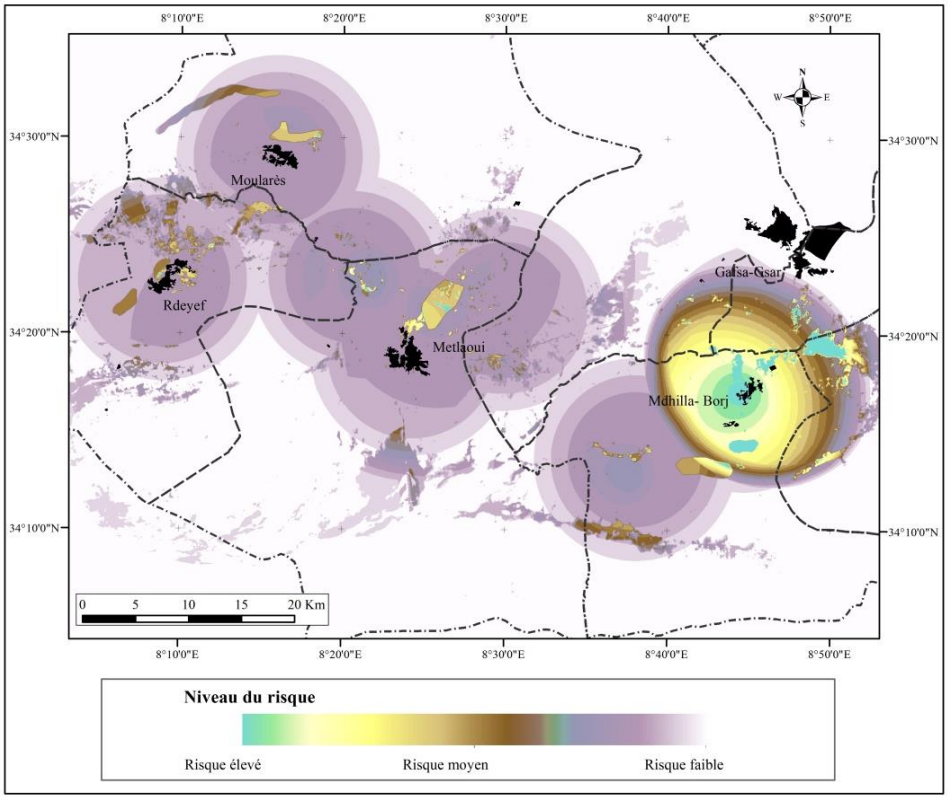
Carte 34.1.: Analyse multicritère sans tenir compte de l'approche thermique



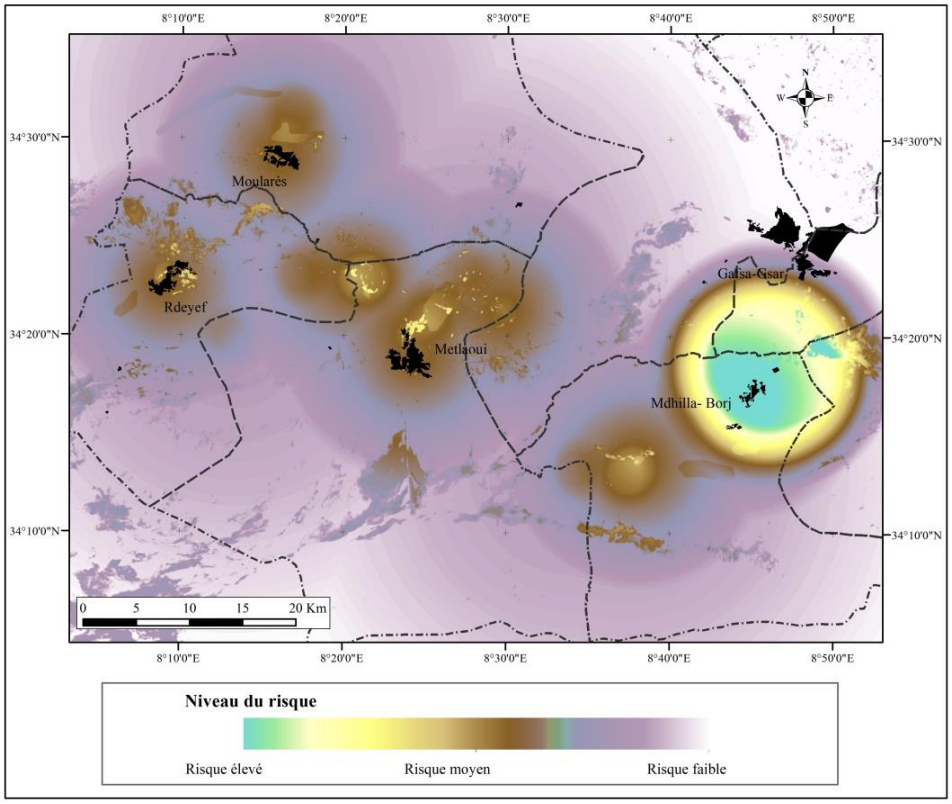
Carte 34.2.: Analyse multicritère tenant compte de l'approche thermique

Carte 34 : Analyse multicritère des deux approches (sans et avec la température de surface)

Cartographie à l'échelle régionale (Source : Salhi B., et al. 2014)



Carte 35.1. : Analyse multicritère par méthode OWA



Carte 35.2. : Analyse multicritère par méthode WLC

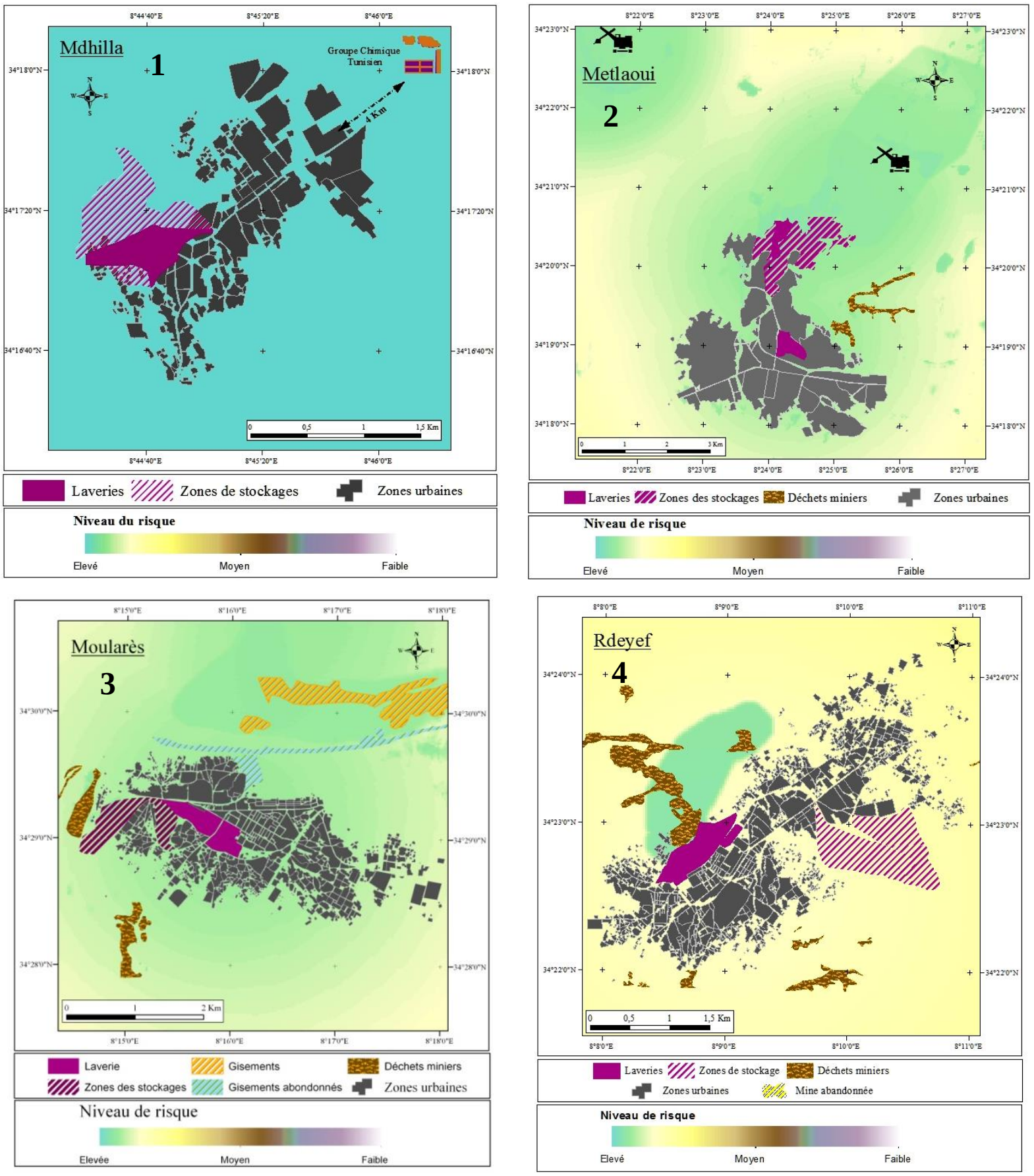
Carte 35 : Analyse multicritère par deux méthodes multicritère (WLC et OWA) : Cartographie à l'échelle régionale (Source : Salhi B., et al. 2014)

- **Comparaison de l'impact minier par ville** : Mdhilla est la ville minière la plus touchée par les exploitations minières (carte 36.1.). En effet, elle est soumise à la pollution du GCT, implanté à 4 km au nord-est de la ville, et par la Laverie située dans la partie nord-ouest de la ville. Ainsi toute la zone urbaine et périurbaine est classée comme un "risque élevé".

La deuxième ville, Métlaoui (carte 36.2.), est caractérisée par l'implantation de deux Laveries au centre-ville. De plus, on note l'établissement de deux mines à environ 4 et 8 km au nord. Certains habitats sont détruits par les ondes sismiques dues aux travaux de tirs dans les mines. Le niveau de risque diminue progressivement en allant du nord-est de la ville jusqu'à le sud-ouest. Ceci est dû à l'éloignement progressif aux gisements et aux Laveries.

La troisième ville, moins infectée par la pollution que les deux précédentes, est Moularès (carte 36.3.). On note, une seule Laverie implantée dans la partie centre-ouest avec une zone de stockage. Le nord de la ville est occupé par un gisement à ciel ouvert abandonné et un autre en cours d'exploitation à deux kilomètres au nord-est de la ville.

Finalement, la ville moins infectée à l'échelle du BMG est Rdeyef (carte 36.4.). On note, une Laverie implantée dans le centre-ville et une zone de stockage dans ses extrémités est et ouest. Rappelons que Rdeyef a connu dès les années 1985 une prolifération des habitats anarchiques à proximité des mines abandonnées au nord-ouest de la ville qui présentent un risque d'effondrement et de glissement de terrain.



Carte 36 : Analyse multicritères des villes à risques miniers (méthode WLC)

(1. Mdhilla; 2. Métlaoui ; 3. Moularès; 4. Rdeyef) (Source : Salhi B., et al. 2014)

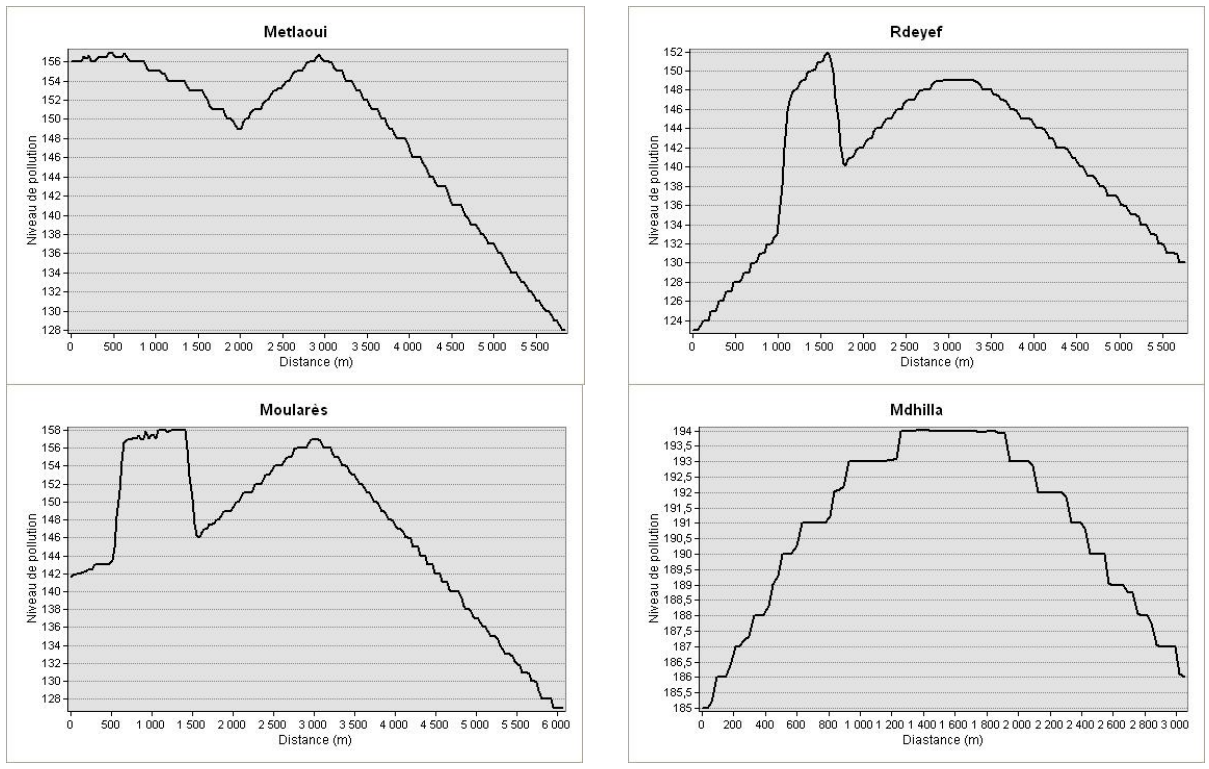


Figure 21 : Niveau de pollution des villes minières, élaboration personnelle

(Échelle de 1 à 255), (distance par rapport aux infrastructures minières) (Source : Salhi B., et al. 2014)

En perspective, l'ajout d'autres paramètres climatiques et des mesures physico-chimiques… pourrait permettre de mieux modéliser la répartition spatiale de niveau de pollution. En complément, la poursuite du test des différentes solutions d'approche décisionnelle est envisagée. L'étude de la partie suivante, appuyée par les visites sur terrains, sert pour mieux affirmer ou contester la cartographie réalisée lors de ce travail. Le niveau de pollution des villes minières varie selon le nombre et l'intensité de chaque polluant. C'est pourquoi l'analyse de chaque ville doit être parfois traitée à part mais en relation avec le domaine minier.

2. Contraintes liées à l'aménagement des villes minières

Bien que les villes du BMG trouvent leur genèse dans l'exploitation minière, aucune conception d'ensemble n'a été respectée pour leur évolution future. Celle-ci s'est faite au gré de l'exploitation minière. Il existe une grande similarité entre les contraintes d'urbanisation bien que le cadre de dégradation du cadre de vie diffère d'une ville à l'autre.

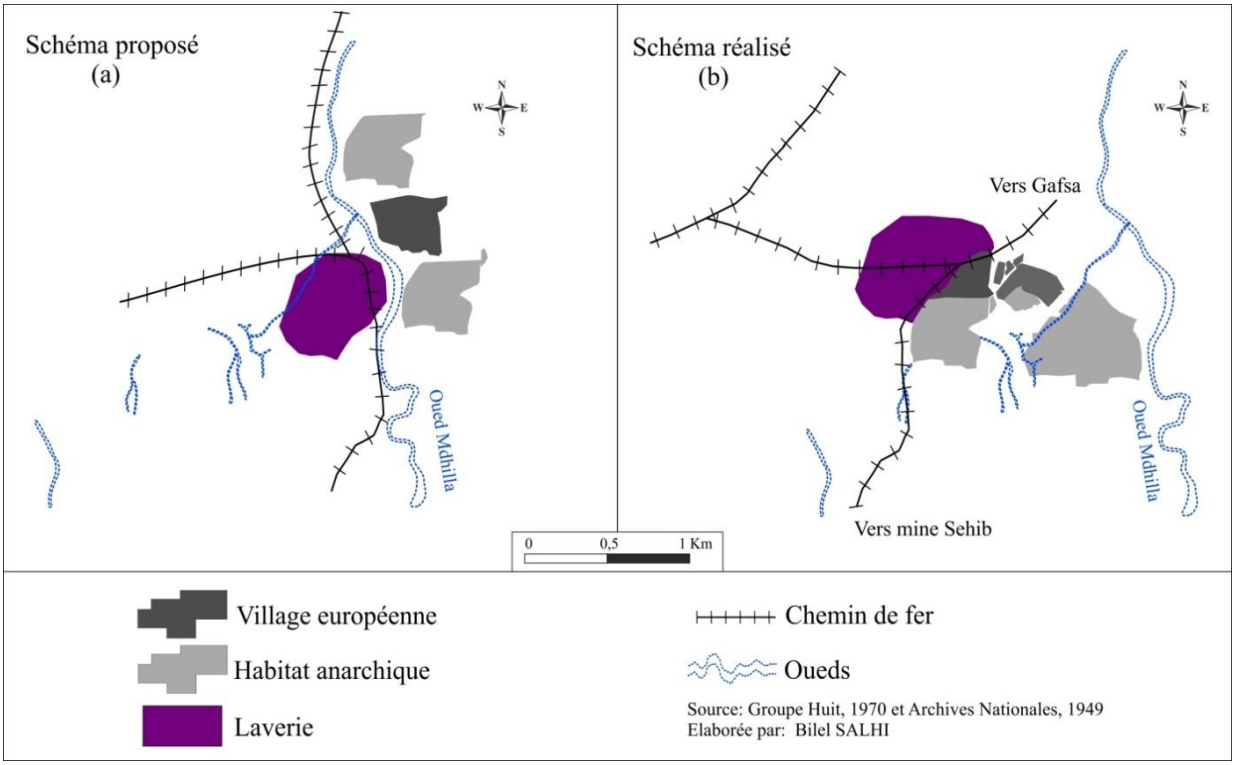
2.1. Des villes "désorganisées"

Nous pouvons définir les villes minières comme des habitats plus ou moins structurés autour d'un centre industriel représenté par les Laveries. Ces habitats se développent dans les zones de servitudes autour d'un noyau industriel bloqué. Ce problème existe dès le départ de l'implantation de chaque ville. Le manque de vue d'ensemble apparaît d'ailleurs à tous les niveaux surtout en l'absence d'une zone polyfonctionnelle clairement définie. La seule exception qui existe est celle de la ville de Rdeyef où la zone polyfonctionnelle est centrale, séparant les habitats à trame régulière de ceux à trame anarchique.

Pour Mdhilla, le mauvais choix du site de l'implantation de la ville est couplé avec une mauvaise organisation de l'espace. Un premier schéma d'intention, en 1920, propose d'implanter la zone industrielle au sud, du côté de la mine, et la Cité des Européens (ou village) au nord. Ce plan non exécuté, abonde le problème bien plus largement en utilisant deux parties du terrain. Le premier, à l'ouest, est réservé à la zone industrielle, alors que le centre-ville est situé à l'est, et s'inscrit entre deux oueds. La gare vient s'inscrire en son cœur, opérant ainsi la liaison. Fonctionnement sans failles, industrie d'un côté, ville de l'autre, possibilités d'extension de part et d'autre, ceci apparait comme une solution convenable permettant l'extension de la ville.

Néanmoins, ce plan est abandonné sous prétexte qu'il nécessite des investissements nettement plus importants lors des travaux d'aménagement et de réhabilitation de la plateforme urbaine. La carte 37 montre le schéma proposé avec d'un côté la laverie et de l'autre les habitations,

séparés par la ligne ferroviaire et oued Mdhilla. Mais, la réalité est autre puisque le schéma réalisé rassemble à la fois les laveries et les habitations où tout est concentré. Depuis la gare au centre-ville, la voie ferrée dessert Gafsa vers le nord et mine Sehib vers le sud.



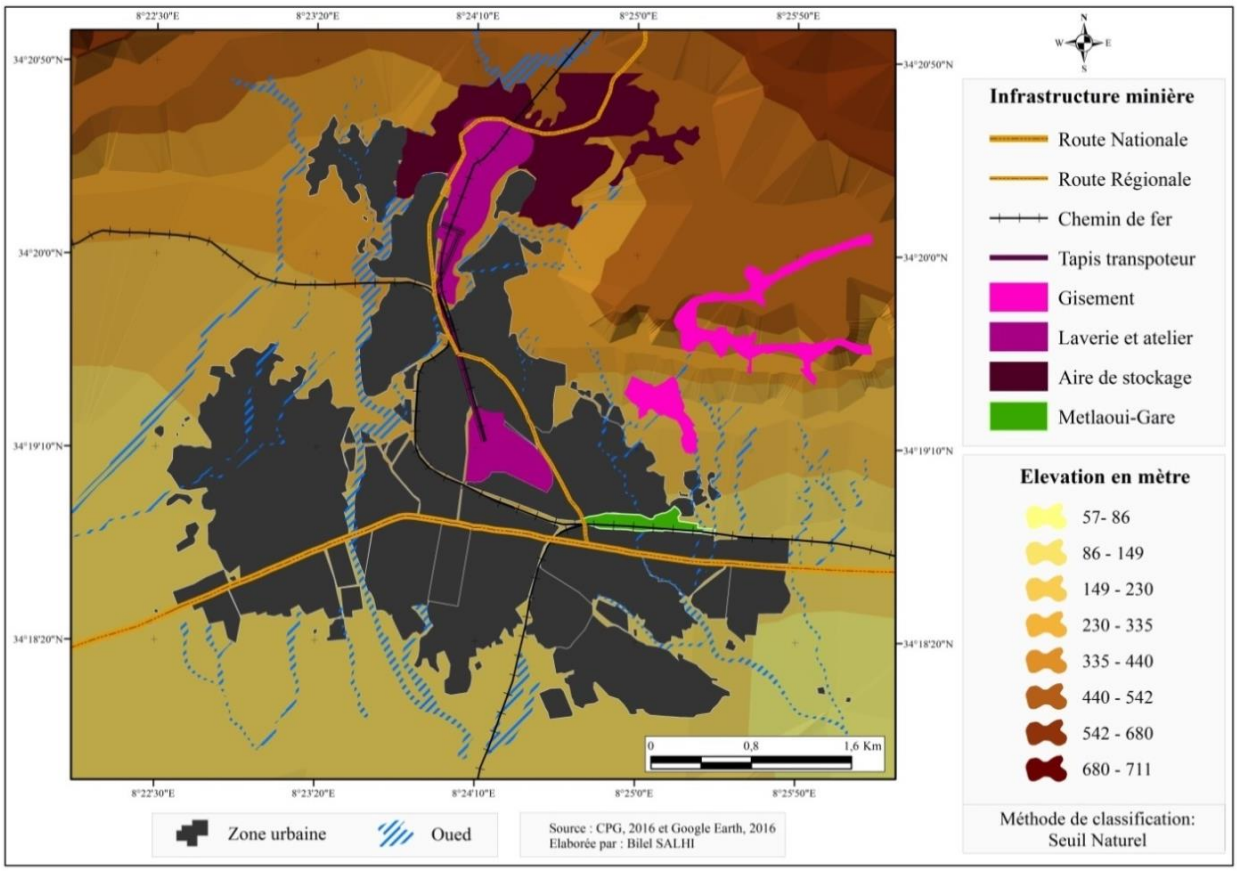
Carte 37 : Différence entre schéma proposé et schéma réalisé lors de l'implantation de la ville de Mdhilla (Source : Groupe Huit, 1970 et Archives Nationales, 1949)

2.2. La pollution dans la ville de Métlaoui

La CPG a implanté en 1950 la première Laverie dans la ville de Métlaoui. Dix ans plus tard, la deuxième Laverie se construit à 2 km de la première, au nord de la ville, près de l'aire de stockage (carte 38). Les deux Laveries sont reliées par un tapis transport de phosphate, en plein centre-ville. Les terrains à proximité immédiate, situés surtout à l'ouest des Laveries, sont conquis par des déchets urbains et des stocks de stériles (photos 10.1 et 10.2.).

Les affluents de l'oued Métlaoui isolent les cités Loussayef, Ouled Larta et Mziraâ. Le noyau impénétrable de la zone des Laveries interdit-quasiment les communications entre les cités Ennasr, El Amal, Souafa,… et la voie ferrée souligne encore ce dispositif en « isola » les cités Magroun de la Kayéna ou Souafa d'Ibn Khaldoun (photo 10.3.). Cet éclatement correspondait à une ségrégation voulue des cités-ethniques, dès l'implantation de la ville jusqu'à nos jours, favorisant ainsi la division des différentes tribus.

Le cœur de l'agglomération est paradoxalement occupé par la zone industrielle (photo 10.4.) et la position aberrante de ce noyau s'est logiquement traduite par l'absence d'un centre-ville véritable et par la situation des micro-centres des cités d'El Amal, Ennasser et Ibn Khaldoun.



Carte 38 : Infrastructures minières de la ville de Métlaoui

(Source : CPG, 2016 et Google Earth 2016)

10.1. Rail transporteur de phosphates

10.2. Laveries L3 (nord Métlaoui)

10.3. Servitude de ligne ferroviaire, on isolement des cités

10.4. Laveries L1 (centre-ville)

Photo 10: Infrastructure minière de Métlaoui et problème d'urbanisation

(Source : Salhi B., 2015)

2.3. La pollution dans la ville de Rdeyef

Même avant les années 1960, des constructions illégales, anarchiques s'agglutinent dans des espaces très restreints. La partie nord-est et la partie sud-ouest de la ville sont urbanisées bien que les stocks de stériles soient classés comme des zones de servitude minière (photo 11.1.). L'extraction minière a laissé des mines souterraines abandonnées carte 39, au nord-ouest de la ville en forme de fer à cheval dont le règlement d'urbanisme y interdit toute construction, par crainte d'affaissement du terrain.

Des dangers sur la vie des habitants sont présents comme l'effondrement du logement dans le tunnel de la CPG (photo 11.2.). Les habitats anarchiques envahissent ces espaces qui peuvent s'effondrer à tout moment. Les cités de Nesla, Houmet Soug et Tripolitains souffrent de l'isolation par la voie ferrée (photo 11.3.), une exigüité des ruelles et le manque d'espace verts.

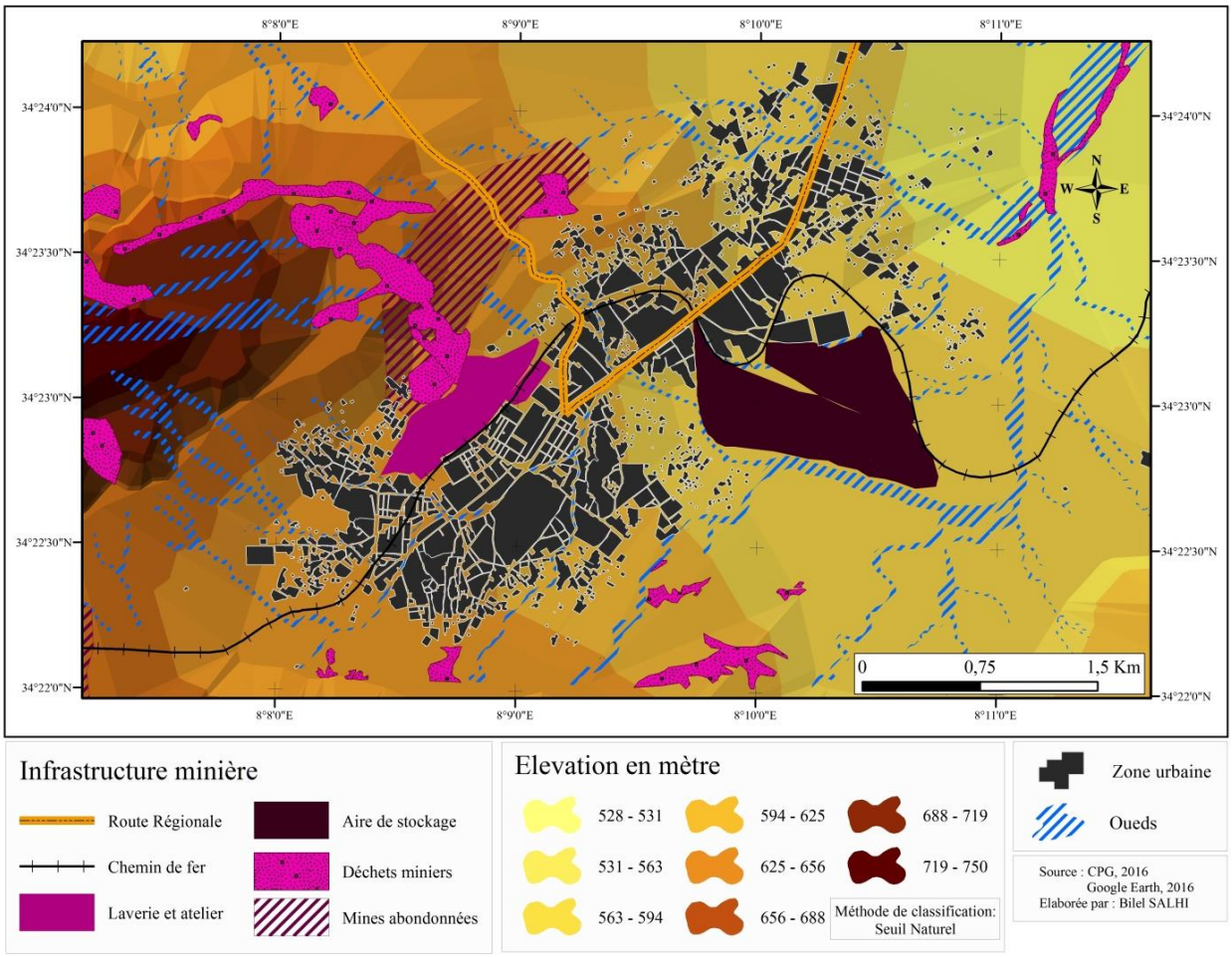
10.1. Construction dans les servitudes minières

10.2. Effondrement des habitats

10.3. Servitude de ligne ferroviaire

Photo 11 : Infrastructure minière de Rdeyef et problème d'urbanisation

(Source : Salhi B., 2015)

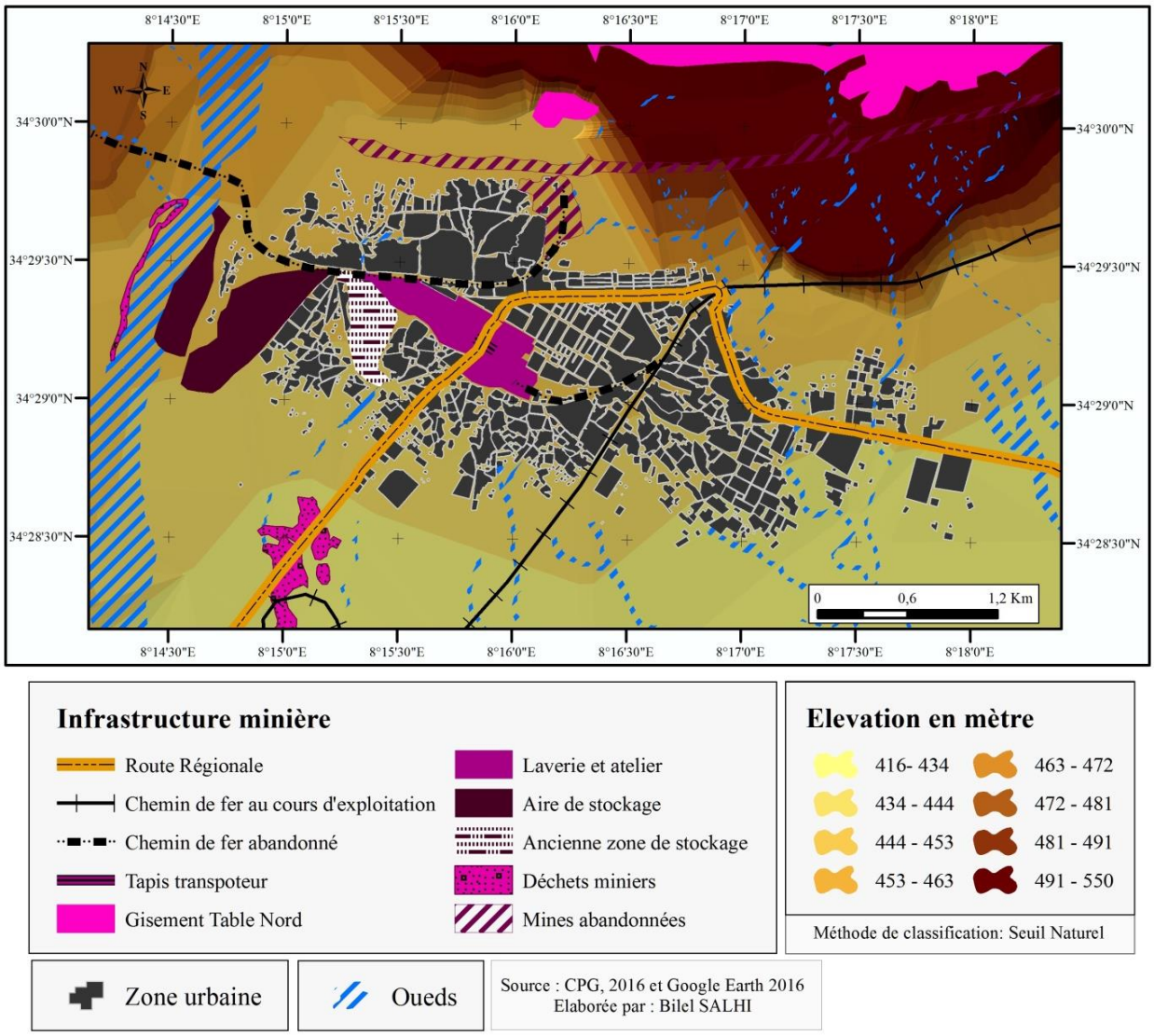


Carte 39 : Infrastructures minières de la ville de Rdeyef

(Source : CPG, 2016 et Google Earth, 2016)

2.4. La pollution dans la ville de Moularès

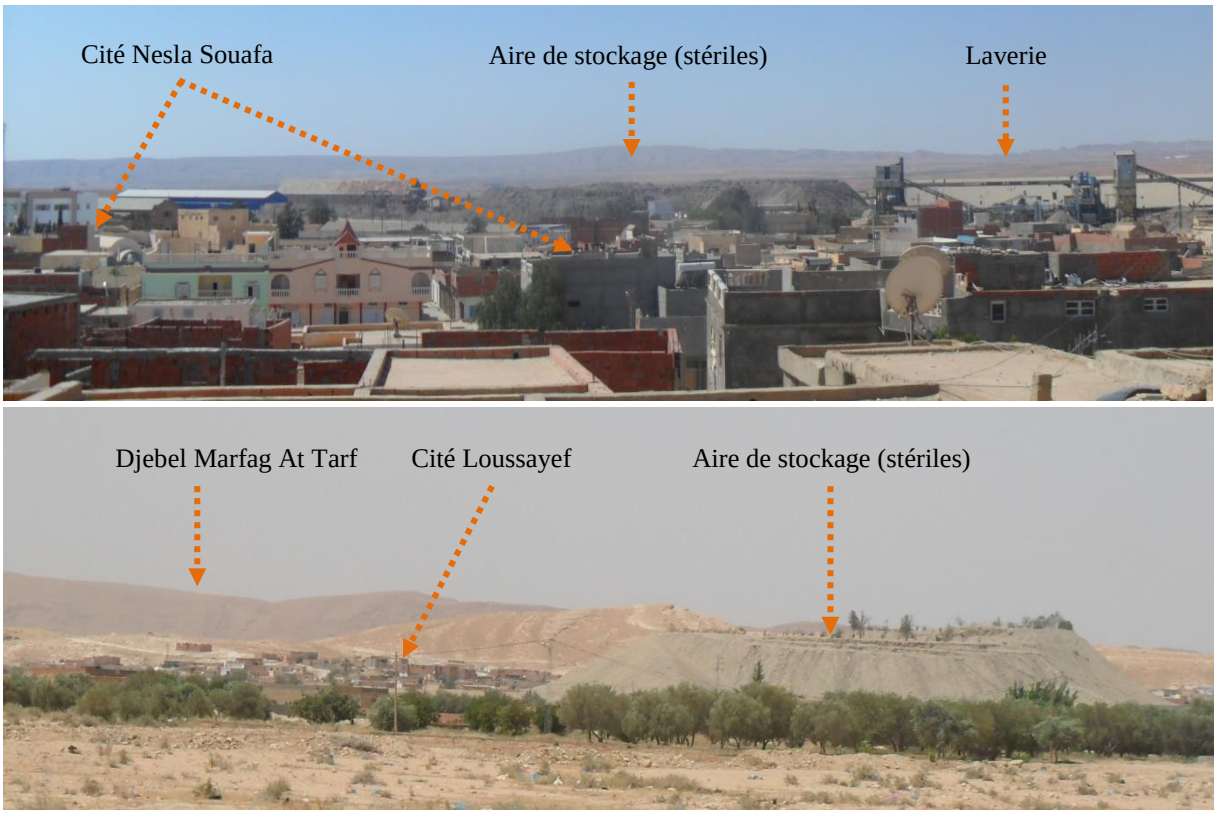
La zone de nuisance atmosphérique, soumise à des vents dominants nord-est et par des vents moins importants venant du nord-ouest, s'étale au sud de la ligne des stocks, de l'aire de stockage et des stériles (carte 40). En effet, les cités au nord de la Laverie sont confrontées à la pollution des rejets de Laverie en période hivernale. Alors qu'en période estivale, c'est la partie sud de la ville qui est touchée par les pollutions atmosphériques. La Cité Kouceîla (au nord-ouest de la ville est légèrement mieux située par rapport à la direction des matières en suspension dans l'air. Par contre, les cités Nesla Souafa et Loussayef sont en pleine zone de nuisance (photo 12.1.). L'ouest de la ville est bloqué par les exploitations minières.



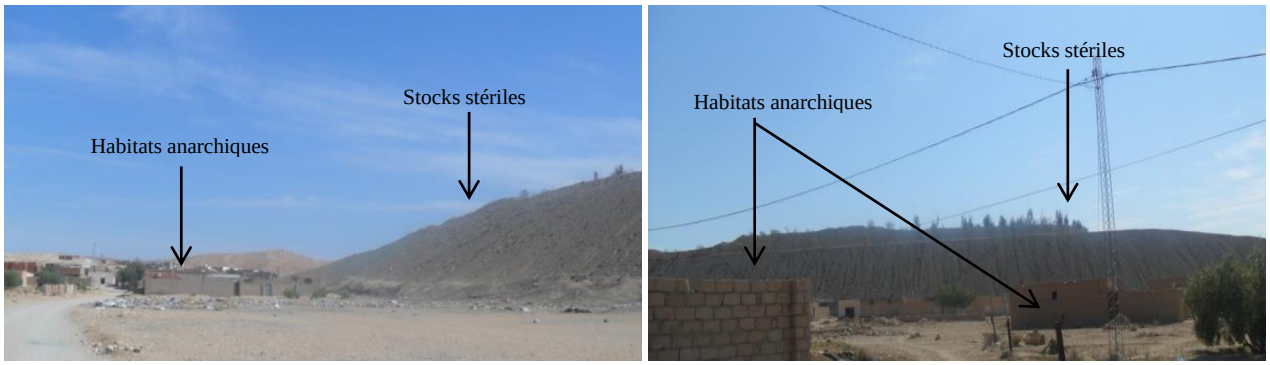
Carte 40 : Infrastructures minières de la ville de Moularès

(Source : CPG, 2016 et Google Earth, 2016)

Le nord de la ville, où s'étendent les habitats anarchiques de Kouceîla, est menacé par les tremblements de terre issus des travaux d'explosion dans le gisement table nord à une distance de moins de 2 Km au nord de la ville. Ajoutons que l'est de la Cité Loussayef est en risque de glissement et d'effondrement de terrain vu son emplacement près de l'ancienne mine souterraine. Moularès est bloquée, ligotée de tous côtés, et les cités Bou Yahya et Mabrouk Brahmi, doivent pour s'étaler (photo 12.2.), passer de l'autre côté des obstacles de zone industrielle (stocks de stérile) pour le premier, et la voie ferrée pour le second.



12.1. Ville de Moularès, vue globale



12.2. Prolifération des habitats vers les stocks de phosphates

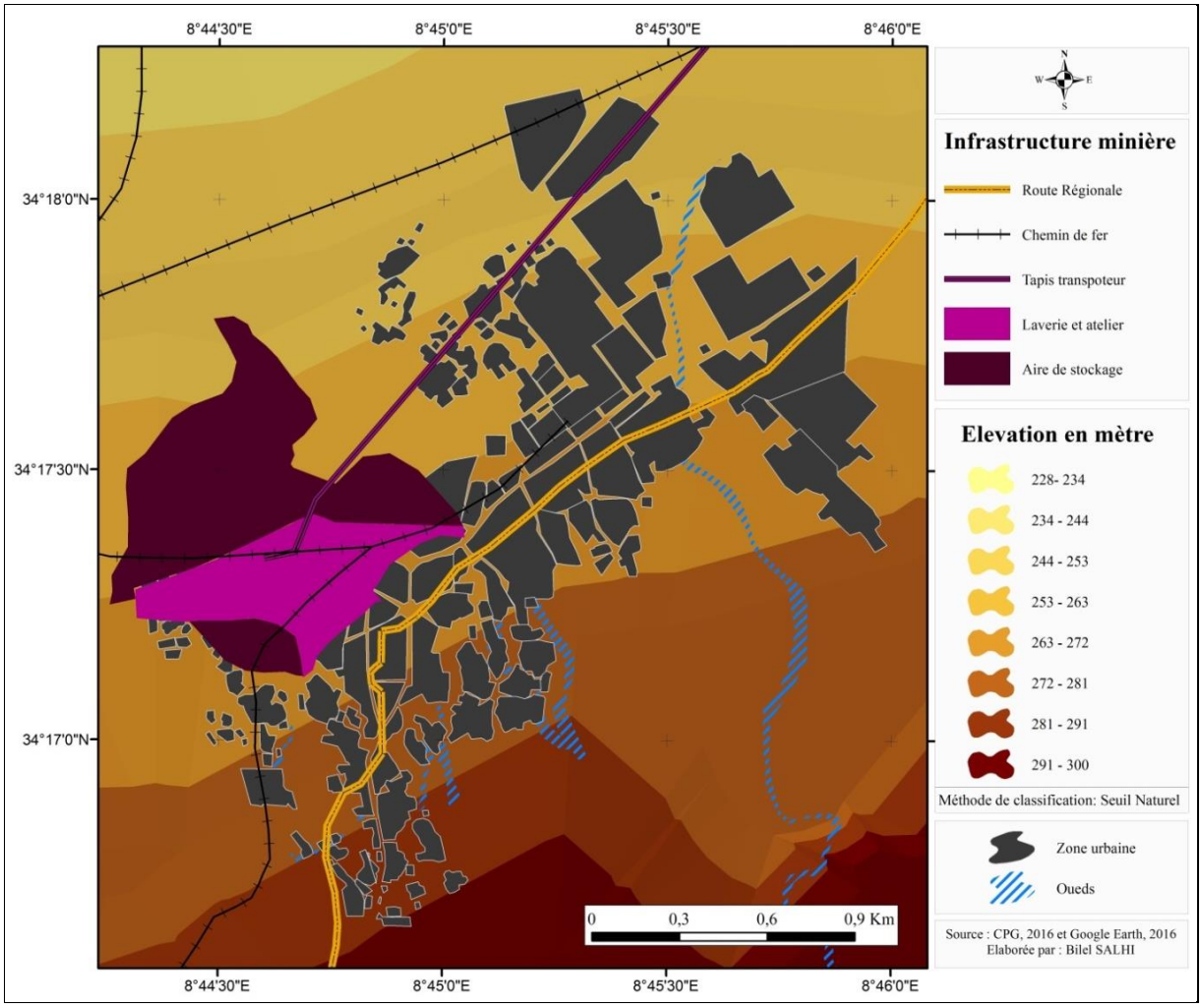
Photo 12 : Infrastructure minière de Moularès et problème d'urbanisation

(Source : Salhi B., 2015)

2.5. La pollution dans la ville de Mdhilla

Les rejets gazeux de l'unité de fabrication de TSP à GCT, constituent une source de pollution pour toute la région de Mdhilla surtout quand les vents sont favorables (direction nord-est). La ville est continuellement affectée par l'air chargé de polluants olfactifs, caractérisés par des odeurs nauséabondes surtout en période d'été. Les zones de stériles se prolongent vers le nord-ouest de la ville issus de la Laverie (carte 41).

Le tapis rail transporteur de phosphate s'étend de la Laverie jusqu'à le GCT, et est protégé en partie par une cage en tôle ondulée. Toutefois les infiltrations de poussière envahissent l'environnement immédiat dans la Cité Echebeb et la Cité SPROLS.



Carte 41 : Infrastructures minières de la ville de Mdhilla

(Source : CPG, 2016 et Google Earth, 2016)

Le cadre de vie est dégradé (photo 13.1.), « la Cité SPROLS désertée en raison de l'exigüité des logements d'une part, et du passage du rail aérien[47] pour le transport du phosphate de la Laverie, vers le GCT » (PAU Mdhilla, 2009). Les entrepôts et les dépôts de stérile sont situés au nord de la Cité Centrale (photo 13.2.) et à l'ouest de la ville engendrant une grande pollution pour la ville (Salhi B., et Dhieb M., 2014b). La politique de protection de l'environnement devrait s'appliquer par la transformation des friches industrielles en Périmètre d'Intervention Foncière (PIF) ainsi que du transport de la Laverie afin d'améliorer les activités urbaines (MEHAT/DGAT, 2012), mais ce projet est loin d'être réalisé.

13.1. Exemple d'état d'aménagement de réseau

13.2. Rail transporteur de phosphate

Photo 13 : Infrastructure minière de Mdhilla et problème d'urbanisation

(Source : Salhi B., 2015)

Le fonctionnement quotidien des villes minières, défini par le fonctionnement industriel, avait peu a peu perdu sa simplicité et sa cohérence dès les années 1940 et ce qui explique l'actuel mauvais état de ces villes. A partir des entretiens avec les acteurs locaux de gouvernorat de Gafsa et les municipalités minières, nous sommes en mesure de penser que l'urbanisme constitue une des conditions nécessaires pour aller vers une démarche de développement durable du BMG. Les municipalités qui devraient jouer un rôle moteur dans la coordination entre la population et les compagnies minières (surtout la CPG), souffrent d'une surcharge de missions aggravées par un manque de moyens matériels et financiers et parfois la faiblesse des compétences des élus, qui se trouvent submergés par les problèmes quotidiens concernant les villes (assainissement, déchets urbaines,…).

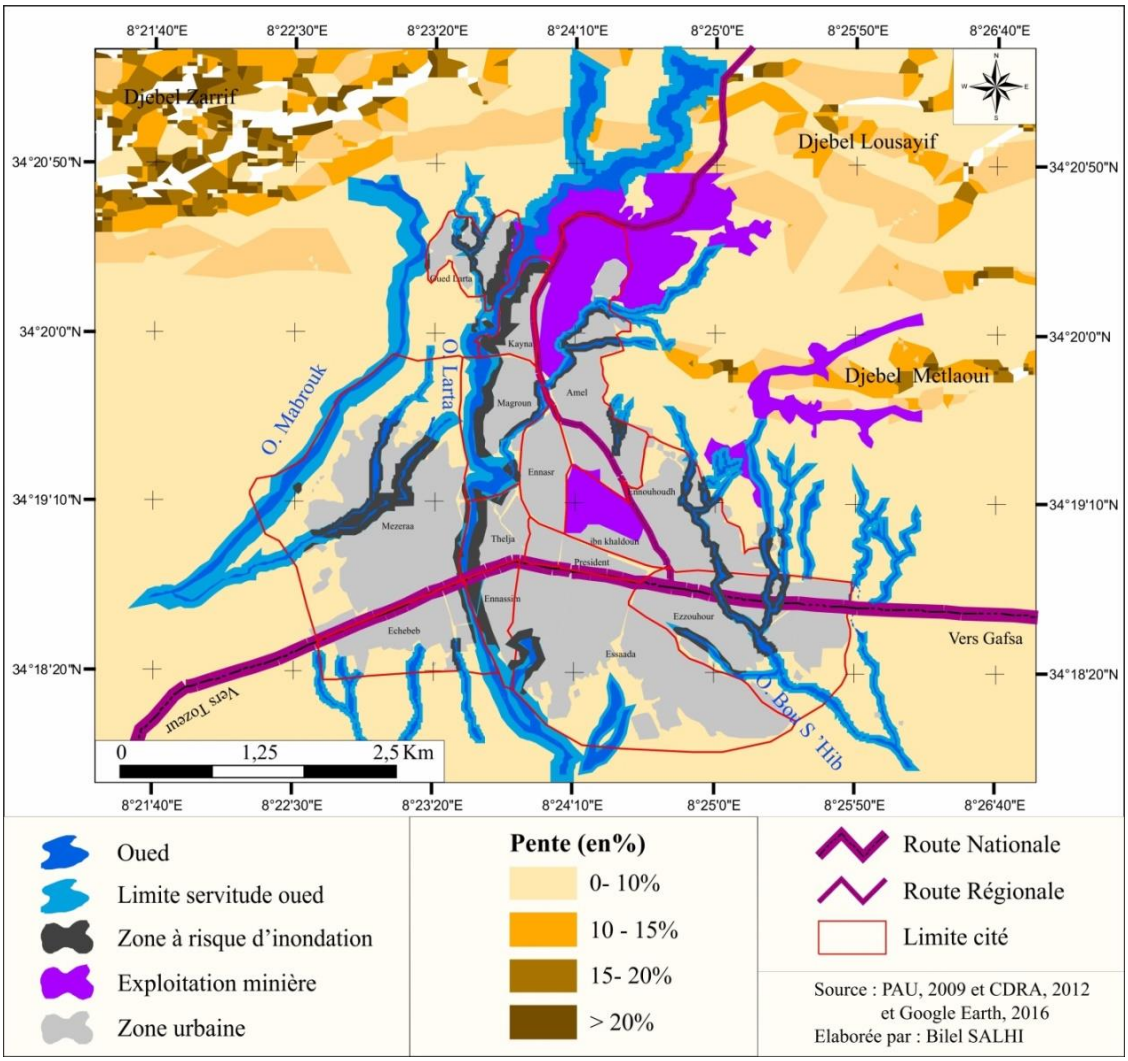
[47] Le tapis rail transporteur de phosphate s'étend de la Laverie jusqu'à le GCT, est protégé en partie par une cage en tôle ondulée. Toutefois les infiltrations de poussière envahissent l'environnement immédiat dans la Cité Echebeb et la Cité SPROLS.

3. Risque d'inondation dans les villes minières

A l'exception de Moularès, les autres villes minières sont soumises au risque d'inondation. Le risque est accentué par la concentration illicite sur les rives des oueds sans respect les zones de servitude.

3.1. Risque d'inondation dans la ville de Métlaoui

Quatre oueds traversent la ville du nord vers le sud (carte 42), dont certains sont bouchés par des constructions ou par les rejets des Laveries (photo 14.1.). De ce fait, la CPG décape périodiquement les couches de phosphate sédimentées (photo 14.2.) afin d'éviter le problème de débordement des oueds lors de période de crues. L'oued Larta, passe au sud-ouest de la Laverie, il est bouché par des constructions au niveau de la RN3 de la Cité Ennassim (photo 14.3.). En période de crues, cet oued sépare l'hôpital régional de Métlaoui du reste de la ville.



Carte 42: Risque d'inondation dans la ville de Métlaoui

(Source : PAU, 2009 et CDRA, 2012 et Google Earth, 2016)

14.1. Rejets des Laveries avant grattage (05-01-2015)

14.2. Rejets des Laveries après grattage (26-01-2015)

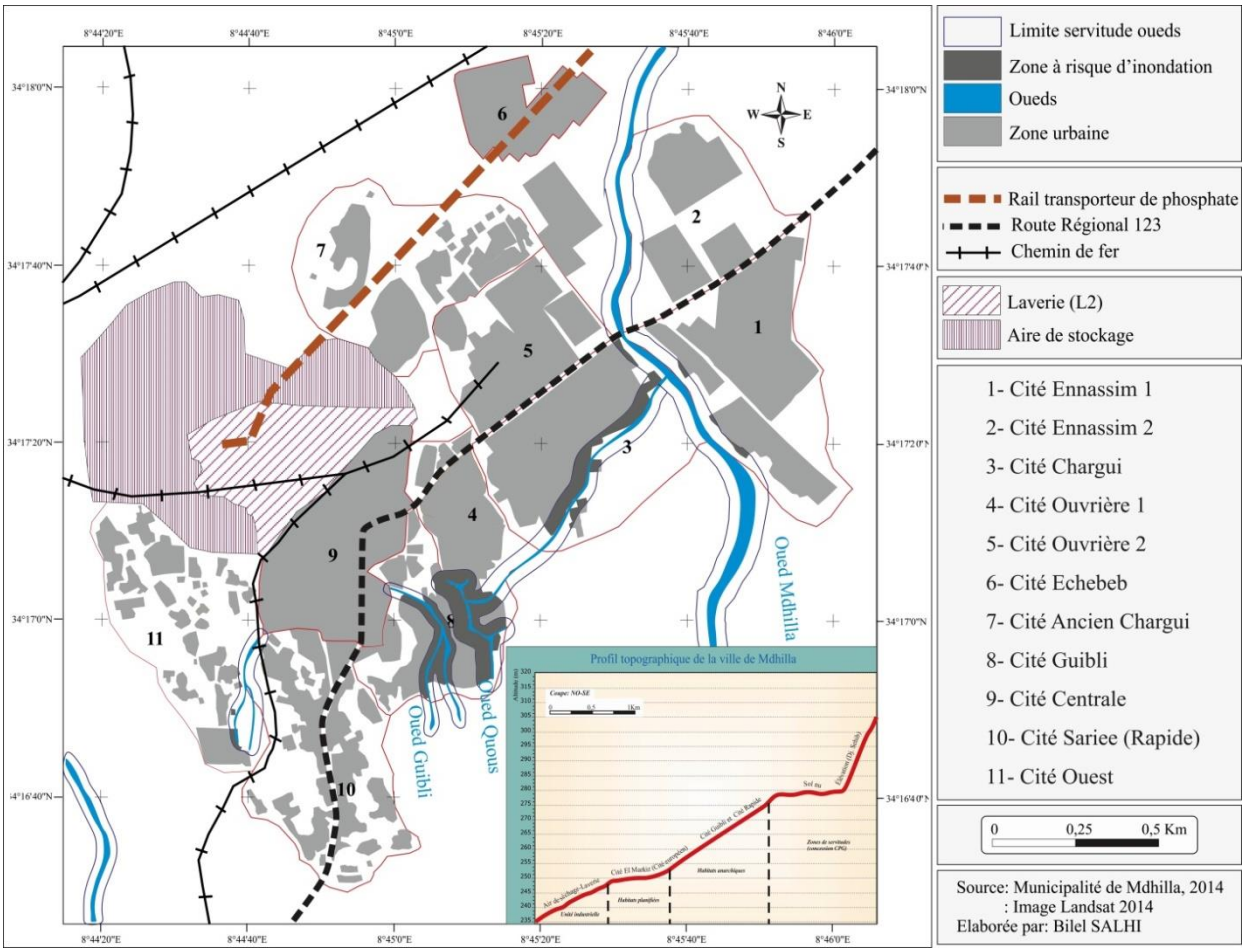
14.3. : Rejets des Laveries après inondation (29/03/2015)

Photo 14 : Aménagement Oued Métlaoui

(Source : Salhi B., 2015)

3.2. Risque d'inondation dans la ville de Mdhilla

La ville de Mdhilla est implantée sur un plan incliné qui joint l'anticlinal du Séhib à la plaine de Gafsa. Les roches qui affleurent sont de faible résistance à l'érosion hydrique, et le creusement des oueds créée un paysage de *bad-lands* (CRDA, 2014). Trois oueds traversent la ville du nord vers le sud (carte 42). Oued Mdhilla traverse l'est de la ville, oued Quous se prolonge entre la Cité centrale et la Cité ouvrière 1, et oued Guibli se prolonge dans le long de Cité Guibli. Le passage de ces oueds dans les zones urbaines nécessite des zones de servitudes de 25 à 30 m sur les deux rives, qui ne sont pas respectées. C'est principalement le sud-est de la ville qui risque d'être inondé en période de crues. Régulièrement les habitats de cette partie de la ville sont soumis au risque des inondations.



Carte 43 : Risque d'inondation dans la ville de Mdhilla

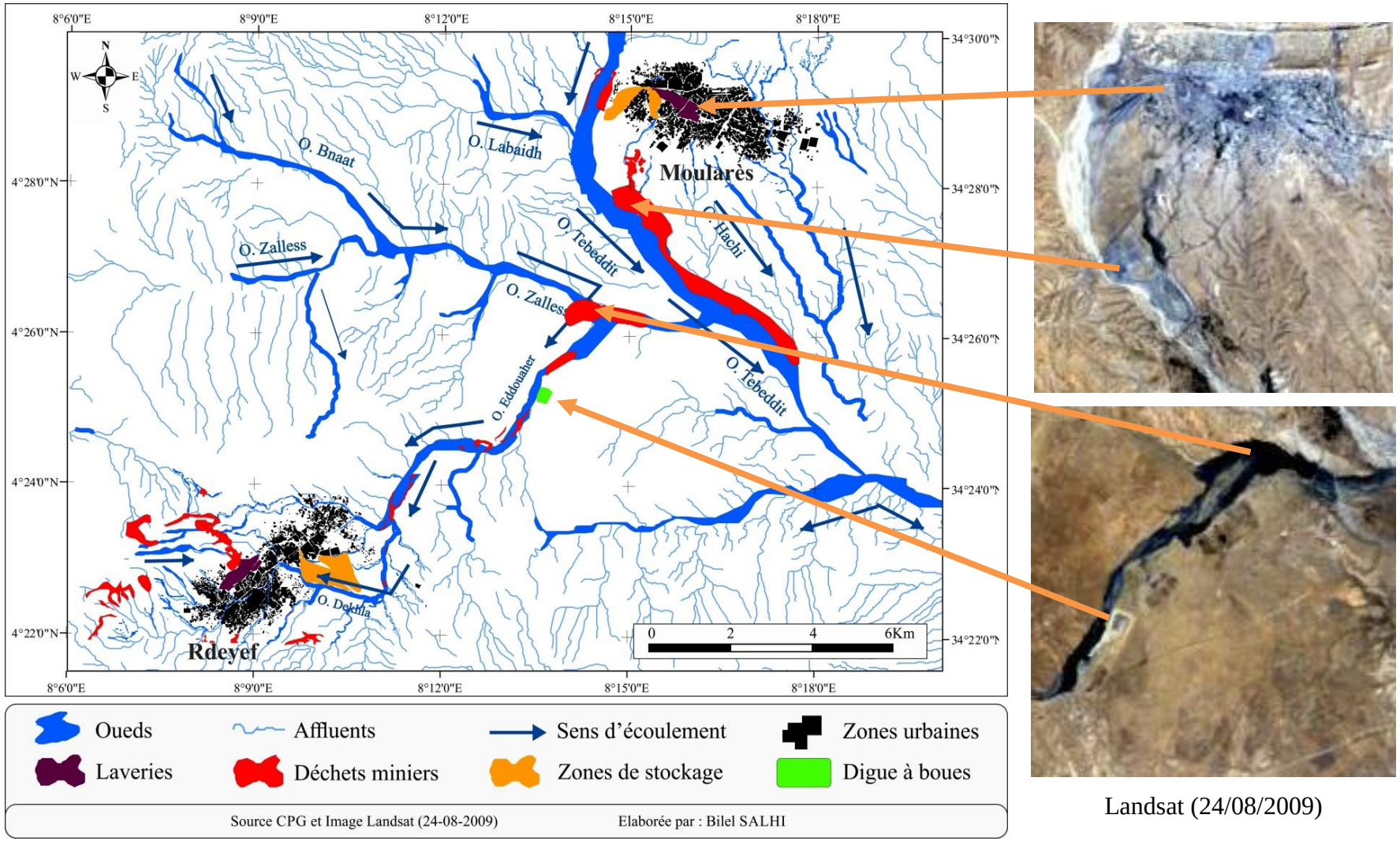
(Source : Municipalité de Mdhilla, 2014 et image Landsat 2014)

3.3. Rdeyef : Stock minier et inondation du 23 Septembre 2009

Le 23 Septembre 2009, de graves inondations ont marqué la ville de Rdeyef., il y a eu 17 morts et 24 blessés ainsi que d'importants dégâts matériels selon la municipalité de Rdeyef. La situation foncière complexe de Rdeyef est l'une des causes principales de l'aggravement de la situation. D'une part, la propriété des terrains revient à la CPG, d'autre part, le faible pouvoir de la municipalité dans la gestion de l'espace urbain aboutit à des constructions sans autorisations à bâtir. Les habitats sont implantés dans et aux alentours du lit d'oued Dekhle, sans aucun respect de la zone de servitude. L'occupation du sol de la ville de Rdeyef constitue en effet un aléa majeur, puisqu'elle est traversée par l'Oued Dekhle ainsi que par ses affluents. Les inondations du 23-09-2009 sont dues à de fortes pluies atteignant 150 à 160 mm, entre 3h et 7h du matin alors que la moyenne annuelle des pluies de la région est de 150 mm/an. Avec un débit d'écoulement[48] supérieur à 280 m^3/s, la quantité totale d'eau qui avait inondé la ville était de 2.25 millions de m^3, emportant avec elle d'énormes quantités de boues, de sédiments et de déchets miniers.

Ainsi, les rejets miniers forment la principale source de dégâts d'inondation. La carte 44 montre que l'accumulation des déchets au niveau de croisement d'Oued Zalles et Oued Eddouaher ont dévié le sens d'écoulement des eaux ruisselées vers Oued Eddouaher au lieu d'Oued Tebedditt, principal oued dans la région. Aussi, le tassement des polluants le long d'Oued Eddouaher constitué de rejets miniers, digues à boues, zones de stériles en amont d'Oued Dekhle) a bloqué en partie le ruissellement des eaux pluviales. Dans ce contexte, l'étude réalisée par le Groupe-conseil Génivar Inc. en (1999) décrit « …l'inondabilité des terrains avoisinants… d'autant plus que la diminution de la capacité de stockage des lits se traduit par la diminution de leur capacité d'amortissement des crues ».

[48] Le débit normal causé par des pluies décennales aurait été normalement égal à $70m^3/s$.



Landsat (24/08/2009)

Carte 44 : Diffusion des rejets miniers dans le réseau hydrographique Moularès-Rdeyef

(Source : CPG et image Landsat 2009)

Une visite sur terrain réalisée, à pied, le 01-10-2015, permet de voir s'il existe encore des traces de rejets miniers dans le réseau hydrographique Moularès-Rdeyef.

Il est certain qu'il existe des rejets miniers dans les Oueds Tebedditt, Zalles, Eddouaher, et Dekhle. Par sa coloration gris foncé, les déchets miniers de phosphates se répartissent le long des oueds formant une couche de quelque centimètre d'épaisseur. L'épandage continu des eaux boueuses dans les lits principaux forme une strate fissurée, plus ou moins imperméable, avec une granulométrie fine et dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres (photos 15.1, 15.2 et 15.3).

Ce qui est étrange, c'est le déversement des stocks de stérile de la CPG directement dans les lits majeurs. La hauteur de ces tas atteint jusqu'à deux mètres. Ce stocks de déchets forment une véritable barrière devant le ruissellement des eaux pluviales dans l'oued (photos 15.4 et 15.5). Des grands tas en amont d'Oued Eddouaher et Oued Dekhle s'étendent sur quelques kilomètres en parallèle avec les deux rives (photos 15.6 et 15.7). La hauteur décroit d'une dizaine de mètres, causant ainsi l'effondrement et l'écoulement de stocks de stériles dans le lit majeur. Mais ce qui est encore plus grave, c'est que ces facteurs accentuant le risque d'inondation.

Photo 15.1. : Oued Dekhle (Sud Rdeyef)

Photos 15.2. et 15.3. : Couches de phosphates sèches

Photos 15.4. et 15.5. : Tas de stériles placés dans le réseau hydrographiques

Photos 15.6. et 15.7. : Des grands tas d'étendent en parallèle avec les rives de réseau hydrographiques

Photo 15 : Expansion des déchets miniers dans le réseau hydrographique du Moularès-Rdeyef, (Source : Salhi B., 01-10-2015)

Conclusion

Les villes minières du Gafsa se caractérisent par une dichotomie urbaine : dans chaque ville nous distinguons bien les habitats programmés, réalisés par la CPG et les sociétés immobilières, et les autres habitats anarchiques dont la ségrégation socio-spatiale est frappante. La CPG avait joué un rôle important, mais cette fonction lui a échappé complètement dès les années 1940 et jusqu'à lors. Des problèmes liés à l'urbanisation sont apparus : pollution, dégradation de cadre de vie, risque d'inondation,…

Seule Métlaoui rassemble à une ville, partiellement. Les autres sont simplement de modestes agglomérations pour Moularès et Rdeyef, et très modeste pour Mdhilla. L'aménagement de ces villes doit tenir compte de l'infrastructure minière en tant qu'élément propriétaire du milieu.

La CPG est appelée à organiser l'ouverture des carrières dans les limites sécuritaires par rapport aux groupements résidentiels. Cette Compagnie avec ses éminents ingénieurs du génie civil de haute technicité, d'une part, et les municipalités, avec les représentants de la population au sein du conseil municipal, d'autre part, ont dû faire pacte et étalage de leurs connaissances théoriques et pratiques et d'esprit d'analyse, pour coordonner leurs efforts. L'objectif est de mettre à la disposition des habitants de la ville un plan d'extension viable et vivable, épargnant les zones vulnérables (affaissements, éboulements, inondations…). Dans ce sens, la CPG doit prendre plusieurs dispositions pour obtenir un large soutien de la communauté locale et veiller à ce que les citoyens participent de manière significative aux processus décisionnels relatifs au développement durable des projets miniers.

En outre, la Compagnie peut devenir un support aux activités régionales ; support technologique de ses ingénieurs, de ses techniciens et de ses ateliers. Certains dommages sont inévitables sur les citoyens ainsi que leurs propriétaires surtout que les cités qui entourent l'infrastructure minière, se caractérisent par de fortes densités suite à l'accroissement démographique dans le BMG même avec la migration vers le littoral.

Partie III : Mutations économiques et sociales dans le Bassin Minier de Gafsa

Introduction

Dans cette partie, nous étudierons les mutations économiques et sociales sous l'effet de l'exploitation minière. Ainsi, le premier chapitre portera sur la naissance et l'évolution des disparités entre le littoral et l'intérieur du pays avec pour objectif de montrer que le BMG fait partie d'une région marginalisé. Cette étude est basée sur divers indicateurs de disparité issus de l'INS en 2014. Nous étudierons aussi la variation de la hiérarchie urbaine des villes minières sous l'effet d'extraction et d'enrichissement de phosphate tout en tentant de montrer que le BMG souffre d'une hiérarchie urbaine déséquilibrée au détriment de la ville de Gafsa.

Dans le deuxième chapitre, nous étudierons la situation économique du BMG. Nous décelons le niveau de contribution des deux compagnies minières au développement du BMG. De ce fait, nous corrélons cette contribution à la variation de la production de phosphate et les devises issues de phosphate et dérivées. Nous étudierons également l'impact des exploitations minières sur la compétitivité économique de la région car elle paraît problématique à cause du manque de diversification d'activités et de l'absence de dynamique économique.

Dans le troisième chapitre, il sera question d'analyser le chômage et l'environnement opérationnel dans le Bassin Minier de Gafsa. Toutefois, nous montrerons l'importance de l'effectif minier sur la population active dans le BMG pour déboucher à une étude de la variation de l'effectif minier de 1900 jusqu'à 2016. Finalement, une enquête sur le chômage dans le BMG été effectuée en Septembre 2015. 1000 chômeurs ont été enquêtés sur le l'environnement opérationnel dans les villes minières. Elle montre aussi l'interaction entre les chômeurs et les deux compagnies minières, notamment la CPG.

Chapitre VI. Disparités régionales et ces impactes sur le Bassin Minier de Gafsa

Le concept de "dynamiques régionales" implique l'existence d'un changement qualitatif dans la structure spatiale du pays. Il permet de relever le dynamisme différencié des régions, en distinguant des régions dynamiques et des régions peu ou non dynamiques. Ces dernières expriment une situation de stagnation, voire même en crise. Ce sont les « régions-problèmes » selon Haydar A., (2006), comme le cas du BMG. Alors que les régions du littorales constituent un espace de compétitivité économique et accaparent l'investissement de l'industrie tunisienne, les autres régions sont marginalisées et ne disposent même pas de centre de compétences stratégiques afin de garantir le développement de la région.

La révolution du 14 janvier 2011 a projeté au premier plan la question des écarts de développement entre les régions tunisiennes. Les profonds déséquilibres territoriaux, particulièrement entre littoral et intérieur du pays, semblent avoir joué un rôle déterminant dans le déclenchement de la révolution. En effet, durant plusieurs décennies, des régions entières de la Tunisie ont été écartées du processus de développement national qui s'est construit essentiellement sur le littoral. Le ministère du développement régional, 2011 a raison de dire qu'il y a des territoires entiers de l'intérieur du pays, comme l'exemple du BMG, selon le découpage administratif du pays, sont restés enfermés dans leur vocation économique traditionnelle qui les a condamnés à la stagnation.

1. Naissance et évolution des disparités entre le littoral et l'intérieur

La prise en considération du problème des déséquilibres spatiaux ne remonte qu'au début des années soixante. Les moyens mis en œuvre dans le domaine de la planification du territoire n'ont pas été à la mesure des déséquilibres spatiaux dont souffre le pays (Dlala H., 1981). En outre, l'expérience libérale en Tunisie, provoque une accentuation des disparités régionales entre les régions du littoral et de l'intérieur (Kadhem Kilani M., 2015).

1.1. La formation du gradient littoral-intérieur

Le processus de divergences cumulatives a conduit à une véritable littoralisation de l'espace tunisien qui fait qu'à l'opposition nord-sud au lendemain de l'indépendance s'est substituée progressivement une opposition plutôt est-ouest entre le littoral et l'intérieur (Belhedi A., 1995b et Haydar A., 2006). Toutefois, le déséquilibre régional s'aggrave, entre la frange littorale où se localisent les villes les plus importantes et les densités les plus fortes et l'intérieur où les quelques villes moyennes, à savoir les villes minières, n'arrivent pas à attirer beaucoup d'activités et les densités restent faibles.

En effet, les régions de l'intérieur ne donnent pas un grand signe de prospérité. L'attractivité de Tunis a été plus grande pour les industries de la loi 74-74[49] que pour celles de la loi 72-38[50] puisque 43,7% des projets, 36,1% des investissements et 44,7% des emplois ont été réalisés dans la capitale (Belhedi A., 1981). Le littoral sans Tunis a bénéficié de 46,5% des projets, 52,5% des investissements et 46,6% des emplois en particulier le Sahel de Sousse et de Sfax.

[49] Loi n° 74-74 du 3 août 1974 relative aux investissements dans les industries manufacturières. *J.O.R.T.* (51), 6/8/74: 1744-1746. Cette loi a pour objet de fixer les conditions et avantages applicables aux investissements à réaliser en Tunisie dans les industries manufacturières. Les projets agréés bénéficient des avantages fiscaux et financiers, de la garantie de transfert du capital et de ses revenus…

[50] Loi n° 72-38 du 27 avril 1972 portant création d'un régime particulier pour les industries produisant pour l'exportation.

Dans l'ensemble des gouvernorats côtiers (Tunis compris) ces pourcentages varient entre 88,6%, et 91,3% (Dlala H. 1981b).

Les régions du littoral (avec environ de 40% de la population) ont concouru à hauteur de 80% au PIB national en 2014. La conséquence est que les régions qui composent le pays, se sont distinguées par leurs potentialités socio-économiques. Le clivage littoral-intérieur est accentué puisque le capital privé se dirige préférentiellement vers le littoral, pour des raisons de compétitivité et d'économie. Reste à signaler que des disparités sont enregistrées entre les régions côtières elles-mêmes.

Le sud est marginalisé par rapport au nord, et l'ouest est aussi marginalisé par rapport à l'est : c'est la double disparité nord/sud et Tunisie-littorale-orientale/Tunisie-inférieure-occidentale. Ce découpage justifie d'emblée de choix de notre région doublement défavorisée par les conditions naturelles, géo-écologiques et politiques que les conditions humaines et historiques tant à l'époque précoloniale et précapitaliste qu'à l'époque capitaliste de l'ère coloniale puis de l'ère post coloniale.

1.2. Les indicateurs de disparité régionale

Le mal-développement s'est construit, à partir de l'extrême centralisation des décisions économiques et politiques en Tunisie, sur une stratégie de domination économique sur les régions de l'intérieur. Ce mal-développement s'est le plus souvent accompagnée d'une monoproduction, et surtout s'est avéré être le contraire du développement durable et de la préservation des richesses naturelles du pays.

1.2.1. Inégalité des investissements et inégalité de la dynamique

Selon Belhedi A., (2012), l'investissement constitue l'élément central dans la dynamique spatiale des inégalités. Il explique l'inégal développement spatial qui influe largement sur les autres indicateurs relatifs au niveau et aux conditions de vie comme, la santé, l'infrastructure, l'habitat, l'emploi, le revenu,….

Une véritable situation paradoxale s'instaure où à l'est du pays nous avons une concentration des besoins et les investissements privés sont plus productifs tandis qu'à l'intérieur, l'essentiel de l'investissement est public. Il s'oriente plus particulièrement vers les infrastructures et les équipements administratifs[51]. Entre de 1972 et 1987 les investissements ont été orientés vers les régions les plus développées (figure 22) : Tunis a reçu 32,2% des invesstissements et le

[51] Les taux de réalisation des projets sont inférieurs aux taux moyens nationaux estimés à environ 50%. Durant la période 2003-2007, sur 298 projets déclarés, 92 ont été réalisés ou encore en cours de réalisation. Ceci correspond à un taux de réalisation de 31%. L'investissement est de 19,4 MD, soit un taux de réalisation de 22,2%, sans tenir compte du projet de la cimenterie programmé à Mdhilla-Gafsa. Le taux de réalisation des emplois est de 24,6%.

centre-est, 28,6% tandis que le sud a reçu (18,8%), mais le nord-ouest avec (4,6%) et le centre-ouest surtout avec (2,2%) n'ont eu qu'une part négligeable. Durant le VII plan (1987-1992), le nord-est accapare 34,9% des investissements (services sociaux, scolarisation, santé,…). Au sud-ouest, la progression de l'investissement moyen annuel est de 93,28MD, soit environ 10%, est due à une logique nationale de valorisation des ressources minérales ayant par conséquent un faible impact économique et social sur le développement régional. Dans le sud, l'axe Gafsa-Gabès a intéressé l'essentiel des investissements : Industrie Chimique et Mécanique (ICM), mines et axe ferroviaire Gafsa-Gabès. Pour les investissements du VIII plan (1992-1997), les zones intérieures voient leur part baisser jusqu'à 28% contre 35,9% le VII plan (1987-1992). Alors que le littoral concentre 71,85% dont 35% au nord-est.

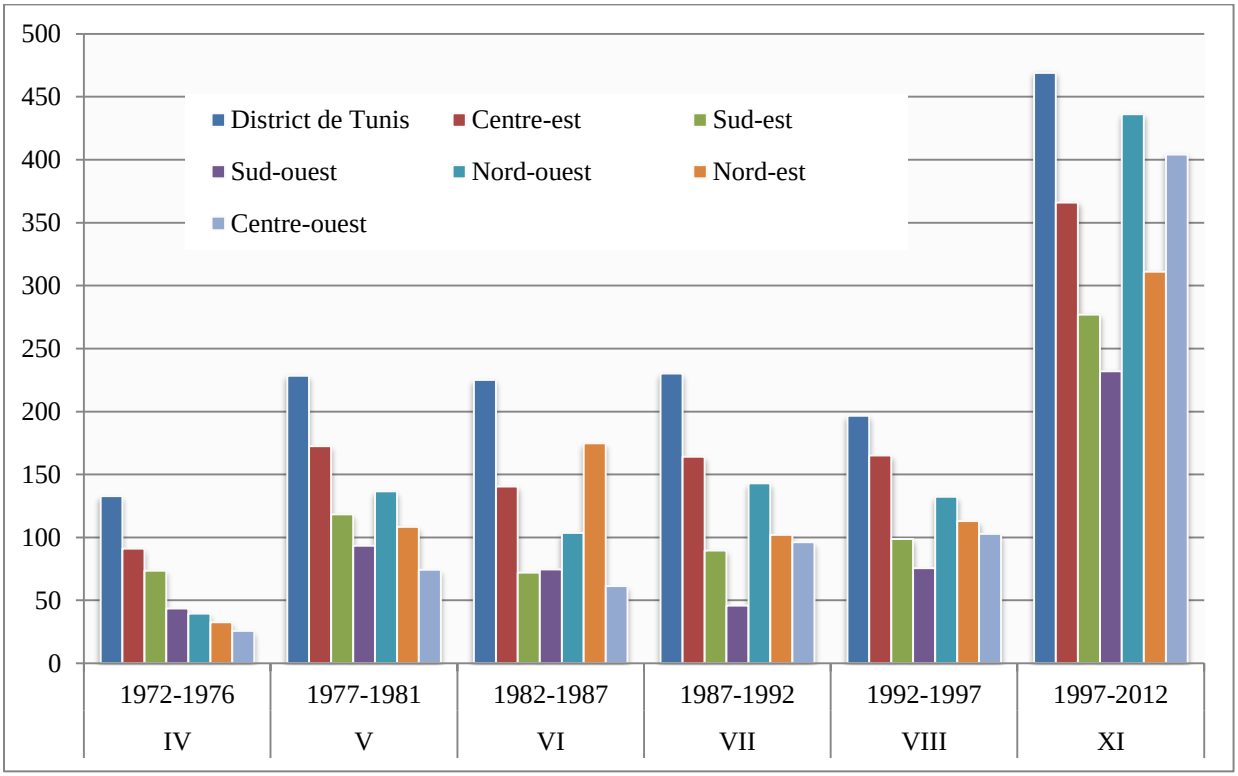


Figure 22 : Investissements publics moyens par plan et région en millions de Dinars (MD)
(Source : MEHAT, multidate)

Bien que les régions intérieures aient bénéficié durant ces dernières années de crédits supplémentaires allant jusqu'à 200 MD, cela ne bouleverse pas la répartition globale des investissements entre le littoral et l'intérieur. Ainsi, dans le sud-ouest, la moyenne annuelle des investissements publics pendant la période, 1997-2012 a été de 232MD, soit 9,28% de la moyenne annuelle nationale (6470,4MD), plaçant le sud-ouest (564,6MD, soit environ 230 Millions d'Euros) au dernier rang après le sud-est (729,1MD). Dans cette région où l'essentiel

de l'investissement public est relativement faible de surcroit, Gafsa reste marquée par la prépondérance de ce capital sous l'effet de l'investissement minier.

Au niveau idéologique, la centralisation des décisions politiques et économiques, dans un climat politique défavorable, caractérisé par la corruption, l'absence de transparence et l'intervention excessive de l'Etat, bloque l'initiative privée (Gharbi M., 2012). Les acteurs régionaux du développement subissent les orientations nationales. Ajoutons que l'affectation des projets aux différentes régions dépend généralement des considérations politiques ou géographiques. Elle ne prend généralement pas en considération les capacités productives de la région, l'aptitude des acteurs de développement et la maitrise de la technologie même si elle est parfois rudimentaire.

1.2.2. Autres indicateurs d'inégalité régionale

Les inégalités régionales qui se situent au niveau des branches d'activité de l'industrie manufacturière et des services de base sont très importantes (santé, éducation, infrastructure de base, industrialisation,). « Ajoutons une gigantesque fracture numérique entre le littoral et l'intérieur en matière d'accès à internet et la téléphonie mobile» (Grasland C., 2012).

Selon l'étude réalisée par Belhedi A., (2011), la distribution des 415 établissements d'innovation commandés (tableau 4) montre que 45% se concentrent à Tunis, 19% à Sfax et 13% à Sousse. Les trois premières villes du pays représentent 77% des établissements commandés, ce qui exprime une forte concentration de l'espace commandé. Le hiatus est très important entre la capitale et les deux villes littorales de Sfax et Sousse.

Tableau 4: Distribution des établissements commandés selon les villes

(Source : Belhedi A., 2011)

Villes	Nombre	Villes	Nombre	Villes	Nombre
Tunis	187	Gabès	8	Mahres, Beni Khalled, Bembla, Slimane, Fahs, Tozeur, Tataouine, Jendouba, Mateur, Grombalia, **Gafsa**, Ksar Hellal, Hencha, Bousalem	1
Sfax	79	Kairouan	7		
Sousse	54	Monastir	4		
Bizerte	14	Sidi Bouzed, Kef, Mahdia, Beja	3		
Nabeul	13	Msaken	2		
Hammamet	10				
Jerba	9				

Sous la direction du Ministère du Développement Régional et de la Planification, l'Institut Tunisien de la Compétitivité et des Etudes Quantitatives (ITCEQ[52]) a publié en Juillet 2012 son rapport intitulé «Etude comparative en termes de développement régional de la Tunisie[53]» dans le but de calculer un IDR[54] (Indice de Développement Régional). Cet indice a recueilli une large base de données au niveau des gouvernorats et des délégations. Le rang établi par gouvernorat montre que globalement les régions côtières sont mieux loties. En effet, l'IDR obtenu confirme ce que l'on savait déjà quant à la division du territoire national en deux entités "divergentes": les régions du District de Tunis et plus globalement des régions côtières d'une part ; les régions de l'ouest, du sud et de l'intérieur d'autre part (tableau 5).

Tableau 5 : Exemple des indices de développement régional en 2012 (Ministère du Développement Régional et de la Planification, 2012)

Indice/ classe	Tunis (1er classe)	Sfax	Gabès	Gafsa	Dernier classe
Indice du savoir	0,91	0,67	0,67	0,43	0,03 (Kasserine)
Indice de la richesse et de l'emploi	0,91	0,68	0,56	0,38	0,21 (Kasserine)
Indice de la santé et population	0,68	0,31	0,22	0,18	0,06 (S. Bouzid)

Selon le dernier recensement de 2014, de fortes disparités apparaissent en matière d'analphabétisme, les gouvernorats les plus touchés par ce fléau, avec des taux de plus de 30%, sont ceux de Jendouba (33,9%), de Kasserine (32,8%), de Siliana (31%), de Kairouan (32.9%), de Béja et Sidi-Bouzid (29 %) et Gafsa (19.3%). A titre de comparaison, signalons que le taux d'analphabétisme est de 13.2% à Sousse, de 11.3% à Monastir, et de 10.6% à Tunis et à Ariana.

Au total, le découpage territoriale de la Tunisie se résume en deux bandes ; littorale, et intérieure toujours marginalisée. Le problème de fracture entre les régions de l'intérieur est un héritage de mauvaises orientations et de choix erronés en matière de politique de développement, notamment dans son volet régional. Les inégalités régionales nécessiteront

[52] (ITCEQ): l'Institut Tunisien de la Compétitivité et des Etudes Quantitatives (ITCEQ) est un établissement public à caractère non administratif sous la tutelle du Ministère du Développement et de la Coopération Internationale de la Tunisie.
[53] http://www.cgdr.nat.tn/upload/files/13.pdf
[54] La base de données recueillie comporte 129 variables, traitée pour être résumée en 26 variables qui ont elle-même fait l'objet d'une analyse en composantes principales à trois niveaux qui ont conduit à un Indicateur de Développement Régional (IDR).

l'intervention de l'Etat avec des formules moins obsolètes que le volontarisme des années soixante. La formation des acteurs de développement, l'établissement de canaux de transmission de l'innovation et la décentralisation politique et administrative sont les bases solides pour la réussite de la méthode active de recherche et de planification participative.

2. Disparité et marginalisation de l'espace minier

2.1. Histoire de la disparité dans la région minière

Dès la période coloniale, la politique de développement a contribué à la localisation des usines d'enrichissement de phosphates lavés en dehors de la zone de l'exploitation minière, qui est resté fidèle à la Tunisie-littorale. De même, la tunisification de la Compagnie minière n'a pas modifié la logique de l'exploitation phosphatière typique de l'économie de traite capitaliste. Baduel R., (1982) indique que « …la croissance économique qu'a permise l'entreprise minière est loin d'avoir entraîné localement le développement». C'est le principe de trilogie classique : domaine de richesses-voie de pénétration-port. C'est une politique encore tournée vers une stratégie d'intégration extravertie qui privilégie les fournisseurs hors de la région minière, localisés à Gabès, Sfax et Tunis. Alors qu'avec des recettes financières aussi importantes, les deux Compagnies installées dans le bassin minier (CPG et GCT) devront rayonner sur la région par une politique de plus en plus introvertie qui devrait aboutir à une implication des entreprises locales dans le cadre d'une stratégie visant à définir les activités à extérioriser. En d'autre terme, la rente minière de la région est transférée en grande partie vers d'autres régions du littoral. Les salaires versés par la CPG et le GCT, les rentes dégagées par le commerce transfrontalier et le transfert de la rente minière se traduisent généralement par des niveaux de consommation atteignant des seuils de diversification comparables et parfois même supérieurs à ceux atteints par des régions plus riches. Tandis que les structures productives manufacturière et agricole restent aléatoires.

2.2. Indicateur de disparité régional et marginalisation de l'espace minier

A l'échelle des délégations, l'IDR de la délégation de Gafsa Sud (sous-entendu Gafsa ville) est légèrement supérieur à la moyenne avec une valeur 98 et l'IDR est égal à 0,369 (tableau 6). Il est évident que la délégation de Gafsa Sud est toujours en avance par rapport aux autres délégations minières avec toujours un avantage par rapport à la délégation de Métlaoui dont l'IDR est de 0.206 soit cinq fois inférieur à l'IDR de Bab El Bhar (Tunis). Mdhilla occupe la dernière position des villes minières et parmi les dernières 20 délégations à l'échelle nationale avec un IDR 10 fois inférieur à Bab El Bhar et cinq fois inférieur à la délégation de Métlaoui.

Tableau 6: IDR des délégations minières (Source : Ministère du Développement Régional et de la Planification, 2012)

Code	Délégation	Indicateur	Rang
1153	Bab El Bhar (Tunis)	1,000	1er rang
6154	Gafsa Sud	0,369	98
6157	Métlaoui	0,206	187
6156	Rdeyef	0,194	194
6155	Moularès	0,143	231
6158	Mdhilla	0,118	243
4254	Hassi Ferid	0,000	264 (dernier rang)

Malgré le rôle important joué et par l'industrie minière dans le développement de cette région : financement des projets locaux, aides sociales,... différentes questions se posent sur l'impact des compagnies minières (CPG et GCT) dans le développement économique et régional des délégations minières, qui demeurent plus ou moins en stagnation avec une monoactivité et le manque de projet de développement plus dynamiques.

En terme d'aménagement et de réhabilitation des villes minières, nous avons pu constater une variation des revenus et dépenses des municipalités minières en 2014 (figure 23). La municipalité de Métlaoui accapare une grande part des revenus et des dépenses (1850 à 1458 milles Dinars). Ce que la somme des trois autres municipalités minières. Les autres villes minières ont peu de budget pour améliorer la qualité de vie de ces habitants locaux.

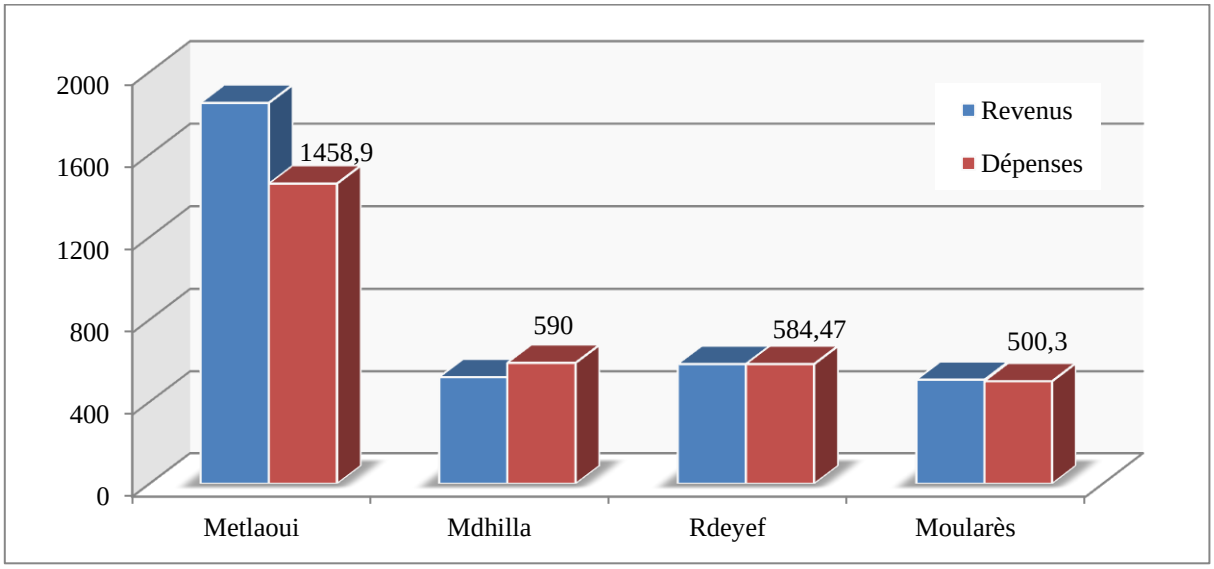


Figure 23 : Revenus et dépenses des villes minières en 2014 (milles Dinars)

(Source : gouvernorat de Gafsa)

De même, du côté des autres infrastructures socio-collectifs comme les centres de santé, seule la ville minière de Métlaoui reste révélateur dotée, après Gafsa (tableau 7) ; alors que les territoires sont touchés par un environnement industriel à haute pollution par l'enrichissement de phosphate.

Tableau 7 : Infrastructure sanitaire dans le secteur public (Source : INS, 2015)

	Centres de soin de la mère et de l'enfant	Nombre de lits	Nombre de laboratoires	Nombre de centres de santé de base	Nombre d'hôpitaux locaux	Nombre d'hôpitaux régionaux	Nombre de population
Gafsa	1	370	4	15	0	1	101100
Métlaoui	1	180	1	6	0	1	38600
Rdeyef	1	60	1	5	1	0	27000
Moularès	1	40	1	10	1	0	27000
Mdhilla	1	40	1	2	1	0	15300

Selon divers indicateurs déjà cités, il semble que la région minière de Gafsa est bien loin du croissant prospère du littoral, régions relativement plus développées. Le scénario retenu dans le cadre du SDA de la Région Economique du sud-ouest (SDARE, 2011), a comme objectif premier, pour la région minière de Gafsa, la préservation et la valorisation des ressources naturelles dans le BMG, laissant à côté le développement social de la région.

Le BMG exprime un décalage sensible entre une faible croissance des activités économiques (surtout mono-active), et de l'emploi face à une croissance urbaine active.

3. Hiérarchie urbaine des villes minières

La hiérarchie urbaine est le classement des villes et leurs aires d'influences les unes par rapport aux autres. Cette hiérarchie a été mise en évidence en 1933 par le géographe allemand Walter Christallier dans son ouvrage sur la théorie des places centrales en Allemagne du Sud (Pumain D., 1982 ; Rousseaux V., 1999). «Il est extrêmement dangereux de vouloir appliquer des modèles de hiérarchisation urbaine (métropole, ville relais, centre régional,…) à des régions de façon uniforme» (Damette F., 1970). Il ressort de cette citation qu'il est incorrecte, au niveau méthodologique, d'étudier la hiérarchie urbaine dans le seul gouvernorat de Gafsa amputée des autres influences des villes limitrophes, voisines ou lointaines.

3.1. Structuration des villes minières et dépendance des villes portuaires

A l'échelle national, le sud-ouest tunisien (Tozeur et Gafsa) garde toujours une position de dépendance par rapport aux autres métropoles (Tunis, Sfax, Sousse-Monastir et plus récemment Gabès) comme nous montre la figure 24. Le BMG est directement lié au littoral, il se trouve à la base d'une pyramide à double sommet, le plus élevé étant représenté par Sfax, concurant économique mais de niveau supérieur de Gafsa ville de facon très spectaculaire.

La liaison BMG-Sfax a eu d'énormes répercussions sur le fonctionnement de l'économie régionale de Gafsa; elle a provoqué l'écartèlement de la région et une certaine désarticulation interne. Cette désarticulation a persisté et le sera encore tant que l'activité minière est prépondérante dans la région de Gafsa.

La liaison ferroviaire entre le BMG et le port de Sfax avait pour but l'expédition du minerai et l'importation de produits manufacturés, dans une économie extravertie. Les mineurs, grâce à leurs salaires relativement réguliers et aux titres de transport gratuit qui leur sont accordés avec leur familles par la CPG, ont participé, entre autres, au développement des villes portuaires, surtout Sfax, par des activités traditionnelles comme les meubles et les petits métiers. Même pour les relations commerciales (habillement par exemple), les déplacements vers Sfax sont souvent plus importants que ceux vers Gafsa. Par conséquent, la valeur ajoutée brute régionale est expédié hors de la région de Gafsa.

Par récurrence, le développement du gouvernorat de Gafsa est entravé par la perte importante des revenus titrés de son arrière-pays, le BMG. Ainsi, le domaine minier se comporte comme un corps exogène que le gouvernorat n'a pas pu intégrer pour favoriser son développement régional. Le BMG n'a pu ni imposer sa propre capitale en tant qu'une région minière, ni promouvoir le rôle de la capitale traditionnelle, Gafsa ville. De ce fait, en matière de développement régional, la mine n'a pratiquement induit aucune activité, ni de plus valeur régionale : rien en val.

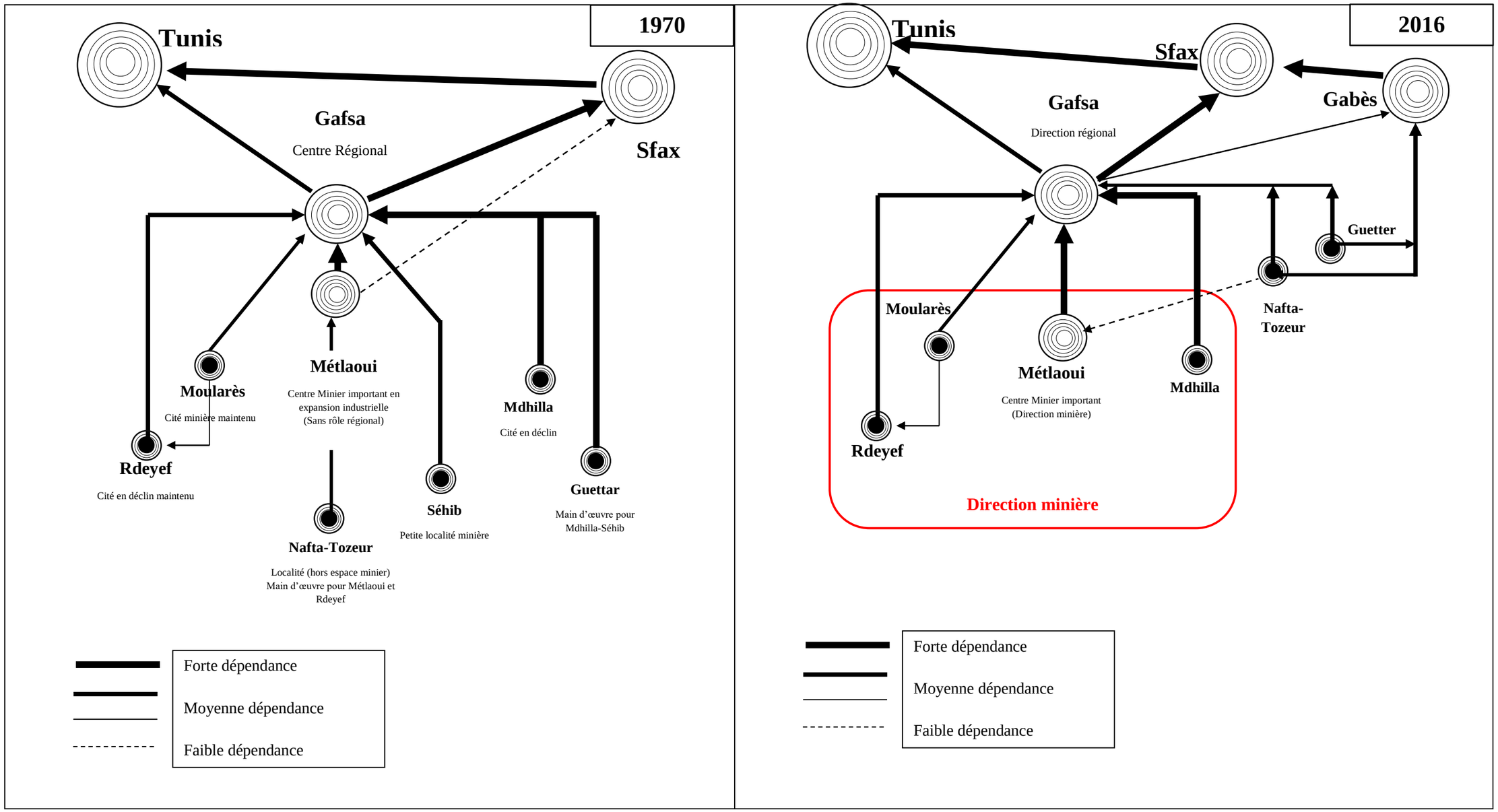
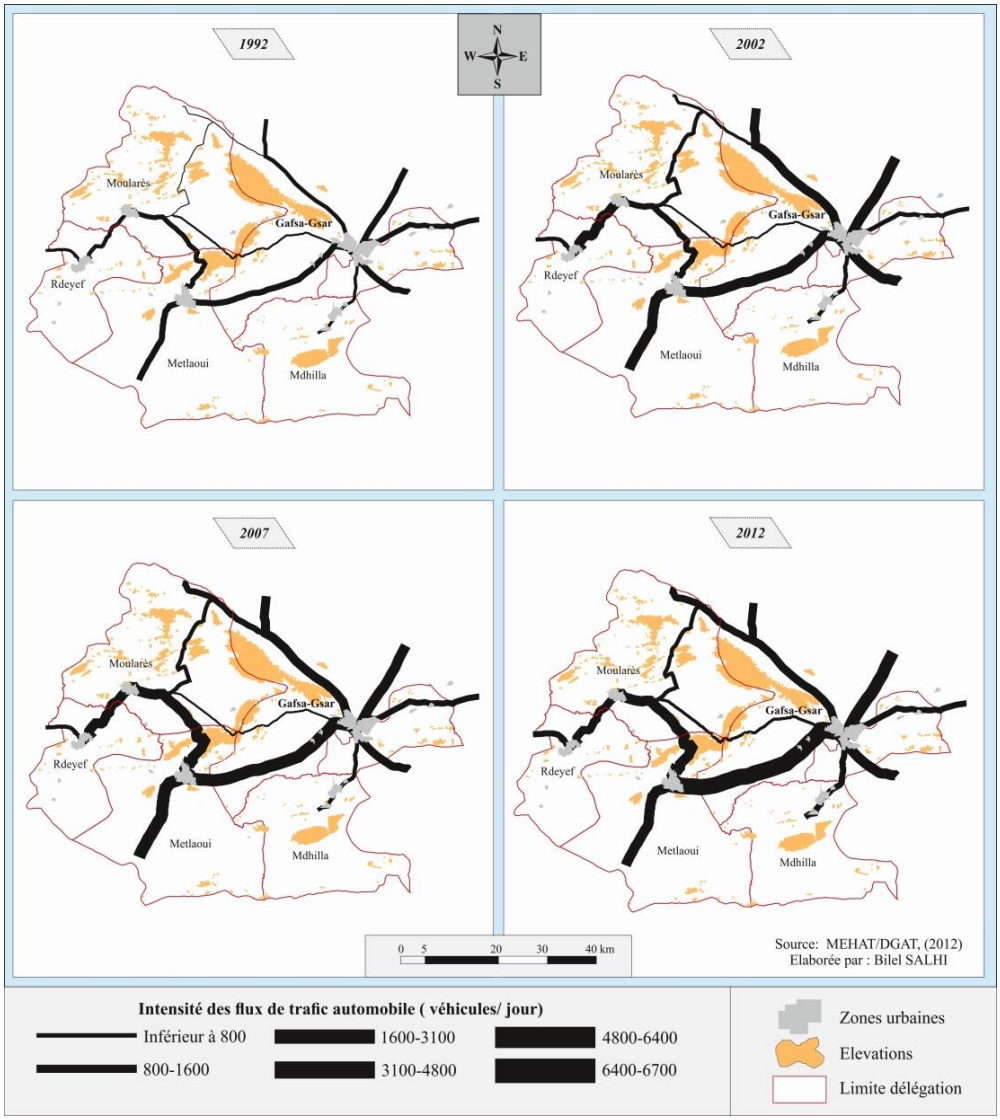


Figure 24: Variation de la hiérarchie urbaine des villes minières entre, 1970 et 2016

(Source : Groupe Huit, 1970 ; Chandoul S., 2010 et MEHAT/DGAT, 2012) modifié par l'auteur

3.2. Un niveau hiérarchique déséquilibré

Sur le plan hiérarchique, depuis leur création, les villes minières sont très loin derrière de la ville de Gafsa. Mais, elles ne jouissent pas pour autant de la même position : Rdeyef[55], Moularès puis Mdhilla sont presque au même niveau, et, à une distance derrière, Métlaoui. En effet, Mdhilla, trop proche de Gafsa, n'a pas pu acquérir assez d'autonomie pour avoir un équipement satisfaisant. Il existe des embryons de relations commerciales; très fortes entre Gafsa et Mdhilla ; beaucoup plus faible entre les trois autre villes minières. Cependant, si les villes ont vécu en s'ignorant presque les unes les autres, il serait faux de dire qu'elles n'ont aucune relation avec le reste de la région et bien sur les autres métropoles (Sfax et Tunis).



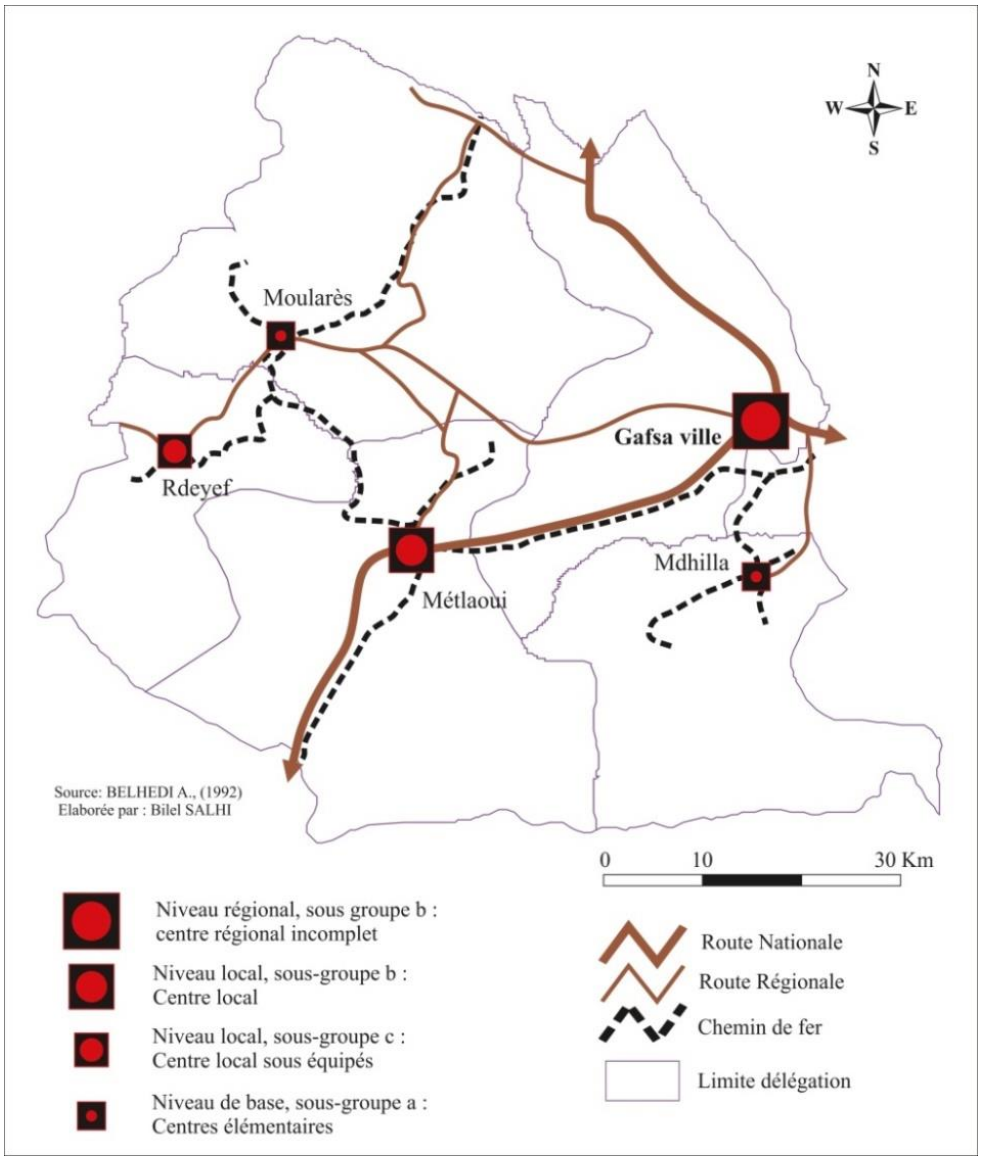
Carte 45 : Evolution de la circulation routière (1987-2012)

(Source : MEHAT DGAT, 2012)

[55] Dans les années 1950 la position de Rdeyef devance Métlaoui ; c'est son arrière-pays relativement peuplé qui a permis un développement non négligeable, vue la taille de la ville, du secteur non-minier (principalement agricole) (Despois J., 1961).

En 2012, le débit journalier moyen a atteint son apogée au niveau de la ville de Gafsa (carrefour du gouvernorat) avec 22238 véhicules/jour. Au niveau du BMG, la RN3 reliant Gafsa à Métlaoui est très loin des autres débits de circulation avec 6481V/J (carte 45). Donc, Gafsa est très bien relié à Métlaoui et Tozeur, drainant ainsi l'ensemble de son arrière-pays Ouest. Dans la principale ville minière (Métlaoui) et en allant vers le gouvernorat de Tozeur, le débit chute en moitié (3964V/J.), ce qui montre que Métlaoui est une ville de transit entre le littoral et Tozeur. La ville de Mdhilla est isolée des autres villes minières, l'unique reliant est la ville de Gafsa-Gsar avec 2944V/J recenser, dont plus de ¾ sont des légers véhicules.

Nous pouvons distinguer quatre niveaux à subdiviser en sous-groupes : niveau supérieur ; niveau régional, niveau local ; niveau de base (carte 46).



Carte 46 : Classification des villes minières

(Source : Belhedi A., 1992)

Dans le tableau 8, la pente négative indique une tendance de tassement qui montre que le système sur-urbain du BMG est classé comme modéré. Les mouvements sociaux de 2008, 2012 et 2013 montrent qu'on est encore devant un état de déséquilibre social, politique et économique. Selon le concept de dynamique régionale, le BMG est classé aujourd'hui comme une région non dynamique, en stagnation économique, voire même en crise. Dans ce sens, Haydar A., (2006) a eu raison la décrire comme : « une région-problème [56]».

Tableau 8 : Variation des paramètres de la loi de Rang-taille des systèmes urbains régionaux dans le BMG (Source : Belhedi A., 2004 ; INS, 2014)

Année	**Pente (**a)	**Constante (**b)	**Corrélation (**r)
1956	-1.2031	21.633	-0.9464
1984	-1.3949	78.895	-0.9789
1994	-1.1671	91.531	-0.9443
2004	-1.3224	89.782	-0.9510
2014	-1.3129	87.136	-0.9418

3.2.1. Niveau hiérarchique de Gafsa ville

Rappelons que jusqu'aux années 1960, la ville de Gafsa était un simple couloir où rien ne s'arrête. Elle n'a jamais réussi à s'imposer comme capitale régionale, mais était un simple relai intermédiaire de Sfax et de Tunis, et aujourd'hui progressivement de Gabès. Depuis le changement initié en 1987 par l'ancien président Ben Ali, la ville de Gafsa, fait l'objet d'investissements économiques importants de la part du gouvernement. Un aéroport international, un centre d'affaires et un pôle universitaire appuyé par un rectorat, ont vu le jour dans cette ville moyenne marginalisée depuis de longues années. En revanche, la ville de Gafsa est classée comme un système urbain sans une base économique fournie ou un centre régional incomplet bien qu'elle regroupe 53,4% des établissements et 61,6% des emplois du gouvernorat avec une position plus marquée (pour le non-alimentaire). Les potentialités de la ville de Gafsa sont limitées aux services publics d'encadrement qui ne sont plus capables d'attirer les populations du centre-ouest et du sud-ouest. Le manque d'opportunités d'emplois et d'insertion économique a donc fortement restreint leur pouvoir d'attraction sur les populations locales et régionales.

[56] Même l'agglomération urbaine de Gafsa-Gsar ne présente qu'un seul mécanisme sur trois qui doivent exister, à la fois, pour susciter le processus de métropolisation « stade suprême du développement urbain» (Belhedi A., 1992) et pour attirer les entreprises, surtout internationales.

Malgré ces inconvénients la ville de Gafsa est la seule qui peut jouer le rôle de capitale régionale du "Sud intérieur". En effet, elle est classée comme autant un niveau supérieur de l'armature urbain : relais régional de second rang qui joue un rôle régional bien qu'elle est moins bien équipée (Belhedi A., 2012b). La construction du siège social de la CPG à Gafsa et de rassemblement de ses différentes directions qui ont migré de Tunis et de Métlaoui en 1986, sert à renforcer le rôle de Gafsa dans sa région. Ainsi, Gafsa a amputée la ville de Métlaoui d'une partie de son pouvoir comme une direction minière. En revanche, elle n'avait pratiquement aucun rôle de direction dans l'économie extravertie de sa région ; les effets induits l'extraction et l'enrichissement de phosphate lui échappent à la faveur de Sfax et des villes littorales. La centralité industrielle a empêché les intérêts commerciaux dans la capitale tels que le siège de la CPG ou le GCT.

3.2.2. Niveau hiérarchique de la ville de Métlaoui

Bien que son dynamisme démographique soit considérablement essoufflé, comme les autres villes minières, Métlaoui représente incontestablement le principal centre minier en terme de services ou en terme des centres administratifs miniers (tableau 9). Métlaoui a certes un avantage comme garant d'environ la moitié de production de phosphates dans le BMG, mais aussi le siège de quelques services centraux de la CPG.

Aussi, sa situation géographique au cœur du BMG lui a donné un avantage appréciable sur les autres villes minières. En revanche, la ville de Métlaoui n'a pas pu créer des flux à son bénéficie entre elle et les autres sièges. Elle n'est pas considérée comme une vraie capitale minière puisque le siège central se localise à Tunis et Sfax par l'intermédiaire de Gafsa ville.

Métlaoui est classée comme ayant un niveau moyen de l'armature urbain : centre secondaire ou « centre régional à fonction multiple » (DGAT, 2012). Le rôle confié à Métlaoui dans cette structure régionale est nettement plus important que celui confié aux trois autres villes minières. Les activités industrielles représenteront environ 1/3 des emplois totaux en 2014.

Tableau 9 : localisation des principales administrations minières (Source : CPG, 2016)

Ville	Administration minière
Gafsa ville	- Direction des affaires administratives et juridiques - Direction Organisation et méthodes de travail - Direction Centrale de gestion - Direction du développement - Direction de la planification minière - Direction de Suivi de production et d'extraction - Direction d'informatique industrielle -Direction de comptabilité - Direction du budget
Métlaoui	- Direction secteur minier Métlaoui -Centre géologique et de recherche -Centre de formation - Direction des achats -Direction d'environnement et de sécurité -Direction central de production - Direction Matériel et Maintenance - Centre de gestion de stocks
Mdhilla	- Direction secteur minier Mdhilla - Groupe Chimique Tunisien (GCT)
Rdeyef	- Direction secteur minier Rdeyef
Moularès	- Direction secteur minier Moularès

3.2.3. Niveau hiérarchique des autres villes minières

Les autres villes minières (Rdeyef, Moularès et Mdhilla) sont classées comme un niveau de base de l'armature urbaine : Centres locaux dont le poids de l'équipement urbain est le plus déterminant. Ces villes minières présentent le dernier niveau de l'armature urbaine dont l'impact sur le milieu rural et sur l'espace environnant est très limité. Alors que ce niveau hiérarchique présente le point de passage entre la ville et la campagne. A titre d'exemple, la ville de Moularès, par sa position centrale, joue un certain rôle commercial pour son

environnement rural, et draine une partie des populations rurales des régions agricoles Douara et Tebedditt. En outre, sa situation géographique lui donne un second rôle ; assurer le transit des produits commerciales régional et international (avec l'Algérie).

La position en cul de sac de Rdeyef contribue, entre autres, à en minimiser l'importance commerciale comparativement à Métlaoui. La place de Rdeyef s'explique par la présence d'une considérable population rurale, et également par des liaisons plus étroites entre la ville et son arrière-pays. Par ailleurs, Rdeyef s'est imposée comme "centre commercial rural" (DGAT, 2014). Elle constitue un relais régional accusant un déséquilibre marqué entre la fonction minière et les services, un déséquilibre déjà remédié en partie ces dernières années. Cette ville devrait être encore beaucoup plus équipée de manière à assurer un certain nombre de services à sa population. Malgré ces problèmes, nous pouvons dire que la ville de Rdeyef est la moins désordonnée dans le BMG, elle arrive à polariser sa petite région en étant un lieu d'échanges ; son souk hebdomadaire est parmi les plus dynamiques dans le gouvernorat de Gafsa. La zone d'attraction peut atteindre la région de Djérid et Tozeur.

Finalement, la ville de Mdhilla n'a pas pu se développer suffisamment. La raison essentielle est sa proximité de Gafsa ville, classée une banlieue éloignée de Gafsa, caractérisée par la grande fréquence des lignes de louages et d'autobus entre Gafsa et Mdhilla. Déduction, son sous-équipement évident s'explique justement en grande partie par ce fait. La ville ne permet aucun rayonnement même sur la région immédiate. Mais, il est une raison autre peut-être plus importante, tout au moins chronologiquement : Mdhilla n'a pas réussi à s'urbaniser. Ses habitants eux-mêmes ne veulent pas y rester (migration des tribus Ouled Maâmer vers la ville de Gsar précisément). C'est une région répulsive où la pollution générée principalement par le GCT est le principal facteur d'immigration. Seule la population de classe défavorisée occupe cette ville.

La désarticulation entre le BMG et le reste du gouvernorat est liée au déséquilibre hiérarchique interne de la région minière elle-même mais aussi par rapport à l'agglomération Gafsa-Gsar. La mise en exploitation des mines a peu à peu créée, sur le plan local, un secteur à revenus relativement fixes, plus élevés que dans le reste du gouvernorat.

La mono-activité d'extraction et d'enrichissement de phosphate se traduit par une sortie de flux financiers contre une entrée de biens et services, ce qui engendre des effets d'entraînement dans les régions les plus dynamiques. De ce fait, la diversité des activités dans la région de Gafsa devient une nécessité pour assurer la pérennité des activités économiques et, peut-être, permettre à Gafsa de jouer le rôle de pôle de développement régional. Ce

développement est tributaire aussi du renforcement des communications entre Gafsa et ses villes minières, considérées comme des villes satellites.

Bien que l'activité minière soit à l'origine de toutes les transformations hiérarchiques dans notre région d'étude, la question qui se pose est de savoir dans quelle mesure l'activité minière joue encore son rôle dans développement économiques dans le BMG?

Chapitre VII. Situation économique de la région minière de Gafsa

Le BMG souffre d'un développement non durable suite, entre autres, à la dégradation de l'environnement, la faible participation de la population locale au processus de prise de décision et au déclin des autres secteurs économiques… C'est la "malédiction des ressources locales" qui apparaît à travers huit canaux[57] (NASRI R., 2015).

L'absence d'une articulation entre l'économie minière et l'économie "non minière", ainsi que le faible impact de celle-ci sur le développement local de la région font que le BMG repose sur une base économique fragile. En effet, l'activité minière se résume à un ensemble d'importations (machines de prospection, d'extraction et d'enrichissement, etc.), à un produit (phosphate enrichis et dérivés) dont la plus grande partie est destinée à l'exportation, et à une masse salariale à effets d'entrainement positifs, mais assez limités sur la région. La valorisation du phosphate n'a pas suscité d'effets d'entrainement notables, hormis le transport de pondéreux et quelques activités secondaires[58]. Le GCT ne représente pas un pôle industriel, car il n'est pas créateur d'autres entreprises ou d'activités à l'aval. Il se limite a exporté le TSP vers le littoral pour l'exportation.

La ville de Métlaoui semble bénéficier d'un nombre assez important de sevices administratifs-miniers. Cependant l'aire d'influence de ces services ne peut en aucun cas dépasser les limites de la délégation. Pour Rdeyef et Moularès, la seule ressource se restreint à l'exploitation minière. Théoriquement, le seul pôle créateur d'emploi est la CPG, mais l'activité

[57] 1. Le déclin des secteurs non miniers- 2. Faibles intentions entrepreneuriales- 3. Inégalités de revenus élevés- 4. L'augmentation de la rente du comportement de recherche- 5. Faible participation au processus de prise de décision 6. Les conflits sociaux- 7. Inégalité entre les sexes- 8. Dégradation de la santé humaine et de l'environnement

[58] En comparant avec le Maroc, (Sahsah M., 1996) constate : « les effets induits sur le tissu économique du pays restent très limités. Certes les bénéfices tirés de l'activité minière ont servi à alimenter le budget de l'État et par conséquent à financer une partie du coût de la mise en place des infrastructures de base, mais en termes d'industrialisation du pays, les investissements induits sont restés très restreints »

d'extraction n'est plus génératrice d'emplois, vu la saturation des mines et des Laveries. L'ouverture des nouvelles mines, en 2019, au nord de la ville de Métlaoui, peut être une solution pour absorber quelques milliers de chômeurs. Mdhilla n'a pas eu de traits attractifs, en dehors de l'emploi de la mine ou dans l'industrie chimique. Il n'y a que les besoins indispensables ; les commerces non alimentaires n'ont pas de raison valable de s'y développer à cause de la proximité de l'agglomération Gafsa-Gsar. C'est, peut-être, dans ce contexte que l'on trouve l'explication du sous équipement de Mdhilla, restée totalement dans l'orbite de Gafsa-Gsar.

1. Exploitations minières et économie de la région

Selon le MEHAT/DGAT, (2008), la politique de développement économique et industriel dans le BMG se résume en quatre périodes ;

- **La première période** débute avec le démarrage de l'activité écono-minière et s'étend jusqu'à l'indépendance (1897-1956). Durant cette période, aucune autre activité industrielle n'a été enregistrée. Outre la politique volontariste coloniale empêchant tout effort d'industrialisation locale, il n'y avait pas de capitaux nationaux capables d'assurer le minimum d'accumulation de capital susceptible d'assurer un processus d'industrialisation. Le nombre d'entreprises créé durant cette période est de 1 : la Compagnie des Phosphates et des Chemins de Fer, l'unique grande entreprise créée durant tout le siècle écoulé ;
- **La deuxième période** séparant l'indépendance jusqu'à la fin des années 89 : aucune transformation structurelle n'est enregistrée sauf l'engagement de la CPG dans le programme de nationalisation des entreprises. Lors de cette période, l'industrialisation a abrité les nouvelles créations mais de petite taille (10 à 17 emploi/entreprise) et à dominance agroalimentaire (huileries) sauf, en 1985 qui a vu s'installer une véritable usine de production chimique à Mdhilla (relevant du GCT) employant environ au départ 800 personnes. Grâce à la création du GCT à Mdhilla, le BMG a entamé une nouvelle période d'intégration industrielle permettant la transformation d'environ 25% de la production de minerai de phosphate produit par les Laveries. La production de phosphate a passé de 2,5 millions de tonnes en 1971 à 5,64 millions de tonnes en 1985 ;
- **La troisième période** du programme de mise à niveau de l'industrie, mise en œuvre à partir de 1994, a vu s'installer un nombre de 13 unités, soit 22,8% du total des entreprises créées durant le dernier siècle. Le nombre d'emplois créé est de 278 soit 2,5% des emplois créées dans la région durant la même période. La taille moyenne des entreprises crées est de 21 emplois/unité.

- **Finalement, la période du programme de promotion des exportations :** ayant vu la création de 25 unités, soit 43,9% du total des entreprises créées durant le dernier siècle. Le nombre d'emplois créé est de 833, soit 7,4% des emplois créés dans l'agglomération le dernier siècle. La taille moyenne des entreprises créées est de 33 emplois/unité.

1.1. Variation de la production des ressources en phosphates et dérivées

Parmi les principaux indicateurs sur lesquels on se base pour décrire la productivité, la compétitivité économique et la production, nous basons sur la quantité et le volume global des ventes (Brahmi M et al. 2014).

1.1.1. Variation de la production de la Compagnie de Phosphate de Gafsa

Nos sources bibliographiques de la variation de la production ont montré une certaine hétérogénéité de valeurs. Nous basons sur les valeurs issues de la CPG (services des annonces). Les principaux résultats sont présentés dans la figure 25 qui montre l'évolution de la production de phosphate entre 1900 et 2016.

- **L'évolution progressive (de 1900 à 1923) :** Depuis 1900, le tonnage exporté augmente régulièrement, il est passé de de 171000 tonnes à 524000 en 1905 pour atteindre 950000 en 1910, puis 1312000 tonnes en 1913. Après une relative stagnation causée par la première guerre mondiale (1914-1918), la progression reprend sa progression (avec plus de 3 millions de tonnes de phosphate de moyenne qualité[59] après la guerre) et chute à environ deux millions de tonnes lors de la crise de 1929. Si la production de phosphates tunisiens ne représentait que 7,36% de la production mondiale en 1910, elle était de 32% en 1913 et de 39% en 1923 : or la Compagnie minière de Gafsa fournissait seule 22,5% de la production mondiale en 1913[60] et 26% en 1923 et se taillait une place de choix sur le marché européen[61].
- **Périodes de crises et perturbation de la production (de 1923 à 1956) :** les crises de 1929 et 1930[62], les évènements de 1936 et la seconde guerre mondiale (1939-1945), sont autant d'éléments qui affecteront en partie la production du phosphate de la Tunisie et surtout dans le secteur de Métlaoui. Les mines de Gafsa produisent un peu plus de deux millions de tonnes de phosphate ; celles de Mdhilla 431000 tonnes. La production stagne. En outre, l'ouverture des mines de Khouribga au Maroc en 1921, dont les phosphates sont de meilleure teneur que les phosphates tunisiens, constitua une forte concurrence pour la Tunisie et

[59] Le taux d'enrichissement varie entre 58%et 63%.
[60] Avec la diminution brutale de la production Américaine et Florida spécialement.
[61] Le phosphate tunisien est très demandé par la France, l'Italie et Angleterre vue sa faible teneur en Carbonate de Calcium ($CaCO_3$)
[62] Les causes sont bien connues: elles sont liées en fait à la crise 1929 et les perturbations très graves touchant tous les secteurs l'économie mondiale

l'Algérie (Sahsah M., 1996). En effet, après 1940, le Maroc assura une nette prédominance[63] et obligea la Tunisie à se dégager des marchés lointains et à se replier sur ses vieilles "chasses gardées" méditerranéennes.

- **La remontée de la production (de 1956 à 1981)** : en 1956, si Métlaoui concentre les services de direction, son siège est le moins important. Rdeyef a produit à lui seul 925,3 milles tonnes en 1955 et 1,25 millions de tonnes depuis dix ans sur un total de six millions de tonnes. Au cours de la décennie qui a suivi l'indépendance (1956), la production de phosphate a pratiquement doublé au vu de la mécanisation dans le transport avec les tapis roulants et les scrappages (grands engins miniers) acquis. La production de phosphate en 1958-59 s'élève à quelques 7,5 millions de tonnes pour la Compagnie de Gafsa. En 1960, la Société de Mdhilla est nationalisée et la courbe de production progresse. La production a eu quelques flottements et il a fallu attendre 1972[64] pour que le niveau de production soit à nouveau rentable et dépassé seulement d'un quart en 1969. A partir de 1973 et jusqu'en 1980 on note une croissance de 56%, soit une production passant de 4,2 à 7,8 millions de tonnes grâce à l'ouverture de gisement Kef Chfayer (Métlaoui).
- **Périodes de crises et restructuration de la CPG (de 1981 à 1986) :** cette période connut le changement progressif du mode d'extraction souterraine vers une exploitation à ciel ouvert et la restriction de la CPG. C'est un programme d'assainissement et de modernisation technologique[65] visant à renforcer considérablement sa rentabilité économique et permettant de soutenir la concurrence étrangère, surtout celle du Maroc. La production va connaitre une chute avec une diminution de 7,8 en 1980 jusqu'à 2,40 millions de Tonnes en 1981 et se stabilise à environ 3 millions de tonnes jusqu'à 1986. L'essor de la production débute de nouveau en 1987 avec 7,27 millions de tonnes;
- **Perturbation puis évolution progressive (de 1987 à 2010)** : cette période se caractérise par des fluctuations notoires d'une année à l'autre. L'extraction de phosphates est passée par deux phases ; une phase de stagnation et de baisse de la production entre 1989 et 1993. Les ventes ont diminué en 1989 à cause des évènements et changements politiques survenus en Europe de l'Est. En 1990, les conditions climatiques (inondations) ont été responsables de la baisse de la production. Cette situation est répercutée à la fois sur la production qui diminue et sur le stock de phosphate marchand qui gonflent : +57% en 1989-

[63] La production marocaine a enregistré une augmentation de 144% (Es-Samti A., 1996)

[64] « Durant la décennie 1970-1980, Au Maroc comme partout dans les autres pays producteurs des phosphates, la production de ce minerai a connu de nombreuses fluctuations » (Es-Samti A., 1996);

[65] « Au Maroc et en Tunisie, l'ouverture des économies au secteur privé et surtout aux investisseurs étrangers a été au cœur des programmes d'ajustement structurel » (Bosson R. et Bension V., 1977).

1990. En 1991, 4,25 millions de tonnes seulement ont été exportées enregistrant une baisse de 28% par rapport à l'année précédente. (Chandoul S., 1994) parle de «la crise de secteur de Métlaoui» suite à l'épuisement des réserves souterraines ainsi que la dégradation de sa qualité de produit.

La deuxième phase comprise entre 2000 et 2007 s'est caractérisée par une stabilisation de l'extraction à 12 millions de tonnes avec un pic de 14,6 millions de tonnes en 2000. Les évènements sociaux connus à "Rdeyef 2008" contre la CPG, due à la marginalisation de la région (chômages, dégradation du cadre de vie, etc.) ont diminué la production à 7,60 millions de tonnes pour augmenter rapidement en 2009 et 2010 avec une production de 11,28 et un record de 13,23 millions de tonnes.

En général, la production du phosphate a connu une augmentation soutenue due à la forte demande des engrais chimiques à l'échelle internationale. La production a triplé par rapport à 1980, dont les mines de Métlaoui accaparent près de 50% de la production. Par ailleurs, l'augmentation brutale du prix de vente allant de 45 jusqu'à 240 dollars/tonnes est à noter;

- **Période de crise (2011-2015), la Révolution Tunisienne :** la révolution du 14 Janvier 2011 a touché de plein fouet le BMG, les tensions sociales et les manifestations contre la CPG ont bloqué les travaux d'extraction dans les mines. De plus, les mouvements des ouvriers de manutention et les chômeurs cherchent a obtenir des emplois dans la CPG. Ainsi, la production chute brutalement de 13,23 en 2010 à 2,93 millions de tonnes en 2011 soit de 72%. La production passe de 5,56 en 2013 pour atteindre 6,81 millions de tonnes en 2016.

La figure 25 illustre bien les fluctuations de production de phosphate dans le BMG et montre bien les progressions ou les chutes, en fonctions des évènements politiques, socio-économiques et même climatiques qui connait le pays et le BMG en particulier.

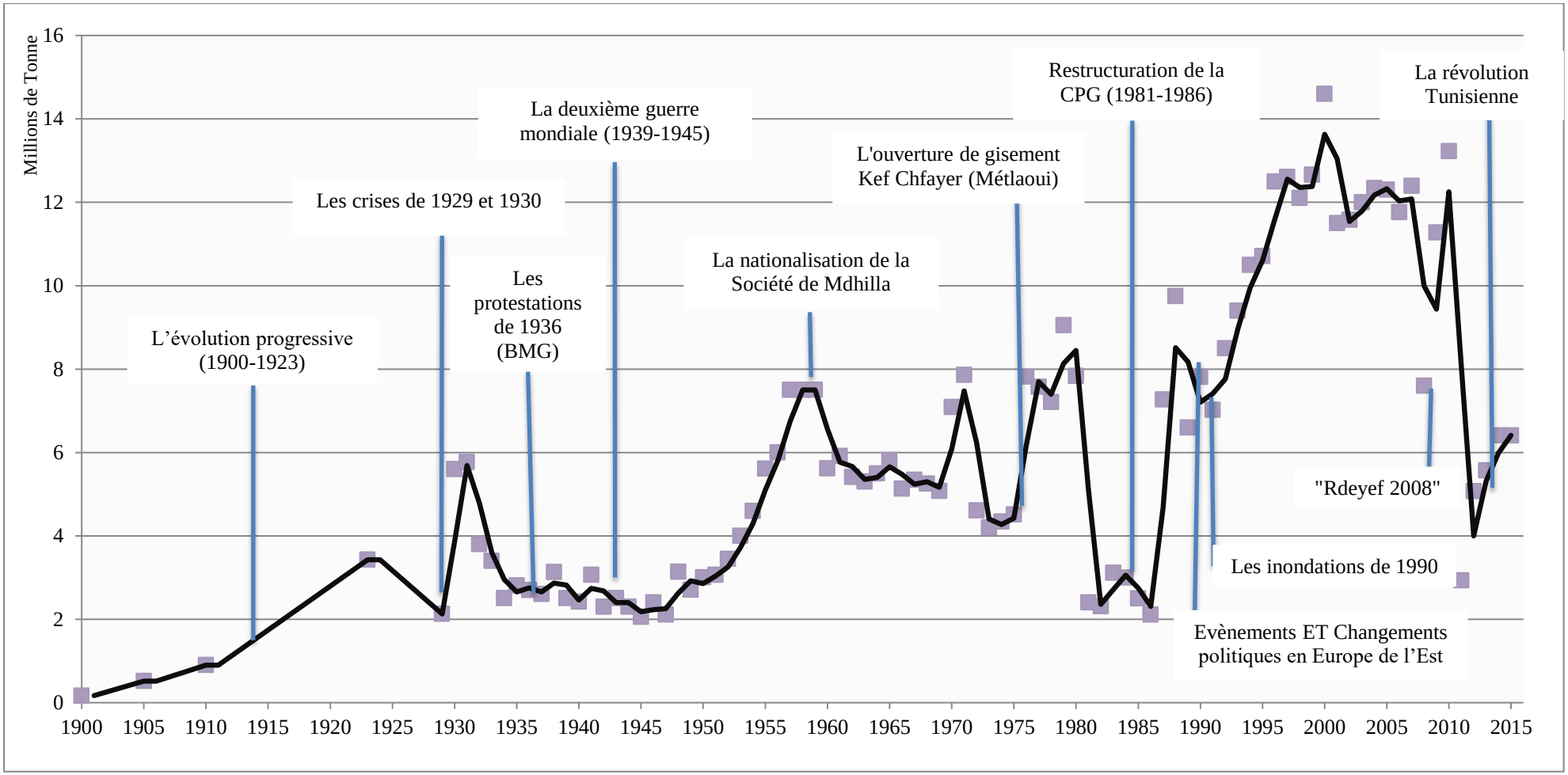


Figure 25 : Variation de la production de phosphate dans le BMG (1900-2016)
(Source : CPG, 2017)

1.1.2. Production du Groupe Chimique Tunisien de Mdhilla

Les données de la production est issues de site officiel du Groupe Chimique Tunisien[66]. L'usine de Mdhilla ou le GCT, qui a démarré en 1985, assure une production annuelle de 465 milles de tonnes de Triple Super Phosphate (TSP). Elle comporte :

- Une unité d'acide sulfurique d'une capacité de 1500 tonnes / jour ;
- Une unité d'acide phosphorique d'une capacité de 500 tonnes / jour ;
- Deux lignes de TSP d'une capacité de totale de 700 tonnes / jour ;
- Capacité Annuelle de Production de TSP : 465 000 Tonnes.

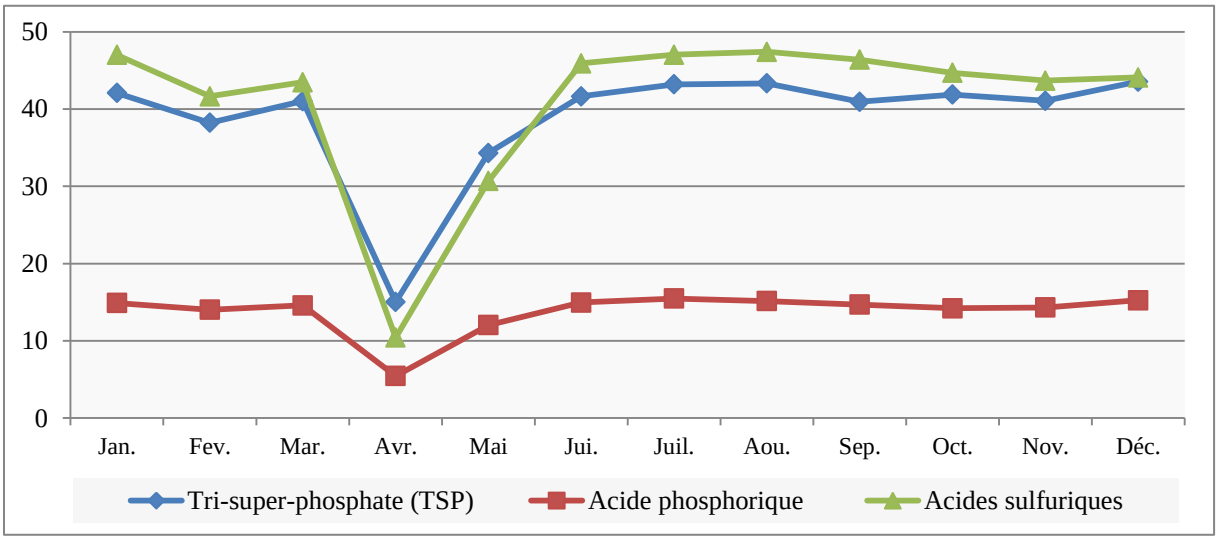


Figure 26 : GCT[67], production par mois en 2014 (en milles tonnes) (GCT, 2014)

1.2. Devises issues de la vente du phosphate et ses dérivées

Le phosphate est principalement employé comme matière première dans la fabrication d'acide phosphorique, d'engrais minéraux et d'autres dérivés de phosphate. Il est également utilisé dans l'industrie pharmaceutique et autres industries chimiques, mais l'agriculture demeure sa principale utilisation (CPG, 2017[68]). Près de 15% du phosphate brut extrait par la CPG est exporté. Les 85% restants sont livrés après leurs valorisations finales dans les chaines de production aux usines de fertilisations chimiques (GCT), qui sont réparties dans trois régions : Mdhilla, Skhira à Sfax et usines de Gabès, par les voies des rails-trains transporteurs des produits en vrac. Le phosphate sous ses différentes formes (brut, enrichi, TSP) est commercialisé dans une vingtaine de pays à travers le monde tant pour l'application directe

[66] http://www.gct.com.tn/chaine-de-valeur/usines-du-gct/
[67] Chaque année, le GCT réalise, dans le mois d'Avril, des travaux de maintenance et d'entretien de ces infrastructures minières où la production atteint son minimum.
[68] http://www.cpg.com.tn/Fr/l-utilisation-du-produit_11_61

que pour la transformation (figure 27). La demande mondiale est également soutenue par ces diverses applications : l'application directe en remplacement des engrais solubles ou la production des bioénergies.

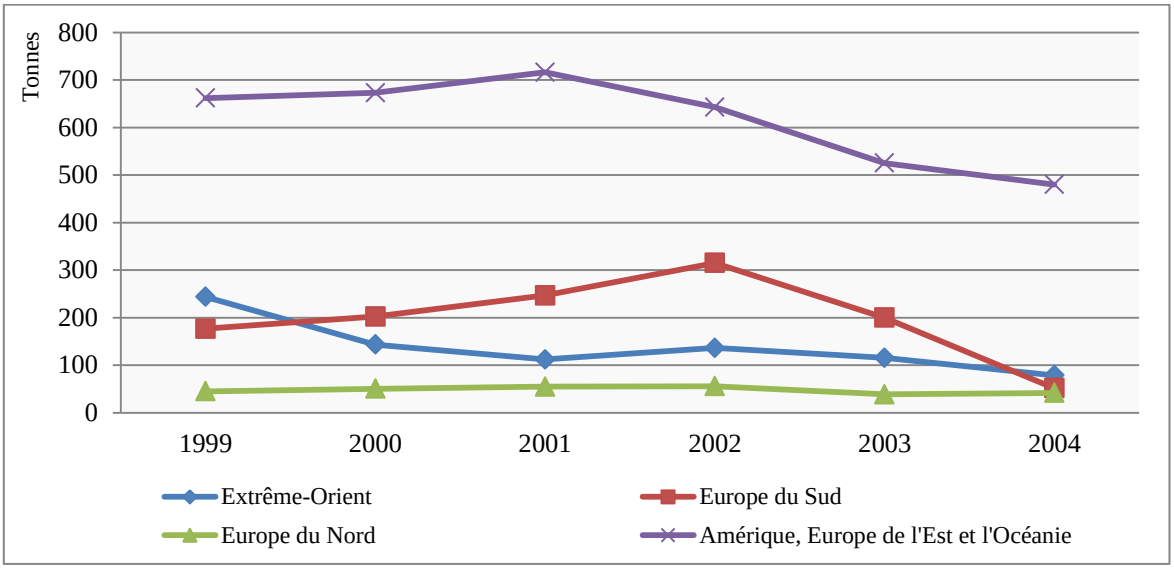


Figure 27 : Evolutions des exportations en tonne (CPG, 2004)

En 1968, le secteur phosphatier présente 16,7% du budget tunisien et 4,8% du Produit National Tunisien. Il est classé en deuxième position en termes de principales exportations et par ordre d'importance des valeurs après les produits pétroliers. En 1980, les exportations des produits miniers viennent en quatrième position après l'énergie, le tourisme, et le textile. Les produits miniers participent par des recettes à l'exportation de 44 MD en 1995. Ces produits composés essentiellement de phosphates et de leurs dérivés, ont bénéficié de la flambée du prix des produits miniers sur le marché international en 2008. Malgré les évènements de "Rdeyef 2008", leurs recettes à l'exportation ont augmenté de 133,7% par rapport à 2007, pour atteindre 3151,7 MD en 2008[69] et 1854 en 2009 (figure 28), assurant ainsi 42% de la progression totale des exportations du pays. La part du secteur "mines phosphates et dérivés", dans la valeur du commerce extérieur, est de 13,3%.

Cette hausse des encaissements enregistrés suite à la hausse des prix des produits miniers a des retombées très positives pour la Compagnie minière[70]. Elle assure environ 8% du PIB[71] et

[69] Le prix des phosphates a plus triplet passant de 45$ la tonne en début 2007 vers plus que 324$ la tonne en fin 2008 (USGS 2008-2009, World Bank 2009).

[70]Les cours mondiaux du phosphate ont connu une baisse notable durant l'année 2013, qui s'est accentuée au cours du deuxième trimestre. Cette tendance est attribuable, en grande partie, à l'entrée de l'Arabie Saoudite sur le marché mondial de ce produit avec une offre de l'ordre de 6 millions de tonnes pendant sa première année d'exploitation. Ainsi, les prix du phosphate ont baissé, en moyenne, de plus de 20% en 2013, revenant à 101 dollars la tonne au mois de décembre contre 185 dollars au cours du même mois de l'an passé (Banque Centrale De Tunisie, rapport annuel 2013).

18% des recettes de l'ensemble des exportations nationales, outre la création de 6000 emplois sans tenir compte de l'activité de transformation chimique associée.

La valeur ajoutée du secteur des phosphates est estimée à 70% de l'activité économique du Gouvernorat. C'est à ce titre que le concours d'accès à la CPG (2011, 2015 et 2016) et les 2500 postes constituaient pour les jeunes de la région une réelle bouffée d'air.

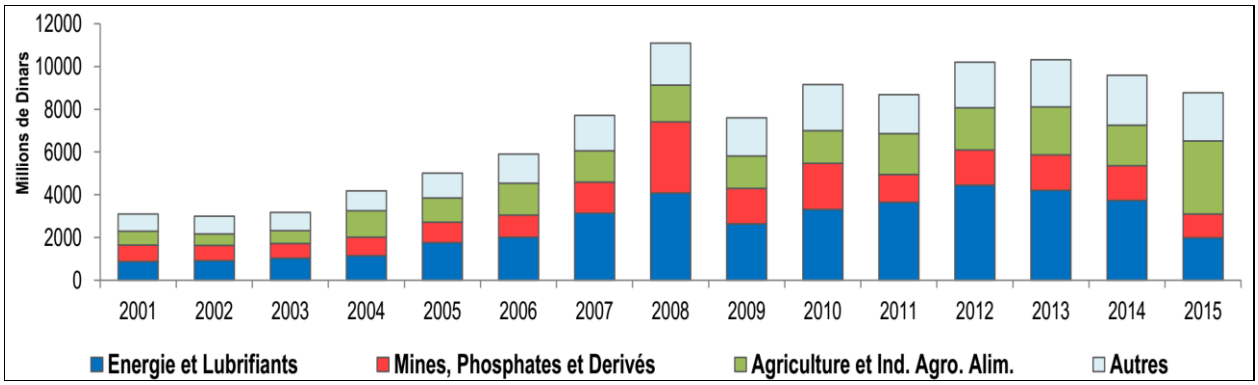


Figure 28 : Répartition annuelle des exportations sous le régime général selon les principaux secteurs d'activités (2001-2015) (Source : Banque Centrale de Tunisie, analyse des échanges commerciaux de la Tunisie, 2015)

En revanche, le 27/12/2011, le PDG de la CPG annonce que le bénéfice net du secteur du phosphate (CPG et GCT) atteindra les 200 MD en 2011 contre 825 MD en 2010, soit une perte de 625 MD suite aux conditions sociales défavorables (les sit-in qui ont bloqué la production de la compagnie). Il affirme que la moyenne de la production de la CPG est de 2,5 millions de tonnes, ce qui équivaut à 30% de la production en 2010. Celle du GCT représente 45% de la production de 2010. En valeur, elles représentent 65% par rapport à 2010, vu l'augmentation des prix survenue en 2011[72].

Selon le rapport bimensuel économique 2012 de "L'économiste maghrébin[73]", le Groupe Chimique vient en 3ème position parmi les entreprises, avec 1954 MD, suivi par l'ETAP[74] (1600 MD), Tunisie Télécom (1400 MD), Agil (1388 MD), Orascom Tunisie Télécom (1 MD), la Pharmacie Centrale Tunisie (0,818 MD), la CPG (0,783 MD) et Total Tunisie (0,758 MD).

---

[71] « Cependant, en dépit de sa contribution unique au de la Tunisie, l'industrie de l'exploitation minière et la valorisation des engrais minéraux ne cachent pas ces effets néfastes sur l'environnement, la société et la santé humaine des citoyens du Bassin minier tunisien » (Bensalem K., et al. 2013).

[72] Le GCT, avec un chiffre d'affaires de 2737 MD. Le groupe a enregistré, malgré les sit-in et grèves répétitifs, une croissance de 594,319 MD.

[73] www.tsi.tn/uploads/news/Document1%20du%20160112.pdf

[74] ETAP : Entreprise Tunisienne d'Activités Pétrolières

Pour le résultat annuel des revenus nets (figure 29), une synthèse des dernières années nous a permis de fournir les données suivantes :

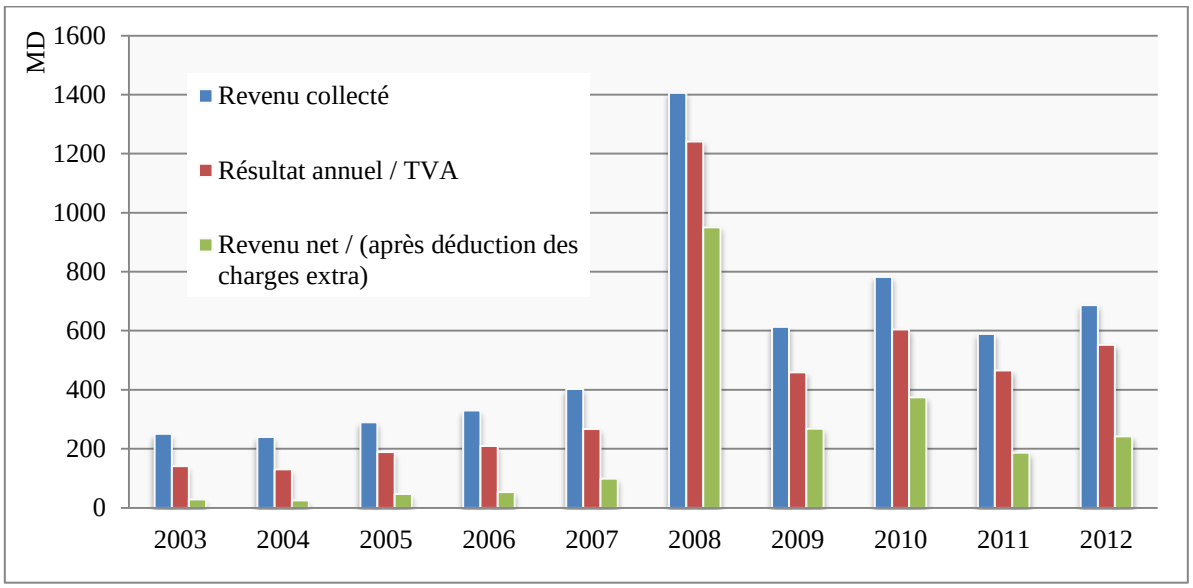


Figure 29 : Résultat annuel des revenus nets collectés des ventes entre (2003-2012) en MD (Source : Direction Générale de Finance CPG, Dép. Budget. Jan.2013)

Reste à signaler qu'une part de ces flux de devise, ont été tournés vers le développement régional et industriel du BMG, terrain d'exploitation et de production de minerais sous-sols. Alors que la grande part sera versée dans la caisse du gouvernement Tunisien.

2. Le secteur minier face aux autres secteurs économiques

Les villes minières sont des centres économiques fragiles caractériser par un bassin d'emplois restreint localement avec un rapport emploie/actif faible (moins de 30%). L'économie minière est ainsi à l'origine de la dualité actuelle : une économie urbano-minière et une économie agro-pastorale (figure 30). La tendance de l'évolution du secteur industriel manufacturier est manifestement modeste, peu dynamique et reste extrêmement dominée par deux secteurs :

- Un secteur minier puissant, rentable et parmi les secteurs moyennement dominants dans la création d'emplois, mais désarticulé du tissu industriel existant et totalement tourné vers les villes portuaires (Sfax et Gabès) ;
- Un secteur agroalimentaire faiblement dynamique, constitué par des huileries polluantes et des activités saisonnières et fortement aléatoires.

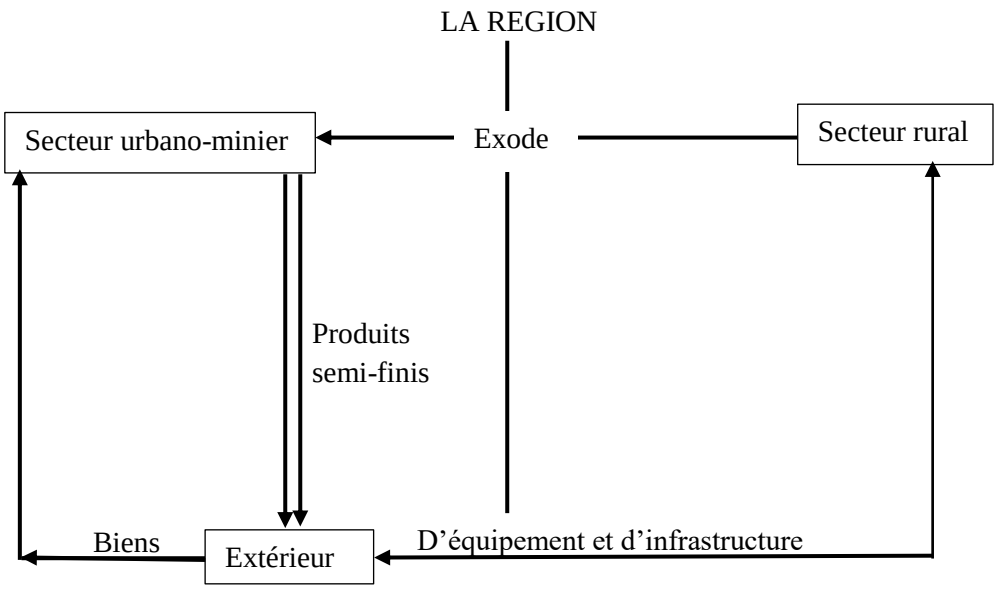


Figure 30: Dualité induite par le secteur minier, désarticulation ville/campagne dans la région minière de Gafsa (Chandoul S., 2010)

Malgré les mesures incitatives portées par l'Etat telles que les allégements fiscaux, le BMG est souvent perçu comme peu attractif par les entrepreneurs. Il subit le poids de multiples facteurs limitatifs à savoir : faible attractivité des activités exportatrices, industrielles ou touristiques en raison de l'éloignement des villes littorales mais aussi le développement du secteur informel avec l'Algérie, durant ces dix dernières années (électroménager, combustibles…). Le BMG souffre aussi de l'absence d'une agriculture viable, l'absence d'une base économique assez diversifiée et le recul de deux piliers fondamentaux de l'économie régionale : la mine et l'administration.

2.1. Exploitation minière et compétitivité économique

L'étude de la compétitivité du BMG paraît problématique à cause du manque de la diversification d'activités et de l'absence d'une dynamique économique. L'une des approches simples mais efficaces que nous avons utilisé pour évaluer l'attractivité de la région minière de Gafsa est la méthode "Shift and shares". Cette méthode décompose la croissance par secteur d'activités selon des sous-espaces (régions économiques, gouvernorats, villes...). La période de calcul des composantes de la croissance sectorielle, dans le BMG et à l'échelle nationale, prend en compte les deux dates des INS de 2004 et 2014. Ce modèle s'écrit de la forme suivante :

$$(Eit - Eio)/Eio = (Lt-Lo)/Lo + (Lit/Lio - Lt/Lo) + (Eit/Eio - Lit/Lio)$$

Avec : (Eit – Eio)/Eio : Variation apparente

(Lt-Lo)/Lo : Effet de répartition (*shares*) entre les régions de l'espace national

(Lit/Lio - Lt/Lo) : Changements structurels (*shift*) entre les secteurs économiques dans l'espace national

(Eit/Eio - Lit/Lio) : Niveau de compétitivité d'un territoire spécifique dans un ensemble national (villes, gouvernorat, région économique...).

Le tableau 10 nous permet de constater que :

✓ Le secteur agricole est très peu compétitif (5.7%), sa légère compétitivité tient à la pollution par les rejets miniers, le morcellement, la faible productivité et une migration des capitaux et la main d'œuvre vers des autres activités plus rentables comme le BTP et la commerce illégal avec l'Algérie.

✓ Le secteur secondaire dans son ensemble perd de compétitivité par rapport à 2004 avec 5,5% contre 4,5% en 2014. Hormis les activités de transformation des phosphates qualifiées d'extraverties, qui présentent un indice de compétitivité très fort de 725%, l'indice parait très peu concurrentiel.

✓ Le secteur tertiaire[75], avec un indice de compétitivité de 21,4%, présente un gonflement des indices des "autres services" (273,4%) et des services publics "Administration, Santé, Education" avec (255%). Cette prépondérance d'indices dans les activités de services peu productives dans l'immédiat reflète des dysfonctionnements de l'économie régionale dont la restructuration devient délicate. En outre, le secteur touristique et artisanal y est à un niveau des plus réduits tant au niveau de l'infrastructure, de l'organisation des circuits qu'au niveau de l'emploi.

[75] La plupart des zones minières maghrébines sont caractérisées par un faible secteur de service. Ce dernier est limité souvent à certaines administrations publiques et certaines activités de service d'affaires liées à la vie quotidienne des habitants (Tayeb A., 2008).

Tableau 10 : Décomposition des indices de compétitivité de la région minière de Gafsa (Source : INS, 2004-2014)

Secteurs/branches	Ei(2014) - Ei(2004) / Ei(2014)	L(2014)-L(2004) / L(2014)	Li(2014)/Li(2004) - L(2014)/L(2004)	Ei(2014)/Ei(2004) - Li(2014)/Li(2004)
	Variation 2004-2014	Part national	Industriel mix	Position concurrentielle
S. primaire (agriculture)	5.7%	52%	-60%	7.3%
Secteur secondaire	5.5%	52%	-5.4%	-55.7%
Ind.Chimiques	**725.9%**	**52%**	**74.6%**	**740.7%**
Autres Servises	**273.4%**	**52%**	**192.0%**	**120.9%**
Les serv.Adm.Santé. Educat	**255.0 %**	**52%**	**44.7%**	**127.2%**
Commerce	187.0%	52%	98.3%	29.2%
Serv. financiers et assurance	181.3%	52%	43.3%	77.3%
Ind. Méc. Electr.	180.5%	52%	92.5%	27.2%
Ind. Agro-alim.	170%	52%	47%	62.5%
Hôtellerie et rest.	137.3%	52%	114.%	-6.8%
BTP	114.2%	52%	-0.2%	53.8%
Ind.manufact.Diverses	55.3%	52%	19.4%	-21.7%
Eau	50.2%	52%	-102.5%	107%
Transp. Communic.	46.8%	52%	23.1%	-36.8%
Electricité	20.0%	52%	-47.1%	6.5%
Secteur tertiaire	21.4%	52%	120.7%	33.1%
Pétrole et gaz	-30.0%	52%	-72.4%	-18.2%
Ind. textile hab. Cuir	-37.0%	52%	-29.6%	-63.6%
Minerais et minéraux	-47.8%	52%	-73.7%	-34.7%
Total des activités	47.2%	52%	0.0%	-2.7%

2.2. Décentralisation industrielle dans le Bassin Minier de Gafsa

Le secteur des services supérieurs (banque et assurance), est limité et n'est pas en mesure d'impulser une dynamique d'investissement dans la région. Les petits métiers et les services de proximité, selon les données de la BTS (Banque Tunisienne de Solidarité) et de l'API (Agence de Promotion Industrielle), sont relativement concentrés dans les délégations non minières ; l'agglomération de Gafsa-Gsar. Malgré les encouragements étatiques, les indicateurs de l'industrie (INS, 2014) sont encore faibles : les investissements sont essentiellement tournés, vers le secteur agroalimentaire (60% des investissements) avec de

faibles taux de réalisation (40% en terme de projet et 28% en terme d'emplois). De même, les entreprises sont modestes (16 personnes par unité) et beaucoup ne présentent qu'une activité saisonnière liée à la production agricole.

2.2.1. Décentralisation des projets réalisés par le Fonds de Reconversion et de Développement des Centres Miniers (FRDCM) jusqu'à 2014

Le FRDCM est inspiré du modèle des Charbonnages de France, créé en 1991 par la CPG comme une Société d'Investissement à CApital Risque (SICAR). Le FRDCM est censé aider au lancement d'activités de petits entrepreneurs pour contrecarrer la baisse des emplois dont la moitié de ces fonds est réservée au financement des projets à réaliser dans le BMG. Le capital initial de 1000 MD, détenu à 90% par la CPG, a été porté à 8000 MD en septembre 2007 et à 16000 MD en avril 2008 et environ 38000 MD en 2014.

Les activités créées par le FRDCM sont peu nombreuses : 136 projets et 7536 offres d'emplois. La plupart sont des petits entrepreneurs qui ont perçu les crédits comme des dons pour des activités économiques non viables. Le "crédit garanti", en suivant les chemins des réseaux personnels locaux, a concerné les zones non minières (tableau 11), en contradiction avec l'objectif affiché du FRDCM. La majorité des projets financés par le FRDCM jusqu'à fin de 2014 sont de type industriel et tertiaire avec environ 40% des investissements et 54 projets réalisés pour chacun. La délégation de Gafsa Sud accapare 64,2% du nombre de projets et 54,8% du total des investissements. Cette forte prédominance ne contribue qu'à raison de 41% de la capacité opérationnelle créée par le FRDCM[76]. En outre, le BMG ne reçoit que 28,5% du nombre de projets qui correspond à 39,1% au total des investissements.

Les projets sont essentiellement de type agricole (aménagement et extensions des périmètres irriguées) et de services non innovateurs avec 53,3% de la capacité opérationnelle. Le taux de réussite des projets est classé comme acceptable (supérieur à 70%) pour le type industriel et moyen pour les services. Les projets agricoles sont moins réussis dans le gouvernorat de Gafsa, classés comme faibles (inférieur à 30%).

Métlaoui, principale délégation minière, accapare plus de 50% du nombre de projets des villes minières et 2/3 des investissements dans le BMG (20 projets pour 28,8 MD). Les projets réalisés à Moularès, en nombre de 10 avec un faible investissement 3468 MD, sont en majorité des petits métiers implantés dans la ville (boulangerie, quincaillerie...). Tandis que Rdeyef a mis l'accent sur l'agriculture qui nécessite de grands investissements (6 projets pour 8442 MD), Mdhilla n'accapare que 3 projets avec un coût de 3768 MD. L'ACP (figure 31)

[76] A noter que le FRDCM se localise dans la ville Gafsa où la faveur de la direction échappe au BMG

montre que les autres délégations sont marginalisées par le FRDCM en termes d'investissement.

Tableau 11 : Répartition des projets réalisés par le FRDCM entre (2007 et 2014)

(Source : FRDCM, 2014)

Délégations	Nombre de projets	Investissements (MD)	% Investissements	Offres d'emplois
Gafsa Sud	88	62428	54,8	3092
Métlaoui	20	28839	25,3	2405
Moularès	10	3468	3,0	332
Rdeyef	6	8442	7,4	801
Mdhilla	3	3768	3,3	480
Guettar	2	453	0,4	155
Sidi Aïch	4	5753	5,1	76
Es Sned	3	587	0,5	185
El Gsar	0	0	0,0	0
Gafsa Est	0	0	0,0	0
Bilkhair	0	0	0,0	0
Total	136	113858	100	7526
% BMG	28,5%	39,1%		53,3%
% Gafsa Sud	64,2%	54,8%		41%

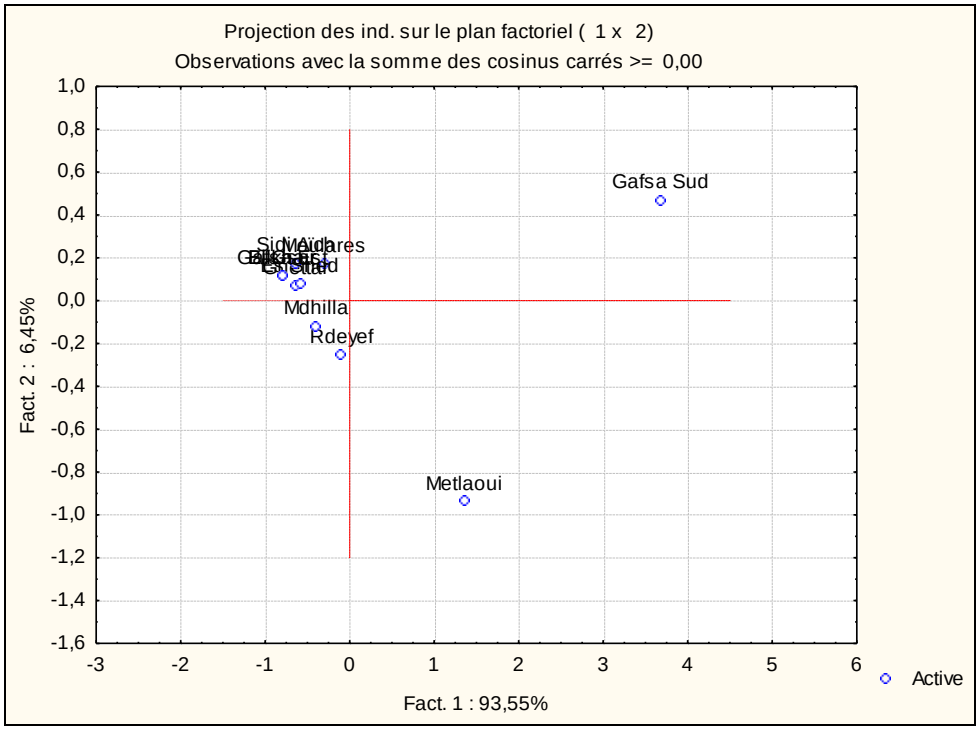


Figure 31 : Classification des projets réalisés dans le gouvernorat de Gafsa par la méthode Analyse en Composante Principale (Salhi B., 2015)

2.2.2. Décentralisation des projets réalisés par la Banque Tunisienne de Solidarité (BTS) jusqu'à 2014

Pièce maîtresse d'une région ouvrière et paupérisée, la CPG a produit un équilibre clientéliste spécifique au cours des vingt dernières années. La région est structurée, comme les autres zones paupérisées du pays, par des mécanismes classiques de clientélisme et de contrôle caractéristiques de l'économie politique tunisienne[77] (Allal A., 2010b-2011).

La situation des petits métiers et des services de proximité (figure 32 a), montre que les investissements financés par la BTS, que ce soit dans le secteur agricole, des petits métiers ou autres services, sont relativement concentrés dans les trois délégations non minières, à savoir Gafsa Nord, Gafsa sud et Gsar avec un total de (78%). Pour la région minière, c'est Métlaoui qui accapare la majorité des projets dans le BMG. En effet, entre 2007 et 2014, Métlaoui acquiert 34,4% du total des investissements dans le BMG avec 3,27 MD. En deuxième lieu vient Moularès (26%) puis Rdeyef (21%) avec respectivement 2,53 et 2 MD. Mdhilla est en dernier lieu avec 18% de total des investissements qui sont en majorité des projets de services banals.

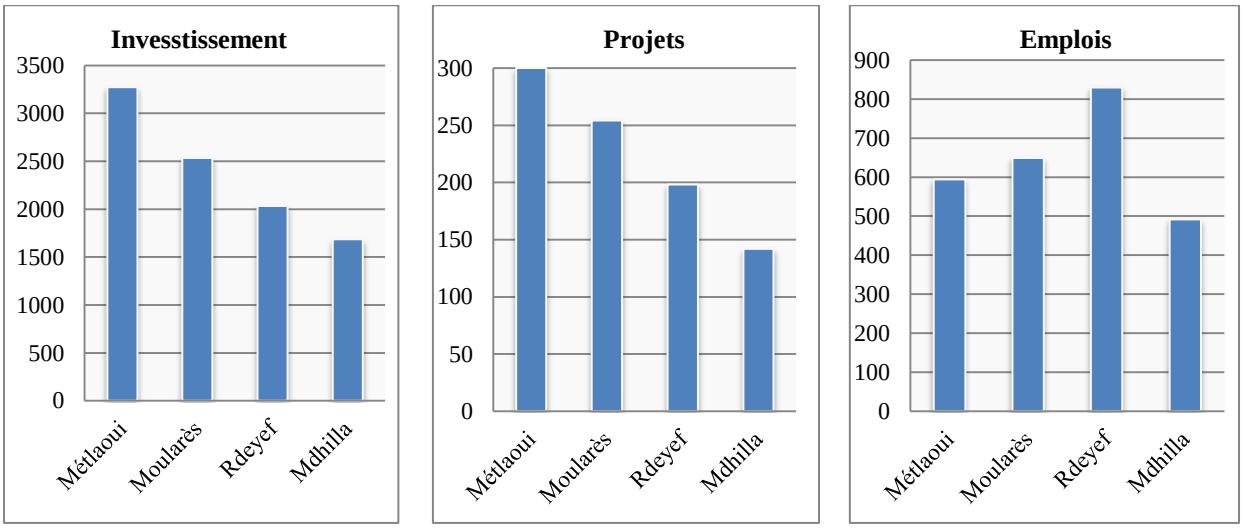


Figure 32.a. : Total des investissements (MD) dans le BMG, projets réalisés et emplois créés par le BTS entre 2007et 2014 (Source : BTS, 2015)

Les projets réalisés en 2008 montre un pic est dans la délégation de Rdeyef (figure 32.b.). Ces projets se caractérisent par une "dispersion spatiale" avec l'absence d'interdépendance économique (Belhedi A., 2014), afin d'apaiser le mouvement social dans la région en 2008

[77] La BTS est une institution porteuse de ce que Béatrice Hibou appelle le « pacte de sécurité ». Elle note que «la banque, dans le dispositif de pouvoir qu'est le pacte de sécurité, est à la fois une institution de protection et de sécurité et une institution de création de dépendances, de contrôle et de surveillance » (ALLAL A., 2010b).

(les évènements de "Rdeyef 2008"). En d'autres termes, l'ancien président Ben Ali a essayé de « régler une fois pour toutes les problèmes de la région minière » (Allal A., 2010b), mais les résultats ne sont pas ceux attendus.

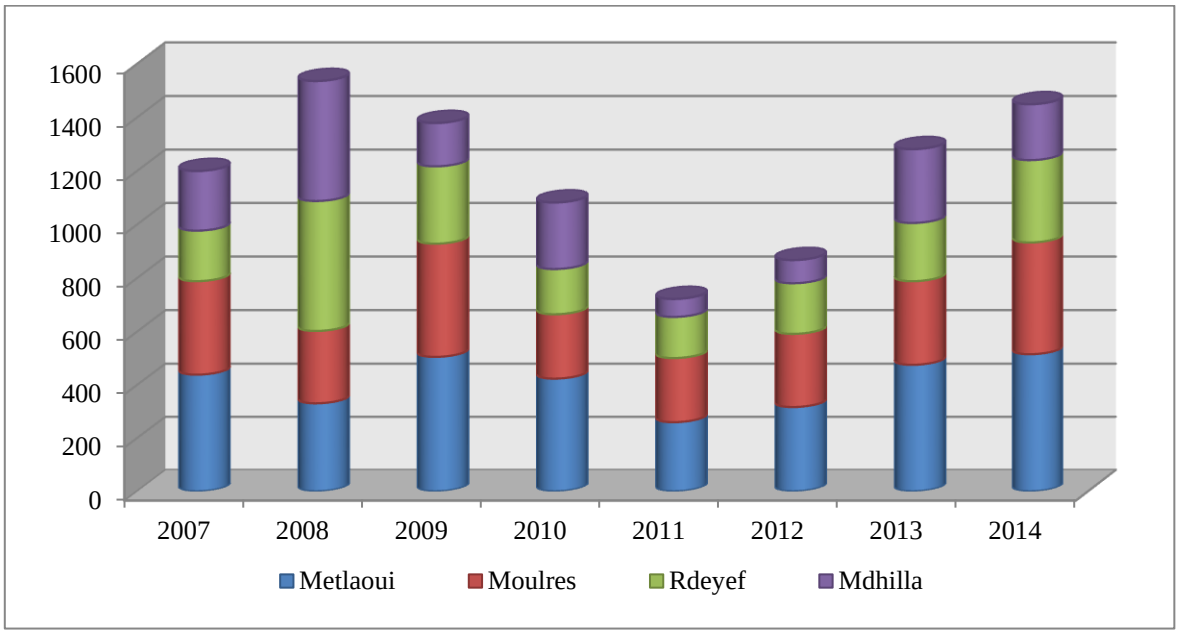
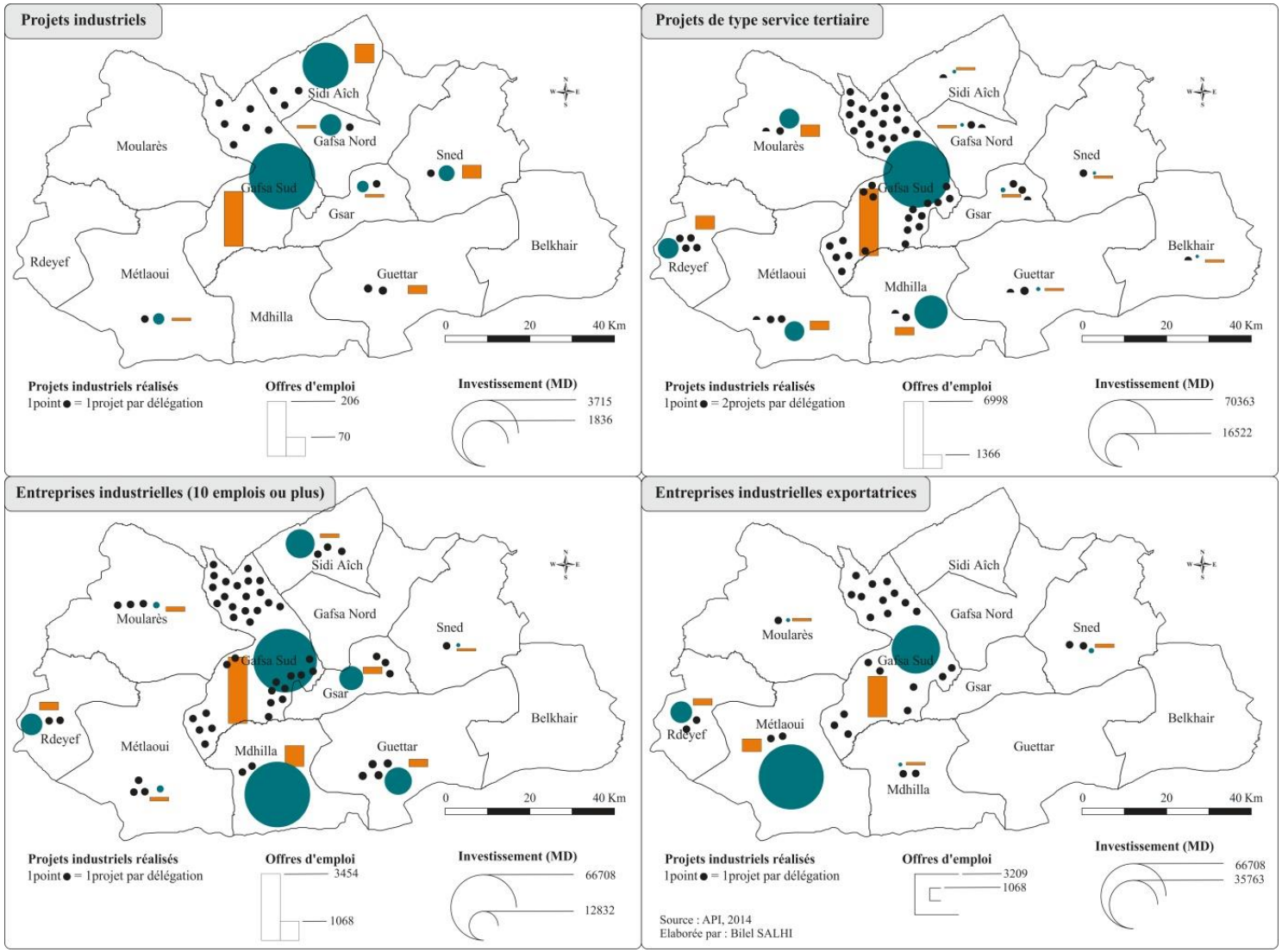


Figure 32.b. : Investissement des projets réalisés par le BTS dans le BMG en (MD)
(Source : BTS, 2015)

2.2.3. Décentralisation des projets réalisés par l'Agence de Promotion Industrielle (API) en 2014

La polarisation de la délégation de Gafsa Sud est reflétée par les données de l'API qui montrent qu'environ 2/3 des projets réalisés, par rapport à l'ensemble du gouvernorat, sont accaparés par la ville de Gafsa. De même pour les projets industriels, la délégation de Gafsa Sud monopolise environ la moitié des projets (40%), des investissements (57%) et des offres d'emploi (55%). En deuxième lieu, les deux délégations de Sidi Aîch et Guettar englobent ensemble environ 30% des investissements et des offres d'emploi avec une légère dominance de Sidi Aîch (carte 47). Pour le BMG, la délégation de Métlaoui est l'unique qui profite avec un seul projet avec un investissement de 115 MD et offrant 3 emplois seulement (carte 46).

Pour les projets de type service tertiaire, le BMG n'intervient qu'avec 19 projets (soit 17% du total de gouvernorat) et environ 1/3 des investissements et des offres d'emplois. Pour les entreprises industrielles (10 emplois et plus) dédiées à l'exportation, la délégation de Mdhilla intervient avec environ 50% des investissements mais de faibles offres d'emplois. Selon les responsables de l'API, ce sont des projets d'activités annexes et de sous-traitance en relation avec le GCT.



Carte 47 : Projets réalisés par l'API dans le gouvernorat de Gafsa en 2014

(Source : API, 2014)

La tendance de l'évolution du secteur industriel manufacturier dans le gouvernorat de Gafsa, et particulièrement dans le BMG, est manifestement modeste et reste extrêmement dominée par le secteur minier et chimique présenté respectivement par la CPG et le GCT, tant au niveau du chiffre d'affaires (production) qu'au niveau des emplois créés.

Le bassin minier fait partie d'un espace qui a une dimension économique faible matérialisée par l'absence d'un secteur industriel concurrentiel, et ce malgré l'enracinement de l'activité minière. Les mesures de développement durable du BMG ne sont efficaces que si, d'une part, elles sont accompagnées d'autres actions de développement économique concernant le milieu rural et les centres ruraux et, d'autre part, par l'utilisation d'une politique publique appropriée telles que la taxation de la rente minière et le réinvestissement pour la création d'autres formes de capital in situ, telles que la technologie, l'éducation, la santé ou des infrastructures sociale. La question de l'après-phosphate commence à se poser sérieusement surtout avec l'évolution du taux de chômage dans la région minière.

Chapitre VIII. Le chômage et l'environnement opérationnel dans le Bassin Minier de Gafsa

La Tunisie a connu une croissance annuelle moyenne de 5,2% au cours de la période 1962-2008, avec un pic de 17,7% en 1972. En revanche, plusieurs catégories de personnes n'ont pas bénéficié de cette croissance soutenue, notamment les jeunes peu formés, les travailleurs non qualifiés, les "petits" agriculteurs, les "petits" commerçants, les artisans, et, depuis quelques années, surtout les jeunes diplômés de l'enseignement supérieur, dont la surqualification est devenue un handicap majeur dans la recherche d'un emploi adéquat (Belhedi A., 1992).

1. Structure de la population active dans le BMG

L'emploi minier influe largement sur la composition professionnelle dans le BMG. En effet, jusqu'aux années 1960, la CPG était le principal créateur d'emplois et même un acteur principale, un encadrant des autres secteurs (agriculture, électricité, eau potable, …).

1.1. Variation de la structure de la population active

Dans les années 1950, la composition professionnelle du BMG, était formée par deux secteurs : le secteur minier et le secteur non-minier. L'emploie minier occupe près de 80% de la structure de population active (Brunet R., 1958). La production de phosphate reste le pilier

central de l'activité économique dans le BMG, ce qui rendait sa vie entièrement dépendante de ce minerai qui, selon Dougui N., (1995), assurait aux habitants d'une certaine sécurité.

1.1.1. Formation d'un noyau de diversification d'emploi dans les années 1970

La fin des années 1960 marque une diversification des activées mais avec toujours une dominance de l'emploi minier. Il domine d'environ 2/3 des emplois dans l'ensemble du BMG, avec une moyenne de 72% et une médiane 74,5. Métlaoui enregistre le plus faible pourcentage (61%). C'est une ville plus dynamique et plus développée par rapport aux autres villes minières[78].A Mdhilla, le domaine minier occupe les sept huitièmes de la population active de (figure 33).

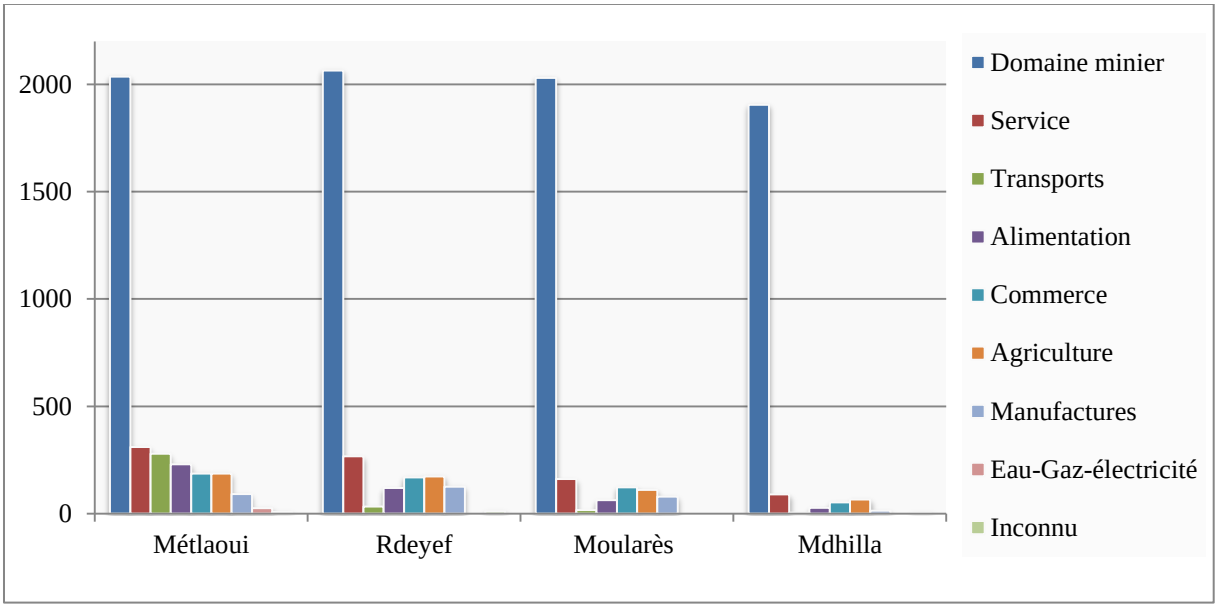


Figure 33 : Répartition de la population active occupée selon le secteur d'activité en 1970 (Source : Groupe Huit, 1970)

Le secteur secondaire est quasi-absent, et quand il intervient c'est essentiellement dans le bâtiment sous forme d'entreprises, extérieures à Mdhilla, qui recrutent des manœuvres sur place pour des travaux la plupart du temps pour le compte de la Compagnie.

1.1.2. En 1985, la crise de la retraite anticipée des mineurs

Dès 1980, des difficultés apparaissent multi-échelles : augmentation des coûts de production, tarissement des mines souterraines, détérioration de la qualité du phosphate, chute des cours internationaux, ajoutons le déficit budgétaire de la Compagnie qui atteint 41 MD en

[78] Le critère de diversification des activités peut être un indicateur de développement et de hiérarchie des villes minières

1986 (Amroussia A., 2008[79]). La CPG "vache à lait" est touchée en plein fouet. Elle a été incluse dans le programme de restructuration des entreprises publiques, imposé par la Banque Mondiale dans le cadre du PAS (Plan d'Ajustement Structurel). Le nombre des ouvriers de la CPG baisse et passe de 14000 dans les années 1980 à environ 5300 en 2007. La CPG a eu recours à la mécanisation pour comprimer la main-d'œuvre, elle a également augmenté le nombre d'heures supplémentaires pour éviter de nouveaux recrutements. La mécanisation a permis à la CPG de redresser sa situation et d'assurer des chiffres d'affaires sans précédent qui ont dépassé 500 MD/an, mais au prix d'un coût social très élevé et la retraite anticipée d'environ 6000 emplois.

1.1.3. Structure de la population active après les années 2000

Le secteur public dans le gouvernorat de Gafsa est prépondérant, notamment l'administration et les services socio-collectifs associés comme l'enseignement, la santé et les services administratifs. En 2014, l'emploi dans l'administration et les services associés atteint 50.2% au gouvernorat contre une moyenne nationale de 37%.

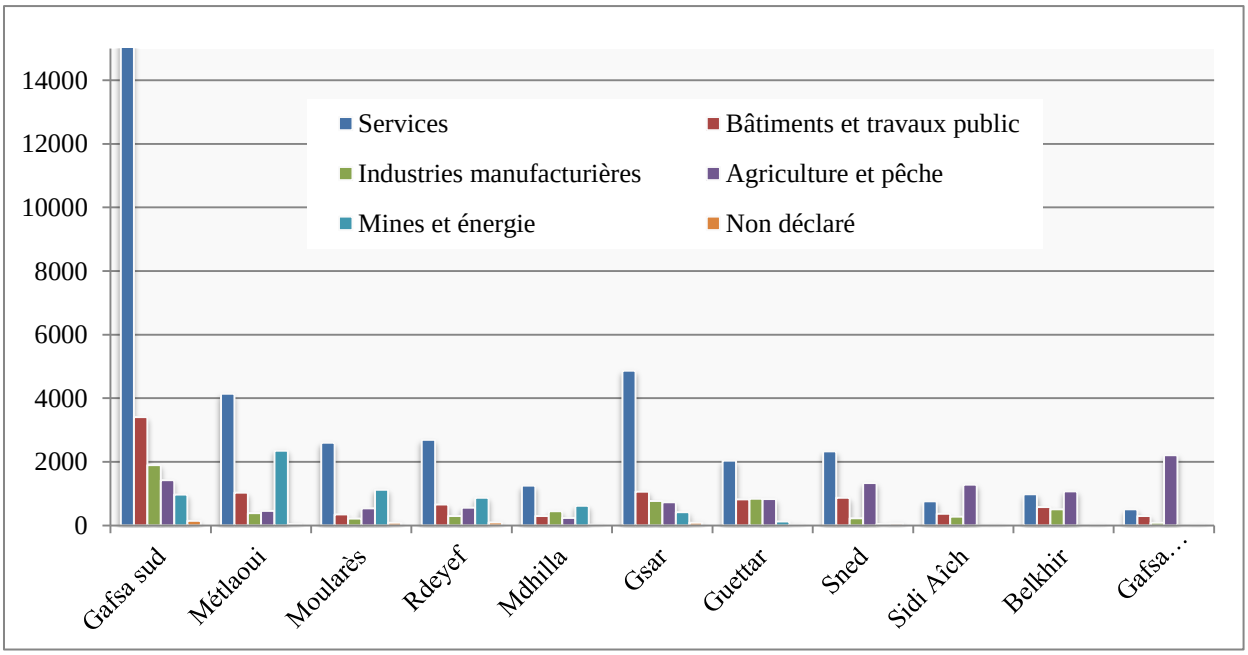


Figure 34 : Structure de la population active dans le gouvernorat de Gafsa en 2014 (Source : INS 2014)

Dans le BMG, cette proportion atteint 52.9% à Moularès, 52.1% à Rdeyef, 49% à Métlaoui et 43.4% pour Mdhilla (figure 34). Le désengagement de l'Etat et le recul du recrutement dans l'administration publique depuis plus d'une décennie a plongé le BMG dans une crise sans

[79] Ammar Amroussia - TUNISIE: « Le soulèvement des habitants du bassin minier. Un premier bilan ». Mai 2008 http://npa.jeunes.free.fr/spip.php?article501

précédent. Le secteur de l'agriculture accapare 15% de la population active du gouvernorat avec 10696 agriculteurs. Avec 1797 agriculteurs, le BMG n'inclut que 16.8% dans ce secteur contre environ 50% dans les délégations de Gafsa Nord. La déduction qui peut en être tirée c'est le niveau de vie relativement élevé dans les villes minières par rapport au reste du gouvernorat (Belhedi A., 2012) auquel il faudrait ajouter le caractère traditionnel resté vivrier et les ressources en eau qui se raréfient.

Dans le BMG, les activités minières représentent les effectifs les plus élevés. On note à Métlaoui 27,9% de la population active de la délégation, 22,9% à Moularès, 21,5% à Mdhilla et 16,85% à Rdeyef (figure 35).

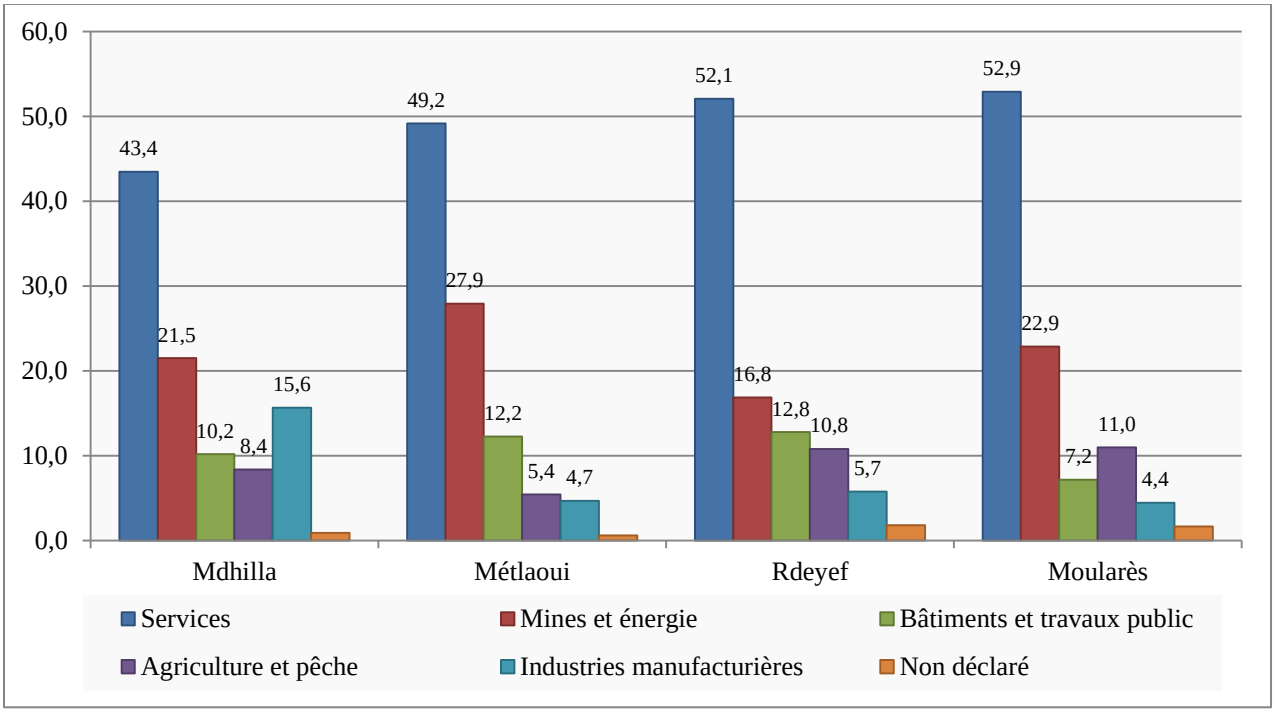


Figure 35 : BMG, structure de la population active par secteur en %

(Source : INS, 2014)

La délégation de Mdhilla se distingue aussi par le poids prédominant d'une entreprise chimique qui fournit 1200 emplois dans le GCT dont plus que la moitié sont originaires de la délégation de Mdhilla. En conséquence, dans l'ensemble, Mdhilla concentre 10% des emplois industriels du gouvernorat (INS, 2014) et environ 50% des emplois dans les industries chimiques (entretien avec un employé dans la GCT, 05-11-2015). Les autres activités économiques emploient de plus en plus de salariés : les services y représentent entre 24% et 28% de la population occupée et l'administration y fournit entre 17% et 28% de la population occupée.

Belhedi A., (2012) indique que « Le recul du binôme (mine-administration) représente l'impasse d'une économie mono-sectorielle et d'une urbanisation liée à l'Etat ». Le secteur minier ne présente plus le principal employeur ou pourvoyeur d'emplois dans le BMG ; sa part relative à l'égard aux autres secteurs de services, diminue année en année. La mécanisation de l'extraction minière et les différentes restructurations qu'ont subi la CPG et le GCT en deuxième lieu, ont été les principaux facteurs de la récession de l'emploi minier ce qui montre le désengagement des compagnies minières en matière offre d'emplois.

Si les effectifs des mineurs ne cessent de régresser, les emplois tertiaires tendent à augmenter dans l'ensemble de la structure économique du BMG. Ce dernier souffre de la crise de reconversion du secteur minier et la domination des emplois administratifs "non productifs". Donc, le BMG souffre d'une faible dynamique économique couplée avec un faible secteur d'activité qui est lié à un faible environnement d'affaire marquer par un manque d'un esprit d'initiative. De ce fait, l'emploi minier est loin d'entraîner des modifications fondamentales de l'emploi dans le BMG.

1.2. Spécifités de l'effectif minier

L'effectif minier dans la CPG est en relation directe avec l'ouverture et la fermeture des mines jusqu'aux années 1970. Par la suite, la mécanisation et la structuration de 1980 orientent le nombre des employés miniers. L'activité d'extraction et de transformation des phosphates reste prépondérante dans la région en terme de valeur de la production bien que son poids dans l'emploi baisse.

La CPG a connu, en parallèle avec sa structuration dans les années 1980, plusieurs unités de formation dont le centre de formation professionnelle de Métlaoui, le centre de recherche Métlaoui et le Centre de Maintenance toujours à Métlaoui. Cette évolution technologique explique la chute de nombre des ouvriers au profit des cadres, surtout cadres moyens (figure 36). Elle est due non seulement à une politique de formation et de promotion interne, mais aussi à un recrutement d'ouvriers ayant bénéficié de formation interne dans les centres de formation professionnelle publique ou privée. A vrai dire, la CPG ne recrute plus d'ouvriers ni de tâcherons car les unités d'extraction et de traitement exigent des ouvriers plus spécialisés.

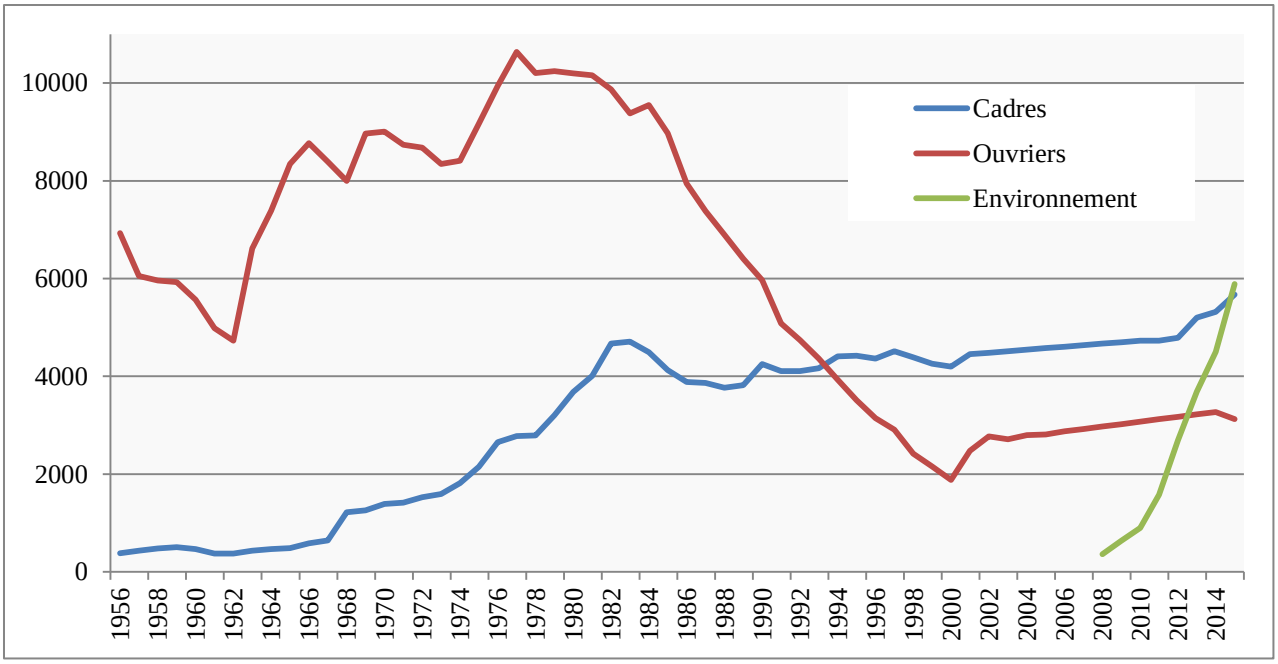


Figure 36 : Evolution de l'effectif minier de la CPG

(Source : CPG, 2016)

Les actifs dans le secteur minier ne se limite pas aux villes minières, mais qu'une grande proportion des actifs sont issus des villes et des régions rurales environnantes des mines. La promotion des "salaires miniers" influe sur tout le gouvernorat au niveau des revenus, des attitudes, et les relations avec l'agriculture et les autres secteurs.

Notons qu'il existe une inégalité entre les hommes et les femmes. Elles souffrent encore de la ségrégation dans le secteur minier. C'est une industrie dominée par les hommes[80]. Ces inégalités entre les sexes sont observées à travers deux indicateurs : l'accès des femmes aux postes miniers et la position de femmes dans les postes de prise de décision. Nous trouvons seulement 630 femmes, soit moins que 4% du total des employeurs dans les deux compagnies minières. La majorité d'entre eux sont employées dans des positions qui ne sont pas liées à des postes miniers tels l'administration et les laboratoires (les centres de recherches). Elles sont employées dans les « emplois appropriés pour les femmes» selon Nasri R., (2015). Les hommes sont plus demandés pour les postes de travail qui nécessitent un effort physique. L'entretien auprès d'un mineur (M.H.), le 23-08-2015, dans la mine de Kef Chfayer : « *L'essentiel pour moi est de travailler afin de pouvoir subvenir à mes besoins vitaux. Je sais que le travail que nous faisons est à risque, cependant, je n'y peux rien. Le taux de chômage est élevé, un travail à risque vaut mieux qu'un chômeur*». Allant toujours dans le même sens,

[80] Dans une simple comparaison, Lerat S., (1971) décrit : « Sous les hautes latitudes, dans les déserts et dans les régions intertropicales, on trouve des groupes uniquement composés d'hommes ».

Monsieur (CH.S.) ajoute en disant que : « *Le travail à la mine n'est pas sécuriser. La priorité pour la Compagnie est la production, et nous avons en contrepartie une prime de risque*».

La grille des salaires annuels bruts moyens, versés par la CPG aux nouvelles recrues non bacheliers, est élevée à 20,577 milles Dinars (environ 8 milles Euros) pour un ouvrier non qualifié (un contremaître expérimenté peut recevoir jusqu'à 28 milles Dinars, soit le salaire d'un enseignent du supérieur) sans compter les primes (le début de l'année scolaire, les célébrations de l'aide, restaurant des billets, transport gratuit,…) contre un salaire national moyen qui ne dépasse pas 8 milles Dinars. En plus des salaires élevés, les deux compagnies minières ont recours aux heures supplémentaires qui coûtent plus que 9 MD en 2009 et de même pour 2010 soit presque 400 dinars par mois et par employer mineur. NASRI R., (2015) note que « Cette situation a créé un fossé entre les membres des communautés locales des employés de la CPG et les autres. Le premier groupe peut se permettre plus en raison des revenus élevés de leur emploi ».

2. Chômage et crise opérationnelle dans le Bassin Minier de Gafsa

En 2014, le gouvernorat de Gafsa enregistre le taux de chômage le plus élevé du pays avec 26,2%, soit environ le double du taux national. Avec 68%, le BMG abrite la majorité de la population en chômage dans le gouvernorat. Dans les villes minières, ce taux est de 38,9% à Moularès, à Rdeyef et Mdhilla 27,9% puis 20,9% à Métlaoui et ce à cause de la crise de l'emploi industriel-minier. Le chômage dans le BMG touche en premier lieu les personnes âgées de 18 à 32 ans (73%) et les universitaires (62%). Cela est dû au faible dynamisme économique et au déséquilibre entre offres et demandes d'emplois.

2.1. Présentation de notre enquête

Une enquête été réalisée dans le BMG (1000 enquêtés) en vue d'éclaircir les principaux aspects des chômeurs[81], notamment les diplômés, dans leur environnement social, opérationnel et politique. Le texte de l'enquête est vérifié par les responsables de l'INS de Gafsa et la direction régionale du bureau d'emplois de Gafsa.

Le questionnaire élaboré avec 33 questions, comprend quatre parties. La première partie présente l'enquêté (âge, sexe, état civil, niveau éducatif…). La deuxième partie porte sur l'information de la famille de l'enquêté (nombre de chômeurs par famille, type de travail, problème de trouver un travail…). La troisième partie assume de déceler la relation de la

[81] L'enquête chômage-emploi permet une mesure de la Population Disponible à la Recherche d'un Emploi (PDRE). Cette définition repose sur trois critères fondamentaux : ne pas avoir d'emplois, être en quête d'un travail rémunéré et être disponible, c'est-à-dire à même de travailler immédiatement (Salais R., 1976).

Compagnie minière (principalement CPG) avec l'environnement opérationnel et social de la région. La quatrième partie s'intéresse à évaluer la performance des autorités locales afin de résoudre le problème du chômage avant et après la révolution de 2011 ainsi que de décrire l'environnement social et opérationnel dans le BMG. Les deux dernières parties sont des questions ouvertes permettant de critiquer l'état opérationnel dans le BMG. L'enquête sur terrain s'est déroulée durant le mois de Mars, Avril et Mai 2015. J'ai été aidé par des associations non gouvernementales pour faciliter mon terrain

Le principe d'échantillonnage consiste à prélever quelques exemplaires pouvant être extrapolés sur l'ensemble de la population mère. Parmi les méthodes d'échantillonnage, on a privilégié celle de l'échantillonnage aléatoire simple (ou sondage simple) sans remise parce que, selon le bureau d'emploi, DR de Gafsa, la population mère présente les mêmes particularités au niveau des chômeurs. Le travail consiste à prélever un enquêté sur 15, soit un taux de sondage de l'ordre de presque 7% au total de la population mère. Après vérification, les 1000 enquêtés se répartissent ainsi dans les villes minières 270 à Métlaoui, 270 à Rdeyef, 265 à Moularès et 195 à Mdhilla.

Les données ont été saisies dans Excel et exportées par la suite dans le logiciel "Sphinx" pour l'analyse et le croisement les variables. Les graphiques ont été obtenus grâce aux logiciels (Excel et Sphinx), le taux de remplissage global varie de 81% à 85%. La variation de taux de retour des réponses s'étend entre 85% et 105%.

2.2. Résultats de l'enquête

L'analyse des données fournies par notre enquête montre que 86% des enquêtés sont âgés entre 21 et 41 ans avec une dominance de 45,3% pour la tranche d'âge 28-34 ans. L'enquête couvre 528 hommes et 478 femmes dont 70% sont des célibataires et 28% mariées (la majorité des familles ne dépasse pas 2 enfants) et 2% classés comme autre (figure 37).

Pour le niveau éducatif, près de la moitié sont des universitaires, 31% ont un niveau secondaire, 17% de niveau primaire et 2% analphabètes. Pour les 1000 enquêtés, 63% sont des diplômés répartis en 36% comme techniciens supérieurs, 32% des maitrisards (bac+4) et 23% ont des diplômes de formation professionnelle. Les spécialités se subdivisent entre divers domaines à savoir : le domaine de l'informatique (22,1%), l'économie et la gestion (14,6%), le mécanique (14,1%), et d'autres spécialités avec de faibles pourcentage.

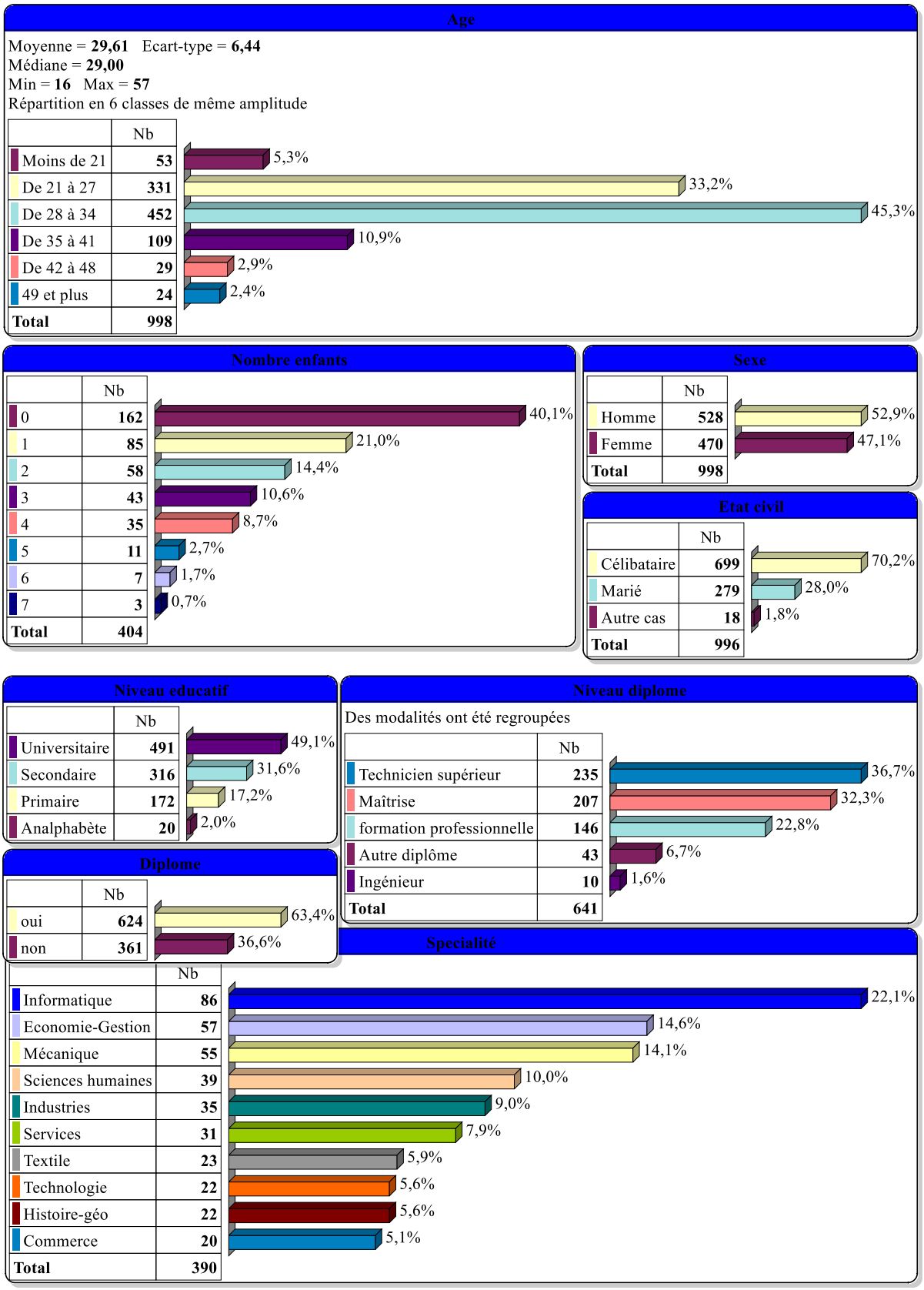


Figure 37 : Description des enquêtés à l'échelle du BMG

(Source : Salhi B., 2015)

Environ 2/3 des non diplômés sont les hommes (67,5%) contre (32,5%) pour les femmes (figure 38). C'est dû essentiellement au fait que les hommes n'atteignent pas le niveau universitaire (188 hommes contre 303 femmes) et se limite principalement au niveau secondaire (205 contre 111 pour les femmes) ou au niveau primaire (121 contre 50 pour les femmes). Les hommes se dirigent vers les formations professionnelles comme la mécanique[82] (49 contre 9 pour les femmes), l'industrie 32 (12 pour les femmes) et le génie civil 14 (6 pour les femmes) … Les femmes, de niveau universitaire, se dirigent généralement vers les Sciences Humaines (36 contre 3 pour les hommes), les langues et l'économie-gestion (figure 39). Les diplômes de formation sont essentiellement dans le domaine de textile et quelques services banals (coiffure, pâtisserie, …).

Pour les diplômés, quel que soit le niveau de diplôme, la majorité est obtenue après 2004 (90%) contre 8% pour les années (1997-2003). 83% des diplômées sont inscrits dans le bureau d'emplois de Gafsa. Les autres voient que le bureau n'est pas fonctionnel et/ou à la hauteur de résoudre le problème de chômage dans la région. En revanche, certains enquêtés ont déclaré qu'ils sont inscrits uniquement au bureau d'emplois de Tunis car ils n'ont pas confiance de celle de Gafsa.

	Femme	Homme	Total
Analphabète	6	14	20
Primaire	50	121	171
Secondaire	111	205	316
Universitaire	303	188	491
Total	**470**	**528**	**998**

La relation est très significative.
Les éléments sur (sous) représentés sont coloriés.

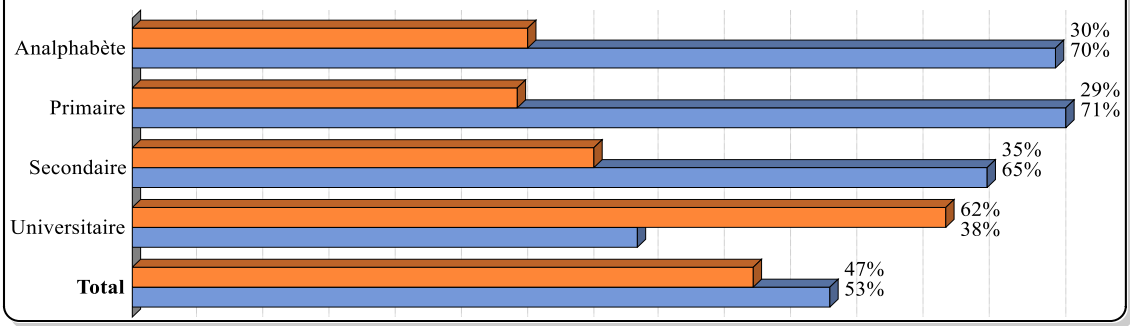


Figure 38 : Niveau éducatif par sexe dans le BMG

(Source : Salhi B., 2015)

[82] Les travaux pratiques et les stages sont réalisés dans les chantiers CPG

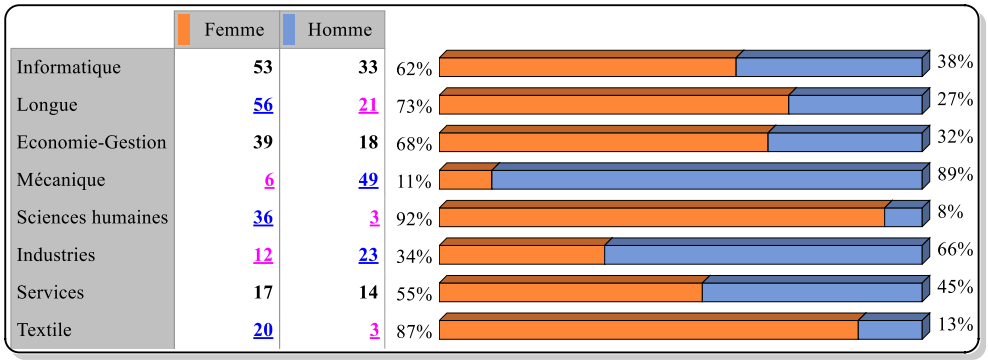


Figure 39 : Croisement entre sexe et principales spécialités des diplômés

(Source : Salhi B., 2015)

Sur 963 réponses, 222 seulement des diplômés, soit 23%, ont subi des formations continues et payantes[83] en collaboration avec le bureau d'emploi de Gafsa (figure 40). La durée moyenne varie entre 12 et 18 mois (figure 41), connue par la formation SIVP[84] et la formation AMEL (espoir). Cette dernière a montré une réussite au niveau de l'intégration des chômeurs diplômés dans la vie professionnelle (selon l'entretien avec le Directeur du Bureau d'Emploi et de Travail Indépendant de Gafsa, 22 Mai 2015). D'autre part, l'étude diachronique de l'obtention de la formation a montré deux pics, le premier secondaire (17%) qui coïncide avec la révolution du "Rdeyef 2008", le deuxième est principal (69%) et coïncide avec la "Révolution Tunisienne 2011". Ces deux pics présentent une réflexion de pouvoir politique pour apaiser les tensions des chômeurs dans la région.

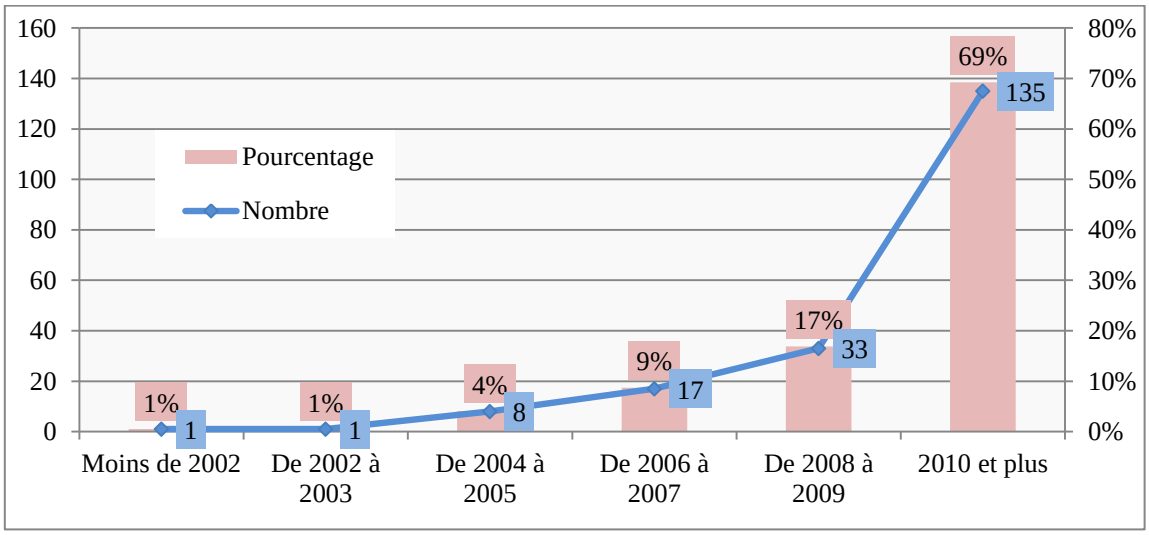


Figure 40 : Evolution du nombre des enquêtés ayant profités d'une formation professionnelle

(Source : Salhi B., 2015)

[83] La subvention varie entre 150 et 250 dinars par mois le but d'aider les chômeurs diplômés à trouver une source financée jusqu'à trouver un emploi permanent ou temporaire

84 SIVP Stage d'Initiation à la Vie Professionnelle

	Moins de 6	De 6 à 11	De 12 à 17	De 18 à 23	De 24 à 29	30 et plus
Moins de 2002	1	0	0	0	0	0
De 2002 à 2003	0	0	0	0	0	1
De 2004 à 2005	0	3	3	0	2	0
De 2006 à 2007	0	6	4	4	3	0
De 2008 à 2009	6	5	19	0	1	1
2010 et plus	8	9	105	2	7	0
Total	**15**	**23**	**131**	**6**	**13**	**2**

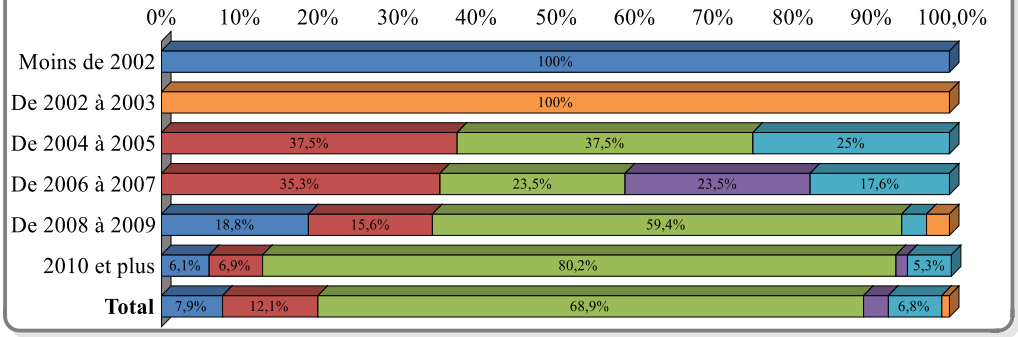


Figure 41 : Durée de formation en mois en fonction d'une étude diachronique

(Source : Salhi B., 2015)

A l'échelle du BMG, sur 478 ayant un niveau universitaire, 251 ont profité d'une subvention (150 à 200 dinars), soit 52,5% des diplômés. Ces enquêtés subventionnées sont en majorité des techniciens supérieurs (119) et des maitrisards (119). En termes d'âge, 163 chômeurs (soit 37,5%) sont âgés de 28 à 34 et 22% appartiennent à la tranche d'âge 21-27 ans (figure 42). Les femmes dominent avec 161 contre 90 pour les hommes.

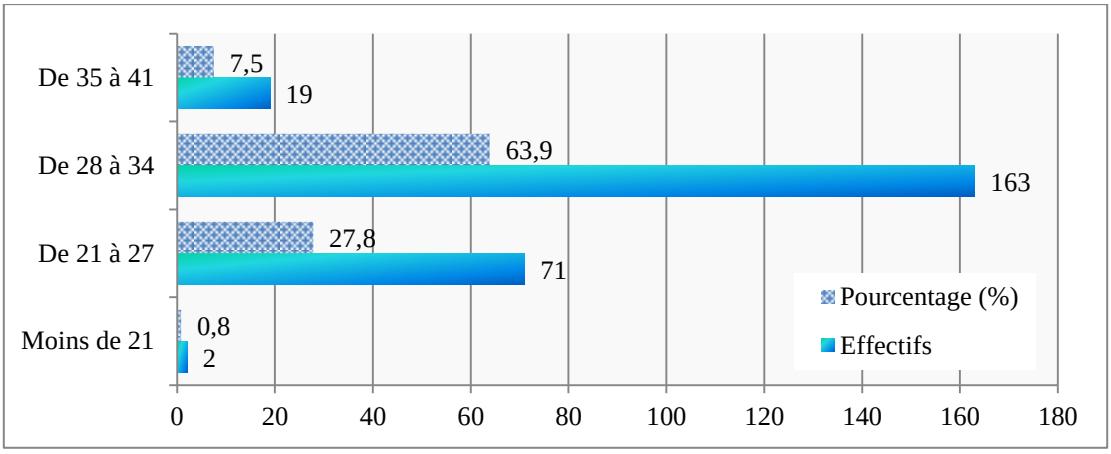


Figure 42 : Répartition de la subvention par tranche d'âge

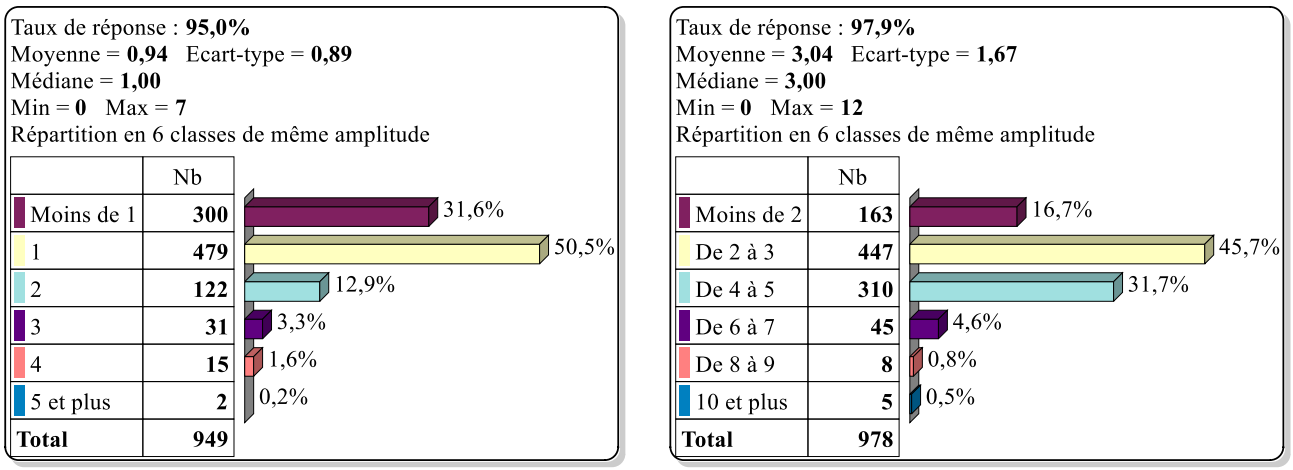
(Source : Salhi B., 2015)

D'après nos résultats, 179 diplômés considèrent cette subvention comme de l'argent de poche, 46 la considèrent comme une aide financière pour les études et les concours, et 16 comme des aides familiales. La répartition spatiale des profitants de ces subventions montre que Mdhilla

la plus petite ville minière, accapare 37% des profitants. Cela est dû au taux élevé des diplômés universitaires (surtout les techniciens supérieurs et les maitrisards). En deuxième lieu, Moularès et Rdeyef disposent de 23% pour chacune. Finalement, Métlaoui vient en dernière position avec un taux de 17%.

2.2.1. Environnement familial et opérationnel des chômeurs

Cette partie de l'enquête porte sur l'information de la famille de l'enquêté (nombre de chômeurs par famille, type de travail, problème de trouver un travail…). A l'échelle du BMG, la moyenne des employés par famille minière, sans considérer les parents, est égale à 1 avec un écart-type de 0.89 sachant que la famille minière ne dépasse pas en moyenne 4 à 5 personnes (toujours sans les parents). En outre, la moyenne des chômeurs par famille varie entre 2 et 5 (figure 43). Donc, nous pouvons conclure, que les ¾ des "familles minières" sont des chômeurs. Dans ce contexte, les recensements de 2014 montrent que les actifs ne représentent que 16,7% du total de la population (une personne faisant vivre en moyenne 7 personnes), alors que pour l'ensemble de la Tunisie, elle atteint 25%. A noter que 70% des employeurs sont de type permanent, 30% de type saisonnier et temporaire.



Employés par famille Chômeurs par famille

Figure 43 : Nombre de chômeurs et employés par famille

(Source : Salhi B., 2015)

299 des chômeurs, (33.2%), exercent des activités temporaires dont 222 sont des hommes. A l'exception des analphabètes, le niveau éducatif n'influe pas sur le point de recherche d'un travail temporaire, les valeurs varient entre 37.9% pour le niveau primaire et 30.7% pour le niveau universitaire (figure 44). En revanche, c'est la nature du diplôme qui influe sur le paramètre de l'obtention d'un travail temporaire. En effet, les spécialités de forte intégrité sont les conducteurs 100% ; l'électromécanique 75% ; le textile et la télécommunication avec

57% pour chacune.... « les jeunes, qu'ils soient diplômés ou non, n'ont souvent d'autre solution que celle de se rabattre sur les "petits boulots" de la chaîne de commerce informel qui s'organise grâce aux quelques circulations pendulaires avec la Libye et avec les régions voisines de l'Algérie » (Allal A., 2010b).

	non	oui	Total
Analphabète	16	4	20
Primaire	101	50	151
Secondaire	182	111	293
Universitaire	302	134	436
Total	**601**	**299**	**900**

La relation est significative.
Les éléments sur (sous) représentés sont coloriés.

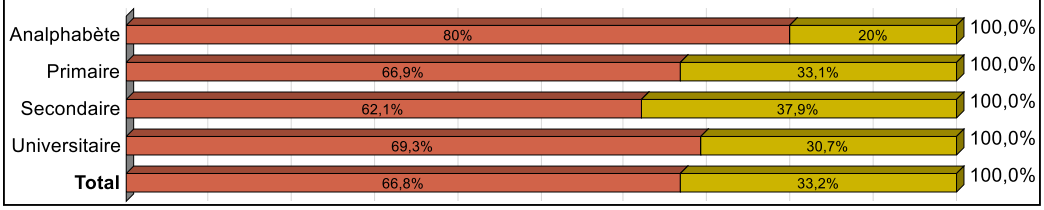
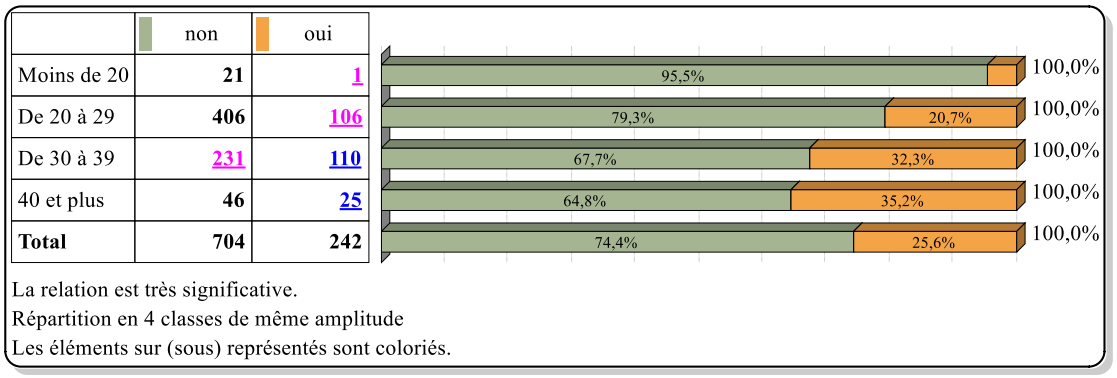


Figure 44 : Croisement entre travail temporaire et niveau Educatif

(Source : Salhi B., 2015)

L'idée de création d'un projet est une solution pour les chômeurs devant les offres insuffisantes de recrutement dans la fonction publique et l'absence d'un emploi privé convaincant. Sur 946 réponses, seulement 25.6% ont une idée de créer un projet. Le croisement de la question "idée de création d'un projet" avec diverses autres questions est présenté comme suit :

- A l'échelle des villes minières, le taux d'acceptation varie de 16.5% pour Mdhilla passant par Métlaoui 25% pour atteindre (29% pour Moularès et autant pour Rdeyef) ;
- 61% des hommes et 50% des femmes veulent créer son propre projet ;
- Les célibataires et les mariés ont le même taux de réponse ;
- La réponse de non diplômés est supérieure au diplômées (40.5% contre 27.7%) ;
- Le niveau d'étude primaire est légèrement supérieur au niveau universitaire (81.5% contre 72.2%) ;
- Une croissance allant de 20,7% pour la tranche d'âge 20 à 29 jusqu'à 35,2% pour la tranche d'âge 40 et plus. La raison est dans la perte d'espoir dans la fonction publique (figure 45). L'implantation d'un projet présente une deuxième solution devant un salaire garanti dans la fonction publique (Salhi B., et al. 2016).



	non	oui
Moins de 20	21	1
De 20 à 29	406	106
De 30 à 39	231	110
40 et plus	46	25
Total	704	242

La relation est très significative.
Répartition en 4 classes de même amplitude
Les éléments sur (sous) représentés sont coloriés.

Figure 45 : Croisement de l'idée de création d'un projet avec les tranches d'âges

(Source : Salhi B., 2015)

Le déni d'implanter des projets individuels (figure 46) est dû à l'environnement économique dans la région (faible compétitivité, attractivité de Gafsa et surtout le littoral…). Incontestablement, la première contrainte est le financement personnel (77.4% des réponses). D'après le BTS (Banque Tunisienne de Solidarité), ce financement varie entre 10% et 60% selon le type de projet[85]. La longue procédure administrative (6%) et l'état social de la région (5.2%) caractérisé par la fréquence élevé des sit-in sont aussi des dénis d'implanter des projets individuels dans le BMG.

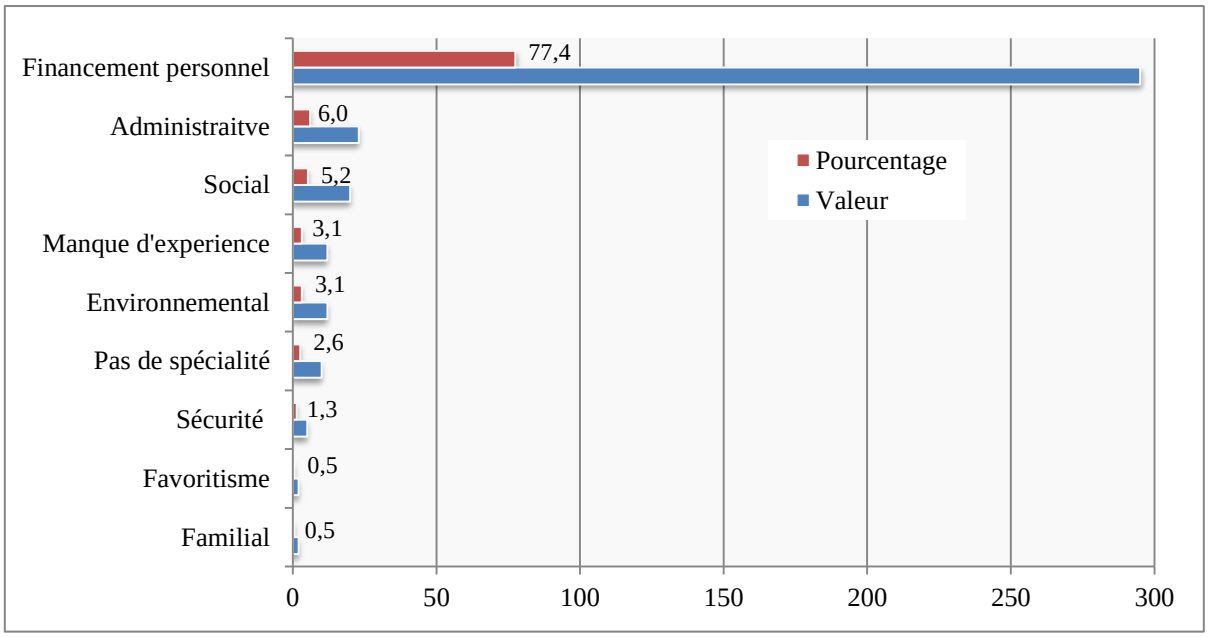


Figure 46 : Contrainte de réalisation d'un projet dans le BMG

(Source : Salhi B., 2015)

Sur l'ensemble de 933 réponses, seulement 575 (soit 61%) acceptent de travailler dans le domaine privé. Pour les autres, ils refusent sous prétexte qu'il n'est pas garanti et que la

[85] Le moyen de financement des petits projets varie entre 15 à 20 milles dinars (BTS, 2014)

priorité est au domaine public. Une légère dominance des hommes par rapport aux femmes (67,5% contre 54,5%) est observée. Ajoutons une faible dominance des mariés par rapport aux célibataires et les enquêtés âgés de plus de 30 ans. Même en termes de niveau éducatif, le taux d'acceptation varie entre 54,7% pour les universitaires et 70% pour le niveau primaire. Sur 257 profitant d'une subvention, 73% ne veulent pas travailler dans le secteur privé et se contentent de la subvention comme argent de poche. A l'échelle des villes minières, le taux d'acceptation varie entre 71% à Rdeyef et 75% à Mdhilla.

2.2.2. Compagnies minières et environnement opérationnel et social dans la région

Des subventions de la FRDCM ont été octroyées. Presque 40% des enquêtés ne connaissent pas le FRDCM, cela est dû peut-être à l'effet de son emplacement en dehors de la région minière. 30% des enquêtés, confirment que le favoritisme et la longue procédure administrative sont les principaux obstacles pour demander une subvention de la part du FRDCM. Sachant que le BTS est le principal financeur des petits et moyens projets de type commerces, agricoles, services,...

Le but de la question ouverte : "pensez-vous que la CPG est capable, toute seule, de résoudre la crise du chômage dans la région minière ?" permet de voir les points de vue des enquêtés via la taille opérationnelle réelle de la CPG. De ce fait, 60,7% des enquêtés voient que la CPG est capable toute seule de résoudre le problème du chômage dans le BMG (figure 47). Quelle que soit la tranche d'âge, et le sexe, les réponses sont similaires et varient entre 55% et 70%. Les réponses sont assez semblables. Pour les universitaires, plus le niveau de diplôme est supérieur plus les enquêtés comprennent que la CPG ne peut pas gérer toute seule le problème de chômage dans la région.

	non	oui		
Technicien supérieur	**86**	**141**	37,9%	62,1%	100,0%
Maîtrise	**86**	**106**	44,8%	55,2%	100,0%
formation professionnelle	**46**	**91**	33,6%	66,4%	100,0%
Autre diplôme	**10**	**29**	25,6%	74,4%	100,0%
Ingénieur	**8**	**2**	80%	20%	100,0%
Total	**236**	**369**	39,0%	61,0%	100,0%

La relation est très significative.
Les éléments sur (sous) représentés sont coloriés.

Figure 47 : CPG et gestion de problème de chômage dans le BMG

(Source : Salhi B., 2015)

A l'échelle des villes minières, Mdhilla est caractérisée par le taux le plus élevé : cela est dû à plusieurs facteurs dont l'existence des deux compagnies minières : le CPG et la GCT. De

même que le nombre de chômeurs (quel que soit son niveau d'étude) ne dépasse pas 1100 en 2014 selon le Syndicat des Chômeurs. La ville n'a pas connu un développement hiérarchique et est dépourvue de toute diversité économique. Avec 62%, Rdeyef et Moularès ont le même taux de réponses (figure 48). Quant à la ville de Métlaoui, le secteur minier ne peut gérer à lui seul le problème de chômage. Par ailleurs, les conflits tribaux de Métlaoui en Juin 2011 ont montré aux habitants la faible capacité opérationnelle de la CPG à accueillir les chômeurs dans cette ville.

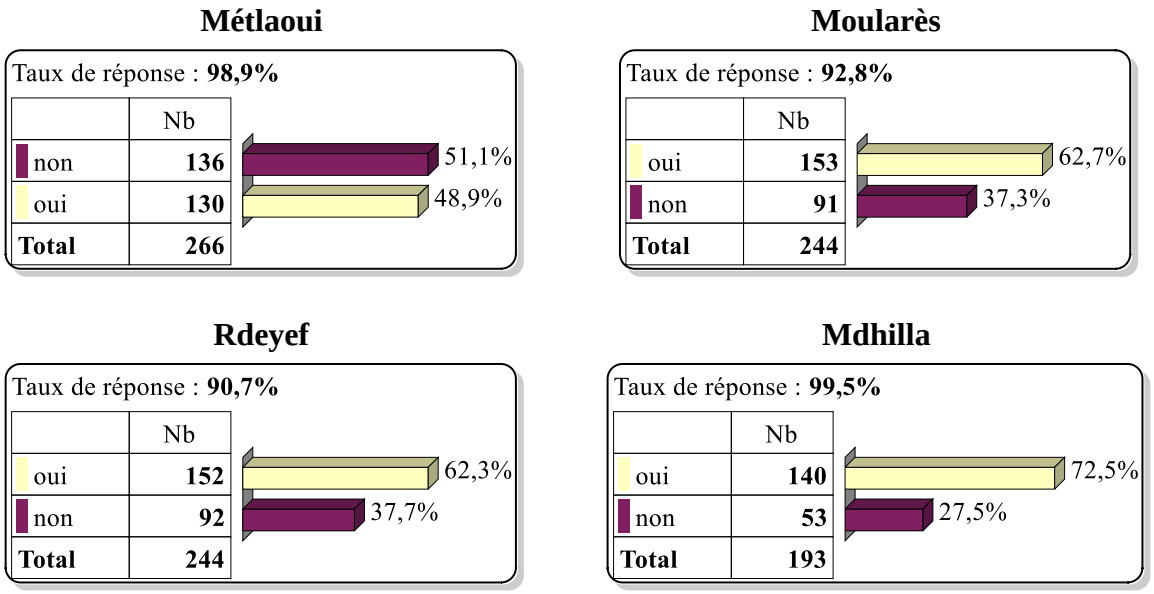


Figure 48 : CPG et gestion de problème de chômage par ville minière

(Source : Salhi B., 2015)

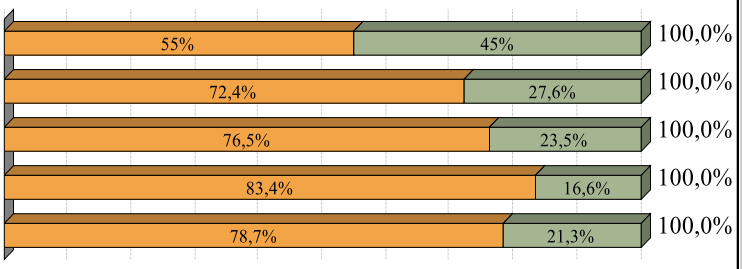
Tous sont d'accord pour indiquer que : « *même si la CPG ne peut embaucher tous les chômeurs dans la région minière, elle peut au moins résoudre le problème de chômage indirectement par la création des projets industriels ou agricoles…, le revenu journalier dépasse 4 MD* ». Les enquêtés sentent les inégalités et voient le littoral profiter plus des revenus de leur région.

Les salaires de la CPG sont très élevés, le mode de recrutement semble basé sur du favoritisme, 21% des enquêtés refusent de travailler en dehors de la CPG (figure 49). Parmi ces enquêtés les fils des employeurs de la Compagnie pensent qu'ils ont le droit de travailler à la place de leurs parents. C'est un type de recrutement connu dans la région. Ceci dit, ce sont les mêmes familles qui sont impactées par les problèmes environnementaux

En réalité, l'existence des deux compagnies, par leurs salaires élevés, a affectée négativement les intentions entrepreneuriales des jeunes du BMG et même dans l'agglomération Gafsa-Gsar. Il semble que les initiatives autonomes sont très limitées surtout pour les diplômés. Ces derniers subissent un double handicap : d'une part, l'absence d'emplois dans la région ;

d'autre part, la qualité de formation universitaire délivrée dans la région, souffrant d'un déficit considérable en encadrement qui les disqualifie dans les concours nationaux.

	oui	non
analphabète	**11**	**9**
Primaire	**118**	**45**
Secondaire	**234**	**72**
Universitaire	**387**	**77**
Total	**750**	**203**



La relation est très significative.
Les éléments sur (sous) représentés sont coloriés.

Figure 49 : Croisement entre taux d'acceptation de travailler en dehors de la CPG et le niveau éducatif (Source : Salhi B., 2015)

Voyez-vous une contribution efficace de la CPG dans le développement du bassin minier ? Le but de cette question est d'apprécier le niveau des aides sociales, par la CPG, dans la région selon les enquêtés. Sur un total de 943 réponses, 498 (soit 52,8%) voient que la Compagnie ne contribue pas au développement dans le BMG. En revanche, elle est considérée comme une source de conflits tribaux, de pollution environnementale, de dégradation de la couverture végétale et d'épuisement des ressources hydriques.

28,5% des enquêtés pensent que la CPG participe partiellement au développement de la région, notamment les travaux de protection de l'environnement, le financement des équipes de football régionaux, les équipements hospitaliers,.... Les 18% qui sont satisfaits de la contribution de la CPG sont des enquêtés en relation très proche des employés miniers et qu'ils profitent d'un travail saisonnier dans la CPG ou bien des diverses subventions ou diverses aides sociales (prêts sans intérêt, rentrée scolaire, …).

A l'échelle des villes minières, Rdeyef et Moularès sont moyennement satisfaites par la contribution de la CPG dans le développement de ces régions (figure 50). Est-ce dû au fait que l'enquête coïncide avec les résultats du recrutement des ouvriers de "concours de l'environnement".

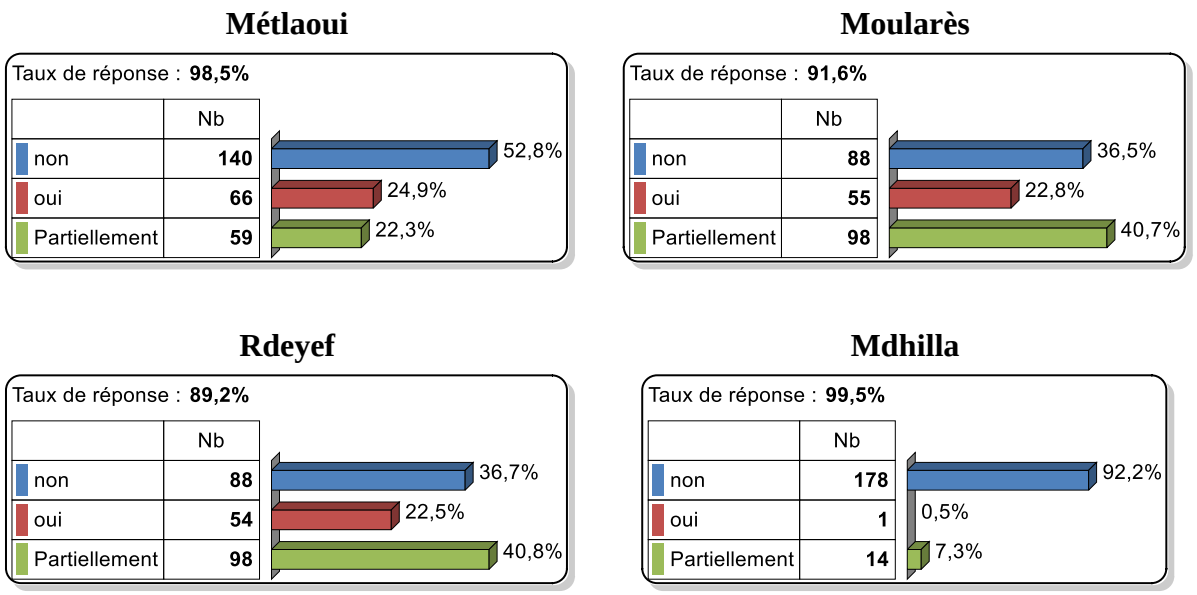


Figure 50 : Contribution de la CPG dans le développement à l'échelle des villes minières (Source : Salhi B., 2015)

D'autre part, les enquêtés de Mdhilla ne sont plus satisfaits de la contribution même des deux compagnies minières, les habitants de la ville se souviennent bien des énormes conflits contre le GCT en Novembre 2011 et de Mars 2013 (photo 16). Selon les contestataires d'UGTT, les résultats du concours n'ont pas pris en compte le facteur social (nombre de chômeur par famille) et le quota[86] de la délégation n'a pas été respecté dans le recrutement bien qu'ils ont été co-réévalués par le ministère de l'Industrie et de la Technologie et celui de la Formation professionnelle et de l'Emploi. De même pour Métlaoui, les conflits tribaux demeurent inoubliables par tous.

Photo 16 : Subversion des équipements de la GCT (Source : Municipalité de Mdhilla, 2013)

[86] Habituellement, les protestations et les conflits surgissent lorsque les membres d'une tribu ou des personnes provenant d'autres régions obtiennent plus de postes en CPG que les tribus autochtones. Afin d'éviter de tels conflits, Les CPG a mis en place un système de quotas; Emploi sont distribués en fonction du nombre de la population de chaque tribu (Nasri R., 2015).

2.2.3. Chômage et performance des autorités locales

L'année 2011 correspond à la Révolution en Tunisie est une date importante pour toute la population. On a voulu enquêter en fonction de cette dernière (avant et après) pour laisser exprimer le point de vue des enquêtés via la performance des autorités afin de résoudre le problème de chômage avant et après cette date. En effet, à l'échelle du BMG, 88,7% des enquêtés ne sont pas convaincus, de la performance des autorités locales. Le croisement avec le sexe, l'âge ou le niveau éducatif donne le même résultat avec de très faibles variations. A l'échelle des villes, le taux varie entre 82,9 à Mdhilla et 94,1% à Rdeyef. Donc, plus des 3/4 des enquêtés voient que la performance des autorités demeure insuffisante, même après la révolution, et il n'y a pas de changement concret. Alors que 17 % voient qu'il y a un léger changement positif après la révolution. Ce sont les diplômés qui sont pessimistes de la révolution, vu qu'ils ne profitent pas des quotas des emplois comme les chômeurs et les prisonniers du "Parti NAHDHA". Sur 985 enquêtés, 73 considèrent qu'avant la révolution la situation était mieux. 154 enquêtés, soit 16%, voient que le rendement est acceptable et en cours d'amélioration (figure 51).

Les hommes sont légèrement plus pessimistes que les femmes, les universitaires sont plus optimistes que les autres (figure 52). Il n'existe pas une différence remarquable entre les villes minières.

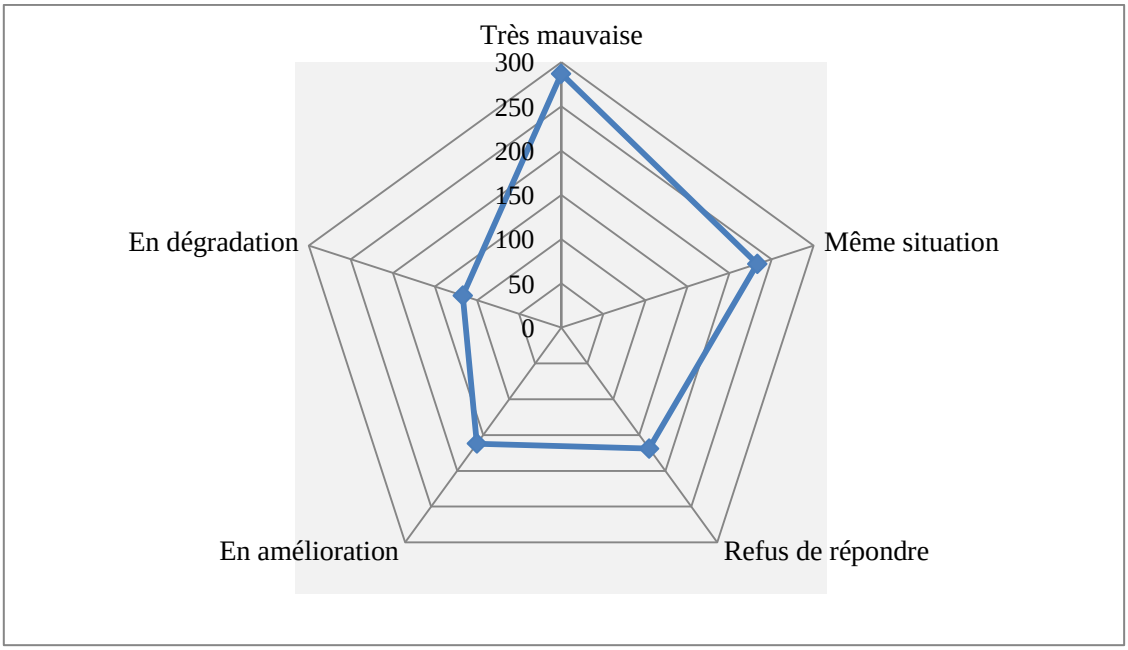
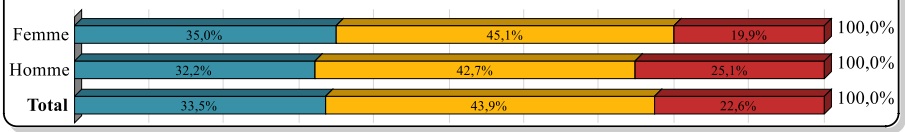


Figure 51 : Évaluation la performance des autorités à résoudre le problème de chômage avant et après la révolution (Source : Salhi B., 2015)

	Ne connais pas	Optimiste	Pessimiste
Femme	155	200	88
Homme	159	211	124
Total	314	411	212

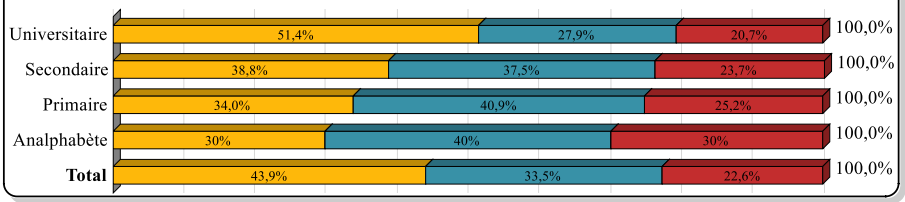
La relation est significative.
Les éléments sur (sous) représentés sont coloriés.



Croisement avec le sexe

	Optimiste	Ne connais pas	Pessimiste
Universitaire	234	127	94
Secondaire	118	114	72
Primaire	54	65	40
Analphabète	6	8	6
Total	412	314	212

La relation est très significative.
Les éléments sur (sous) représentés sont coloriés.



Croisement avec le niveau éducatif

Figure 52: Croisement vision sur l'avenir avec d'autres questions (Source : Salhi B., 2015)

Conclusion

La réduction des disparités régionales entre l'intérieur du pays et le littoral nécessite une redéfinition du rôle des espaces économiques. En parallèle, l'état doit évoluer vers d'autres formes d'organisation décentralisées par l'intégration des plans régionaux dans la prise de décision, la réalisation des pôles de développement économique, et l'adaptation des politiques intégrées de développement durable au niveau régional. Durant à peu près un siècle, l'économie du gouvernorat de Gafsa est en relation directe avec la gestion des ressources en phosphates ce qui a empêché, entre autres, le développement de traditions d'entreprises et de promotions d'activités économiques diversifiées. Ajoutons que la hiérarchie urbaine, déséquilibrée au détriment du BMG, a perduré la prévalence de la mono-activité dans le gouvernorat. Cette mono-activité a forgé une économie régionale typique, des comportements sociaux et même une mentalité particulière.

La crise de la région minière s'explique en grande partie par la faible intégration de l'activité minière dans son environnement économique, social et territorial. La crise qu'a connue le pays dès le début des années 1980, le désengagement de l'Etat, l'adoption du PAS en 1986 et la politique de mise à niveau expliquent la hausse du niveau de chômage. L'analyse de l'évolution de l'emploi dans la mine et dans les activités qui lui sont liées montre un recul de l'emploi minier depuis le début des années 1980. L'incapacité de la mine à absorber l'ensemble des demandeurs d'emplois combinés à la quasi-absence d'activités alternatives font que le chômage enregistre des taux nettement supérieurs à ceux enregistrés sur le plan national. Les dysfonctionnements du marché local de l'emploi font que le secteur informel et la migration prennent une dimension phénoménale. Les enquêtés du BMG témoignent qu'ils sont marginalisés par le gouvernement. Ils sont exclus du processus de prise de décisions concernant la gouvernance du phosphate et souffrent aussi des impacts écologiques et sociaux de l'activité minière.

Dans les villes minières, l'emploi minier, bien qu'il soit en régression, atteint des proportions très élevés, ce qui n'est pas sans conséquences sur l'économie locale, sur les tensions sociales en cas de problème de structuration ou de modernisation du secteur. L'établissement des entreprises publiques dans les secteurs d'activités industriel, agricole et de services permettrait de résoudre en partie les problèmes sociales et tribales liés au chômage et réduirait la tension qui s'exerce sur les deux compagnies minières. La gouvernance publique et la transparence du secteur minier, la responsabilité sociale de la CPG et la planification de la fermeture des mines sont parmi les points importants qui doivent être pris en considération lors de l'élaboration de ces mesures. Nous sommes dans une situation paradoxale ; bien qu'une région comme le BMG dotée de ressources minières, elle se caractérise par des taux élevés de chômage, la pauvreté, les conflits sociaux sans parler de la pollution. Donc, les symptômes des inconvénients des ressources locales identifiées dans le BMG sont classés en trois groupes principaux : économiques, sociaux et environnementaux. Le bassin minier se caractérise par une économie de prélèvement, a lourdement pesé sur l'environnement et le visage actuel de la région.

Partie IV : Les dimensions environnementales dans le Bassin Minier de Gafsa

Introduction

La quatrième partie de notre thèse a pour objectif d'étudier l'impact des exploitations minières sur l'environnement de la région. Le premier chapitre présente une étude diachronique de l'évolution spatiale des composantes minières à ciel ouvert. Il s'agira précisément de cartographier, sur la base de la télédétection, l'épandage des rejets boueux qui présentent la principale source de nuisance dans le BMG. Ensuite, de déceler la diffusion spatiale de ces rejets boueux dans le réseau hydrographique de la région.

Le deuxième chapitre sera consacré à étudier la variation thermique de surface en fonction des rejets miniers. Le but est de montrer que les rejets miniers causent une élévation remarquable de température de surface. Deux exemples illustrent nos résultats de recherche : le "rejet Sebseb" et le "rejet Mdhilla". Les analyses physico-chimiques des sols pollués au niveau des rejets coïncident avec les zones de température élevée. Certains polluants dépassent les Normes Tunisienne de rejet.

Le troisième chapitre vient compléter les précédents résultats. Après avoir identifié l'impact de chaque composante minière (mine, laverie et rejets), une étude de la dégradation de la couverture végétale a été réalisée. La première carte montre la corrélation entre l'impact des exploitations minières et la variation de l'indice de végétation (NDVI) et la régression remarquable de la couverture végétale. La deuxième carte montre l'augmentation du niveau de sensibilité à l'érosion et le degré de vulnérabilité des ressources en sols notamment le réseau hydrographique du BMG.

Le dernier chapitre montre l'impact des exploitations minières sur les ressources naturelles. Une enquête sur la pollution atmosphérique dans la région de Mdhilla a été effectuée en Septembre 2015. 118 ménages ont été enquêtés sur les problématiques environnementales et sanitaires. Elles montrent notamment l'impact des poussières issues du GCT sur les populations locales. Par ailleurs, nos investigations sur le terrain ont montré une végétation très dégradée. Les voies de contamination sont principalement racinaires et que les valeurs en éléments de traces sont très présent dans ces végétations (Chokri A., 2003 et Galfati I., 2010-11). Enfin, nous étudierons l'impact des exploitations minières sur l'agriculture et les ressources hydriques dans le BMG. Nous avons cartographié les zones agricoles touchées par les composantes minières.

Chapitre IX. Diffusion spatiale des composantes minières à ciel ouvert

La cartographie de la diffusion spatiale des composantes minières s'avère primordiale afin de délimiter les zones soumises aux effluents miniers et de montrer que les deux compagnies minières n'arrivent pas à contrôler l'épandage de ces rejets dans le réseau hydrographique. Nous avons accompli ce travail par des visites sur terrain, en collaboration avec les responsables de la CPG, afin de vérifier le niveau de pollution des milieux récepteurs. Par ailleurs, nous avons comparé les rejets miniers avec les Normes Tunisiennes des rejets (NT 102 de 1989) pour montrer la non-conformité et l'état critique de ces polluants rejetés dans l'environnement.

1. Evolution spatiale des composantes minières entre 1972 et 2016

L'évolution spatiale des composantes minières à ciel ouvert a été réalisée sur la base des images Landsat multidates[87] et grâce des outils SIG et la télédétection.

1.1. Méthodologie de travail

La méthodologie de travail est répartie en trois étapes[88]. D'abord, nous avons réalisé une chaine de traitement des images satellitaires (correction des longueurs d'ondes, correction atmosphérique, contrastage…) aussi calculé divers indices (Indice différentiel normalisé, IDN, seuil de réflectance,…). Ensuite, nous avons segmenté manuellement les composantes minières puis l'exporter sous forme de "shapfile" afin de construire une base de données SIG sous Arc GIS. Enfin, nous avons numérisé la base de données en collaboration avec le Service géologie et planification minière de la CPG, afin de minimiser l'incertitude et l'imprécision dans la base de données.

1.2. Résultats et discussions

1.2.1. Evolution spatiale des composantes minières

Quatre sources de pollutions ont été définies :

✓ Les mines, avec ces stocks de phosphates non rentables (stériles) placés dans et alentours des zones d'extraction.

✓ Les Laveries avec ces déchets de phosphate stockés en plein air, transformé en une source de nuisance hydrique lorsqu'il pleut.

[87] 10-11-**1972** ; 05-03-**1987** ; 25-11-**1999** ; 08-08-**2003** ; 10-08-**2010** ; 30-11-**2016**

[88] La méthodologie de travail est détaillée dans l'annexe 2.

✓ Les effluents boueux rejetés directement dans le réseau hydrographique, principal polluant dans le BMG selon Salhi B., et al. (2015c[89]).

✓ L'usine du GCT génère des nuisances d'origine minière avec diverses formes de pollutions (rejets liquides, stériles en forme de tas,…).

En terme de valeurs, dans l'ensemble du BMG, les composantes minières ont évolué de 28 km² en 1972, passant par 170 km² en 1999 pour atteindre 300 km² en 2016 (figure 53), soit 9.8% de la superficie du BMG. L'épandage de rejets miniers à ciel ouvert accapare la majeure diffusion spatiale[90] (carte 48). Il a évolué de 27 km^2 en 1972 à 219 km^2 en 2016, soit 74% de l'ensemble des composantes minières en 2016[91]. L'étendue des mines[92] a évolué de 7 km^2 en 1987 à 70 km^2 en 2016. Les Laveries et le GCT ne présentent que 3% des composantes minières en 2016.

Reste à signaler que la régression linéaire des rejets miniers se caractérise par une forte pente, soit 36 avec une corrélation égale à 0,89 contre 12,7 fois et seulement 2 fois pour les mines et les Laveries respectivement.

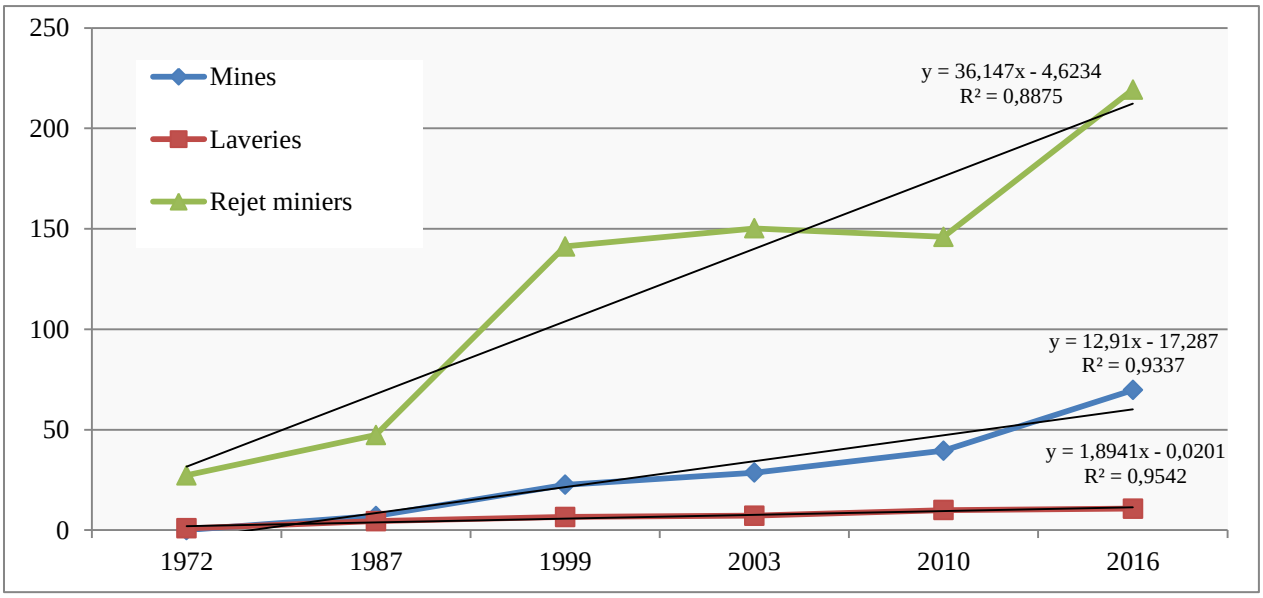


Figure 53 : Evolution spatiale des composantes minières (en km^2)

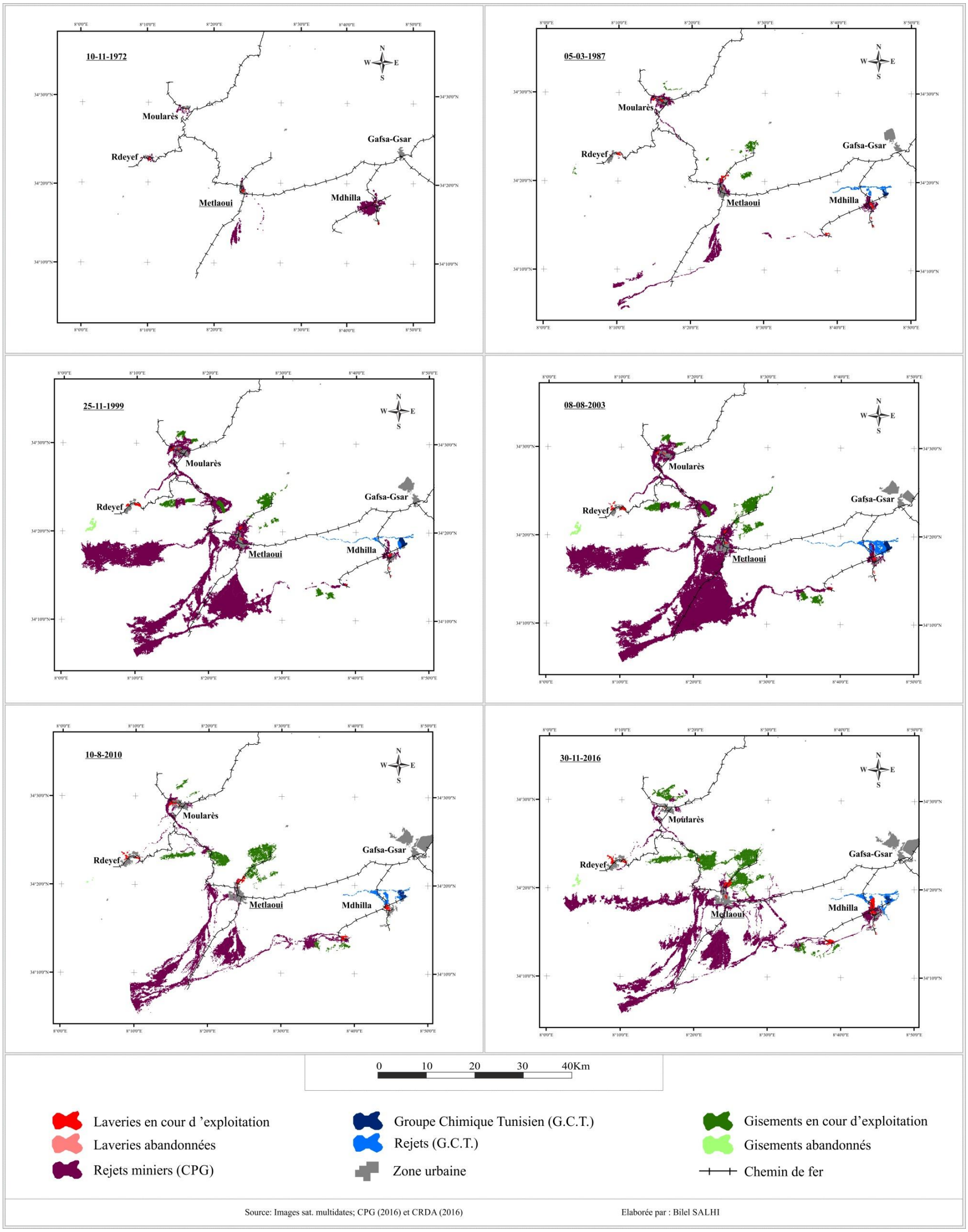
(Source : Salhi B., et al. 2015c)

[89] http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2015/papers/17/763.html

[90] Les Laveries du "Secteur Métlaoui", qui englobent (Métlaoui I et II, Kef Eddour et Kef Chfayer), produisent presque la moitié des rejets miniers dans la région (45.16%). En deuxième lieu, les Laveries du "Secteur Mdhilla", qui englobent (deux laveries à Mdhilla et une à Séhib[90]) produisent 32.8% des rejets miniers, et en dernier lieux viennent Moularès et Rdeyef avec respectivement 16.1% et 6% du total des rejets miniers.

[91] Rappelons dans ce contexte que la CPG a remplacé la procédure d'enrichissement de ventilation à voie humide vu son meilleur taux d'extraction de phosphate (faisant passer le taux d'enrichissement de 59 à 65% en moyenne). Ce changement aboutit à l'injection d'importantes quantités des rejets boueuses.

[92] L'évolution spatiale des mines à ciel ouvert désigne le grattage de la couverture végétale et le stockage des couches phosphatées non rentables en forme de tas.



Carte 48 : Evolution spatio-diachronique des composantes minières à ciel ouvert

(Source : Images Landsat 2016, CPG (2016) et CRDA, (2016))

1.2.2. Evolution spatiale des rejets miniers dans le réseau hydrographique

Les rejets de grosses tailles (supérieur à 2 mm) sont souvent déposés sur les rives des oueds, alors que les rejets de fines tailles (de nature boueux) sont déversés directement dans le lit d'écoulement des oueds. Le tableau 12 dresse pour sa part le bilan des rejets boueux dans les principaux oueds de la zone d'étude depuis le début des activités de lavage humide : oued Sebseb[93], oued El Melah[94] et oueds Thelja. Ces trois oueds ont respectivement reçu 8,7%, 38% et 34,3% des 38.22 Millions de tonnes de boues rejetées dans l'environnement entre 1979 et 2000 (GENIVAR-SCET, 2002b). Mais, après 2000, la répartition est désormais déséquilibrée suite au changement du régime de production des Laveries, avec respectivement 47,7%, 29,2%, et 23,2% des 2,5 millions de tonnes de boues déversées dans ces trois oueds.

Tableau 12 : Bilan des rejets de boues dans le milieu récepteur

(Source : GENIVAR-SCET, 2002b)

Laveries	Oueds secondaires	Rejets (Milles tonnes)		Oued principales	Rejets (Milles tonnes)		Rejets solides en %
		De 1979 à 2000	Annuels après 2000		De 1979 à 2000	Annuels après 2000	
Métlaoui	Larta	13 756,5	730	Sebseb	14 995	796	36,30
Mdhilla	Bayech	4 103,5	193,5	El Melah	12 310,5	580,4	32,77
Séhib	Jmel	8 207	387				
Rdeyef	Tarfaya	2 466,4	259	Thelja	12 153	1 193,6	30,93
Kef Chfayer	Moularès	5 888,6	399				
Kef Eddour	Tabedditt	3 798	535,6				

En 2016, presque la moitié de la production annuelle des rejets boueux se concentre dans l'Oued Thelja (au sud de la ville de Métlaoui) (carte 49) suite à la montée en régime de la laverie de Kef Eddour au nord de la ville de Métlaoui[95]. Au niveau des écoulements superficiels, ces rejets boueux alimentent des oueds intermittents et les transforment en oueds pérennes, au moins dans la portée amont des points de rejets où l'évaporation et l'infiltration

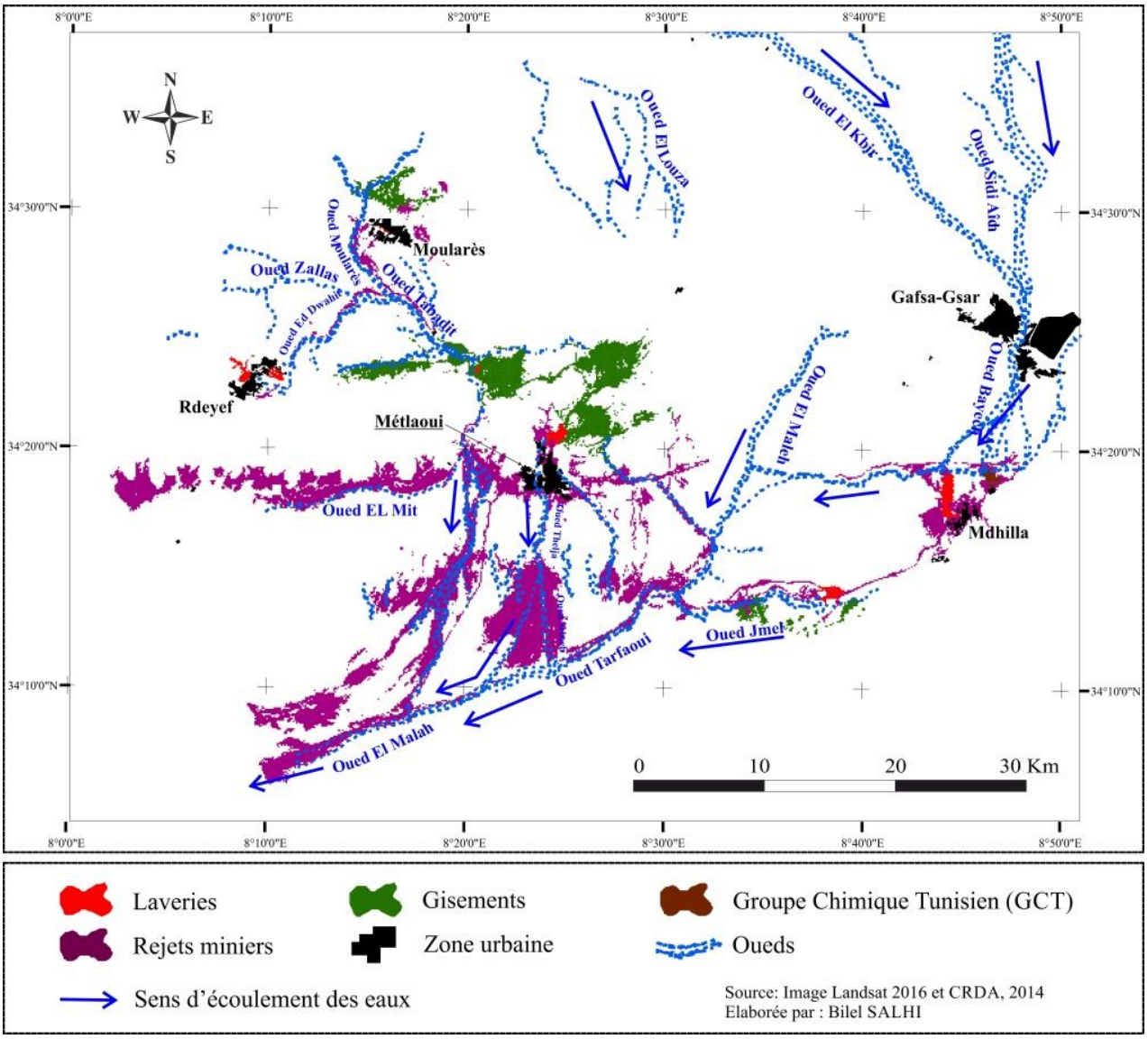
[93] Le "rejet Sebseb", principal zone de rejet dans le BMG, fait partie de drainage d'Oued Thelja

[94] Oued El Melah draine aussi les effluents liquides du GCT où le débit varie de 40 à 60 m^3/h les eaux riches en phosphogypse (GCT, 2016).

[95] Environ 20% des boues des laveries sont rejetées dans les oueds arrivent à la zone de Chott. Cette dépression présente le point exutoire de la majorité des rejets miniers si l'écoulement est encore pérenne.

n’ont pas encore asséché les cours d’eaux boueux. Ce processus conduit à l'augmentation des surfaces des lits majeurs d'écoulement, mais aussi à leur envasement. Citons les exemples :

- ✓ L’oued Sebseb près du point de confluence avec l'oued El Melah;
- ✓ L’oued Thelja au sud d’oued Métlaoui ;
- ✓ L’oued El Melah à la confluence d’Oued Jmel.



Carte 49 : Diffusion spatiale des déchets miniers par rapport au réseau hydrographique (Source : Images Landsat 2016 et CRDA, 2014)

2. Etude qualitative des rejets miniers

Cette partie a pour objectif de montrer la qualité nuisible des rejets miniers et sa non-conformité à la Normes Tunisiennes des rejets (NT 102 de 1989). Cette étude est basée sur les analyses que nous avons réalisées, en Janvier 2015, sur les rejets des Laveries de Métlaoui dans le laboratoire du Centre de Recherche de la CPG et sur les analyses réalisées par la CPG. L'étude des rejets du GCT se limite seulement à une comparaison des résultats de (Ounis A., (2002) ; Said A. (2011) et Mohamed R., et al. (2013)). Pourtant les responsables du GCT ont démenti la présence de rejets dans l'environnement (entretien le 13 Février 2015).

Les fractions liquides de rejets (lixiviat) ont été séparées par décantation ou par filtration et soumises à l'analyse de divers paramètres physico-chimiques. Pour synthétiser, nous citons uniquement les polluants qui sont proches ou qui dépassent les Normes Tunisiennes des rejets (NT 102 de 1989). D'après ces résultats, nous pouvons déduire que :

- Le rejet des boues ne fait qu'accentuer la salinité du sol comme l'indique sa composition chimique qui est affectée en fonction des teneurs élevées des sels dissouts (TDS) et leur conductivité électrique ;
- Ces teneurs dépassent 3 fois la norme tunisienne. La salinité est proportionnelle avec la qualité des eaux de lavage (variation entre 2 à 5 g/l) ;
- Le Fluor semble répandu dans tout le BMG. il est présent dans les eaux de surface et d'alimentation des Laveries (nappes profondes) et dans les boues;
- Les concentrations en nitrates, en chlorures et en sulfates sont supérieures aux normes tunisiennes. Les concentrations moyennes des nitrates et des chlores dépassent de 2 fois les normes de rejet et de 3 à 4 fois pour les sulfates ;
- Les rejets du GCT sont très riches en phosphogypse et en Fluor ;
- Comme les eaux utilisées dans les Laveries proviennent des eaux des différentes nappes de la région, globalement chargées, les eaux des filtrats des rejets sont à l`image des eaux utilisées.

Les résultats des analyses sont présentés en détail dans l'annexe 3.

Le territoire du bassin minier (notamment au sud des délégations de Rdeyef, Mdhilla et Métlaoui, communément appelé le Sègui) continue à fonctionner en tant que plateforme de pâturage pendant des années pluvieuses, non seulement aux troupeaux de Gafsa mais sollicité aussi par les troupeaux en provenance des gouvernorats limitrophes (Kébili, Tozeur et Kasserine). La végétation touchée par les rejets miniers constitue un pâturage à production

régulière surtout en hiver[96]. Alors, l'impact négatif des rejets miniers dépasse indirectement la limite du territoire minier.

« Le Cadmium présente le risque le plus élevé d'absorption par les plantes et de transmission à l'homme… La présence dans la ration alimentaire de viandes provenant des animaux d'élevage constitue un canal probable de transmission vers l'homme de métaux lourds présentés dans les rejets boueux des laveries ». (GENIVAR-SCET, (2001-2002).

La présence du Fluor dans les rejets boueux entraîne des problèmes sanitaires pour le secteur de l'élevage (chutes des dents, des troubles du squelette et une diminution de la production du lait). Tout est dû à la mauvaise qualité des eaux de surface (eau de boisson) polluées.

En général, le contact direct des mammifères avec les zones de rejets boueux (photo 17) fragilise le tonus et affecte aussi les pattes suite au niveau élevé du taux de la toxicité (entretien avec le directeur unités production animales et végétales, Arrondissement Métlaoui-Rdeyef en 12-10-2015).

Traces dromadaires et renards

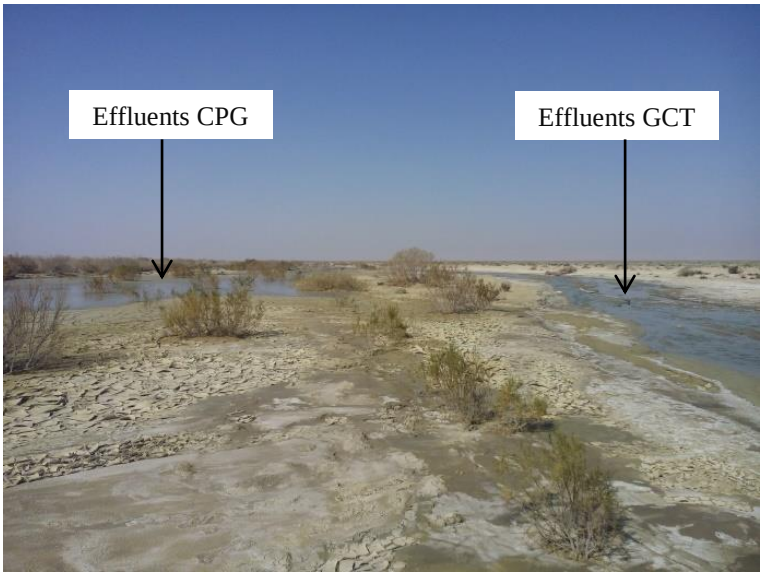
Traces sangliers

Photo 17 : Traces des mammifères en contacts directes avec les rejets toxiques (rejet Sebseb) (Salhi B., 29/01/2015)

[96] L'élevage dans le BMG présentait une forme extensive, reposant sur la recherche incessante de bons pâturages et était essentiellement ovin.

La contamination du réseau hydrographique, par des effluents miniers non conformes aux Normes Tunisiennes des rejets, est due essentiellement au phénomène de lessivage par les eaux de pluie avec les stocks de déchets de phosphate ou par le rejet directe des déchets boueux issus des laveries. La cartographie de l'évolution spatiale de l'infrastructure minière a montré deux grandes zones de rejets (photo 18); le premier nommé le "rejet Sebseb" se localise à 20 km au sud de la ville de Métlaoui, et le "rejet Mdhilla" se localise à 4 km au nord de la ville de Mdhilla. Ce rejet rejoint à la fois les effluents des Laveries CPG et les effluents du GCT.

Rejet Sebseb (29/01/2015)



Rejet Mdhilla (13/03/2015)

Photo 18. : Rejet Sebseb et rejet Mdhilla (Salhi B., 2015)

Chapitre X. Pollution minière et variation de la température de surface dans le Bassin Minier de Gafsa

Température de surface de la terre (Land Surface Temperature (LST)), aussi appelée la température de peau de la surface de la Terre, est dérivée de la télédétection des données InfraRouges Thermiques (TIR). Ce dernier est un paramètre clé dans l'analyse et la modélisation du bilan énergétique de la surface de la terre[97] (Weng Q., et al. 2014).

L'utilisation de la télédétection, à l'aide du canal infrarouge thermique consiste à mesurer l'énergie radiative émise par la surface terrestre, ce qui permet d'en déduire la température de surface. Les capteurs mesurent la luminance spectrale qui est reliée à la température de surface par la loi de Planck selon Madureira H., et al. (2010).

Pour déterminer la température du sol, il faut connaître à la fois la température de l'air et l'émissivité du sol (Sobrino J. A., et al. (2008) et Rozenstein O., et al. (2014)). Nous avons, d'abord, récupéré les données via le site de "Julia Barsi NASA". Puis, corrélé les NDVI et les albédos de surface ; une forme parabolique reliant les deux paramètres est établie. Les NDVI sont reliés à l'émissivité de surface par une relation paramétrique linéaire définie par Sobrino J. A., et al. (2004). Du point de vue spectral, la partie radiative est présentée dans la bande du visible infrarouge qui a fait l'objet de plusieurs études ; par contre peu d'études se sont intéressées au bilan thermique.

1. Variation de la température de surface en fonction des rejets miniers

L'objectif de ce travail est de montrer, à travers des analyses chimiques des rejets et de la mesure de la température, l'impact pervers des exploitations minières, en terme de pollution et en terme d'élévation thermique de la surface du sol. Pour synthétiser, deux principales composantes minières font l'objet de notre étude : le rejet Sebseb, et le rejet Mdhilla. Afin de cartographier la variation thermique des zones minières à ciel ouvert, nous proposons une méthodologie de traitement numérique des images Landsat[98] détailler dans l'annexe 4.

1.1. Etude de cas : le rejet Sebseb

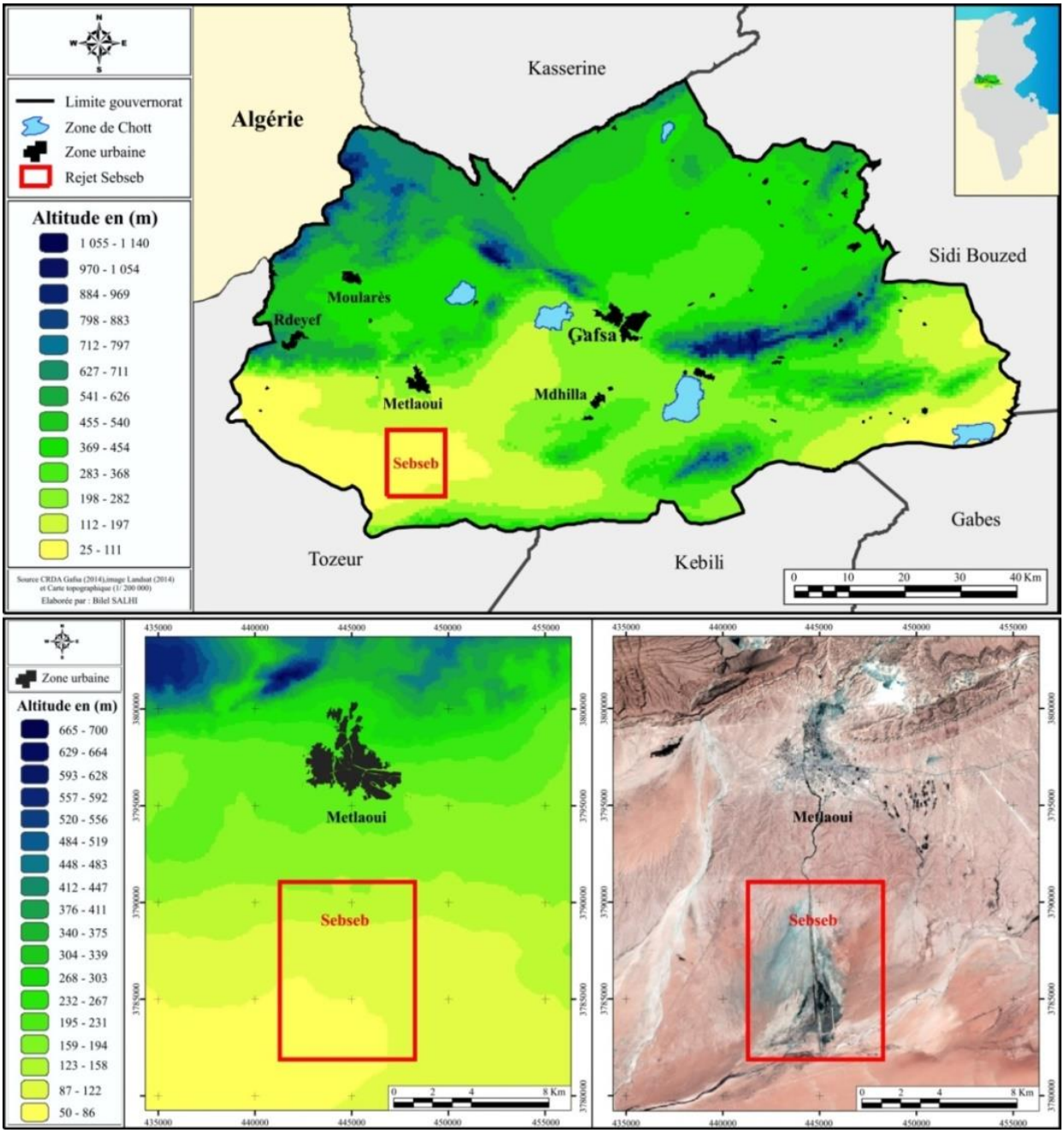
Le rejet Sebseb se localise à 20 km au sud de la ville de Métlaoui (carte 50). Par la construction d'un canal d'environ 130 m de largeur entre deux digues parallèles, le rejet reçoit les eaux des rejets de nature boueuse des laveries implantées dans la ville de Métlaoui.

[97] Les données de télédétections infrarouges thermiques (IRT) utilisent les propriétés du capteur dans les fenêtres spectrales du visible proche infrarouge (VNIR : 0,40-1,10µm) et de l'IRT (10-13,4µm) embarquées sur les vecteurs DMSP (Defence Meteorological Satellite Program) (Gadal S., 2008).

[98] 08-08-2003 ; 10-08-2010 et 16-04-2014

Rappelons que le débit des eaux chargées varie de 200 à 400 m^3/h. La concentration en solides est variable entre 160 et 220g/l.

Suite aux diverses plaintes émises par des agriculteurs de la zone Sebseb, la CPG a construit en 2007-2008 des digues afin d'éviter l'épandage de boues dans le réseau hydrographique Chott Gharsa situé au sud-ouest du rejet Sebseb. Le succès à long terme des digues à boues reste à démontrer et les impacts de ces travaux n'ont vraisemblablement pas été évalués.



Carte 50 : Localisation du rejet Sebseb
(Source : Images Landsat, 2014 et CRDA, 2014)

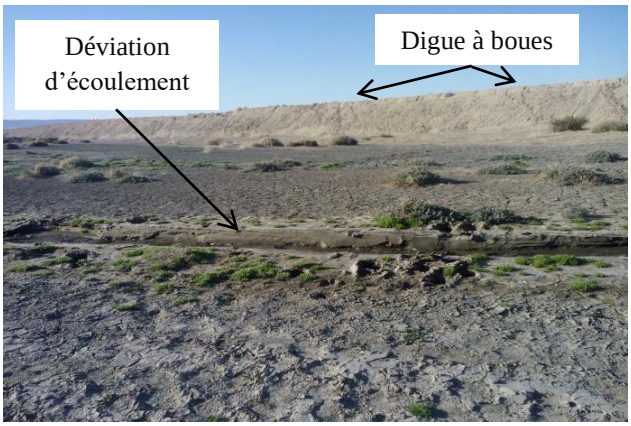
1.1.1. Variation chrono-thermique de rejet Sebseb (2003-2014)

Nous avons eu recours à trois images satellites Landsat[99] : 08-08-2003 ; 10-08-2010 et 16-04-2014 (carte 51).

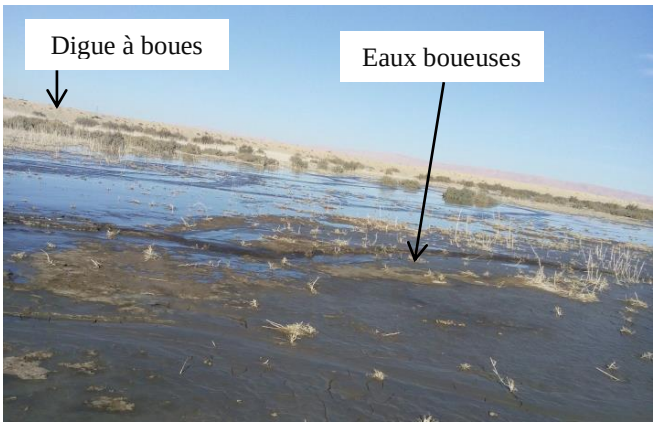
La spatio-carte de 2003 montre que les zones à forte température correspondent à des zones de rejets surtout au sud-est de la canalisation couvrant une surface de 6.1 km^2, et que la température varie entre 53.4 et 58°C. Une autre zone de température très élevée est de forme allongée au nord-ouest de la canalisation, couvrant une superficie de 5.2 km^2 et d'une température varie entre 58 et 61°C. Une bande de faible température allant du nord vers le sud correspond à la canalisation de transfert de rejets boueux à ciel ouvert. La présence de l'eau permet une diminution remarquable de la température, au regard des alentours qui sont constitués par des boues séchées.

La spatio-carte de 2010 est similaire en partie à celle de 2003. L'ajout d'une zone de digue à boues au sud du rejet est très remarquable dans la carte thermique. Cette zone de stockage des eaux boueuses, afin de mieux protéger l'environnement, couvre une superficie de 1,96 km^2 sur l'image satellite et 1,72 km^2 sur l'image thermique. Sous l'effet de la présence de l'eau, la température est plus faible et ne dépasse pas 39°C alors qu'elle est en moyenne de 46 à 50 °C aux alentours. Les deux zones de fuites ou d'épandage diminuent remarquablement.

La spatio-carte de 2014 montre un problème au niveau de l'amont de la digue à boues ; la zone est soumise au phénomène de colmatage de canalisation qui provoque la déviation d'écoulement et le débordement des eaux boueuses (photo 19). Ainsi, le colmatage s'est asséché et les eaux débordent et s'épandent sur les deux rives de la canalisation. La zone de plus faible température correspond toujours à l'eau boueuse diffusée dans l'oued Sebseb.



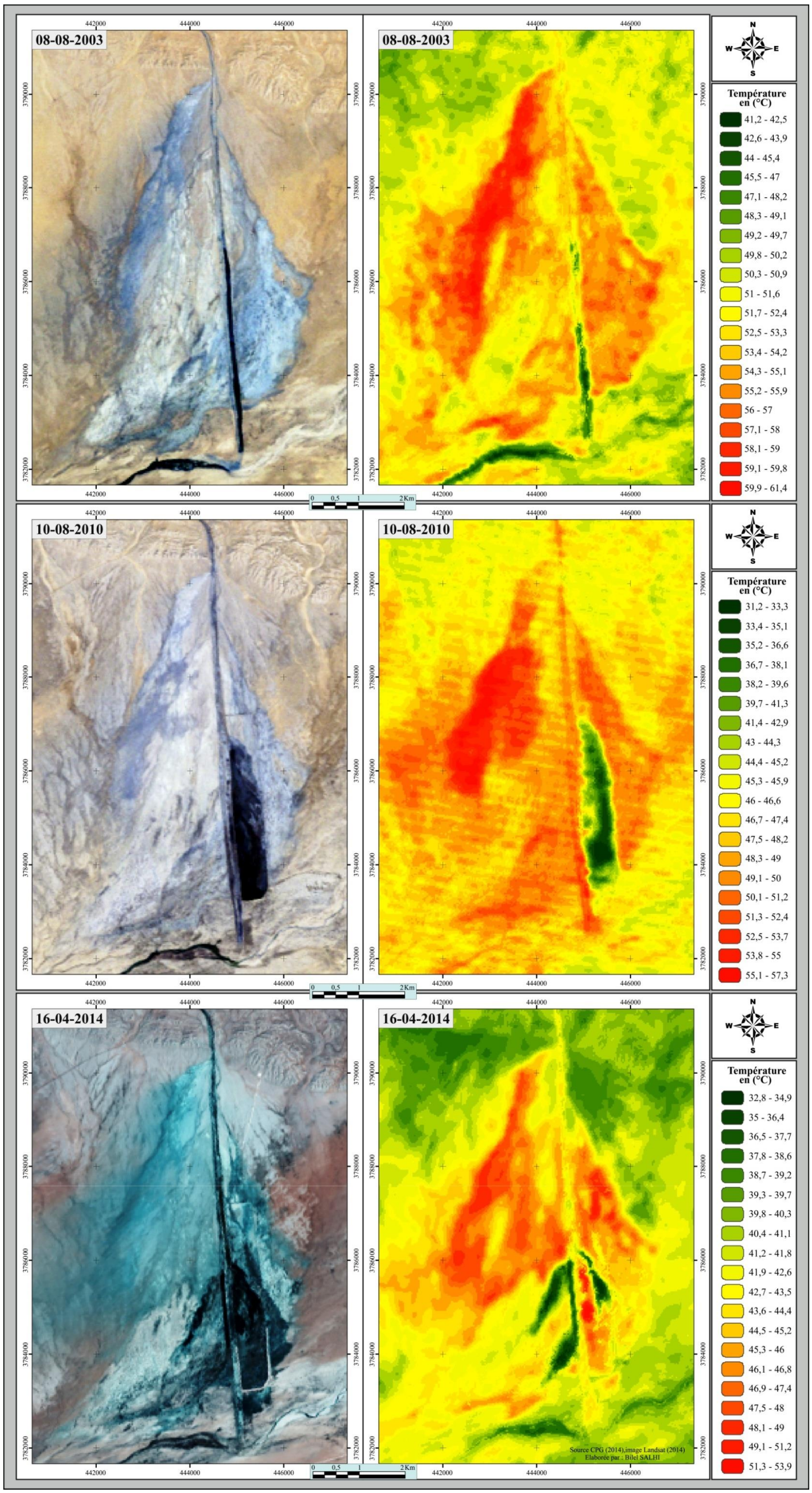
Déviation d'écoulement,



Epandage des eaux boueuses d'environ 2 km

Photo 19 : Rejet Sebseb, débordement des eaux boueuses (Salhi B., 16-04-2014)

[99] Rappelons que nous ne pouvons pas calculer la température de surface des images prise avant 2000 (Coll C., et al. 2010).



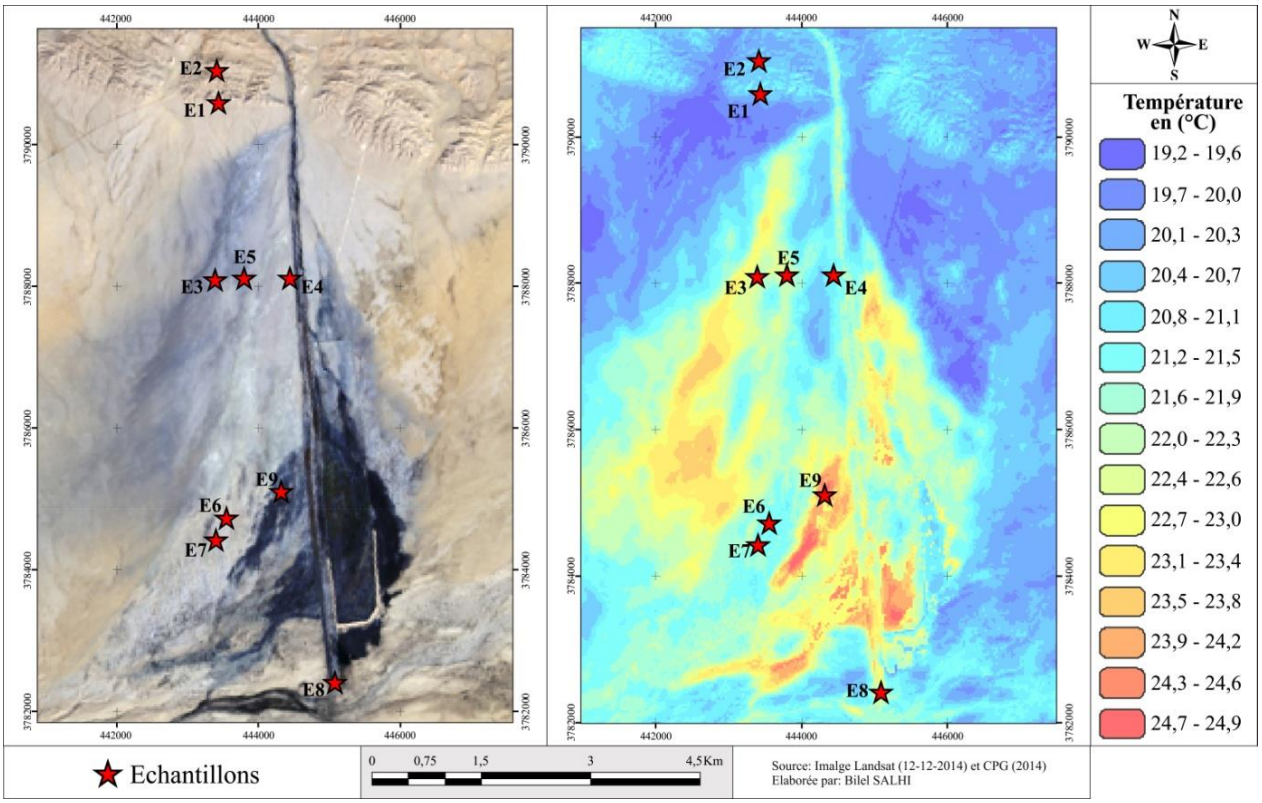
Carte 51 : Variation chrono-thermique du rejet Sebseb (2003-2014)
(Source : Images Landsat multidates et CPG, 2014)

1.1.2. Corrélation entre température de surface et niveau de pollution du sol

1.1.2.1. Localisation des échantillons dans le rejet Sebseb

Rappelons que l'hypothèse de travail est de montrer que les zones de forte température sont les plus polluées par les rejets miniers. Pour vérifier cette hypothèse, j'ai pris 9 échantillons de sol (E1, E2, E3…, E9) le 14 décembre 2014 (carte 52). Les analyses portent principalement sur les métaux lourds, le Fluor et le Carbone Organique.

Il est intéressant de combiner deux approches d'échantillonnage pour caractériser de façon optimale notre site, en associant l'échantillonnage ciblé, en tenant compte des indices de contamination visuels et olfactifs, à l'approche aléatoire systématique, qui couvre adéquatement tout le site à l'étude. L'échantillonnage combiné s'avère aussi nécessaire afin de diviser le terrain en zones distinctes par le degré de contamination soupçonné et par le mode de dispersion des contaminants.



Carte 52 : Localisation des échantillons dans le rejet Sebseb

(Source : Image Landsat, 2014 et CPG, 2014)

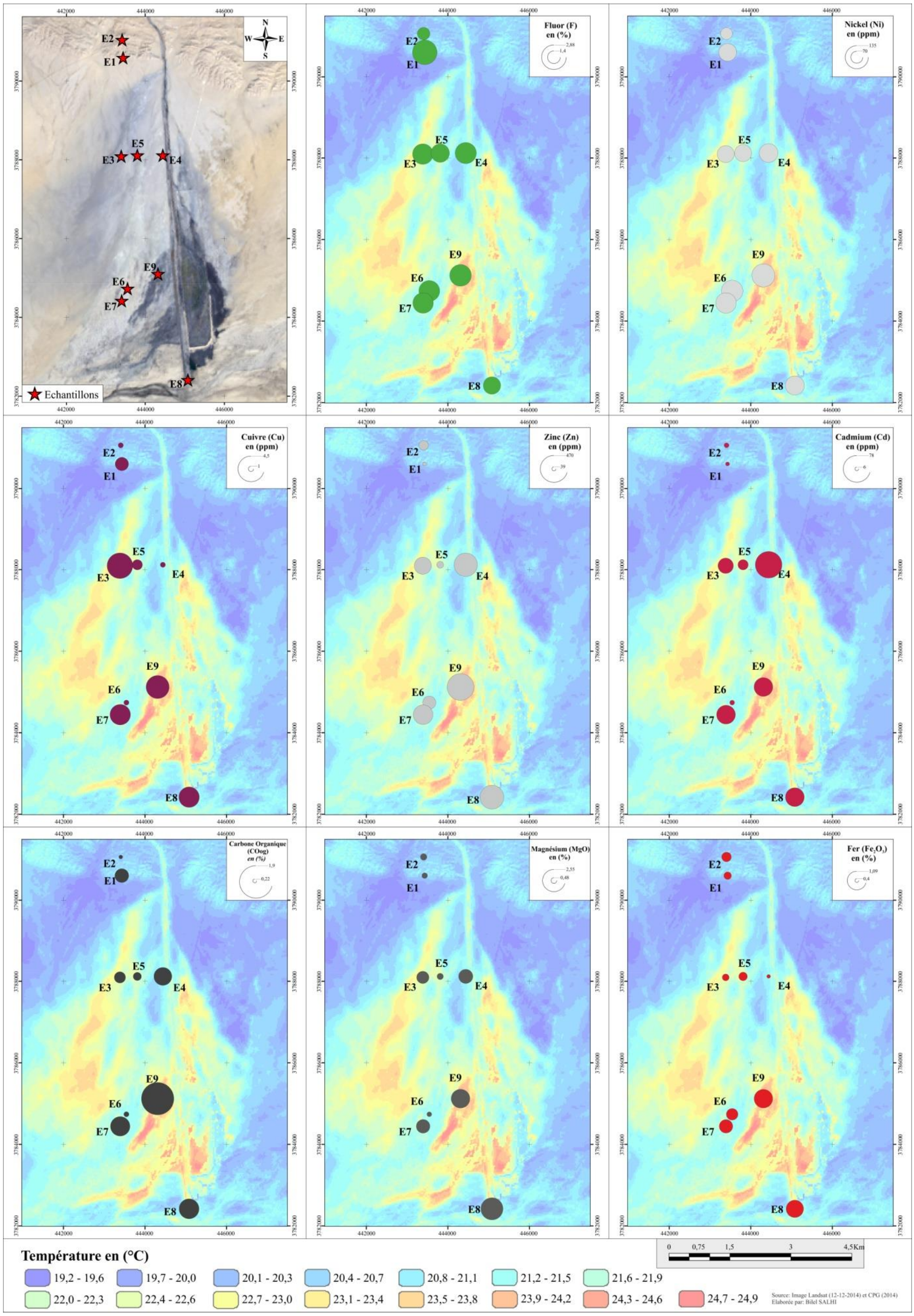
1.1.2.2. Corrélation entre la pollution du sol et la température de surface

Les échantillons les plus pollués sont E9, E3 et E4. Ils correspondent à des emplacements à forte température (carte 53). L'ensemble des cartes montrent que le côté sud du rejet est plus pollué que le côté nord. En outre, la classification hiérarchique des paramètres chimiques réalisés a montré que la variation thermique de sol est en relation avec la concentration du Fluor, Fer, Magnésium et du Carbone Organique (figure 54). Plus la distance euclidienne[100] est proche plus la corrélation entre la température de surface et le taux des éléments chimiques et forte (Salhi B., et al. 2015).

La matrice de corrélation des variables montre que le Carbone Organique accapare le maximum de corrélation (71%) avec la température de surface. Ce résultat est confirmé par l'étude de Salhi B. et al. (2016) le (30/11/2016)[101] qui montre que la matière organique du phosphate dans les rejets boueux a la possibilité de piéger ces métaux.

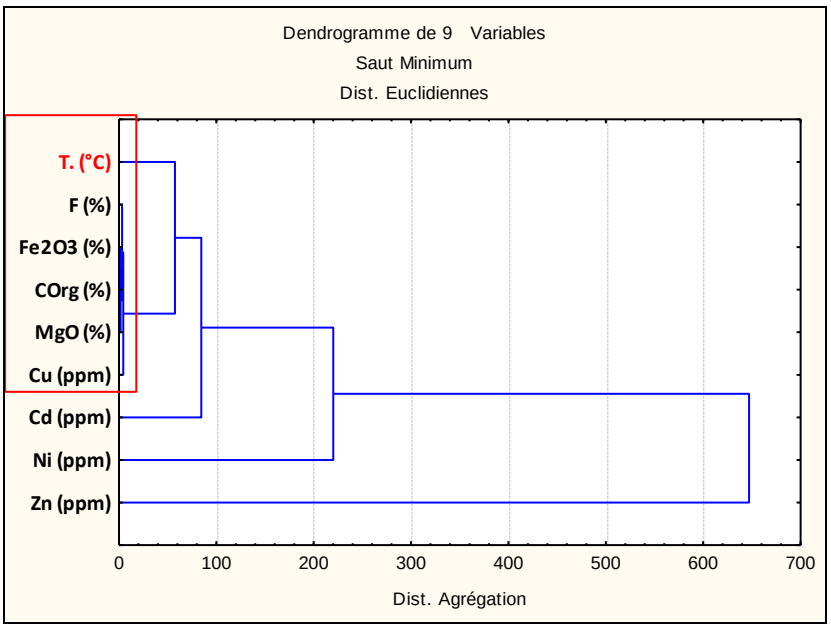
[100] La distance euclidienne est une distance géométrique des variables dans un espace multidimensionnel.

[101] Salhi B. et al. (2016) "Pollution surface mining and variation of heat: a case study from Tunisia using GIS and remote sensing." Accepted in Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration, with major revisions

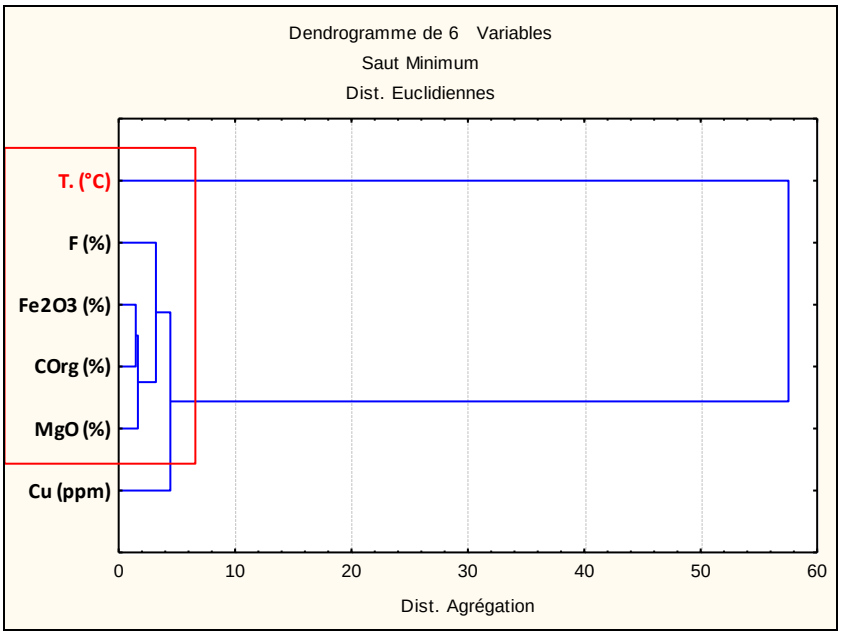


Carte 53 : Corrélation entre température de surface et niveau de pollution du sol (même échelle et étendue spatiale)

(Source : Image Landsat, 2014 et CPG, 2014)



Corrélation de température de surface avec tous les éléments chimiques



Corrélation de température de surface avec les voisinages les plus proches (en %)

Figures 54 : Corrélation entre la pollution du sol et la température de surface (Salhi B., 2015)

1.1.2.3. Variation de la pollution organique

Afin de mieux approfondir l'étude de la variation organique des rejets boueux dans la région de Sebseb, j'ai eu recours à un troisième échantillonnage le 29-01-2017. Ce dernier compte 5 prélèvements dans le but de détecter la variation de DBO_5[102], la conductivité

[102] DBO_5 (Demande Biochimique ou Biologique en Oxygène pour 5 jours) est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes présents dans un milieu pour oxyder (dégrader) les substances organiques contenues dans un échantillon d'eau maintenu à 20° et dans l'obscurité, pendant 5 jours.

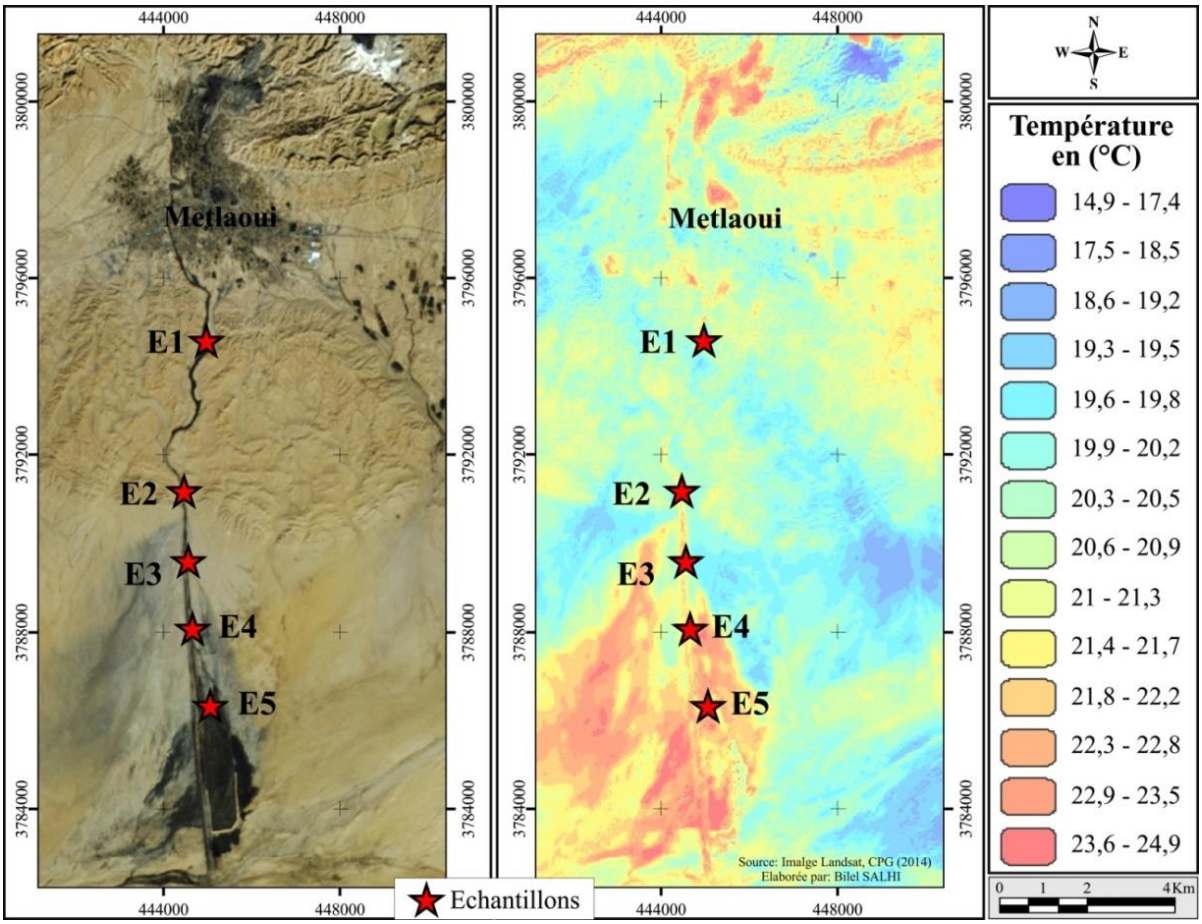
électrique (photo 20) et le pH dans les rejets boueux au sein de la canalisation de transfert vers la digue à boues (carte 54). Les analyses des échantillons sont réalisées dans le laboratoire de Centre de recherche (CPG, Métlaoui).

Echantillonnage

Mesure de la conductivité

Mesure de la DBO_5

Photo 20 : Echantillonnage et analyse de la matière organique dans le rejet Sebseb (Salhi B., 29/01/2017)



Carte 54 : Localisation des échantillons (Salhi B., 2017)

Avec **E1** : Fuite de conduite au sud de la ville de Métlaoui ;

E2 : Juste à la sortie de la conduite, début de canalisation à ciel ouvert de boues ;

E3 : Le contact est réalisé avec l'air et le sol (quelque heure) ;

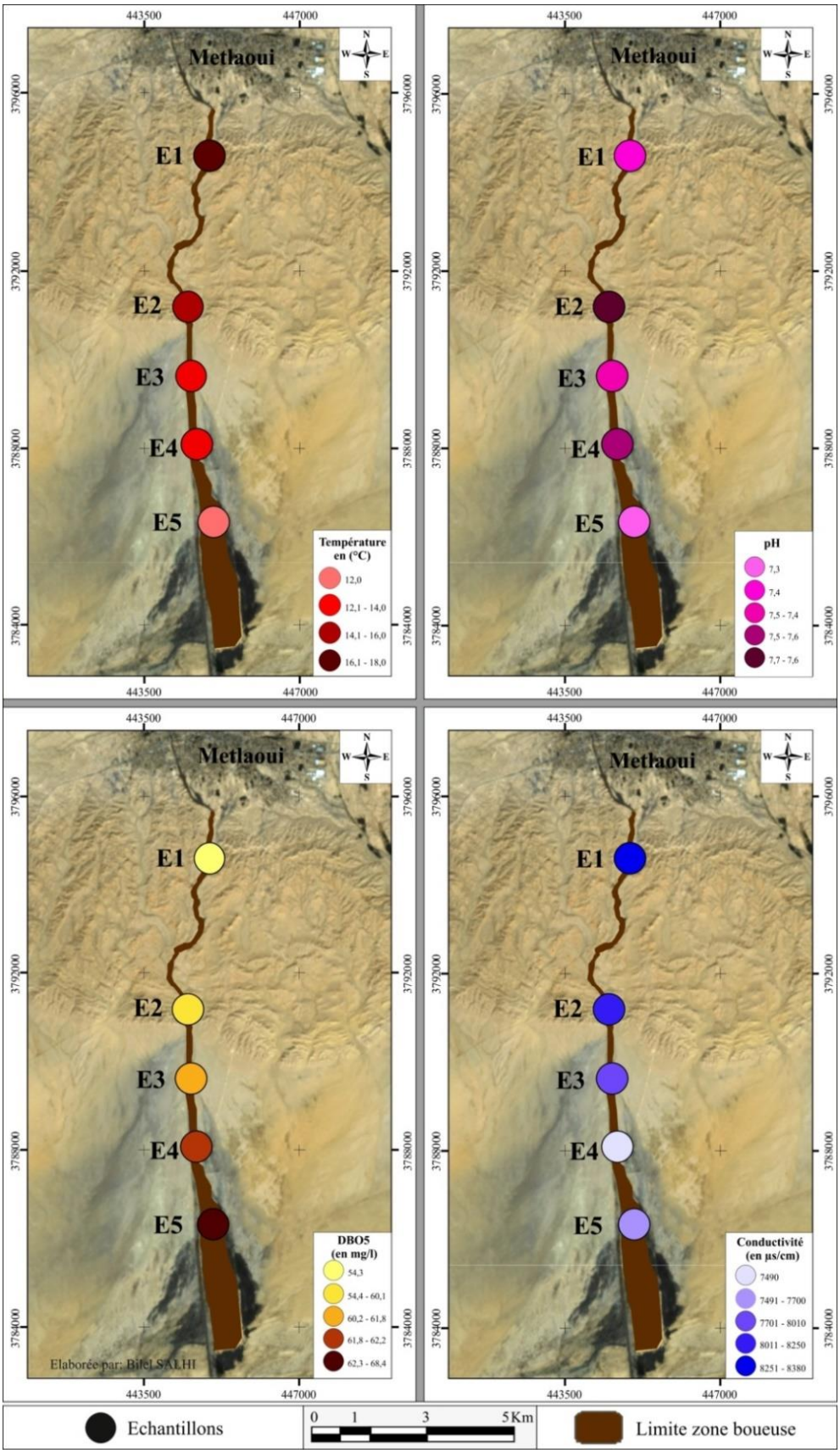
E4 : Le contact est réalisé avec l'air et le sol (une dizaine d'heure) ;

E5 : Rejet final, une zone de stagnation, après quelque jour de stagnation

Résultat et discutions

- **Variation de la température :** rappelons que la température de l'air est à 14°C ce qui influe sur la variation thermique de boues à ciel ouvert. A la sortie de laverie, la température de boues varie entre 24 et 28°C. On remarque un refroidissement continu de rejets boueux de 18°C au départ de canalisation pour atteindre 12°C dans la zone de stagnation ;
- **Variation de pH :** la variation de pH est irrégulière et est limitée de 7,35 à 7,62, toujours proche de pH neutre et en respectant les normes de rejets dans le réseau hydrographique. Elle est classée comme neutralité approchée qui présente la majorité des eaux de surface. Les variations du pH ont donc des conséquences complexes et parfois contraires sur la mobilité des métaux lourds;
- **Variation de la conductivité :** la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. Les rejets boueux sont caractérisés par une très forte conductivité, soit presque 3 fois supérieur aux normes de rejets Tunisiens. Au départ de canalisation, la conductivité de boues est mesurée par 8380 µs/cm pour atteindre 7700 dans la zone de stagnation au niveau de digue à boue. La diminution du moyen de 10% reflet une absorption des métaux et des résidus par les particules fines de sol, ajoutons l'effet de décantation par gravitation. En saison estivale, la conductivité**,** par estimations[103], peuvent dépasser 9000 µs/cm ;
- **Variation de Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (DBO_5) :** la mesure de la DBO_5 sert à évaluer la concentration des polluants organiques au long de rejet boueux. La DBO_5 augmente d'environ 10% dès la sortie de laverie jusqu'à atteindre la zone de stagnation. Sous l'effet de contact avec l'air et à la lumière, la DBO_5 augmente et induit une augmentation de la pollution organique des boueux et par conséquent des sols limitrophes (carte 55).

[103] La conductivité est dépendante de la température ; si la température augmente, la conductivité augmente aussi. Par exemple, la conductivité est de 1,273 ms/cm à 20 °C et elle augmente à 1,409 ms/cm à 25 °C.

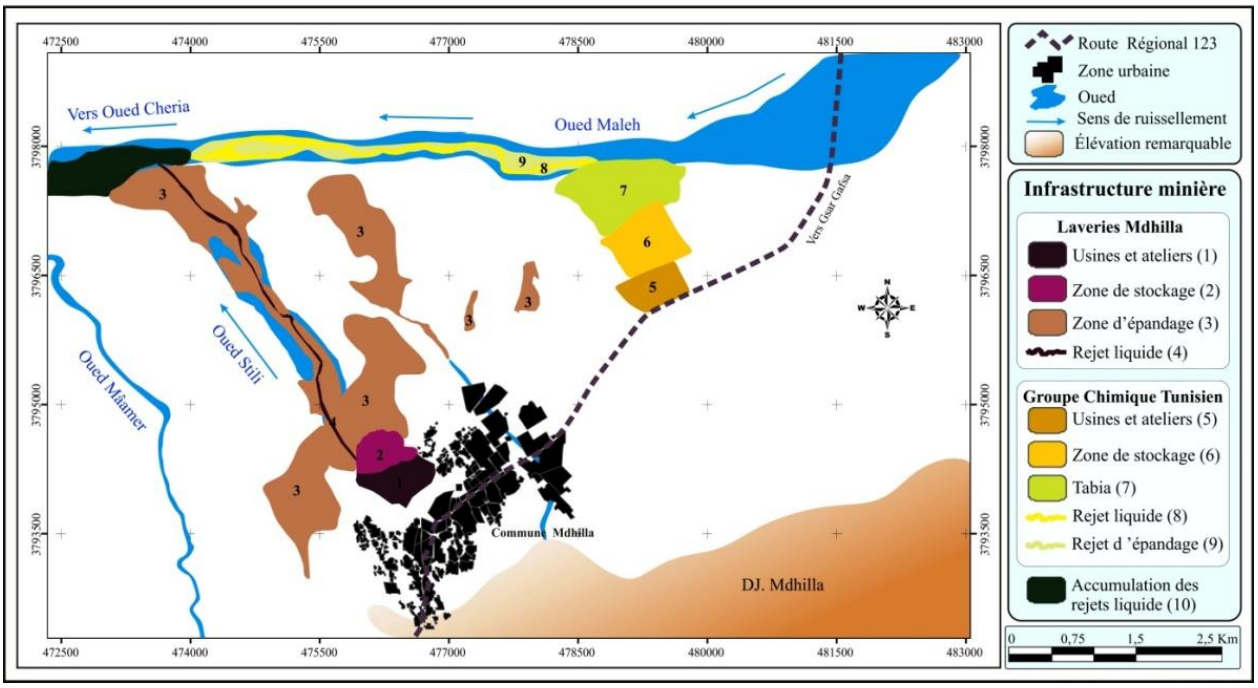


Carte 55 : Variation chrono spatial des polluants boueux dans le rejet Sebseb (Salhi B., 2017)

1.2. Etude de cas : le rejet Mdhilla

La zone d'étude se localise à 4 km au nord de la commune de Mdhilla. Elle englobe à la fois le rejet de la Laverie implantée dans la ville de Mdhilla et les rejets du GCT (carte 56). Les zones d'épandages sont à la fois de natures boueuses, humides et sèches. Le débit des effluents boueux issus de la Laverie de Mdhilla varie de 80 à 120 m^3/h, dont la concentration en solide est variable, soit entre 160 et 220g/l. Alors que le débit des effluents issus du GCT varie de 40 à 60 m^3/h des eaux riches en phosphogypse. Il produit également des rejets de sulfates de calcium, sous forme de phosphogypse. Il s'agit d'un sous-produit de fabrication de l'acide phosphorique, qui est stocké en terril.

Le réseau hydrographique de la région de Mdhilla est formé principalement par oued El Melah, appelé localement oued Fouart El Gram, le plus proche de la zone de décharge du phosphogypse ; il constitue sa limite nord. Au sud-ouest d'oued El Melah, s'étend oued Stili qui draine les eaux boueuses issues de la Laverie de Mdhilla. Oued Stili est submergé en majorité par l'épandage des Laveries. Ces deux oueds convergent vers oued Cheria qui est en dehors de la zone d'étude (carte 51).



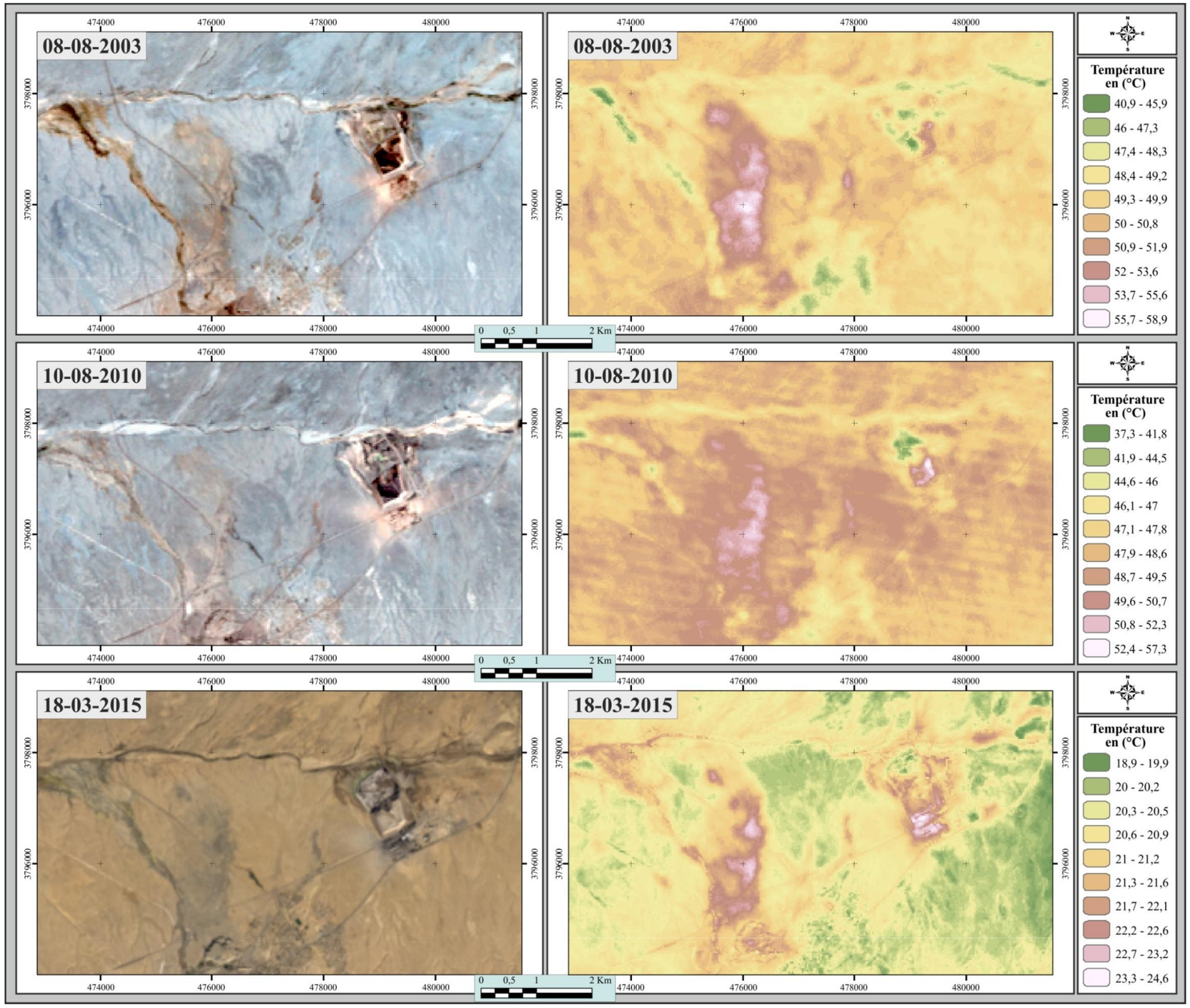
Carte 56 : Localisation du rejet Mdhilla

(Source : Image Landsat, 2015)

1.2.1. Variation chrono-thermique de rejet Mdhilla (2003-2015)

Nous avons recours à trois images Landsat : 08-08-2003 ; 10-08-2010 et 18-03-2015. Deux régions se caractérisent par une forte température (carte 57):

- La première correspond à la zone d'épandage des effluents boueux au nord de la Laverie Mdhilla. La température atteint 55°C en été et 23,2°C en hiver. L'étendue spatiale est proportionnelle au débit d'écoulement des eaux boueuses dans les canalisations à ciel ouvert. Elle varie entre 175,16 ha en 2003 et 122,67 ha en 2015 ;
- La deuxième région à forte température, correspond à l'usine du GCT. Cette remarquable élévation est due à la calcination de Triple Super Phosphate (TSP) avec de hautes températures (60-80°C). L'étendue spatiale de zone de stockage (*Tabia*) a évolué progressivement de 5 ha en 2003 à 16 ha en 2010 pour atteindre 33,8 ha en 2015.



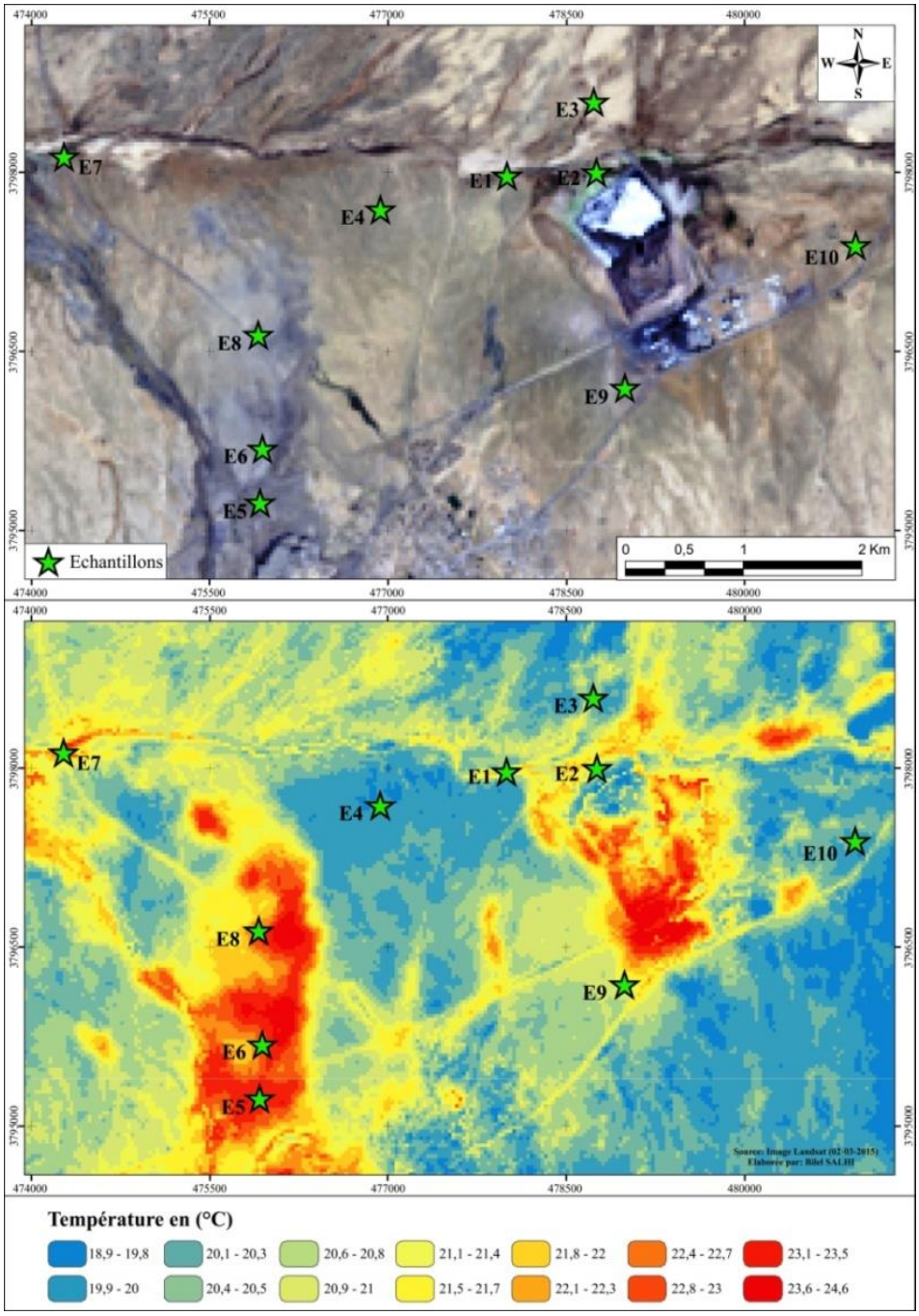
Carte 57 : Variation chrono-thermique du rejet Mdhilla (2003-2015)

(Source : Images Landsat multidates)

1.2.2. Corrélation entre température de surface et niveau de pollution du sol

1.2.2.1. Localisation des échantillons dans le rejet Mdhilla

Deux sources de pollution influent sur la variation thermique de surface de sol ; les rejets humides et secs issues des laveries Mdhilla et les rejets du GCT. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons pris 10 échantillons de sol à la date du 13/03/2015 (carte 58). Le principe d'échantillonnage est similaire à l'exemple du rejet Sebseb. Les analyses portent uniquement sur les métaux lourds.

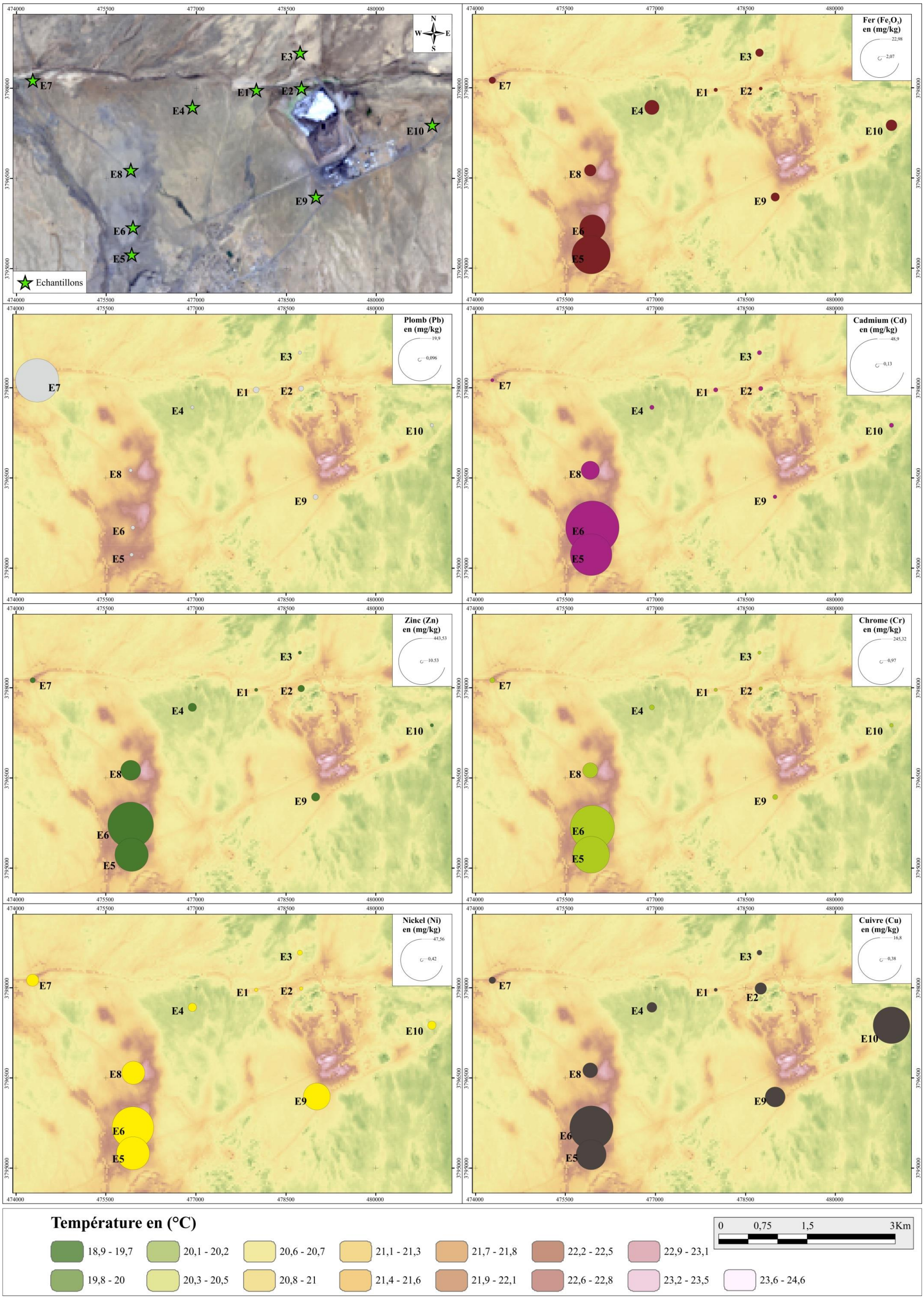


Carte 58 : Localisation des échantillons dans le rejet Mdhilla
(Source : Image Landsat, 2015)

1.2.2.2. Corrélation entre la pollution du sol et la température de surface

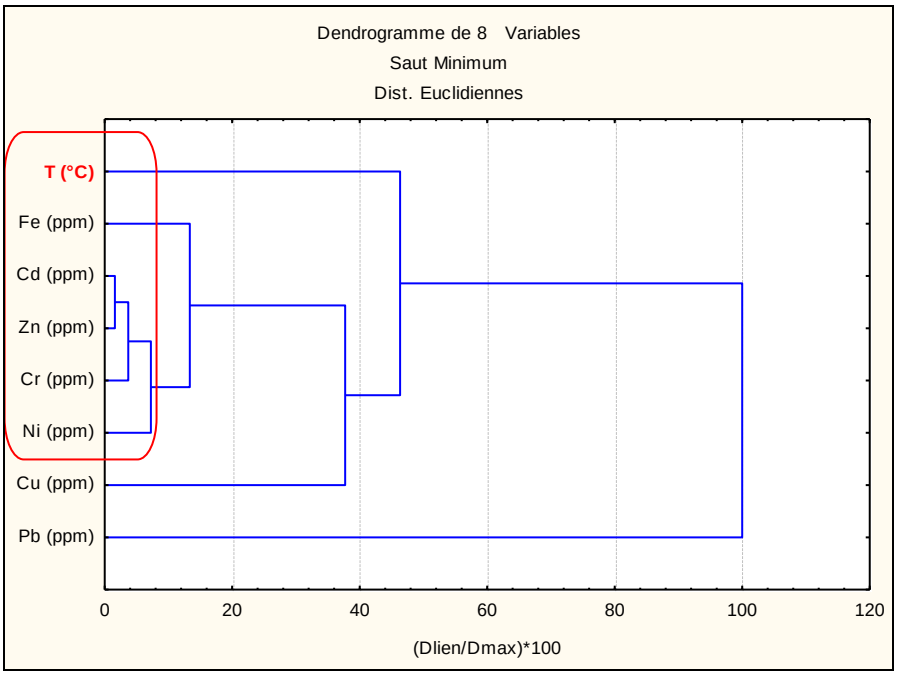
Les échantillons les plus pollués correspondent à des emplacements de forte température (E5, E6 et E8) (carte 59). A l'exception du plomb, l'ensemble des cartes montrent que la zone de rejet de la laverie Mdhilla (Oued Stili) est plus polluée par rapport à celle du GCT (Oued El Melah). Ces spatio-cartes montrent aussi que le côté sud-ouest du rejet est plus pollué que le côté nord-est. Proportionnellement au niveau de pollution, le sud du rejet est caractérisé par une forte température par rapport au côté nord.

Par ailleurs, la classification hiérarchique de tous les paramètres chimiques réalisés a montré que la variation thermique du sol est similaire à la variation du Fer, Cadmium, le Zinc, Chrome et du nickel (figure 55). En effet, la distance euclidienne est égale à 45%, sur une distance maximale de 100%, séparant la température des autres paramètres déjà cités. A une échelle réduite, la distance euclidienne est très faible pour le nickel (18%) puis le Zinc et le Chrome (80%).

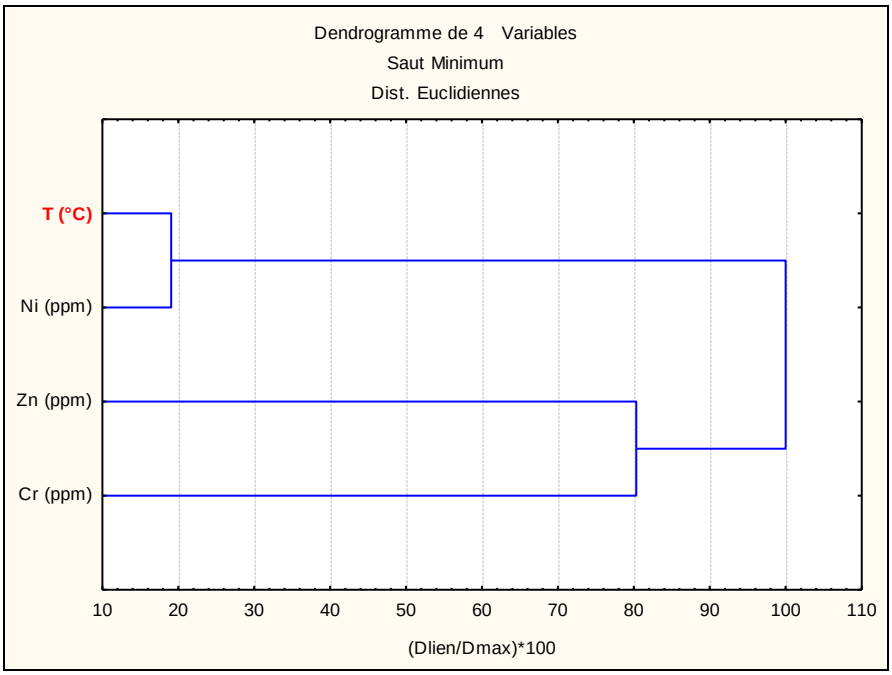


Carte 59 : Corrélation entre température de surface et niveau de pollution du sol (même échelle et étendue spatiale)

(Source : Image Landsat, 2015 et CPG, 2015)



Corrélation de température de surface avec tous les éléments chimiques



Corrélation de température de surface avec les voisinages les plus proches (en %)

Figure 55 : Corrélation entre la pollution du sol et la température de surface (Source : Salhi B., 2015)

Le recours à la température de surface de la terre s'est avéré une bonne méthode dans l'analyse et la modélisation du bilan énergétique du sol. L'étude de l'impact des exploitations minières sur la variation thermique de surface a montré une forte concentration des polluants jugés dangereux comme les métaux lourds et une remarquable élévation dans les zones soumises à l'épandage minier. En perspective, peut-on considérer la température de surface parmi les impacts majeurs de dégradation des ressources en sols ? A quel niveau nous pouvons parler de la pollution thermique ?

2. Impact des exploitations minières sur la toxicité des sols

Sachant que les résultats d'analyse des échantillons ont montré un niveau de pollution variant d'un site à un autre, cette partie sera consacrée à étudier le niveau de toxicité des rejets miniers. D'abord, nous comparons des résultats avec les Normes Tunisiennes des rejets (NT 09.04)[104] pour vérifier le niveau de toxicité des sols par les exploitations minières. Ensuite, nous comparons les résultats des sols pollués avec des sols témoins pour déduire le degré de contamination ou le taux d'enrichissement.

2.1. Cas du rejet Sebseb

2.1.1. Distribution des polluants

Le lit majeur de l'oued Sebseb, zone inondable, où les boues se sont accumulées par épandage pendant plus de 25 ans, constitue bien une zone contaminée. La distribution des polluants présentés dans l'annexe 5 permet de déduire que:

- ✓ Les concentrations de pollutions s'accroissent de l'amont vers l'aval de rejet ;
- ✓ Plus on s'éloigne de la zone d'épandage, plus le niveau de pollution diminue;
- ✓ les concentrations des polluants s'accroissent dans les zones de boues séchées et décroissent en s'éloignant vers les sols humides.
- ✓ La variation de niveau de pollution des métaux lourds est en majorité similaire et elle a triplé par rapport à l'année 2003.
- ✓ Ces polluants ne sont pas dégradable et s'accumule dans le sol.

La zone steppique qui a une vocation pastorale se voit dégradé et pollué, les répercutions peuvent être très grave sur la santé d'ovins et caprins qui pâturent dans ces régions comme l'indique Salhi B., et al. (2016b).

[104] Les Normes Tunisiennes des rejets(NT 09.04) sont similaires aux Normes Françaises des teneurs totales maximales en éléments traces métalliques dans les sols(ppm sur matière sèche), selon l'arrêté du 8 janvier 1998.

2.1.2. Comparaison des Résultats

2.1.2.1. Comparaison avec les Normes Tunisienne (NT 09.04)

Les teneurs des polluants ne respectent pas les normes à l'exception de quelques échantillons pour le Zinc. Le Nickel dépasse deux fois la norme tandis que le Cadmium dépasse une dizaine de fois la norme comme il montre la figure 56. Le Carbone Organique et le Fluor sont aussi considérés comme source de contamination des ressources en sol.

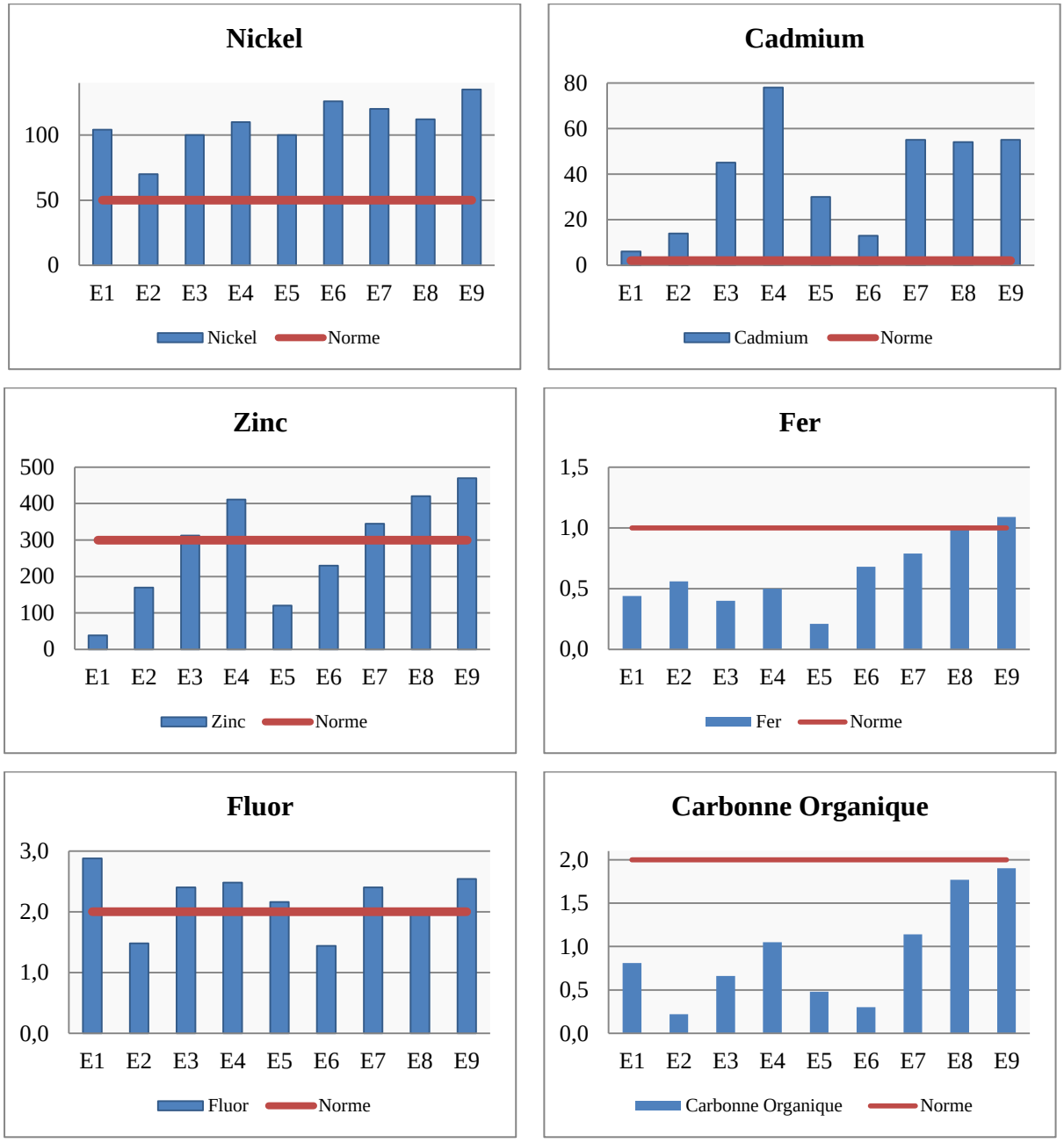


Figure 56: Comparaison des sols pollués par les exploitations minières (en ppm) avec les Normes Tunisiennes (NT 09.04) dans le rejet Sebseb

(Source : Salhi B., 2014)

2.1.2.2. Comparaison des sols pollués avec un sol témoin

La boue constitue une source d'apport de phosphates (P_2O_5) dans le sol (Belayouni, H., 1983). Ainsi, un échantillon témoin reflète le fond géochimique d'un sol naturel. Il doit être prélevé loin des sites susceptibles d'être pollués par les rejets miniers, c'est-à-dire dépourvu de phosphate dont la teneur maximale est de l'ordre de 0,3 %.

L'échantillon levé[105], classé comme témoin, se localise à 10 km à l'est de la ville de Métlaoui, vers la ville de Gafsa et au sud de cette ville (Oued Bayech). La comparaison des résultats de rejet Sebseb avec le sol témoin, présenté dans le tableau 13, montre un enrichissement par les métaux lourds et en éléments majeurs. Ainsi, nous pouvons conclure que la boue représente une source d'apport des éléments métalliques suivants : Zinc, Nickel, Cadmium, Magnésium, Fer à l'exception du cuivre.

Tableau 13 : Comparaison entre sol témoin et sols polluées par les exploitations minières (en ppm) (Source : Salhi B., 2014)

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	Sol témoin
Fluor	2,88	1,48	2,4	2,48	2,16	1,44	2,4	2,04	2,54	0,63
C. Organique	0,81	0,22	0,66	1,05	0,48	0,3	1,14	1,77	1,9	0,25
Magnésium	0,63	0,71	1,44	1,77	0,74	0,48	1,9	2,26	2,55	1,46
Nickel	104	70	100	110	100	126	120	112	135	36
Fer	0,44	0,56	0,4	0,5	0,21	0,68	0,79	1,02	1,09	0,53
Cuivre	2,6	1	5	1	2	1	4	4	4,5	1,5
Zinc	39	170	312	411	120	230	345	420	470	67
Cadmium	6	14	45	78	30	13	55	54	55	0,8

2.1.2.3. Facteur et degré de contamination

Les résultats des calculs du facteur et du degré de contamination des éléments de traces (Fr, Cd, Zn, Cu et Ni) de chaque échantillon sont consignés dans le tableau 14. Avec une moyenne de 48,6, le Facteur de Contamination (FC) de **Cadmium** est loin d'être classé comme très élevé dans les différents sites de prélèvement, à l'exception de l'échantillon E1. Le (FC) des sols en **Zinc** est classé comme très élevé pour les deux échantillons E8 et E9. Pour la majorité des autres échantillons, le (FC) est classé comme considérable. La pollution au **Nickel**, au **Fer** et au **Cuivre** est moins importante que les autres éléments traces avec un niveau de contamination modérée.

[105] (479677.27 m E ; 3801939.07 m N)

Tableau 14 : Facteur et degré de contamination des éléments traces dans la région de rejet Sebseb (Source : Salhi B., 2014)

		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	Moyen
Facteur de contamination	Fer	0,8	1,1	0,8	0,9	0,4	1,3	1,5	1,9	2,1	1,2
	Cuivre	1,7	0,7	3,3	0,7	1,3	0,7	2,7	2,7	3	1,9
	Nickel	2,9	1,9	2,8	3,1	2,8	3,5	3,3	3,1	3,8	3
	Zinc	0,6	2,5	4,7	6,1	1,8	3,4	5,1	6,3	7	4,2
	Cadmium	7,5	17,5	56,3	97,5	37,5	16,3	68,8	67,5	68,8	48,6
Degré de contamination		13,5	23,7	67,8	108,3	43,8	25,1	81,4	81,5	84,6	58,9

Ainsi, dans le rejet Sebseb, le degré de contamination des sols en éléments traces analysés (Cd, Zn, Cu, Ni et Fr) est très élevé avec des valeurs supérieures à presque deux fois (58,9) à la limite de classification (32).

2.2. Cas du rejet Mdhilla

2.2.1. Distribution des métaux lourds dans le rejet Mdhilla

Afin de synthétiser et éviter la redondance, la distribution des métaux lourds dans le rejet Mdhilla sera présentée dans l'annexe 5. L'Analyse en Composante principale (ACP) de la variation des paramètres chimiques a montré Le Fer, le Cadmium, et en deuxième lieu le Zinc le Chrome et le Nickel, ont une évolution semblable dans les différents échantillons de sols (figure 57). Leur répartition est étroitement liée au pourcentage de la fraction fine et en particulier celle de la fraction argileuse issue exclusivement des effluents de la Laverie Mdhilla. La fraction argileuse concentre ces métaux lourds et joue le rôle d'une barrière contre leur migration. Elle provoque aussi le colmatage des lits mineurs des oueds, ce qui favorise l'écoulement des rejets industriels sur de grandes distances surtout dans la partie nord des laveries Mdhilla. Rappelons dans ce contexte que Galfati I., (2011) a montré que les sols prélevés en bordure de cours d'eau transportant les rejets de lavage, sont les plus riches en éléments de traces.

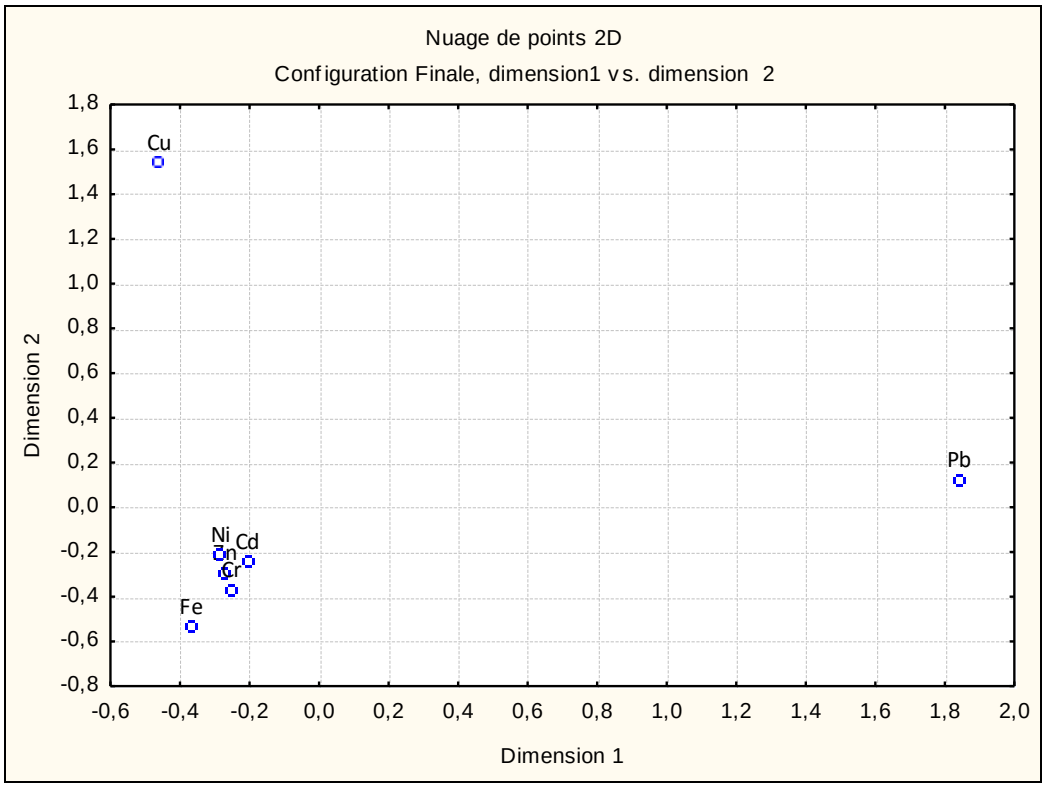


Figure 57 : Corrélation entre les polluants par la méthode ACP

(Source : Salhi B., 2015)

2.2.2. Comparaison des résultats

2.2.2.1. Comparaison avec les Normes Tunisiennes (NT 09.04)

La comparaison entre les résultats des analyses des métaux lourds dans le sol avec les Normes Tunisienne (NT. 09.04) est présentée dans la figure 58. Le degré de contamination dans le rejet Mdhilla est élevé par rapport à un sol témoin, mais variable d'un site à un autre. Toutefois, cette contamination intéresse le Fer et le Cadmium principalement, le Zinc et le Chrome en deuxième lieu. Le Chrome et le Zinc dépassent deux fois la norme tandis que le Cadmium et le Fer dépassent une dizaine de fois la norme.

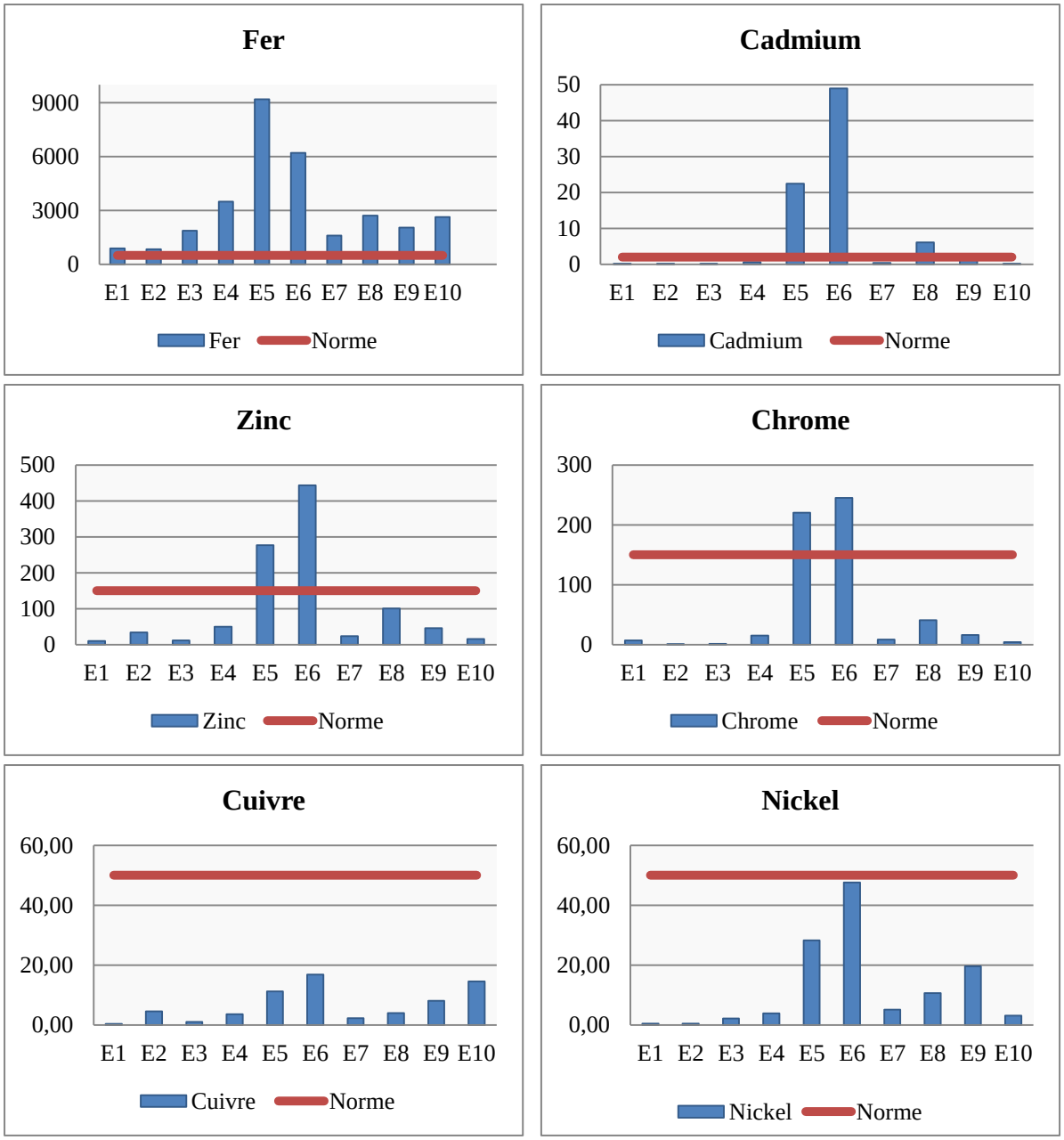


Figure 58 : Comparaison des sols pollués par les exploitations minières (en mg/kg) avec les Normes Tunisiennes (NT. 09 de 2004) dans le rejet de Mdhilla

(Source : Salhi B., 2015)

2.2.2.2. Comparaison des sols avec le sol témoin

La comparaison entre les échantillons pollués et un échantillon de sol témoin prélevé de l'oued Bayech est présentée dans le tableau 15. Similaire au rejet Sebseb, la comparaison des résultats avec des sols non soumis à l'épandage des rejets boueux montre bien un enrichissement en métaux lourds. La forte pente aux alentours du GCT influe largement sur l'instabilité de fixation des pollutions. Latéralement, s'éloignant de la source d'apport de la fraction fine (E1 et E2) et en tenant compte des conditions climatiques (érosion hydrique et

éolienne dans sa partie est), cette fraction diminue mais reste importante sous l'effet de l'épandage des eaux boueuses. De ce fait, l'enrichissement en métaux lourds est limité en majorité aux alentours de rejets de la laverie de Mdhilla.

Tableau 15 : Comparaison des échantillons avec sol témoin (unité : mg/kg)
(Source : Salhi B., 2015)

	Fer	Plomb	Cadmium	Zinc	Chrome	Nickel	Cuivre
E1	892,54	2,70	0,13	10,53	7,21	0,42	0,38
E2	830,77	2,26	0,13	33,86	0,97	0,49	4,59
E3	1866,93	1,08	0,13	11,58	1,41	2,16	1,02
E4	3495,37	0,96	0,66	50,12	14,92	3,92	3,61
E5	9192,89	0,96	22,45	276,51	220,19	28,28	11,25
E6	6198,07	0,96	48,92	443,53	245,32	47,56	16,81
E7	1594,96	19,90	0,42	23,37	8,26	5,12	2,31
E8	2712,09	0,95	6,06	100,41	40,96	10,66	3,97
E9	2044,15	0,99	1,91	46,05	16,09	19,55	8,09
E10	2632,42	0,94	0,13	15,79	4,04	3,10	14,52
Sol témoin	400	0,8	0,058	9,8	2,4	0,28	0,38

2.2.2.3. Facteur et degré de contamination

Les résultats des calculs du facteur et du degré de contamination des éléments en traces sont consignés dans le tableau 16. Le facteur d'enrichissement calculé dans les sédiments oued Ech-Cheria est nettement supérieur à celui de l'oued Faouaret El Ghram. Ajoutons que les sédiments de ce dernier sont assez contaminés par le Phosphate, le Fluor, le Zinc, le Cuivre et plus fortement en Cadmium.

Le (FC) moyen de Cadmium est supérieur à 139, soit 23 fois supérieur à l'étude réalisée par Ounis A., (2002) (FC=5.85) et deux fois supérieur au rejet de Sebseb (54,33); ceci signifie un FC très élevé en cet élément. Le (FC) de Zinc a évolué de 2,19 en 2002 à 10,3 actuellement. De même pour le Chrome, le (FC) ne dépasse pas 3 en 2002 pour atteindre 23,3 actuellement. Le (FC) de Cuivre augmente de 6 en 2002 à 17,5 actuellement. Quant au nickel, le (FC) est égal à 43.3, soit 20 fois le taux de 2002. Le Fer et le Plomb enregistrent le (FC) le plus faible des autres polluants, classé comme très élevé avec (FC= 7,9) pour le Fer et un niveau de contamination considérable pour le Plomb avec (FC=4). Donc, pour les mêmes éléments chimiques, le degré de contamination de rejet Mdhilla (210,7) est quatre fois

supérieur à celui de rejet Sebseb (58,9). Les rejets solides des laveries de Mdhilla ont une composition qui dépasse, de très loin celle du bruit de fond naturel.

Tableau 16: Facteur et degré de contamination des éléments traces dans le rejet de Mdhilla (Source : Salhi B., 2015)

		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	Moyen
Facteur de contamination	Fer	2,2	2,1	4,7	8,7	23,0	15,5	4,0	6,8	5,1	6,6	7,9
	Plomb	3,4	2,8	1,3	1,2	1,2	1,2	24,9	1,2	1,2	1,2	4,0
	Cadmium	2,2	2,2	2,3	11,3	387,1	843,5	7,3	104,4	32,9	2,2	139,5
	Zinc	1,1	3,5	1,2	5,1	28,2	45,3	2,4	10,2	4,7	1,6	10,3
	Chrome	3,0	0,4	0,6	6,2	91,7	102,2	3,4	17,1	6,7	1,7	23,3
	Nickel	1,5	1,7	7,7	14,0	101,0	169,9	18,3	38,1	69,8	11,1	43,3
	Cuivre	1,0	12,1	2,7	9,5	29,6	44,2	6,1	10,4	21,3	38,2	17,5
Degré de contamination		14,4	24,8	20,4	56,1	661,9	1221,8	66,3	188,3	141,8	62,5	245,8

D’après les résultats des analyses chimiques des différents échantillons issus des sites de Sebseb et Mdhilla, les teneurs en métaux lourds à la surface des sols sont très élevées et ne sont pas conformes aux normes de rejet. Elles posent problème sur la toxicité des ressources en sol ainsi que sur les parcours steppiques. Ces fortes teneurs s’expliquent par le fait que les boues sont rejetées et accumulées dans le réseau hydrographique depuis des dizaines d’années (environ 30 ans). Ajoutons que ces boues apportent de grandes quantités des particules fines qui comblent le lit mineur des oueds. De même, le climat, la pluviométrie et surtout en période de crues, jouent un rôle important sur l’entrainement et l’étalement des boues latéralement sur les sols. Les activités minières sont susceptibles d'entraîner une toxicitisation massive avec comme conséquences la perturbation de la diversité biologique et la dégradation de la couverture végétale, qui sont classés dans la catégorie des impacts majeurs.

Chapitre XI. Exploitations minières et dégradation des ressources en sols

Le domaine minier provoque des perturbations au niveau du territoire et la dégradation des ressources naturelles dans le BMG. Dans un premier temps nous nous basons sur le traitement des images Landsat pour calculer la variation de l'indice de végétation NDVI entre 1987 et 2015, en fonction de l'évolution spatiale des composantes minières. Puis, nous étudions la contamination des plantes à l'aide de nos investigations sur terrain et des travaux de Chokri A., (2003) et Galfati I., (2011) qui seront présentées dans l'annexe 7.

Ensuite, nous nous s'intéressons à déceler l'impact des exploitations minières sur ces ressources naturelles. Sur la base d'une enquête sur terrain, nous avons travaillé sur l'impact des poussières issues du GCT sur les populations locales dans la région de Mdhilla. L'étude de l'impact des composantes minières sur la toxicité végétale et animale est basée sur nos investigations sur terrain et les entretiens avec les directeurs de la CRDA.

1. Cartographie de l'impact des exploitations minières sur la dégradation de la couverture végétale entre 1987 et 2015

Pour cartographier les changements de la couverture végétale dans le BMG, nous avons élaboré, d'abord, une procédure de classification de l'indice de végétation NDVI. Puis, nous avons superposé et comparé l'épandage minier à ciel ouvert avec la spatio-carte NDVI pour chaque date.

1.1. Méthodologie de travail

Pour écarter l'hypothèse selon laquelle l'évolution de la végétation pourrait être masquée par des conditions climatiques particulières précédant les prises de vue des images Landsat, nous examinons les précipitations et les températures des deux années 1987 et 2015.

Les précipitations enregistrées à la station de Métlaoui au cours des années ayant précédé les prises de vue ne montrent pas de différences sensibles (figure 59). Ces précipitations atteignent 140.2 mm en 1987 et 124.8 mm en 2015 ; les mois les plus arrosés sont Octobre (avec 25.5 et 22 mm respectivement) et novembre (avec 28.7 et 21.4 mm). De même, les données sur les températures ne montrent pas de différences sensibles entre les deux années (figure 60).

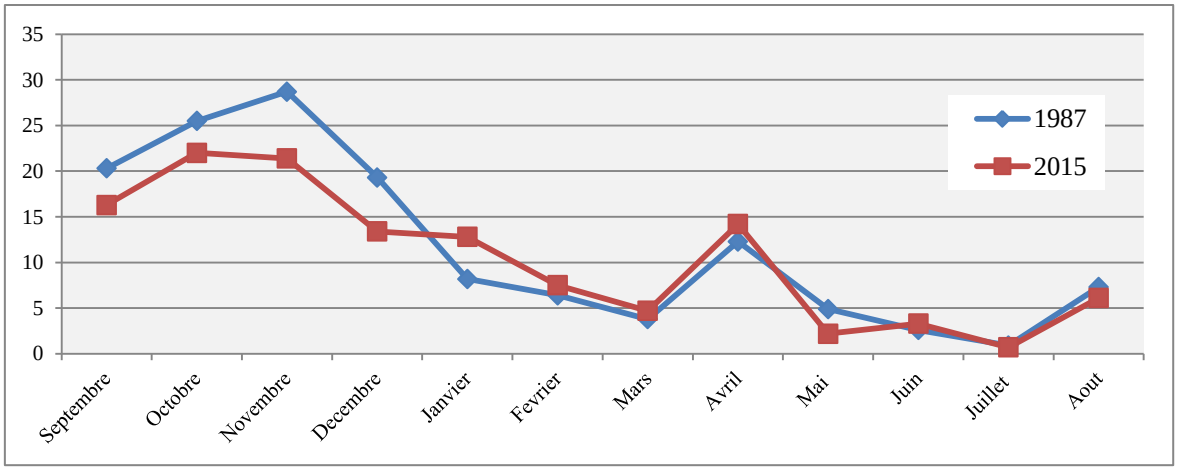


Figure 59 : Précipitations mensuelles en 1987 et 2015 à la station de Métlaoui

(Source : SM- Métlaoui, 2016)

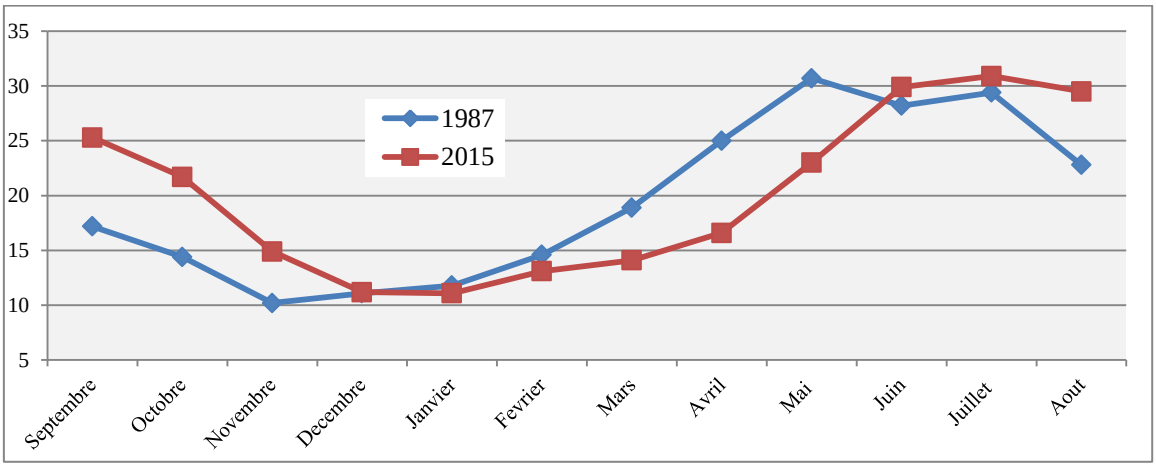
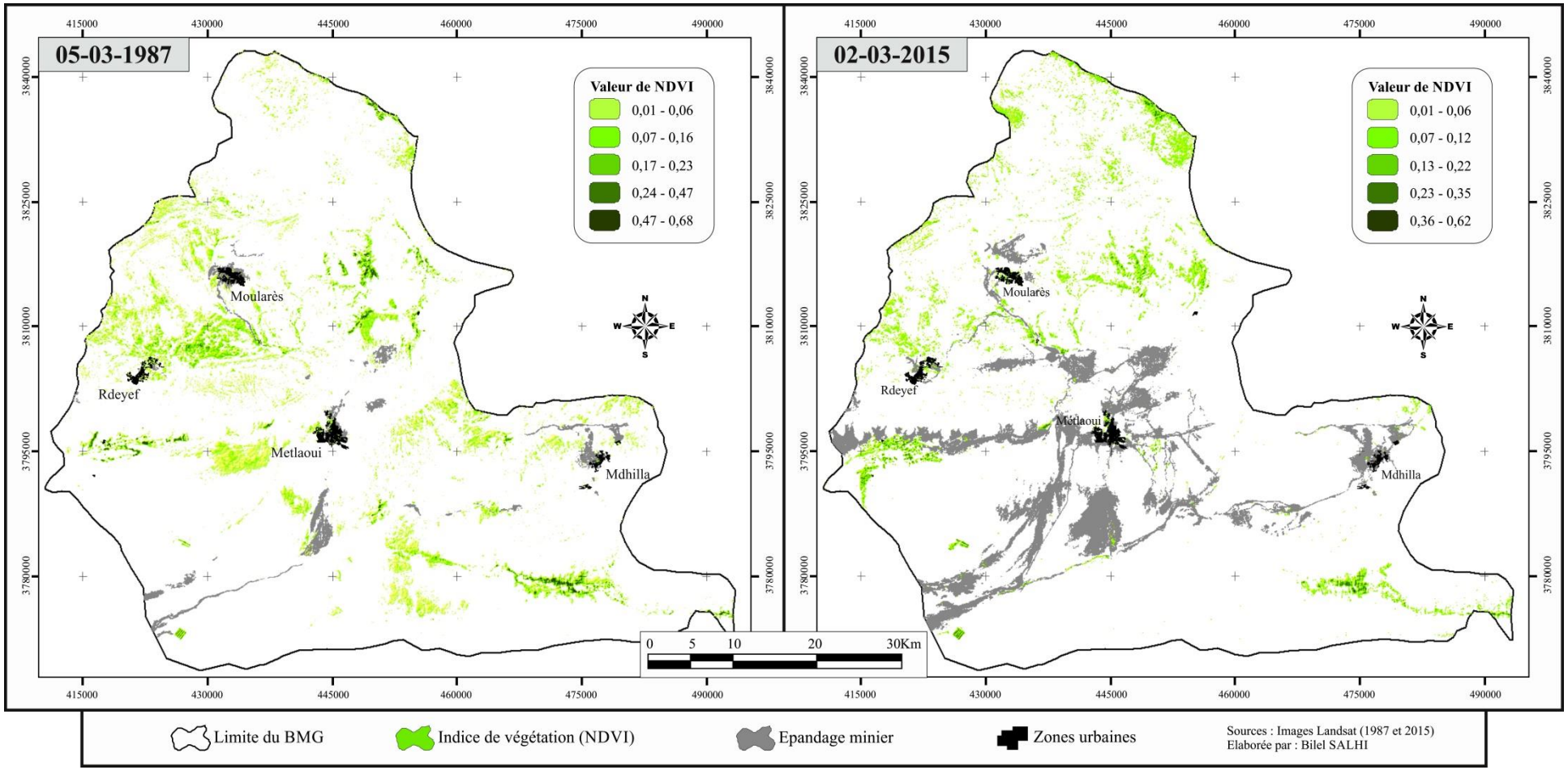


Figure 60 : Températures mensuelles à la station de Gafsa-Métlaoui en 1987 et 2015

(Source : SM-Gafsa, 2016)

1.2. Interprétation des résultats et discussions

La superposition de deux spatio-cartes (exploitations minières et NDVI) montre une régression de la végétation dans les zones d'extensions minières à ciel ouvert, surtout dans les zones de rejets. L'indice de végétation diminue remarquablement à un rayon de 12 km aux alentours de la ville de Métlaoui. Cette région correspond à l'épandage des rejets des Laveries de Métlaoui et Kef Eddour (au nord de la ville). De même, on note une dégradation dans la région de Tebedditt (10 km au sud de Moularès) suite au rejet des Laveries Moularès. Dans la partie sud, toute la région de Sebseb est complètement dégradée (carte 60). Ce sont surtout les zones à pâturages et les faciès de végétation dispersés qui sont touchés dont l'indice de végétation (NDVI) est inférieur à 0,35 (Salhi B., et al. 2016b).



Carte 60 : Corrélation entre l'indice de végétation (NDVI) et le domaine minier (La spatio-carte NDVI est en premier plan)

(Source : Images Landsat 1987 et 2015)

Avec : 0,01-0,19 pâturages, végétation steppique
0,20-0.34 végétation dispersées
0,35 - 0,49 cultures irriguées
0,50 - 0,68 cultures irriguées intenses

En terme de valeur, entre 1987 et 2015, le domaine minier à ciel ouvert a triplé de surface passant de 106,6 km² à 291 km² soit respectivement de 3,1% à 8,5% de la surface du BMG. De même, la couverture végétale a diminué du triple occupant actuellement 100,7 km² soit 2,95% de la surface du BMG. L'épandage des boues à ciel ouvert aboutit au colmatage (photo 21.1.) et à l'asphyxie des sols (entretien avec le directeur unité production animales et végétales (Arrondissement Métlaoui-Rdeyef) en 12-10-2015), ce qui aboutit à la disparition de la couverture végétale (photo 21.2).

Photo 21.1. : Asphyxie des sols par les déchets miniers (rejet Sebseb)
(Source : Salhi B., 14-12-2014)

Photo 21.2. : Comparaison entre une zone non soumise et zone soumise aux épandages des rejets miniers au nord des Laveries Mdhilla (Source : Salhi B., 13-03-2015)

1.3. Contamination des plantes par les exploitations minières

Selon Galfati I., (2011), la majorité des plantes polluées par les exploitations minières montrent des fortes valeurs en éléments de traces ; les voies de contamination sont principalement racinaires.

Selon nos observations sur le terrain, le premier effet des métaux lourds observables chez les espèces végétales est une inhibition de la croissance qui s'accompagne souvent de dysfonctionnement : jaunissement progressif, repliement ou dessèchement du feuillage, chlorose foliaire importantes et lésions nécrotiques. Les plantes au voisinage des rejets des laveries apparaissent pâles et rabougries. Les photos 22 montrent l'état "malvenant" de Salicornia a. et Polypogon sp. au niveau de rejet Sebseb, ainsi que les arbustes Tamarix (oued Shili) ou Atriplex au niveau du rejet de Mdhilla.

Tamarix aphylla (localement : *Tarfa*), Rejet Oued Shili

Salicornia arabica, rejet Sebseb

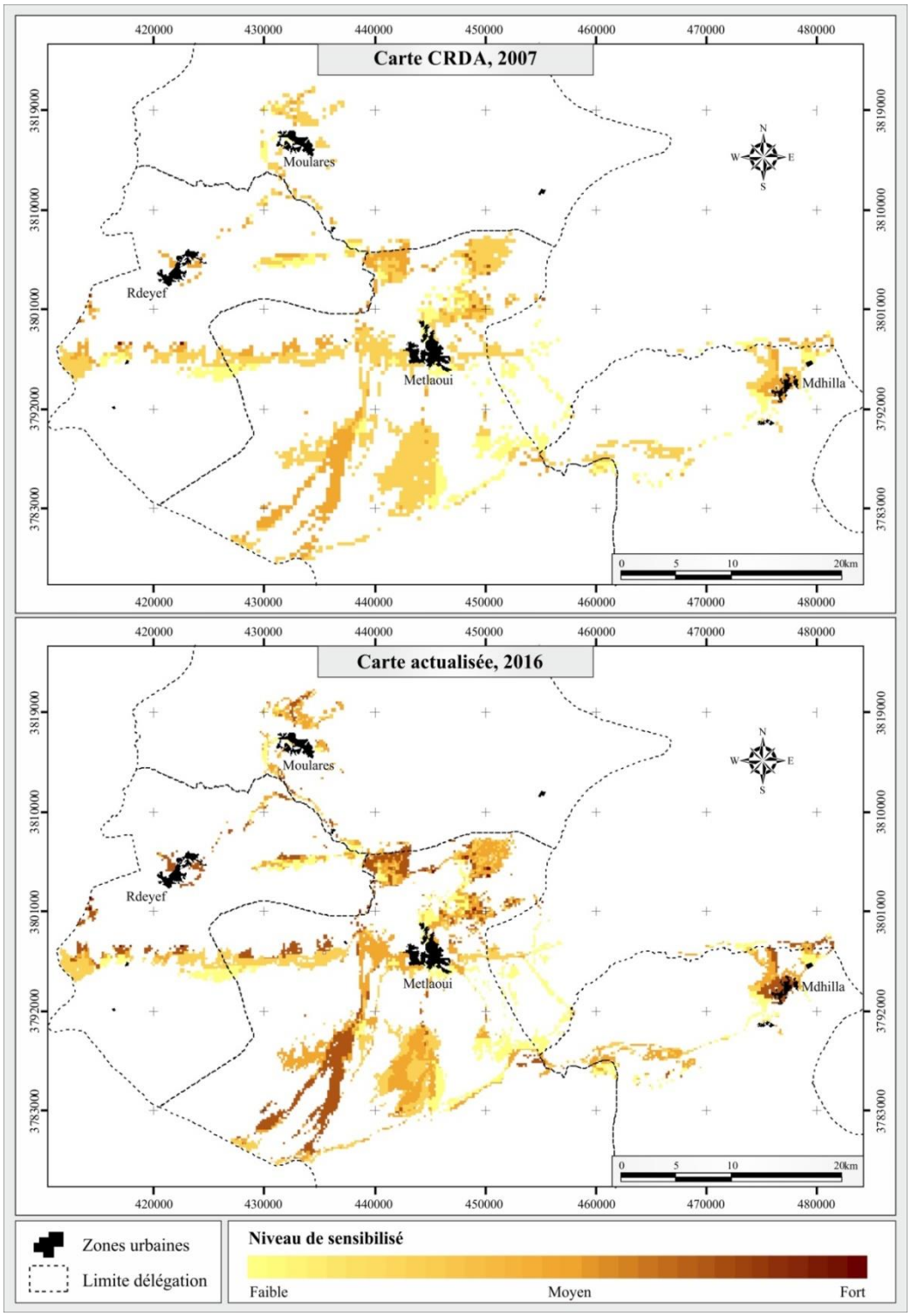
Atriplex (localement : *Gtaf*), rejet Mdhilla

Polypogon (localement : *Sboul el far*), rejet Sebseb

Photo 22 : Exemple des plantes polluées par les exploitations minières (Salhi B., 2016)

2. Cartographie de l'impact des exploitations minières sur la vulnérabilité du sol

La carte de sensibilité à l'érosion dans le BMG, est inspirée de celle développée dans le cadre du projet MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use), réalisé par le CRDA en 2007 (carte CRDA, 2007).



Carte 61 : Impact des exploitations minières sur la vulnérabilité de sol dans le BMG (Source : CRDA, 2007, actualisé par Salhi B., 2016)

Nous avons actualisé cette carte de vulnérabilité du sol en tenant compte de la contrainte minière (annexe 6). Elle permet de distinguer différents niveaux de vulnérabilité (faible moyen et fort). De plus une Analyse Multi-Critère (AMC) a été réalisée, en affectant à chacune des composantes minières un poids d'impact. Le résultat montre que les rejets miniers impactent le plus sur la vulnérabilité du sol (carte actualisée, 2016). Les composantes minières s'étendent principalement sur des zones déjà soumises à l'érosion hydrique dans les oueds et dans les zones de stocks de phosphate : les rejets Sebseb et Mdhilla les mines Kef Eddour et Kef Chfayer au nord de la ville de Métlaoui (Salhi B., 2016b).

2.1. Impact des mines

Dans le BMG, les séries phosphatées s'étendent profondément dans le sous-sol nécessitant l'enlèvement de couches de surface appelées "morts terrains" où on y trouve également la couverture végétale. La quantité terrassée a enregistré en 2010 le plus haut pic avec 142,3 millions de tonnes. La figure 61 montre les tonnages important mobilisés par la CPG entre 2004 et 2015. On note une nette diminution en 2011, date coïncidant avec la "Révolution Tunisienne" et les perturbations qui s'en suivant.

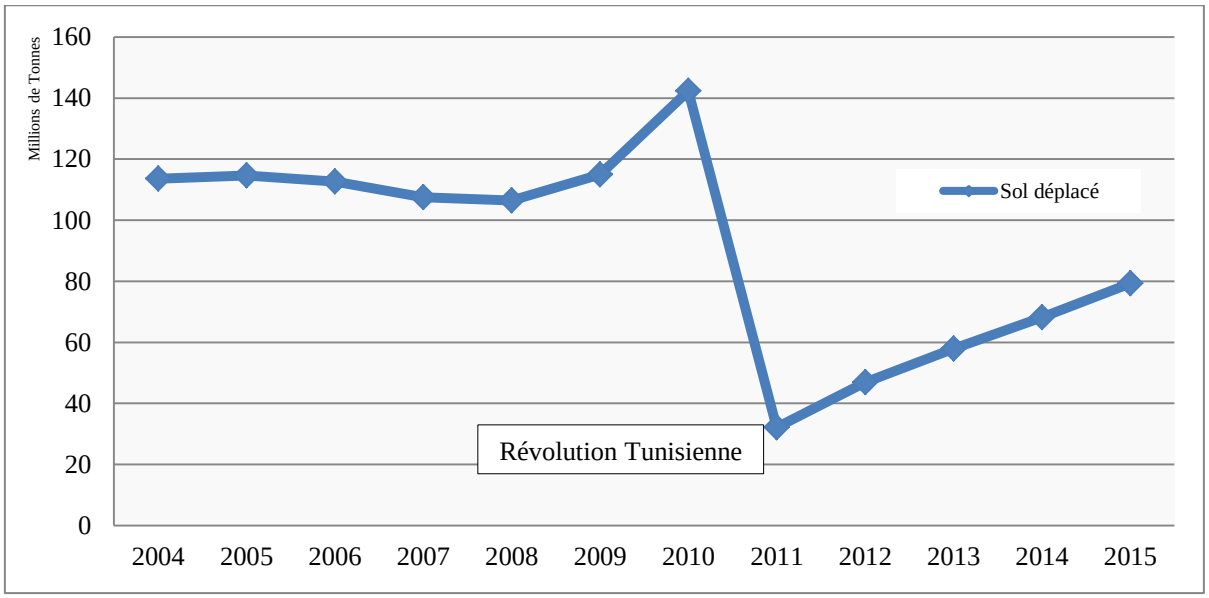


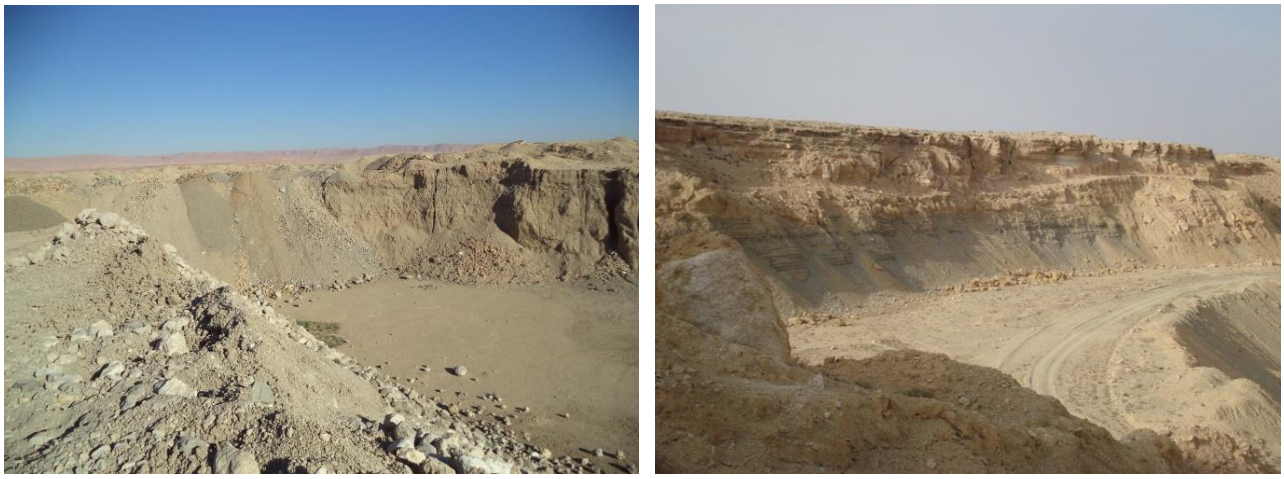
Figure 61 : Volume de sols déplacés par la CPG dans le BMG[106] (Millions de Tonnes)

(Source : CPG, 2016)

[106] Le rapport entre la quantité de morts terrains à la quantité de minerais appelé taux de découverte, varie entre 8 et 10% dans le cas du BMG alors qu'il ne doit dépasser 5% pour une exploitation bien rentable.

Les stocks inertes volumineux de "morts terrains" sont généralement déposés sur place sous forme de tas[107]. Ces tas sont fissurés et non protégés, ce qui risque de provoquer un glissement de terrain (photo 23.1.). Ces tas restent sur place après les travaux et même après l'arrêt l'exploitation. Une fois le site d'extraction abandonné, aucune végétation naturelle n'y subsiste (photo 23.2.).

L'exploitation des mines sont archaïques et ne prévoient pas de travaux de réhabilitation, ni de remise en état de l'ordre pédologique des sites exploités. Cette anomalie implique la perturbation de la structure du sol par le soulèvement des couches non fertiles.



23.1. Accumulation de déblais stériles à ciel ouvert (Mine Moularès, 08-03-2015)

23.2. Les pistes minières entrainant la dégradation complète de la couverture végétale (Mine Mzinda, (12-03-2015)

Photo 23 : Impact des mines sur la dégradation des ressources en sol (Salhi B., 2015)

[107] Nommée aussi les collines artificielles. Par exemple, dans la région minière de Togo, elles s'étendent sur 1141 ha et atteignent parfois 275 mètres d'altitude, et résultant de l'accumulation de morts-terrains issus des découvertures supérieures et intermédiaire surplombant le terrain naturel (North-South Environment, 2007).

2.2. Impact des rejets

La situation du sol au niveau des Laveries de Mdhilla est marquée par une couverture d'éléments polluants de couleur noirâtre à grisâtre (photo 24). La contamination par les métaux lourds dans les boues de rejets, constitue une préoccupation aiguë. La signification de l'impact est toutefois forte, puisque l'étendue de la zone d'accumulation touchée par épandage des boues est remarquable.

Photo 24 : Impact de rejets des laveries sur la région de Mdhilla (Salhi B., 23-11-2015)

Pour le GCT, la contamination des sols provient essentiellement de la percolation des eaux acidulés et au phénomène de lessivage par les eaux de pluies. Ce phénomène transfert certains polluants du terril vers le réseau hydrographique (photo 25.1.). Ainsi, le volume écoulé vers l'oued sera de plus en plus important et par la suite, la transmission de la pollution sera étendue. Une pollution odorante[108] vient s'ajouter à celle observé sur le territoire qui indique la présence de soufre. Les rejets liquides à ciel ouvert sont de couleur sombre à la

[108] L'odeur est similaire à celle des allumettes indiquant la présence du soufre ; suite aux réactions d'attaques du phosphate par l'acide sulfurique (H_2SO_4).

sortie du GCT et de couleur verdâtre a jaunâtre à quelques kilomètres du rejet (photo 25.2.). L'acidité est due à la présence des acides libres tels que l'acide phosphorique (H_3PO_4) et éventuellement l'acide fluosilicique (H_2SiF_6). Elle augmente la solubilité des composés toxiques et facilite ainsi leurs fixations ou leurs échanges avec le sol.

25.1. : Lessivage de l'eau acidulée par les eaux de pluies

25.2. : Rejets liquides du phosphogypse à quelques kilomètres du GCT

Photo 25 : Epandage des rejets du GCT dans le réseau hydrographique
(Source : Salhi B., 13-03-2015)

Dans cette région minière, seules les deux compagnies minières polluantes persistent, mais les habitants de ce bassin minier se trouvent privés de leurs écosystèmes naturels (parcours steppiques), avec des risques en continu sur leur santé et sur leur cheptel, leur importante source protéinique.

Chapitre XII : Impact des exploitations minières sur la santé humaine, l'agriculture et les ressources hydriques

L'étude d'impact des exploitations minières concerne trois domaine : on étude d'abord la pollution atmosphérique dans la région de Mdhilla à l'aide d'une enquête sur terrain, puis l'impact des exploitations minières sur la faune et la flore et enfin nous étudierons l'impact des rejets miniers sur l'agriculture. Notre étude est basée sur les visites sur terrain et les entretiens avec les associations d'agriculteurs.

1. Pollution atmosphérique dans l'agglomération de Mdhilla

Les résultats d'analyses chimiques, portant sur la pollution atmosphérique dans la région de Mdhilla (Mohamed R., et al. 2012-2013), ont montré le sud de la ville se caractérise par des concentrations supérieures trois fois les normes de rejets atmosphérique (figure 62). Au cours de la période de surveillance passive, les niveaux de PM10 dépassent les normes européennes ou les normes d'OMS. Pour la surveillance active, les même échantillons que la surveillance passive A3, B2, C2 et C3 dépassent la limite et devraient être sujets de préoccupation (carte 62). Le nord-est et le sud-est de la ville sont plus pollués par les PM10 issues principalement par les rejets de GCT. Ce niveau de pollution décroit allant de l'est vers l'ouest de la ville. En outre, le nord-est de la ville présente des concentrations très élevées en PM10 allant jusqu'à 144 µg/m^3 ce qui dépasse les normes de l'OMS 50µg/m^3.

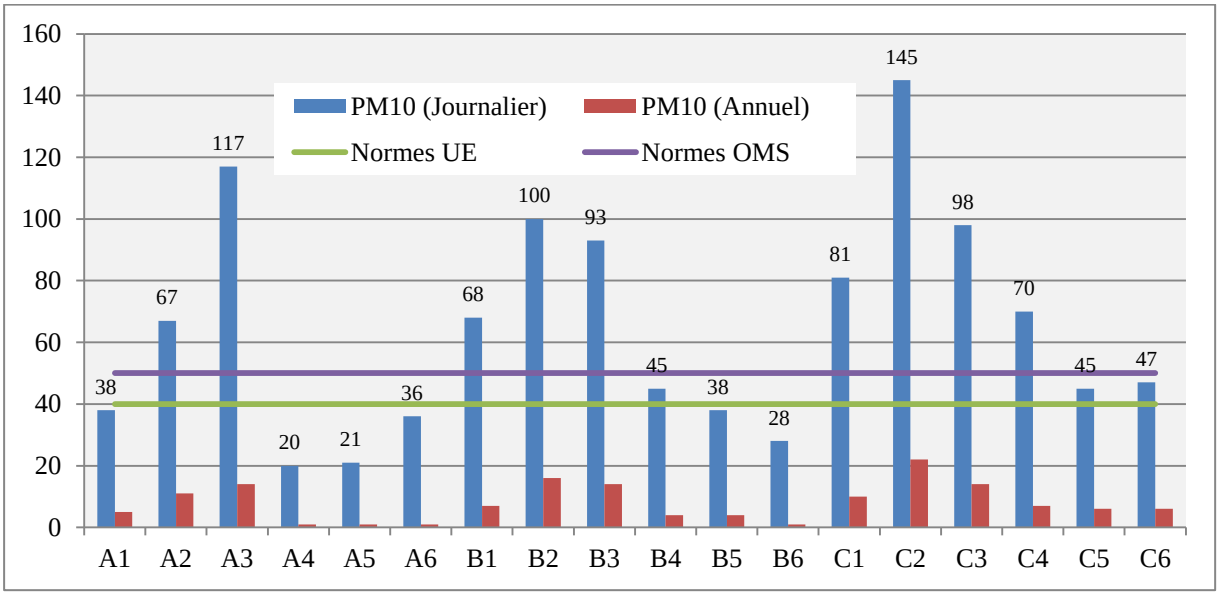
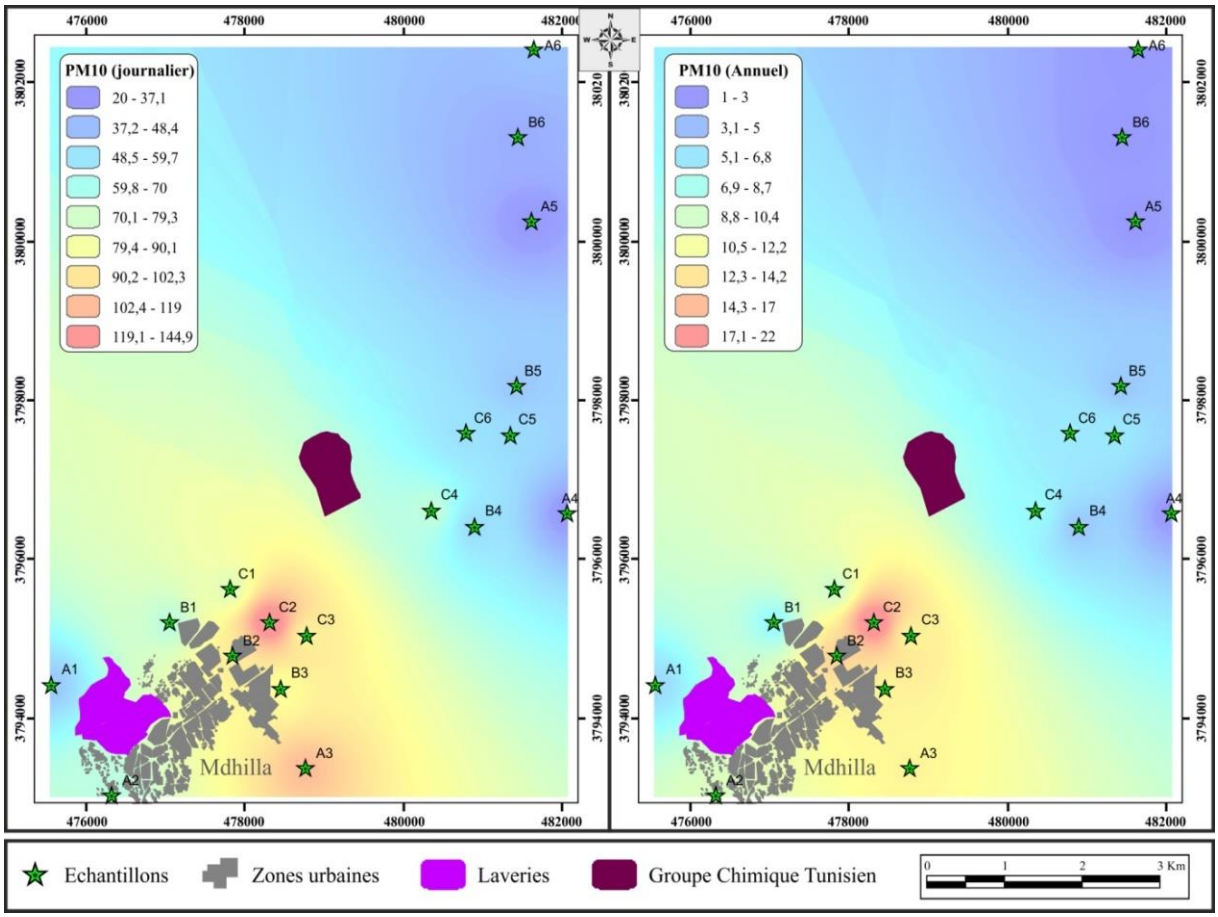


Figure 62 : Comparaison des échantillons avec les normes européenne et d'OMS

(Source : Mohamed R., et al., 2012)



Carte 62 : Concentration quotidienne (journalière) et annuelle des PM10[109] (µg/m^3)

(Source : Mohamed R., et al. (2012), cartographie Salhi B., 2015)

1.1. Analyse du questionnaire

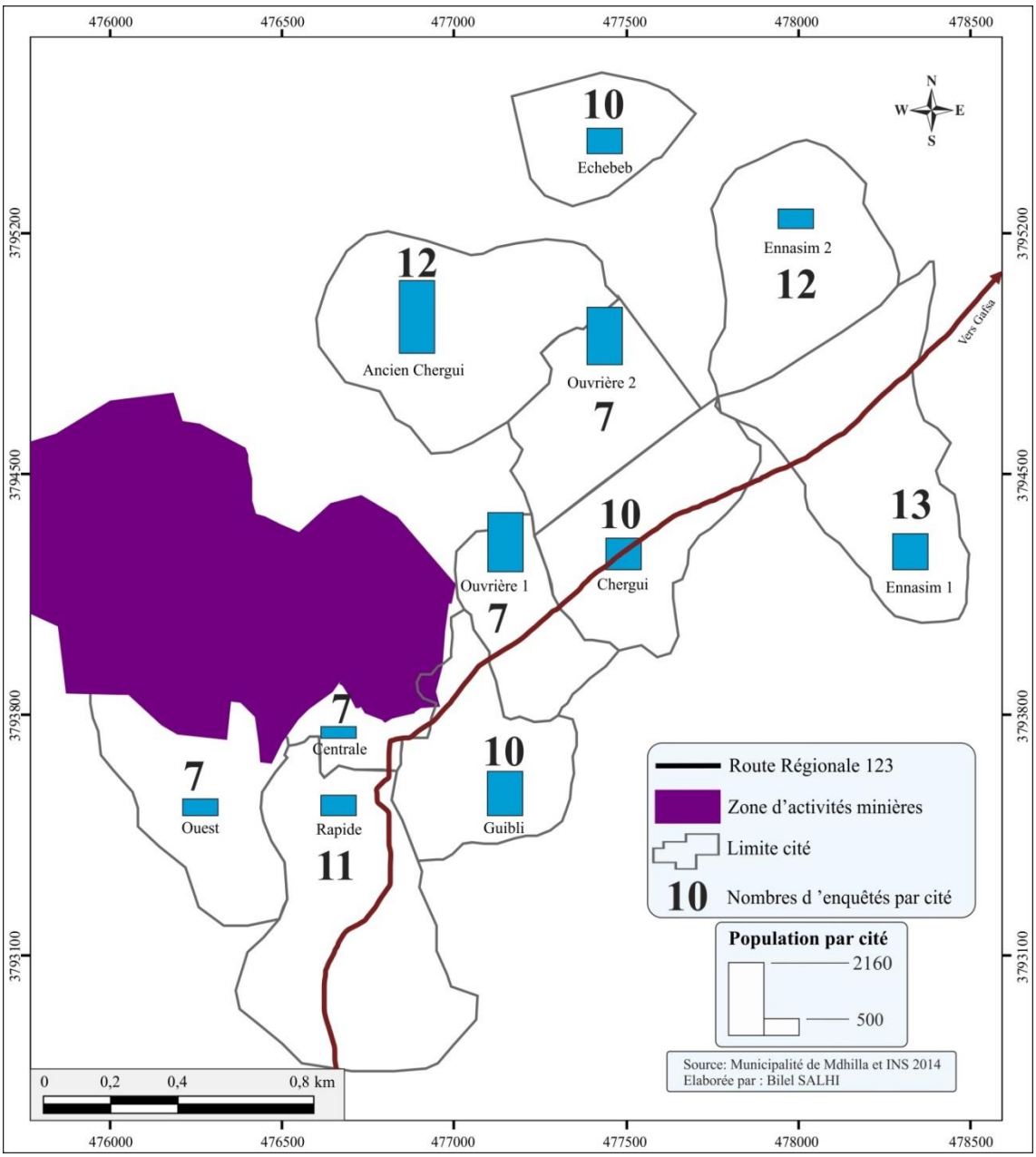
Nous avons réalisé une enquête dans la ville de Mdhilla en vue de connaitre les principaux impacts des composantes minières sur les habitants[110] et sur les ressources naturelles. Nous avons également réalisé 10 questionnaires dans la localité d'El Borj. Le questionnaire élaboré, constitué de 11 questions, portent sur l'état environnemental dans la région d'étude, puis sur la corrélation de l'intensité de la pollution minière avec les conditions climatiques dans la région. Nous avons également posé des questions ouvertes permettant d'évaluer l'impact du domaine minier sur la dégradation de l'environnement et sur les maladies induites. Cette enquête s'est déroulée durant le mois de Septembre 2015.

A partir d'un échantillonnage aléatoire sans remise, nous avons enquêté dans toutes les cités (118 questionnaires) présentés dans la carte 63. Les données ont été saisies dans Excel et

[109] Les PM10 représentent la catégorie de particules dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres (fraction inhalable).

[110] Selon Nasri R., (2015), il n'y a pas d'étude menée pour évaluer l'association potentielle entre le phosphate, l'industrie et les maladies qui touchent les travailleurs et les habitants de la région.

analysées avec le logiciel Sphinx. Pour les variables numériques, le coefficient de variation moyen est de 136%.



Carte 63 : Répartition spatiale des enquêtés dans la ville de Mdhilla

(Source : Municipalité de Mdhilla et INS, 2014)

1.2. Résultats de l'enquête

1.2.1. Impact des polluants sur la ville de Mdhilla

Les enquêtés (ou ménages) considèrent que la majorité des jours sont classés comme très pollués tout au long de l'année (figure 63). Cette pollution s'accroit en période estivale avec la hausse de la température et quelle que soit la force du vent.

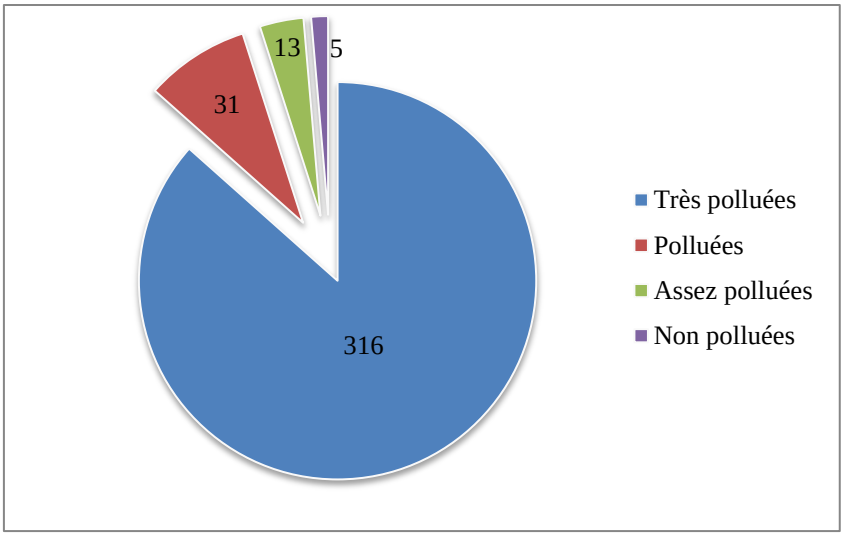
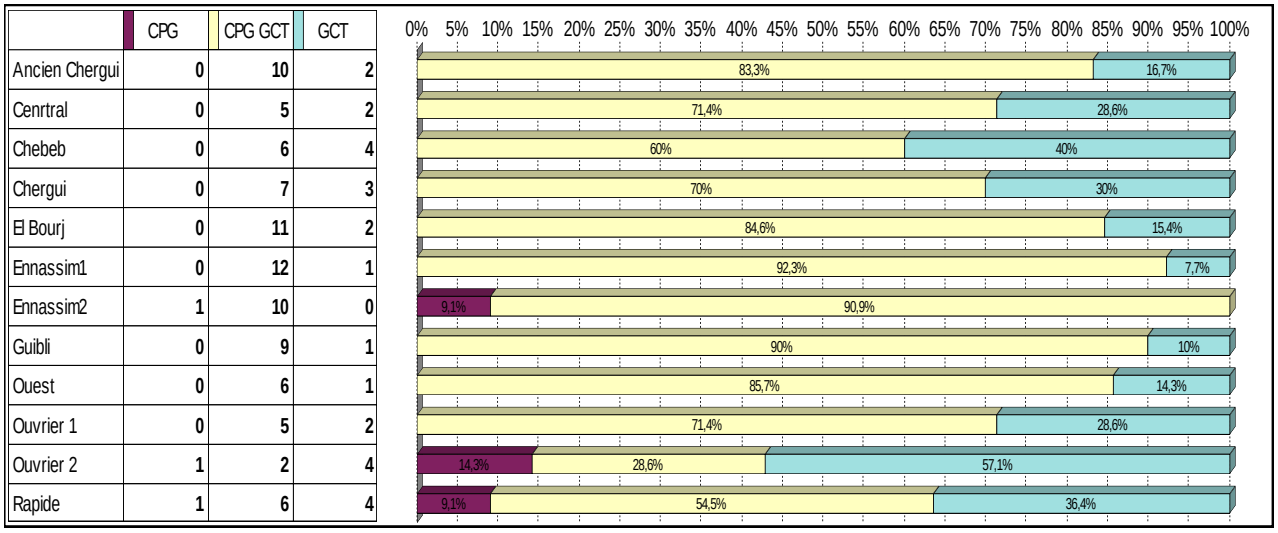


Figure 63 : Niveau de pollution atmosphérique par une année (Source : Salhi B., 2015)

A propos des principales sources de pollution dans la région de Mdhilla, les enquêtés indiquent que ce sont les deux compagnies minières (GCT et CPG) qui sont les plus polluantes (figure 64). Ils ont illustré leurs réponses par la présence des odeurs nauséabondes issues du GCT qui se présentent sous forme de gaz toxique. A ces odeurs, on observe des petites particules issues du terril du phosphogypse sur les toits des logements. Ces particules sont constituées de Fluor et de Cadmium.

Selon les enquêtés, outre les maladies chroniques des habitants, la faune et la flore sont aussi touchées par cette pollution atmosphérique. Les ménages témoignent des conditions polluantes de leur région.



	CPG	CPG GCT	GCT
Ancien Chergui	0	10	2
Cenrtral	0	5	2
Chebeb	0	6	4
Chergui	0	7	3
El Bourj	0	11	2
Ennassim1	0	12	1
Ennassim2	1	10	0
Guibli	0	9	1
Ouest	0	6	1
Ouvrier 1	0	5	2
Ouvrier 2	1	2	4
Rapide	1	6	4

Figure 64 : Impact des Compagnies minières sur la pollution atmosphérique dans la région de Mdhilla (Source : Salhi B., 2015)

Les enquêtes ont dévoilé que depuis la révolution (2011), les déchets urbains pullulent dans la ville et les eaux usées débordent (par manque d'entretien). Ceci s'explique par le déclin des pouvoirs municipaux et la société civile en terme de gestion de l'espace qui ne se sont plus concernée. Nous avons constaté que c'est surtout l'ouest de la ville (cité Rapide), marquée par la prolifération des habitats anarchiques, qui souffre de ces contraintes de pollution. En effet, ces lotissements nécessitent des coûts élevés pour l'aménagement urbain et la salubrité.

1.2.2. Dégradation de la santé humaine

97% des enquêtés ont déclaré qu'il y a au moins un membre de la famille qui souffre d'une maladie due aux impacts négatifs de la pollution minière[111]. L'analyse textuelle de l'enquête permet de déduire 28 maladies déférentes dont les plus importantes sont portées sur la figure 65. Ce sont les maladies pulmonaires qui ressortent le plus avec 28% des réponses, puis les cancers, les allergies, les fluoroses (excès de fluor au niveau de la dentition, photo 26) qui peut poser des problèmes esthétiques et même des problèmes sociaux[112], l'infertilité, l'ostéoporose surtout pour les personnes âgées, l'asthme et d'autre maladies encore.

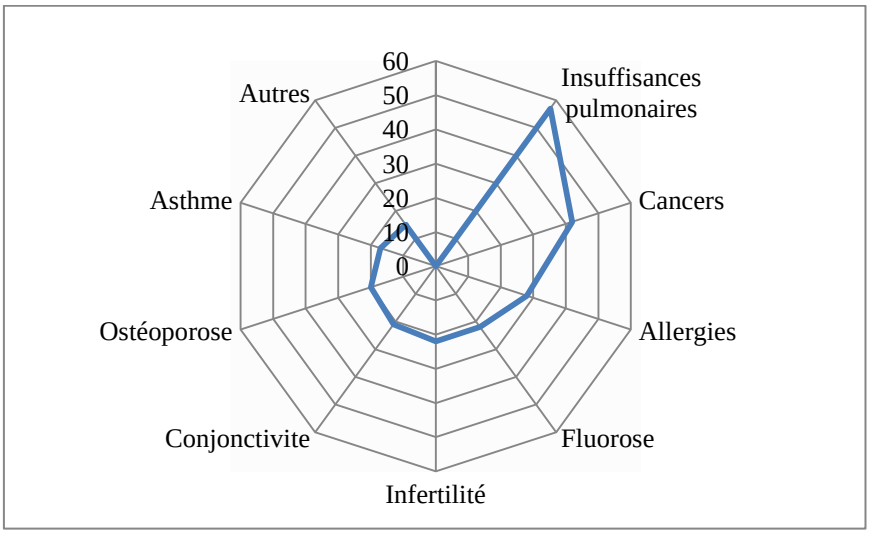


Figure 65 : Principales maladies causées par le domaine minier dans la région de Mdhilla (Source : Salhi B., 2015)

Plusieurs études dont Nasri R., (2015) ont montré que les particules fines de phosphate dans l'air contribuent activement à l'apparition d'un cancer chez les jeunes adultes et des effets négatifs sur les voies respiratoires de l'être humain. L'entretien avec la direction de l'ANPE[113] (6 octobre 2015) témoigne du taux élevé du cancer dans le BMG. Il note que : « si tu visite

[111] « L'inhalation de la poussière menace directement la santé des personnes autant à l'intérieur et à l'extérieur de l'usine que dans la mine et son voisinage » (North-South Environment 2007)
[112] Les habitants du BMG sont connus à l'échelle de la Tunisie par ces dentitions dégradées.
[113] ANPE : Agence Nationale de Protection de l'Environnement

l'hôpital Saleh Azaiez du cancer (à Tunis), tu peux remarquer le nombre élevé de patients en provenance de la région minière de Gafsa. Tu peux les connaitre facilement avec ces dents dégradées ».

Photo 26 : Citoyen de Mdhilla, excès de fluor au niveau de la dentition

(Source Salhi B., 18/09/2015)

Le BMG et surtout la région de Mdhilla sont soumises à la pollution atmosphérique sous l'effet de l'enrichissement de phosphate. L'enquête que nous avons effectuée permet de déduire que les concentrations de poussières peuvent être une réelle préoccupation pour la population et son environnement. En perspective, la nouvelle usine de production d'acide phosphorique (GCT II) présente une nouvelle catastrophe environnementale mais, face au problème de chômage dans la région le bien-être des populations locales se banalise.

2. Impact des exploitations minières sur l'agriculture

Le développement agricole dans le BMG est fortement touché par les exploitations minières. Les entretiens avec les agriculteurs et avec l'association "Agriculteurs de Sègdoud " et nos investigations sur terrain constitue le corpus de cette partie.

2.1. Exploitations minières et contrainte de développement agricole dans le BMG

L'agriculture est parmi les points fondamentaux qui se trouvent au centre de la crise actuelle du BMG. Ce secteur est resté encore traditionnel, aléatoire, et touché par les rejets miniers. Le problème de manque d'eau, dans une région marquée par une forte aridité, montre que la mine a en grande partie causé le blocage du développement agricole[114].

[114] Il serait pertinent de consacrer tout une partie portant sur la question de l'eau dans le BMG

Dans chaque famille rurale souvent, on compte un ouvrier à la mine, qui apporte un salaire régulier. Inversement, chaque mineur ou presque, s'il est de la région, participe à l'activité agricole (agriculture vivière). Ainsi, les agriculteurs sont confrontés à des manques de main d'œuvre pour l'agriculture. Et même s'il existe, le "salaire agricole" est très faible par rapport au "salaire minier". Même les essais d'investissement agricole de la part de la CPG dans les années 1980 dans le sud de la ville de Métlaoui et en 1995 dans la région de Sègui au sud-ouest de Moularès n'ont pas trouvé la lumière sous prétexte que le secteur agricole est moins rentable comme le secteur minier.

Les conséquences d'extraction et d'enrichissement de phosphate se traduisent surtout par la diminution de la superficie agricole utile. La faible quantité de l'eau et sa qualité médiocre (eau salé), à cause de la pollution par rejets miniers, sont des obstacles majeurs pour les exploitants. Ces deux contraintes empêchent la pratique de cultures et entraine, à long terme, des effets néfastes sur les zones agricoles[115].

Les entretiens avec les agriculteurs de la région d'Oued Shili et Oued Neguez (au sud-ouest de la ville de Métlaoui) et avec l'association "Agriculteurs de Sègdoud[116]", témoignent que la pollution qui se poursuit activement depuis plus de 30 ans a déjà condamné des milliers d'hectares à la stérilité. Ces agriculteurs expriment une colère contre l'industrie minière qu'ils jugent coupable de la destruction de leur unique source de revenu et de leur sécurité alimentaire. Les photos 27 montrent les manifestations organisées par l'association "Agriculteurs de Sègdoud". Monsieur M.Z. a dit : « *la Compagnie a détruit notre unique source de vie qui est l'eau, même l'état ne peut rien contre la CPG qui apporte des revenus conséquents au pays » et Monsieur S.T. a dit : « on veut être indemnisé par la CPG ou par l'état à travers la CPG*». Monsieur Y.G. insiste : « *il faut que la Compagnie réalise un forage profond au profit des agriculteurs qui ont été lésées.* »

[115] Dans une comparaison de similarité avec la région minière au Togo, la société North-South Environment, (2007) décrit : « dans les secteurs de Kpogamé et de Hahotoé, des milliers d'hectares sont complètement dégradés par l'exploitation de phosphate et ne sont plus propices à l'agriculture. Cette exploitation crée des lacs artificiels très pollués par le phosphate».

[116] Entretien le 04 Septembre 2016

« Non à la spoliation de nos ressources hydriques par la CPG »

« Nous mourons de soif »

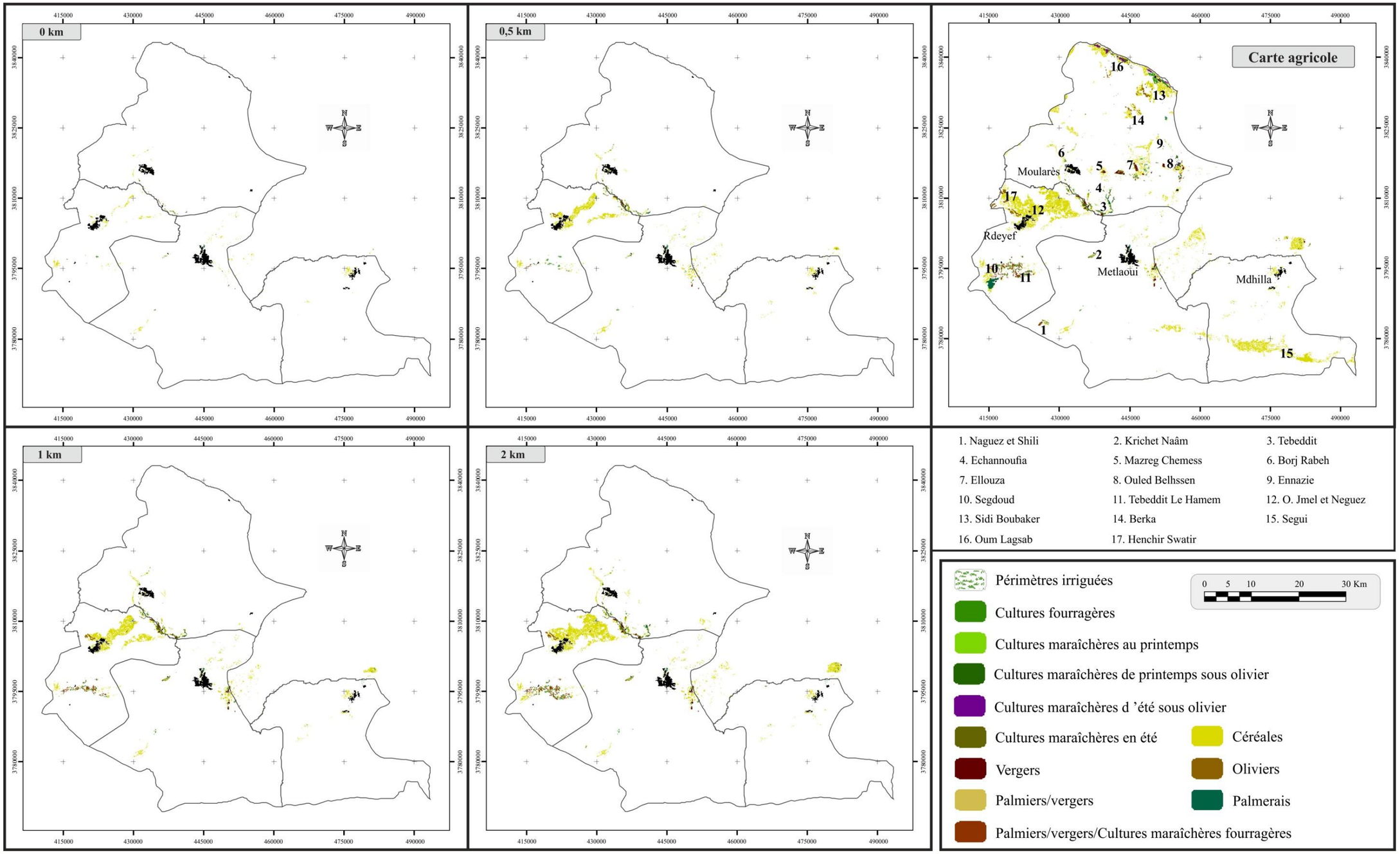
« Sit-in ouvert des agriculteurs de Sègdoud Rdeyef»

Photo 27 : Sit-in des agriculteurs de Sègdoud contre la CPG (CRDA, 20-11-2015)

2.2. Cartographie des zones agricoles touchées par les exploitations minières

Sur la base de la carte agricole (CRDA, 2014) et celle du domaine minier, nous avons cartographié les sites correspondants aux zones agricoles les plus touchés par les pollutions générées par les exploitations minières. La méthodologie de travail est présentée dans l'annexe 8. A l'échelle du BMG, 15% des périmètres irriguées publics et 32% de propriétés privées sont touchées directement par les pollutions des exploitations minières. Ces périmètres correspondent aux régions agricoles de Borj Rabeh (4 km au nord de la ville de Moularès), Krichet Ennaâm 1 et 2 (8 km à l'ouest de la ville de Métlaoui), Tebedditt 1 et 2 (11 km au sud de Moularès), Sègdoud[117] (10 km au sud de Rdeyef) et des autres périmètres dispersés à des faibles distances autour des villes minières qui sont des propriétés vivrières et privées (carte 64).

[117] La région de Sègdoud est alimentée par les eaux salées due aux exploitations minières (Kassah A., 2002)



Carte 64 : Localisation des zones agricoles touchées par les exploitations minières avec divers zones tampons

(Source : CRDA, 2016)

Les cultures irriguées par les ressources hydriques polluées par les rejets boueux causent une nette la baisse des rendements, la destruction de la qualité des produits, des brûlures sur les feuilles de certaines productions agricoles (surtout pour le cas des cultures maraîchères) (photo 28). Certaines cultures maraichères ont été abandonnées (laitues, persils, céleris,..). Ces cultures ne sont pas tolérantes à la toxicité des rejets miniers qui causent une détérioration rapide de la tige et des feuilles. Alors que les arboricultures comme les palmiers, les vergers (y compris les pistachiers et les figuiers) sont plus robustes, donc tolérantes à la toxicité.

En outre, les oasis situées dans la zone agricole Mziraâ à l'ouest de la ville de Métlaoui (photo 29) sont en train de périr, à cause des pompages excessifs opérés pour les laveries.

Photo 28 : Neguez et Sègdoud: comparaison entre région non touchée et région touchée par les rejets miniers (Source : Salhi B., 07-10-2015)

Avant l'épandage minier
(Archives Nationales, 1911)

Après l'épandage minier
(Salhi B., 18-02-2016)

Photo 29 : Mziraâ, Métlaoui : périmètres irrigués avant et après l'épandage minier

Le manque de données précises ne nous permet pas de réaliser une étude de commercialisation des produits agricoles touchés par les rejets miniers. Alors que les agriculteurs nous informent que ces récoltes sont écoulées vers Métlaoui et les localités limitrophes de Tozeur et Kébili. La population est face à un problème alimentaire pour lequel elle a du mal à résoudre. L'entretien avec les élus régionaux (CRDA, Arrondissement CES) en 01-07-2015 indique que :

- Les agriculteurs ont été indemnisés par la CPG suite à des plaintes à propos de la pollution de leurs terres agricoles.
- La stratégie du CRDA est de limiter l'extension des périmètres irrigués, suite à la pénurie des ressources hydriques.
- Le BMG est classé comme une zone minière prioritaire, au vu des revenus conséquents.

Par ailleurs, plusieurs travaux ont été réalisés par la CPG pour la sauvegarde les zones agricoles contre l'épandage minier dans les périodes de crues, notamment l'édification de digues et de gabionnage des rives des oueds. En revanche, les observations sur terrain ont montré que pendant les périodes de crue l'eau polluée submerge tout de même les marges de ces zones (photo 30).

Oued Thelja

Oued Neguez

Photo 30 : Edification des digues de protection des zones agricoles contre l'épandage minier (Source : Salhi B., 29/04/2015)

L’exploitation minière entraîne un déséquilibre écologique par la dégradation de la couverture végétale et la biodiversité, les ressources en sol, et la toxicité des plantes broutées par le cheptel. Certains impacts sont de court terme et sont limités au site de la mine. D’autres peuvent avoir des répercussions profondes et des effets à plus long terme. L’agriculture est déjà en crise, malgré une faible tolérante à certains polluants miniers.

3. Impact des exploitations minières sur les ressources en eaux dans le Bassin Minier de Gafsa

L’objectif de traitement de la question de l’eau dans le BMG est de montré à quel niveau les deux compagnies minières sont "hydrovore". Nous nous basons sur les bilans hydriques issus du CRDA et les données fournies par la CPG et le GCT.

3.1. Etat d’exploitation des nappes phréatiques et nappes profondes

Pour les nappes phréatiques, le secteur agricole consomme une quantité de l’ordre de 87,37 Mm^3 en 2016 à l’échelle du BMG. Le secteur industriel est considéré comme étant le deuxième consommateur des ressources, avec une quantité de l’ordre de 29,66 Mm^3, où le traitement de phosphate utilise 95,23% de ces ressources en eau. Enfin, le secteur d’eau potable consomme seulement 18,30 Mm^3.

Entre 2015 et 2016, il y a une surexploitation des nappes phréatiques qui atteint en moyenne 120%. L’abaissement du niveau piézométrique et des forages est dû principalement aux pompages extensifs à des fins industrielles. Sachant que la nappe a une faible alimentation à cause de sa structure semi-captive et du climat aride.

Pour les nappes profondes, les ressources s’élèvent à 42.3 Mm^3 en 2016, et sont exploitées à un taux de 80%. L’industrie minière présente le secteur qui consomme le plus d’eau avec un taux global de 76%. Le reste est partagé entre l’agriculture (13%) et l’eau potable (11%).

La question de disponibilité et d’accès à l’eau est sans aucun doute, l’une des questions majeures auxquelles est confrontée le BMG. Il a connu divers mouvements sociaux suite à la pénurie de ressources hydriques et l'interruption continue de la distribution de l’eau potable surtout durant la période estivale (photo 31). La grave fluorisation et contamination de l'eau souterraine, à utilisation potable, par les rejets miniers a obligé les populations locales à apporter de l'eau potable à partir des délégations limitrophes (Sned et Gafsa-Sud), cela pose des contraintes sociales et économiques.

Photo 31 : Problème de pénurie de l'eau potable dans la ville de Moularès
(Source : Association notre ville Moularès[118], (17-06-2017))

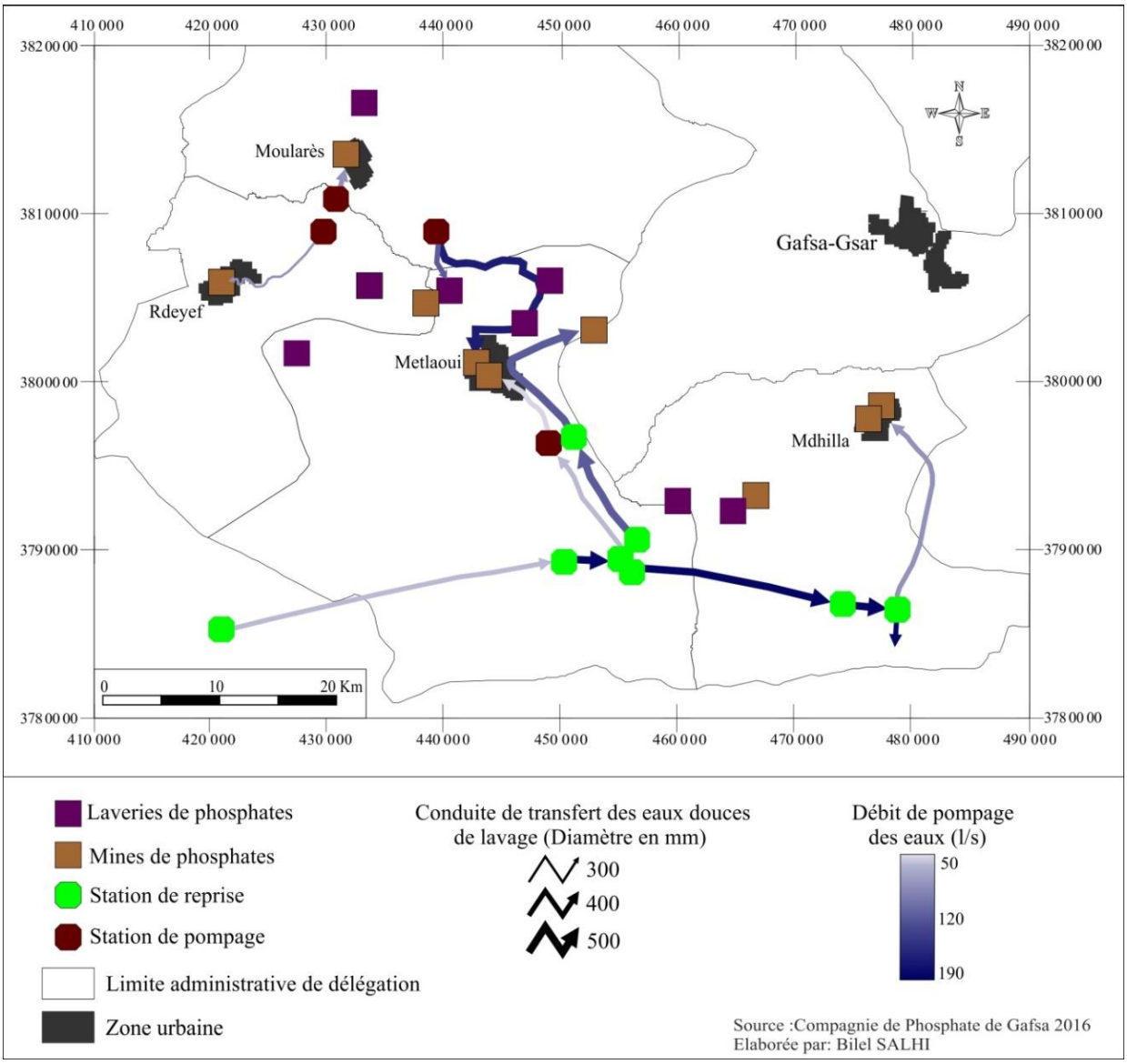
Les autorités locales se trouvent dans l'incapacité de trouver une solution devant une difficile équation : d'une part, la rentrée de devise apportée par le domaine minier et, d'autre part, la vie décente aux habitants du BMG. Les deux compagnies minières n'ont pas connu de problème de manque d'eau puisque par mesure de précaution, ils ont créé des bassins de stockage des eaux. Malheureusement, les habitants continuent de protester.

3.2. Demande en eau dans le secteur minier

3.2.1. Demande en eau par la Compagnie de Phosphate de Gafsa

La CPG programme une augmentation de ses besoins en eaux de l'ordre de 35 Mm^3/an à l'horizon 2020, même avec la récupération des eaux de lavage qui permettrait de fournir une quantité d'eau de l'ordre de 5,9 à 6.7 Mm^3/an. 65% des besoins en eau de la CPG sont des eaux chargées de 4 à 7g/l en sel et dans certains cas les Laveries utilisent l'eau potable, très peu chargée en sel. Le prélèvement des nappes se fait à partir de 19 forages (carte 65) fournissant un débit total de 647l /s (données pour l'année 2016).

[118] https://www.facebook.com/Moulares.bladi/posts/960405727405795



Carte 65 : Prélèvement existant de la CPG

(Source : CPG, 2016)

Il est à signaler que les Laveries du phosphate ne reçoivent pas la totalité de ce prélèvement à cause d'énormes pertes dans l'ensemble des tuyauteries et des connexions dans lesquelles ces Laveries sont implantées. Ces pertes sont de l'ordre de (50l/s)[119] et sont principalement dues à l'état des conduites, l'éloignement des sites de pompage des laveries et les débordements au niveau des bassins collecteurs et lors des arrêts des Laveries.

D'autre part, l'arrosage des terrains situés à proximité forages où des laveries génère aussi un grand gaspillage (photo 32). Cette opération est effectuée dans le but d'éviter les poussières du phosphate levées par le vent et qui constituent une gêne pour les ouvriers de la CPG.

[119] Il varie entre 10% et 12,57% du total des eaux prélevées entre 2007 et 2015

Photo 32 : Arrosage des terrains à proximité des forages de Tarfaoui,

(Source : Salhi B., 01-10-2014)

3.2.2. Demande en eau par le Groupe chimique Tunisien

Les forages de pompages se localisent à Sidi Ahmed Zarroug à l'ouest de la ville de Gafsa. Les ressources exploitables sont estimées à 65 l/s alors que les prélèvements ne sont que de 51 l/s. Ces ressources sont allouées en totalité au GCT et ce à cause de la forte salinité de leur eau qui peut atteindre 6g/l. La deuxième nappe d'exploitation est la nappe Aguila à Gafsa Sud, où le GCT exploite 30l/s (figure 66). Dans cette figure, le creux du mois d'avril correspond à l'arrêt technique pour la maintenance.

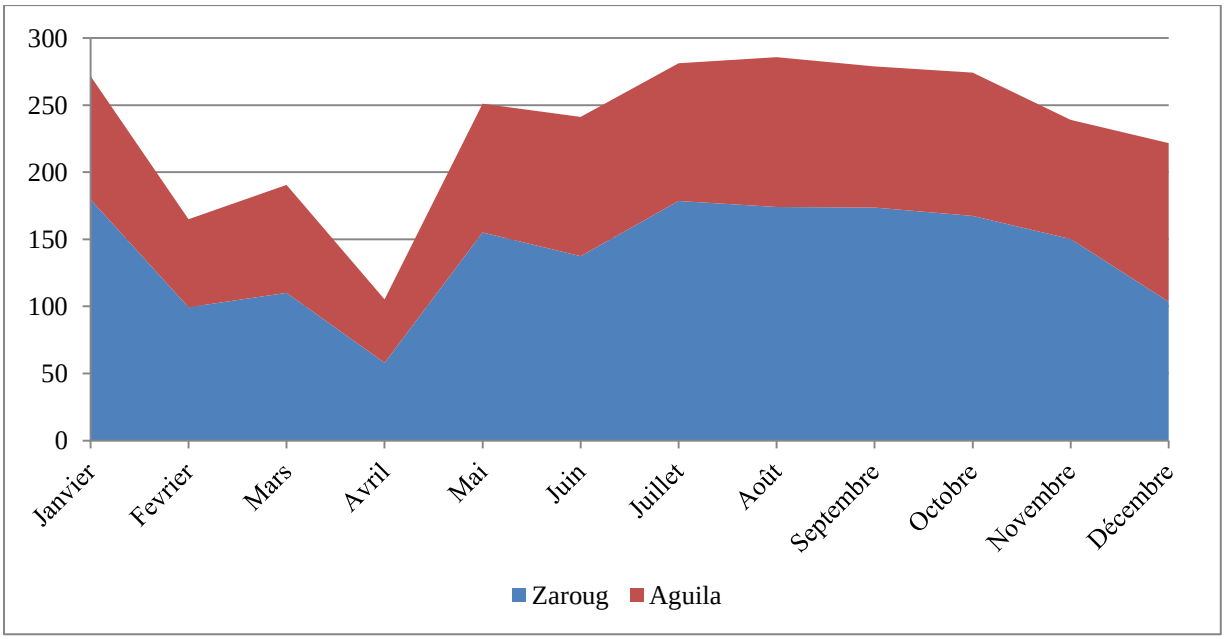


Figure 66 : Exploitation des nappes par le GCT (en milles m^3) entre 2000 et 2015

(Source : GCT, 2015)

Les deux compagnies minières utilisent des eaux, généralement salées, de moindre qualité et inutilisable à des fins agricoles ou domestiques. En revanche, en cas de manque d'eau, ces compagnies pallient ce manque par des eaux de bonne qualité qui sont déjà surexploitées surtout pour l'irrigation. Face au problème de pénurie de ces ressources conventionnelles, il est nécessaire de trouver de nouvelles ressources d'exploitation. Les eaux usées épurées peuvent être une bonne ressource en eau renouvelable.

3.3. Les eaux usées : ressources non valorisées

3.3.1. Quantité des eaux usées

Le gouvernorat de Gafsa dispose de deux stations de traitements :

✓ La station de traitement des eaux usées de Gafsa (STEP Gafsa) : créée en 1985 à 7 km à l'ouest de la ville de Gafsa. Les volumes d'eaux épurées (figure 67) avoisinent une moyenne de 8500 m^3 par jour (2016). Une quantité de l'ordre de 47% du volume traité sert à irriguer 117 ha de périmètres irrigués. Ce sont des cultures fourragères et des arboricultures. L'autre quantité est rejetée dans l'oued El Melah sans aucune valorisation.

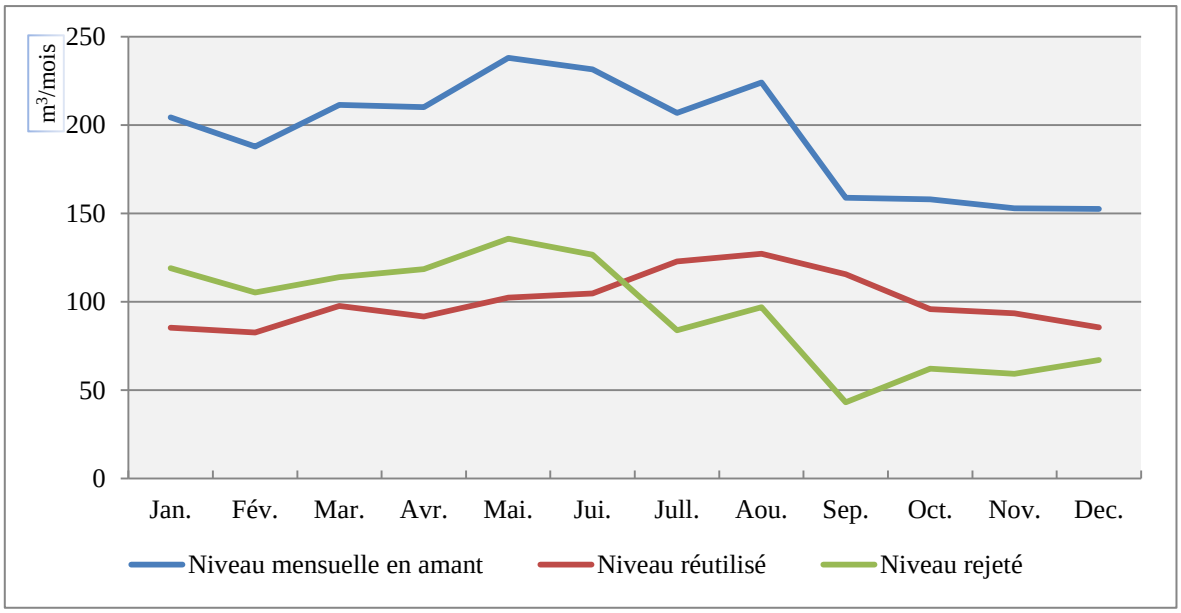


Figure 67 : Volume des eaux usées issues de la STEP Gafsa en 2016

(Source : ONAS Gafsa, 2016)

✓ La station de traitement des eaux usées de Métlaoui, mise en service en 2006 avec une capacité de 4000 m^3/jour. Les volumes épurés sont évalués à 1815m^3/j en 2016. Ces eaux épurées sont également rejetées sans aucune valorisation.

Pour les deux stations, la majorité des eaux usées sont issues des utilisations domestiques (Salhi B., 2011). Les autres villes du gouvernorat ne possèdent pas de station de traitement. Les eaux usées brutes sont évacuées directement dans l'environnement. Actuellement, la

quantité susceptible d'être exploitée est évaluée à 12611 m^3/j comme le montre le tableau suivant:

Tableau 17: Volume et nature des eaux usées dans le BMG (Mm^3)

(Source : ONAS Gafsa, 2016)

Ville	2012	2013	2014	2015	2016
Gafsa*	7576	7512	7614	7778	7814
Métlaoui*	1558	1931	1870	1802	1815
Gsar**	2320	2404	2400	2406	2439
Rdeyef**	1133	1189	1206	1236	1279
Mdhilla**	-	-	530	530	543

* Eaux usées épurées ** Eaux usées brutes

3.3.2. Qualité des eaux usées et procédure d'enrichissement de phosphate

La qualité des eaux utilisées dans la procédure d'enrichissement doit tenir compte du matériel utilisé (débouchage ou détérioration) ainsi que la qualité finale du produit enrichi. Les principaux paramètres présentent un excès dans les eaux usées et influent sur la qualité du phosphate enrichi qui sont le chlorure, le Total des Sels Dissous (TDS) et les Résidus Secs (RS). Dans notre cas, le traitement des eaux usées diminue le taux de chlorure de 367 mg/l à 295 mg/l dans la STEP Gafsa et de 515mg/l à 420mg/l dans la STEP Métlaoui. Donc, ces taux n'influent pas sur la qualité du phosphate lavé, sachant que les eaux d'enrichissement doivent contenir un taux de chlorure inférieur à 500 mg/l. Le taux du chlore dans les eaux usées brutes issues des rejets des autres délégations, qui sont comprises entre 515 et 330 mg/l, ne peut pas diminuer la qualité du phosphate lavée. Les eaux usées sont faiblement chargées en Résidu Sec : 327mg/l pour Gafsa et 270 mg/l pour Métlaoui. Ce pourcentage est également inférieur à 1g/l dans les eaux usées brutes admissibles pour les ouvertures des buses d'arrosage des cribles vibrants[120].

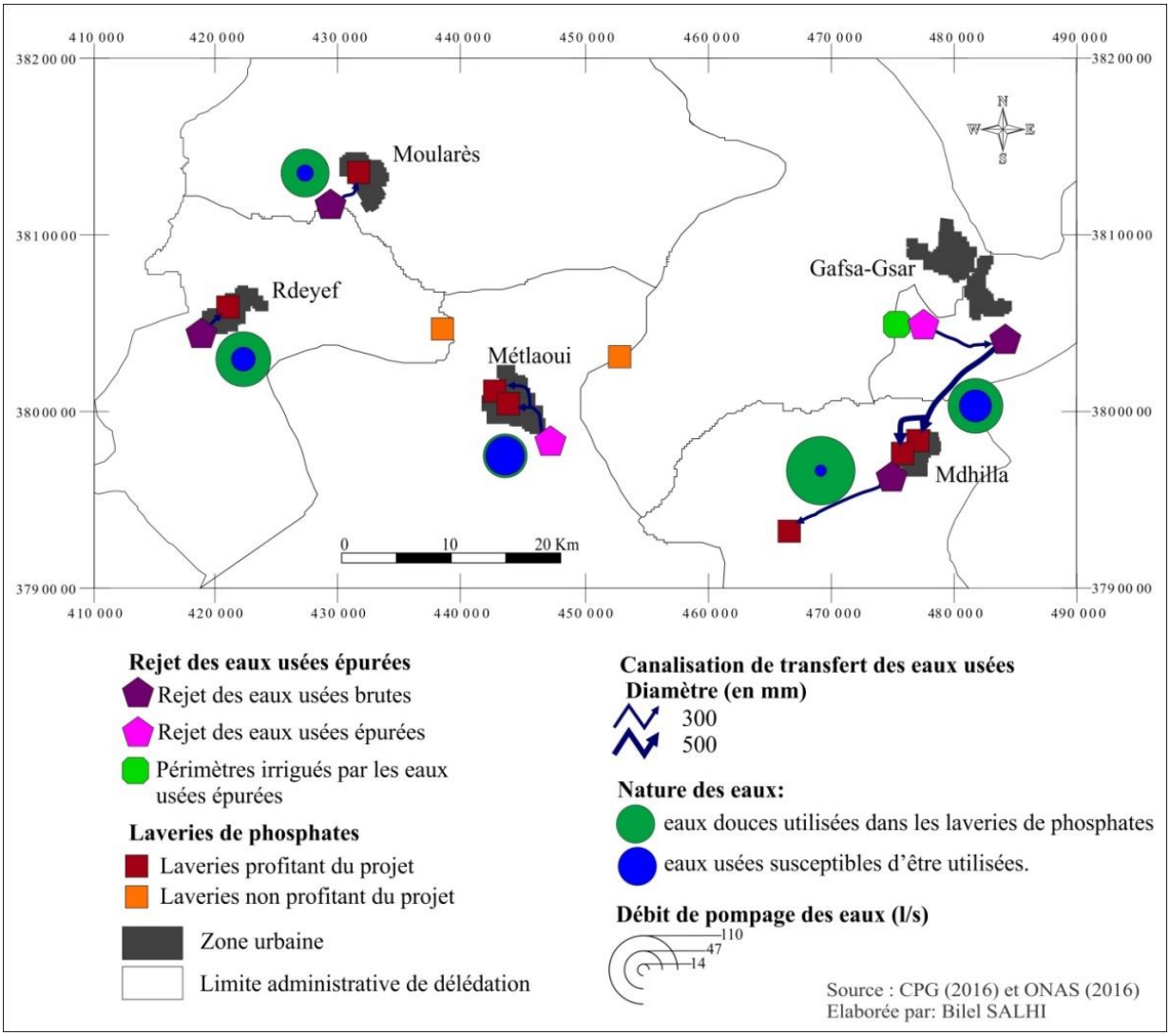
Le taux de Cadmium ne dépasse pas 0,041 mg/l dans les eaux usées épurées et il est inférieur à 0,1 mg/l pour les eaux brutes. De même pour le Magnésium, le taux ne dépasse guère 0,028 mg/l pour la station de Gafsa et 0,059 mg/l pour la station de Métlaoui.

L'excès de taux des paramètres bactériologiques des eaux usées brutes ou épurées ne peut pas causer des problèmes au niveau de la qualité des phosphates enrichis, vu que ces substances

[120] C'est une étape dans la procédure de traitement de phosphate.

seront détruites dans le procédé de l'attaque acide et de calcination à 105°C. Mais, elles peuvent présenter un risque pour les ouvriers en termes de contamination bactériologique par les matières en suspension. L'installation des filtres presses[121] dans les canalisations des eaux usées brutes diminue considérablement le taux de matières en suspension.

Dans ces procédés, nous pouvons remplacer les eaux usées recyclées par les eaux usées épurées et minimiser jusqu'à 20% du pompage des nappes fossiles (carte 66).



Carte 66 : Proposition la mise en place du réseau d'adduction des eaux usées (Source : CPG, 2016 et ONAS, 2016)

Différents procédés de traitement de phosphates ne nécessitent pas forcément de bonnes quantités d'eaux. Parmi ces procédés, il y a lieu de citer le délitage (ou débordeur) ou l'arrosage de mousse de cellule de flottation. Entre autre, la CPG utilise les eaux récupérées

[121] Le filtre presse est un matériel de séparation solide-liquide par filtration sous pression permettant soit la réduction de volume de produits soit la filtration de solutions. C'est une technique de déshydratation-concentration-filtration.

dans la procédure d'enrichissement. L'ajout des eaux de forages avec des eaux usées peut être une solution acceptable afin d'améliorer la qualité des eaux industrielles. Les eaux usées peuvent être utilisées dans la procédure de délitage et remplacées par les eaux recyclées d'enrichissement ou aussi dans les bacs d'alimentation des cyclones ou les hydro-cyclones (cylindre de lavage).

Conclusion

L'industrie minière de la région de Gafsa est classée comme très polluante par ces rejets solides, liquides et gazeux qu'elle génère. Elle provoque aussi la destruction des écosystèmes et du paysage qu'elle occasionne que ce soit au niveau de l'exploitation des mines ou au niveau des rejets boueux ou des stocks de stériles. La couverture végétale, déjà fragile, subit une forte dégradation surtout dans le sud du BMG. Nous avons montré une forte dégradation du cadre de vie humain surtout dans la ville de Mdhilla. Cette région souffre aussi de processus de désertification, et la réduction de la biodiversité faune, flore et paysage suite aux rejets du GCT. Les deux compagnies minières et les autorités administratives locales sont tenues d'effectuer des travaux de protection pour limiter l'érosion sur les stocks de stériles mobilisés et l'entraînement des débris vers l'aval.

L'étude de la question de l'eau est marquée par une gestion difficile au vu du contexte de la région mobilisation des eaux souterraine, pompages excessifs pour les besoins des Laveries de la CPG,.... ceci a limité le développement agricole.

Compte tenu de cette situation difficile, une réflexion sur la stratégie de limite des multiples risques, de protection de l'environnement, des paysagers et de la biodiversité, devrait voir le jour afin d'éviter l'irréversibilité des dégâts. La mise en place de groupe de concertation, formé par des acteurs cernés par ces situations sociales, environnementales et économiques est plus que nécessaire pour une meilleure prise de décision.

Conclusion générale et perspectives

Au terme de nos travaux de recherche, la situation socio-économique et environnementale conjoncturelle au niveau du Bassin Minier de Gafsa (BMG) est difficile et seule l'impulsion d'une politique forte, réfléchie et participative pourrait trouver une solution acceptable. A partir des données statistiques, géographiques, des entretiens auprès de plusieurs acteurs, des enquêtes des ménages, nous avons créé une base de données qui a permis d'établir de cartes thématiques et synthétiques afin de comprendre la dynamique spatiale des villes minières et de répondre aux questionnements qui se posent sur le terrain.

Sur le plan urbain, l'analyse historique et géographique de la genèse du BMG, montre l'évolution de notre zone d'étude, tout en mettant l'accent sur les villes minières. Nous avons mis en évidence des multiples effets directs et indirects des activités minières, dans un espace semi-aride, tel que celui de la région minière de Gafsa, depuis près d'un siècle. La naissance du BMG s'est produite dans une région occupée par des semi-nomades, totalement dépourvue de tout équipement qui s'est trouvée confrontée à un problème de transformation sociales et spatiales, opérée dans un milieu très fragile. Au vu de ses besoins grandissants en main d'œuvre, la Compagnie de Phosphate de Gafsa (CPG) a contribué à l'accroissement de la population qui fut particulièrement fort grâce aux apports migratoires (intérieurs et extérieurs). Nous avons montré que cette Compagnie est le principal acteur qui a monopolisé toute action d'aménagement et de développement des villes minières. Elle présente le créateur principal des infrastructures de base et des équipements urbains (réseau routier, dispensaires, économats, écoles,…).

En revanche, les noyaux urbains furent constitués souvent sans vue d'ensemble, ce qui a engendré plusieurs dysfonctionnements dans la vie et le paysage urbain, ressemblant plus à des friches industrielles qu'à des centres urbains cohérents, viables et vivables. La Compagnie a privilégié les gains et les profits de l'exploitation minière et investit le moins possible sur ces territoires. Nos investigations sur le terrain ont montré que tous les quatre villes minières Métlaoui, Rdeyef Moularès et Mdhilla présentent une morphologie spécifique. Le centre-ville est occupé par le noyau colonial bien organisé, avec tous équipements de base. Quant aux cités anarchiques, plus ou moins denses, elles sont occupées par des groupements tribaux et forment la ceinture extérieure du noyau avec un accès difficile au centre urbain. Une ségrégation spatiale apparait clairement.

Métlaoui, la plus importante ville minière avec 38 634 habitants, est une ville étalée où les extensions urbaines s'étendent en parallèle avec l'emplacement des Laveries au centre et au nord de la ville, ce qui génère des risques environnementaux et une vulnérabilité de la population. Pour Moularès la ségrégation spatiale est visible sur le terrain par les constructions décentes des habitats destinés aux cadres de la Compagnie et ceux destinés pour les ouvriers. Mdhilla présente un échec dans son système urbain dès son implantation par le manque des infrastructures de base et surtout la présence du Groupe Chimique Tunisien (GCT) très polluant qui donne un effet répulsif par ces pollutions générées. Seules les catégories défavorisées des mineurs y habitent. Seule la ville de Rdeyef qui présente une armature urbaine plus ou moins cohérente.

L'étude de la variation spatiale du niveau de pollution des villes minières est réalisée à l'aide des outils SIG et d'une Analyse Multi-Critère (AMC). Nos résultats montrent que les villes sont soumises à des niveaux risques de pollution (faibles, moyens, forts), suite à la proximité des habitats par rapport aux composantes minières. La ville de Mdhilla est la plus polluée sous l'effet principalement des rejets multiformes du Groupe GCT, unité de traitement chimique de phosphate installée depuis une trentaine d'années (1987). Les deux villes Métlaoui et Moularès présentent un niveau de pollution moyen à fort dû à la présence des Laveries et de ces zones de stockages proches des zones de stockages. La ville de Rdeyef est la moins affectée par rapport aux autres villes, on note malgré tout le risque d'effondrement de terrain dans sa partie nord-ouest.

Nous avons montré que le fonctionnement quotidien des villes minières, défini par le fonctionnement industriel, a créé des conflits fonciers entre la CPG en tant que propriétaire du terrain et les habitants locaux en tant qu'occupants de ces villes (sans titres fonciers). La faible coordination entre les municipalités et la CPG assistent indirectement à l'urbanisation illégale. Par ailleurs, les villes minières se prolongent et s'étalent davantage sur des terres collectives réservées pour le pâturage et même des versants des montagnes les plus proches accentuant la dégradation des espaces naturels. Ceci pose un grand handicap pour l'aménagement de ces villes.

Sur le plan socio-économique, nous avons montré des profonds déséquilibres territoriaux tunisiens, entre le littoral dynamique et l'intérieur marginalisé, notamment le BMG. Ces déséquilibres justifient d'emblée le choix la région étudiée qui est doublement défavorisée par des conditions naturelles fragiles, des conditions humaines avec une qualité de vie difficile (pollution importante) et des conditions économiques dont les richesses n'ont pas les retombées espérées.

A l'aide des indicateurs de disparité régionale, les investissements sont inégalement répartis entre le littoral avec 74% et l'intérieur du pays. Le gouvernorat de Gafsa reste marqué surtout par l'investissement minier. Ce problème de fracture de la Tunisie littorale et le reste du pays est un héritage ancien de la politique de développement national.

A l'échelle régionale, la politique de développement a contribué à la localisation des usines d'enrichissement chimique du phosphate lavé à Sfax et Gabès (villes portuaires). Le principe des zones minières est connu comme étant basé sur le domaine de richesses (mines et Laveries), les voies de pénétration (trafic routier et ferroviaire) et le port pour l'exportation. Une trilogie définie aussi par (Sahsah M., 1996). Pour ce qui concerne le BMG, cette rente minière est transférée en grande partie vers les régions du littoral.

A l'aide de divers indicateurs, nous avons montré que le développement économique et régional des délégations minières demeure plus ou moins en stagnation avec une monoactivité d'extraction et d'enrichissement de phosphate. En outre, l'étude de la compétitivité du BMG paraît problématique à cause du manque de la diversification d'activités et de l'absence d'une dynamique économique locale. Ainsi, le BMG est classé aujourd'hui comme étant une région en crise, au vu de manque de dynamisme et de sa stagnation économique. Il apparait un décalage sensible entre cette faible croissance des activités économiques (monoactive), la démographique des villes minières et l'offre d'emploi faible. Par manque d'infrastructures et de diversification économique, le BMG est en forte dépendance des villes littorales et surtout Sfax. Les mineurs (qui peuvent voyager gratuitement) ont participé en partie au développement de ces villes portuaires par l'achat de leur besoins : les meubles, l'habillement, les petits métiers,…. Par conséquent, la valeur ajoutée "brute" régionale est expédié hors de la région et de la ville de Gafsa qui n'a pas pu mobiliser et développer ces dynamiques économiques au niveau régional.

Le classement hiérarchique des villes minières (réalisé en fonction de leur poids démographique et de leurs dynamiques économiques) montre que les villes minières sont positionnées derrière Gafsa ville. On note que seul Métlaoui a pu bénéficier de l'installation des services administratifs en lien avec le domaine minier. Rdeyef, Moularès et surtout Mdhilla demeurent bien loin de Métlaoui.

L'étude historique de la variation de la production de phosphate montre des fluctuations, des progressions ou des chutes, en fonctions des évènements politiques, socio-économiques et même climatiques que connaissent le pays et le BMG en particulier. Par exemple la production de phosphate a diminuée jusqu'à 30% en 2011 suite à la "Révolution Tunisienne, 2011".

Le BMG souffre de l'ampleur de chômage depuis les années 1985 suite à la structuration de la CPG. Les deux tiers des chômeurs de gouvernorat de Gafsa sont situées dans le BMG.

Nos résultats montrent que dans les "familles minières", ¾ souffre du chômage. Une partie de ces chômeurs s'inscrit dans la chaîne de commerce informel avec les pays limitrophes (l'Algérie à l'ouest et la Libye au sud-est). Les enquêtés témoignent que le manque d'un financement personnel ne permet pas de développer un projet individuel. De même qu'ils ne sont pas convaincus ne sont pas convaincu des performances des autorités locales à résoudre le problème de chômage dans le BMG. Leurs réponses sont illustrées par le taux élevés de chômage et la stagnation économique de la région.

De même que nos résultats montrent que les hommes sont légèrement plus pessimistes que les femmes, les universitaires sont plus optimistes que les autres. Ces résultats ne montre pas de différence remarquable entre les villes minières.

Sur le plan environnemental, les autorités tunisiennes ont souvent négligé les risques sanitaires et la réhabilitation des sites miniers contaminés pour des raisons économiques, politiques ou sociales. Mais, la "polémique" mine-environnement reste encore à nos jours la principale préoccupation des dirigeants régionaux.

La cartographie de l'évolution spatiale des composantes minières entre 1972 et 2016 a montré une évolution de plus de 10 fois de surface atteignent 300 km² à ce jour. C'est l'épandage de rejets miniers qui accapare la majeure diffusion spatiale avec 74% de l'ensemble des composantes minières. Au niveau des écoulements superficiels, ces rejets boueux pollués alimentent des oueds intermittents et les transforment en oueds pérennes. Ce processus conduit à l'augmentation des surfaces des lits majeurs d'écoulement, mais aussi à leur envasement. Nous avons montré que c'est la fraction fine qui provoque le colmatage des lits des oueds et favorise l'écoulement des rejets sur de grandes distances. Les composantes minières s'étendent principalement sur des espaces naturels steppiques, les contaminants. De même que durant la période pluviale, et surtout en période de crues, les précipitations jouent un rôle important sur l'étalement des boues.

Les analyses chimiques réalisées ont montré que ces rejets boueux n'ont fait qu'accentuer la salinité et la toxicité du sol, sachant qu'il ne répond pas aux Normes Tunisiennes de rejets.

Dans le BMG, nous distinguons deux grandes zones de rejets : le "rejet Sebseb", localisé à 20 km au sud de la ville de Métlaoui, et le "rejet Mdhilla" à 4 km au nord de la ville de Mdhilla. Les canaux thermiques des images Landsat multidates (2003-2010 et 2015), ont permis de calculer la température de surface dans ses deux zones. Nous avons corrélé la variation thermique de surface avec le niveau de pollution par les rejets boueux (prélevée sur le terrain

par nous-même). Grace à l'analyse de 10 échantillons prélevés dans chaque zone de rejet, nous avons montré que les zones à forte température correspondent aux zones à forte toxicité qui impactent les ressources naturelles (parcours steppiques et sols).

De même, la comparaison des résultats chimiques avec un sol témoin, montre un enrichissement par les métaux lourds et en éléments majeurs (Sodium et Nitrates). Le Carbone Organique et le Fluor sont considérés comme source de contamination.

L'analyse cartographique (grâce au calcul de l'indice de végétation NDVI) montre une régression notable de la végétation (avec une diminution de couvert végétal de 1/3) dans les zones d'extensions minières à ciel ouvert. Cette dégradation touche principalement les pâturages et les faciès de végétation. Les régions de Métlaoui et de Tebedditt sont les plus touchées (Salhi B., et al. 2016b).

Selon les 118 ménages enquêtés de la région de Mdhilla où est installé le Groupe Chimique Tunisien (GCT), 320 jours sont perçus comme très pollués. Ils indiquent aussi que ce sont les deux compagnies minières (GCT et CPG) qui sont responsables de la pollution et qui ont un impact négatif sur la faune et la flore dans la région. Les ménages témoignent de ces conditions polluantes dans leur région et citent plusieurs maladies causées par ces dernières : insuffisances pulmonaires, cancers, allergies, fluoroses, infertilité, ostéoporose, asthme,… Ces maladies sont très répandues dans la région de Mdhilla. De plus, l'accumulation des ordures ménagères et le débordement des eaux usées représentent des pollutions plus apparentes surtout après la "Révolution Tunisienne de 2011", avec un manque de gestion des déchets.

L'agriculture est parmi les points fondamentaux qui se trouvent au centre de la crise actuelle du BMG. Dès les années 1970, apparait une détérioration due principalement au changement du mode de traitement de phosphate (du procédé de ventilation vers celui du lavage humide). Ainsi, apparait la diminution de la surface agricole utile.

Le problème de manque d'eau, suite aux pompages "hydrovore" des compagnies minières a causé en grande partie le blocage du développement agricole. Ces ressources en eau de la région vont en priorité vers les deux compagnies minières au détriment de l'agriculture dont les rendements baissent et même à la distribution de l'eau potable pour les populations surtout durant la période estivale. La réutilisation des eaux apparait comme une solution possible pour les deux compagnies minières.

Il va sans dire que l'avenir du BMG est incertain. Cet avenir est lié, dans l'esprit des principaux protagonistes, essentiellement à la mine. Le BMG si riche par sa production minière de phosphate apparait comme une zone productive pour l'Etat Tunisien mais il donne une image répulsive par ces impacts environnementaux sur la population locale. Pourtant ce

bassin est nourricier en ces temps difficiles avec le chômage qui augmente, ceux qui ont la chance d'avoir un travail se contentent du fruit de leur labeur. Pourquoi de telle contradiction ? Quelles solutions à apporter ? Faudrait-il anticiper l'épuisement à terme des richesses phosphatières dans le BMG et restructurer l'espace rural avec un développement économique et social ce qui mènerait à un développement plus durable.

Les deux compagnies minières devraient travailler avec les autres acteurs du territoire pour contribuer à la relance économique du BMG et à atténuer les prémices de l'actuelle crise sociale. L'encouragement et la diversification des activités économiques par la création des PME, peuvent constitueraient des opportunités d'intégration et une amélioration des revenus, du niveau de vie et de l'épargne de la population.

L'amélioration de la compétitivité de la région est tributaire d'un réseau routier et de réseau de communication fiable qui permettraient des échanges rapides dans le cadre du renforcement des relations entre le BMG et, d'une part, le littoral Tunisien et, d'autre part, les pays maghrébin surtout l'Algérie, la plus proche.

L'ensemble de nos données et celles à constituer en complément, permettraient de réaliser un modèle à mettre en place pour une aide à la décision adéquate du développement du BMG. Une bonne gouvernance avec tous les acteurs en charge du territoire, devrait aboutir au décollage économique de ce bassin minier.

Références bibliographiques

▪ Ouvrages et Rapports

Adidi A., (2000) « Khouribga : La problématique de développement d'une ville minière marocaine ». In http://www.abhatoo.net.ma/maalama-textuelle/developpement-economique-et-social/developpement-social/urbanisme/urbanisation/http//www.ifresi.univ-lille1.fr/PagesHTML/%20ABM/actescoll/11.pdf. 11p.

Amira T., (1971) : «La région minière de Gafsa». In journée de presse, Tunis le 3 juin 1971.

Archives Nationales (1949) : « Les Mines de Gafsa-Sfax ». In Archives Nationales. 148p.

Artignan D., et Cottard F., (2003) : « Eléments à prendre en compte pour l'évolution des impacts environnementaux dans l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM) ». Rapport BRGM/RP-52049-FR. 46p.

Barber S.A. (1984): « Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach ». In 2nd Edition, New York. ISBN: 978-0-471-58747-7. 384 p.

Belhedi A., (1992) : « Société, espace et développement en Tunisie » Publications de la Faculté des Sciences Humaines et Sociales, Tunis. 269p.

Belhedi A., (2002) : « Les acteurs et l'espace. Quelques éléments de problématiques ». In publication de la Faculté des Sciences Humaines et Sociales, Laboratoire Dynamiques et Planification spatiales, DPS Séance Scientifique 3, novembre 2002.

Belhedi A., (2012) : « Problématique du développement régional dans le Bassin minier de Gafsa ». In Amorbelhedi's Blog : https://amorbelhedi.wordpress.com/2012/07/16/120/

Belhedi A., (2012b) : « Le problème du développement régional: développement des régions intérieures et le bassin minier de Gafsa. (Langue Arabe). In Amorbelhedi's Blog إشكالية التنمية الإقليمية : وضع المناطق الداخلية والحوض المنجمي.

Belhedi A., (2014) : « Les problèmes de développement régional et local ». In publication de l'Université de Tunis 10p. http://amorbelhedi.unblog.fr/tag/التنمية-المحلية/

Ben Romdhane M., et Kadel A., (2008) : « Le bassin minier de Gafsa : le désespoir sous les trésors ». In Attariq Al jaded, article 60 http://attariq.org/spip.php?article60&lang=fr

Bosson R., et Bonsion V., (1977) : « L'industrie minière dans le tiers monde ». Publié par la banque mondiale par ECONOMICA, 75015 Paris. 299p.

Boukadi N., Ben Ouezdou H., Mamou A., et Zargouni F., (1996) : « Notice explicative de la carte géologique de la Tunisie à 1/100 000°, Moularès, Feuille n°59 ». In Office National des Mines. 30p.

BRGM, (1997) : « Les résidus miniers français : typologie et principaux impacts environnementaux potentiels ». In Rapport R39503. 85 p.

Brundtland G.H., (1987) : «Notre avenir à tous ». In Editions du fleuve, Montréal [Rapport pour la Commission mondiale sur l'environnement et le développement]. 434p.

Chaire en éco-conseil, (2012) : « Rapport de la démarche d'analyse de développement durable du projet minier Arnaud selon la grille d'analyse de la Chaire en éco-conseil ». In Université du Québec à Chicoutimi. 151p.

Chandoul S., (2010) : « L'agglomération urbaine de Gafsa-El Gsar, un pôle de développement dans le Sud-ouest Tunisien ». Imp. SOGIC Sfax. 198p.

CRDA, (2007) : « Etude de planification intégrée et participative des aménagements CES du gouvernorat de Gafsa ». 142p.

Didier M., (1990) : « Utilité et valeur de l'information géographique». Ed Economica. 255p.

Dougui N., (1995) : « Histoire d'une grande entreprise coloniale, la Compagnie de phosphates et du chemin de fer de Gafsa ». In publication de la Faculté des Lettres de la Manouba, Tunis. 647p.

DRGE, (2014) : « Bilan des ressources en eaux de nappes phréatiques du gouvernorat de Gafsa ». 170p.

Farhat H., et Moumni L., (1989) : « Etude hydrogéologique de la nappe de Gafsa Nord et Sud ». In DGRE Gafsa. 46p.

Fersi M., (1979) : « Estimation du ruissellement moyen annuel sur les BV du SE, du SW et Sahel sud ». In DGRE Gafsa.

GENIVAR-SCET, (1999) : « Etude d'impacts sur l'environnement des rejets fins des laveries de phosphate de la compagnie des phosphates de Gafsa ». In SCET Tunisie. 169 p.

GEVINAR-SCET, (2001) : « Etude d'impact sur l'environnement des rejets fins des laveries de la CPG., phase A : description du milieu récepteur ». In SCET Tunisie. 127p.

GENIVAR-SCET, (2002) : « Description du milieu récepteur et caractérisation des boues, pour la compagnie des phosphates de Gafsa. In SCET Tunisie. p148.

GENIVAR-SCET, (2002b) : « Evaluation des impacts des rejets fins sur l'environnement ». In SCET Tunisie. 74 p.

Groupe Huit (1970) : « La région minière de Gafsa». Paris, document interne spécimen. 527p.

Groupe Huit et CERES (1976) : « Ville et développement : Armature urbaine tunisienne ». In République Tunisienne, Ministère de l'Economie Nationale, Direction de l'Aménagement de Territoire. 580p.

Guyot F., (1968) : « Essai d'économie urbaine ». Paris, Librairie Générale et de Jurisprudence. 86 p.

Illy P., (1967) : « Etude hydrogéologique préliminaire de la région de Gafsa-Maknassy. Projet de planification rurale intégré de la Tunisie centrale ». In F.A.O. 81p.

Kassab A., et Ouanies A., (2010) : « Histoire générale de la Tunisie ». Tome IV, l'époque Contemporaine (1881-1956).Sud édition Tunis. 598 p.

Lerat S., (1971) : « Géographie des mines ». In Presses Universitaires de France, Paris. Collection SUP « Le Géographe », no 6. 200p.

MEHAT/DGAT, (2007) : « Etude stratégique du schéma directeur de l'aménagement du territoire national ». DIRASSET-Groupe Huit. IGIP. 273p.

MEHAT/ DGAT (2008) : « Etude du schéma directeur d'aménagement de la zone sensible du bassin minier de Gafsa ». 74 p.

MEHAT/DGAT (1968-2009) : Plan d'Aménagement des villes minières (PAU).

MEHAT/DGAT (2009) : « Schéma directeur d'aménagement de la région économique du sud-ouest ». 135p.

MEHAT/DGAT (2010) : « Atlas du gouvernorat de Gafsa ».126p.

MEHAT/DGAT et CNCT (2011) : « Rapport de l'étude du Schéma Directeur d'Aménagement de la Région Economique du Sud-Ouest (SDARE-SO) relatif à la stratégie d'aménagement et de développement de la région économique et Plan-Programme ».136p.

MEHAT/DGAT (2012) : « Schéma directeur d'aménagement de la zone sensible du bassin minier de Gafsa ». 290.

MEHAT/DGAT (2014) : « Stratégie de développement et de promotion des villes petites et moyennes ». 347p

Moumni L., (1994) : « Note d'implantation de trois forages de reconnaissance dans le gouvernorat de Gafsa (programme 1994) ». In DGRE, Cote 1066295. 16p.

Nasri R., (2015): «The Local Resource Curse: The symptoms in the Mining Area of Gafsa». 14p. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01217075/document

Neveu A., Riou C., Bonhomme R., Chassin P., et Papy F., (2001) : « L'eau dans l'espace rurale : vie et milieux aquatiques ». In TNRA, Paris. 284p.

North-South Environment (2007) : « Réduction des rejets des mines de phosphates du Togo dans le GCLME ». In organisation des nations unies pour le développement industriel (République Togolaise). 144 p.

Pumain D. (1982) : « La dynamique des villes ». Paris, Ed., Economica, 231 p.

Reufflet P., (1935) : « Les ressources minérales de la France d'outre-mer, le phosphate (extrait) Algérie-Tunisie ». In Société d'Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris. 109p.

Slansky M., (1980) : « Géologie des phosphates sédimentaires ». In BRGM n°114, 110p.

Signoles P., (1985) : « L'espace tunisien: capitale et Etat-Région ». In Urbama, Tours, 2 vol., 1041 p.

Thomas P., (1950) : « Contribution à l'étude de la série phosphaté du bassin de Gafsa ». Ed, Paris, 43p.

Vision africaine des mines, (2009) : « Les ressources minérales et le développement de l'Afrique ». Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique www.africaminingvision.org

Zarka C., (1972) : « Aspects de l'habitat dans les centres miniers de la région de Gafsa ». Paris, Institut d'Ethnologie, 3 microfiches de 60 images, 105 x 140 mm (« Archives et Documents » : 70 712 24). (Diplôme de l'EPHE - VIe Section, Paris, 1970, 222 p.)

▪ Articles dans les revues, actes de colloques et séminaires et chapitres d'ouvrage

Allal A., (2010) : « Les configurations développementistes internationales au Maroc et en Tunisie : des policy tranfers à portée limitée. ». In Critique internationale, N°48, pp. 97-116.

Allal A., (2010b) : «Réformes néolibérales, clientélismes et protestations en situation autoritaire. Les mouvements contestataires dans le bassin minier de Gafsa en Tunisie (2008) ». In Politique africaine, 2010/1N° 117, p. 107-125. DOI : 10.3917/polaf.117.0107.

Allal A., et Bennafla K., (2011) : « Les mouvements protestataires de Gafsa (Tunisie) et Sidi Ifni (Maroc) de 2005 à 2009- Des mobilisations en faveur du réengagement de l'État ou contre l'ordre politique ?» In Revue Tiers-Monde, issue 5, 2011/5 (HS). pp 27-45.

Andrefouët S.J., Maritorena S., et Loubersac L., (2002) : « Un bilan de la télédétection appliquée aux milieux coralliens ». In Océans, vol. 26, no 3, pp.311-349.

Askri B., Bouhlilab R., and Olivier J., (2010): « Development and application of a conceptual hydrologic model to predict soil salinity within modern Tunisian oases». In Journal of Hydrology (Science Direct), Volume 380, Issues 1-2. pp 45-61.

Baduel P., (1982) « Cafsa comme enjeu ». In Annuaire de l'Afrique de Nord, Editions du CNRS, Paris. pp 485-511.

Baudelle G., (1996) : « La gestion des risques hérités de l'activité minière dans le Nord-Pas-de-Calais». In: Revue de géographie de Lyon, vol. 71, n°1, 1996. Risques et pollutions industriels et urbains. pp 65-70.

Belhedi A., (1989) : « Le découpage administratif en Tunisie. In Revue de Géographie du Maroc, 1989, vol 13, n° 2. pp 3-25.

Belhedi A., (1995b) : « les villes intermédiaires en Tunisie. Place et dynamisme ». In Cahiers de la Méditerranée, n°50, Tome 1. Centre de la Méditerranée Moderne et Contemporaine (CMMC), Nice, France. pp 81-103.

Belhedi A., (2013) : « La dimension géo-stratégique de la région ». In Communication au Colloque International « Quelle régionalisation dans les pays du Maghreb? », 9-10 décembre 2013, Tunis.

Belhedi A., (2013b) : « Les limites en géographie. Pertinence et limites d'un concept et d'une pratique ». Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités, Université de Manouba, Département de Géographie, VIII° Colloque, Tunis, 1-2 mars 2013 « La question des limites en Géographie : Structures, dynamiques et enjeux ». 18p.

Ben Hassen A., Trichet J., et Disnar J.R., (2010) : « Pétrographie et géochimie comparées des pellets phosphatés et de leur gangue dans le gisement phosphaté de Ras-Draâ (Tunisie).

Implications sur la genèse des pellets phosphatés ». In Swiss Journal of Geosciences. Volume 103, Issue 3. pp 457-473.

Bensalem K., Brahmi M., and Zouary S., (2013): «History vs. Reality, Mining industry diagnostic and environmental effects: Illustration case in real size of Tunisian mining basin». In Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology (IOSR-JESTFT) e-ISSN: 2319-2402,p- ISSN: 2319-2399. Volume 4, Issue 2. pp 56-64.

Bleuchot H., (1969) : « Une ville minière marocaine : Khouribga ». In Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée, N°6, 1969. pp 29-51.

Bou Kheir R., Girard M-Ci., Khawlie M., et Abdallah C., (2001) : « Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranées ». In Etude et gestion des sols, volume 8,4, 2001. pp 231-245.

Bouiadjra S., El Zerey W., et Benabdeli K., (2011) : « Etude diachronique des changements du couvert végétal dans un écosystème montagneux par télédétection spatiale : cas des monts du Tessala (Algérie occidentale) ». In Physio-Géo, Volume 5. pp 211-225.

Brahmi M., Zouari S., et Dikmen L.A., (2014) : « Synthèse sur la productivité et la compétitivité de la Firme minière tunisienne en monopole naturel: stratégie de Joint-venture capitalistique et les facteurs de performance ». In International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 8 No. 1 Sep. 2014. pp 417-442.

Brunet R., (1957) : « Les phosphates de Gafsa ». In L'information géographique, volume 21 n°4, 1957. pp 159-160.

Brunet R., (1958) : « Un centre minier de Tunisie : Rdeyef ». In Annales des Géographes, n°363. pp 430-446.

Brunet R., Ferras R., et Thery H., (1992) : « Les mots de la géographie- dictionnaire critique ». In Reclus-Documentation Française, Paris & Montpellier. 518p.

Chalbaoui M., (2000) : « Vulnérabilité des nappes superficielles sub-affleurantes du sud-ouest Tunisien ». In Revue Sècheresse. Vol II, N°2. 13p.

Chantre B., (1909) : « Sur la route de la Tunisie ». In journal des voyages, nouveaux série livraison n° 42-43. pp 484- 642.

Coll C., Galve J.M., Sánchez J.M., and Caselles V., (2010): «Validation of Landsat-7/ETM+ Thermal-Band. Calibration and atmospheric correction with ground-based measurements» In IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 48, no. 1. pp 547-555.

Cosinschi M., et Racine J.B., (1998) : « Les Concepts en géographie humaine ». In 4e Ed., A.S. Bailly et al. (Éd.), Masson, Paris. 36p.

Conchita M. G. Kedowide, (2010) : « Modélisation géomatique par évaluation multicritère pour la prospection des sites d'agriculture urbaine à Ouagadougou ». In VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 10, numéro 2.

Damette (1970) : Les migrations dans la région minière du sud, in Revue Tunisienne des sciences sociales, pp 175-206.

Dhieb M., (2012) : « Itinéraires et parcours, de la cartographie de repérage à la cartographie de décision ». In CERES. 262p.

Deshaies M., (2011) : « Grands projets d'exploitation minière et stratégie des firmes pour se rendre environnementalement acceptables ». In Espace Politique, DOI : 10.4000/ espacepolitique.2113 http://espacepolitique.revues.org/2113

Despois J., (1961) : « La Tunisie : ses régions ». Paris, Armand Colin (coll. « Section géographie » n°357), 224 p.

Dlala H., (1981) : « Les produits du sous-sol tunisien et leur impact économique et humain ». In Revue Tunisienne de Géographie, n°7. pp 49-88.

Dlala H., (1981b) : « Développement économique et action régionale en Tunisie ». In Revue Tunisienne de Géographie n°6. pp66-88.

Floret C., Le Floch E., et Pontanier R., (1986) « La désertisation en Tunisie présaharienne». In Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée, n°41-42. pp291-326.

Gadal S., (2008) : « Télédétections thermiques infrarouges des concentrations urbaines au Maroc ». In Cybergéo : European Journal of Geography, Cartography, Images, GIS, document 42. http://cybergeo.revues.org/18592

Galfati I., Essad B., Beji Sassi A., Abdallah A., and Zaïer A., (2011): «Accumulation of heavy metals in native plants growing near the phosphate treatment industry, Tunisia». Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 6 (2). pp 85-100.

Gharbi M., (2012) : « La politique régionale de transition en Tunisie ». In acte de colloque ASRDLF : Industrie, villes et régions dans une économie mondialisée. 9-11 Juillet, France.

Grasland C., (CIST) 2012 : « Collège international des Sciences du territoire ». In séminaire: territoires en actions. 29 et 30 novembre 2012, Université Paris Diderot, Paris 13e.

Hamed Y, Dassi L., Ahmadi R., and Ben Dhia H., (2008): « Geochemical and isotopic study of the multilayer aquifer system in the Moulares-Redayef basin, southern Tunisia». In Hydrological Sciences Journal, 53:6. pp 1241-1252.

Haydar A., (1996) : « Les régions sahariennes dans la politique d'aménagement du territoire ». In Revue Tunisienne de Géographie n°27. pp 143-165.

Haydar A., (2006) : « Les dynamiques régionales en Tunisie : de la régionalisation à la métropolisation ». In Revue Tunisienne de Géographie. pp11-42.

Hountondji Y.C., Ozer P., et Nicolas J., (2004) « Mise en évidence des zones touchées par la désertification par télédétection a basse résolution au Niger ». In Cybergeo : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage, document n° 291.

Jiang H., et Eastman J.R. (2000): « Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS». In International Journal of Geographical Systems, 14(2). pp 173-184.

Jimenez-Muñoz J.C., Sobrino, J.A., Plaza A., Guanter L., Moreno J., and Martinez P., (2009) « Comparison between Fractional Vegetation Cover Retrievals from Vegetation

Indices and Spectral Mixture Analysis: Case Study of PROBA/CHRIS Data Over an Agricultural Area». In Sensors 9, no. 2. pp768-793.

Kadhem Kilani M., (2015) : « Les SIGM et la politique d'investissement en Tunisie ». Premier Congrès International, I SEE GEOMATICS, Cartographie numérique et analyse spatiale des I SEE pour le DDLR. 25-26 Mars 2015, Tataouine-Tunisie.

Karaouli F. Zammouri M., Tarhounij., et Hamed Y., (2008) : « Etude hydrogéologique et impact de l'intensification de l'exploitation sur la qualité des eaux souterraines du bassin de Moularès-Redeyef (Sud-Ouest tunisien) ». In Revue Sécheresse ; vol.19 n°1. 5p.

Kassah A., (2002) : « Irrigation et développement agricole dans le Sud tunisien ». In Revue Méditerranée, Tome 99, 3-4-2002. Le sahara, cette «autre Méditerranée». pp. 21-26.

Labelle, F., and Aka, G., (2010) : « Le business case de la RSE adapté aux PME : 5 cas québécois ». In Entrepreneurial Practice Review, 1(3). pp 69-85.

Lagabrielle E., Metzger P., Martignac C., Lortic B., et Durieuxa L., (2007) : « Les dynamiques d'occupation du sol à la Réunion (1989-2002) ». In mappe monde n°86. 23p. http://mappemonde-archive.mgm.fr/num14/articles/art07205

Loska K., Wiechula D., Barska B., Cebula E., and Chojnecka A., (2003): «Assessment of arsenic enrichment of cultivated soils in Southern Poland ». In Pol. J. Environ. Stud. 2003; 12: pp 187-92.

Laurent E., (2009) : « Écologie et inégalités », Revue de l'OFCE 2009/2 (n° 109), p. 33-57. DOI 10.3917/reof.109.0033

Madureira H., Monteiro A., et Gois J., (2010) : « Utilisation des images Landsat 7 pour l'analyse de la distribution spatiale des températures à porto (Portugal). 23ème Colloque Internationale de Climatologie, Rennes 2010. 6 p.

Mohamed R., Ben Brahim A., and Taieb D., (2012) : « Atmospheric PM10 pollution in the mining basin of Gafsa (south-western of Tunisia): statistical analysis and cartography». In Geo Sciences Publications n°579. 13p.

Mohamed R., Taieb D., and Ben Brahim A., (2013): « Geostatistical characterization of Hydrogen sulfide (H2S) in industrial area, Mdhilla (mining basin of Gafsa, south-western of Tunisia) ». In Acte de Colloque Geotunis 2013. 8p.

Mohamed R., Taieb D., and Ben Brahim A., (2014) : « Chemical and Mineralogy Characteristics of Dust Collected Near the Phosphate Mining Basin of Gafsa (South-Western of Tunisia) ». In J. Environ Anal Toxicol Volume 4, Issue 6, 1000234. 11p.

Moret L., (1930) : « Les ressources minérales et les mines du Maroc français ». In Revue de Géographie Alpine. Tome 18, N°2. pp. 261-302.

Rérat P., (2006), « Mutations urbaines, mutations démographiques. Contribution à l'explication de la déprise démographique des villes-centres », Revue d'Économie Régionale & Urbaine 2006/5. pp 725-750.

Rousseaux V., (1999) : « Disparités des strates urbaines et de la distribution hiérarchique des villes dans trois pays du Maghreb ». In: Méditerranée, Tome 91, 1-2-1999. Littoralisation et disparités spatiales Machrek Maghreb. pp. 107-111.

Rozenstein O., Qin Z., Derimian Y., and Karnieli A., (2014): « Derivation of Land Surface Temperature for Landsat-8 TIRS Using a Split Window Algorithm». In Sensors 2014, n°14. pp 5768-5780.

Saaty, T.L. (1977): « A scaling method for priorities in a hierarchical structure». In Journal of Mathematical Psychology, 15. pp 234–281.

Salais R., (1976) : « La mesure du chômage dans l'enquête emploi ». In Economie et statistique, N°54. pp. 3-17.

Salhi B., et Dhieb M., (2012) : « Etude de réseau d'assainissement des eaux usées dans la ville de Gafsa à l'aide d'un outil SIG ». In communication au Colloque International : Conférence Francophone ESRI "SIG 2012", Versailles (France) 3 et 4 Octobre 2012. 13p.

Salhi B., Djellouli Y., Dhieb M., et Messner F., (2014) : « Localisation des zones affectées par la pollution minière à l'aide des Systèmes d'Information Géographique couplés avec l'Analyse multicritère. Cas du bassin minier de Gafsa (Sud-Ouest de la Tunisie) ». In communication à la conférence : Géomatique et cartographie, une vision prospective, Orléans (France) 2-3 Juillet 2014. 14p.

Salhi B., et Dhieb M., (2014b) : « Impact des exploitations minières sur l'évolution spatiale de la ville de Mdhilla : Approche cartographique ». In communication au Colloque International : L'information géographique et le monde changeant, Sfax (Tunisie) 19-21 Juin 2014. 12p.

Salhi B., Djellouli Y., Dhieb M., et Messner F., (2015) : « Pollution minière et variation thermique de surface. Etude de cas : le rejet Sebseb (sud-ouest Tunisie) ». In communication au Colloque International: First International Congress "I SEE GEOMATICS". Mapping and spatial analysis of Socio-Economic and Environmental Indicators (ISEE) for Sustainable Development Local and Regional (DDLR), Tataouine (Tunisie) 25-26 Mars 2015. 12p.

Salhi B., et Dhieb M., (2015b) : « Les énergies renouvelables en Tunisie (Approche cartographique) ». In communication (poster) au Colloque International: In First International Congress "I SEE GEOMATICS". Mapping and spatial analysis of Socio-Economic and Environmental Indicators (ISEE) for Sustainable Development Local and Regional (DDLR), Tataouine (Tunisie) 25-26 Mars 2015.

Salhi B., Djellouli Y., Dhieb M., et Messner F., (2015c) : « Etude diachronique de l'évolution spatial des exploitations minières par la méthode orienté objet et segmentation manuel des images LANDSAT multi-dates: étude de cas Bassin Minier de Gafsa (Sud-Ouest Tunisie) ». In communication (poster) au Colloque International: "27th International Cartographic Conference (ICC 2015), Maps Connecting to Word, Rio de Janeiro (Brazil) 23-28 Août 2015.

Salhi B., Dhieb M., et Djellouli Y., (2016) : « Cartographie de la situation socio-économique du Bassin Minier de Gafsa après la révolution ». In CERES, Journée d'étude : La cartographie de la révolution Tunisienne, Tunis, CERES 7, Septembre 20116.

Salhi B., Dhieb M., et Djellouli Y., (2016b) : « Epandage minier et dégradation de la couverture végétale dans le Bassin Minier de Gafsa (Sud-Ouest Tunisie) ». In communication (poster) au Colloque International: Second Edition of the International Conference Integrated Environmental Management for Sustainable Development (ICIEM 2016), Sousse (Tunisie), 27-30 Octobre. Published by Springer ISSN (1737-3638), Volume 3: Environmental and Health Risk Assement.

Shelley A. Minns., James A. Kipp., Daniel I. Carey., James S. Dinger., and LYLE V.A. SENDLEIN., (1995): « Effects of long wall mining on hydrogeology Leslie County, Kentucky : pre-mining conditions». In University of Kentucky, Lexington. 44 p.

Signoles P., (2006) « La Tunisie, pionnière et fragile ». In Troin J.-F. (dir.), Le Grand Maghreb (Algérie, Lybie, Maroc, Mauritanie, Tunisie), Mondialisation et construction des territoires, Paris, Armand Colin (coll. « U Géographie »). pp 181-210.

Simard M., et Brisson C., « L'industrie minière et le développement urbain en milieu nordique : l'exemple de Fermont au Québec », Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Espace, Société, Territoire, document 637,

Sobrino J.A., Jimenez-Munoz J.C., and Paolini L., (2004): « Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5». In Remote Sensing of Environment, 90(4). pp 434-440.

Sobrino J.A., Jimenez-Munoz, J.C., Soria G., Romaguera M., GUANTER L., and MORENO J., (2008) : « Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors». In IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 46(2).pp 316-327.

Taamallah M. (1986) : « L'urbanisation et ses conséquences sur les structures socio-démographique en Tunisie ». In Revue Tunisienne des Sc. Sociales n°84/87. pp 377-396.

Tayeb A. (2008) : « Mutations urbaines dans les régions d'exploitation minière au Maghreb. Le cas du Sud tunisien ». (Langue Arabe). In Revue Algérienne d'Anthropologie et de sciences sociales n° 42 | 2008 : Territoires urbains au Maghreb. pp 31-59.

Thomas F., (2013) : « Editorial, exploitation minière au Sud : enjeux et conflits ». In Alternatives Sud, vol. 20-2013 / 7. 22p.

Weng Q. Fu P., and Gao F., (2014): « Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data». In Remote Sensing of Environment (Science Direct), volume145. pp 55–67.

▪ Thèses et Mémoires

Adidi A., (1986) :« Espace minier et formes de croissance urbaine dans le bassin phosphatier de Khouribga ». Thèse en Géographie, Université Jean Moulin, Lyon III, 810 p.

Ahmadi R., (2002) : « Caractérisation morpho-structurale et modélisation des structures plissées dans l'Atlas méridional Tunisien ». Mémoire de DEA, Université de Sfax, 111p.

Sassi A., (1984) : « Pétrographie, Minéralogie et Géochimie des sédiments phosphatés de la bordure de I'lle de Kasserine (Tunisie). Thèse 3éme cycle, Université d'Orléans. 230p.

Belayouni H., (1983) : « Etude de la matière organique dans la série phosphaté du bassin de Gafsa-Métlaoui (Tunisie). Application et compréhension des mécanismes de la phosphatogenèse. Thèse de Doctorat en Sciences. Université d'Orléans.

Bensaid A., (2006) : « SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la Wilaya de Naâma (Algérie) ». Thèse de Géographie Université Joseph Fourier-Grenoble 1. 318p.

Bordin P., (2006) : « Méthode d'observation multi-niveaux pour le suivi de phénomènes géographiques avec un SIG ». Thèse en Sciences de l'Information Géographique, l'Université de Marne-La-Vallée. 283 p.

Chaabani F., (1995) : « Dynamique de la partie orientale du bassin de Gafsa au Crétacé et au Paléogène. Etude minéralogique et géochimique de la série phosphatée éocène. Tunisie méridionale ». Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Tunis1.

Chakhar S., (2006) : « Cartographie décisionnelle multicritère : formalisation et implémentation informatique ». Thèse en Informatique, Université Dauphine, Paris. 300p.

Chandoul S., (1994) : « La région de Gafsa (Tunisie) : Problématique des fondements du développement ». Thèse en Géographie, Faculté 9 Avril 1938 Tunis. 369p.

Chokri A., (2003) : « Impact des rejets des laveries de phosphates sur la distribution des métaux lourds à l'interface sol-plantes dans la région de Métlaoui ». DEA en Géologie appliquée à l'Environnement. Université El Manar (F.SC. Manar). 140 pages.

Collon P., (2003) : « Evolution de la qualité de l'eau dans les mines abandonnées du bassin ferrifère lorrain. De l'expérimentation en laboratoire `à la modélisation in situ ». Thèse de doctorat en Génie Civil - Hydrosystèmes – Géotechnique, Institut National Polytechnique de Lorraine. 248 p.

Conchita M. G. Kedowide, (2006) : « SIG et analyse multicritère pour l'aide à la décision en agriculture urbaine dans les pays en développement, cas de Ouagadougou au Burkina Faso ». Thèse en Aménagement de l'espace, Urbanisme, Universités Paris 8. 301 p.

Corgne S., 2004, Modélisation prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif : application à la couverture hivernale des sols en Bretagne, Thèse de doctorat en Gééographie, Université Haute-Bretagne, Rennes. 213 p.

De Runz C., (2008) : « Imperfection, temps et espace : modélisation, analyse et visualisation dans un SIG archéologique. Thèse de doctorat en Informatique, Université de Reims Champagne-Ardenne. 230p.

Diallo L. (2014) : Industrie minière: enjeux et perspectives de développement durable en Afrique Subsaharienne, cas de la république de Guinée. Thèse de doctorat en Sciences économiques. Université Hassan 1er. 448p.

Eckert C., (1991): « Une Ville Autrefois Minière: La Grand-Combe. Etude d'Anthropologie». Thèse de doctorat en Sciences Humaines, Université Paris V, Sorbonne. 782 p.

Es-Samti A., (1996) : « Le rôle de l'exploitation minière dans les transformations du plateau Ourdigha (Province de Khouribga, Maroc) ». Thèse de Géographie, Université de Poitiers, France. 577p.

Galfati I., (2010) : « Etude des phosphates du Jbel Oum El Khecheb et Impact des rejets de l'industrie phosphatière sur l'environnement dans le Bassin de Gafsa-Métlaoui ». Thèse en Géologie appliquée à l'environnement. Université de Tunis-Manar. 147p

Ghorbel Ben Abid M., (2012) : « Contamination métallique issue des déchets de l'ancien site minier de Jebel Ressas : modélisation des mécanismes de transfert et conception de cartes d'aléa post-mine dans un contexte carbonaté et sous un climat semi-aride. Evaluation du risque pour la santé humaine ». Thèse de doctorat en Hydrologie, Hydrochimie, Sol et Environnement. Université de Toulouse III - Paul Sabatier. 233p.

Gouasmia M., (2008) : « Caractérisation de la géométrie des aquifères alluvionnaires néogène sableux et crétacé carbonate du bassin de Gafsa par les méthodes géophysiques ». Thèse de doctorat en Sciences Géologiques, Université de Sfax. 252p.

Hamed Y., (2009) : « Caractérisation hydrogéologique, hydrochimique et isotopique des systèmes aquifères du synclinal de Moularès-Tamerza (Sud-ouest tunisien) ». Thèse en Géologie, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS)-Tunisie. 217p.

Hamzaoui S., (1970) : « Conditions et genèse de la conscience ouvrière en milieu rural, cas de mines du Sud de la Tunisie ». Thèse de doctorat de troisième cycle, Sociologie, Paris.

Hanin Y., (2004) : « Mutations spatiales et recompositions territoriales : les processus territoriaux dans le cas de Court-Saint-Etienne (Belgique) ». Thèse de Architecture Urbanisme et Développement Territorial. Université catholique de Louvain. 290 p.

Joerin F., (1997) : « Décider sur le territoire : proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthode d'analyse multicritère. Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 269p.

Karaouli F., (2013) : « Elaboration d'un outil d'aide à la décision pour la gestion des ressources en eau du bassin minier de la ville de Gafsa pour un développement durable ». Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Université de Carthage. 183p.

Khiari I., (2009): « Valorisation des rejets de phosphate du Bassin phosphaté de Gafsa-Métlaoui ». Mastère en Géosciences Appliquées aux Ressources et Environnements Naturels. Faculté des Sciences de Sfax. 135 p.

Machault J., (2012) : Paramètres minéralogiques et microtexturaux utilisables dans les études de traçabilité des minerais métalliques. Thèse en Sciences de la Terre et de l'Atmosphère. Université d'Orléans. 389 p.

Morel, J.L. (1985) : « Contribution à l'étude du transfert des métaux lourds dans le système sol-plante : le rôle des mucilages racinaires ». Thèse de doctorat d'Etat Sciences, Institue National Polytechniques de Lorraine, Nancy, France, 155p.

Ounis A., (2002) : « Caractérisation environnementale de la région de Mdhilla (Bassin Gafsa Sud). Etude des rejets de l'usine de Mdhilla et des laveries de la compagnie de phosphate de

Gafsa ». DEA de Géologie Appliquée à l'Environnement. Université Tunis El Manar, Faculté des Sciences de Tunis. 109p.

Pascu G., (2015). Le patrimoine industriel - minier Facteur de d´développement territorial : Complexité et enjeux en Roumanie, en comparaison avec la France et la Grande-Bretagne. Thèse de doctorat en Histoire. Université Jean Monnet - Saint-Etienne, 2015.

Plumejeaud C., (2011) : Modelés et méthodes pour l'information spatio-temporelle évolutive. Thèse en Informatique, Université de Grenoble. 331p.

Rabia M.C. (1998) : « Systèmes d'informations géo-scientifiques et télédétection multicapteurs : Application à une étude multi-thèmes de la Jeffara orientale ». Thèse, Faculté des Sciences de Tunis, 320 p.

Robin P., (2009) : « Evaluation à différentes échelles de la performance de systèmes de traitement passif pour des effluents fortement contaminés par le drainage minier acide. Thèse. Rouyn-Noranda, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Sciences appliquées, 367 p.

Sahsah M., (1996) : « Naissance et développement d'une ville minière marocaine : Khouribga ». Thèse de doctorat en Histoire : Université Jean Monnet Saint-Etienne. 334p.

Said A., (2011) : « Contribution à l'élaboration d'une base de données par l'outil SIG du site de la GCT du Mdhilla et propositions des solutions de remédiation aux problèmes environnementaux ». Mastère en Ecotechnologie, Université de Tunis Manar. 61 p.

Salhi B., (2011) : « Etude de réseau d'assainissement des eaux usées dans la ville de Gafsa à l'aide d'un outil SIG ». Mémoire de mastère en Géographie, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Sfax, Tunisie. 172p.

Samaali H., (2011) : « Etude de l'évolution de l'occupation et de l'utilisation du sol dans le Delta de Mejerda par télédétection et systèmes d'informations géographiques ». Thèse de Doctorat en Géographie, Université de Tunis. 390 p.

Sassi S., (1974) : « La sédimentation phosphatée au Paléocène dans le sud et le centre Ouest de la Tunisie ». Thèse. Es –Sciences, Université de Tunis. 380p.

Sghari A.J., (1991) : « Sédimentation et morphogenèse au néogène quaternaire en Tunisie méridionale ». Thèse de Doctorat en Géographie, Université Louis Pasteur Vol I. 221p.

Smida H., (2008) : « Apports des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) pour une approche intégrée dans l'étude et la gestion des ressources en eau des systèmes aquifères de la région de Sidi Bouzid (Tunisie centrale) ». Thèse de doctorat en Sciences Géologiques (Facultés des Sciences de Sfax). 341p.

Tababi H., (1993) : « Le mouvement syndical des mines de Gafsa (1936-1956) ». DSS en histoires, Université Tunis I, Faculté des Sciences Humaines et Sociales. 337p.

Zargouni F. (1985) : Tectonique de l'Atlas méridional de Tunisie. Evolution géométrique et cinétique des structures en zones de cisaillement. Thèse d'état à l'Institut de Géologie de Strasbourg.

Listes des figures, des tableaux et des photographies

Liste des cartes

Carte 1: Présentation du gouvernorat de Gafsa et ses délégations 28
Carte 2 : Phases de construction des lignes ferroviaires entre le BMG et le littoral 30
Carte 3 : Localisation des infrastructures minières 33
Carte 4 : BMG, Analyse en Composantes Principales (ACP) d'une image satellitale (04-03-2015) ... 67
Carte 5 : Accumulation de la série phosphaté Algéro-Tunisienne 71
Carte 6 : Paléogéographe du bassin tunisien à l'Eocène inférieur..... 72
Carte 7: Les bassins phosphatés de la Tunisie entre 1900 et 1930..... 72
Carte 8 : Djebel Thelja, localisation de premier site d'extraction de phosphate 73
Carte 9: Limite de la série phosphater de Gafsa 75
Carte 10: Le gouvernorat de Gafsa : fluctuations des limites administratives 77
Carte 11 : Etage bioclimatique de la région minière de Gafsa 80
Carte 12 : Carte structurale de la zone d'étude..... 84
Carte 13 : Orographie du bassin minier de Gafsa..... 85
Carte 14 : Variation de la superficie de Garaât Douza à l'aide des images Landsat 87
Carte 15 : Ressources en sol dans le bassin minier de Gafsa 88
Carte 16 : Les principaux bassins versants qui englobent le bassin minier de Gafsa..... 90
Carte 17 : Carte des nappes phréatiques de la région minières de Gafsa 96
Carte 18 : Carte des nappes profondes de la région minière de Gafsa 99
Carte 19 : Genèse des villes minières du BMG..... 104
Carte 20 : Présentation du site de la ville de Métlaoui 106
Carte 21 : Genèse de la ville de Métlaoui..... 109
Carte 22 : Armature de la ville de Métlaoui 111
Carte 23: Présentation du site de Rdeyef..... 114
Carte 24: Genèse de la ville de Rdeyef 118
Carte 25 : Armature urbaine de la ville de Rdeyef 119
Carte 26 : Présentation de la ville de Moularès 122
Carte 27 : Genèse de la ville de Moularès..... 125
Carte 28 : Armature urbaine de la ville de Moularès 127
Carte 29 : Présentation de la région urbaine de Mdhilla 129
Carte 30 : Genèse de la ville de Mdhilla 131
Carte 31 : Les acteurs des constructions dans la ville de Mdhilla 133
Carte 32 : Typologie des habitats de la ville de Mdhilla 135
Carte 33 : Densité de la population par secteur en 2014 138
Carte 34 : Analyse multicritère des deux approches (sans et avec la température de surface) Cartographie à l'échelle régionale..... 144
Carte 35 : Analyse multicritère par deux méthodes multicritère (WLC et OWA) :..... 145
Carte 36 : Analyse multicritères des villes à risques miniers (méthode WLC)..... 147
Carte 37 : Différence entre schéma proposé et schéma réalisé lors de l'implantation de la ville de Mdhilla 149

Carte 38 : Infrastructures minières de la ville de Métlaoui 150
Carte 39 : Infrastructures minières de la ville de Rdeyef 152
Carte 40 : Infrastructures minières de la ville de Moularès..... 153
Carte 41 : Infrastructures minières de la ville de Mdhilla 155
Carte 42: Risque d'inondation dans la ville de Métlaoui 157
Carte 43 : Risque d'inondation dans la ville de Mdhilla 159
Carte 44 : Diffusion des rejets miniers dans le réseau hydrographique Moularès-Rdeyef 161
Carte 45 : Evolution de la circulation routière (1987-2012) 177
Carte 46 : Classification des villes minières..... 178
Carte 47 : Projets réalisés par l'API dans le gouvernorat de Gafsa en 2014 200
Carte 48 : Evolution spatio-diachronique des composantes minières à ciel ouvert..... 227
Carte 49 : Diffusion spatiale des déchets miniers par rapport au réseau hydrographique..... 229
Carte 50 : Localisation du rejet Sebseb 234
Carte 51 : Variation chrono-thermique du rejet Sebseb (2003-2014) 236
Carte 52 : Localisation des échantillons dans le rejet Sebseb 237
Carte 53 : Corrélation entre température de surface et niveau de pollution du sol (même échelle et étendue spatiale) 239
Carte 54 : Localisation des échantillons 241
Carte 55 : Variation chrono spatial des polluants boueux dans le rejet Sebseb 243
Carte 56 : Localisation du rejet Mdhilla..... 244
Carte 57 : Variation chrono-thermique du rejet Mdhilla (2003-2015) 246
Carte 58 : Localisation des échantillons dans le rejet Mdhilla 247
Carte 59 : Corrélation entre température de surface et niveau de pollution du sol (même échelle et étendue spatiale) 249
Carte 60 : Corrélation entre l'indice de végétation (NDVI) et le domaine minier (La spatio-carte NDVI est en premier plan) 261
Carte 61 : Impact des exploitations minières sur la vulnérabilité de sol dans le BMG 264
Carte 62 : Concentration quotidienne (journalière) et annuelle des PM10 ($\mu g/m^3$) 270
Carte 63 : Répartition spatiale des enquêtés dans la ville de Mdhilla 271
Carte 64 : Localisation des zones agricoles touchées par les exploitations minières avec divers zones tampons 277
Carte 65 : Prélèvement existant de la CPG 282
Carte 66 : Proposition la mise en place du réseau d'adduction des eaux usées..... 286
Cartes 67 : Distances de standardisation 320
Carte 68 : Vulnérabilité à l'érosion dans le BMG sans intervention du domaine minier..... 335
Carte 69 : Carte des zones tampons par rapport aux exploitations minières 339

Liste des tableaux

Tableau 1 : Gouvernorat de Gafsa ; les toponymes originaires et leur modification 79
Tableau 2 : Variation de la superficie de Garaât Douza Source..... 86
Tableau 3 : situation foncière des terres dans le BMG en ha 139
Tableau 4: Distribution des établissements commandés selon les villes..... 170
Tableau 5 : Exemple des indices de développement régional en 2012 171
Tableau 6: IDR des délégations minières..... 173
Tableau 7 : Infrastructure sanitaire dans le secteur public 174
Tableau 8 : Variation des paramètres de la loi de Rang-taille des systèmes urbains régionaux dans le BMG..... 179
Tableau 9 : localisation des principales administrations minières 181
Tableau 10 : Décomposition des indices de compétitivité de la région minière de Gafsa 195
Tableau 11 : Répartition des projets réalisés par le FRDCM entre (2007 et 2014)..... 197
Tableau 12 : Bilan des rejets de boues dans le milieu récepteur 228
Tableau 13 : Comparaison entre sol témoin et sols polluées par les exploitations minières (en ppm) 253
Tableau 14 : Facteur et degré de contamination des éléments traces dans la région de rejet Sebseb . 254
Tableau 15 : Comparaison des échantillons avec sol témoin (unité : mg/kg) 257
Tableau 16: Facteur et degré de contamination des éléments traces dans le rejet de Mdhilla 258
Tableau 17: Volume et nature des eaux usées dans le BMG (Mm^3) 285
Tableau 18 : Règles de standardisation des distances pour chaque critère (unité de mesure en m).... 314
Tableau 19 : Valeurs de poids pour les différents facteurs..... 315
Tableau 20 : Matrice de pondération (ou cohérence); importance relative des facteurs les uns par rapport aux autres 316
Tableau 21 : Qualités bactériologiques des boues en aval de laverie Métlaoui II, 25 Janvier 2015 ... 327
Tableau 22 : Quantité approximative du cadmium dans les roches phosphatées commercialisées 333
Tableau 23 : BMG, Phytoextraction des plantes par le domaine minier..... 336
Tableau 24 : Variation de la distance euclidienne des cultures par rapport au domaine minier (en %) 339

Liste des figures

Figure 1 : Méthodologie adoptée pour la mise en œuvre d'un projet SIG-Minier 26
Figure 2 : Chronologie de la firme minière du bassin minier Tunisien 32
Figure 3: Les acteurs dans le BMG 39
Figure 4 : Phénomène géographique représenté par une série de mutations 42
Figure 5: Principe de localisation des populations en fonction des activités minières 45
Figure 6 : Morphologies des villes minières 47
Figure 7: Le modèle des villes minières 48
Figure 8 : Phytodisponibilité des éléments en traces dans les sols 53
Figure 9 : Production et transfert de Drainage Minier Acide (DMA) 55
Figure 10: Les composantes d'un Système d'Information Géographique 60
Figure 11 : Prise en compte de l'incertitude dans un processus de modélisation d'un phénomène 65
Figure 12: Résolution spatiale des images satellitaires et échelles de restitutions cartographiques 66
Figure 13 : Méthodologie de calcul de l'indice de la végétation NDVI 69
Figure 14 : Principe de cartographie multi-échelle 76
Figure 15 : Pluviométrie annuelle moyenne dans la région minière de Gafsa (1981-2015) 81
Figure 16 : Diagramme ombro-thermique (1981-2015) 82
Figure 17 : Rose des vents annuels pour la période (1950-1980) et (1981-2011) 83
Figure 18 : Débits de crues (m^3/s) pour différentes périodes de retour 92
Figure 19 : Rabattement (en m) du niveau des forages du bassin Moularès-Rdeyef entre 1976 et 2016 94
Figure 20 : Bassin Minier du Gafsa : une représentation dichotomique 140
Figure 21 : Niveau de pollution des villes minières, élaboration personnelle 147
Figure 22 : Investissements publics moyens par plan et région en millions de Dinars (MD) 169
Figure 23 : Revenus et dépenses des villes minières en 2014 (milles Dinars) 173
Figure 24: Variation de la hiérarchie urbaine des villes minières entre, 1970 et 2016 176
Figure 25 : Variation de la production de phosphate dans le BMG (1900-2016) 188
Figure 26 : GCT, production par mois en 2014 (en milles tonnes) 189
Figure 27 : Evolutions des exportations en tonne 190
Figure 28 : Répartition annuelle des exportations sous le régime général selon les principaux secteurs d'activités (2001-2015) 191
Figure 29 : Résultat annuel des revenus nets collectés des ventes entre (2003-2012) en MD 192
Figure 30: Dualité induite par le secteur minier, désarticulation ville/campagne dans la région minière de Gafsa 193
Figure 31 : Classification des projets réalisés dans le gouvernorat de Gafsa par la méthode Analyse en Composante Principale 197
Figure 32.a. : Total des investissements (MD) dans le BMG, projets réalisés et emplois créés par le BTS entre 2007et 2014 198
Figure 33 : Répartition de la population active occupée selon le secteur d'activité en 1970 202
Figure 34 : Structure de la population active dans le gouvernorat de Gafsa en 2014 203
Figure 35 : BMG, structure de la population active par secteur en (%) 204
Figure 36 : Evolution de l'effectif minier de la CPG 206
Figure 37 : Description des enquêtés à l'échelle du BMG 209
Figure 38 : Niveau éducatif par sexe dans le BMG 210
Figure 39 : Croisement entre sexe et principales spécialités des diplômés 211

Figure 40 : Evolution du nombre des enquêtés ayant profités d'une formation professionnelle 211
Figure 41 : Durée de formation en mois en fonction d'une étude diachronique 212
Figure 42 : Répartition de la subvention par tranche d'âge 212
Figure 43 : Nombre de chômeurs et employés par famille 213
Figure 44 : Croisement entre travail temporaire et niveau Educatif 214
Figure 45 : Croisement de l'idée de création d'un projet avec les tranches d'âges 215
Figure 46 : Contrainte de réalisation d'un projet dans le BMG 215
Figure 47 : CPG et gestion de problème de chômage dans le BMG 216
Figure 48 : CPG et gestion de problème de chômage par ville minière 217
Figure 49 : Croisement entre taux d'acceptation de travailler en dehors de la CPG et le niveau éducatif 218
Figure 50 : Contribution de la CPG dans le développement à l'échelle des villes minières 219
Figure 51 : Évaluation la performance des autorités à résoudre le problème de chômage avant et après la révolution 220
Figure 52: Croisement vision sur l'avenir avec d'autres questions 221
Figure 53 : Evolution spatiale des composantes minières (en km^2) 226
Figures 54 : Corrélation entre la pollution du sol et la température de surface 240
Figure 55 : Corrélation entre la pollution du sol et la température de surface 250
Figure 56: Comparaison des sols pollués par les exploitations minières (en ppm) avec les Normes Tunisiennes (NT 09.04) dans le rejet Sebseb 252
Figure 57 : Corrélation entre les polluants par la méthode ACP 255
Figure 58 : Comparaison des sols pollués par les exploitations minières (en mg/kg) avec les Normes Tunisiennes (NT. 09 de 2004) dans le rejet de Mdhilla 256
Figure 59 : Précipitations mensuelles en 1987 et 2015 à la station de Métlaoui 260
Figure 60 : Températures mensuelles à la station de Gafsa-Métlaoui en 1987 et 2015 260
Figure 61 : Volume de sols déplacés par la CPG dans le BMG (Millions de Tonnes) 265
Figure 62 : Comparaison des échantillons avec les normes européenne et d'OMS 269
Figure 63 : Niveau de pollution atmosphérique par une année 272
Figure 64 : Impact des Compagnies minières sur la pollution atmosphérique dans la région de Mdhilla 272
Figure 65 : Principales maladies causées par le domaine minier dans la région de Mdhilla 273
Figure 66 : Exploitation des nappes par le GCT (en milles m^3) entre 2000 et 2015 283
Figure 67 : Volume des eaux usées issues de la STEP Gafsa en 2016 284
Figure 68 : Standardisation des couches 314
Figure 69 : Approche méthodologique pour la modélisation spatiale des zones minières polluées ... 317
Figure 70 : Intervalle de variation de l'indice de réflectance l'image (-10 et 2,2). La réflectance des exploitations minières varient entre (-0,7 à 1) 322
Figure 71 : Différence entre image en mode fausse couleur et images en indice de différence normalisé, La coloration verte présente la couverture minière à ciel ouvert. 322
Figure 72 : Délimitation de la couverture minière à ciel ouvert 322
Figure 73 : Modélisation diachronique de l'évolution spatiale des exploitations minières à l'aide des images LANDSAT multi-dates 323
Figure 74 : Analyse qualitative de boues rejetées en aval des laveries 327
Figure 75 : Résultat de calcul en ligne de la Transmittance (t=0.69), Upwelling Radiance (Lu= 2.61) et downwelling Radiance (Ld= 4.17) 329

Figure 76: Approche méthodologique pour le calcul de la température de surface des images LANDSAT multi-dates 330
Figure 77 : Classification de l'activité érosive par délégation 334
Figure 78 : Sensibilité à l'érosion par délégation (en ha)..... 334

Liste des photos

Photo 1 : Plaine de Métlaoui-Rdeyef (22 km à l'est de la ville de Moulares) 86
Photo 2: Métlaoui, Tennis et Terrain de Jeux (1928) 103
Photo 3 : Rdeyef, La Salle des Fêtes (1922) 103
Photo 4 : Noyau urbain de la ville de Métlaoui 107
Photo 5 : Habitats construits par la CPG de type colonial (Cité Ennasr). 112
Photo 6 : Vue générale de la ville de Rdeyef (1960), ... 116
Photo 7: Extension urbaine au nord de ville, vers la ville de Moularès 117
Photo 8 : Cité "Village" à l'état actuel 120
Photo 9: Mine de Moularès, le village arabe (1937) 124
Photo 10: Infrastructure minière de Métlaoui et problème d'urbanisation 151
Photo 11 : Infrastructure minière de Rdeyef et problème d'urbanisation 152
Photo 12 : Infrastructure minière de Moularès et problème d'urbanisation 154
Photo 13 : Infrastructure minière de Mdhilla et problème d'urbanisation 156
Photo 14 : Aménagement Oued Métlaoui 158
Photo 15 : Expansion des déchets miniers dans le réseau hydrographique du Moularès-Rdeyef 163
Photo 16 : Subversion des équipements de la GCT 219
Photo 17 : Traces des mammifères en contacts directes avec les rejets toxiques (rejet Sebseb) 231
Photo 18. : Rejet Sebseb et rejet Mdhilla 232
Photo 19 : Rejet Sebseb, débordement des eaux boueuses 235
Photo 20 : Echantillonnage et analyse de la matière organique dans le rejet Sebseb 241
Photo 21.2. : Comparaison entre une zone non soumise et zone soumise aux épandages des rejets miniers au nord des Laveries Mdhilla 262
Photo 22 : Exemple des plantes polluées par les exploitations minières 263
Photo 23 : Impact des mines sur la dégradation des ressources en sol 266
Photo 24 : Impact de rejets des laveries sur la région de Mdhilla 267
Photo 25 : Epandage des rejets du GCT dans le réseau hydrographique 268
Photo 26 : Citoyen de Mdhilla, excès de fluor au niveau de la dentition 274
Photo 27 : Sit-in des agriculteurs de Sègdoud contre la CPG 276
Photo 28 : Neguez et Sègdoud: comparaison entre région non touchée et région touchée par les rejets miniers 278
Photo 29 : Mziraâ, Métlaoui : périmètres irrigués avant et après l'épandage minier 278
Photo 30 : Edification des digues de protection des zones agricoles contre l'épandage minier 279
Photo 31 : Problème de pénurie de l'eau potable dans la ville de Moularès 281
Photo 32 : Arrosage des terrains à proximité des forages de Tarfaoui, ... 283
Photo 33 : Vérification de niveau de pollution des zones agricoles Tebedditt avec les responsables de la CES 338

Annexes

Annexe 1 : SIG-AMC, SIG et AMC outil d'aide à la décision

La modélisation et l'analyse multicritère des données ont été utilisées pour mettre en évidence et localiser spatialement les zones urbaines les plus touchées par les exploitations minières. Pour le cas de l'identification de ces sites, nous avons adopté la démarche AHP (Analytical Hierarchy Process) de Saaty T.L., (1977) qui se justifie par divers éléments. D'abord, c'est un outil souple et facilement compréhensible pour résoudre les problèmes non structurés tel que la problématique multidisciplinaire et multi-acteurs. Ensuite, la démarche AHP se distingue par sa façon d'établir un poids à chaque critère. Ces poids sont déterminés à partir d'une série de comparaisons par paires de facteur et pour produire des coefficients de pondération standardisés dont la somme est égale à 1. Finalement, l'approche relative à la sommation des poids se trouve facile à implémenter dans un environnement SIG permettant la modélisation cartographique des données. Les principales étapes de l'AMC, déjà définies en détail par Conchita M. G. Kedowide (2010), sont la catégorisation des couches critères en facteurs, la standardisation des facteurs (transformation des unités d'origine en indice équivalent en terme d'aptitude) par recours à des fonctions d'appartenance de la logique floue (Fuzzy) et la pondération des facteurs par un poids de chaque couche (ou facteurs) (AHP Weight Derivation) et leur agrégation pour obtenir la carte d'aptitude.

Les données collectées (cartes, enquête, images satellitales) ont été traitées et analysées grâce aux fonctionnalités du logiciel Arc GIS (acquisition, analyse spatiale et thématique) pour l'élaboration de la base de données. L'utilisation de la technique d'agrégation complète requiert l'emploi des critères (facteurs et contraintes) qui renforcent ou réduisent la pertinence d'une alternative particulière avec notre but à atteindre.

L'étape la plus importante pour la modélisation des données est celle qui consiste à identifier les différents critères (facteurs) susceptibles d'être pris en considération par l'Analyse

Multicritère (Chakhar S., 2006). Les principales étapes de l'analyse multicritère, réalisées sous le logiciel IDRISI V17, sont ;

- La normalisation (standardisation) des facteurs par recours à des fonctions d'appartenance de la logique floue (Fuzzy) et la détermination de seuil de risque (figure 68); la pondération des facteurs par un poids attribué à chaque couche (tableau 18) par la méthode de (AHP Weight Derivation).

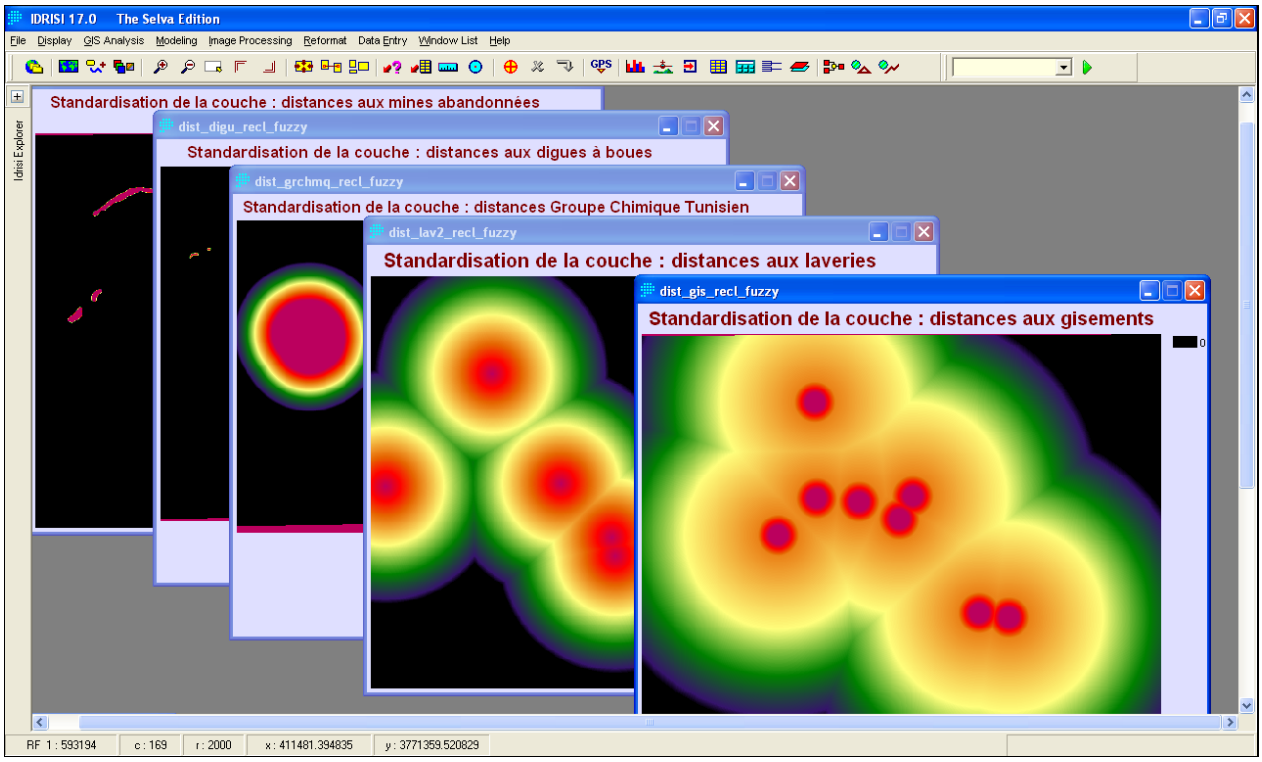


Figure 68 : Standardisation des couches, Salhi B., (2014)

Tableau 18 : Règles de standardisation des distances pour chaque critère (unité de mesure en m), Salhi B., (2014)

Distances aux digues à boues 0 à 120= fort risque 120 à 200= risque négligeable	Distance au gisement 0 à 1500 = Fort risque 1500 à 3300= Moyen risque 3300 à 15000 = faible risque 15000 à 30000 = risque négligeable	Distance au Groupe Chimique Tunisien 0 à 5000 = Fort risque 5000 à 7300 = Moyen risque 7300 à 9000 = Faible risque 11000 = risque négligeable
Distances aux mines abandonnées 0 à 100= fort risque 120 à 200= risque négligeable	Distances aux laveries 0 à 800 = Fort risque 800 à 1400= Moyen risque 1400 à 3200 = Faible risque 3200 à 5000 = négligeable risque	

Pour la deuxième analyse, la température de surface a été considérée aussi pour affiner la localisation spatiale des résidus miniers. Il est à noter que pour l'analyse multicritère n'employant que les rasters de distance, les couches décrivant un phénomène de même nature c'est-à-dire une distance exprimée en mètres (figure 68). Cependant, lors de la seconde analyse, nous avons combiné des données de natures différentes ; il est donc indispensable d'avoir recours à une normalisation. Pour faciliter la comparaison, nous avons finalement appliqué la normalisation des facteurs pour les deux analyses.

a) Construire la hiérarchie : nous devons déterminer les différents niveaux hiérarchiques et choisir les critères à chaque niveau. La comparaison s'effectue selon les critères de niveau équivalent (tableau 19). Par exemple pour étudier la pollution des infrastructures industrielles, nous pouvons décomposer le thème en différents critères (Laverie, gisement, mine abandonnées…). De plus ces critères peuvent être décomposés en sous-critères. Ainsi, nous pouvons décomposer le critère *« Laverie »* en critères de niveau inférieur comme l'impact des rejets hydriques, la pollution atmosphérique, les zones de stériles (stockages)… Les valeurs de pondérations sont calculées à l'aide du module WEIGHT. Ce module permet aussi d'évaluer à posteriori la cohérence des jugements à travers l'indice global de cohérence (I.G.C). Ce dernier mesure "la proximité à des jugements cohérents".

Tableau 19 : Valeurs de poids pour les différents facteurs (Salhi B., 2014)

Critères	**Poids**
Groupe Chimique Tunisien	0.4366
Laveries	0.2184
Température de Surface	0.1417
Gisements	0.1375
Mines abandonnées	0.0333
Digues à boues	0.0325
Rapport de coherence	0.06

b) Établir le poids des critères et sous-critères: nous devons définir les priorités en comparant de manière binaire les éléments de la hiérarchie. Pour chaque niveau du sommet à la base, nous devons comparer les éléments deux à deux par rapport au critère supérieur. Par exemple, se demander comment l'élément Laverie satisfait-il mieux le critère mine

abandonnées. Pour formuler ses priorités, nous pouvons utiliser une échelle de comparaison binaire (tableau 20).

Tableau 20 : Matrice de pondération (ou cohérence); importance relative des facteurs les uns par rapport aux autres, Salhi B., (2014)

	Distance aux digues à boues	Distance aux gisements	Distances au GCT	Distance aux Laveries	Distance aux mines abandonnées	Température de Surface
Distance aux digues à boues	1					
Distance aux gisements	4	1				
Distances GCT	8	3	1			
Distance aux laveries	7	1	1/3	1		
Distance aux mines abandonnées	1	1/3	1/9	1/7	1	
Température de Surface	7	1	1/5	1/3	7	1

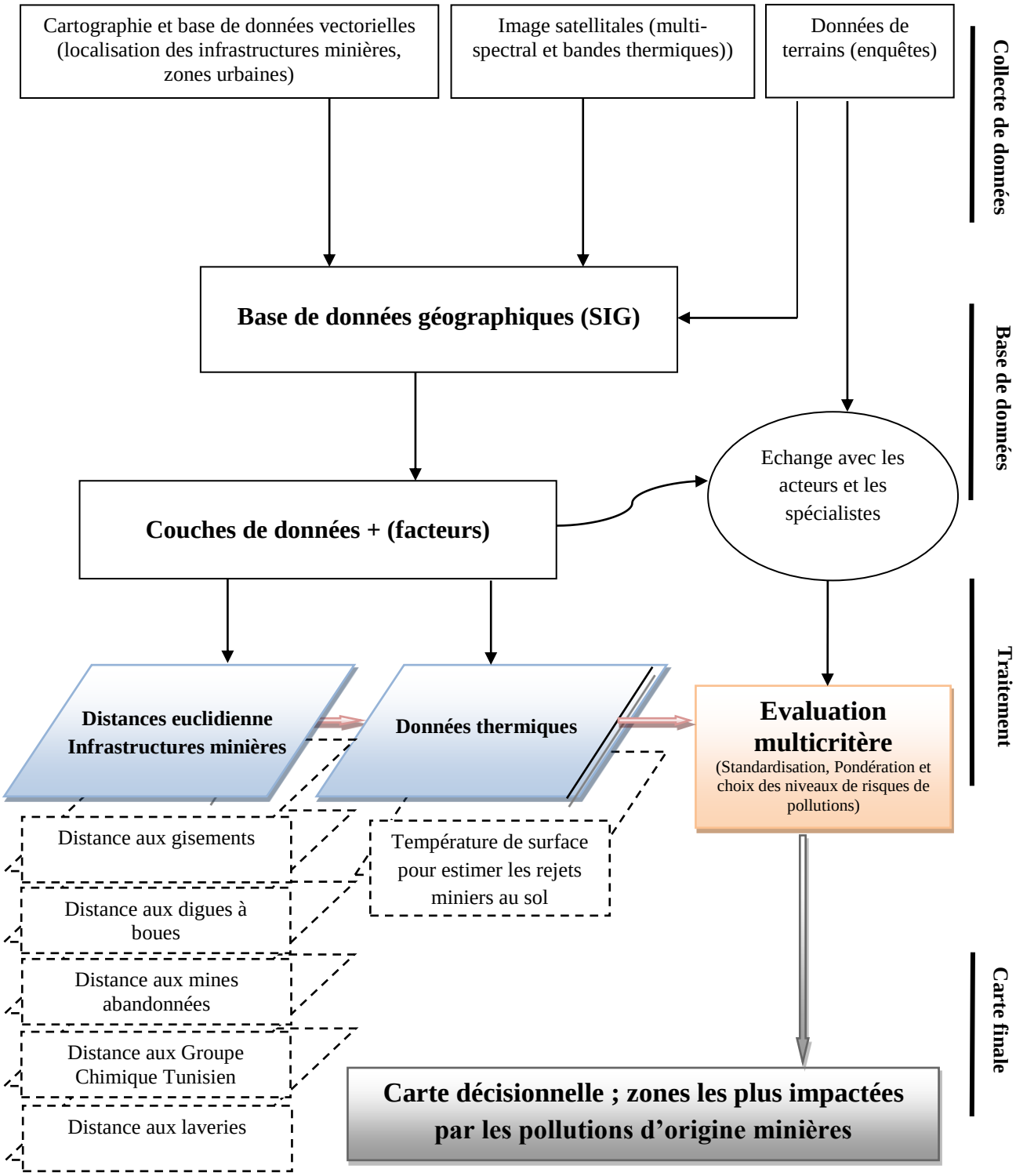
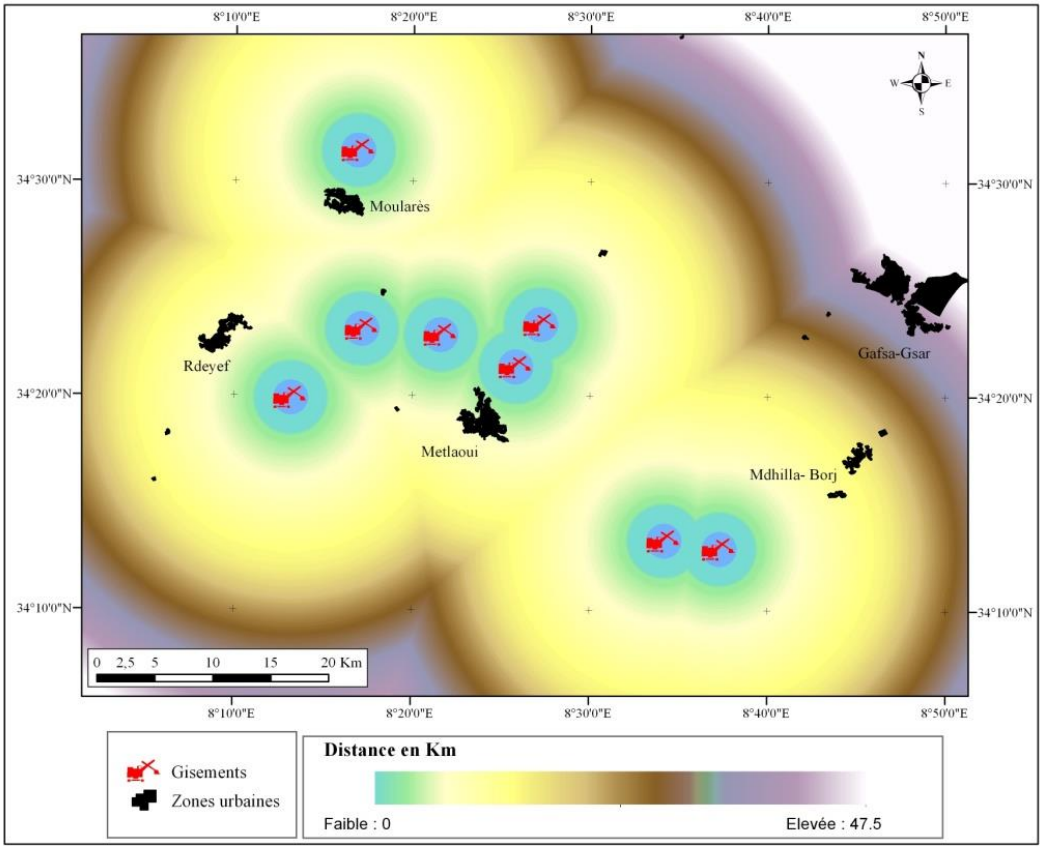
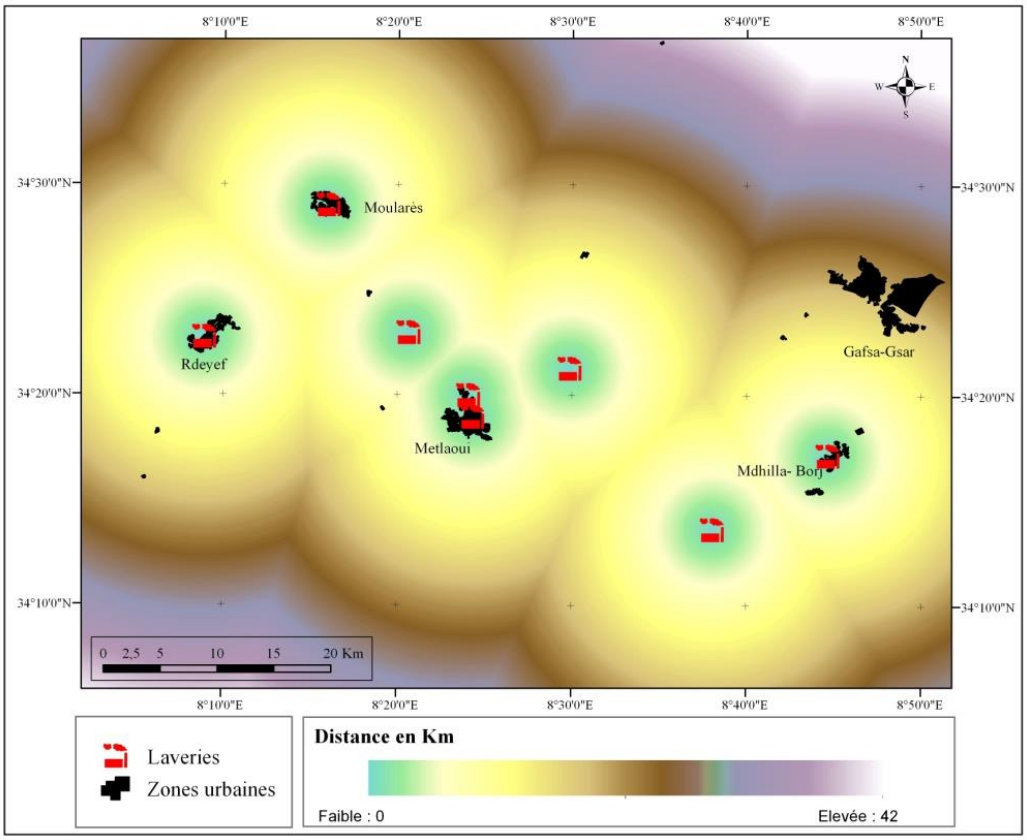


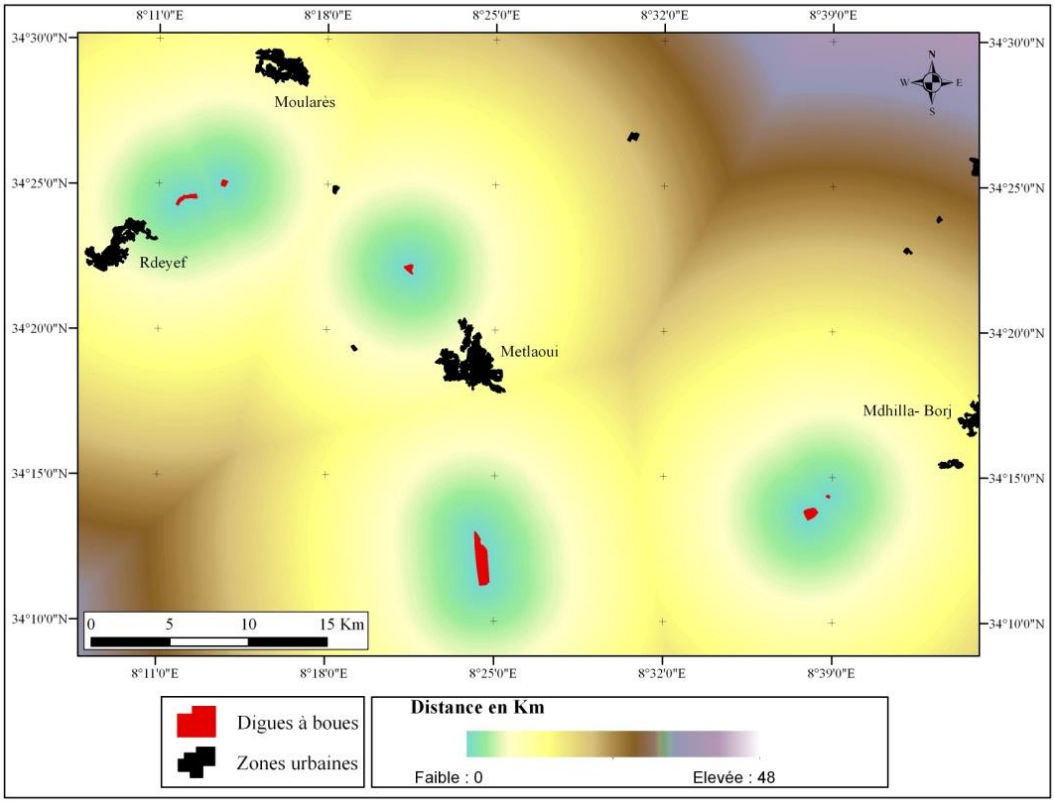
Figure 69 : Approche méthodologique pour la modélisation spatiale des zones minières polluées (Salhi B., (2014))



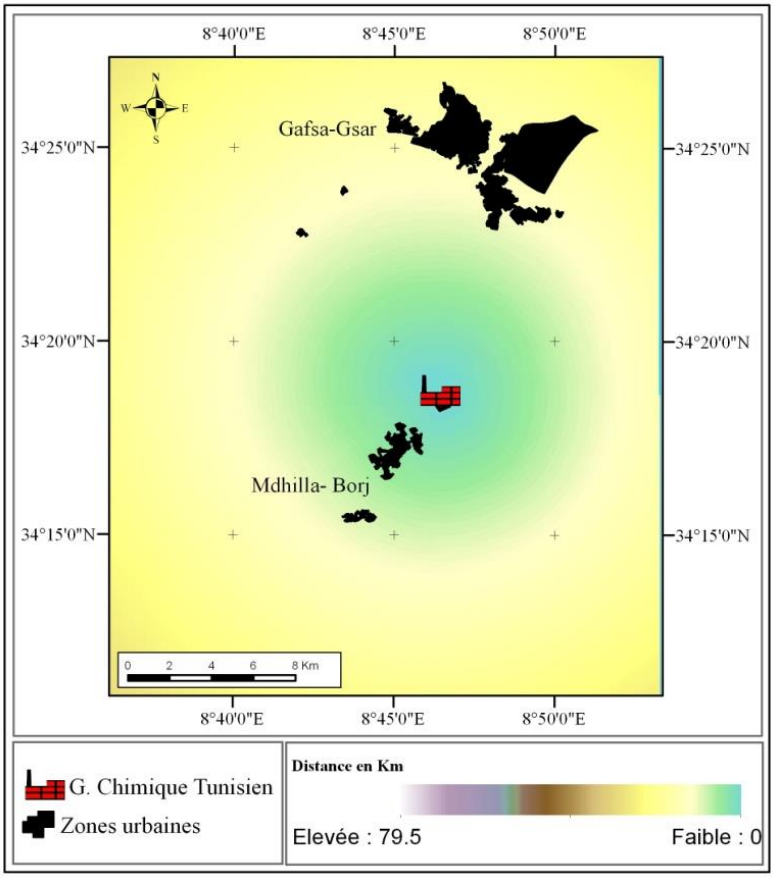
Carte 67.1. : Distance aux gisements à ciel ouvert



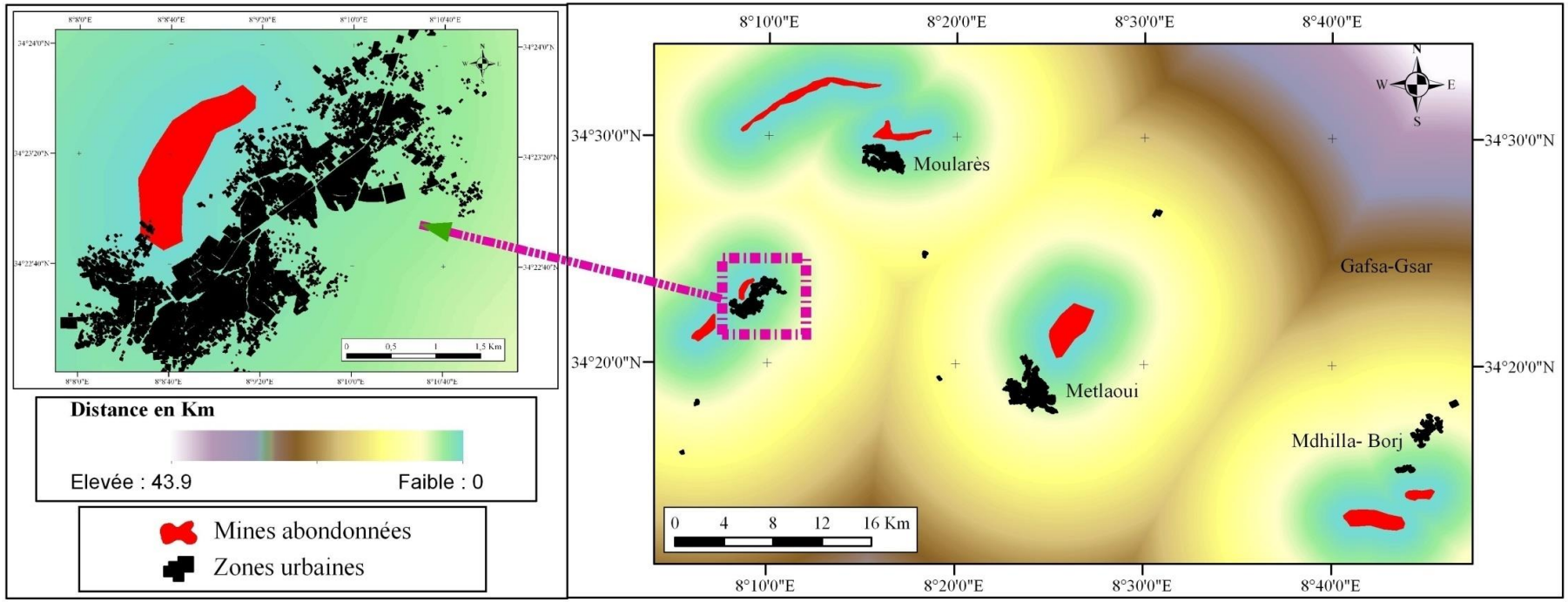
Carte 67.2. : Distance aux laveries



Carte 67.3. : Distance aux digues à boues



Carte 67.4. : Distance aux Groupes Chimiques Tunisien



Carte 67.5. : Distance aux mines abandonnées

Cartes 67 : Distances de standardisation, Salhi B., (2014)

Annexe 2 : Evolution spatiale des composantes minières entre 1976 et 2016, méthodologie de travail

La première étape consiste à effectuer une série de traitement des images Landsat afin de calculer divers indices. D'abord, il convient d'effectuer les corrections ordinaires des images satellitaires (correction des longueurs d'ondes, correction atmosphérique, contrastage…), puis, de calculer des indices (Indice différentiel normalisé, I_{DN}) et le seuil de réflectance des infrastructures minières dans les images satellitaires. Dans cette étape, nous avons choisi les deux bandes bande1 et bande5 en appliquant la formule suivante :

$$\mathbf{I_{DN} = (\zeta_{bande5} - \zeta_{bande1})/(\zeta_{bande5} + \zeta_{bande1})}$$ [122]

Avec I_{DN}= Indice Différentiel Normalisé

b5 = est la bande (Moyen Infra Rouge I)

b1 = (bande Bleu)

ζ = réflectance spectrale

Pour les images de 1972, nous avons utilisé des vrais couleurs RGB vu l'absence de la bande "Moyen Infra-Rouge, MIR". Le choix de ces bandes se fait à partir de l'analyse spectrale, car nous avons constaté que la différence normalisée était au maximum pour les couvertures minières à ciel ouvert (figure 70). Cette méthode permet de créer un masque sur les zones susceptibles d'avoir un impact minier à ciel ouvert dans le but de délimiter la couverture minière dans la zone d'étude et restreindre la zone d'analyse. En tenant compte de celle en fausse couleur, l'intervalle de réflectance fait différencier les zones minières par rapport à l'autre occupation de sol. Ensuite, nous avons créé un masque (ou filtre morphologique) qui correspond au seuillage de l'indice normalisé (figure 71). Ce masque sert à séparer les zones dont la réflectance appartient à l'intervalle entre la couverture minière, à celle non minière.

Après avoir délimité la couverture minière à ciel ouvert, nous appliquons une dilatation de filtre morphologique (figure 72) qui permet d'éliminer les pixels isolés (supprimer le bruit des pixels dans une image). C'est une amélioration de la répartition des pixels portant la réflectance d'une zone minière dans l'image Landsat.

La deuxième étape est définie par la segmentation orientée-objet sur ENVI EX. C'est l'attribution manuelle de correspondance portant la réflectance de l'infrastructure minière

[122] C'est une formule proche de celle de calcul de l'indice de végétation (NDVI) mais en choisissant la bande Proche Infra Rouge (PIR)

dans l'image Landsat. L'exportation est en fichier sous forme (shp file) pour qu'il soit modifiable sous Arc Gis.

La dernière étape : c'est la numérisation de la base de données sous Arc Gis.

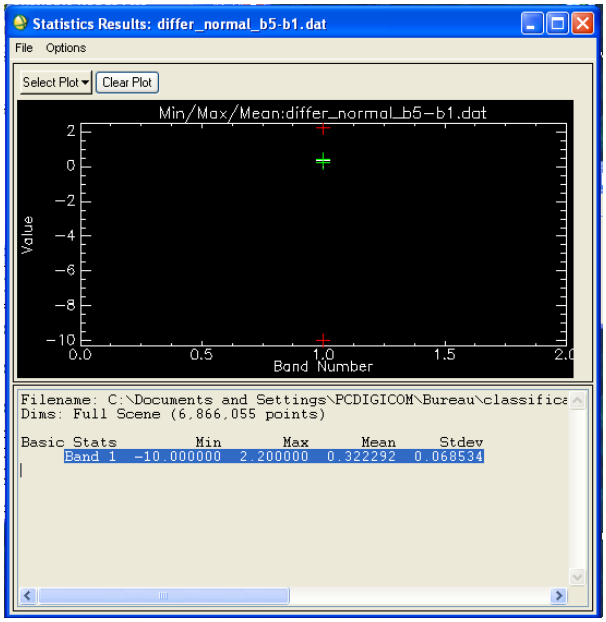


Figure 70 : Intervalle de variation de l'indice de réflectance l'image (-10 et 2,2). La réflectance des exploitations minières varient entre (-0,7 à 1)

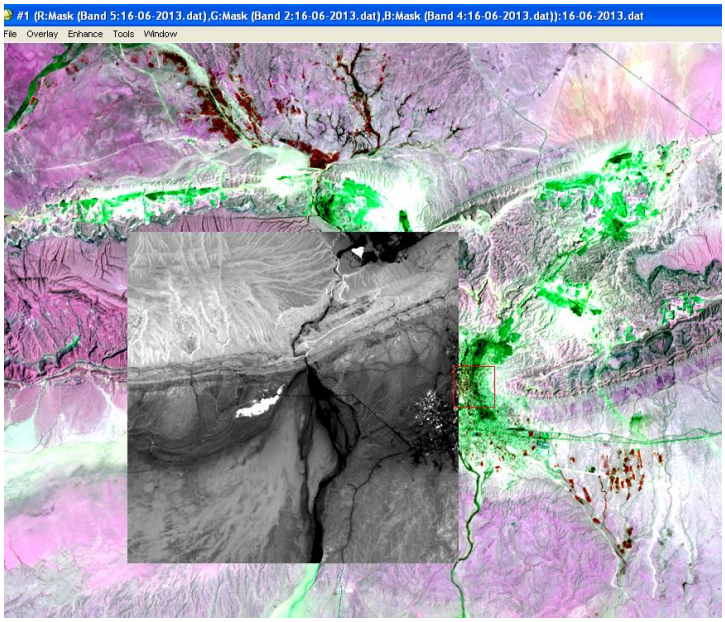


Figure 71 : Différence entre image en mode fausse couleur et images en indice de différence normalisé, La coloration verte présente la couverture minière à ciel ouvert.

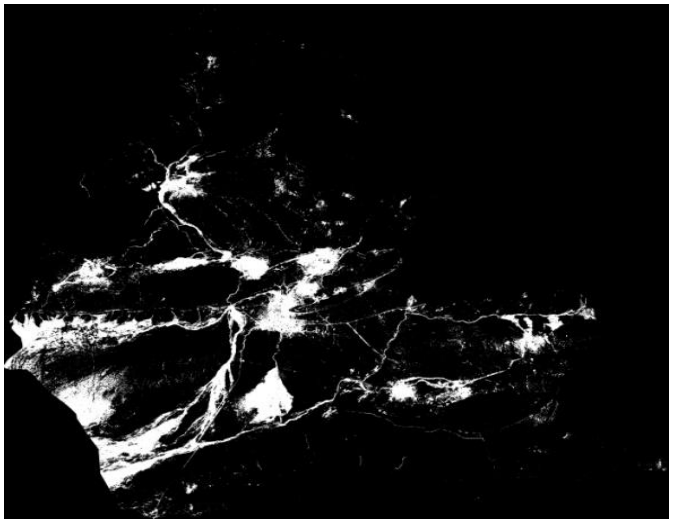


Image Landsat après l'application du filtre morphologique de l'indice normalisé

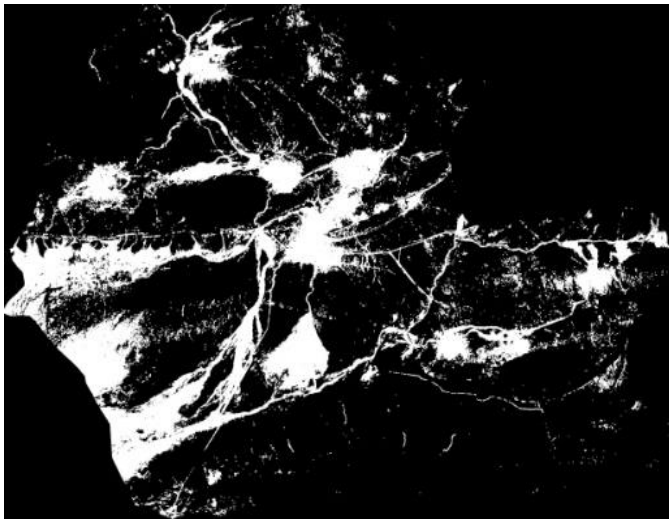


Image mono-bande après dilatation du filtre morphologique

Figure 72 : Délimitation de la couverture minière à ciel ouvert, (Salhi B., 2015)

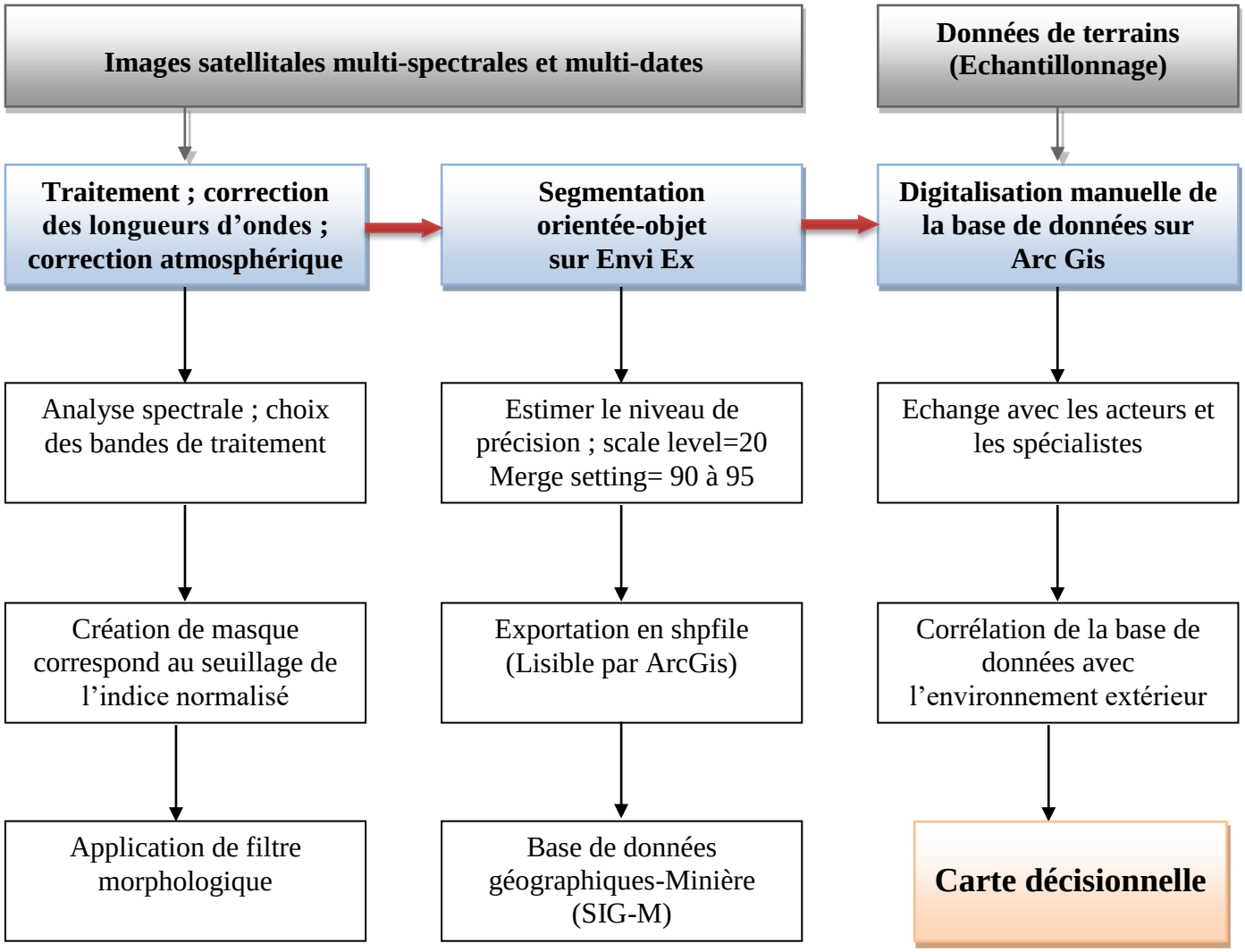


Figure 73 : Modélisation diachronique de l'évolution spatiale des exploitations minières à l'aide des images LANDSAT multi-dates, Salhi B., (2016)

Annexe 3 : Analyse qualitative de boues rejetées en aval des laveries

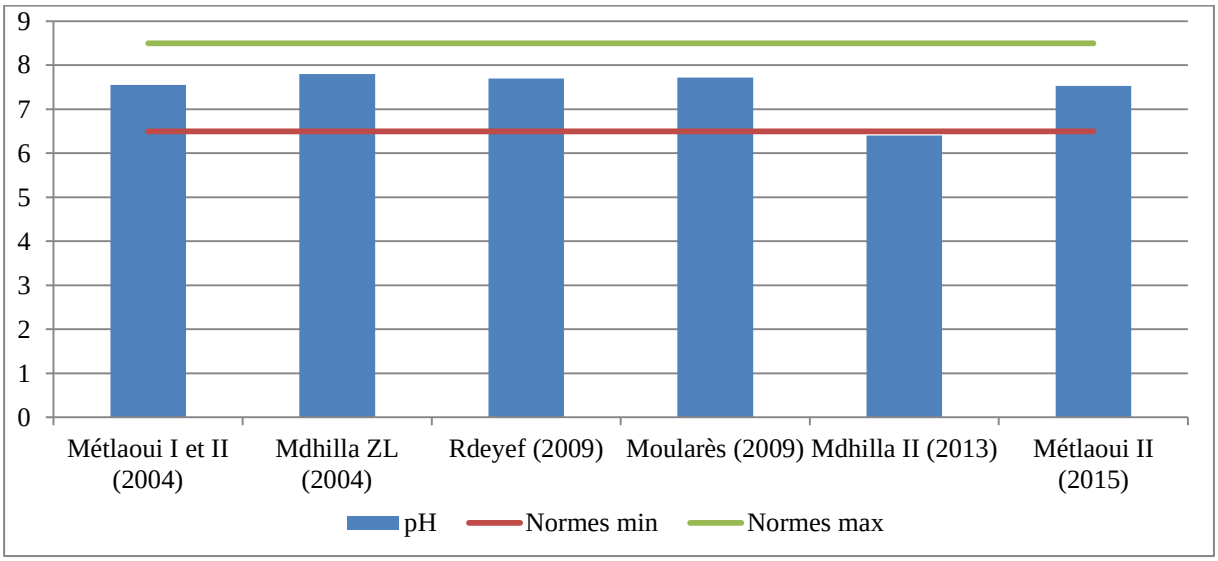


Figure 74.1. : Variation de pH

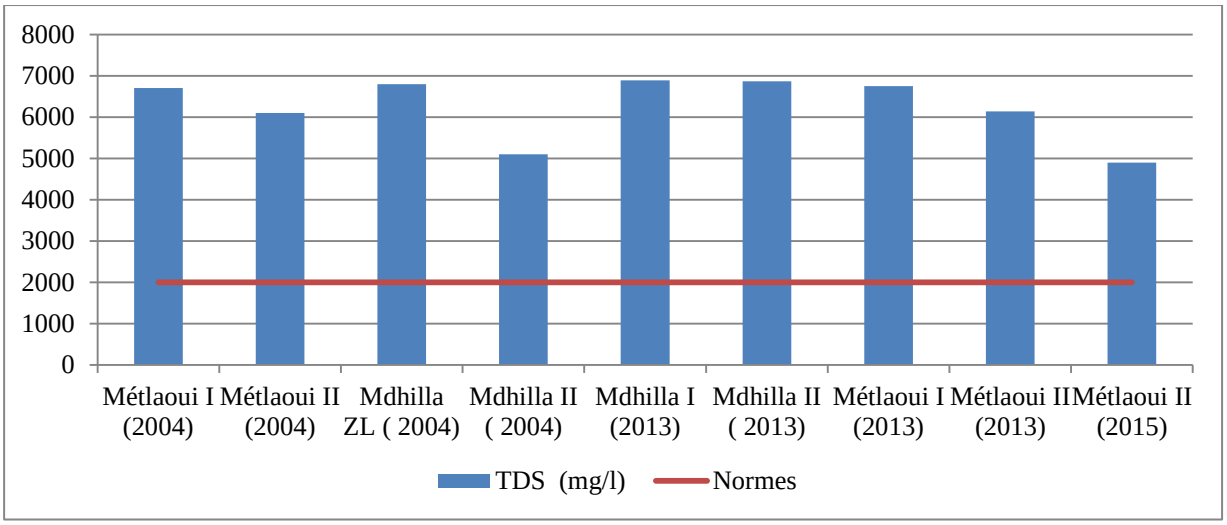


Figure 74.2. : Variation de TDS (mg/l)

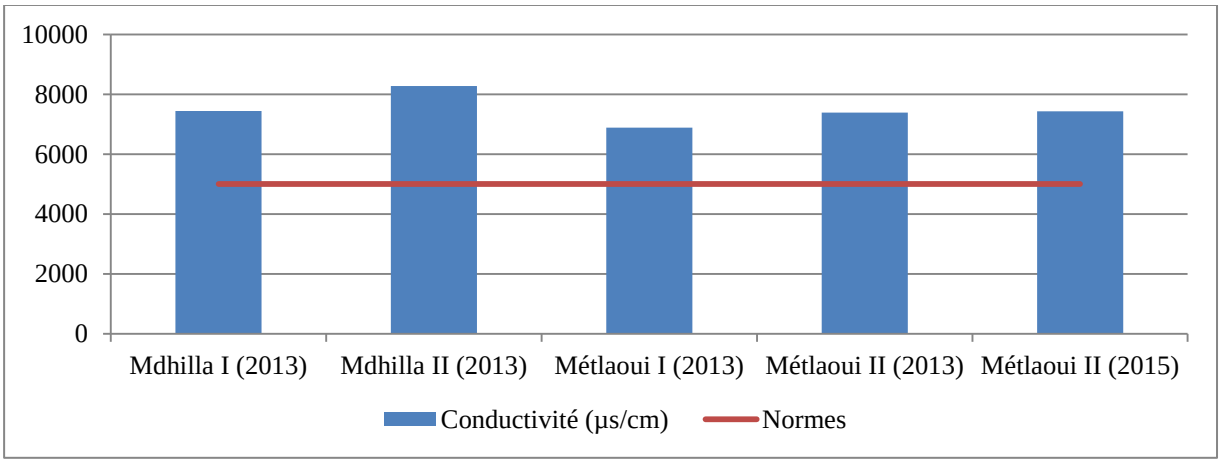


Figure 74.3. : Variation de la conductivité électrique (µs/cm)

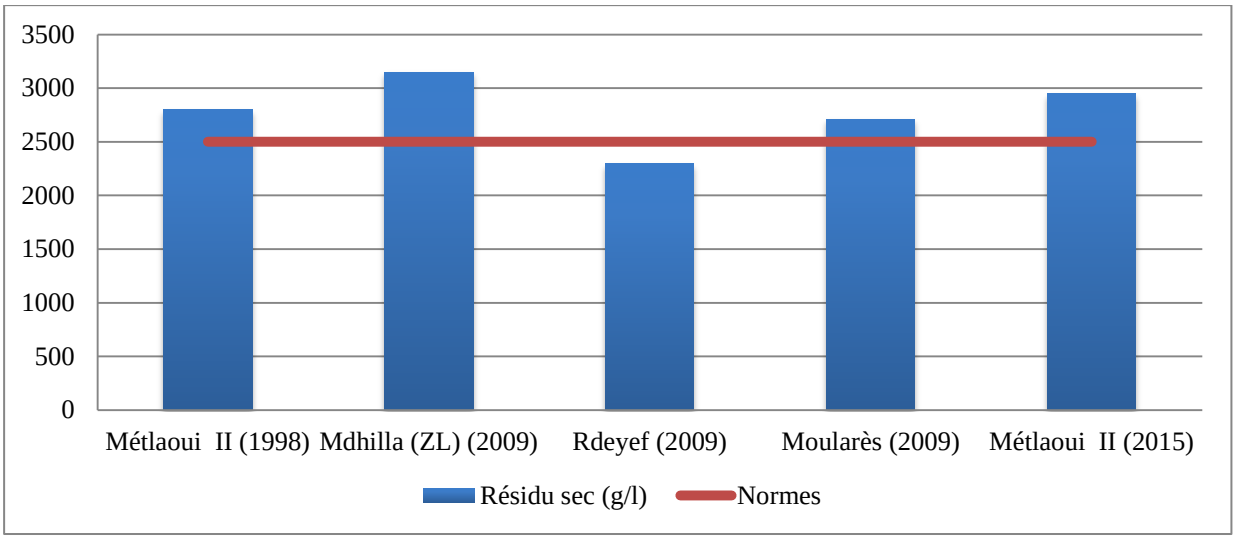


Figure 74.4. : Variation des résidus secs (g/l)

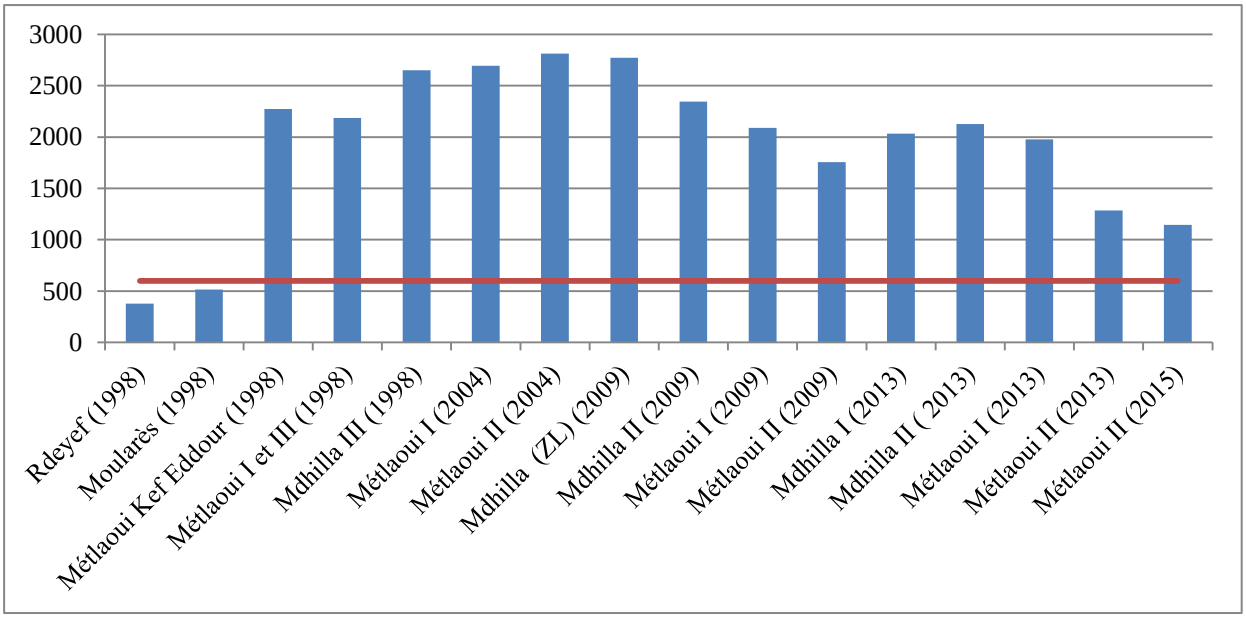


Figure 74.5. : Teneurs en Chlorure (mg/l)

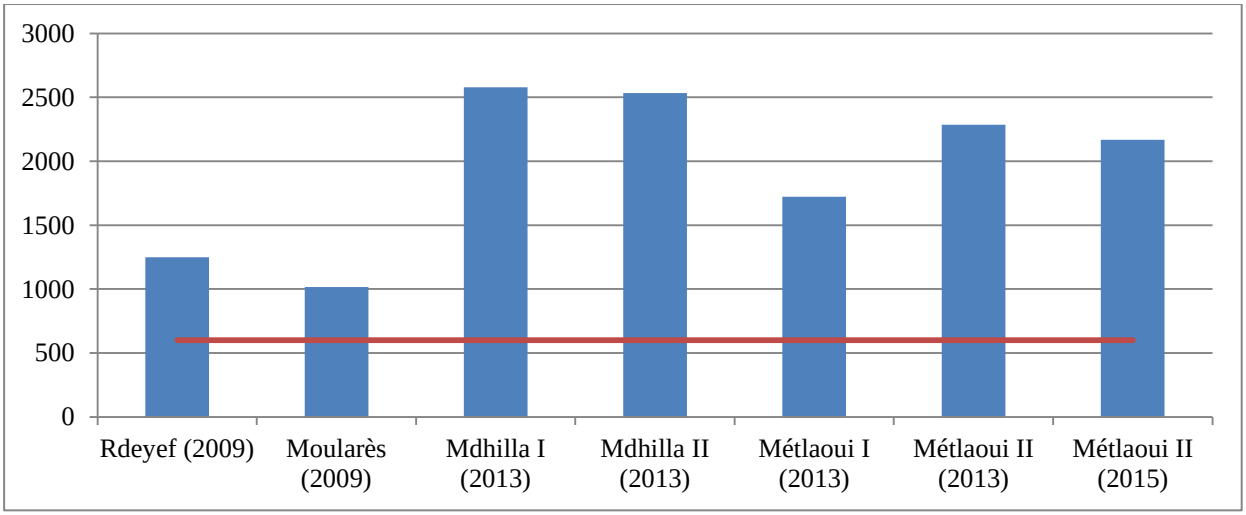


Figure 74.6. : Teneurs en Sulfate (mg/l)

Les Métaux lourds ou les éléments de traces

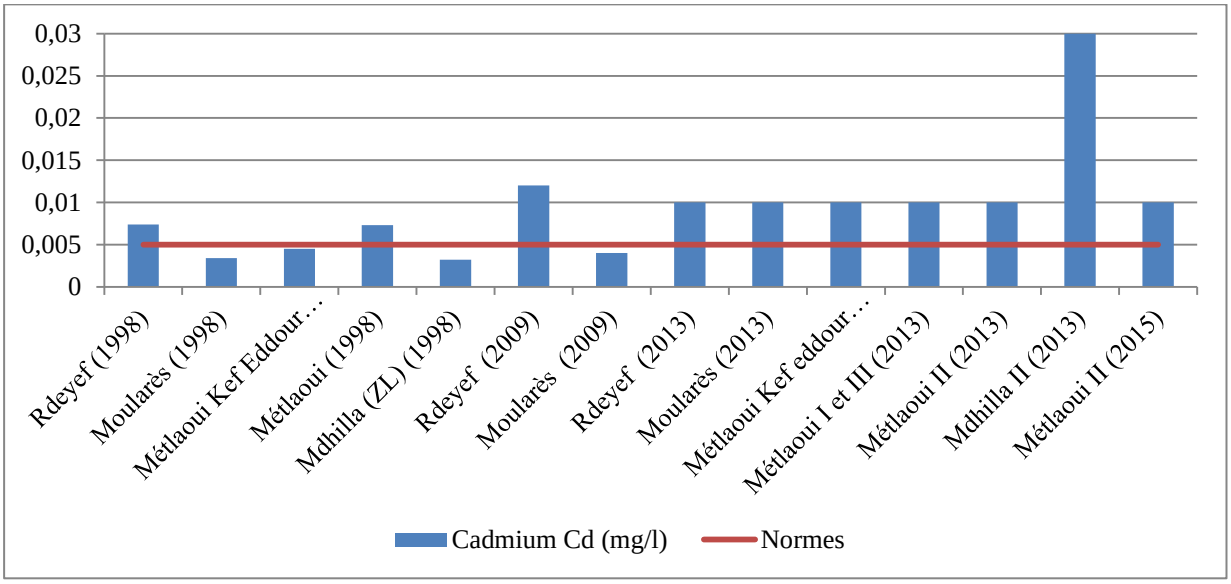


Figure 74.7. : Variation de Cadmium (mg/l)

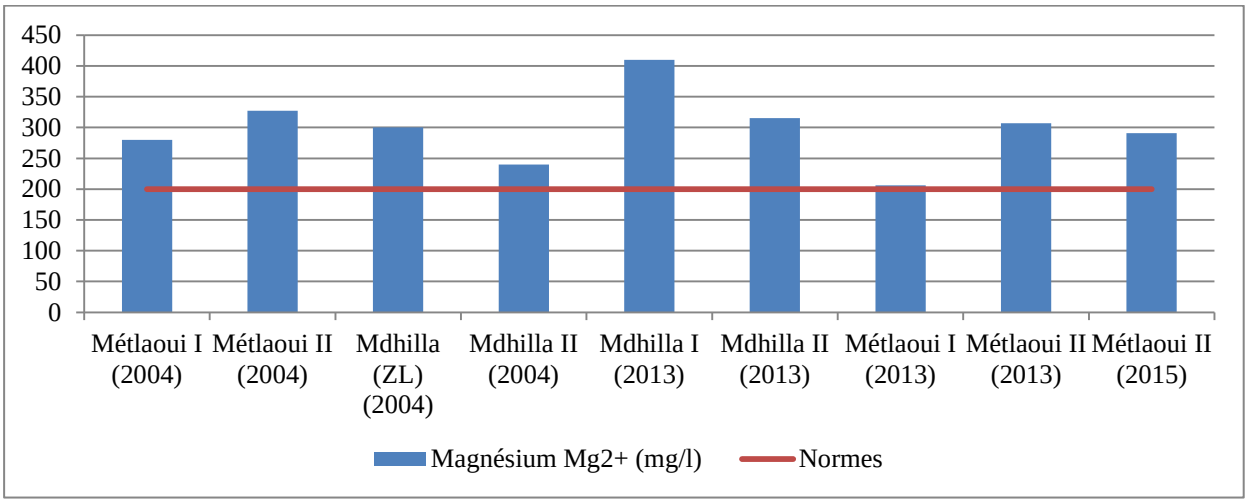


Figure 74.8. : Variation de Magnésium (mg/l)

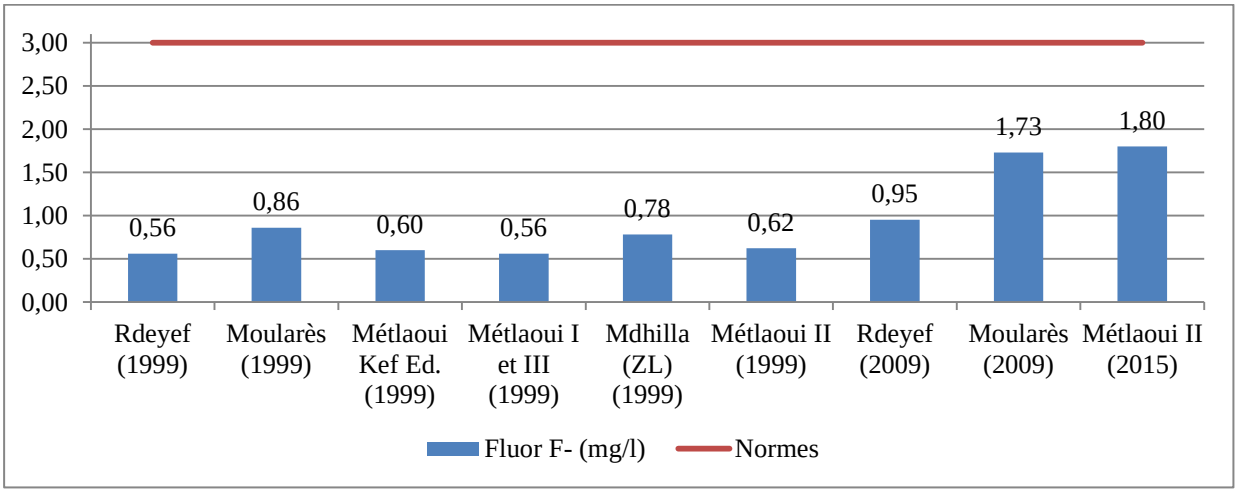


Figure 74.9. : Variation de Fluor (mg/l)

Concentration des éléments majeurs

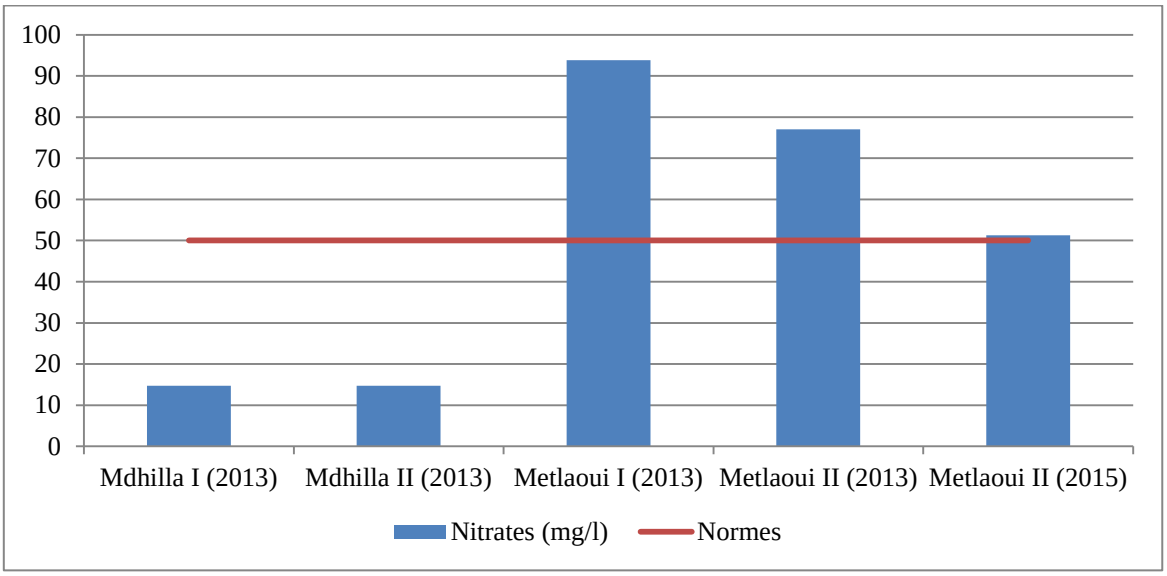


Figure 74.10 : Variation des nitrates (mg/l)

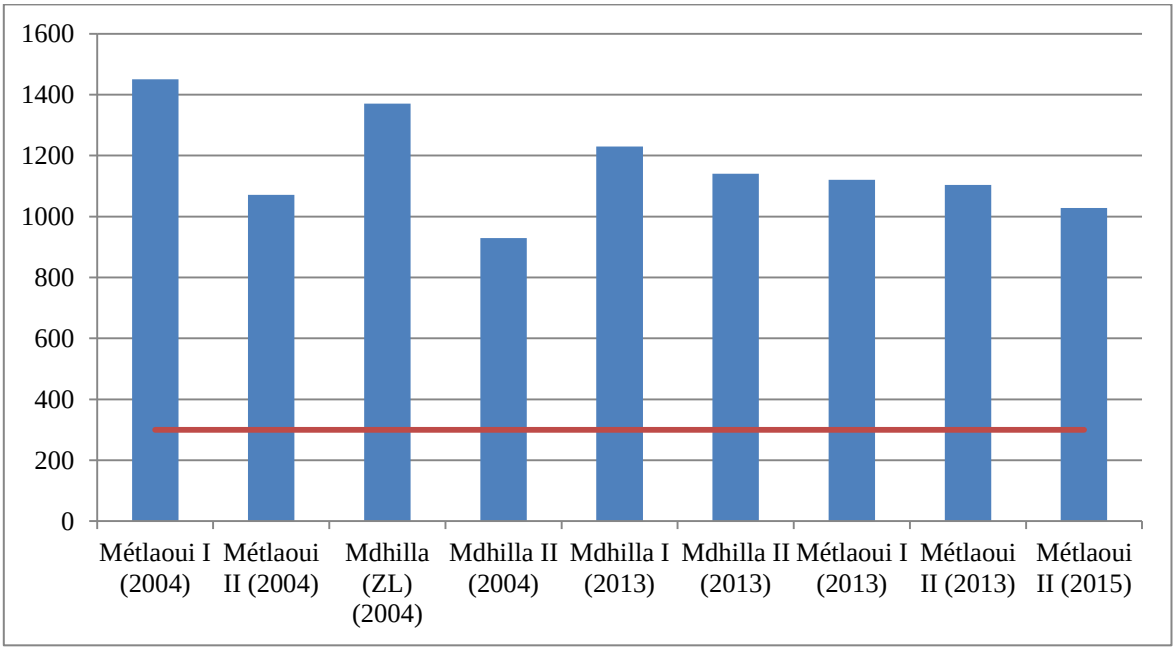


Figure 74.11. : Variation de Sodium (mg/l)

Figure 74 : Analyse qualitative de boues rejetées en aval des laveries
(Source : CPG, 2015 et Salhi B., 2015)

Tableau 21 : Qualités bactériologiques des boues en aval de laverie Métlaoui II, 25 Janvier 2015, (Salhi B., 2015)

Paramètre	Expression des résultats	Sortie laverie	Norme NT 106.03 (1989)	Volumes dépassant la norme
DBO_5	mg/l	325	30	11 fois
DCO	mg/l	421	90	5 fois

Annexe 4 : Calcul de la température de surface

La première étape est une calibration, qui consiste à convertir les CN en valeurs de luminance (radiance en anglais) en utilisant les valeurs de gain et de biais spécifique à la bande IR thermique. Une procédure de calibration similaire est appliquée sur l'image multi-spectrale pour obtenir les luminances physiques qui seront ensuite corrigées des effets de l'atmosphère pour correspondre aux réflectances au sol.

Les valeurs de réflectances permettent de calculer l'indice de végétation NDVI et la Couverture Végétale Fractionnaire (Fractional Vegetation Cover ou FVC), utilisés dans l'estimation de l'émissivité de surface par l'intermédiaire d'une relation liant ces indices biophysiques à l'émissivité de sol (Sobrino J. A., et al. 2008). Une étape de correction atmosphérique modélisant l'équation de transfert radiatif, est également effectuée sur les luminances de la bande thermique, en prenant en compte l'émissivité préalablement calculée, et les paramètres atmosphériques de transmittance et de luminance ascendante et descendante correspondant à la date d'acquisition de la scène (Coll C., et al. 2010).

Finalement, la température de surface est dérivée des luminances corrigées atmosphériquement en appliquant la Loi de Planck. La prise des images satellites doit répondre à diverses exigences : la première est d'avoir une image prise lorsque les voiles de pollution aérosol et les effets de serre sont réduits au minimum. Ces contraintes ont tendance à "voiler" l'émissivité IRT des objets au sol. Ajoutons la différence de température radiative entre les objets qui ont une inertie thermique faible et ceux qui ont une inertie thermique élevée ce qui permet de mieux discriminer les objets géographiques comme les centres urbains **(**Gadal S., 2008).

La deuxième étape consiste à convertir le nombre numérique de valeur de pixel (DN) pour valeurs de radiance en utilisant les valeurs de polarisation et de gain spécifiques de chaque scène IR à étudier. En utilisant des valeurs de gain et de polarisation dans la bande IR, la formule pour convertir la valeur numérique (DN) en radiance est:

$$\mathbf{CV_{R1} = Gain_{max} * DN + Polarisation\ (bais)}$$

Avec CV_{R1} est la valeur de pixel en tant que rayonnement ;

DN est le nombre numérique de valeur de pixel ;

$Gain_{max}$ est la valeur max. de gain pour une bande de fréquences spécifique (IR) ;

Polarisation est la valeur de polarisation pour une bande spécifique (IR) ;

Ensuite, nous appliquons une correction atmosphérique en utilisant les valeurs locales appropriées (en ligne dans le site de Nasa, figure 75) pour plusieurs paramètres, ce qui entraîne des températures de surface plus précises.

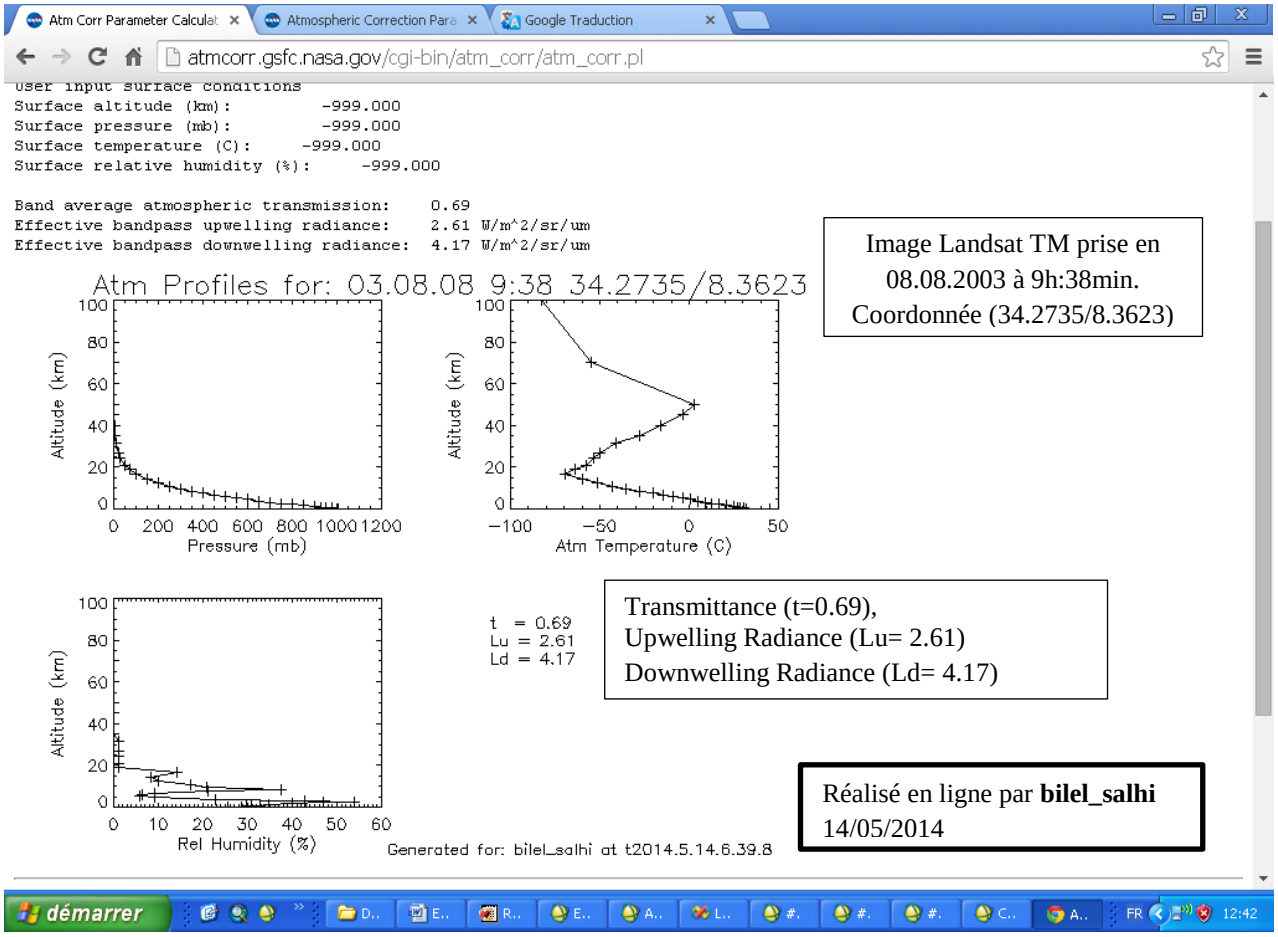


Figure 75 : Résultat de calcul en ligne de la Transmittance (t=0.69), Upwelling Radiance (Lu= 2.61) et downwelling Radiance (Ld= 4.17) (Salhi B., 2014)

Finalement, nous convertissons les données de radiance de la première étape en degrés Kelvin puis en degré Celsius. Donc, le rayonnement net au sol est la combinaison de trois composantes qui sont, le rayonnement absorbé par le sol dans le domaine des courtes longueurs d'ondes (bilan d'énergie dans le visible), le rayonnement émis par le sol et l'atmosphère dans le domaine des grandes longueurs d'ondes (bilan d'énergie dans l'infrarouge). Sa formulation est donnée par la relation suivante (Jimenez-Muñoz J., et al. 2009):

$$R_n = (1 - \alpha)G_n + R_a - R_s \quad [W/m^2]$$

Avec : α est albédo de surface ;

G_n est le rayonnement global au sol par ciel semi couvert ;

(1 - α) G_n représente le rayonnement absorbé par le sol dans le visible ;

R_a est le rayonnement émis par l'atmosphère dans (IR) et R_s est le rayonnement émis par la surface dans (IR).

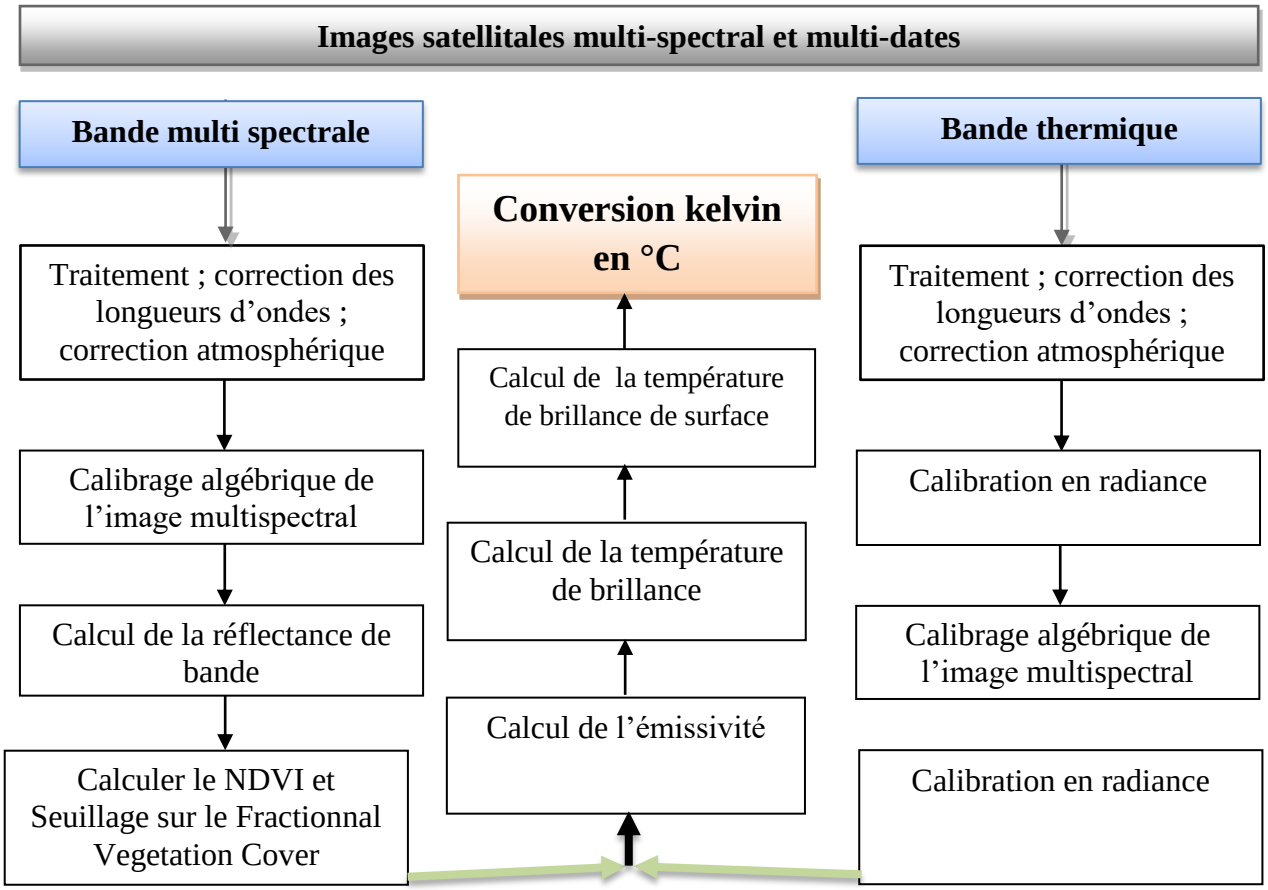


Figure 76: Approche méthodologique pour le calcul de la température de surface des images LANDSAT multi-dates (Salhi B., 2016)

Annexe 5 : Distribution des polluants de rejet Sebseb et rejet Mdhilla

5.1. Distribution des polluants de rejet Sebseb

Distribution des éléments majeurs et organique

- **Fluor :** est présent sous formes de traces dans le sol. Les analyses de sols prélevées montrent que la teneur du Fluor augmente dans les régions soumises à l'épandage des boues par rapport à une région proportionnellement témoin (E1) ; nous enregistrons (1,48%) soit ($1,48*10^4$ppm) en (E2) à l'amont, passant au niveau mi-oued, à 2,16 en (E5) et à 1,44% en aval des rejets (E6). Plus de 70% du Fluor passent dans les différents profils du sol, des plantes et tout le système biologique (Chokri A., 2003);
- **Carbone Organique :** la pollution des sols par la matière organique est due exclusivement à l'effet des rejets miniers (Belayouni H., 1983). L'évolution du Carbonne Organique est directement proportionnelle avec le taux de saturation des sols avec les rejets.
- **Magnésium** : le Magnésium se présente avec des teneurs faibles dans le sol et n'excède pas 4%, alors qu'il varie de 2 à 5% en 2004 selon Galfati I., (2004).

Distribution des métaux lourds

- **Zinc :** les analyses de sols prélevées montrent que la teneur du Zinc augmente de l'amont vers l'aval : nous enregistrons 39 et 17 ppm respectivement pour E2 et E1 à l'amont, passant au niveau mi-oued à 120 et 312 ppm pour respectivement E3 et E5 et 345 ppm en E7. La variation de taux de Zinc est multipliée plus de deux fois par rapport à l'année 2003. L'intervalle de différence était de 50 à 195 ppm pour atteindre actuellement 120 à 470 ppm. Latéralement, la concentration du Zinc varie entre 312 et 470 ppm au niveau mi-oued (E3 et E4). Les teneurs augmentent en allant de canalisation des eaux boueuses vers les zones d'épandage et même supérieures à la source (laveries de Métlaoui, 360ppm).
- **Nickel :** A l'amont de l'oued Sebseb, la teneur en Nickel est de 70 ppm et augmente progressivement pour atteindre 135 ppm au niveau de l'aval de rejet (E9). La variation latérale et en profondeur du Nickel est similaire au Zinc. Ces deux paramètres ne sont pas dégradable et s'accumulent dans le sol. Toutefois, la teneur en Nickel diminue en profondeur dans les profils en dehors de la zone d'épandage ;
- **Cuivre :** l'analyse des sols montrent que les concentrations s'accroissent de l'amont vers l'aval respectivement de 1 à 5 ppm. Cette augmentation est généralisée latéralement pour le groupe d'échantillons (E3, E4 et E5) au niveau du mi-oued respectivement (1, 2 et 5 ppm).

- **Cadmium** : la teneur en Cadmium varie d'une façon irrégulière entre l'amont et l'aval de rejets. Elle varie entre 6ppm au niveau des échantillons E1 à 78 ppm au niveau de l'échantillon E4. Les résultats sont presque 4 fois supérieurs à ceux de Chokri A., (2003). Latéralement, les concentrations du Cadmium s'accroissent dans les zones de boues sèches et décroissent en s'éloignant vers les sols propres. En profondeur, les teneurs sont supérieures à celles dosées en surface (Khiari I., 2009);
- **Fer** : se présente sous forme de traces dans le sol. Les valeurs sont inférieures à 3%. Les faibles teneurs en fer reflètent une faible concentration dans les rejets en aval des laveries.

5.2. Distribution des polluants de rejet Mdhilla

- **Fer :** le Fer se présente avec des concentrations importantes dans le sol. Les valeurs minimales sont enregistrées auprès du GCT (E1 et E2 pour respectivement 830,77 mg/kg et 892,54 mg/kg) tandis que les concentrations fortes se localisent aux alentours des laveries Mdhilla (E5 et E6 pour respectivement 6198 et 9192,88 mg/kg). Les rejets boueux des laveries présentent une source d'accumulation de Fer dans le sol[123] ;
- **Plomb :** les valeurs sont comprises entre 0,94 mg/kg (E10) et 2,70 mg/kg (E1) à l'exception de l'échantillon E7 qui enregistre 19,7mg/kg. La variation des résultats est très faible si nous comparons les échantillons très proches du GCT à ceux des laveries Mdhilla. Nous pouvons conclure que l'augmentation remarquable de la concentration de l'échantillon E7 se traduit par la stagnation des eaux issues du GCT ;
- **Zinc :** les analyses de sols prélevées montrent que la teneur du Zinc augmente des rejets du GCT jusqu'aux les laveries, nous enregistrons 443,52 mg/kg et 276,50 mg/kg respectivement pour E6 et E5 pour atteindre 10,53 et 11,58 mg/kg pour respectivement E1 et E3. Les rejets des laveries de Mdhilla sont très chargés en Zinc, leur teneur diminue juste avant la confluence avec les rejets en provenance d'oued Faouaret el Ghram. Cette diminution résulte probablement de la sédimentation des particules chargées en zinc le long de l'écoulement dans oued Stili. Pour donner une idée sur la variation de Zinc Ounis A., (2002) décrit «après la confluence des deux rejets, on observe une augmentation de la concentration en zinc qui atteint 650 ppm. Elle résulte vraisemblablement des échanges qui s'effectuent entre l'eau et le sédiment, la finesse des sédiments intervient aussi dans la fixation du Zinc » ;
- **Nickel :** la variation de Nickel est similaire aux autres polluants. Les résultats varient entre 47,56 mg/kg et 0,42 mg/kg pour respectivement les échantillons E6 et E1. Les concentrations en Nickel diminuent au fur et mesure que les boues progressent dans l'oued

[123] Les valeurs réalisées par Said A. (2011) varient entre 189 et 225 mg/kg dans la même région.

Stili. Selon, La diminution résulte probablement du dépôt des particules essentiellement fines au niveau de la branche d'oued Faouaret el Ghram (Chaabani F., 1995);

- **Cuivre :** les résultats sont compris entre 16,81 mg/kg et 0,38 mg/kg pour respectivement E6 et E1. Les teneurs dans les sédiments superficiels d'oued Faouaret el Ghram sont trois fois inférieures que dans les boues issues des laveries de Mdhilla. Après la confluence avec les rejets de l'usine de Mdhilla, les teneurs en Nickel et en Cuivre augmentent légèrement.
- **Chrome :** les teneurs en Chrome sont assez importantes à la sortie des laveries de Mdhilla et elles diminuent légèrement vers l'aval. Nous enregistrons 245,32 mg/kg et 220,19 mg/kg respectivement pour E6 et E5 pour descendre à 0,97 mg/kg et 1,41 mg/kg pour respectivement E2 et E3 ;
- **Cadmium :** la teneur est très élevée auprès de laveries contrairement au GCT. Elle varie entre 48,92 mg/kg à 0,13 mg/kg pour respectivement E6 et E10 soit environ deux fois les résultats d'Ounis A., (2002). Dans le cadre d'une comparaison des résultats de rejet Mdhilla à l'échelle internationale, la société North-South Environment, (2007) décrit : « C'est ainsi que certains de ces travaux ont montré que presque tous les minerais de phosphates actuellement commercialisés contiennent le Cadmium» comme l'indique le tableau suivant :

Tableau 22 : Quantité approximative du cadmium dans les roches phosphatées commercialisées (Source : North-South Environment, (2007))

Pays d'origine	Quantité de Cadmium en ppm	
	gamme	moyenne
Ancienne URSS	1	-
USA (Floride)	6-15	8
Maroc	8-75	22
Tunisie	25-35	30
Togo	42-80	55
Sénégal	66-95	75
USA (Idaho)	40-340	110

Annexe 6 : Impact des exploitations sur la vulnérabilité de sols

La sensibilité à l'érosion est déterminée par un indice ISE (Indice de Sensibilité à l'Erosion) obtenu à partir de la moyenne des trois indices de qualité des facteurs retenus. D'autre part, pour chaque facteur, l'indice de qualité est obtenu à partir de la moyenne géométrique des scores affectés aux différents paramètres agissant sur le facteur considéré.

$$ISE=(IQS\times IQV\times IQA)$$

Avec :

IQS : Indice de Qualité de Sol,

IQV : Indice de Qualité de la Végétation,

IQC : Indice de Qualité du Climat,

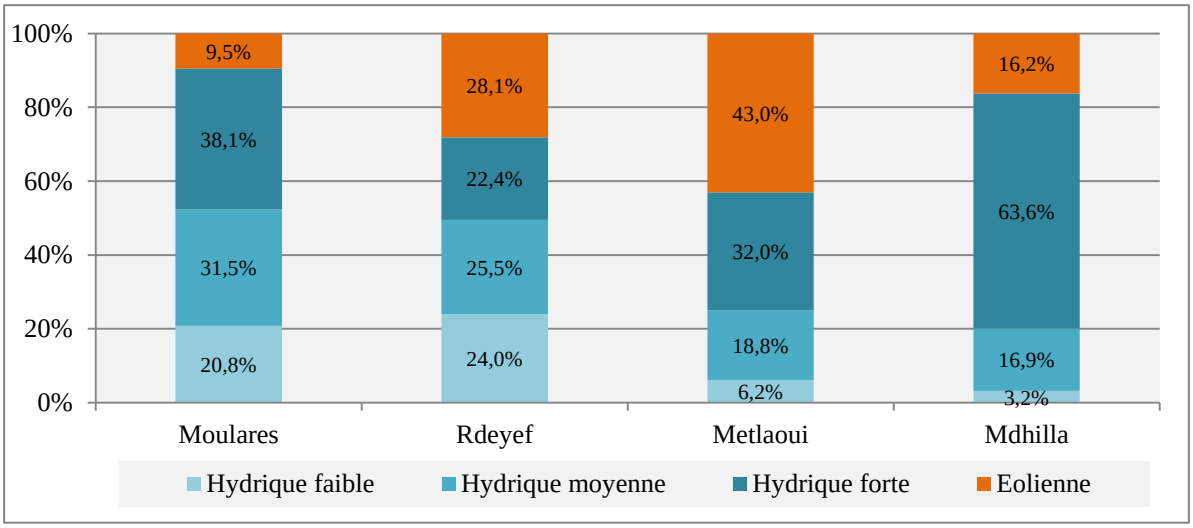


Figure 77 : Classification de l'activité érosive par délégation (CRDA, 2014)

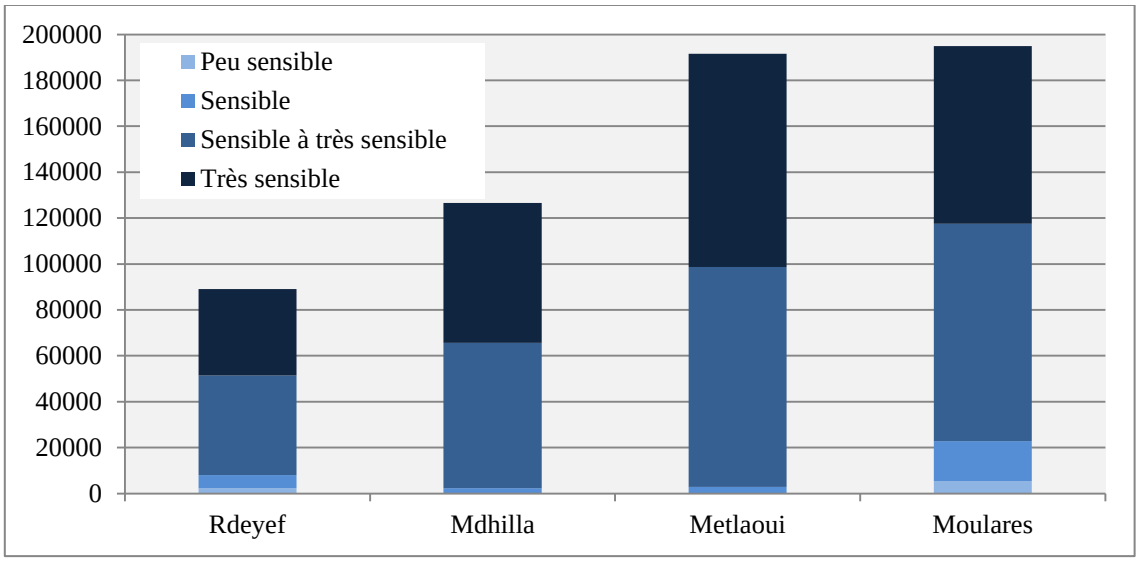
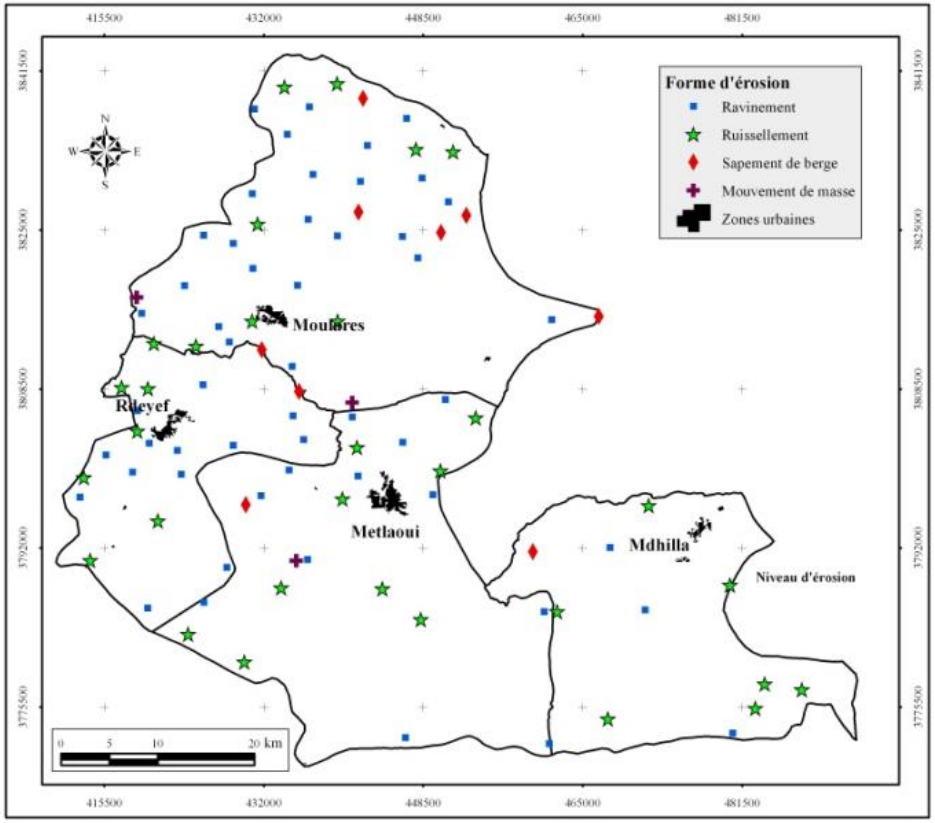
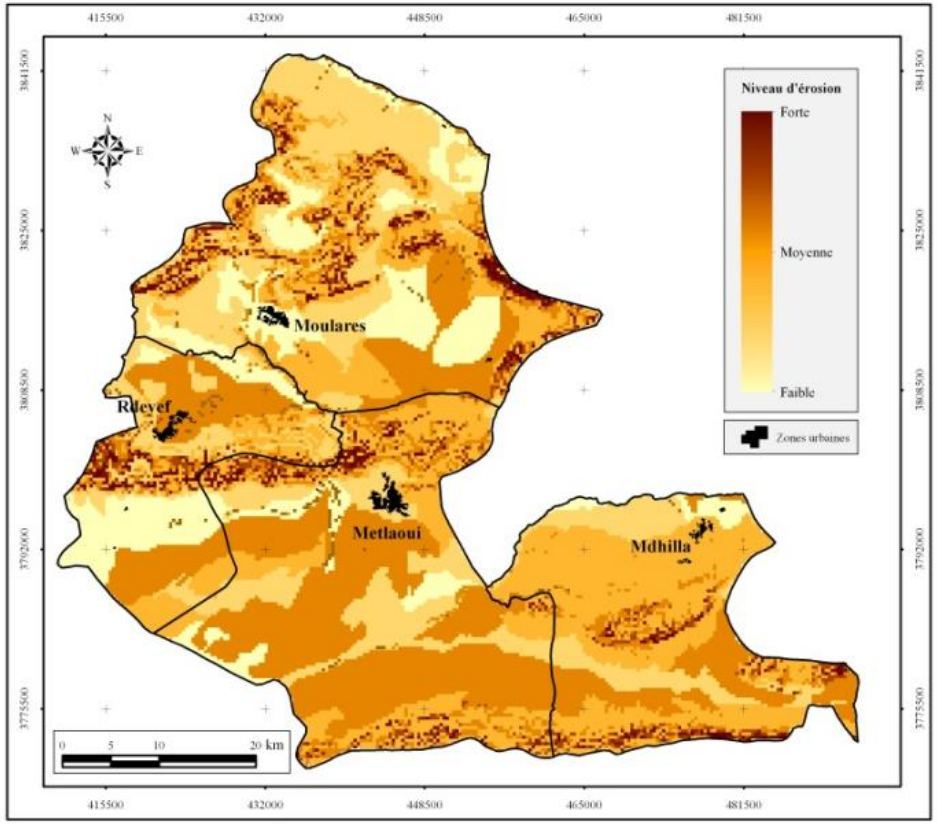


Figure 78 : Sensibilité à l'érosion par délégation (en ha) (CRDA, 2014)



Forme d'érosion



Niveau d'érosion

Carte 68 : Vulnérabilité à l'érosion dans le BMG sans intervention du domaine minier (CRDA, 2014)

Annexe 7 : Contamination des plantes par les exploitations minières, approche bibliographique

L'étude de Phytoextraction des plantes porte principalement sur deux références ; la première est réalisée par Galfati I., (2010-11) sur 32 espèces végétales, appartenant à 18 familles, prélevée de six sites contaminés par les rejets de l'industrie phosphatière à l'échelle du BMG. Tandis que la deuxième est réalisée par Chokri A., (2003) qui focalise sur huit espèces végétales le long de rejet Sebseb. L'étude est principalement comparative, présentée dans le tableau 23, dont nous nous limiterons à décrire cinq espèces, les plus abondantes à l'échelle du BMG. Le choix de ces espèces est réalisé à l'aide du directeur de l'arrondissement de Conservation des Eaux et des Sols (CES) du CRDA Gafsa.

Tableau 23 : BMG, Phytoextraction des plantes par le domaine minier
(Source : Galfati I., (2010- 2011) et Chokri A., (2003))

(Galfati I., 2010- 2011)	(Chokri A., 2003)
***Atriplex* (localement : *Gtaf*)**	
Contient une teneur assez forte en cadmium dans ses différentes parties (racine-tige-feuille). Les valeurs varient entre 1,9 et 17,7 ppm dans la partie radiculaire, entre 2,3 et 8,5 ppm dans la tige et entre 5 et 46 ppm dans les feuilles chez les *Atriplex inflata*. Les teneurs s'échelonnent entre racine (2,84 ppm), tige (3-8,5 ppm) et feuilles (8,7-11,5 ppm) chez *Atriplex hamilus*. On remarque donc que la teneur la plus élevée en Cd est toujours accumulée dans les feuilles. Les concentrations en zinc sont variables dans les différentes parties de *Atriplex frelata* avec un maximum de 142,7 ppm dans les feuilles. Les valeurs de Cr restent dans les normes avec un maximum de 23 ppm dans les racines. Les concentrations en Cr et en Ni sont faibles avec un maximum respectivement de 2 et 1 ppm. Les teneurs en Sr sont les plus élevées, variant entre la racine (263-386 ppm); la tige (55-461 ppm) et les feuilles (45-163 ppm). Chez *Atriplex hamilus*, les fortes valeurs en Zn s'accumulent dans les feuilles avec un maximum de 146 ppm. Celles de Sr sont élevées avec un maximum toujours enregistré dans la tige, avec des teneurs variant entre 100 et 275 ppm.	Une teneur assez forte de zinc arrivant à 100 ppm. Le Cr, Ni, Cu et Cd conservent le même ordre d'accumulation avec respectivement 8.7 ppm, 3.1 ppm, 1.7 ppm et 0.8 ppm. Les teneurs en cuivre, nickel et zinc sont dans les normes alors que le cadmium et le chrome présentent des teneurs supérieures à celles des teneurs normales.

***Malva aegyptiaca* (localement : *Khoubiza*)**	
C'est une plante comestible caractéristique du climat aride; elle est très abondante dans le BMG et présente de fortes valeurs en cadmium variant entre 0,39 et 13 ppm dans les racines, 1 et 29 ppm dans la tige et, 6 et 16 ppm dans les feuilles. Cette plante accumule donc les fortes concentrations en Cd au niveau de la tige. Le Zn montre également des teneurs élevées dépassant la fourchette des valeurs normales, avec un maximun de 239 ppm dans la tige. Donc cette plante accumule de fortes concentrations en Cd et Zn au niveau de la tige. Les teneurs en Cr, Cu et Ni sont dans les normes. Les fortes valeurs en strontium sont accumulées dans la tige, avec un maximum de 390 ppm.	Elle présente une teneur assez appréciable en zinc de l'ordre de 47.6 ppm. Le chrome montre une teneur de l'ordre de 6.4 ppm alors que celle du cuivre et du cadmium sont anormalement élevées pour atteindre respectivement 4.8 ppm et 2.6ppm par rapport aux plantes étudiées. La teneur en nickel est de l'ordre de 2.3 ppm. Cette plante présente des teneurs en Cd et Cr nettement supérieures à la normale. Néanmoins, les teneurs en Cu, Zn et Ni restent dans les normes.
***Tamarix aphylla* (localement *Tarfa*)**	
A des valeurs élevées en Cd dans la tige et surtout dans les feuilles, avec respectivement 2,82 et 4,67 ppm et, 5 et 8,72 ppm. Les teneurs en Zn sont élevées surtout dans les feuilles mais restant dans les normes. Les valeurs de Cu et Ni sont faibles. Cette plante accumule les teneurs les plus élevées en Sr au niveau des feuilles ; les valeurs varient entre 118 et 258 ppm.	Cette plante accumule les éléments métalliques dans l'ordre décroissant suivant : Zn, Cr, Cu, Ni et Cd avec des teneurs respectives de l'ordre de : 19.8 ; 4 ; 1.9 ; 0.7 et 0.4 ppm. La *Tamarix* comme la *Phoenix* présente des teneurs normales en Cd, Cu, Zn et Ni alors que la teneur en chrome est supérieure à la norme.
***Peganum harmaia* (localement : *Harmel*)**	
De la famille *Zygophyllaceae*, sont polluées en cadmium ; la teneur la plus élevée est toujours enregistrée dans les feuilles avec un maximum de 19,68 ppm chez *Zygophylum album*. Les teneurs en zinc sont variables, la valeur la plus élevée se trouve également dans les feuilles de *Zygophylum* album avec 120 ppm. *Peganum harmala* concentre les valeurs les plus élevées en cuivre dans les feuilles avec 41,5 ppm. Cette famille présente des teneurs normales en Zn, Cr et Ni. Alors que Sr est plus concentré surtout dans les feuilles. Sr dans une plante témoin *Zygophylum* album montre des teneurs élevée avec 230 ppm dans les racines, 283 ppm dans la tige et 404 ppm dans les feuilles	La concentration du zinc est de 84.2 ppm, largement supérieure à celle du nickel (3.3 ppm), du chrome (2.9 ppm), du cadmium (2.5 ppm) et du cuivre (2.3 ppm).
Salicornia arabica/Traganum nudatum	
L'analyse chimique de Cd montre des concentrations élevées surtout dans les feuilles avec 9 et 7,5 ppm. Ces deux espèces contiennent des teneurs normales en Zn, Cu et Ni ; par contre celles de Cr sont beaucoup plus élevées chez *Traganum nudatum* avec 6 ppm dans les racines et 16 ppm dans les feuilles. Les teneurs en Sr sont beaucoup plus élevées chez *Salicornia arabica* surtout dans les feuilles avec 1175 ppm.	Le constat fait pour la plante *Peganum harmala* peut être reproduit pour la plante *Salicomia* renfermant les teneurs suivantes : Zn = 42.2 ppm, Cr = 8.1 ppm, Ni = 3 ppm, Cu = 1.7 ppm et Cd = 1.6 ppm.

Annexe 8 : Cartographie des zones agricoles touchées par les exploitations minières

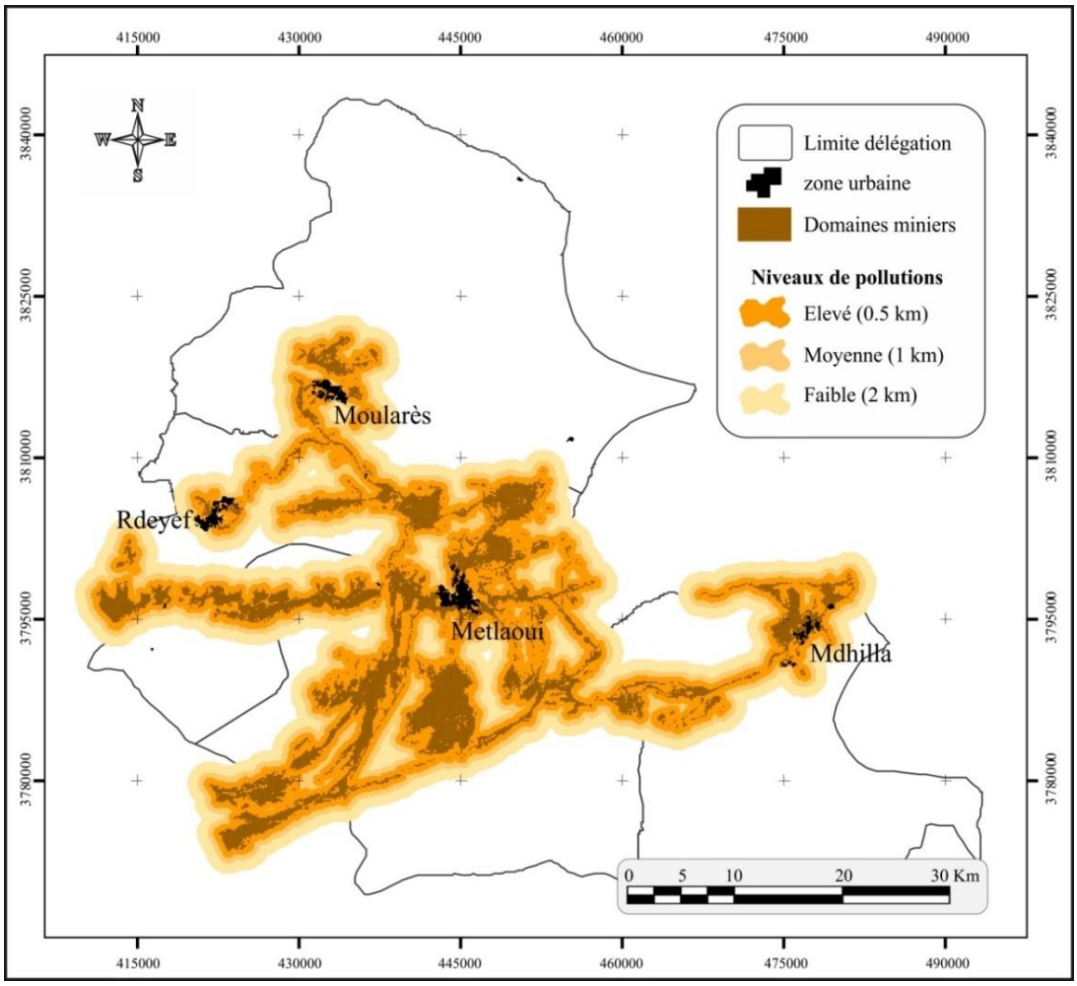
Le principe de localisation des zones touchées par les exploitations minières est la superposition des deux couches sur Arc Gis ; la carte agricole et le domaine minier.

La zone d'intersection directe entre les deux couches d'information est considérée comme "très polluée". La région agricole est considérée comme "polluée" à une distance euclidienne de 0,5km du domaine minier. Le choix de ces deux classes est vérifié par les régions agricoles de Krichet Ennaâm et Tebedditt, localisées respectivement à l'ouest de la ville de Métlaoui et au sud-ouest de la ville de Rdeyef. Des autres critères sont mis en considération ; sens d'épandage des rejets miniers, sens de vent et une vérification sur terrain (photo 33). Au rayon d'un kilomètre, les régions agricoles sont classées comme "moyennement polluées"[124]. Finalement, à deux km de distance, les polluants diminuent considérablement et les zones agricoles sont "légèrement polluées "[125] (carte 69).

Photo 33 : Vérification de niveau de pollution des zones agricoles Tebedditt avec les responsables de la CES (Salhi B., 01/10/2015)

[124] Les sols sont moyennement pollués par les rejets miniers à une distance de 1 km (Galfati I., 2010).

[125] Les sols témoins situés à 2 km des épandages de boues présentent des concentrations 2 fois supérieures en Cadmium, Chrome et Zinc que les sols témoin beaucoup plus éloignés (GENIVAR-SCET, 2002).



Carte 69 : Carte des zones tampons par rapport aux exploitations minières

(Source : Salhi B., 2016)

Tableau 24 : Variation de la distance euclidienne des cultures par rapport au domaine minier (en %) (Source : Salhi B., 2016)

		0 km	0,5 km	1 km	2 km
10	Palmiers/vergers/Cultures maraichères/Cultures fourragères	1,3	18,4	42,3	72,8
9	Palmiers/vergers	35,3	50,6	50,6	58,2
6	Culture maraichère printemps	7	30,7	41,6	50,5
4	Culture maraichère été	8,3	31,7	41,2	48,1
1	céréale	5,7	20,6	29,3	42,8
11	Verger	8,1	33,4	39,7	41,6
8	Palmerais	6,2	14,7	16,6	22,1
7	Olivier	2	9,6	15,9	22
2	Culture fourragère	3,1	6,1	6,5	6,5
3	Culture maraichère de printemps sous olivier	0,1	2,6	4,4	4,5
5	Culture maraichère été sous olivier	0	1	1,9	2,2
Moyenne		7,0	19,9	26,4	33,8

Enquête sur le chômage dans le bassin minier de Gafsa

Date ☐☐ ☐☐ ☐☐☐☐

• Age .....

• Sexe ☐ homme ☐ femme

•délégation ..... Secteur .....

• Etat civil ☐ Célibataire ☐ Marié ☐ Autre cas

Nombre d'enfants dans la garantie .....

• Niveau d'étude ☐ Analphabète ☐ Primaire

☐ Secondaire ☐ Universitaire

• Avez-vous un diplôme? ☐ Oui ☐ Non

• Niveau du diplôme ☐ Formation professionnelle ☐ Technicien supérieur

☐ Maîtrise ☐ Ingénieur ☐ Autre certification

• Année d'obtention ..... Spécialité.....

• Inscrit dans l'un des bureaux de l'emploi ☐ Oui ☐ Non

• Avez-vous déjà participé à des programmes de formation complémentaires réalisé par le Bureau d'Emploi ou l'une des autres autorités ?

☐ Oui ☐ Non

• Quand..... Durée de la formation .....

• Obtiendrez-vous une subvention? ☐ Oui ☐ Non

• Nom de la subvention..... frais mensuelle .....

• Quel est le domaine d'exploitation de la subvention.....
.....

• Combien il y a-t-il de chômeur dans la famille .....

• Combien d'employés ou de ceux qui faire une activité dans la famille.....
.....

• La qualité de l'activité ☐ Occasionnel ☐ Saisonnier ☐ Durable
•Mentionnez.....
• Êtes-vous en train de faire une activité occasionnel ☐ Oui ☐ Non

• Mentionnez.....

• Quels sont les problèmes que vous rencontrez lorsque vous recherchez du travail

☐ Financière ☐ Familial ☐ Sociale

☐ Manque de spécialité ☐ Sécurité, juridique ☐ Autre

• Mentionnez.....

• Avez-vous essayé de créer votre propre projet ☐ Oui ☐ Non

• Quels sont les obstacles rencontrés dans la création du projet.....
.....
.....

• Avez-vous apprécié d'un prêt ou d'une subvention de la Fonds de Reconversion et de Développement des Centres Miniers (FRDCM) ? ☐ Oui ☐ Non

• Année ..... Domaine d'investissement .....

• Avez-vous le désir de travailler dans le secteur privé ☐ Oui ☐ Non

• Pourquoi .....
.....
.....

• Pensez-vous que la Compagnie des phosphates de Gafsa, tout seul, est capable de résoudre la crise du chômage dans la région minière ☐ Oui ☐ Non
• Comment .....
.....

• Acceptez-vous de travailler en dehors de la Compagnie des phosphates de Gafsa ?
☐ Oui ☐ Non
•Pourquoi .....
.....
.....

• Voyez-vous une contribution efficace de la Compagnie des phosphates de Gafsa dans le développement régional du bassin minier

☐ Oui ☐ En partie ☐ Non

•Comment.....
.....
.....

• Quelles sont les principales causes du Sit-in.....
.....
.....

• Êtes-vous convaincu de la performance des autorités locale afin de résoudre le problème du chômage Oui ☐ Non ☐

•Pourquoi.....
.....

• Comment évaluez-vous la performance des autorités avant et après la révolution.....
.....
.....

• Quelle est votre évaluation de l'état de fonctionnement dans le bassin minier

☐ Satisfaisante ☐ Mauvaise ☐ Très mauvaise

• Pourquoi .....
.....
.....

• Quelle est votre évaluation de l'état social du bassin minier

☐ Satisfaisante ☐ Mauvaise ☐ Très mauvaise

• Pourquoi .....
.....
.....

• Quelle est votre vision de l'avenir

☐ Optimiste ☐ pessimiste ☐ Je ne sais pas

• Avez-vous d'autres commentaires.....
.....
.....

Enquête sur la pollution dans la région de Mdhilla

Age……..... Cité.....

Q1: Quelles sont les principales sources de pollution zone Mdhilla
1..... 2 ..... 3 ..... 4.....

Q2 : Avez-vous remarqué des odeurs nauséabondes issues de GCT ou CPG
Oui ☐ Non ☐
Comment ?.....
.....

Q3 : Avez-vous remarqué des petites particules dans l'air ou sur les toits
Oui ☐ Non ☐

Causée par CPG ☐ GCT ☐

Q4 : Souffrez-vous ou parmi votre famille d'une maladie due à la pollution par le domaine minier Oui ☐ Non ☐

Comment ?.....
.....

Q5 : Quelles sont les impacts sur l'environnement et sur les habitants de la région……..……
……...……

Q6 : Dans quel saison la pollution et surtout la pollution atmosphérique s'intense
Été ☐ Automne ☐ Hiver ☐ Printemps ☐
Expliquer……...……
…….

Q7 : A quel période de la journée
Matin ☐ Midi ☐ A la veille ☐ Soir ☐

Q8 : Dans quel climat la pollution et surtout la pollution atmosphérique s'intense
Vent fort ☐ Vent faible ☐
Expliquer……...……
…….

Q9 : Outre le domaine minier, y a-t-il d'autres sources de pollution de l'air dans la région de Mdhilla oui ☐ non ☐

Quel sont……..……..……...……
……...……..……

Q10 : Vous vous rendez compte de la gravité de la situation écologique dans la région de Mdhilla oui ☐ ☐

Expliquer……..……..……...……
……...……..……

Q11 : Avez-vous d'autres commentaires…….
……..……..……

Table des matières

Introduction générale……. 13

1. Présentation du travail…… 23
1.1. Problématique…… 23
1.2. Hypothèses de recherche…… 24
1.3. Objectifs de travail…… 25
1.4. Démarche et méthodologie de travail…… 27
2. Présentation de la zone d'étude …….. 28
2.1. Localisation et délimitation de la zone d'étude…… 28
2.2. Histoire des Compagnies minières de Gafsa…… 29
3. Plan général du travail…… 34
4. Les acteurs dans le Bassin Minier de Gafsa…… 35
Conclusion…… 40

Partie I. : Spécifité d'une région minière

Introduction et concept de base…… 42

Chapitre I. Particularité d'un espace minier, approche bibliographique
1. Principes de localisation des populations en fonction des activités minières…… 44
1.1. Spécifités des villes minières…… 46
1.2. Mode de composition urbaine et production foncière et immobilière…… 48
1.3. Projets miniers et valeurs sociales…… 49
1.4. Ressource minière et mono-activité industrielle…… 50
2. L'environnement minier…… 51
2.1. Exploitation minière et impact sur l'environnement…… 51
2.2. Le Drainage Minier Acide (DMA)…… 54
2.3. Espace minier et ambigüité de développement durable…… 55

Chapitre II. La mise en œuvre d'un projet SIG-Minier
1. Préparation des données pour la création d'un projet SIG-Minier…… 61
1.1. Données nécessaires d'un projet SIG-Minier…… 61
1.2. Utilisation et critique des bases de données pour un SIG-Minier…… 64
2. La télédétection ; outil de détection des changements environnementales…… 65
2.1. Choix de la méthode de détection des changements…… 66
2.2. Variation de l'indice de végétation sous l'effet de l'exploitation minière…… 68

Chapitre III. Spécifité de la région minière de Gafsa
1. Histoire de la découverte de phosphate en Tunisie…… 70
1.1. La formation tunisienne de phosphate ; les phosphorites d'origine marine…… 71
1.2. Le bassin phosphaté de Gafsa, découverte et genèse…… 73
2. Variation spatiale du gouvernorat de Gafsa…… 75
2.1. Gafsa : un gouvernorat aux limites fluctuantes…… 76

2.2. Le Bassin Minier de Gafsa, espace de différenciation……. 77
2.3. Le Bassin Minier de Gafsa et la variation de la toponymie……. 78
3. Le contexte climatique et géo-stratigraphique……...…… 79
3.1. Le cadre climatique…….. 79
3.2. Le cadre géo-stratigraphique……..... 83
4. Etude hydrologique et hydrogéologique…….…….…….…… 89
4.1. Cadre hydrologique du Bassin Minier de Gafsa……. 89
4.2. Cadre hydrogéologique de la région d'étude…….. 93

Conclusion……. 100

Partie II : Evolutions spatiales et urbaines du Bassin Minier de Gafsa

Introduction……..…….……..… 102

Chapitre IV. Naissance et formation des villes minières
1. Naissance et formation de la ville de Métlaoui……..……. 105
1.1. Localisation de la ville de Métlaoui……...…...……... 105
1.2. Genèse de la ville de Métlaoui ……...…. 106
1.3. Armature urbaine de la ville de Métlaoui ……...……..... 109
2. Naissance et formation de la ville de Rdeyef…….……..... 113
3. Naissance et formation de la ville de Moularès……..…… 121
4. Naissance et formation de la ville de Mdhilla……....…… 128

Chapitre V. Exploitation minière et contraintes d'urbanisation dans le BMG
1. Contraintes liées è l'aménagement du Bassin Minier de Gafsa….……..……. 137
1.1. Densité de la population contrastée dans le BMG…….. 137
1.2. Problèmes fonciers et dichotomie de l'espace minier ……..…… 138
1.3. Variation du niveau de pollution des zones urbaines …… 141
2. Contraintes liées à l'aménagement des villes minières……..…… 148
2.1. Des villes "désorganisées"……... 148
2.2. La pollution dans la ville de Métlaoui……. 149
2.3. La pollution dans la ville de Rdeyef……. 151
2.4. La pollution dans la ville de Moularès……. 153
2.5. La pollution dans la ville de Mdhilla……. 155
3. Risque d'inondation dans les villes minières…….. 157
3.1. Risque d'inondation dans la ville de Métlaoui……..…….. 157
3.2. Risque d'inondation dans la ville de Mdhilla……..……..…….. 159
3.3. Rdeyef : Stock minier et inondation du 23 Septembre 2009…….. 160

Conclusion…….. 164

Partie III : Mutations économiques et sociales dans le Bassin Minier de Gafsa

Introduction……..…….……..… 166

Chapitre VI. Disparités régionales et ces impactes sur le Bassin Minier de Gafsa
1. Naissance et évolution des disparités entre le littoral et l'intérieur ……..……. 167
1.1. La formation du gradient littoral-intérieur……..…...……... 167
1.2. Les indicateurs de disparité régionale……....…. 168
2. Disparité et marginalisation de l'espace minier ……..…….…..... 172
2.1. Histoire de la disparité dans la région minière ……..……..... 172
2.2. Indicateur de disparité et marginalisation de l'espace minier……..…… 172
3. Hiérarchie urbaine des villes minières……....……...…… 174
3.1. Structuration des villes minières et dépendance des villes portuaires……. 175
3.2. Un niveau hiérarchique déséquilibré ……..…… 177

Chapitre VII. Situation économique de la région minière de Gafsa
1. Exploitations minières et économie de la région …….……. 184
1.1. Variation de la production des ressources en phosphates et dérivés…… 185
1.2. Devise issue de la vente du phosphate et ses dérivées ……..…….. 189
2. Le secteur minier face aux autres secteurs économiques ……..……...……..…… 192
2.1. Exploitation minière et compétitivité économique…….…… 193
2.2. Décentralisation industrielle dans le Bassin Minier de Gafsa…… 195

Chapitre VIII. Le chômage et l'environnement opérationnel dans le Bassin Minier de Gafsa
1. Structure de la population active dans le BMG……. 201
1.1. Variation de la structure de la population active…… 201
1.2. Spécifités de l'effectif minier……..…….….. 205
2. Chômage et crise opérationnel dans le Bassin Minier de Gafsa……..…….….. 207
2.1. Présentation de notre enquête……..…….….. 207
2.2. Résultats de l'enquête…….. 208

Conclusion……. 222

Partie IV : Les dimensions environnementales dans le Bassin Minier de Gafsa

Introduction……..…….……..… 224

Chapitre IX. Diffusion spatiale des composantes minières à ciel ouvert
1. Evolution spatiale des composantes minières entre 1972 et 2016……..…… 225
1.1. Méthodologie de travail ……...…....……...……..... 225

1.2. Résultats et discussions ……..…...…….……... 225
2. Etude qualitative des rejets miniers …….……. 230

Chapitre X. Pollution minière et variation de la température de surface dans le Bassin Minier de Gafsa
1. Variation de la température de surface en fonction des rejets miniers ……...…. 233
1.1. Etude de cas : le rejet Sebseb ……....…. 233
1.2. Etude de cas : le rejet Mdhilla …….....…….. 244
2. Impact des exploitations minières sur la toxisation des sols…….……....…… 251
2.1. Cas du rejet Sebseb …….……....……..……....……... 251
2.2. Cas du rejet Mdhilla……...……..…….……....……. 254

Chapitre XI. Exploitations minières et dégradation des ressources en sols
1. Cartographie de l'impact des exploitations minières sur la dégradation de la couverture végétale entre 1987 et 2015…….. 259
1.1. Méthodologie de travail……... 259
1.2. Interprétation des résultats et discussions…… 260
1.3. Contamination des plantes par les exploitations minières…….. 263
2. Cartographie de l'impact des exploitations minières sur la vulnérabilité du sol…….…….……. 264
2.1. Impact des mines……. 265
2.1. Impact des rejets……. 267

Chapitre XII : Impact des exploitations minières sur la santé humaine, l'agriculture et les ressources hydriques
1. Pollution atmosphérique dans l'agglomération de Mdhilla…… 269
1.1. Analyse du questionnaire …….…….. 270
1.2. Résultats de l'enquête…….……. 271
2. Impact des exploitations minières sur l'agriculture…… 274
2.1. Exploitations minières et contrainte de développement agricole dans le BMG……. 274
2.2. Cartographie des zones agricoles touchées par les exploitations minières…… 276
3. Impact des exploitations minières sur les ressources en eaux dans le Bassin Minier de Gafsa …….…….…….. 280
3.1. Etat d'exploitation des nappes phréatiques et nappes profondes……. 280
3.2. Demande en eau dans le secteur minier ……. 281
3.3. Les eaux usées : ressources non valorisées……. 284

Conclusion……. 287

Conclusion générale et perspectives……..……. 288

Références bibliographiques…… 294

Annexes…….…… 313

Thèse de Doctorat

Bilel SALHI

Mutations socio-spatiales et environnementales du bassin minier de Gafsa (Sud-Ouest de Tunisie) : Approche par les outils géomatiques

Socio-spatial and environmental changes in the Gafsa mining basin (South-West of Tunisia): Geomatics tools approach

Résumé

Depuis la fin du 19ème siècle, l'espace minier de Gafsa (Sud-Ouest de Tunisie) s'est spécialisé dans la mono-activité de l'extraction et l'enrichissement du phosphate pour des raisons de profits économiques certains. Avec ces exportations, l'espace a subi une dégradation intense des ressources du sol, de la couverture végétale et une détérioration avancée des zones agricoles. La gestion des infrastructures minières n'a pas su répondre aux normes environnementales et a provoqué ainsi des inégalités sociales et spatiales et a accentué le niveau des risques environnementaux.
L'activité minière a été à l'origine de la naissance et de la genèse des villes minières dans le Bassin Minier de Gafsa (BMG). La formation de cités spontanées a provoqué la désarticulation du tissu urbain. Les extensions urbaines notamment l'expansion des quartiers anarchiques, s'étendant vers les laveries et vers les mines, ont créé ainsi des conflits avec le domaine phosphatier. Tous ces facteurs rendent onéreuse et compliquée toute tentative d'aménagement et de réhabilitation que les compagnies minières n'osent engager.
Tenant compte de la complexité des multiples aspects sociaux, spatiaux et environnementaux du BMG, nous avons utilisé à la fois l'approche géographique classique et l'approche géomatique qui nous a semblé appropriée pour aider à la prise de décision. L'intérêt de cette dernière approche permet d'identifier, d'analyser, et de modéliser l'état des lieux, les mutations urbaines et environnementales en relation avec la croissance spatiale-minière. Les outils géomatiques permettent d'analyser, d'agréger et de modéliser diverses composantes spatiales à différentes échelles. Les principaux résultats permettent d'avoir une banque de données statistiques et cartographiques pour une vision synthétique et une meilleure compréhension du BMG et de réaliser un modèle d'aide à la décision.

Mots clés : Bassin Minier, SIG, télédétection, cartographie, modélisation, ségrégation socio-spatiale, inégalités environnementales, Tunisie.

Abstract

Since the end of the 19th century, the mining area of Gafsa (south-west Tunisia) has specialized in the single-activity extraction and enrichment of phosphate for reasons of economic profits. With these exports, this area has suffered an intense degradation of soil resources, vegetation cover and an advanced deterioration of agricultural areas. The management of the mining infrastructure has failed to meet environmental standards, causing social and spatial inequalities and increasing the level of environmental risks.
The mining activity was at the origin of the birth and genesis of the mining towns in the Basin of Gafsa (BMG). The formation of spontaneous cities has caused the disarticulation of the urbanization. Urban extensions, including the expansion of anarchic cities, extending to laundries and to mines, thus created conflicts with the phosphatier domain. All these factors make costly and complicated attempts at development and rehabilitation that mining companies do not dare to commit.

Taking into account the complexity of the many social, spatial and environmental aspects of the BMG, we used both the classical geographical approach and the geomatics approach that seemed appropriate for better decision-making. The interest of this latter approach makes it possible to identify, analyze, and model the state of the sites, the urban and environmental mutations in relation to the spatial-mining growth.

Keywords: Mining Basin, GIS, remote sensing, cartography, modeling, socio-spatial segregation, environmental inequalities, Tunisia.