

DEPARTEMENT D'ÉCOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

N°/SNV/2021

THÈSE

Présentée par

AMEUR NARIMENE

Pour l'obtention du Diplôme de

DOCTORAT L.M.D

Filière: Sciences Biologiques

Spécialité: **ÉCOLOGIE ET ENVIRONNEMENT**

OPTION : BIODIVERSITÉ ANIMALE ET ÉCOLOGIE FONCTIONNELLE

THÈME

CARACTÉRISATION ET ÉVALUATION DES POUSSIÈRES ET
DE LEURS IMPACTS SUR LA BIO-ÉCOLOGIE DES
GASTÉROPODES, DANS LA RÉGION D'AIN TOUTA (BATNA,
ALGERIE)

Soutenue publiquement le 25/05/2021

DEVANT LE JURY

Président	CHAFAA Ismail	Pr. Université Batna 2
Rapporteur	BERTELLA Nabil	Pr. Université Batna 1
Examineurs	BENNOUN Omar	Pr. Université Batna 1
	MERADCI Fouad	Dr. Université Batna 2

Année universitaire : 2020/2021



REMERCIEMENTS

Au nom de Dieu, le Clément, le Miséricordieux

Je remercie Allah le tout puissant de m'avoir aidé pour venir à terme de ce travail et de surmonter toutes les difficultés et de m'avoir accordé ce privilège de pour suivre le chemin de la science.

Ce travail de doctorat a été réalisé au centre de recherche d'analyses physico-chimiques (CRAPC, Tipaza), au laboratoire de recherche LAPAPEZA, Université Batna et l'histologie au département de vétérinaire université Batna 1.

*Soyons reconnaissants aux personnes qui nous donnent du bonheur ;
elles sont les charmants jardiniers par qui nos âmes sont fleuries.*

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements au Pr Bertella Nabil qui fut pour moi un directeur de thèse attentif et disponible malgré ses nombreuses charges. Sa compétence, sa rigueur scientifique et sa clairvoyance m'ont beaucoup appris.

Je tiens également à présenter mes vifs remerciements aux membres du Jury qui ont accepté d'évaluer ce travail ; leurs critiques et leurs remarques vont, sans aucun doute, largement contribuer à améliorer ma thèse. Et au personnel du centre de recherche CRAPC et des Laboratoire du l'institut des sciences agronomiques et des sciences vétérinaires.

La réalisation de cette thèse n'aurait pas été possible sans l'aide de personnes que je tiens à remercier ; mon père et ma mère pour leur soutien et d'avoir m'aider au travail de terrain, mes frères et sœurs pour toutes les facilités et le courage qui m'ont apporté ; à Mr Houichi Larbi, Mr Azzi Elhanafi, Mme Mebarckia Nadjoua, Mr Gadda Djamel, Ils ont été et resteront des moteurs de mon travail de chercheuse ; et aussi Mr Bennoune Omar et Mr Nouicer Ferhat , Mme Kaderine Naima, Mr Lahmar elmekki, Mr Boudjelida, Mr Chergui Hakim, Mr Cheddad Abdelwahab, Mr Ghalem Boubakeur, Ghazi cherif

En effet, ce travail, entrepris selon une démarche dont seul l'auteur en est responsable, n'a pu être mené à terme que grâce à l'aide de ces personnes qui par leurs conseils, leurs critiques éclairants et leur amabilité l'ont soutenu sans relâche. A toutes ces personnes, je leur formule mes vifs remerciements.

J'exprime mes remerciements à Pr Si Bachir Abdelkrim et Mr Adjrouti Rachid pour leurs contributions à cette thèse.

À vous tous du fond du cœur, mille merci ! Aujourd'hui et grâce à vous, je peux tourner une page pour en ouvrir une autre !

DEDICACE

Je dédie cet œuvre à mon cher père ma fierté et ma confiance.

A ma chère mère mon âme sœur et le secret de mon succès.

A mes sœurs (Lilia et Doréa) la lumière qui éclaire mon chemin.

*A mes frères (Foufik et Haider) et mon beau frère (Hassen) que j'aurai
toujours besoin de leurs soutient.*

A mes Belles sœurs (Sabah et Sihem)

A mes adorables nièces, les belles roses Hanine, Lyne et Assil

*A ma chère amie Nadjoua avec qui je partage le bonheur et les difficultés de
nos études.*

*A toute la famille qui m'offre quotidiennement leur bonté exceptionnelle et le
courage*

TABLE DES MATIERES

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

I. Caractérisation des poussières

1. Définition de la pollution atmosphérique04
2. Définition des poussières05
3. Source d'émission des poussières05
4. Classification des poussières06
5. Comportement des poussières dans l'air07
6. Impact des poussières sur la santé et l'environnement10
7. Réglementations12
8. Méthodes de captage et de caractérisation des poussières13

II. Bio-écologie des gastéropodes

1. Description de la classe des gastéropodes21
2. Classification des escargots21
3. Anatomie des escargots21
4. Activités physiologique des escargots24
5. Reproduction25
6. Croissance des escargots26
7. Influence de paramètres externe sur le comportement des escargots27
8. Eco-toxicologie des escargots28

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

I. Zone d'étude	
1. Présentation de la région d'étude	32
2. Présentation des carrières de la région	33
3. Stations d'étude	36
4. Choix du site	36
II. Evaluation et caractérisation de poussières des carrières dans la région d'Ain touta	
1. Captage des poussières	36
2. Justification du choix du dispositif	37
3. Prélèvement des poussières	39
4. Méthode d'analyse physique (la granulométrie)	39
5. Méthode d'analyse chimique.....	39
6. Méthode de modélisation	41
7. Méthode d'analyse statistique	41
III. Réalisation de l'inventaire des escargots	
1. Collecte des escargots	42
2. Méthodes d'exploitation des résultats	43
3. Méthode d'analyse statistique	45
IV. Matériel et méthodes utilisés pour l'élevage in vitro.....	45
1. Choix de l'espèce	46
2. Protocole d'élevage	47
V. Expérimentation éco-toxicologique	49
1. Matériel biologique	49
2. Description morphologique	49
3. Anatomie D' <i>Helix aspersa</i>	49
4. Protocole de suivi de la morphologie des escargots (Croissance)	51
5. Etude histologique	54

Chapitre 3 : Résultats et discussions

I. Evaluation et caractérisation des poussières émises par les carrières	59
1. Première période d'expérimentation	59
1.1. Conditions météorologiques	59
1.2. Analyse physico-chimiques des poussières	59
1.3. Analyse statistique	61
2. Deuxième période d'expérimentation	64
2.1. Conditions météorologiques	64
2.2. Analyse physico-chimique	66
2.3. Modélisation de la dispersion des poussières dans la région	67
2.4. Analyse statistiques	69
II. Effet des poussières sur la bio-écologie des escargots in-vivo	73
1. Inventaire faunistique d'escargots dans la région d'étude	73
1.1. Etude de la population des escargots dans la région	73
1.2. Analyse statistique	76
III. Effet des poussières des carrières sur la croissance des gastéropodes in-vitro 78	
1. Composition chimique du polluant	78
2. Composition chimiques des poussières pour chaque dose.....	78
3. Evolution de la croissance des escargots	80
3.1. Pendant la première période d'expérimentation	80
3.2. Pendant la deuxième période d'expérimentation	
IV. Effet des poussières des carrières sur l'histologie des tissus des gastéropodes	
1. Etude histologique de l'hépatopancréas	85
2. Etude histologique du pied.....	110

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Liste des abréviations

O.M.S.: organisation mondiale de la santé

AFNOR: association française de normalisation

CCME: Conseil canadien du ministre de l'environnement

MEB microscope électronique à balayage

EDS spectromètre de rayons X à dispersion des énergies

QCX analyse par Spectrophotomètre à rayon X

IC, DX100 Chromatographie ionique, Dionex Corporation

PM_{2,5} : Particle matter à diamètre 2.5 µm

TCS : taux de croissance spécifiques

SNMC : Société Nationale des Matériaux de Construction

GRNN : Réseau de neurones de régression généralisée

Ca : Calcium

Al : Aluminium

Cu : Cuivre

Mg : Magnésium

Mn : Manganèse

Fe : Fer

K : Potassium

Na : Sodium

ORSTOM : Office de la recherche scientifique et technique outre-mer

Liste des figures

Intitulé	N° page
Figure n°01 (A et B): Courbes de Pasquill-Gifford	8
Figure n°02 : Panaches observés pour des hauteurs de rejets et des conditions de stabilité variées	9
Figure n°03 : Capteur pyramidal	13
Figure n°04: Les plaquettes DIEM	14
Figure n°05 : Jauge <i>d'OWEN</i>	14
Figure n°06 : Sphères de LIEGE	15
Figure n°07: Jauge de dépôt	15
Figure n°08 : Cyclone	16
Figure n°09 : Impacteur	16
Figure n°10: Agitateur mécanique avec séries de tamis	18
Figure n°11 : Schéma simplifié de l'unité optique d'un granulomètre laser	18
Figure n°12 : Anatomie de l'escargot	23
Figure n°13 : Différentes voies de contamination d' <i>Hélix aspersa</i>	28
Figure n°14: Courbe ombrothermique de la région de Batna dans la période allant de 1988 à 2014	32
Figure n°15 : Distribution des carrières dans la région d'étude	35
Figure n°16: (A) Emplacement du dispositif de captage des poussières au terrain	38

(B) dispositif de captage des poussières. (C) photo personnelle du dispositif	
Figure n°17 : Plan expérimental de positionnement des capteurs sur terrain	39
Figure n°18 : Plan d'échantillonnage	42
Figure n°19 :Pot Barber (photo originale, 2013)	42
Figure n°20 : <i>Helix aspersa</i>	46
Figure n°21 : Présentation de la serre d'élevage	47
Figure n°22 :Boite d'élevage	48
Figure n°23 :Ponte des escargots	48
Figure n°24 : Boite d'incubation	48
Figure n°25 : Début d'éclosion	48
Figure n°26 : Fin d'éclosion	48
Figure n°27 : <i>Helix aspersa</i> (Photo originale)	50
Figure n°28 :Observation en place des organes après dissection d' <i>Helix aspersa</i>	50
Figure n°29 : Plan expérimental de l'essai de contamination des escargots	52
Figure n° 30 : Boite d'élevage (A. L'intérieur de la boîte, B. L'extérieur de la boîte)	53
Figure n°31 : Congélation des escargots	54
Figure n° 32 : Dissection des escargots (A. enlèvement de la coquille, B. corps mou épinglé)	55
Figure n°33 : Rinçage des foies et des pieds	55
Figure n° 34 : Automate pour la déshydratation et inclusion à la paraffine	55
Figure n° 35 :Les moules des blocs	56

Figure n°36: Appareil de coulage des blocs	56
Figure n° 37 : Blocs obtenus	56
Figure n°38: Plaque de refroidissement	56
Figure n° 39 : Microtome	57
Figure n°40: Bain marie et la plaque chauffante	57
Figure n° 41 : Becs de coloration	57
Figure n° 42 : Microscope optique muni d'une caméra	58
Figure n°43: Variation de la température et des précipitations par semaines (du juillet à octobre 2013)	59
Figure n°44: Variation de l'humidité et de la vitesse du vent par semaines (du juillet à octobre 2013)	59
Figure n°45 : Courbes d'iso-réponse en 3D des quantités de poussière collectées dans la première expérimentation (A. poids total, B. Grosses particules, C. Moyenne PM, D. Fines PM).	60
Figure n°46 : Les boîtes à moustache du (A. poids total –PG-, B. grosses PM, C. moyennes PM et D. fines PM) selon les périodes de captage.	61
Figure n°47 : Les boîtes à moustache du du (A. poids total –PG-, B. grosses PM, C. moyennes PM et D. fines PM) selon les stations de captage.	62
Figure n°48 : Les boîtes à moustache du poids total, grosses PM, moyennes PM et fines PM selon les postes de captage.	63
Figure n° 49: Variation de la température et des précipitations (d'août 2013 au juillet 2014)	64
Figure n° 50: Variation de l'humidité et de la vitesse du vent (d'août 2013 au juillet 2014)	64
Figure n°51 : Cercle de corrélation d'analyse de composante principale	65
Figure n°52 : Courbes d'iso-réponse en 3D des quantités de poussière collectées dans la deuxième expérimentation (A. poids total PG, B. Grosses particules, C. Moyenne PM, D.	66

Fines PM).	
Figure n° 53 : Courbe de formation du modèle	68
Figure n° 54 : Courbe de validation du modèle	68
Figure n° 55 : Boîtes à moustache du poids total, grosses PM, moyennes PM et fines PM selon les périodes de captage de la deuxième expérimentation (A. poids total PG, B. Grosses particules, C. Moyenne PM, D. Fines PM).	69
Figure n° 56 : Boîtes à moustache du poids total, grosses PM, moyennes PM et fines PM selon les stations de captage de la deuxième expérimentation (A. poids total PG, B. Grosses particules, C. Moyenne PM, D. Fines PM).	70
Figure n° 57 : Boîtes à moustache du poids total, grosses PM, moyennes PM et fines PM selon les postes de captage de la deuxième expérimentation. (A. poids total PG, B. Grosses particules, C. Moyenne PM, D. Fines PM).	71
Figure n°58 : Abondance relative des espèces de gastéropode dans la zone d'étude	74
Figure n°59 : Indice d'occurrence des espèces de gastéropode dans la zone d'étude	74
Figure n°60 : Paramètres de diversité des escargots calculés durant le printemps 2013 dans les différentes stations d'étude.	75
Figure n°61 : Composition chimique des poussières des carrières.	78
Figure n°62 : Quantités des polluants pour chaque dose (a. Aluminium, b. Magnésium, c. Fer, d. Sodium, e. Cuivre, f. Manganèse, g. Potassium, h. Calcium,)	79
Figure n°63 : Evolution du poids total des escargots lors de la première période d'expérimentation en fonction du temps.	80
Figure n°64 : Evolution de la longueur de la coquille des escargots lors de la première période d'expérimentation en fonction du temps.	80
Figure n°65 : Evolution de la hauteur de la coquille des escargots lors de la première période d'expérimentation en fonction du temps.	81
Figure n°66 : Evolution du poids total des escargots lors de la deuxième période d'expérimentation en fonction du temps	82

Figure n°67 : Evolution de la largeur de la coquille des escargots lors de la deuxième période d'expérimentation en fonction du temps	82
Figure n°68: Evolution de la hauteur de la coquille des escargots lors de la deuxième période d'expérimentation en fonction du temps	83
Figure n°69: Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots témoins (G×10×10)	85
Figure n°70 : Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots traité par dose 01 (G×10×10)	108
Figure n° 71: Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots traité par dose 02 (G×10×10)	108
Figure n° 72: Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots traité par dose 03 (G×10×10)	
Figure n° 73: Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots traité par dose 04 (G×10×10)	108
Figure n° 74: Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots traité par dose 05 (G×10×10)	108
Figure n° 75: Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots traité par dose 06 (G×10×10)	108
Figure n° 76: Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots traité par dose 07 (G×10×10)	109
Figure n° 77: Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots traité par dose 08 (G×10×10)	109
Figure n° 78: Coupe histologique du pied des escargots témoins (G×04×10)	110
Figure n° 79: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 01 (G×10×10)	110
Figure n° 80: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 02 (G×10×10)	110
Figure n° 81: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 03 (G×10×10)	110
Figure n° 82: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 04 (G×10×10)	110

Figure n° 83: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 05 (G×10×10)	110
Figure n° 84: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 06 (G×10×10)	110
Figure n° 85: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 07 (G×10×10)	110
Figure n° 86: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 08 (G×10×10)	110

Liste des tableaux

Intitulé	N° page
Tableau n°01 : Sources d'émission des poussières	5
Tableau n°02: Les indices de la qualité de l'air	12
Tableau n°03 : Liste et données des carrières existantes sur l'axe Batna-Ain-Touta	33
Tableau n°04 : Paramètres d'analyse de chaque élément	41
Tableau n°05 : Répartition du mélange (Aliment + Poussière) dans les boîtes Pétris	52
Tableau n°06: Indices de validation utilisés pour évaluer la performance du modèle	67
Tableau n° 07: Comparaison des quantités des différents éléments chimiques (en g.m ⁻² .an ⁻¹) entre les stations de notre étude et une étude faite au Caraïbe	72
Tableau n°08: Liste systématique des espèces identifiées dans la zone d'étude	73
Tableau n°09: Indice de similitude entre les différentes stations	74

Résumé

Dans le but de caractériser et d'évaluer les poussières émises par les carrières situées dans l'axe Batna- Ain touta, nous avons capté les poussières sur seize points de captage, à l'aide de la jauge d'OWEN en deux expérimentations dont la première s'est effectuée au cours de la saison d'été avec une fréquence d'un prélèvement par semaine, et la deuxième pendant une année avec une fréquence d'un prélèvement par mois, les poussières captées ont été caractérisées physiquement par la granulométrie et chimiquement par l'absorption atomique et comparées aux poussières prise de l'intérieur des carrières. Les résultats prouvent que les poussières dispersées jusqu'à l'entrée de la commune de Batna sont à l'origine des carrières avec des quantités énormes qui dépassent largement la norme AFNOR, et que la dispersion est influencée par plusieurs facteurs (Saison, relief, taille et poids des particules, intensité d'activité), et pour étudier l'effet de ces poussières sur la bio-écologie des gastéropodes, d'une part on a réalisé un inventaire pour connaître les espèces disponibles sur terrain ; et il a révélé onze espèces de cinq familles, et d'autre part on a exposé les juvéniles et infantiles d' *Helix aspersa* issus d'un élevage in vitro aux poussières des carrières dans leur alimentation, pour connaître les effets sur la croissance et les histologie de l'hépatopancréas et le pied, les résultats mettent en évidence des perturbations physiologiques se caractérisent par une amplification du poids et de la taille de la coquille en fonction des doses, et une diminution de ces paramètres en fonction du temps. L'étude histologique vient confirmer l'atteinte tissulaire et les changements observés au niveau des structures cellulaires de l'hépatopancréas et du pied.

Mots clés : caractérisation, pollution, poussières, *Helix aspersa*, croissance, histologie

Abstract

In order to characterize and evaluate the dust emitted by the stone-pits located in the Batna-Ain touta axis, we collected dust on sixteen collection points, using the OWEN gauge in two experiments, the first of which was carried out during the summer season with a frequency of one sample per week, and the second for one year with a frequency of one sample per month, the collected dusts were characterized physically by granulometry and chemically by atomic absorption and compared to the dusts taken from inside the stone-pits. The results prove that the dust dispersed up to the entrance of the municipality of Batna is the origin of the stone-pits with huge quantities that largely exceed the AFNOR standard, and that the dispersion is influenced by several factors (season, relief, size and weight of the particles, production intensity), and to study the effect of these dusts on the bio-ecology of gastropods, on the one hand an inventory was carried out to know the species available in the field; and it revealed eleven species from five families, and on the other hand juveniles and infants of *Helix aspersa* from in vitro livestock were exposed to quarry dust in their diet, to find out the effects on growth and histology of the hepatopancreas and foot, the results show physiological disturbances characterized by an increase in weight and shell size as a function of doses, and a decrease in these parameters as a function of time. The histological study confirms the tissue damage and changes observed in the cellular structures of the hepatopancreas and foot.

Key words : characterization, pollution, dust, *Helix aspersa*, growth, histology

المخلص

لغرض تقييم و تحديد خصائص الغبار المنبعث من المحاجر الواقعة بين بلدية باتنة و عين التوتة، قمنا بإلتقاط الغبار على مستوى ستة عشر نقطة بواسطة مقياس أوون، على مرحلتين، الأولى في فصل الصيف بتردد عينة كل أسبوع و الثانية لمدة سنة كاملة بتردد عينة لكل شهر. تمت دراسة الغبار فيزيائيا بقياس الحبيبات أما كيميائيا بواسطة مقياس الطيف للامتصاص الذري، و مقارنة النتائج مع الغبار المستخرج من داخل المحاجر. أكدت النتائج ان الغبار الموزع حتى بلدية باتنة مصدره المحاجر و أن هذا التوزيع يكون حسب عدة عوامل منها (الفصل، التضاريس، حجم ووزن الحبيبات، و شدة الإنتاج)، ولدراسة أثر هذا الغبار على حياة بطنيات الأقدام في محيطها، قمنا من جهة بجرد الفصائل الموجودة في منطقة الدراسة فأحصينا احد عشر فصيلة من خمسة عائلات للحلازين، و من جهة أخرى قمنا بتعريض صغار الحلزون من نوع *Helix aspersa* المتحصل عليهم من تربية الحلزون في المخبر، للغبار الممزوج في غذاءهم لمعرفة تأثيره على النمو و أنسجة الكبد و القدم. النتائج تظهر اضطرابات فيزيولوجية تتمثل في مضاعفة الوزن و حجم الحلزونات حسب زيادة الجرعات، أما بالنسبة للزمن فنلاحظ تناقص. الملاحظة المجهرية لأنسجة الكبد و القدم تؤكد إصابة بنيتهم الداخلية للخلايا. الكلمات المفتاحية: التلوث، *Helix aspersa*، الغبار، النمو، علم الأنسجة.

Introduction

Introduction

La pollution constitue actuellement l'un des grands problèmes au niveau mondial. Elle contribue en grande partie au déséquilibre du fonctionnement des systèmes biologiques à différents niveaux de perception.

Dans l'environnement, la présence des polluants entraîne des perturbations aux niveaux des êtres vivants (microorganismes, flore et faune) et aux compartiments abiotiques fondamentaux des milieux (eau, sol et atmosphère) (Grand et al., 2012). Quoique la présence des polluants dans l'écosystème n'est pas un problème en elle-même c'est que leur mobilité dans l'environnement et leur intégration dans la chaîne trophique qui présentent des risques importants (Zaafour, 2014).

Il est évident que depuis plusieurs dizaines d'année, les activités humaines s'accompagnent de la dispersion, volontaire ou involontaire, de quantité naturelle ou de synthèse, parmi lesquelles un bon nombre possède des propriétés toxiques (Lagadic et al., 1998). A l'heure actuelle, on a besoin des outils capables d'apprécier de manière globale et intégrée l'impact des polluants, afin d'améliorer les connaissances sur leur transfert et leur comportement dans tous les compartiments de l'environnement (Grand et al., 2012). Ces outils doivent faire face à cette contamination plurifactorielle aux effets immédiats, généralement peu spectaculaire mais souvent très grave à long terme (Lagadic et al., 1998).

Les méthodes d'analyses physico-chimiques, bien que toujours plus performantes, atteignant leurs limites en tant qu'outil d'aide à la gestion environnementale, même s'il est parfois possible d'identifier et de quantifier tous les contaminants présents dans une matrice quelconque (eau, sol, sédiment ...). Ceci ne permet pas d'évaluer, ni même de prévoir l'impact de ces substances sur les êtres vivants à fortiori leurs effets sur l'écosystème dans son ensemble (Lagadic et al., 1998). D'où la recherche des outils permettant de mesurer leur biodisponibilité, transferts et effets sur les écosystèmes terrestres. En effet, les outils biologiques permettent de renseigner sur l'ensemble des polluants (comme les substances issues de la dégradation des polluants organiques) et sur les effets des mélanges de substances qui sont peu pris en compte dans les études réalisées à partir d'analyses physico-chimiques (Grand et al., 2012). C'est pourquoi d'autres voies ont été explorées sous le terme générique de bio-marqueurs (Chevallier, 1977 ; Lagadic et al., 1998). L'utilisation d'organismes vivants, mesurés *in situ*, présente l'intérêt d'observer

les écosystèmes avec une vision plus écologique intégrant l'ensemble des facteurs environnementaux grâce à des organismes sentinelles (bioindication) (Grand et al., 2012).

Les approches actuelles tendent à étudier les interactions entre les contaminants et une grande diversité d'organismes animaux afin d'évaluer l'impact des contaminants sur l'ensemble des communautés animales (Grara, 2011). Il est donc nécessaire de disposer d'indicateurs de perturbation de l'environnement à travers des organismes ou un ensemble d'organismes que l'on utilise comme sentinelles en étudiant les modifications physiologiques, biochimiques et écologiques qui les affectent. Ces êtres vivants très sensibles aux contaminants présentent l'intérêt de se prêter plus facilement que l'homme aux études des effets des polluants et permettent de mettre en évidence des pollutions chroniques ou brutales (Echaubard, 1995 ; Hellowell, 1986)

Cet objectif implique l'élargissement de l'éventail taxonomique et écologique (niveau trophique) classiquement étudié et la prise en compte dans les études d'éco-toxicologie d'autres groupes d'invertébrés tels que les gastéropodes pulmonés (Coeurdassier, 2001). Le bio-indicateur utilisé dans cette étude est un gastéropode pulmoné terrestre, présenté seulement par l'*Helix aspersa*. Ce dernier est un bon bio-indicateur et bio-marqueur de pollution atmosphérique par les poussières.

Les dépôts de poussière représentent un flux important de nutriments dérivés des roches, tels que le phosphore, vers les écosystèmes des sols fortement altérés. Les mesures directes des dépôts de poussière terrestre et de leur variabilité spatiale sont essentielles pour tester les modèles des processus de dépôt de poussière et comprendre les effets biogéochimiques de la poussière (McClintock et al., 2019).

La majorité des activités d'exploitation des gisements calcaires dans la région de Batna se concentrent sur un axe de 30 km au sud-ouest de la commune de Batna, avec 23 carrières. Ces dernières ont des capacités de production journalières importantes, ce qui crée des immenses nuages de poussière. Elles affectent la qualité de vie des riverains (qualité d'air, dépôt de poussières sur leurs domiciles, agriculture, et la santé de leurs bétails). La surexploitation de ses gisements a causé beaucoup de problèmes, qui sont liés à la sédentarité des populations humaines (Scheifler, 2002), car la poussière émise par ces carrières peut être dispersée au long de l'axe et que cette dispersion détermine leur accumulation dans l'atmosphère ainsi que leur dépôt.

Nous avons mené cette étude pour évaluer la pollution de l'air par les poussières émises par les carrières de gisement calcaire au long de la route nationale n°03 entre les communes Batna et Ain-touta ; et de l'autre part, l'effet de ces poussières sur la bio-écologie de gastéropodes type escargot *Helix aspersa* en suivant leur croissance et en observant leurs hépatopancréas et pieds, cette étude est la première de son genre dans cette région.

Pour cela on a procédé par un plan de travail qui s'articule comme suit :

- Introduction
- **Chapitre 01** : Synthèse bibliographique
- **Chapitre 02** : Matériel et méthodes
- **Chapitre 03** : Résultats et discussions
- En fin une conclusion et perspectives

Chapitre 1

Synthèse bibliographique

I. Caractérisation des poussières

1. Définition de la pollution atmosphérique

Plusieurs définitions ont été développées pour expliquer la pollution de l'atmosphère, on cite parmi elles ; selon l'organisation mondiale de la santé (O.M.S) ; la pollution de l'air est un problème important de l'hygiène du milieu. Elle affecte aussi bien les pays développés que ceux en voie de développement car, des quantités croissantes de gaz et de particules potentiellement nuisibles, sont émises dans l'atmosphère entraînant des dommages à la santé humaine et à l'environnement. Elle endommage aussi à long terme, les ressources nécessaires au développement durable de la planète. Tandis que les scientifiques définissent la pollution atmosphérique par toute émission dans l'air, quelle qu'en soit la source, des substances gazeuses, liquides ou solides susceptibles de porter atteinte à la santé humaine, de nuire aux animaux et aux plantes ou de causer un dommage aux biens et aux sites. La pollution de l'atmosphère, c'est l'échange entre l'atmosphère et les autres compartiments de l'environnement qui se fait par émissions ou déposition et/ou transformation des polluants (**Alliouche, 2008**).

Du point de vue réglementaire le conseil de l'Europe (1968) proposa la définition suivante « Il y a pollution atmosphérique lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses composants est susceptible de provoquer un effet nocif, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer une nuisance ou une gêne » (**Elichegaray 2008 ; Rebouh, 2011**).

La loi française sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996, définit la pollution de l'air comme « l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels et à provoquer des nuisances olfactives excessives » (**Rebouh, 2011**).

La pollution atmosphérique, au sens de la loi Algérienne N° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement, est l'émission dans l'atmosphère de gaz, de fumée ou de particules solides ou liquides, corrosives, toxiques ou odorantes de nature à incommoder la population, à compromettre la santé ou la sécurité publique ou à nuire aux végétaux, à la production agricole et aux produits agroalimentaires, à la conservation des constructions et monuments ou au caractère des sites (**Alliouche, 2008**).

2. Définition des poussières

Une poussière est une particule solide d'un diamètre aérodynamique d'au plus de 100 micromètres ou dont la vitesse limite de chute, dans des conditions normales de température, est au plus égale à 0,25 mètre par seconde (Goix, 2012).

Les poussières (aérosols de dispersion), qui résultent de la fragmentation des matériaux solides sous l'effet des forces naturelles ou d'une action mécanique et se rencontre en général sur les lieux de travail tels que mines, fonderies, carrières, usines textiles, pendant des opérations de broyage ou d'usinage ou lors du transport de matériaux finement divisés, ainsi qu'en agriculture et en sylviculture. Plus les particules ont un diamètre élevé, plus elles sédimentent rapidement. En outre, la vitesse de sédimentation dépend de la masse volumique et de la forme de la particule ainsi que de la turbulence atmosphérique. La sédimentation est rapide dans le cas des poussières dont le diamètre excède 20 µm (OMS, 1984).

3. Source d'émission des poussières

Les poussières sont émises dans la nature de différentes sources entre autres les carrières, elles sont présentées dans le (tableau n° 01).

3.1. Différentes sources d'émission des poussières

Tableau n°01 : Sources d'émission des poussières

Sources	Des exemples
Combustion – sources fixes	<ul style="list-style-type: none">• Production d'électricité• Raffinage du pétrole• Transformation des combustibles minéraux solides
Procédés industriels	<ul style="list-style-type: none">• Production des métaux lourds• Production des produits de construction• Production de ciment et chaux• Exploitation des carrières• Travail du bois
Extraction et 1 ^{er} traitement des combustibles minéraux solides	<ul style="list-style-type: none">• Mines• Stockage des combustibles solides
Combustion – sources mobiles	<ul style="list-style-type: none">• Transport aérien

autres que transport routier	<ul style="list-style-type: none">• Autres transports : ferroviaire, maritime, fluviale, machinerie (tous secteurs)• Emissions à l'échappement
Traitement des déchets	<ul style="list-style-type: none">• Incinération d'ordures (ménagères, industriels, hospitaliers)
Agriculture	<ul style="list-style-type: none">• Elevage de cochons, poulets, autres volailles, moutons, chevaux, vaches laitières et autres bovins, caprins, ânes et mulets.• Labourage• Moissonnage

(Sambat, 2001)

3.2.Principales sources des poussières dans une carrière

Dans une carrière de granulats, les poussières sont les nuisances les plus importantes, ces poussières se génèrent lors :

- Du forage des trous de mines si l'abattage se fait à l'aide de l'explosif.
- De l'explosion au niveau de la carrière.
- Du déversement de la matière première dans le concasseur.
- Du concassage primaire et secondaire de la matière première (**Alliouche, 2008 ; Descoteaux, 2012**).
- De l'opération de criblage.
- Du transport de la matière première par tapis à ciel ouvert ou par camion vers le concassage ou le stockage.
- Du déversement de la matière sur le site de stockage
- Du broyage de la matière pour leur préparation finale (**Alliouche, 2008**).

4. Classification des poussières

On peut classer les poussières selon différents paramètres (origine, diamètre et nocivité)

4.1.Selon l'origine

On distingue des Particules primaires (Particules de poussière qui pénètrent directement telles, sans transformation dans l'air) et des Particules secondaires (Particules de poussière qui se forment dans l'atmosphère à partir de substances gazeuses « précurseurs » (SO₂, NO_x, NH₃, COV)) (**Sambat, 2001 ; OFEV, 2011**).

4.2.Selon le diamètre

On distingue des Particules fines d'un diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 μm , Particules grossières d'un diamètre aérodynamique compris entre 2,5 et 10 μm et des Particules ultrafines d'un diamètre aérodynamique inférieur à 0,1 μm (**OFEV, 2011**).

4.3.Selon leur nocivité

On distingue des poussières fibrogènes, toxiques et cancérigènes et des poussières sans effets toxiques reconnus (**Direction des opérations, 2005**).

5. Comportement dans l'air

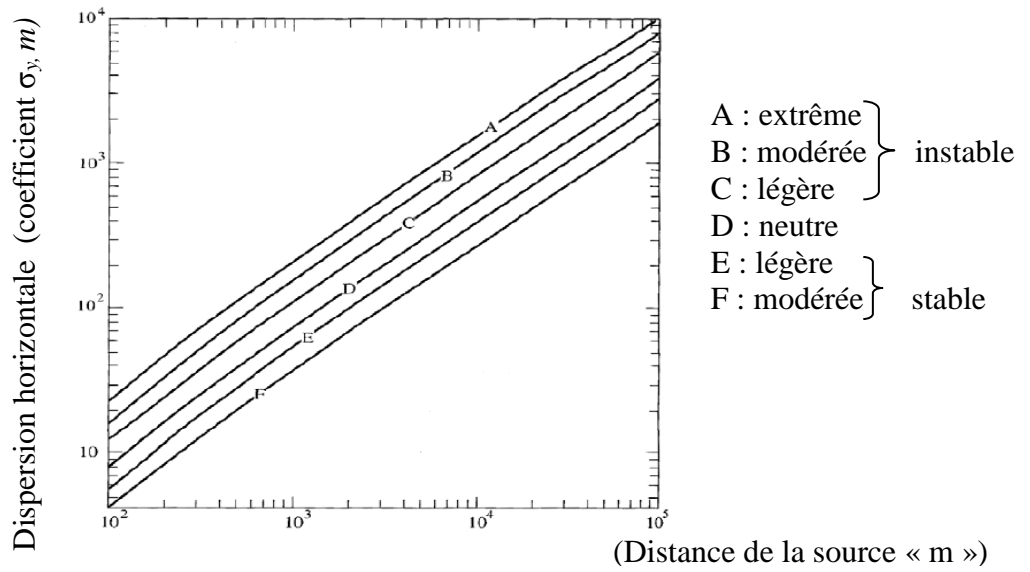
5.1.Dispersion d'une particule à partir d'une source ponctuelle et permanente

Une émission d'espèce chimique permanente q (en $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$), dont la concentration moyenne $c(x, y, z)$ de l'espèce est exprimée par l'équation suivante :

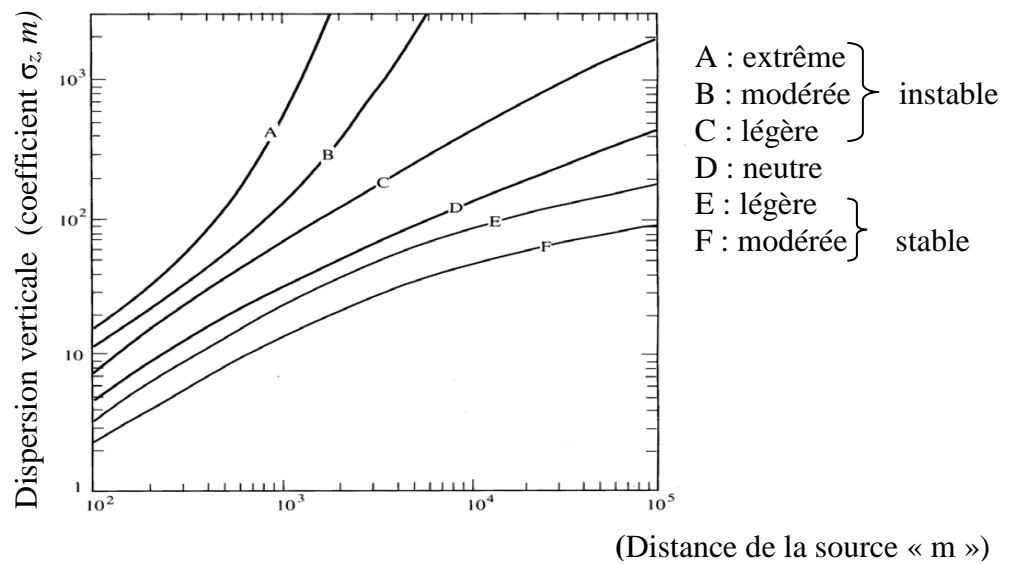
$$\langle c(x, y, z) \rangle = \frac{q}{2\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

Cette équation donne une expression simple de la concentration à une distance x de la source d'émission. Cependant les coefficients $\sigma_y(x)$ et $\sigma_z(x)$ doivent être connus pour différents états de l'atmosphère. Pour se faire une approche est de définir plusieurs classes de stabilités. Pasquill (1961) a proposé une classification des différents états de l'atmosphère avec 6 classes (de A à E) (**Chaxel, 2005**).

Une définition courante des coefficients σ_y et σ_z est proposée par Gifford (1961) et a été adaptée aux classes de Pasquill. Les valeurs des deux coefficients σ_y et σ_z en fonction de la distance de la source et des classes de stabilité sont données dans les abaques ci-dessous (Figure 01). Ces abaques sont appelées courbes de Pasquill-Gifford. Il existe des expressions analytiques des coefficients de dispersion verticaux et horizontaux (**Chaxel, 2005**).



A. Valeurs de σ_y en fonction de la classe de stabilité de Pasquill (courbes de Pasquill-Gifford) et de la distance x de la source d'émission



B. Valeurs de σ_z en fonction de la classe de stabilité de Pasquill (courbes de Pasquill-Gifford) et de la distance x de la source d'émission (Chaxel, 2005).

Figure n°01 (A et B): Courbes de Pasquill-Gifford (Chaxel, 2005)

5.2.Panache

Les différents panaches ; issues d'une cheminée ; que l'on observe dans différentes conditions de stabilité et pour différentes hauteurs de rejet sont présentés dans la figure 02:

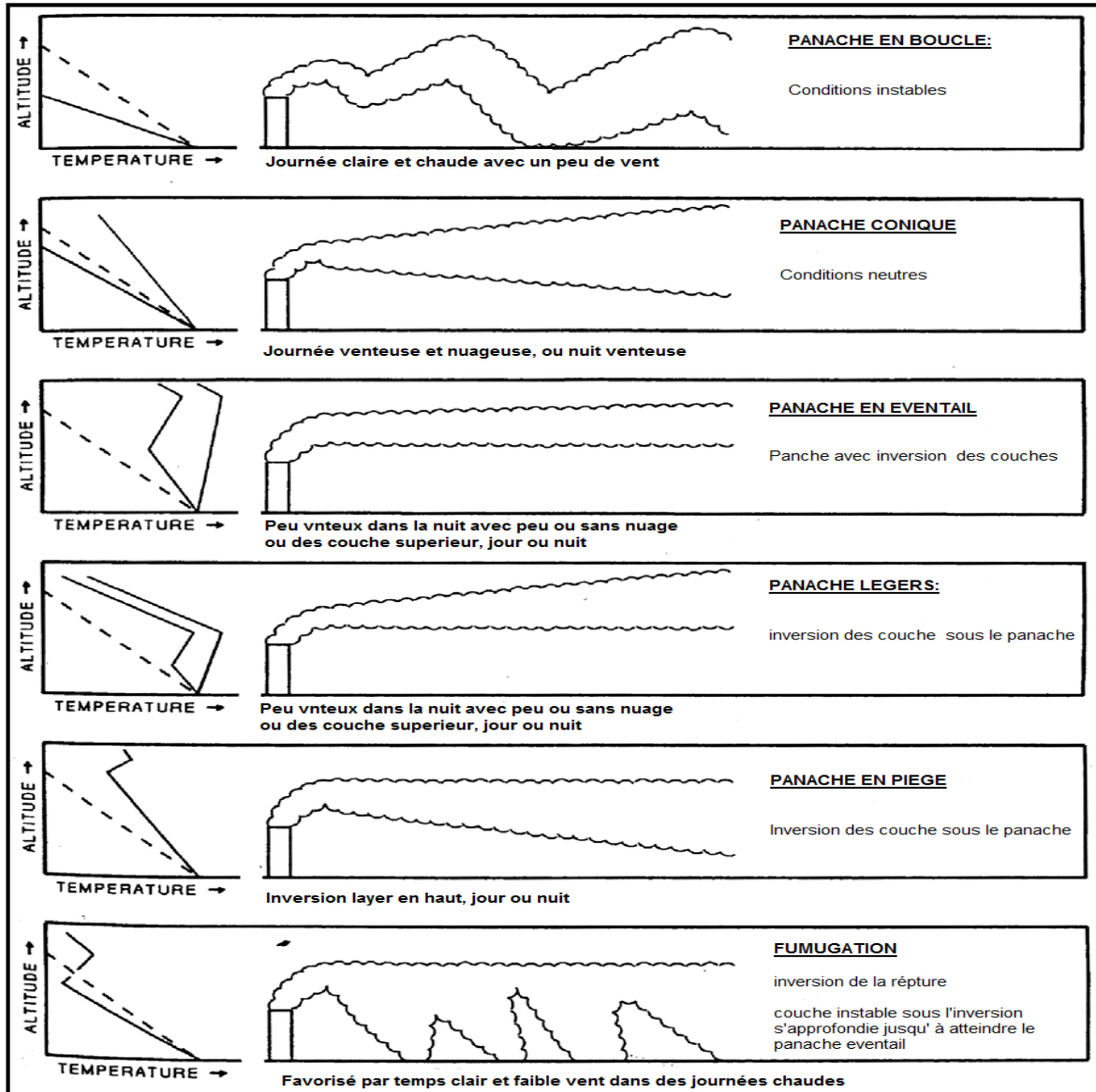


Figure n°02 : Panaches observés pour des hauteurs de rejets et des conditions de stabilité variées (Chaxel, 2005).

Plusieurs mécanismes participent au déplacement et à la dilution du nuage avec une intensité différente et variable selon l'évolution des caractéristiques du nuage.

Pour des rejets de grande vitesse, la quantité de mouvement va être prédominante dans les premiers instants, puis va être réduite avec les effets d'entraînement de l'air et du frottement du sol.

Pour un rejet instantané, cette quantité de mouvement est supposée être distribuée tout autour du centre du nuage. Elle participe donc à son expansion, mais ne contribue pas de ce fait au déplacement du nuage. Quand le nuage est en contact avec le sol ou atteint une couche d'inversion de température (INERIS, 2002).

6. Impact des poussières sur la santé et l'environnement

6.1. Impact des poussières sur la flore

- On peut observer des effets néfastes sur la végétation, les plantes affectées sont rendues plus sensibles aux infections cryptogamiques, ce qui entraîne avec le temps une réduction du rendement des cultures (**Iqbal, 2000 ; Khelifa et al., 2009 ; Abdelrahman et al., 2012**).

- La déposition de poussières occasionne l'enrichissement des milieux en certains éléments qui sont contenus dans la poussière (**Descoteaux, 2012 ; Abdelrahman et al., 2012**).

- Modification de la productivité des plantes, divers travaux ont montré que les apports de poussières de différentes sources avaient un impact négatif sur le taux de photosynthèse des plantes, soit par des interactions physiologiques, soit par réduction de la lumière qui atteint les organes photosynthétiques (**Iqbal, 2000 ; Abdelrahman et al., 2012 ; ENCEM, 2011 ; Descoteaux, 2012**).

6.2. Impact des poussières sur la faune

Les impacts sur la faune terrestre sont probablement très semblables aux effets sur la santé chez les humains. Un effet potentiel sur la faune aquatique peut par contre être identifié, l'augmentation des matières en suspension dans l'eau a été reconnue pour créer des dommages aux branchies des organismes aquatiques (**Descoteaux, 2012**).

6.3. Impact des poussières sur l'homme

- **Réduction de la visibilité** : Les émissions de poussières, lorsqu'elles sont suffisamment denses peuvent réduire la visibilité et causer de sérieux problèmes de sécurité (**Descoteaux, 2012**).

- **Problèmes de santé** : Les principales incidences sont l'inflammation des voies respiratoires qui peuvent mener à l'asthme et aux bronchites chroniques ainsi que des problèmes cardiaques et la mort subite (**HSL, 2000 ; Sultan, 2004 ; OFEV, 2011 ; Descoteaux, 2012**). Des études ont prouvées que le sang des travailleurs dans les milieux

empoussiérés est influencé par les poussières surtout chez les asmatiques (**Goudjil, 2009**).

- **Transport de maladies** : Les matières particulaires dans l'atmosphère sont des vecteurs de virus, de bactéries et d'autres pathogènes (**Goudjil, 2009**).

6.4. Impact des poussières sur l'eau

- **Aspect jaunâtre et durcissement des eaux** : Eau dure à cause de la forte teneur en minéraux (silice, oxyde de calcium, de magnésium et de fer) (**Zouhoun, 1993**).

- **Augmentation du pH** : Le pH d'une solution saturée par une pierre à fort taux de carbonates pulvérisée est aux alentours de 8 à 9,2 qui ne serait pas suffisante pour compromettre la vie aquatique, et d'empêcher l'utilisation de cette eau pour des fins de consommation humaine (**Descoteaux, 2012 ; El kharmouz et al., 2013**).

- **Augmentation de l'alcalinité** : Dissolution du CO₂ de l'air dans l'eau, formation d'acide carbonique qui rentre dans la formation de bicarbonates et la formation de carbonates ces deux dernières libèrent H₃O⁺ qui offre un pouvoir tampon et stabilise le pH (**Descoteaux, 2012**).

- **Dégradation de la qualité des eaux souterraines** selon **Hamiri et al., 2011**, les eaux souterraines sont affectées par les poussières des cimenteries de la région de Tébessa.

6.5. Impact des poussières sur le sol

Augmentation du pH ce qui diminue l'incidence des précipitations acides, et rend le sol dur à cause des fractions de calcaire est responsable de la formation d'une croûte de sol dans les régions arides et semi-arides (**Descoteaux, 2012**).

6.6. Impact des poussières sur l'air

- **Modification de l'albédo** : Les particules de sol qui sont émises dans l'atmosphère ont généralement un effet de réflexion de la lumière suffisamment important pour réfléchir plus de lumière qu'elles n'en absorbent, ce qui crée un effet de refroidissement de l'atmosphère par une augmentation de l'albédo de la terre.

- **Réduction de la concentration en ozone dans la troposphère** Les poussières émises dans l'atmosphère réagissent avec les molécules d'ozone (O₃) qu'elles rencontrent.

- Outre le fait que les particules dans l'atmosphère influencent les précipitations, elles auraient un effet sur le réchauffement planétaire, puisqu'en augmentant la durée de vie et la densité des nuages, ils pourraient absorber ou refléter plus de lumière. Par contre,

la compréhension de ces mécanismes est encore trop embryonnaire pour avancer le sens et l'ampleur de cet effet (Descoteaux, 2012).

7. Réglementations

7.1.Organisation mondiale de la santé (OMS) en 2005

Déclare que 50 µg/m³/jour et 20 µg/m³/an de PM₁₀. 25 µg/m³/jour et 10 µg/m³/an de PM_{2.5} sont les valeurs recommandées pour les particules en suspension.

7.2.Loi européenne

Depuis janvier 2005, une valeur-limite est applicable en Europe pour les PM₁₀ : Un seuil de 50 µg/m³/jour, et ne doit pas être dépassée plus de 35 jours par an.

La directive impose également une concentration moyenne annuelle de 40 µg/m³ qu'on ne doit en aucun cas dépasser durant un an (Site web1).

7.3.Loi canadienne

Le Conseil canadien du ministre de l'environnement (CCME) a fixé les normes pour PM_{2.5} à 30 µg/m³/jour (Site web 2).

7.4.Loi algérienne

Le décret exécutif N° 06-138 du Rabie El Aouel 1427 correspondant au 15 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solide fixe à 50 mg/Nm³ comme valeur limite de poussières totales et 100 mg/Nm³ de tolérance des valeurs limites des industries anciennes.

En cas de centrale d'enrobage la valeur limite des poussières est de 100 mg/Nm³ avec une tolérance pour les installations anciennes de 150 mg/Nm³

7.5.Les indices de la qualité de l'air

Selon l'arrêté du 21 Décembre 2011 modifiant l'arrêté du 22 Juillet 2004 relatif aux indices de la qualité de l'air présentés dans le tableau n° 02:

Tableau n°02: Les indices de la qualité de l'air

Particules en microgrammes par mètre cube	0 à 6	7-13	14-20	21-27	28-34	35-41	42-49	50-64	65-79	≥ 80
Sous-indice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

8. Méthodes de captage et de caractérisation des poussières

Contrairement à la mesure des polluants atmosphériques gazeux, les méthodes de captage des particules en suspension sont multiples et variées, en raison de leur nature extrêmement complexe et diversifiée (Ostiguy et al., 2008)

8.1. Méthodes de captage des poussières

8.1.1. Le capteur pyramidal

Des mesures de dépôt de poussières ont été réalisées par l'ORSTOM de 1984 à 1989 à Dakar et de 1986 à 1987 à Mbour. Le capteur d'aérosols consiste en une cuve pyramidale renversée de plexiglas, de 40 cm de profondeur avec une surface de réception de 0,25 m², placée à 5 m au-dessus du sol (figure n°3). Le capteur est lavé à l'eau distillée quotidiennement et à heure fixe, pour récupérer les poussières déposées dans la cuve. Ensuite au laboratoire, les poussières sont recueillies par filtration sur filtres millipores de 0,45 µm de porosité puis séchées à 70°C et pesées (Orange et al., 1990).

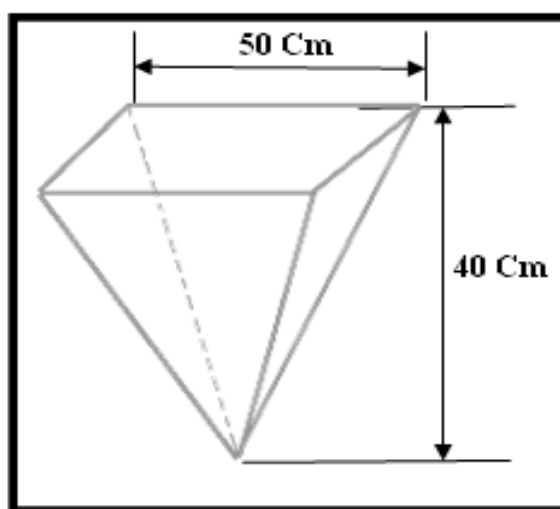


Figure n°03 : Capteur pyramidal (Orange et al., 1990)

8.1.2. Plaquette de dépôts (norme NFX 43 007)

Les plaquettes DIEM sont constituées par une feuille d'aluminium de dimensions 84 x 39 mm (figure n°4). Afin de mieux retenir les retombées, elles sont enduites d'une couche fine de vaseline (0,1 g par plaque), voir A.F.N.O.R NF X 43007.

Leur temps d'exposition est d'une à deux semaines, la position horizontale à 1,5 m du sol et à ciel ouvert. Les poussières collectées peuvent être pesées et observées au microscope ou laver la vaseline avec les poussières pour un examen plus approfondi (Gabet, 1999 ; Henni-chebra, 2011).



Figure n°04: Les plaquettes DIEM (Gabet, 1999)

8.1.3. Jauge d'OWEN

C'est un entonnoir (normalisé AFNOR 43006) qui est placé sur un bidon d'un volume de 10 litres (figure n° 5). L'ensemble est placé à ciel ouvert. Sur une surface d'ouverture de 0,08 m², il reçoit les précipitations solides et liquides. Elles sont examinées au laboratoire, au bout d'un mois pour connaître la composition chimique et physique de la contenance du bidon (volume H₂O, poussières insolubles par filtration sur papier, matières solubles, pH, calcination du résidu extrait par solvant : pesée des cendres) (Orange et al., 1990).

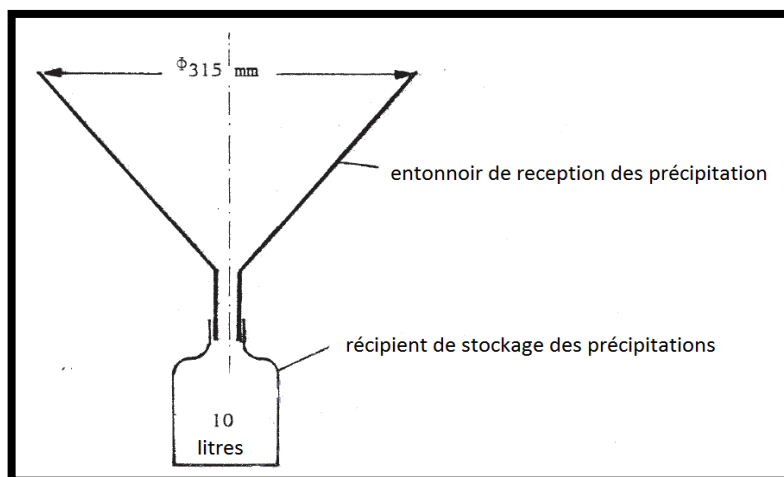


Figure n°05 : Jauge d'OWEN (Orange et al., 1990).

8.1.4. Sphères de LIEGE (IUTTICH)

On peut obtenir une idée de l'importance et de la direction prépondérante de la poussière à l'aide de sphères dites de LIEGE (en aluminium, diamètre : 12 cm) (figure n°6) que l'on pose à 3 m au-dessus du sol après les avoir munies d'une couche de vaseline. La répartition du dépôt de poussière sur la sphère donne une idée qualitative de la pollution et de la

direction de sa provenance. Le dépôt sur la bande indique la quantité, la nature et la direction de l'origine de la poussière (Orange et al., 1990).

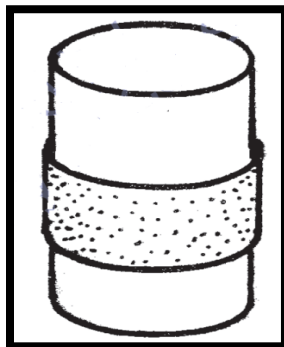


Figure n°06 : Sphères de LIEGE (Orange et al., 1990).

8.1.5. Jauge de dépôt

La mesure se fait par l'intermédiaire d'un récipient de collecte ce qui rattrape tout simplement le dépôt de poussière sur une surface fixe sur une période de temps (figure n°7). Généralement les récipients utilisés sont en plastique ou en verre, d'un diamètre de 80-15 mm. On les utilise exclusivement par temps sec (Meichen, 1999; AIRPARIF, 2008).

Les jauges de poussière doivent être soigneusement placées, on prend en considération :

- La direction et la vitesse du vent (et donc l'efficacité de collecte de poussière),
- La proximité des sources de poussières locales (comme une route non asphaltée) qui peuvent affecter la mesure (Meichen, 1999).



Figure n°07: Jauge de dépôt (BIT, 1965)

8.1.6. Les bacs

Les bacs sont des plateaux rectangulaires collectant la poussière qui est prélevée à l'aide d'un pinceau, et conservée dans des boîtes, après avoir faire un lessivage du bac par l'eau distillée pour collecter la poussière sédimentée sur toute la surface du bac, et mettre le lixiviat dans des flacon. Puis évaporer dans un bécher et on l'ajoute à la poussière sèche. (Hemiri et al., 2011).

8.1.7. Cyclones

Un cyclone est une unité technologique imposant une rotation rapide à un gaz afin d'en séparer les fines particules solides qui y sont mélangées (figure 08). Ce procédé ne peut s'appliquer qu'aux petites particules qui ont tendance à suivre la même trajectoire que le flux gazeux, leur vitesse de chute étant inférieure à 0,3 m/s. Les particules plus grosses sont plus aisément séparées à l'aide de simples décanteurs. Donc ils sont peu efficaces pour des particules en dessous de 10 microns (Meichen, 1999 ; AIRPARIF, 2008).

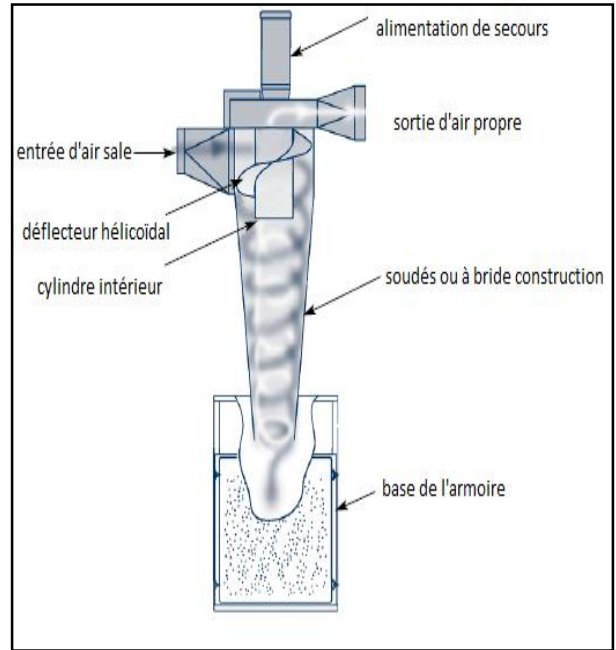


Figure n°08 : Cyclone (Menard, 2008).

8.1.8. Impacteurs

Les impacteurs sont les dispositifs les plus largement utilisés dont le principe est fondé sur les propriétés d'inertie des aérosols. Dans ces systèmes les particules ayant une inertie supérieure à une certaine valeur limitent ne suivent pas les lignes de courant de l'air échantillonné. Un étage d'impaction est constitué d'un ajustage dirigeant un jet d'air à haute vitesse contre une surface solide. On aura alors une impaction des particules supérieures à un certain diamètre de coupure. Chaque étage comportera donc une buse d'entrée et une surface d'impaction (figure 09) (Orange, 1990).

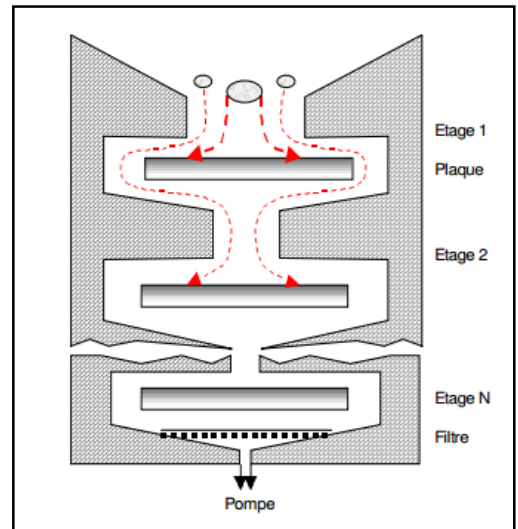


Figure n°09 : Impacteur (Orange, 1990).

8.1.9. Séparateur électrostatique

Cette technique contient deux phases :

- **Ionisation:** Les poussières présentes dans l'effluent d'air sont ionisées lors de leur passage entre deux électrodes (émissive et collectrice) portées à des différences de potentiel très élevées, ce qui provoque l'ionisation de l'air et les ions se fixent sur les particules.

- **Piégeage** : Les particules sont attachées sur l'électrode collectrice selon leur charge électrique. L'électrode collectrice est régulièrement mise en vibration pour récolter les poussières accumulées. Cette technologie présente une très bonne efficacité pour toutes les particules et permet de respecter 50 mg/m³ de poussières en rejet (**AIRPARIF, 2008**).

8.2. Méthodes de caractérisation des poussières

8.2.1. Méthodes de caractérisation physique des poussières

L'analyse granulométrique ou analyse mécanique consiste à séparer la partie minérale de la poussière en catégories classées d'après la dimension des particules cette caractérisation permet de connaître plusieurs caractères : la taille, la structure (cristalline aux contours anguleux et coupants) et la forme des particules (**Clement et Françoise, 1997**).

8.2.1.1. Tamisage

Le tamisage est l'une des plus anciennes méthodes d'analyse granulométrique et aussi l'une des méthodes les plus largement utilisées lorsqu'il s'agit d'analyser la taille de particules supérieures à 45µm ; c'est en effet une technique peu coûteuse. La technique consiste à diviser en fractions, à l'aide d'une colonne de tamis, la matière ou une partie adéquate de celle-ci constituant un échantillon parfaitement représentatif (figure 10). La séparation idéale n'est cependant jamais réalisée puisque :

- Les ouvertures de tamis ne sont pas égales mais sont distribuées autour d'une moyenne,
- La forme des mailles de tamis (carrées ou rondes) influence les distributions granulométriques mesurées, à l'exception du cas où toutes les particules sont parfaitement sphériques,
- La morphologie des grains conditionne la séparation,
- L'opération de tamisage est limitée dans le temps.

Le tamisage ne convient pas lorsque les particules présentent une forme lamellaire ou fibreuse. Il ne convient pas non plus lorsque la structure du matériau granulaire est hétérogène (masses volumiques différentes au sein d'un même produit, présence d'aspérités) (**Michel et Courad, 2006**).



Figure n°10: Agitateur mécanique avec séries de tamis (Clement et Françoise, 1997).

8.2.1.2. Diffraction laser

La granulométrie par diffusion laser est une technique de mesure indirecte couramment utilisée pour déterminer la distribution de taille des matériaux granulaires pulvérulents. Le principe de la méthode est le suivant :

- L'unité optique du granulomètre enregistre l'image de la diffusion (diffraction, réflexion, réfraction) d'un rayonnement monochromatique par une suspension de particules (Figure 11),
- Des images de diffusion sont calculées à partir d'un modèle de diffusion, en fonction de distributions granulométriques théoriques,
- Les images calculées et l'image mesurée sont ajustées par la méthode des moindres carrés (Michel et Courad, 2006).

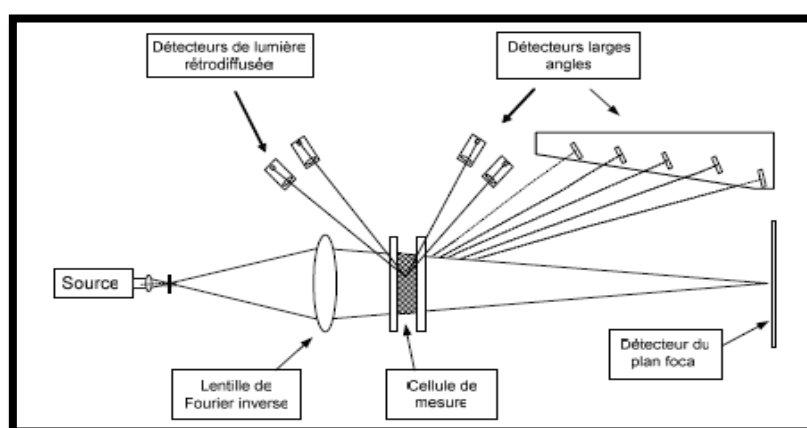


Figure n°11 : Schéma simplifié de l'unité optique d'un granulomètre laser (Michel et Courad, 2006).

8.2.1.3. La pipette Robinson

La pipette Robinson est une méthode simple pour la détermination de la taille des particules. Elle est utilisée comme un dispositif de prélèvement dans la méthode par sédimentation. C'est une pipette de 20ml à longue pointe et munie d'un robinet à 3 voies qui permet :

- D'aspirer le liquide en suspension dans l'allonge (robinet ouvert) ;
- De rejeter par l'ajustage latéral le liquide en surplus (robinet fermé) (**Clement et Française, 1997**).

Cette méthode est la plus utilisée car elle a plusieurs avantages, elle est conforme aux normes NEN5357 et ISO/DIS 11277, elle a une hauteur de travail ergonomique (le tout est sans vibration car le réservoir en verre, le chauffage et l'agitation sont indépendants), le chariot et le porte-pipette sont munis de roues dentées en plastique résistant à l'usure, et en fin l'appareil a une large course d'implantation de 340 mm (**Michel et Courad, 2006**).

8.2.1.4. Microscopie électronique à balayage

Un microscope électronique à balayage (MEB) fonctionnant avec une tension d'accélération de 40 kV. Cet instrument permet l'imagerie des échantillons en fonction des électrons secondaires ou rétrodiffusés pour des particules plus grandes que 0,5 μm (**IRRST, 2005**) il constitue aussi à une méthode complémentaire permettant de déterminer la composition chimique typique des particules des poussières, le MEB est couplé à un spectromètre de rayons X à dispersion des énergies (EDS) permettant l'identification et la quantification des éléments présents (**Clement et Française, 1997**).

On peut visualiser la morphologie des particules recueillies mais aussi de relier éventuellement leur morphologie et leur chimie (**Seron et Guigues, 2000**).

8.2.3. Méthodes de caractérisation chimique

8.2.3.1. Caractérisation par spectroscopie infrarouge

L'analyse par Spectrophotomètre à rayon X (QCX) c'est une méthode permet de déterminer les principaux éléments constituant les poussières, le QCX est un système de contrôle de la qualité par rayon X qui permet de détecter les neuf oxydes CaCO_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , K_2O , Fe_2O_3 , Na_2O , SO_3 et Cl , et les résultats sont affichés sur un ordinateur

lier avec l'appareil , à l'aide d'un logiciel spécial pour tous les échantillons en question (Hemiri et al., 2011).

8.2.3.2. Chromatographie ionique : (IC, DX100, Dionex Corporation, CA, USA) (Perrino et al., 2008)

Cette technique permet de mesurer les concentrations des anions (sulfate, acétate, formate) et des cations (calcium, sodium, potassium) et des silicates. Dans le même temps, le suivi de l'hydratation de la poussière est effectué par conductimétrie et pH-métrie. Les mesures sont réalisées dans une cellule de 1L, thermostatée à 25C° et agitée à l'aide d'un barreau aimanté, dans laquelle plonge les électrodes (Perrino et al., 2008).

8.2.3.3. Dispersion d'énergie Fluorescence X

Une étude a été réalisée dans le but de faire une caractérisation des émissions fugitives de particules de PM_{2,5} recueillies sur des filtres en téflon a été déterminée par la longueur d'onde dispersive de fluorescence de rayons X (WDXRF) (Seron et Guigues, 2000).

8.2.3.4. Colorimétrie

C'est une méthode chimique aussi permet d'obtenir des résultats qualitatifs sur la présence d'ions métalliques dans un liquide, On utilise des bandelettes dont le principe est proche de celui du papier pH. Différentes substances sont placées sur le bout de la bandelette que l'on trempe dans l'échantillon (nécessairement liquide) que l'on souhaite étudier. On compare ensuite la couleur de la partie trempée dans le liquide avec une référence donnée par le fabricant de la bandelette, et on en déduit une concentration indicative de l'ion présent (Clement et Françoise, 1997).

8.2.3.5. Spectroscopie d'absorption atomique

L'absorption atomique est un processus qui se produit lorsqu'un atome appartenant à l'état fondamental passe à l'état excité par l'absorption d'une énergie, sous la forme d'un rayonnement électromagnétique, qui correspond à une longueur d'onde spécifique. Le spectre d'absorption atomique d'un élément est constitué d'une série de raies de résonance, tous originaires de l'état électronique fondamentale et finissent dans différents états excités. En général, la raie de la transition entre l'état fondamental et le premier état excité

définie la plus forte capacité d'absorption, et c'est la raie habituellement utilisé (**Bendad et Boulakeradeche, 2011**)

II. Bio-écologie des gastéropodes

1. Description de la classe des gastéropodes

La classe des gastéropodes a été établie par le biologiste paléontologue français George Cuvier en 1797 (**Belhaouari, 2012**), ils sont des mollusques (**Gaillard, 1991 ; Karas, 2009**). Leur corps est mou dont la tête est bien distinct portant des tentacules sensoriels ; la masse viscérale est enroulée en hélice, le pied aplati sert à la reptation, le manteau entoure la masse viscérale et forme une cavité qui contient des branchies plumeuses parfois absentes et la paroi de la cavité du manteau sert alors de poumon (**Daguzan, 1983 ; Barker, 2001**). Ils sont caractérisés typiquement par leur coquille spirale susceptible d'être obturée par un opercule corné ou calcifiée, inséré sur le pied de l'animal. Toutefois cette coquille peut perdre cet aspect spiral ou même être totalement absente. On reconnaît 4 sous-classes principales : les Prosobranches, les Opisthobranches, les Pulmonés et les Gymnomorphes (**Daguzan, 1983 ; Gaillard, 1991**). A l'origine, tous les gastéropodes étaient aquatiques, et possédaient une coquille ainsi que des branchies. Au cours de l'évolution, une partie des gastéropodes ont perdu certaines de ces caractéristiques. Limaces et escargots au sens large font partie des gastéropodes terrestres : ils sont pulmonés et mènent une vie exclusivement terrestre (**Karas, 2009 ; Barker, 2001**).

2. Classification des escargots

- **Embranchement des mollusques**
- **Classe des gastéropodes**
 - **Sous-classe des pulmonés**
- **Ordre des stylommatophores** (**Chevalier, 1992 ; Barker, 2001**).

3. Anatomie des escargots

3.1. Coquille

Elle est de forme globuleuse et spiralée (**Agro-service, 2004 ; Larba, 2014**). C'est un tube conique calcaire enroulé en spirale autour d'un axe. Les tours les plus anciens forment le sommet du cône appelé l'apex. Les tours s'unissent les uns aux autres en formant un sillon appelé suture (**Barker, 2001 ; Daguzan, 1983**). Le dernier tour aboutit à l'ouverture de la coquille limitée par le péristome (**Larba, 2014 ; Stiévenart & Hardouin**), elle représente le tiers du poids frais de l'escargot, elle est constituée d'une partie organique et

une partie minérale. La partie organique est une trame protéique externe (la conchyoline). La partie minérale représente 98 % de la coquille ; il s'agit de carbonate de calcium sous forme de calcite et d'aragonite qui imprègne la trame de conchyoline (**Chevalier, 1992**).

3.2. Corps

Lorsqu'il est en extension, l'escargot repose sur le sol par le pied, masse musculaire large et épaisse, s'étendant en arrière et surtout en avant de la coquille. Cette sole pédieuse recouverte d'un abondant mucus, permet à l'animal de se déplacer par reptation (**Chevalier, 1992 ; Stiévenart & Hardouin**). La partie antérieure du pied se termine par la tête, qui n'est d'ailleurs pas nettement séparée du reste du corps.

La tête présente : La bouche qui s'ouvre vers le bas et les organes des sens constitués de deux paires de tentacules :

- Tentacules inférieurs, tactiles, sont dirigés vers le bas,
- Tentacules supérieurs, oculaires, portant un œil simple et un organe olfactif, qui sont dirigés vers le haut du côté droit, un peu en arrière de la bouche, s'ouvre l'orifice génital (**Barker, 2001 ; Daguzan, 1983**).

Le reste de la masse viscérale est contenu dans la coquille. On ne voit dépasser que le bord du manteau qui est fortement épaissi à ce niveau, d'où son autre nom, le bourrelet palléal. Sur le côté droit, à la base de ce bourrelet, se trouve le pneumostome, orifice qui donne accès dans la cavité palléale où se trouve plaqué le poumon. En dessous du pneumostome est situé l'anus, et entre les deux se trouve l'orifice anal et urinaire mais il est invisible car il est trop petit (figure 12).

Si l'on retire la coquille, la partie du corps ainsi découverte présente deux zones distinctes :

- **La zone antérieure**, recouverte par le manteau, constituant la cavité palléale, dont le plafond richement vascularisé correspond au poumon (**Chevalier, 1992 ; Barker, 2001**).
- **La zone postérieure** enroulée en spirales comprend le rein, l'hépatopancréas, et la glande à albumine (ou glande à albumen) (**Chevalier, 1992 ; Barker, 2001**).
- Sur le côté gauche, de ces deux zones, se trouve le cœur. Le long de la face interne du tortillon viscéral, se trouve le muscle columellaire, puissant, nacré, qui relie le corps de l'escargot à sa sert à l'y rétracter (**Agro-service, 2004 ; Daguzan, 1983**).

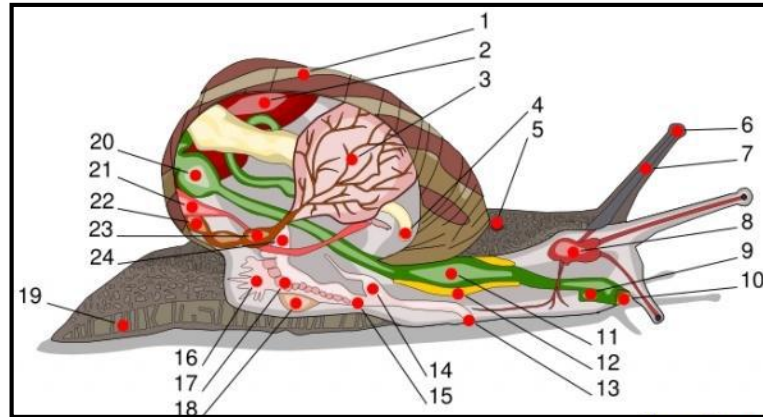


Figure n°12 : Anatomie de l'escargot (Grara, 2011)

Légende : (1.coquille - 2. foie - 3. poumon - 4. anus - 5. pore respiratoire - 6. œil - 7. tentacule - 8. cerveau - 9. conduit salivaire - 10. bouche - 11. panse -14. pénis - 15. vagin - 16. glande muqueuse - 17. ovaire - 18. sac de dards - 19. pied - 20. estomac - 21. rein - 22. manteau - 23. cœur - 24. canal déférent)

3.3.Respiration et circulation

L'appareil circulatoire est constitué par le cœur (**Belhaouari, 2012**). Il est constitué d'une oreillette antérieure et d'un ventricule postérieur (**Chevalier, 1992 ; Larba, 2014**). Le sang ou hémolymph contient un pigment, l'hémocyanine. Il est incolore sous sa forme désoxydée et bleu sous sa forme oxydée. Le sang est propulsé dans le réseau artériel via deux aortes (**Barker, 2001 ; Larba, 2014**).

L'aorte antérieure irrigue le pied et la postérieure le tortillon. Le sang revient au cœur par un système de veines et de sinus veineux (**Barker, 2001 ; Agro-service, 2004**).

Le poumon est une poche formée de l'épithélium palléal, irrigué par les vaisseaux pulmonaires, l'air y circule au travers du pneumostome par des mouvements de contraction de son ouverture (**Daguzan, 1983 ; Larba, 2014**). L'escargot présente aussi une respiration cutanée. Il absorbe l'eau par les pores de sa peau (**Chevalier, 1992 ; Barker, 2001**).

3.4.Appareil digestif

Le tube digestif forme « V » une boucle ramenant l'anus vers l'avant. La bouche se prolonge par un bulbe buccal à l'intérieur duquel se trouve une langue musculaire recouverte d'une lame cornée : la radula (**Chevalier, 1992 ; Larba, 2014**), garnie de milliers de dents microscopiques disposées en rangées parallèles, soit 87 dents par rangée pour environ 150 rangées (**Chevalier, 1992 ; Barker, 2001**), son rôle est de broyer les aliments. Dans la partie postérieure du bulbe buccal on trouve deux glandes salivaires. Ce bulbe se prolonge par un œsophage qui se renfle en un estomac, lui-même prolongé par un

intestin formant une double circonvolution autour de l'hépatopancréas et aboutissant à l'anus (**Daguzan, 1983 ; Larba, 2014**), l'excrétion se fait grâce au rein et à l'intestin. Il existe un système porte-rénale, qui permet l'infiltration du sang au niveau du rein. L'intestin assure essentiellement l'élimination des déchets (**Chevalier, 1992 ; Barker, 2001**).

3.5.Système nerveux

Le système nerveux sympathique est constitué par une paire de ganglions buccaux situés sous le bulbe buccal. Ils sont reliés par deux cordons nerveux aux ganglions cérébroïdes et innervent la plus grande partie du tube digestif. Le système nerveux central est situé dans la région céphalique. Il est formé d'une chaîne de ganglions formant un double collier péri œsophagien complexe (**Chevalier, 1992 ; Larba, 2014**).

3.6.Appareil génital

L'escargot est hermaphrodite (**Larba, 2014**). Son appareil génital compliqué occupe une grande partie de la cavité viscérale, et comprend : une partie initiale hermaphrodite, une partie intermédiaire comprenant les voies mâle et femelle, et une partie terminale où ces voies se rejoignent pour aboutir à un orifice génital commun (**Chevalier, 1992 ; Barker, 2001**).

4. Activités physiologique des escargots

4.1.Activité journalière

L'escargot présente un rythme d'activité journalière en relation étroite avec la photopériode. Cette activité peut être inhibée par des conditions thermiques et hygrométriques défavorables. Dans des conditions optimales de température minimale nocturne n'est pas inférieure à 9 °C et humidité supérieure à 80% (**Chevalier, 1992**).

La phase d'activité débute à la tombée de la nuit est à une durée de 06 heures, il en profite pour se nourrir tandis que la phase d'inactivité relative à une durée inférieure à 18 heures durant cette phase l'escargot est au repos et ne manifeste que peu d'activité locomotrice, sexuelle ou nutritionnelle (**Chevalier, 1992 ; Agro-service., 2004 ; Larba, 2014**).

4.2.Activité saisonnière

L'escargot est un poïkilotherme, il ne peut pas réguler sa température corporelle. Il s'est donc adapté, en climat tempéré aux variations thermiques saisonnières selon trois rythmes d'activités annuels marqués par trois états physiologiques (hibernation, estivation, activité) (**Agro-service., 2004 ; Larba, 2014**).

4.3. Estivation

Une absence prolongée d'humidité avec une température supérieure à 15°C provoque le repos de l'escargot qui dure que le temps de la sécheresse (**Chevalier, 1992 ; Agro-service., 2004 ; Druart, 2011 ; Larba, 2014**). Au printemps et en été les escargots présentent une période de vie ralentie (**Agro-service., 2004 ; Larba, 2014**). Durant l'estivation, la respiration et les mouvements cardiaques sont normaux mais il y a diminution rapide des réserves d'eau et des réserves énergétiques (**Agro-service., 2004**).

4.4. Hibernation

En hiver, lorsque la température moyenne devient inférieure à 15°C (**Chevalier, 1992**). Elle se caractérise par un état de vie ralentie durant lequel le métabolisme des escargots est diminué, L'escargot vit sur le glycogène emmagasiné et il peut perdre jusqu'au 30 % de son poids (perte en eau) (**Agro-service, 2004 ; Larba, 2014**).

Dans les deux activités saisonnières, l'escargot, se colle sur un support en fermant l'ouverture de coquille par un voile de mucus solidifié : l'épiphragme (**Chevalier, 1992 ; Larba, 2014**)

5. Reproduction

La reproduction des escargots a lieu au printemps et en été. Les escargots terrestres sont hermaphrodites et s'accouplent une ou plusieurs fois avant la ponte. La fécondation croisée est la règle générale, l'autofécondation étant extrêmement rare. Avant l'accouplement, les deux escargots effectuent une parade, l'accouplement peut durer plus de 12h. Suivant les régions (**Larba, 2014**), Les spermatozoïdes échangés, préalablement développés dans l'ovotestis (également appelé gonade), rejoignent le réceptacle séminal ou la spermathèque divisée en tubules où ils vont être conservés jusqu'à la maturation des ovules. La fécondation a lieu au niveau de la chambre de fertilisation, à la surface de la glande à albumen, généralement une quinzaine de jours après l'accouplement. Les ovocytes fécondés sont alors entourés d'albumen secrété par la glande à albumen, qui constitue les réserves nutritives pour le développement embryonnaire, puis d'une coque calcaire (**Druart, 2011**).

En conditions constantes de température et d'hygrométrie (20° C et 85%) (**Larba, 2014**) l'escargot creuse dans le sol une cavité de deux à trois centimètres de profondeur dans laquelle il enfonce la partie antérieure de son corps (**Chevalier, 1992**). La durée de la ponte dure une trentaine d'heures, chaque œuf étant expulsé de l'orifice génital environ

toutes les vingt minutes (**Chevalier, 1992 ; Larba, 2014**). La ponte terminée, l'escargot rebouche, avec de la terre (le nid de ponte) renferment la grappe d'œufs (**Chevalier, 1992**). Les œufs vont ensuite se développer pendant 12-15 jours avant d'éclore (**Druart, 2011**). Les jeunes éclos, variées selon le diamètre et le poids (**Druart, 2011 ; Larba, 2014**).

6. Croissance des escargots

Dans la nature la croissance de l'escargot assujettie aux conditions climatiques. Elle s'arrête durant les périodes d'estivation et d'hibernation. En général la croissance naturelle s'étale sur deux ans. Exceptionnellement, avec un printemps et un été humide, l'escargot pourrait devenir adulte au bout d'un an. Inversement, deux sécheresses estivales consécutives pourraient prolonger le temps de croissance à trois mois. En élevage, avec des enceintes humidifiées quotidiennement, l'escargot parvient au stade adulte au bout de dix-douze mois, avec une mise en hibernation d'octobre à mars. Si on maintient les escargots, en automne et en hiver en bâtiment, à une température 18-20°C, la croissance va se poursuivre et les escargots adultes en six mois au plus tôt et neuf mois au plus tard (**Chevalier, 1982-1992 ; Madec, 1983 ; Laurent et al., 1984**).

6.1. Classe d'âge

Les phases de croissance en fonction du développement de l'appareil génital de l'escargot :

- Phase infantile (quatre premiers mois) durant laquelle le tractus génital est non différencié (**Gomot et Enée, 1980 ; Madec, 1983**).
- Phase juvénile, comprise entre une «pré-puberté» et la puberté, avec un tractus génital s'organisant et une gamétogenèse active (**Gomot et Enée, 1980 ; Laurent et al., 1984**).
- Phase de maturité, ou la pré-adulte, durant laquelle l'appareil génital se développe principalement dans une voie femelle (**Gomot et Enée, 1980 ; Madec, 1983**).
- Phase adulte, à croissance nulle, durant laquelle l'escargot se reproduit (**Chevalier, 1982-1992**).

6.2. Facteurs de croissance

- **Température** : La croissance devient médiocre avec une température moyenne de 15°C ; elle devient nulle au-dessous de 12°C, (25°C maximum le jour, 14°C minimum la nuit)
- **Apport hydrique** : Les conditions d'élevage, avec l'arrosage des enceintes, empêchent les escargots d'estiver comme ils le font dans la nature lorsque le milieu

devient sec ; mais, si cet apport d'eau se révèle insuffisant, on constate des troubles de la croissance (nanisme, malformations de la coquille)

- **Eclairement** : Ce facteur de milieu regroupe trois paramètres : l'intensité lumineuse reçus par les animaux, la durée de l'éclairement (photopériode) et la qualité de la lumière (longueur d'onde lumineuse)
- **Nature du sol** : Une terre franche à pH neutre ou très voisin de la neutralité, renfermant ou non du calcaire, apparaît être le meilleur sol d'élevage. La croissance s'avère moins bonne avec des sols argileux et des substrats d'élevage artificiels.
- **Nourriture** : Une alimentation à base de farines de céréales induisait une meilleure croissance qu'une alimentation strictement chlorophyllienne, à condition que cet aliment soit complété par carbonate de calcium, une teneur suffisante en vitamine A et en vitamine D₃ et certaine proportion de protéine. Pour le démarrage des infantiles la prédominance du maïs dans la farine paraît avoir une action bénéfique.
- **Densité animale et charge biotique** : Le but recherché de l'éleveur, est de déterminer les densités et les charges biotiques correspondantes au mètre carré à conditions que cette densité n'entraîne pas de trouble chez les animaux (**Druart, 2011 ; Chevalier, 1982**).

7. Influence de paramètres externe sur le comportement des escargots

Les principaux facteurs liés à l'environnement exercent une influence sur les escargots.

7.1.Température

Une température trop basse (inférieure à 7°C) va entraîner l'hibernation. Pour une température trop élevée, de l'ordre de 28°C, va induire l'estivation. Au-dessous de -5°C il meurt (**AGRO-SERVICE, 2004 ; Laurent et al., 1984 ; Madec, 1983**).

7.2.Humidité

Certains spécialistes de l'héliciculture proposent deux solutions pour maintenir ce degré hygrométrique :

- Soit humidifier la totalité du bâtiment d'élevage;
- Soit maintenir ce taux d'hygrométrie élevé uniquement dans les cages d'élevage, c'est à dire au niveau des escargots

L'escargot doit maintenir en permanence un équilibre constant entre la teneur en eau de ses tissus et l'humidité relative du milieu ambiant.

7.3.Éclairément

Bien que l'escargot soit un animal dont l'activité se déroule essentiellement au cours de la nuit, la lumière joue un rôle primordial sur les fonctions reproductrices et la croissance, et qui se caractérise par trois paramètres :

- Temporel (la durée de l'éclairément) : les photopériodes longues de 16 à 18 heures par jour favorisent la reproduction et les photopériodes moyennes de 12 à 16 heures par jour favorisent la croissance des jeunes.
- Quantitatif (la valeur de l'intensité lumineuse).
- Qualitatif (la longueur d'onde utilisée, la couleur) : la lumière monochromatique rouge stimule les capacités de la reproduction en favorisant la ponte et la fécondité. Pour la croissance, la lumière rouge est la plus favorable au cours des 04 premières semaines, ensuite c'est la lumière blanche (Agro-service, 2004 ; Laurent et al., 1984 ; Madec, 1983).

8. Eco-toxicologie des escargots

8.1. Transfert des polluants chez l'escargot

A l'interface sol-plante-atmosphère, l'escargot intègre plusieurs sources de contaminations accessibles via différentes voies d'exposition (figure 13) :

- Digestive par ingestion de nourriture.
- Cutanée par diffusion des polluants du sol à travers l'épithélium du pied.
- Respiratoire par inhalation de gaz et/ou de particules atmosphériques (Belhouari, 2012 ; Brooks et White, 1995).

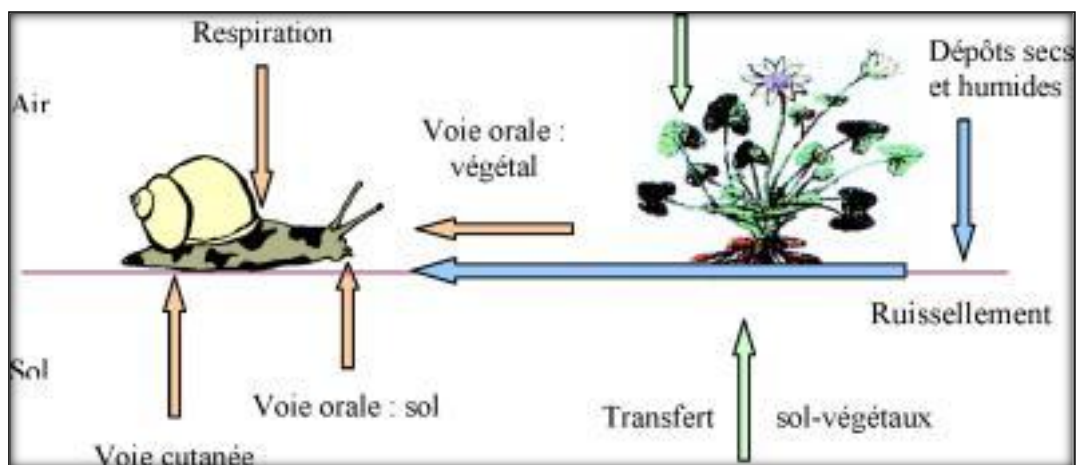


Figure n°13 : Différentes voies de contamination d'*Helix aspersa* (Brooks et White, 1995)

8.2. Toxicité des poussières

- a. **Méthodes in vivo** utilisent l'expérimentation sur des êtres vivants. Des doses de contaminants sont alors administrées à des individus par différents moyens (voie orale, voie cutanée, voie respiratoire), puis la quantité bio-disponible est évaluée à l'aide de différentes méthodes de suivis (analyses sanguines, analyses des fèces, analyses cellulaires). Les résultats sont en fonction du modèle animal choisi et l'extrapolation au modèle humain engendre certaines incertitudes. Ces études sont longues et coûteuses.
- b. **Méthodes in vitro** consistent à modéliser en laboratoire les phénomènes physiologiques qui ont lieu après une exposition par voie respiratoire, digestive ou cutanée (**Boucenna, 2010**). Ce type de test a l'avantage d'être facilement reproductible, mais le résultat est fortement dépendant des paramètres physicochimiques retenus par la personne responsable de sa mise en œuvre (**Brooks et White, 1995 ; Pihan, 2001**).

Plusieurs biologistes ont fait plusieurs études sur l'escargot comme un modèle biologique (bio-indicateur et bio-accumulateur), ces études s'intéressent par exemple sur la glande digestive. Les organes (le pied, les viscères, le rein et même sur la croissance et la reproduction (**Larocca, 2004 ; Grara, 2011**).

Ils ont fait leurs essais éco-toxicologiques avec différentes méthodes.

8.3. Différentes méthodes d'analyses éco-toxicologiques appliquées aux escargots

8.3.1. Espèces d'escargots utilisées dans les expériences d'éco-toxicologie:

L'analyse bibliographique des travaux d'expérimentation éco-toxicologique sur les escargots montre que l'espèce la plus utilisée est *Helix aspersus* (**Ismert, 2000 ; Snyman et al., 2003**) mais il existe d'autres études qui ont utilisé d'autres espèces tel que : *Lymnaea stagnalis* (**Mahmoud et Desouky, 2006**) *Archachatina ventricosa* (**Kouassi et al., 2007**) *Eobania vermiculata* (**Gimbert et al., 2008 ; Itiziou et Dimitriadis, 2011**). *Cepaea nemoralis*, *Oxychilus draparnaudi* (**Fritsch, 2010**) *Lymnaea luteola* L. (**Sangita et Khangarot, 2010**) *Potamopyrgus antipodarum* (**Panget et al., 2012**).

8.3.2. Mesures (organes, développement et reproduction)

Les analyses éco-toxicologiques sur les escargots se basent le plus sur la glande digestive (**Ismert 2000 ; Regoli et al., 2006 ; Grara, 2011**) mais il existe des études qui ont attirées d'autres organes tel que (les viscères, le rein, le cœur, le pied, la cavité palléale, l'estomac, l'appareil génital et la coquille) (**Scheifler et al., 2002 ; Viard , 2004 ; Hipard et al.,**

2008). Les paramètres mesurés sont le taux d'alimentation (Sangita et Khangarot, 2010 ; Panget et al., 2012), le taux de mortalité (Kouassi et al., 2007), le taux bioaccumulation (Panget et al., 2012), et le taux de croissance (Vaufleury, 1998).

8.3.3. Méthodes expérimentales utilisées

8.3.3.1. Taux de croissance

La contamination des juvéniles issus d'un élevage in vitro (Vaufleury, 1998) ou collectés des fermes (Panget et al., 2012) sont exposés aux polluants mélangés avec leurs alimentation (Sangita et Khangarot, 2010) ou avec le substrat d'élevage ou le sol, la durée d'exposition varie de 4 à 12 semaines (Gimbert et al., 2008).

Le taux de croissance a été déterminé par :

- **Pied à coulisse** : comparer les résultats de la croissance du diamètre des coquilles avec le degré de pollution des substrats (Kouassi et al., 2007).
- **Masse** : Le poids de l'escargot entier, (et/ou) séparé (corps mou et coquille) et le diamètre de la coquille peuvent servir de paramètre de suivi de la croissance (Gimbert et al, 2008, Sangita et Khangarot, 2010) ensuite soit analyser par spectrométrie d'absorption atomique avec une flamme air-acétylène (Gimbert et al, 2008) ou utiliser un model log-logistique. (Sangita et Khangarot, 2010)
- **Outil statistique (ANOVA) (Vaufleury, 1998) ou utiliser un model log-logistique (Sangita et Khangarot,2010)**: Déterminer les relations entre les niveaux de métaux dans la nourriture et de la croissance (Vaufleury, 1998).
- **Programme d'analyse d'image** : Longueur de la coquille Individuel (L) a été mesurée en utilisant un programme d'analyse d'image (SigmaScanPro, version 5.0, Jandel, Erkrath, Allemagne). Les taux de croissance spécifiques de jour 0 à jour 56 ont été estimés par l'équation suivante (Kaufmann, 1981 in Panget al, 2012)

$$(TCS)\% = \left[\frac{(\ln S_2 - \ln S_1)}{(t_2 - t_1)} \right] \times 100 \text{ (Panget al, 2012)}$$

8.3.4. Reproduction

- Les juvéniles issus d'un élevage in vitro (Viard, 2004) ou de la collecte du terrain.
- Le polluant a été ajouté à l'aliments secs (farine (Vaufleury et Kerhoas, 2000) ou à base de plante (Hispard et al., 2008) pour quatre semaines. (Vaufleury et Kerhoas, 2000) ou exposés en microcosmes (48h) (Viard, 2004).
- Les escargots échantillonnés ont été placés dans des récipients propres pour une période de 48 h de jeûne (Hispard et al., 2008 ; Gimbert et al, 2008).

- Les escargots sont sacrifiés par congélation (**Viard, 2004**).enlever l'appareil génital pour examiner son état de développement et de peser ses principaux organes. (**Vaufleury et Kerhoas, 2000**)
- Suivi de l'évolution de la masse de l'appareil génital permis l'évaluation de la maturation sexuelle (**Gimbert et al, 2008**) spectrométrie d'absorption atomique avec une flamme air-acétylène (**Gimbert et al, 2008**)
- Activité catalase a été évaluée par analyse spectrophotométrique. (**Viard, 2004 ; Hispard et al., 2008**).

8.3.5. Viscères (La glande digestive, le rein, le cœur, estomac, intestin, le pied)

Plusieurs parties des viscères ont fait l'objet de la plupart des études, soit après une exposition sur terrain dans des microcosmes (**Viard, 2004 ; Grara et al., 2009**) ou bien in vitro par ajout des polluants dans l'alimentation après une dissolution dans l'eau distillée (**Ismert, 2000 ; Grara, 2011**). Les animaux ont été sacrifié soit par congélation à différent degrés de -20 °C à -80°C (**Vaufleury et Kerhoas, 2000 ; Scheifler et al., 2002 ; Coeurdassier et al., 2002 ; Viard, 2004 ; Hispard, 2008 ; Gimbert et al., 2008**) ensuite les tissus seront préparé par une succession de produits chimique qui dépend de la nature du polluant.

Une fois le tissu préparé, il sera analysé le plus souvent par la spectrométrie (**Fritsch, 2010 ; Itizio et Dimitria, 2011**) ou analyse d'image assistée par un ordinateur (**Snyman et al, 2003**) ou simple dosage (**Vaufleury et al., 2000 ; 2012 ; Pauget et al., 2013**)

8.3.6. ADN

L'hémolymphe des individus soumis à une pollution recueillis à différents temps d'exposition pour les analysés avec le test des comètes (**Leffa et al, 2010**).

Chapitre 2

Matériel et méthodes

I. Zone d'étude

1. Présentation de la région d'étude

Notre zone d'étude s'étale de Batna à Ain touta, cette zone est connue par son activité intense d'exploitation des carrières à ciel ouvert des gisements de calcaire et de gypse. Elles sont présentées dans le tableau n°3 et la figure 15 (carte réalisée par Arcgis).

D'après les résultats de l'étude pétrographique réalisée par la SNMC (Société Nationale des Matériaux de Construction), les calcaires du gisement de cet axe sont de couleur gris-clair à gris-foncé. Ces calcaires présentent une structure massive et ils sont marqués par l'abondance de fossiles. On y rencontre également des traces d'oxydes de fer en distribution diffuse et de façon rare des grains de quartz et des paillettes de mica.

Le réseau hydrographique dans cette région est représenté par des oueds à écoulement temporaire tel que l'Oued Ksour qui traverse la zone des gisements.

La région est caractérisée par un climat de type semi-aride caractérisé par un hiver très froid, avec des précipitations irrégulières et par un été chaud et sec. Le graphe suivant présente le diagramme ombrothermique.

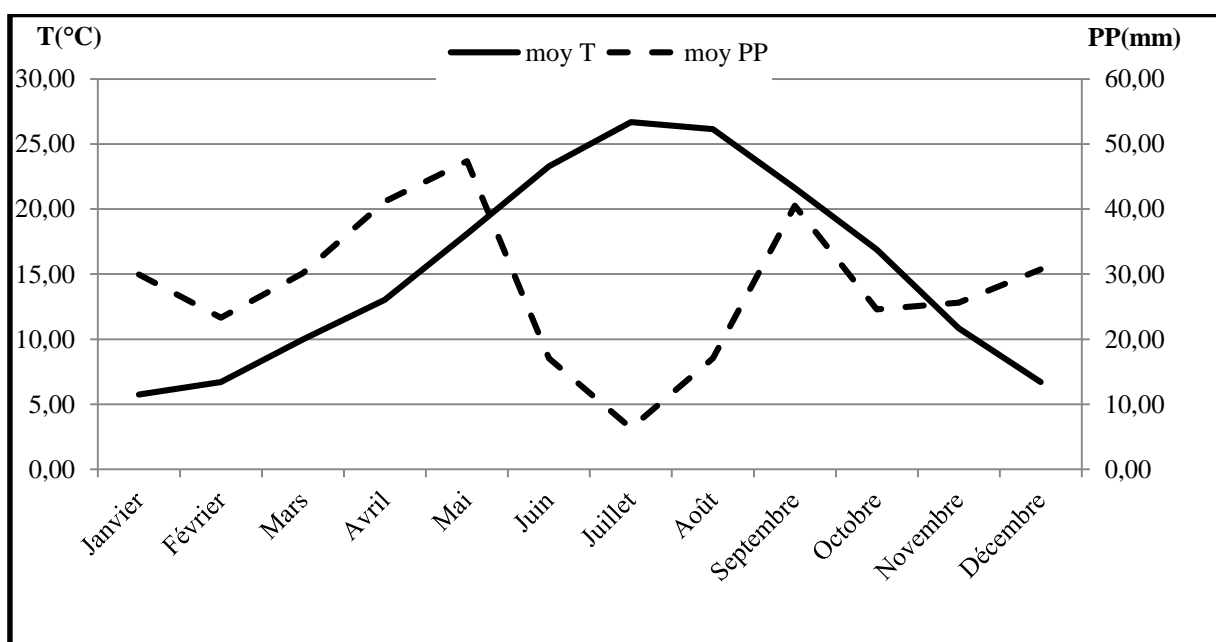


Figure n°14: Courbe ombrothermique de la région de Batna dans la période allant de 1988 à 2014

(Site web 05, Station météorologique Batna, 2012)

2. Présentation des carrières de la région

Tableau n°03 : Liste et données des carrières existantes sur l'axe Batna-Ain-Touta

N°	Entreprise	Statut juridique	Superficie	Lieu dit	Commune	Capacité installée (m ³)
1	E.N.G	S.P.A	119 ha	Tafrent lekbira	Ain-Touta	400 T/H
2	COSIDER	S.P.A	21 ha	Dridet	Ain-Touta	130 T/H
3	E.T.B	S.P.A	9 ha	Tafrent	Ain-Touta	2000 m ³ /j
4	E.P.T.R S/E	Entreprise publique	14 ha 52 a 65 ca	Tafrent	Ain-Touta	50 m ³ /h
5	SERUB	Entreprise publique	06 ha	Tafrent	Ain-Touta	5000 m ³ /an
6	Gadda Amor	EURL	12 ha 21 a 20 ca	Ich ali	Oued chaaba	400 m ³ /j
7	ROUABAH Hocine	EURL	3 ha 60 a 61 ca	Tafrent lekbira	Ain-Touta	100 m ³ /j
8	Ben yahia Ammar	SARL	08 ha	Ich ali	Ain-Touta et Oued chaaba	100m ³ /j
9	S.P.A SPRO	SPA	06 ha 60a	Ich ali	Oued chaaba	200m ³ /j
10	Bachouche el Ouardi	EURL	02 h 78 a 45 ca	Ich ali	Ain-Touta	200m ³ /j
11	Dekhinet Messaoud	EURL	02 h 00 a 07 ca	Tafrent	Ain-Touta	100m ³ /j
12	Lebrara	SARL	06 ha 89 a 84 ca	Tafrent	Ain-Touta	200m ³ /j

13	Ouled Nail	EURL	15 ha	Tafrent	Ain-Touta	2000m ³ /j
14	SCPFH	EURL	04 h 88 ca 30 a	Tafrent	Ain-Touta	400m ³ /j
15	Chelia	SARL	16 ha	Ich ali	Oued chaaba	120m ³ /j
16	Khezzari Saci	EURL	06 ha	Taouaghelent (Ich-ali)	Oued chaaba	400m ³ /j
17	Helis Cherif	EURL	03 ha 76 a	El-biar	Oued chaaba	40m ³ /j
18	Touati A/elkader	EURL	05h 21 a 50 ca	Tmourdiste (Ich-ali)	Oued chaaba	200m ³ /j
19	Bachouche Tahar	EURL	05 ha	Ich-ali	Oued chaaba	100m ³ /j
20	S.M.C.R	SPA	13 ha	Chaabat laasel	Oued chaaba	800m ³ /j
21	El-ghaith	EURL	06 ha	Ich ali		800m ³ /j
22	S.V.I.S	SARL	09 ha	Tafrent	Ain-Touta	180m ³ /j
23	BOUSSID GADDA IMP-EXP	EURL	09 ha	Mechta Tifartacine	Oued chaaba	/

Ha : hectare, a : Are, ca :centiare

(Direction des mines Batna, 2011)

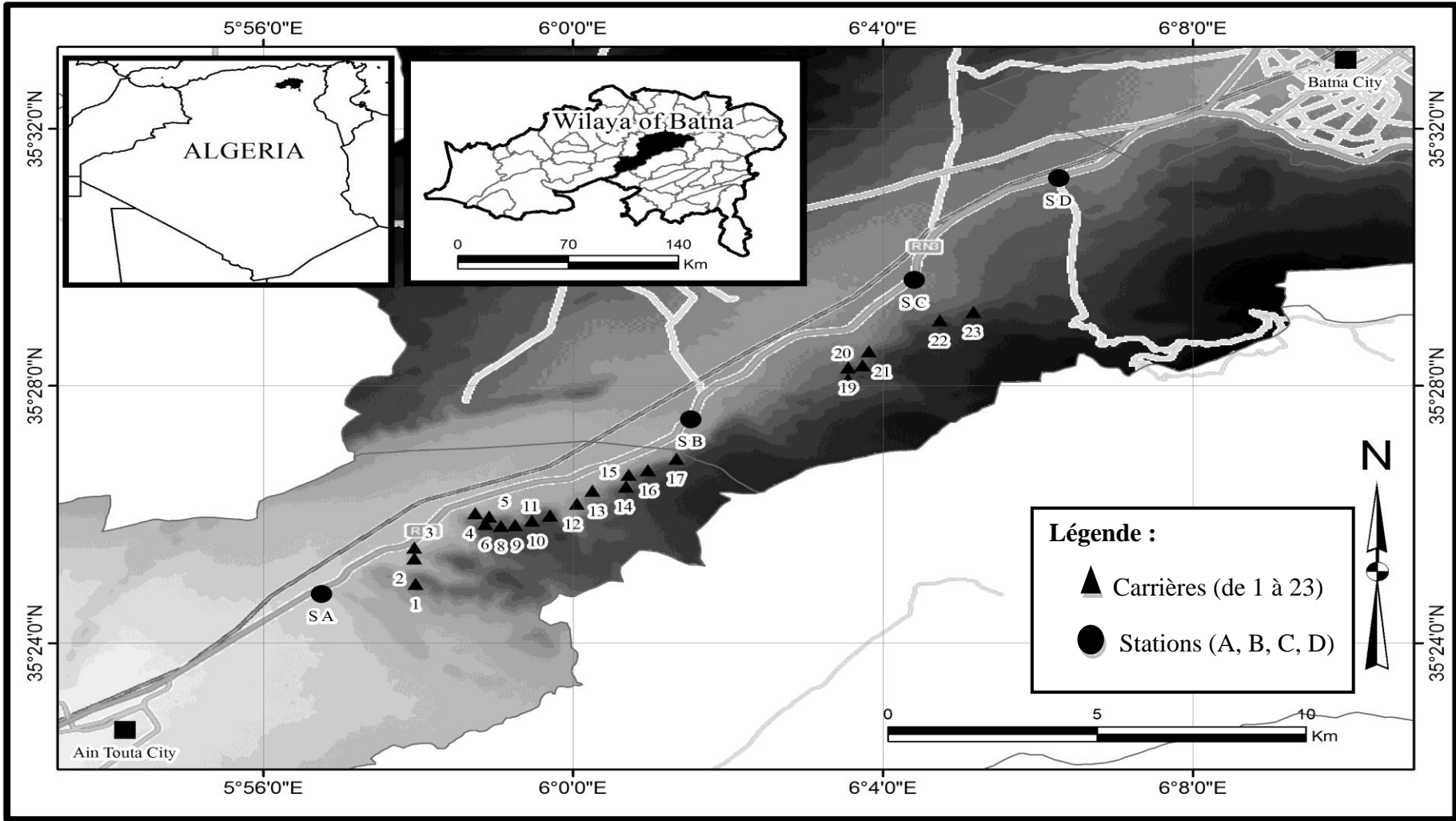


Figure n°15 : Distribution des carrières dans la région d'étude

3. Stations d'étude

L'étude a été menée sur l'axe de Batna à Ain Touta dans quatre stations dont les coordonnées géographiques sont (Longitude, Latitude) : **Ain Touta (St A)** ($5^{\circ}57'3.18''\text{E}-35^{\circ}24'49.34''\text{N}$), **Ghedjatti (St B)** ($6^{\circ} 1'34.56''\text{E}-35^{\circ}27'44.45''\text{N}$), **Lambiridi (St C)** ($6^{\circ} 4'13.28''\text{E}-35^{\circ}29'52.38''\text{N}$) et **Batna (St D)** ($6^{\circ} 6'33.41''\text{E}-35^{\circ}30'27.70''\text{N}$). Cette région se caractérise par un hiver froid humide et un été chaud et sec (**MATE, 2010**).

4. Choix du site

Le choix de la région d'étude s'est fait à cause du grand nombre des activités d'exploitation, qui sont les carrières présentées dans le tableau ci-dessus. Elles activent en permanence et dégagent des quantités de poussières considérables près des agglomérations de type rural. Les habitants ont différentes activités agricoles, et des élevages d'animaux. Ils reçoivent quotidiennement des quantités de poussières importantes. Nous nous sommes penchés sur ce choix pour évaluer l'accumulation des effets de ces poussières qui ont des effets observables sur l'environnement.

II. Evaluation et de caractérisation de poussières des carrières dans la région d'Ain touta

1. Captage des poussières

Le captage des poussières s'est fait en deux périodes, dont la première était de Juin 2013 à Octobre 2013 tandis que la deuxième d'Aout 2014 au Juillet 2015, on a utilisé 16 capteurs qu'on a réparti dans la région d'étude de façon à occuper l'espace de la dispersion des poussières dans la région. On a choisi quatre stations (Ain Touta « A », Ghedjatti « B », Lambiridi « C », et Batna « D ») réparties au long de l'axe Batna Ain Touta selon l'éloignement de la source d'émission. Chaque station contient quatre entonnoirs, répartis sur les deux côtés de la route (2 à gauche et 2 à droite) (figure 17).

Notre dispositif de captage est inspiré de la jauge d'OWEN, sous forme d'entonnoir de forme pyramidale a une surface de réception de $0,09 \text{ m}^2$ attaché à un récipient de 5 L de volume pour la réception des dépôts liquides et solides (figure 16).

Ce dispositif est accroché à des supports d'une hauteur de 3 mètres du sol pour diminuer son influence (soulèvement des particules du sol). Les échantillons de poussières sont prélevés chaque semaine pour la première expérimentation (de juillet à octobre 2013) et chaque mois pour la deuxième (d'Aout 2014 au juillet 2015).

2. Justification du choix du dispositif

Notre objectif est d'évaluer le niveau d'empoussièrement dans la région, donc on cherche à quantifier et à caractériser les poussières qui se déposent naturellement sans influence d'aspiration et c'est l'avantage qu'on a trouvé dans ce dispositif.

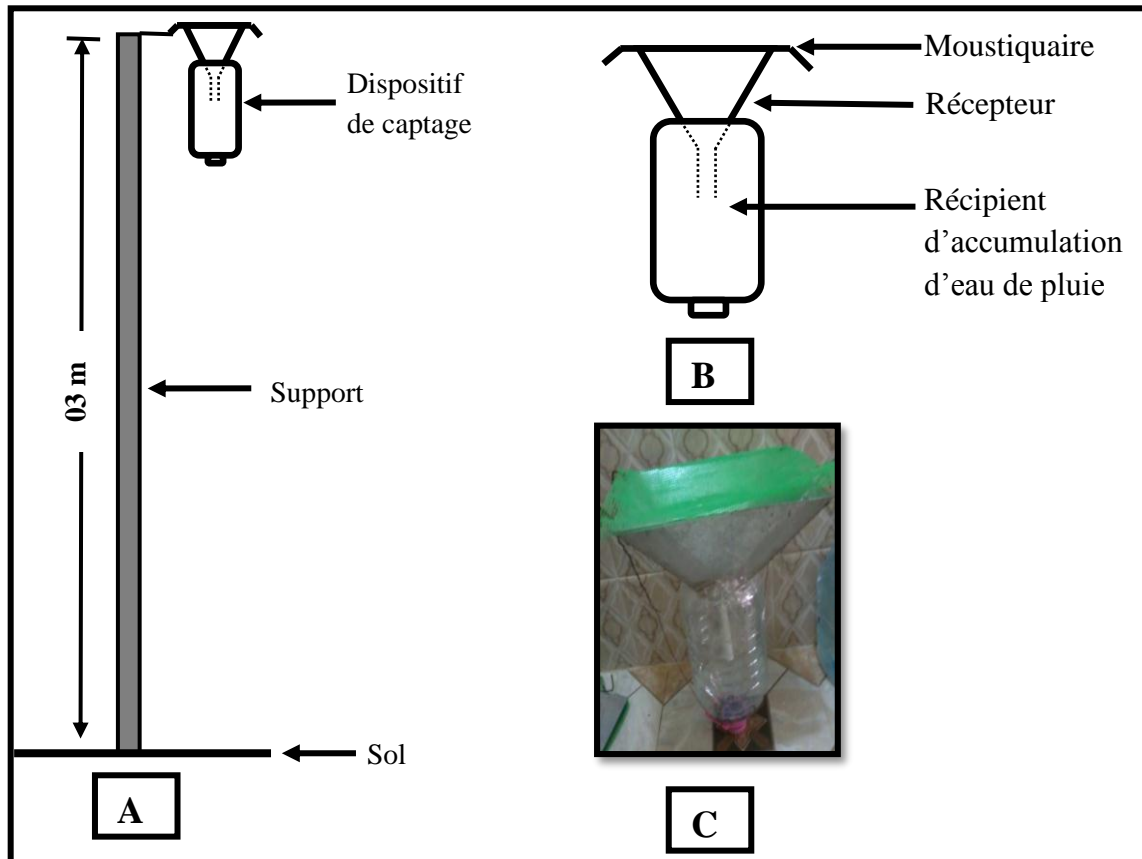


Figure n°16 : (A) Emplacement du dispositif de captage des poussières au terrain (B) dispositif de captage des poussières. (C) photo personnelle du dispositif

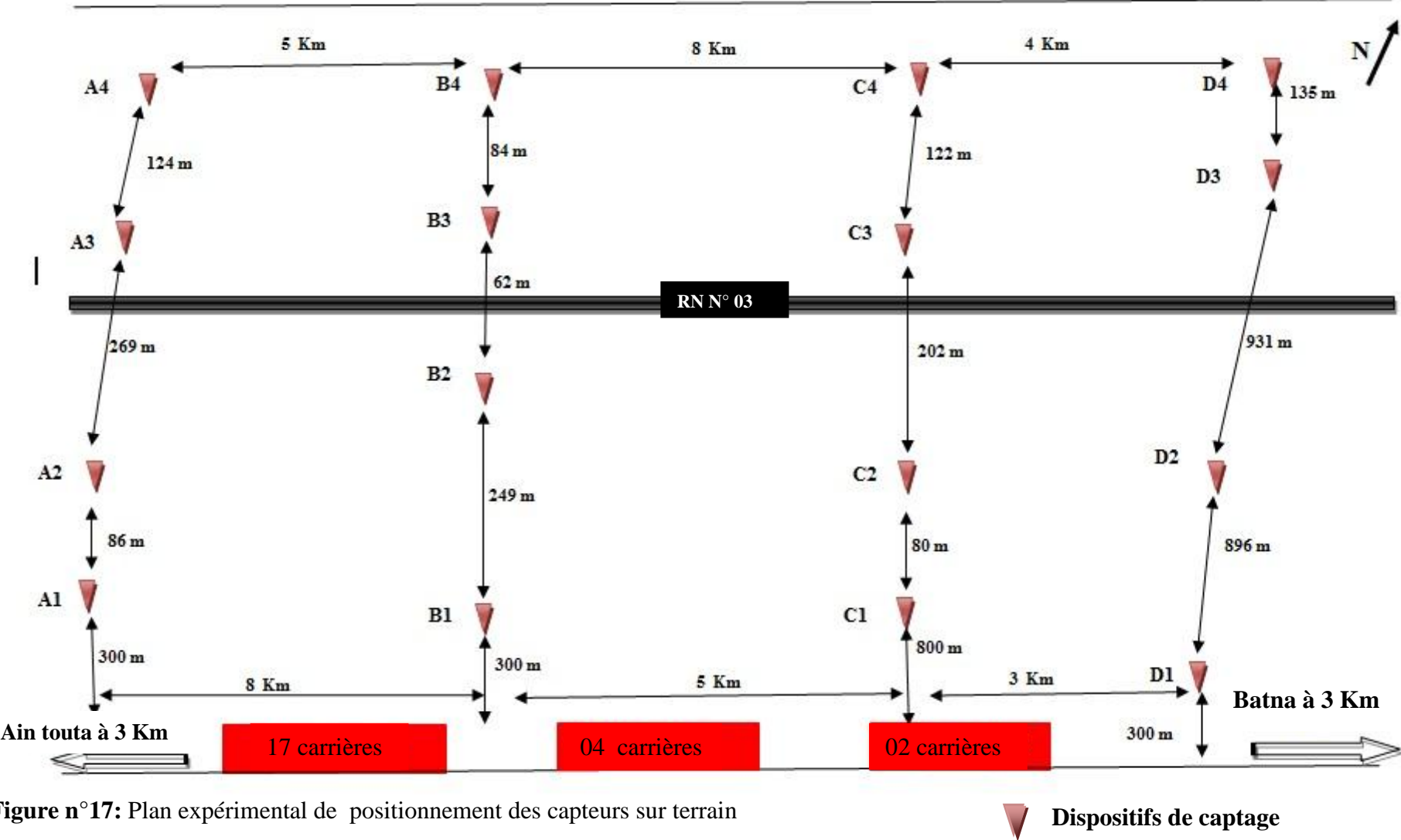


Figure n°17: Plan expérimental de positionnement des capteurs sur terrain

3. Prélèvement des poussières

Après une exposition de l'entonnoir d'une durée (une semaine pour la première période de captage et un mois pour la deuxième période de captage), la poussière est récupérée par la méthode suivante :

- On rince la moustiquaire qui couvre l'entonnoir avec l'eau distillée pour récupérer la poussière déposée.
- On recueille l'eau accumulée dans la bouteille placée au-dessous de l'entonnoir dans des boîtes stériles.
- On sèche ces boîtes dans une étuve à 105°C pendant 48h.

4. Méthode d'analyse physique (la granulométrie)

Elle consiste à faire passer un échantillon à travers une série de tamis, chaque tamis a son propre numéro de série et livré avec un certificat de conformité (ISO 3310/1). Les tamis sont utilisés pour séparer les fractions de l'échantillon. L'analyse est réalisée en voie sèche, les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

La série des tamis utilisés est :

- [>500 - < 125][125 - 63] [63 - <50] μm . (1^{ère} exp)
- [>500 - < 125][125 - 63] [63 - <28] μm . (2^{ième} exp)

5. Méthode d'analyse chimique

5.1.Extraction (Mise en solution d'un cru de poussières) :

- Peser 1 g de poussières dans une balance analytique à précision 10^{-4} de type RADWAG.
- Verser la poussière dans une capsule en porcelaine.
- Ajouter 30 ml d'eau distillée et 10 ml d'acide nitrique.
- Chauffer à l'aide d'une plaque chauffante pendant 15 min (bain de sable).
- Filtrer dans une fiole de 100 ml (filtre rapide).
- Ajouter de l'eau distillée chaude jusqu'à 100ml
- Jauger et filtrer la solution à un diamètre de 0.45 μm (micro filtres) (Tedjar,2012).

5.2.Préparation de l'analyse par SAA

- Préparation des solutions étalons à 20 mg/l pour chaque métal.
- Réglage de la longueur l'onde de l'appareil.

5.3.L'analyse des échantillons à la spectroscopie d'absorption atomique

Type de Flamme N₂O / Acétylène. **Lampes** Unique à cathode creuse.

L'analyse chimique des échantillons de poussière est assurée par Spectromètre Absorption Atomique « **AGILENT AA 240 Fs/240Z** » à Flamme (Air/ Acétylène), (N₂O/Air/ Acétylène) et une lampes Unique à cathode creuse, avec une correction Deutérium (tableau 4).

Tableau n°04 : Paramètres d'analyse de chaque élément

	Mode instrument	Courant de la Lampe (mA)	Longueur d'onde (nm)	Longueur de la Fente (nm)
Al	Absorption	10.0	309.3	0.5
Ca	Absorption	10.0	422.7	0.5
Cu	Absorption	4.0	324.8	0.5
Fe	Absorption	5.0	248.3	0.2
Mg	Absorption	4.0	285.2	0.5
Mn	Absorption	5.0	279.5	0.2
K	Emission	5.0	766.5	0.2
Na	Emission	5.0	589.0	0.5

6. Méthode de modélisation

Les résultats de la deuxième expérimentation ont fait l'objet d'une modélisation pour connaître le modèle de dispersion des poussières.

Réseau de neurones de régression généralisée (GRNN) a une base radiale avec le nombre de neurones égal ou inférieur à l'ensemble d'apprentissage, mais comprend également une couche linéaire. Les copies du réseau GRNN fait introduire toutes les observations de formation et les utilise pour l'évaluation de la réponse à un point arbitraire. Le point de sortie final du réseau d'évaluation est obtenu comme une moyenne pondérée sur les observations de toutes les formations, où les valeurs représentent les poids de ces observations avec compte de la distance au point où l'évaluation est faite et points ainsi plus étroites contribuent plus à l'estimation (Buevich et al.,2016).

Pour rechercher le réseau optimal, un sous-programme a été créé en Matlab. Le sous-programme forme les modèles de réseau avec une architecture donnée jusqu'à ce que le modèle avec le coefficient de corrélation le plus élevée pour chaque élément sera trouvé. En conséquence, un réseau de neurones avec la valeur la plus élevée du coefficient de corrélation a été construit (Buevich et al.,2016).

Le GRNN est un algorithme d'apprentissage en un seul passage avec une structure hautement parallèle. Même avec des données éparses dans un espace de mesure multidimensionnelle, l'algorithme permet des transitions en douceur d'une valeur observée à l'autre. La forme algorithmique a été utilisé pour tout problème de régression dans lequel une hypothèse de linéarité ne se justifie pas (Specht, 1991).

7. Méthode d'analyse statistique

Le poids total et le poids des différentes fractions ont été traités par l'analyse kruskal-wallis pour étudier leur variation en fonction du temps et de l'espace, l'analyse réalisée à l'aide du logiciel IBM SPSS statistics 20.

III. Réalisation de l'inventaire des escargots

Les Gastéropodes terrestres sont à rechercher à vue dans les biotopes favorables les zones calcaires sont en général beaucoup plus riches que d'autres, tout comme les vieilles forêts ou les marais (Kerney et Cameron, 2006), et de préférence par temps doux et humide. Par temps sec, on pourra rechercher les escargots dans tous les micro-milieus humides pouvant servir d'abri pendant la journée : pierres, branches mortes, litière, base des plantes. Les escargots les plus petits devront être recherchés plus méthodiquement, par tamisage de la litière du sol par exemple. Une bonne partie des espèces les plus grandes pourront être localisées de cette manière (Karas, 2009). Dans notre étude des pièges Barber et la chasse à la vue sont utilisés pour ramasser les escargots.

1. Collecte des escargots

1.1.Pots Barber

On a installé les pots dans quatre stations jugées comme représentatives pour deux raisons

- ✓ Terrain à couverture végétale naturelle.
- ✓ Présence des escargots.

L'installation des pots se fait comme suit :

- ✓ Délimiter une parcelle de 20m/20m (figure n° 18).
- ✓ Enfouir les 9 pots à ras à égale distances (5 m entre chaque pot) (figure n°19)
- ✓ Remplir les pots avec de l'eau+ détergeant à 2/3 (le détergeant dans notre cas est facultatif).

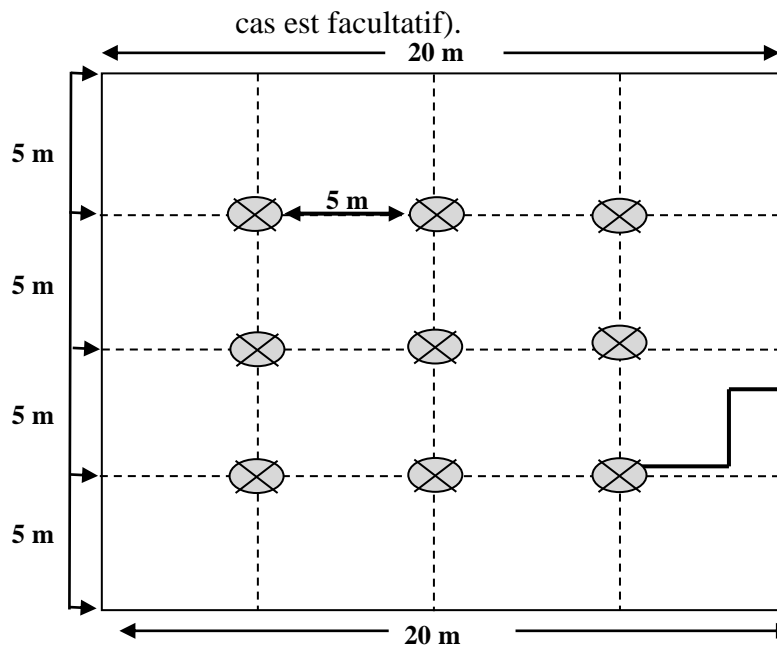
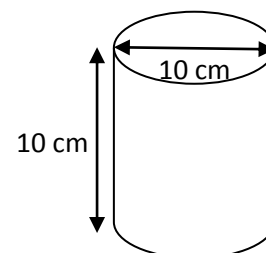


Figure n°19:Pot Barber (photo originale, 2013)



1.2. Chasse à la vue

Collecter les escargots rencontrés en parcourant la station et ses environs (500 m²), les mettre dans des sachets étiquetés (date- station).

2. Méthodes d'exploitation des résultats

Afin d'exploiter les résultats relatifs aux espèces d'escargots inventoriées, nous avons utilisé des indices écologiques complémentaires pour interpréter l'importance des espèces dénombrées et justifier leur répartition dans les quatre stations durant la période d'étude.

3.1. Indices de composition (Diversité α)

Les indices écologiques de composition employés consistent à évaluer la composition générale des peuplements d'escargots dans chaque habitat inventorié à partir de ces variables :

3.2. Richesse spécifique totale (S)

La richesse spécifique représente le nombre total d'espèces par unité de surface ou le nombre d'espèces que compte une communauté (Magurran, 2004). Dans le présent travail la richesse totale est la somme des espèces collectées dans chacune des stations.

3.3. Abondance relative (AR%)

L'abondance relative est le pourcentage des individus de l'espèce (n_i) par rapport au total des individus N toutes espèces comptées (Faurie *et al.*, 2003). Elle permet de préciser la place occupée par les effectifs de chaque espèce trouvée dans les biotopes. Elle est calculée par la formule suivante :

$$AR\% = n_i/N * 100$$

n_i : Nombre d'individus d'une espèce i , N : Nombre total des individus toutes espèces comptées.

3.4. Fréquence d'occurrence (C%)

La fréquence d'occurrence ou constance présente le rapport exprimé en pourcentage du nombre de prélèvements où cette espèce est notée au nombre total de prélèvements effectués. La fréquence d'occurrence est exprimée par la formule suivante :

$$C\% = P_i/P * 100$$

P_i : Nombre de relevés contenant l'espèce i . P : Nombre total de relevés effectués.

Bigot et Bidot (1973) distinguent quatre catégories d'espèces selon leur constance :

Constante si C% > 50% ;

Accessoire si C% = 25–50% ;

Accidentelle si C% = 5–25% ;

Très accidentelle ou rare si C% < 5%.

3.5.Indices de structure (Diversité α)

Les indices de structure étudiée montrent l'aspect qualitatif de faune et permettent d'avoir rapidement, en un seul chiffre, une évaluation de la biodiversité du peuplement (Jacques et Christian, 2003).

3.6.Indice de diversité de Shannon-Weaver (H')

Cet indice permet de mesurer la biodiversité et de quantifier son hétérogénéité dans un milieu d'étude et donc, d'observer une évolution au cours du temps (Blondel, 1975). Il s'exprime en Bit (binary digit unit). Il Donne plus de poids aux espèces rares.

Il a été calculé selon la formule suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

p_i = abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce : $p_i = n_i/N$;

n_i : Nombre d'individus d'une espèce donnée (i allant de 1 à S : nombre total d'espèces).

N : Nombre total des individus de toutes les espèces dans l'échantillon.

La valeur de H' varie de 0 quand la communauté n'est composée que d'une seule espèce à 4.5 ou 5 bits/individus pour les communautés les plus diversifiées (Faurie *et al.*, 2003).

3.7.Equitabilité de Pielou (équirépartition) (E)

L'indice d'équitabilité de Piélou, appelé également indice d'équirépartition, qui représente le rapport de la diversité observée (H') à la diversité maximale ($H' \max$) (Faurie *et al.*, 2003). Il est calculé par la formule suivante :

$$E = H'/H' \max, H' \max = \ln S$$

H' : indice de Shannon, S : nombre total des espèces recensées.

L'équitabilité est un indice complémentaire à l'étude de la diversité spécifique. Cet indice varie de 0 à 1. En effet, il tend vers 0 lorsqu'une espèce domine tout le peuplement, et il est égal à 1, lorsque toutes les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement (Frontier *et al.*, 2008).

3.8. Indices de similarité (Diversité β)

Afin de comparer les peuplements des escargots dans les différentes stations inventoriées prises deux à deux, nous avons fait recours l'indice de similitude.

➤ Indice β de Sorensen

L'indice de Sorensen a été utilisé pour évaluer le niveau de similitude entre les différentes stations sur la base de la présence-absence d'espèces. Il est donné par la formule suivante :

$$Q_s = (2c / (a + b)) \times 100$$

c : représente le nombre total d'espèces communes aux deux habitats ; a : nombre total d'espèces de la première habitat et b : nombre total d'espèces de seconde habitat.

L'indice varie de 0 quand il n'existe aucune espèce commune entre les deux habitats, à 1 quand toutes les espèces rencontrées dans l'habitat 1 existent aussi dans l'habitat 2 (Margurran, 2004 ; Dan, 2009).

3. Méthodes d'analyse statistique

Les résultats de l'inventaire ont fait l'objet d'une ANOVA à l'aide du logiciel IBM SPSS 20.

IV. Elevage des escargots *in vitro*

Pour réaliser un élevage des escargots au laboratoire, il ne faut pas dépasser 05 individus par boîte (SDAGE, 2002 ; Agro-service, 2004 ; Vaufleury *et al.*, 2009 ; Larba, 2014), *et* pour la reproduction dans une enceinte régulée où la photopériode est de 18 heures de lumière par jour et 06 heures par nuit, sous une température de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ et une humidité d'environ 80% assurer avec un papier absorbant humide placer au fond de ces boîtes. La nourriture et l'eau sont mis dans des boîtes de Pétri (Barker, 2001 ; Druart, 2011).

Le nettoyage doit se faire manuellement trois fois par semaine. Les escargots en cours de ponte sont isolés dans des boîtes à souris. Une fois la ponte terminée, l'escargot est remplacé dans sa boîte d'origine et les œufs sont sortis du substrat de ponte. Ils sont déposés dans une passoire et lavés dans une bassine d'eau à $20 \pm 1^\circ\text{C}$ pour éviter de déposer des

particules de sol. Puis ils sont comptés et pesés dans la boîte de Pétri, du papier absorbant humidifié. Les boîtes sont ensuite placées en chambre (conditions identiques à celles de la reproduction) jusqu'à l'éclosion des œufs (**Madec, 1983 ; Laurent et al., 1984 ; Scheifler et al., 2002**).

La nursery est réalisée dans des boîtes à souris, contenant une feuille de papier absorbant humidifiée, fermées par un couvercle plat. Les jeunes éclos peuvent être une centaine par boîte durant les deux premières semaines de croissance.

Les escargots ayant atteint 1 g (après environ 3 à 4 semaines), qui sont regroupés afin de former des groupes de masse homogènes pour continuer leur phase de croissance dans les boîtes (conditions identiques à la reproduction) jusqu'ils atteignent 5 à 6 g.

La croissance continue jusqu'à ce que les escargots atteignent la maturité sexuelle. Ils peuvent alors servir de reproducteurs pour recommencer un cycle ou être placés en hibernation, dans des caisses en bois conservées en chambre froide (4°C) (**Gomot et Enée, 1980 ; Madec, 1983 ; Druart, 2011**).

Pour faire l'expérimentation éco-toxicologique il nous faut des individus sains c'est pour ça qu'on a procédé à l'élevage des escargots

1. Choix de l'espèce

Suite à l'inventaire réalisé dans la région d'étude on a choisi deux espèces *Eobania vermiculata* et *Helix aspersa*, dont l'élevage de la première espèce a été parasité donc on a utilisé que l'*Helix aspersa* comme model biologique très utilisé dans ce genre d'étude pour les raisons suivantes

- Comestible.
- Facile à élever.
- Bio-accumulateur



Figure n°20 : *Helix aspersa*

2. Protocole d'élevage

2.1. Objectif d'élevage

L'objectif est d'obtenir des individus de première génération F1 issus de parents provenant de populations non exposées à des contaminations environnementales. Ces individus adultes ont ensuite été élevés au laboratoire jusqu'à ce qu'ils se reproduisent à (température : 20 ± 2 °C, photopériode : 18h j/6h, humidité relative : 80-90%) (**Vaufleury & Bispo, 2000 ; Vaufleury et al., 2006 in Fritsch.C,2010**).

2.2. Dispositif d'élevage

Une serre montée afin d'assurer des conditions favorables aux escargots, munie des sources lumineuses et des ventilateurs, programmés à l'aide d'un régulateur (d'hygrométrie et de température) (figure 21).

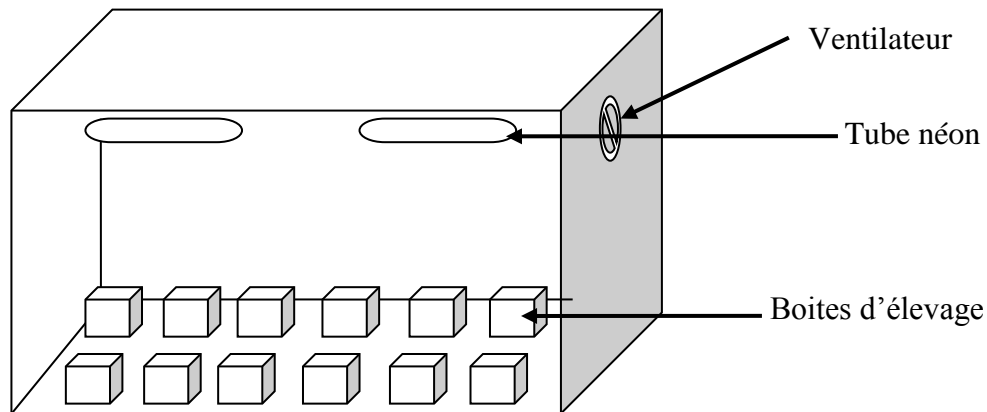


Figure n°21 : Présentation de la serre d'élevage

2.3. Les boîtes d'élevage : Des boîtes en plastique (40×30×20cm) (**figure 22 A**)

2.4. Condition d'élevage : l'humidité est assurée par une éponge humide et une boîte de pétri remplis d'eau, la température est contrôlée en permanence et réglée soit par la ventilation ou le chauffage, une lampe de lumière blanche est programmée à l'aide d'une prise programmable à fin d'assurer une photopériode complète, les couvercles des boîtes sont percés pour l'aération. (**figure 22 B**)

2.5. Nourriture : les escargots sont nourris par un mélange de farines : (60% farine de maïs, 25% farine de soja, 15% coquille d'œufs de poules) les constituants nettoyés, broyés, et tamisés à fin d'avoir un mélange homogène.

2.6. Ponte : Les pontes ont eu lieu dans des boîtes de plastiques régulières de terreau. (**figure 22 C**)

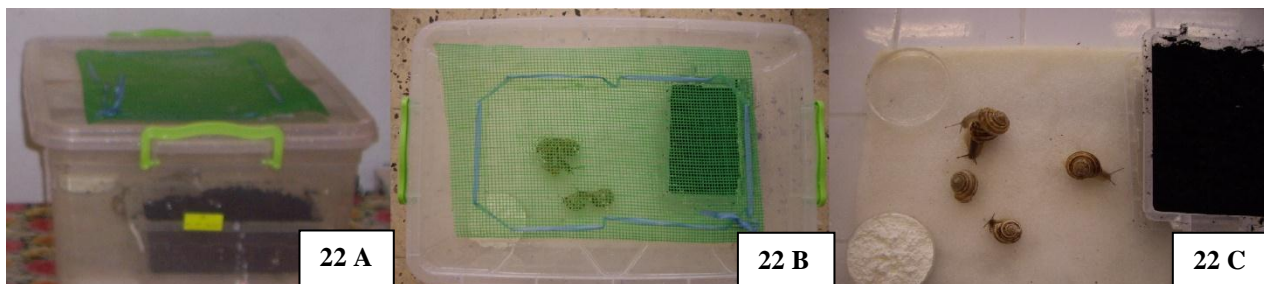


Figure n°22: Boîte d'élevage

2.7. Incubation : les œufs prélevés sont déposés dans une passoire et lavés dans une bassine d'eau à $20 \pm 1^\circ\text{C}$ pour afin d'éviter le dépôt des particules au sol dans le support d'incubation (figures 23 et 24). Cette dernière se déroule dans des boites de pétri tapissées du papier absorbant humidifié (Stérilin, 90 x 14,2 mm, polystyrène cristal, 3 ergots) (figures 25 et 26).

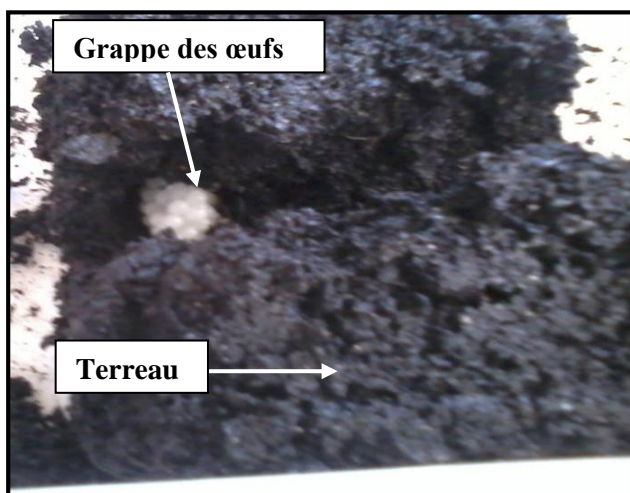


Figure n°23: Ponte des escargots

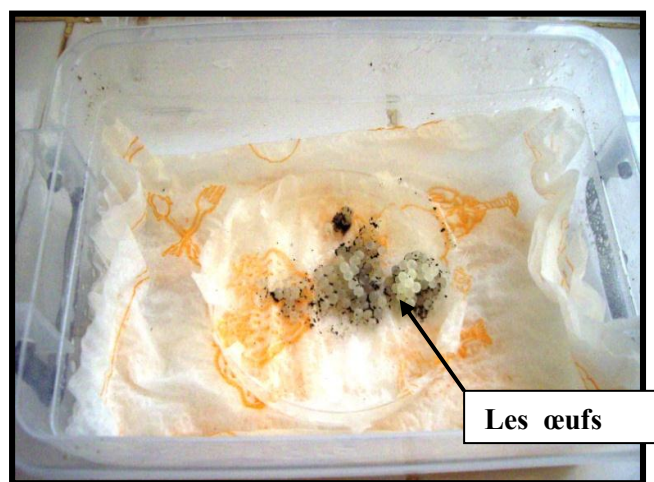


Figure n°24: Boîte d'incubation

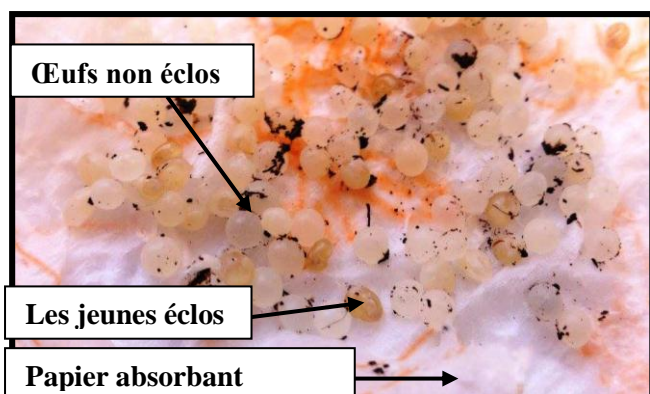


Figure n°25: Début d'éclosion

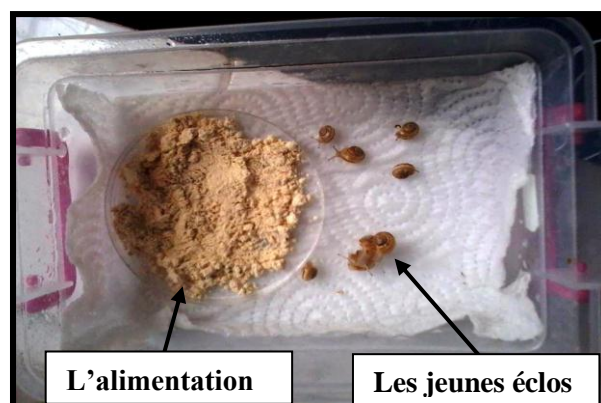


Figure n°26: Fin d'éclosion

V. Expérimentation éco-toxicologique

1. Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé dans notre travail est l'escargot petit gris : *Helix aspersa* dont la position systématique est la suivante :

Règne : Animalia (Linnaeus, 1758)

Embranchement : Mollusca (Cuvier, 1795)

Classe : Gasteropoda (Cuvier, 1797)

Ordre : Stylommatophora (Schmidt, 1856)

4.1.**Famille** : Helicidae (Rafinesque, 1815)

Genre : *Helix* (Linnaeus, 1758)

Espèce : *Helix aspersa* (Müller, 1774)

Helix aspersa également nommés *Cantareus aspersus* ou *Cornu aspersum* dans la nomenclature récente, son nom vernaculaire est Petit gris (Meziane et al., 2013 ; Zaafour, 2014).

2. Description morphologique

L'escargot petit gris, *Helix aspersa* est un mollusque sourd et quasiment aveugle, ses tentacules sont équipés de deux épithéliums olfactifs très puissants. Simplement en balançant ses tentacules pour détecter les odeurs qui l'entourent, l'escargot peut repérer une cible à plus d'une centaine de mètres. Il porte une coquille calcaire brune rayée de noir. Sa spirale tourne dans le sens des aiguilles d'une montre. La masse viscérale entièrement protégée par la coquille. Le pied développé formant une sole pédieuse. Yeux à l'extrémité des tentacules postérieurs. L'orifice génital hermaphrodite sur le côté droit de la tête, derrière les tentacules. Le bourrelet palléal longeant le bord de l'ouverture de la coquille. Le pneumostome sur le côté droit, au niveau du bourrelet palléal (l'anus et l'orifice urinaire débouchent à proximité de l'anus mais ne sont pas ou difficilement visibles (Meziane et al., 2013 ; MATE, 2010).

3. Anatomie D'*Helix aspersa*

La cavité palléale, limitée antérieurement par le bourrelet palléal, constitue le poumon dont le plafond est formé par le manteau richement vascularisé. En arrière, le cœur dans son péricarde, d'aspect translucide (cavité cœlomique). À droite, près du cœur l'organe de Bojanus (rein), de couleur claire et volumineux. Dans le tortillon viscéral, dont l'essentiel est constitué par l'hépatopancréas, repérer : les anses brunâtres du tube digestif,

la glande de l'albumine volumineuse et blanchâtre. Éventuellement essayer de distinguer dans le tortillon viscéral les parties visibles de la glande hermaphrodite et du canal hermaphrodite fin et sinueux, tous deux blancs (MATE, 2010)

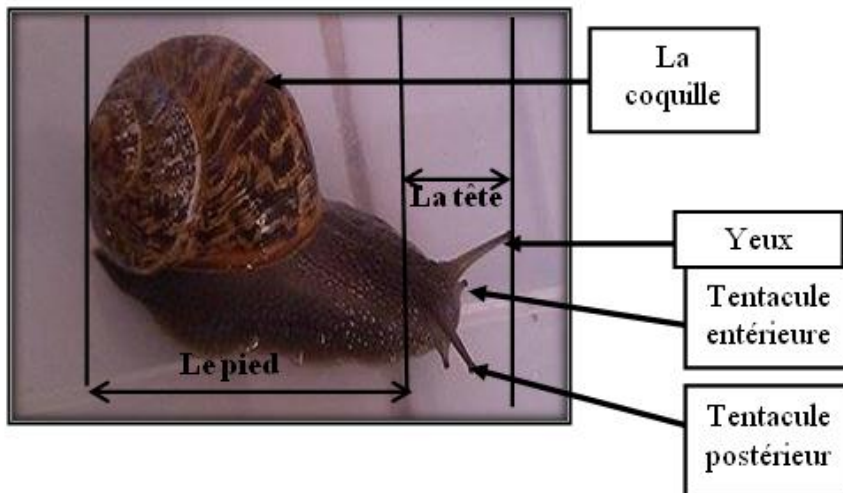


Figure n°27 : *Helix aspersa*(Photo originale)

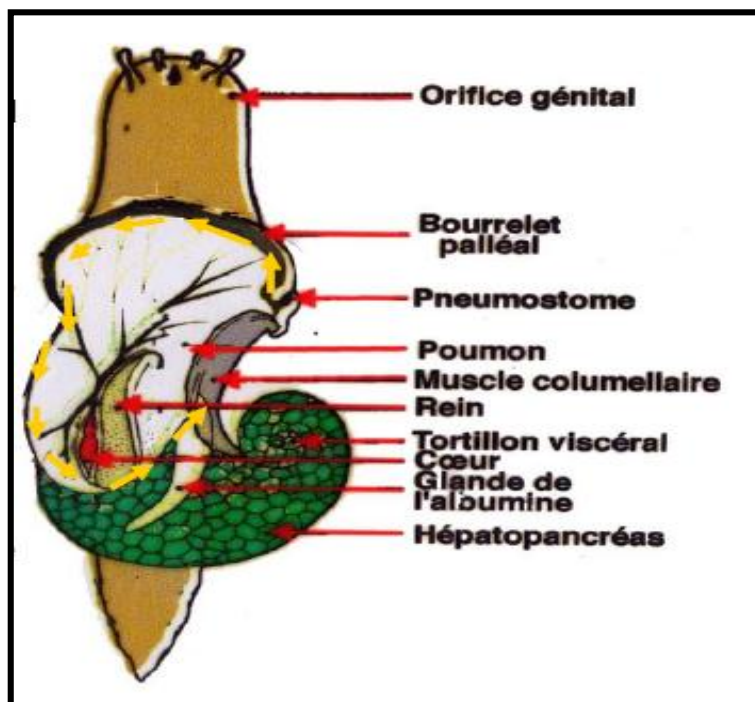


Figure n°28: Observation en place des organes après dissection d'*Helix aspersa* (MATE, 2010)

4. Protocole de suivi de la morphologie des escargots (Croissance)

4.1. Conditions de vie des escargots

Les escargots de type (*Helix aspersa*) utilisés dans la première expérimentation sont des infantiles, leur poids moyen varie de (0,2- 0,6g), et dans la deuxième expérimentation sont des juvéniles, leur poids moyen varie de (1-3g) ils sont issus d'un élevage in vitro dans les conditions expérimentales suivantes :

- Photopériode 18 h de lumière / 24 h,
- Température $20 \pm 2^\circ \text{C}$,
- Humidité : 80 % à 95 %.

Les escargots sont répartis en trois lots, chaque lot contient neuf boîtes de plastique transparentes (Une de témoin et les autres pour les différentes doses), chaque boîte contient trois escargots.

4.2. Entretien de l'élevage des escargots

Le nettoyage et le renouvellement de la nourriture sont fait 1 jour/2jours, les boîtes sont lavées, les fèces enlevées.

4.3. Alimentation et contamination

Un mélange de farine est préparé pour nourrir les escargots (farine de soja 25 %, maïs 60 % et de coquille des œufs 15 %). La granulométrie de la farine et les poussières homogénéisées à des diamètres varient entre [125-200 μm] pour s'assurer que les individus se nourrissent de la même composition. Chaque escargot est mis en contact avec des doses croissantes de poussière ajoutée à l'aliment (tableau 5).

Les expériences ont été menées au laboratoire pendant quatre semaines. Le plan expérimental est présenté en figure n° 29.

Tableau n°05 : Répartition du mélange (Aliment + Poussière) dans les boites Pétris

Doses	D 0		D1		D2		D3		D4		D5		D6		D7		D8		Total
Aliment (A)/ Poussière (P)	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	
Pourcentage (%)	100	0	90	10	80	20	70	30	60	40	50	50	40	60	30	70	20	80	100%
Quantité en (g)	2.5	0	2.25	0.25	2	0.5	1.75	0.75	1.5	0.5	1.25	1.25	1	1.5	0.75	1.75	0.5	2	2.5 g

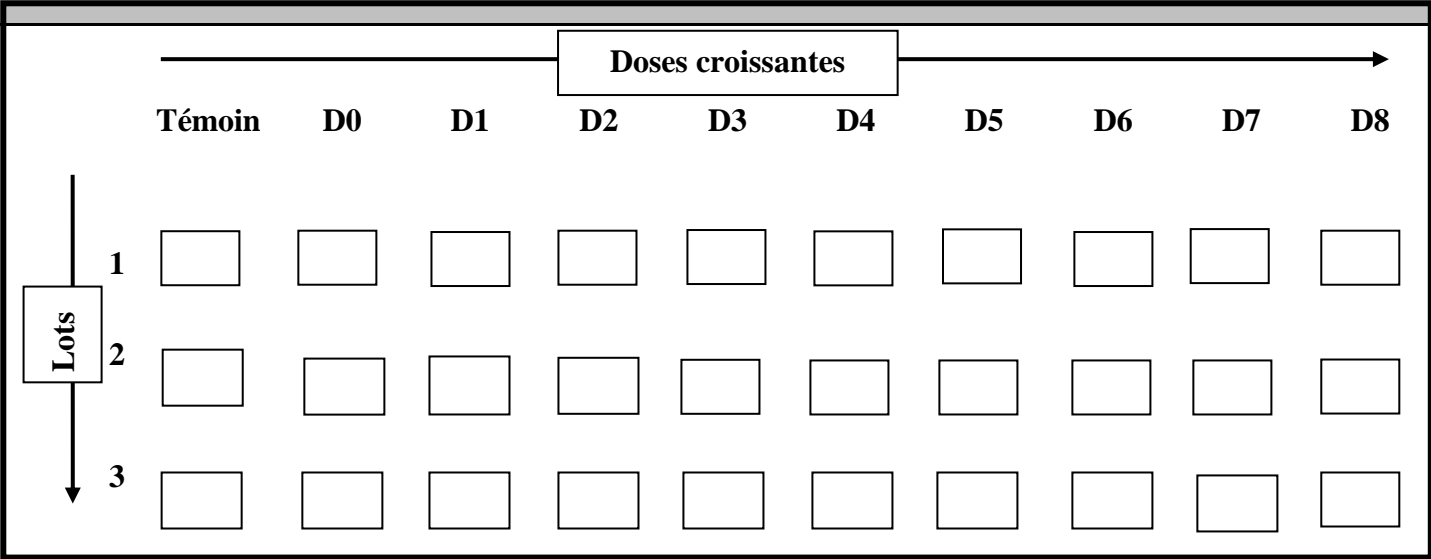


Figure n°29 : Plan expérimental de l’essai de contamination des escargots

4.3.1. Matériel de la contamination

Une serre contient le matériel suivant : Un ventilateur pour refroidir la serre, des tubes néon de type "lumière du jour" pour assurer l'éclairage ; une prise programmable pour contrôler la photopériode, et des boîtes en plastiques transparentes (40x30x20 Cm) perforées pour l'aération ; chaque boîte contient deux boîtes de pétrie une pour l'alimentation et l'autre pour l'eau voir figure n° 30.

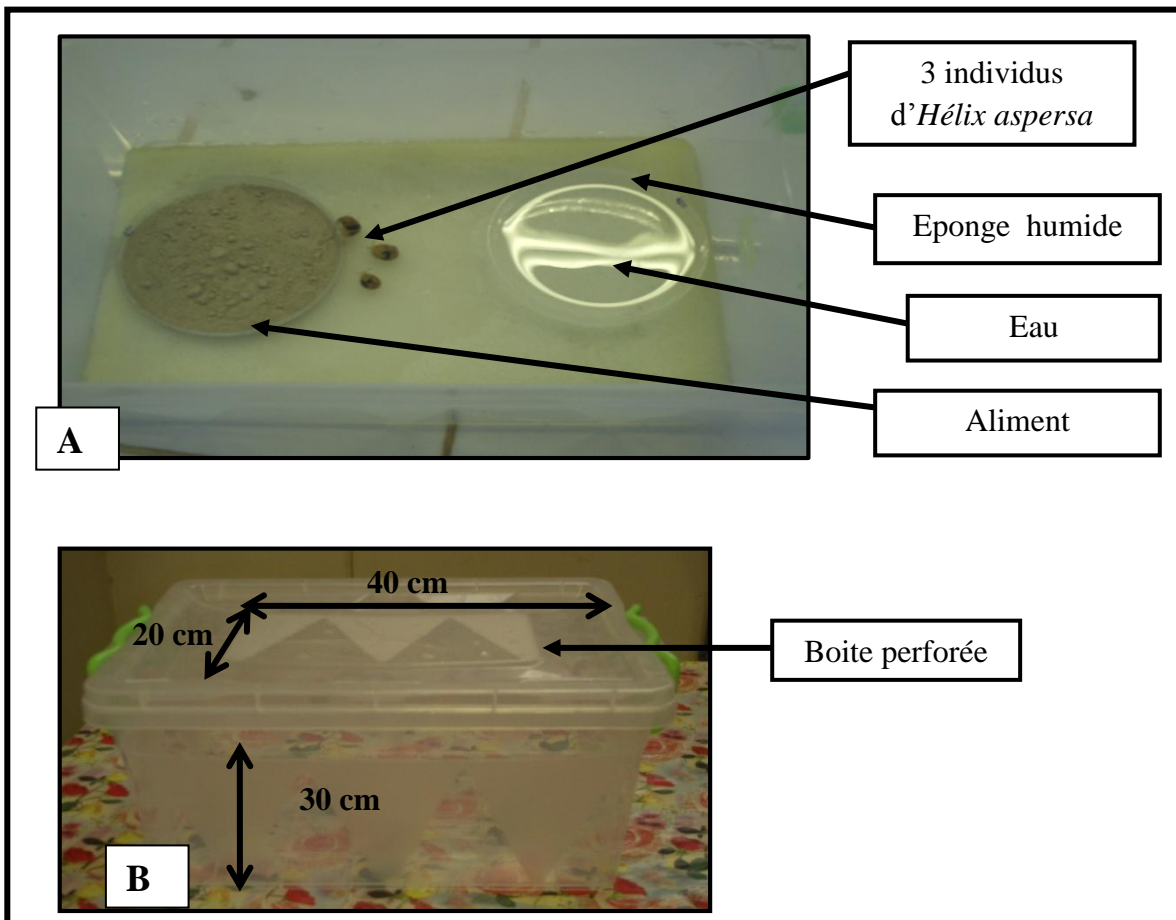


Figure n° 30 : Boîte d'élevage (A. L'intérieur de la boîte, B. L'extérieur de la boîte)

4.4. Evolution de la croissance des escargots

- Le poids frais de l'escargot (tissus mou + coquille) est mesuré à l'aide d'une balance de précision chaque semaine. Ce critère est recommandé pour évaluer les effets des poussières sur la croissance des escargots *Helix aspersa*.
- Le diamètre de la coquille (largeur et hauteur) est mesuré avec un pied à coulisse numérique chaque semaine. La mesure doit se faire délicatement pour éviter d'endommager l'ouverture de la coquille fragile des escargots.

- Le poids total et les dimensions de la coquille des escargots soumis à différentes doses ont été traités par l'analyse kruskal-wallis pour étudier leur variation en fonction du temps et des doses, l'analyse réalisée à l'aide du logiciel IBM SPSS statistics 20.

5. Etude histologique

5.1. Dissection des escargots

- Après le traitement les escargots sont mis au jeun pour vider leur tube digestif (Boucenna, 2010),
- ensuite on les sacrifie avec congélation à -80°C pendant 48h (Grara, 2011) (figure n°31), cette méthode repose sur l'élimination de l'eau contenue dans les pièces refroidis, et permet l'arrêt véritable de toutes les réactions enzymatiques (Gabe, 1968).
- après la décongélation, on fait la dissection à l'aide d'un ciseau, on découpe la coquille depuis le péristome vers l'apex (sommet) en suivant la ligne de suture et on enlève toute la coquille délicatement (figure 32 A),
- puis on fixe la tête et le pied par des épingles, pour faciliter la division par un bistouri (figure 32 B),
- on découpe le muscle columellaire ce qui cause la libération du foie qui est situé à l'intérieur de la coquille, et on découpe le pied en évitant l'orifice génital et l'anus.
- À l'aide d'une pince on met les organes dans le formaldéhyde 10% qui est considéré comme un fixateur chimique il stabilise parfaitement les glucides tissulaires et les protides mais les lipides peuvent être modifiés lors d'une fixation prolongée (Gabe, 1968).



Figure n°31 : Congélation des escargots (Photo originale)

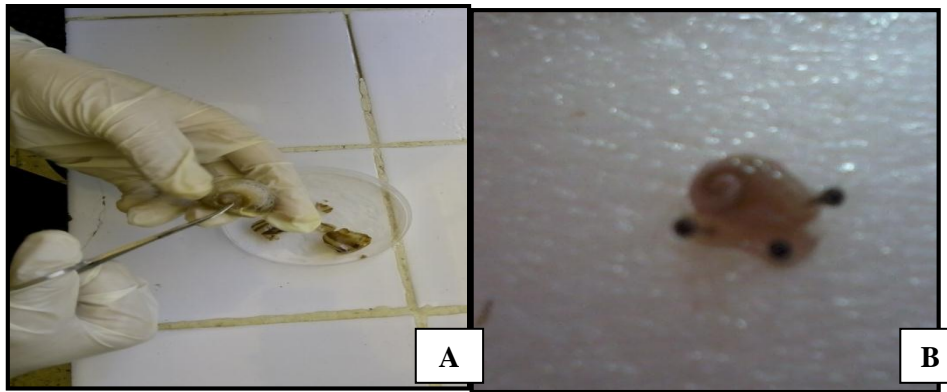


Figure n° 32 : Dissection des escargots (A. enlèvement de la coquille, B. corps mou épinglé)

5.2. Préparation des coupes histologiques

5.2.1. Rinçage : On a mis les organes dans des cassettes puis les soumises à l'eau courante à faible débit pendant 5 heures (voir figure 33).

5.2.2. Déshydratation effectué par un automate qui assure le passage des échantillons d'organes au plusieurs bains de deux heures respectivement (éthanol 80 %, 95%, 100%, 100%) pour une déshydratation progressive, ensuite deux bains de 30 min de xylène pour compléter la déshydratation (figure 34).

5.2.3. Inclusion à la paraffine : A l'aide de l'automate on fait passer les échantillons dans deux bains de paraffine fondue pendant 02 heures dans chaque bain, le but est l'obtention d'une imprégnation aussi complète que possible des pièces, le refroidissement au moment du collage du bloc transformant le tissu, hétérogène du point de vue de la consistance et de l'élasticité, en une masse homogène dont les différentes parties se comportent de façon sensiblement égale lors de la confection des coupes (**Gabe, 1968**).



Figure n° 33 : Rinçage des foies et des pieds



Figure n° 34 : Automate pour la déshydratation et inclusion à la paraffine

5.2.4. Coulage des blocs : Ce dernier temps de l'inclusion à la paraffine a pour but de conférer à l'ensemble que doivent former une pièce et la paraffine qui l'entoure une consistance homogène (Gabe, 1968) (figures 35, 36, 37 et 38).

5.2.5. Confection et collage des coupes : Après 24h dans le réfrigérateur, les blocs sont placés l'un après l'autre dans un microtome (figure 39), ce dernier permet de créer des rubans de coupes très fine de 7 micromètre puis on place les rubans dans le bain marie à 45°C, on fixe les coupes sur la lame avec la solution de Mayar, puis sécher sur une plaque chauffante de 50°C (figure 40).



Figure n° 35: Moules des blocs

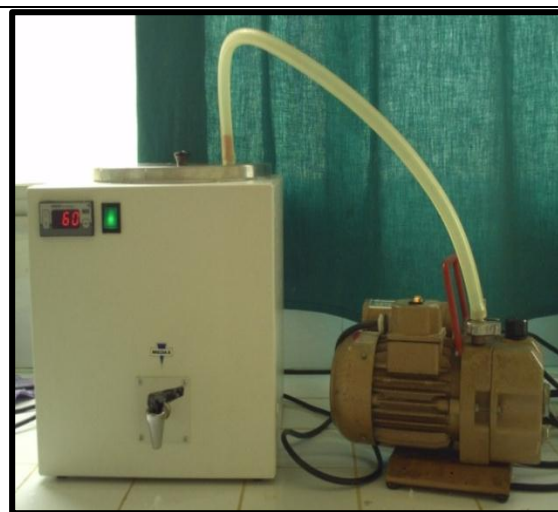


Figure n° 36: Appareil de coulage des blocs



Figure n° 37 : Blocs obtenus



Figure n° 38: Plaque de refroidissement



Figure n° 39 : Microtome



Figure n°40: Bain marie et la plaque chauffante

5.2.6. Coloration : Elle s'effectue dans des bacs de coloration (figure 41) en suivant ce plan

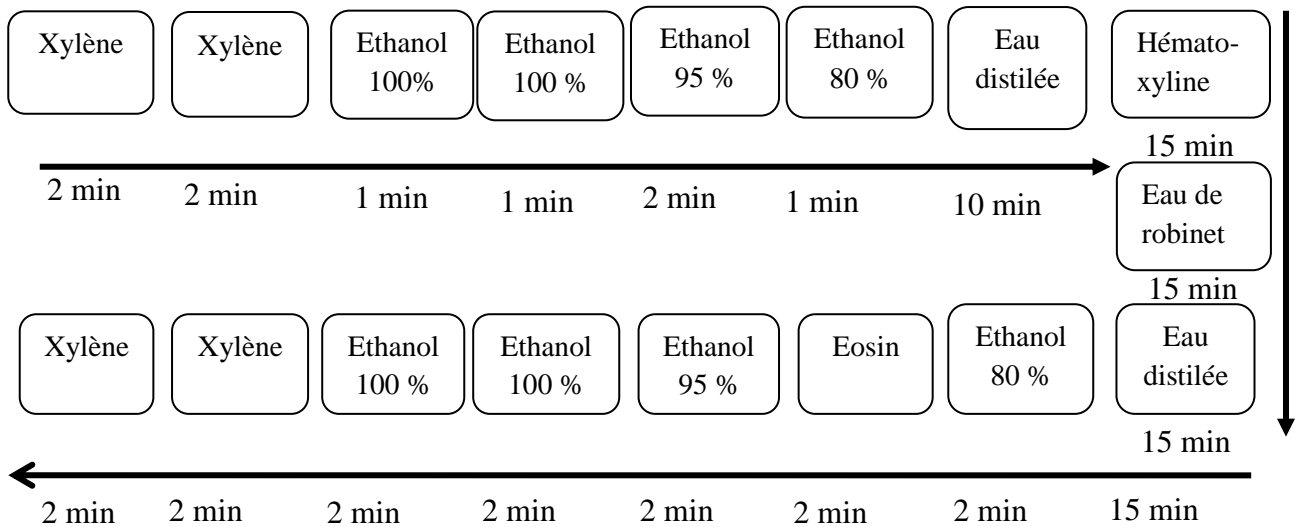


Figure n° 41 : Bacs de coloration

5.2.7. Observation microscopique : Elle s'effectue par un microscope optique muni d'une caméra (figure 42).

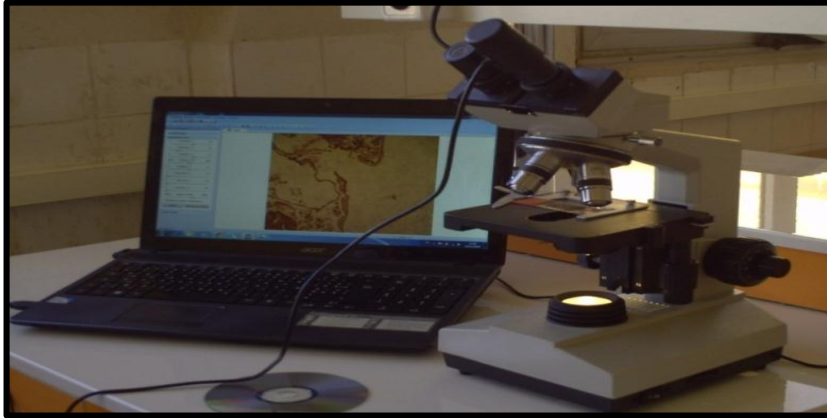


Figure n° 42 : Microscope optique muni d'une caméra

Chapitre 03

Résultats et discussion

I. Evaluation et caractérisation des poussières émises par les carrières

1. La première période d'expérimentation

1.1. Conditions météorologiques

Vu l'influence des conditions météorologiques sur la dispersion des poussières ; spécialement la température, les précipitations, l'humidité et la vitesse et direction du vent ; on les présente dans les graphes ci-dessous (figure 43 et 44)

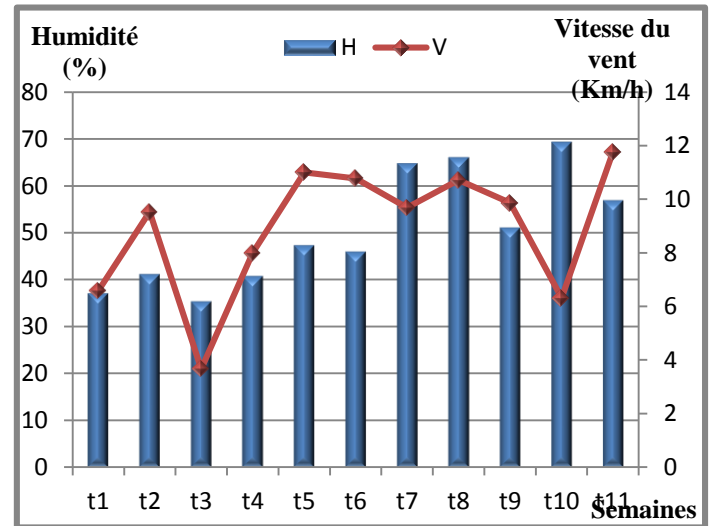
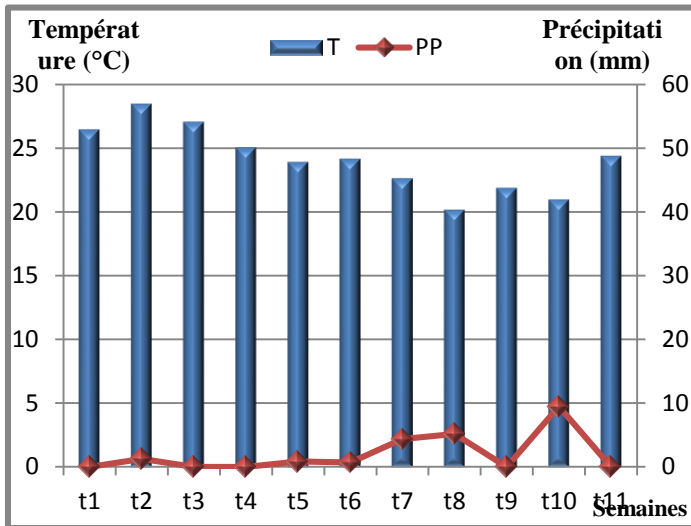


Figure n°43: Variation de la température et des précipitations par semaines (du juillet à octobre 2013)

Figure n°44: Variation de l'humidité et de la vitesse du vent par semaines (du juillet à octobre 2013)

On observe une faible précipitation, et un taux d'humidité inversement proportionnel à la température qui atteint un maximum de 69%, et une vitesse de vent plus ou moins élevée qui atteint 11,80 km/h sachant que la direction du vent dominant est sud-ouest.

1.2. Analyse physico-chimiques des poussières

Les résultats sont présentés par des courbes d'iso-réponse réalisées par le logiciel STATISTICA 6 qui présentent la dispersion des quantités totales des poussières dans la région pendant toute la période d'expérimentation (figures 45 A), la dispersion des différentes fractions des poussières sont présentées de (figures 45 B, C, D), tandis que les éléments chimiques et les courbes de chaque période sont présentées avec l'annexe 04.

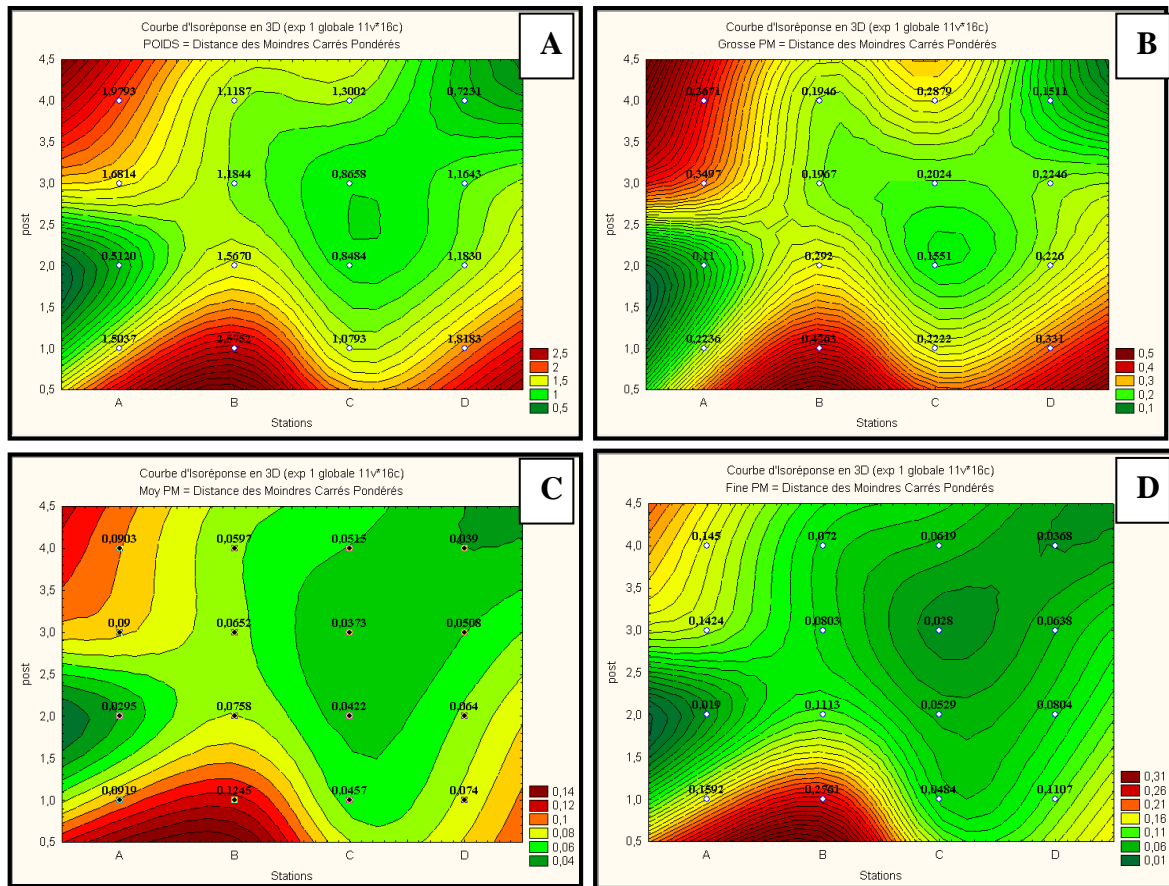


Figure n°45 : Courbes d'iso-réponse en 3D des quantités de poussière collectées dans la première expérimentation (A. poids total, B. Grosses particules, C. Moyenne PM, D. Fines PM).

- En t1, t3, t6, t9 et t10 les vitesses des vents enregistrées sont moyennement faibles ce qui ne permet pas le transport des particules donc on remarque que les poussières se concentrent dans les stations les plus proches aux carrières (stations B et C). En t2, t4, t5, t7, t8 et t11 les vitesses des vents dominants (Sud-Ouest) augmentent ce qui a fait un transport des particules vers la station A mais reste le post B1 capte les quantités les plus importantes.
- On observe que si la vitesse du vent est faible, les poussières restent aux points d'émission c.à.d. les postes les plus proches aux carrières, tandis qu'aux périodes les plus venteuses on enregistre un déplacement des poussières fines et moyennes vers les postes D1 et D2.

- Les éléments chimiques se classent selon l'ordre décroissant des quantités comme suit Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn, Cu avec une dispersion différentes :
 - Calcium Ca c'est l'élément le plus abondant dans les différents postes spécialement le poste A4.
 - Magnésium Mg se concentre plus dans les postes A4, D1, D2, D3.
 - Potassium K se concentre dans le poste B1.
 - Sodium Na se concentre dans les postes A4 et B1.
 - Aluminium Al se concentre dans les postes B1, B2, B3, B4, A3 et A4.
 - Fer Fe se concentre dans les postes A2, A4, B1, B2, B4, C1, C2 et C4.
 - Manganèse Mn se concentre dans le poste A1.
 - Cuivre Cu se concentre dans tous les postes sauf A1, A3, B1, B3, D4.

1.3. Etude statistique

Les analyses statistiques sont réalisées par le logiciel IBM-SPSS 20, les résultats sont présentés dans les figure 46 (A, B, C, D).

1.3.1. Analyse statistique selon le temps

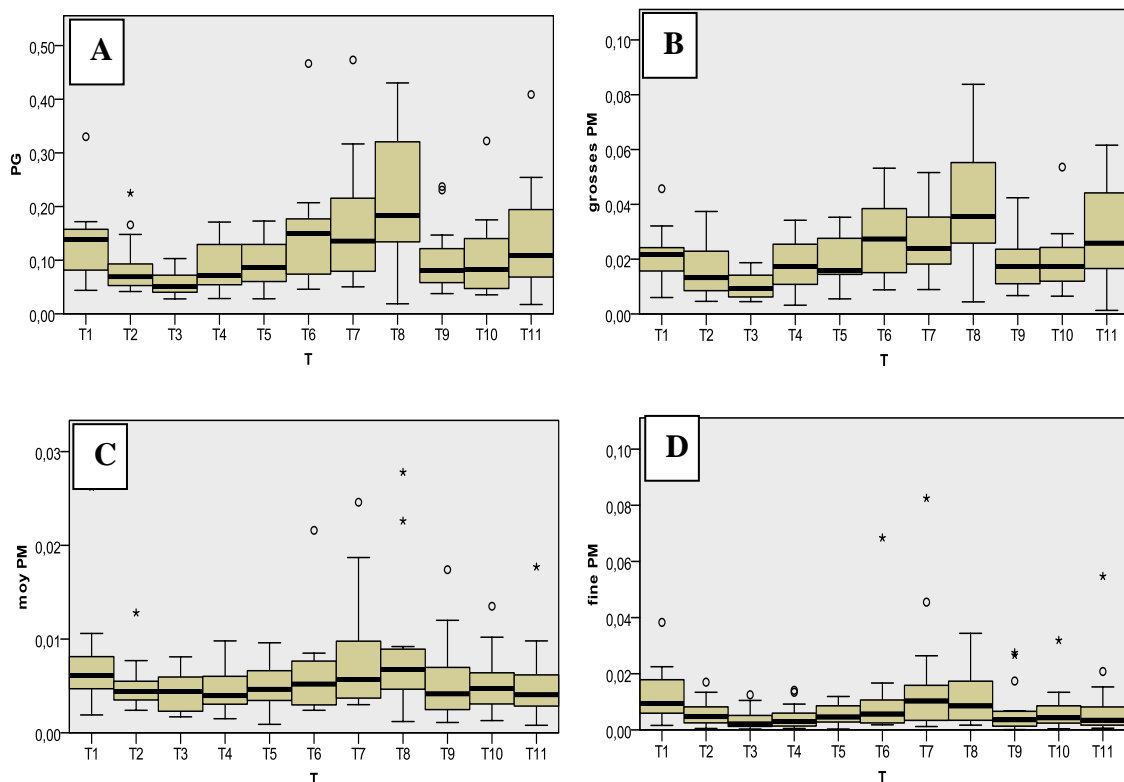


Figure n°46 : Boites à moustache du (A. poids total –PG-, B. grosses PM, C. moyennes PM et D. fines PM) selon les périodes de captage.

Pour la plupart des périodes de captage la médiane est dans le bas de la boîte à moustache ce qui suppose une distribution asymétrique vers les valeurs basses des quantités de poussières, de plus la médiane semble généralement plus basse pour les fines et les moyennes PM que les grosses PM. L'étendue interquartile varie en fonction des conditions météorologiques figure 46 (A, B, C, D).

Nos données ne suivent pas une loi normale, c'est pour cela on utilise le test de Kruskal et Wallis pour analyser la variance entre les différentes périodes de captage et on note une différence très hautement significative pour le poids total des poussières et le poids des grosses particules en fonction du temps avec un degré de signification de $p < 0.000$, une différence non significative pour les moyennes particules avec un degré de signification de 0.108, et une différence hautement significative pour les fines particules avec un degré de signification de $p < 0.001$ (voir l'annexe n°1)

Les sous-ensembles homogène du poids total et des grosses particules révèlent 04 groupes dont on distingue T8 période la plus poussiéreuse et le T3 la moins poussiéreuse, et les groupes des autres périodes se chevauchent, tandis que les fines particules se trouvent plus au T1 et moins au T3.

1.3.2. Analyse statistique selon les stations

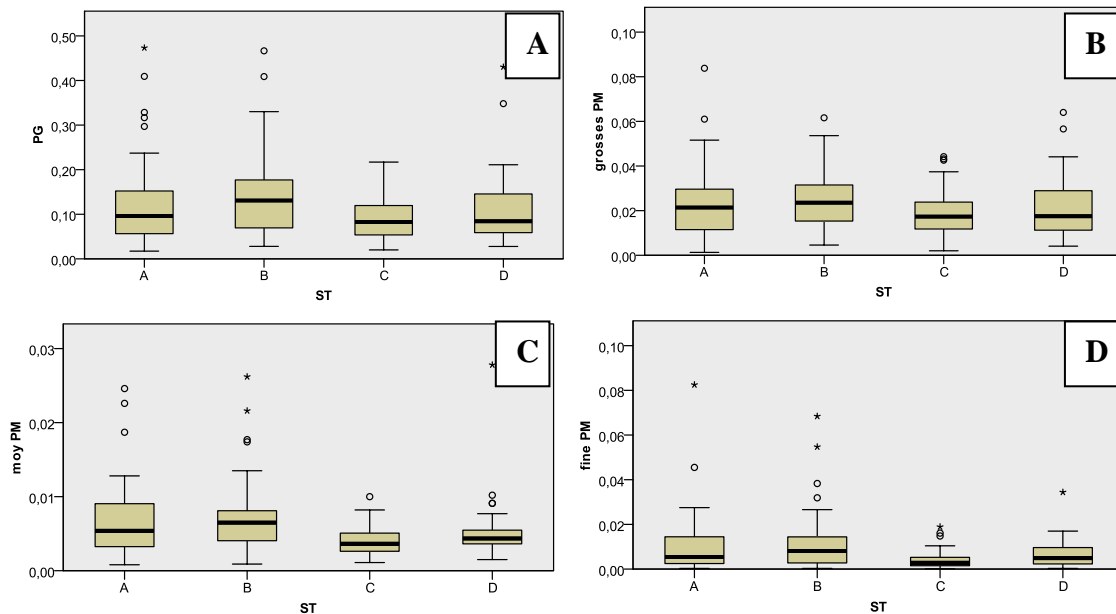


Figure n°47 : Boîtes à moustache du du (A. poids total –PG-, B. grosses PM, C. moyennes PM et D. fines PM) selon les stations de captage.

Les médianes du poids total et les grosses particules sont très rapprochées ce qui fait une différence non significative selon le test de Kruskal et Wallis avec un seuil de $p \leq 0.071$ pour le poids total et $p \leq 0.293$ pour les grosses particules, l'étendue interquartile montre que la station B reçoit plus de poussière contrairement à la station C qui reçoit moins de poussières figures 47 (A, B, C et D).

La variation des poids des particules moyennes est très hautement significative avec un seuil de signification de $p \leq 0.001$ selon le test Kruskal et Wallis les sous ensemble homogène révèlent 02 groupes dont le premier regroupe les stations B, A, D en ordre décroissant et le second groupe présenter par la station C la moins poussiéreuse (voir l'annexe n°1).

1.3.3. Analyse statistique selon les postes

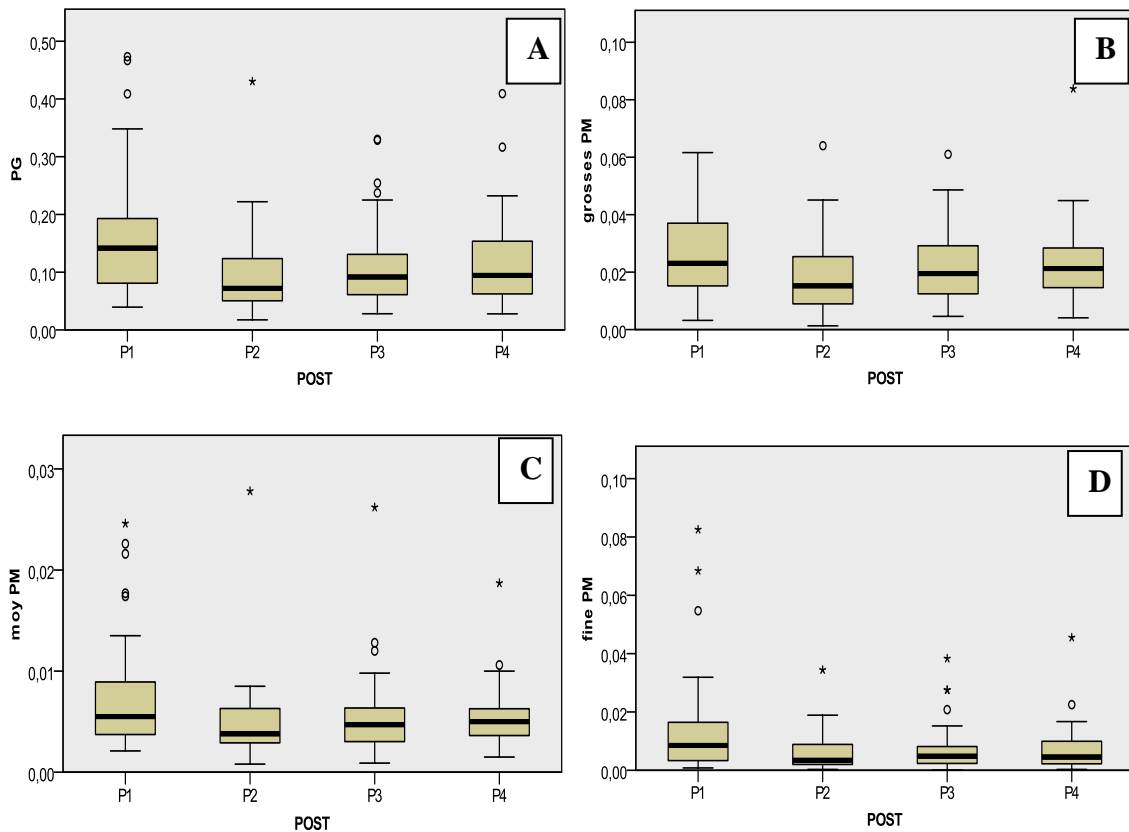


Figure n°48 : Boîtes à moustache du poids total, grosses PM, moyennes PM et fines PM selon les postes de captage.

Le test de Kruskal et Wallis montre des différences significatives pour le poids total, les grosses particules, les moyennes particules et les fines particules avec des seuils de signification respectivement $p \leq 0.04$, 0.016 , 0.009 , 0.015 .

Le poste 1 forme le groupe homogène 1, poste 3 et 4 forment le groupe 2 et le poste 2 forme le groupe 3 pour le poids total, les grosses particules et les moyennes particules, tandis que pour les fines particules les postes sont classés en 2 groupes dont le premier contient le poste 1 et le second contient P4, P3, P2 (voir l'annexe n°1).

2. Deuxième période d'expérimentation

2.1. Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques (température, précipitation, humidité, vitesse du vent) durant la deuxième expérimentation sont présentées dans les figures 49 et 50.

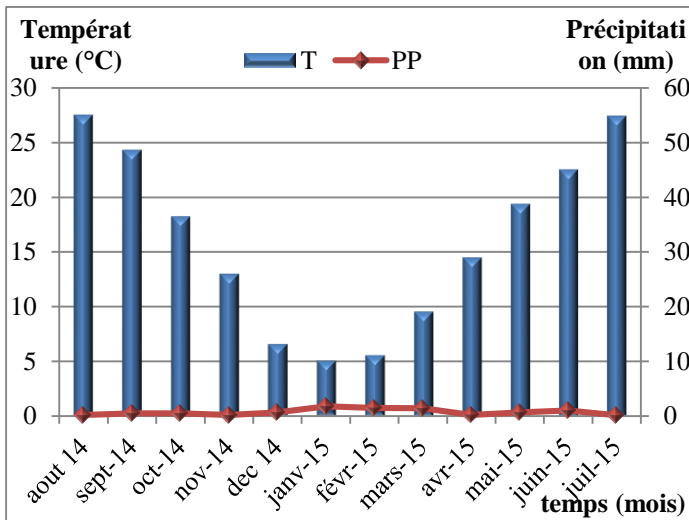


Figure n° 49: Variation de la température et des précipitations (d'août 2014 au juillet 2015)

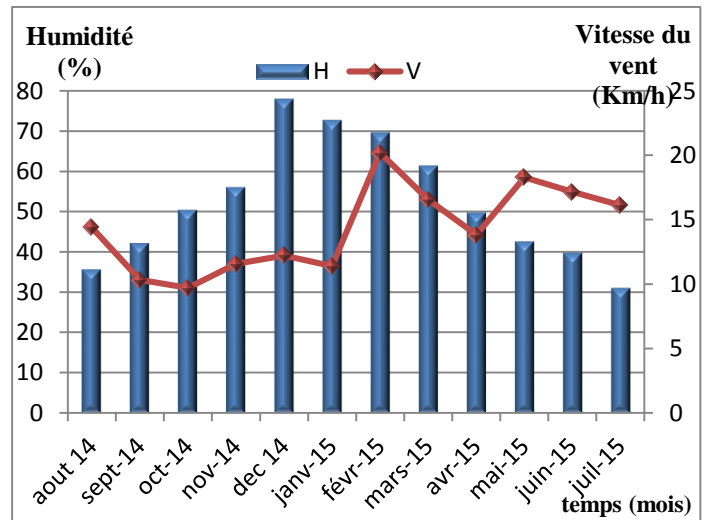


Figure n° 50: Variation de l'humidité et de la vitesse du vent (d'août 2014 au juillet 2015)

On observe une faible précipitation, et un taux d'humidité inversement proportionnel à la température qui atteint un maximum de 78%, et une vitesse de vent plus ou moins élevée qui atteint plus de 20 km/h sachant que la direction du vent dominant est sud-ouest de 21 Avril au 26 Novembre et nord-est du 26 Novembre au 21 Avril.

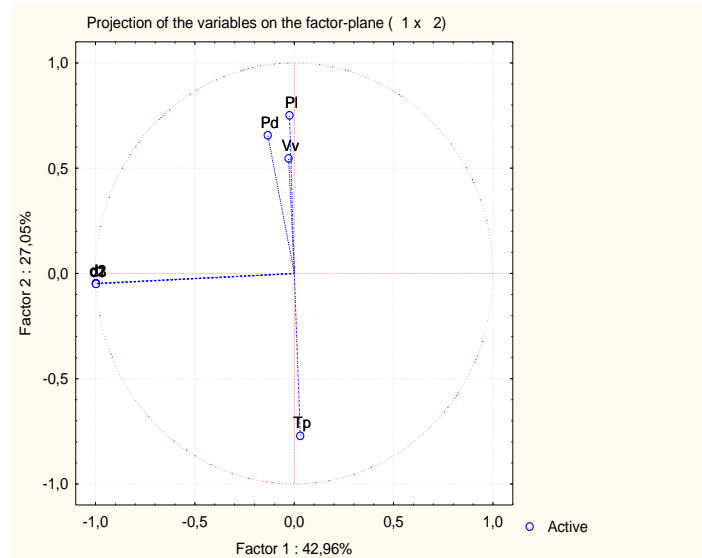


Figure n°51 : Cercle de corrélation d’analyse de composante principale

L’analyse de composante principale montre que le poids total des poussières est corrélé positivement avec les précipitations et la vitesse du vent, et il est corrélé négativement avec la température figure 51.

2.2. Analyse physico-chimique

Les résultats sont présentés par des courbes d'iso-réponse réalisées par le logiciel STATISTICA 6 qui présentent la dispersion des quantités totales des poussières dans la région pendant toute la période d'expérimentation (figures 52 A), la dispersion des différentes fractions des poussières sont présentées de la figure 52 B, C, D, tandis que les éléments chimiques et les courbes de chaque période sont présentées avec l'annexe 05.

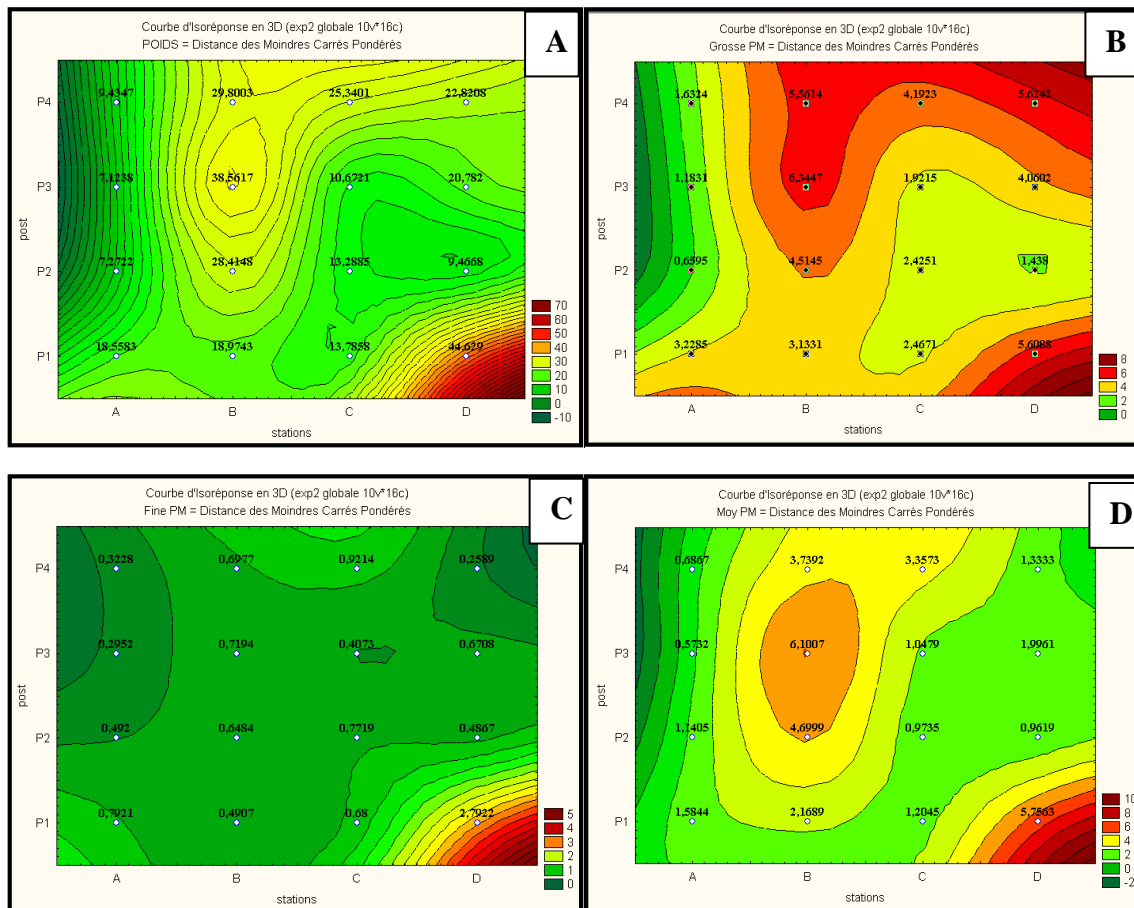


Figure n°52 : Courbes d'iso-réponse en 3D des quantités de poussière collectées dans la deuxième expérimentation (A. poids total PG, B. Grosses particules, C. Moyenne PM, D. Fines PM)

- En septembre (T2), octobre (T3), novembre (T4) des vents Nord-est dominant avec des vitesses fortes emportent les poussières aux postes D4 avec des grosses fractions mais leur composition chimique contient de faibles quantités d'éléments semblables à la source ce qui implique que les poussières viennent d'une autres source que les carrières.
- En décembre (T5) et janvier (T6) la vitesse des vents Nord-est était légèrement inférieur que la période précédente ce qui fait que les poussières se concentrent au postes D1 et B1 mais le poste D1 contient de faibles quantités des éléments

chimiques issues de la source par rapport au poste B1 ce qui implique que D1 reçoit les poussières d'une autre source tandis que le poste B1 reçoit les poussières des carrières voisines.

- En mars (T8) les vents dominants Sud-ouest forts fait que les poussières se déposent aux postes les plus lointaines de la source D1 et C1 sachant que le C1 ne contient que les fractions grosses et les moyennes et fines particules s'envolent vers le D1 qui reçoit toutes les fractions où on trouve pratiquement tout les éléments chimiques émises par les carrières tandis que au poste C1 on ne trouve que le magnésium et le fer.
- En juin (T11), juillet (T12) et aout (T1), les vents les plus forts sont enregistrés ce qui a créé une grande turbulence dans la zone d'étude où on ne remarque le dépôt des grandes quantités de poussières que au postes périphériques D1, A1 et B4 avec une exclusivité des fractions fines au poste D1 avec un pourcentage important du calcium, et au poste B4 avec un pourcentage important de magnésium et potassium ; vu de leur poids qui permet leur transport à des grandes distances

2.3.Modélisation de la dispersion des poussières dans la région

Le poids total des poussières lors de la deuxième expérimentation font l'objet d'un modèle de type Réseau de neurones de régression généralisée (GRNN). Le coefficient de corrélation (R) et des indices de validation ont été utilisés pour évaluer la performance de prédiction : l'erreur absolue moyenne (MAE), la racine de la moyenne des erreurs quadratiques(RMSE). Les valeurs numériques sont consignées dans le tableau n° 6

Tableau n°06: Indices de validation utilisés pour évaluer la performance du modèle

TRAINING			VALIDATION		
R	RMSE	MAE	R	RMSE	MAE
0,825	0,954	2,023	0,871	1,031	2,362

La visualisation graphique, reflétant la qualité du modèle GRNN adopté, est réalisée et présentée par les figures qui suivent, et ce en phase de calage (TRAINING) (figure 53) et test (VALIDATION) (figure 54).

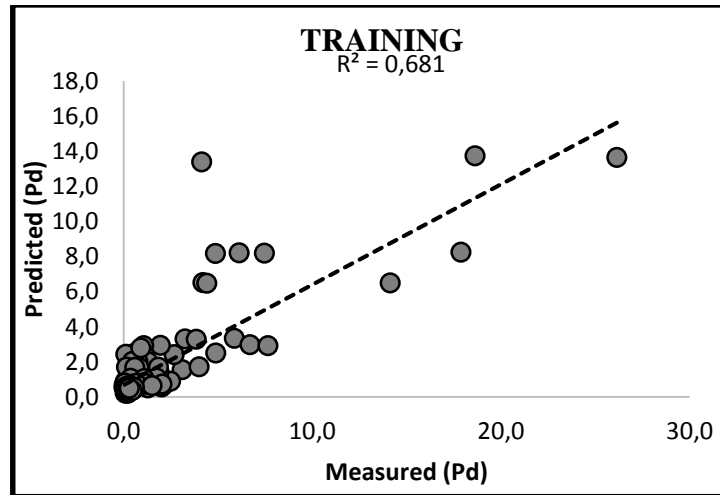


Figure n° 53 : Courbe de formation du modèle

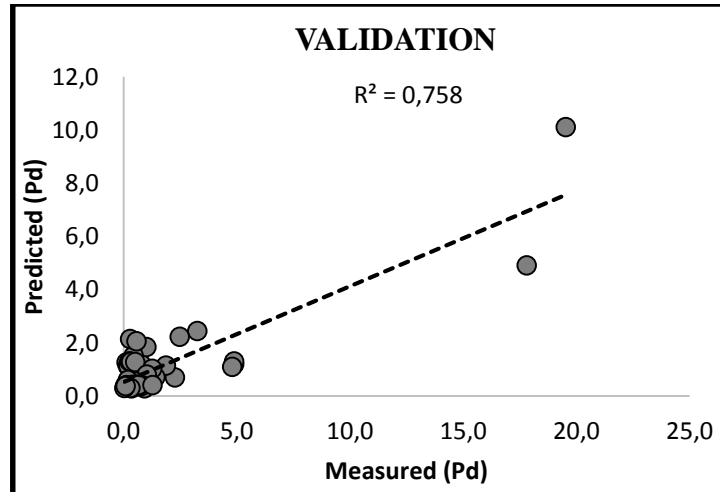


Figure n° 54 : Courbe de validation du modèle

2.4. Analyse statistique

2.4.1. Analyse statistique selon le temps

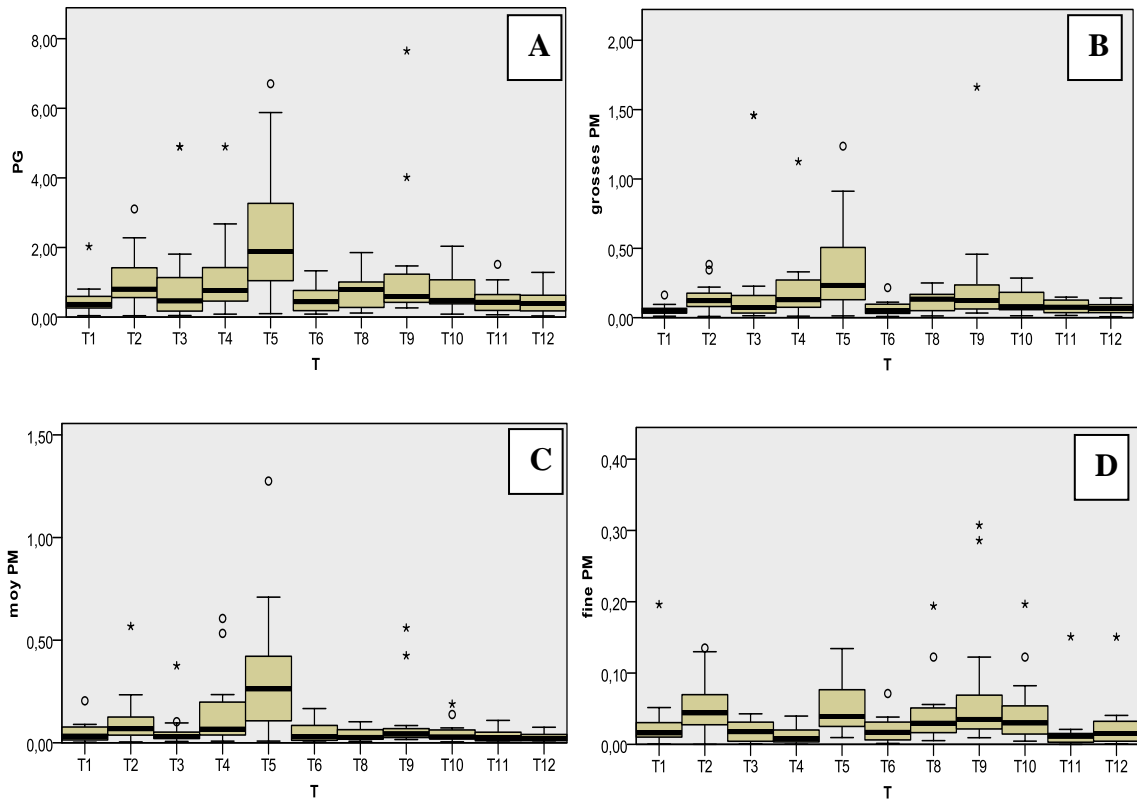


Figure n° 55 : Boites à moustache du poids total, grosses PM, moyennes PM et fines PM selon les périodes de captage de la deuxième expérimentation (A. poids total PG, B. Grosses particules, C. Moyenne PM, D. Fines PM).

Pour la plupart des périodes de captage la médiane est dans le bas de la boîte à moustache ce qui suppose une distribution asymétrique vers les valeurs basses des quantités de poussières sauf pour T5 et T6. L'étendue interquartile varie en fonction des conditions météorologiques (figure 55 A, B, C et D).

La distribution de nos poussières est para normale, c'est pour cela on utilise le test de Kruskal et Wallis pour analyser la variance entre les différentes périodes de captage et on note une différence très hautement significative pour le poids total des poussières ainsi que les différentes fractions (gosses, moyennes et fines) en fonction du temps avec un degré de signification de $p \leq 0.000$ (voir l'annexe n°2).

Les sous-ensembles homogènes révèlent un groupe à faible quantité de poussières présenté par le T12 et un groupe à grande quantité de poussières présenté par T5 et les

autres groupes se chevauchent et cela pour le poids total des poussières et les moyennes particules,

2.4.2. Analyse statistique selon les stations

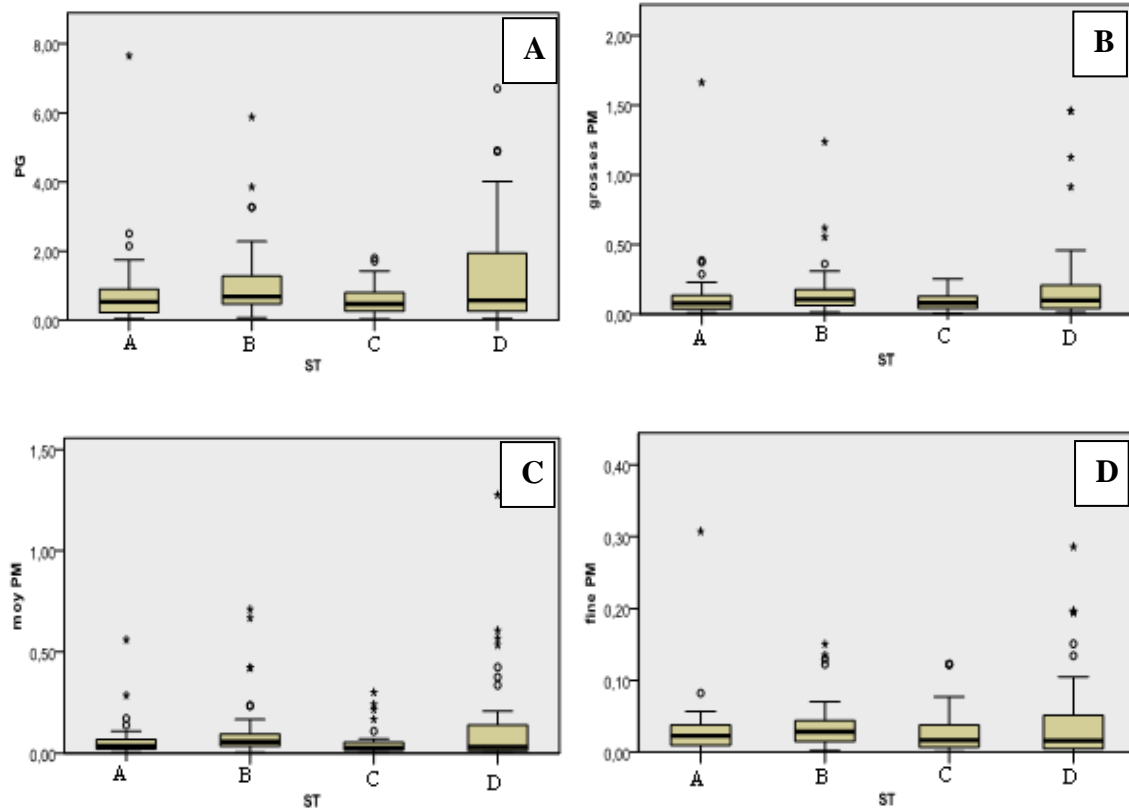


Figure n° 56 : Boîtes à moustache du poids total, grosses PM, moyennes PM et fines PM selon les stations de captage de la deuxième expérimentation (A. poids total PG, B. Grosses particules, C. Moyenne PM, D. Fines PM).

Les médianes du poids total, les grosse et les fines particules sont très rapprochées ce qui fait une différence non significative selon le test de Kruskal et Wallis avec un seuil de $p \leq 0.56$ pour le poids total et $p \leq 0.199$ pour les grosses particules, et $p \leq 0.144$ pour les fines poussières. L'étendue interquartile montre que la station D reçoit plus de poussière contrairement à la station C qui reçoit moins de poussières (figure 56 A, B, C et D).

La variation des poids des particules moyennes est significative avec un seuil de signification de $p \leq 0.012$ selon le test Kruskal et Wallis. Les sous ensemble homogène révèlent trois groupes dont le premier présenté par la station C, le deuxième comporte les stations D, A et le troisième groupe présenté par la station B, en ordre croissant (voir l'annexe n°2).

2.4.3. Analyse statistique selon les posts

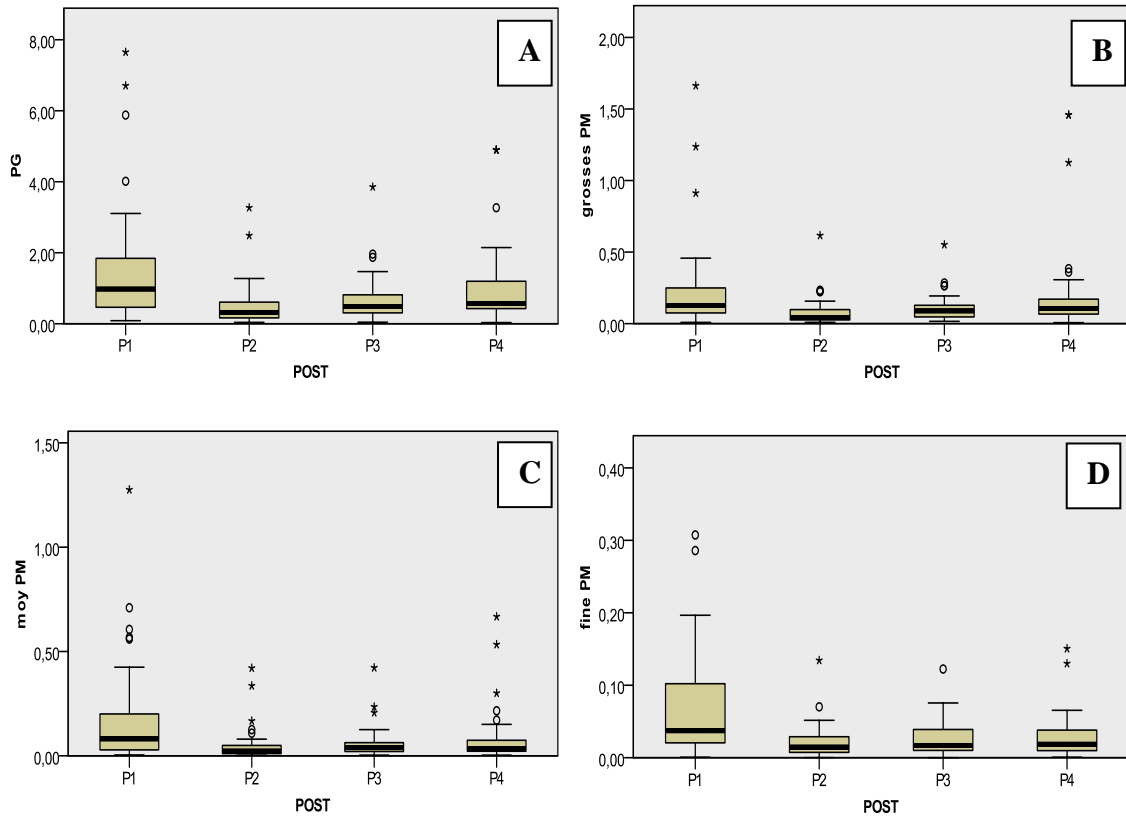


Figure n° 57 : Boîtes à moustache du poids total, grosses PM, moyennes PM et fines PM selon les postes de captage de la deuxième expérimentation. (A. poids total PG, B. Grosses particules, C. Moyenne PM, D. Fines PM).

Les poste 1 capte plus de poussières puisque c’est le plus proche aux carrières tandis que le pose 2 et 3 capte moins puisqu’ils sont plus proches aux bords de la route nationale où il y a un trafic routier très importants ce qui empêche le dépôt des poussières, le poste 4 et un peu plus loin de la route donc les poussières se déposent plus que le poste 2 et 3 (figure 57 A, B, C et D).

Le test de Kruskal et Wallis montre des différences hautement significatives pour le poids totale, les grosses particules, les moyennes particules avec des seuils de signification $p < 0.000$, et pour les fines particules la différence hautement significative avec un seuil e signification $p < 0.001$.

Le poste 2 forme le groupe homogène 1, poste 3 et 4 forment le groupe 2 et le poste 1 forme le groupe 3 pour le poids total, les grosses particules et les moyennes particules, tandis que pour les fines particules les postes sont classés en 2 groupes dont le premier contient les postes 2, 3 et 4 et le second contient P1 (voir l’annexe n°2).

Selon notre étude les poussières se dispersent selon plusieurs facteurs physico-chimiques (poids des particules e leurs diamètres) et météorologiques (précipitation, vitesse et direction des vents...) plus le temps est sec les poussières se déposent moins que au temps humide (Inomata et al., 2009 ; Bisquert et al., 2017) les poussières au temps sec s'envolent sur des kilomètres qui peuvent atteindre le bassin de la méditerranée confirme et Al-momani et al., 1995 en Turquie et Gobbi et al., 2019 en Italie .

Les quantités de poussières captées dans les stations A, B, C, D respectivement (471, 1286, 701 et 1085) $\text{g.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ sont des quantités immenses en comparant avec les études précédentes où les quantités des poussières au Caraïbe varient de 15.8 à 17.9 $\text{g.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ (Morera-Gómez et al., 2019), environ de 26 $\text{g.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ au Japan (Inomata et al., 2009), 42 $\text{g.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ en Espagne (Bisquert et al., 2017), 129.1 $\text{g.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ en Lybie (O' Hara et al., 2006) le niveau d'empoussièrement et alarmant dans notre zone d'étude dû au 23 carrières successives en exploitation intensive des gisements de calcaire donc émission des immenses nuages de poussière emportés par les vents, ce qui implique transport de plusieurs éléments chimiques, en comparant avec les résultats d'une étude au Caraïbe.

Tableau n° 07: Comparaison des quantités des différents éléments chimiques (en $\text{g.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$) entre les stations de notre étude et une étude faite au Caraïbe

Eléments chimiques	Station A	Station B	Station C	Station D	Caraïbe (Morera-Gómez et al., 2019).
Ca	86264	89591	80412	85834	1189.5
Al	1054.03	1237.38	1170.51	1165.97	247.1
Cu	9.78	5.70	10.44	6.39	3.212
Mg	1367.54	1375.85	1808.17	1763.56	493
Mn	70.2	67.52	85.84	76.30	55.48
Fe	604.27	6.14.30	85.84	76.30	212
K	1687.89	1321.28	1307.83	1041.61	235.5
Na	1433.78	1091.67	1034.94	1175	1022.3

II. Effet des poussières sur la bio-écologie des escargots (in vivo)

1. Inventaire faunistique des escargots dans la région d'étude

1.1. Etude de la population des escargots dans la région

1.1.1. Liste systématique

L'inventaire taxonomique comprend un total de onze espèces appartenant à cinq familles qui ont été identifiées à l'aide du Guide des escargots et limaces ; dont la liste taxonomique est présentée dans le tableau n° 8.

Tableau n°08: Liste systématique des espèces identifiées dans la zone d'étude

Famille	Sous famille	Espèces
Helicidae	Helicinae	Esp 1 : <i>Theba pisana</i>
		Esp 2 : <i>Eobania vermiculata</i>
		Esp 3 : <i>Cepaea hortensis</i>
		Esp 4 : <i>Cantareus apertus</i>
Helicidae	Ariantinae	Esp 5 : <i>Chilostoma cingulatum</i>
		Esp 6 : <i>Helicigona lapicida</i>
Zonitidae	Zonitinae	Esp 7 : <i>Zonites algirus</i>
		Esp 8 : <i>Retinella hiulca</i>
	Oxychilinae	Esp 9 : <i>Oxychilus hydatinus</i>
Subulinidae	Rumininae	Esp 10 : <i>Rumina decollata</i>
Sphincterochilidae	Sphincterochilinae	Esp 11 : <i>Sphincterochila candidissima</i>

1.1.2. Abondance Afin de donner un aperçu sur l'importance numérique de chaque espèce recensée, nous avons opté pour le calcul des fréquences d'abondances (figure n° 58).

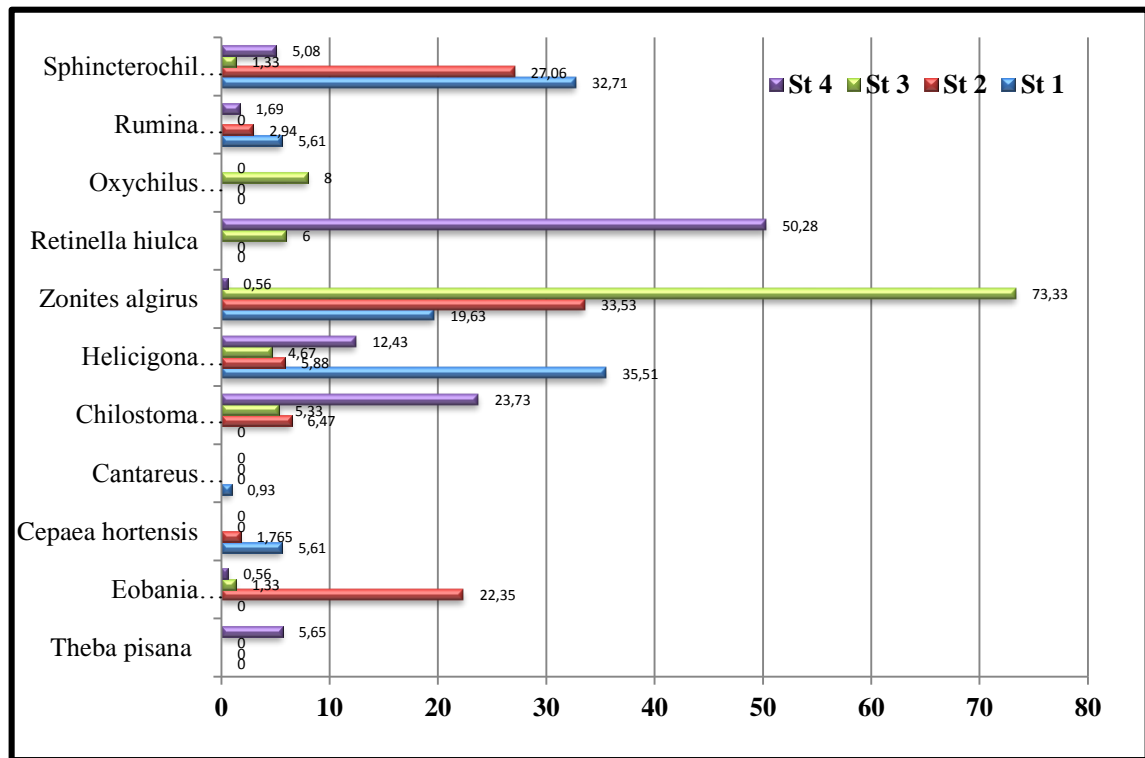


Figure n°58: Abondance relative des espèces de gastéropode dans la zone d'étude

1.1.3. Occurrence : On a calculé l'indice d'occurrence ou la constance pour connaître les espèces caractéristiques de la région (figure n° 59)

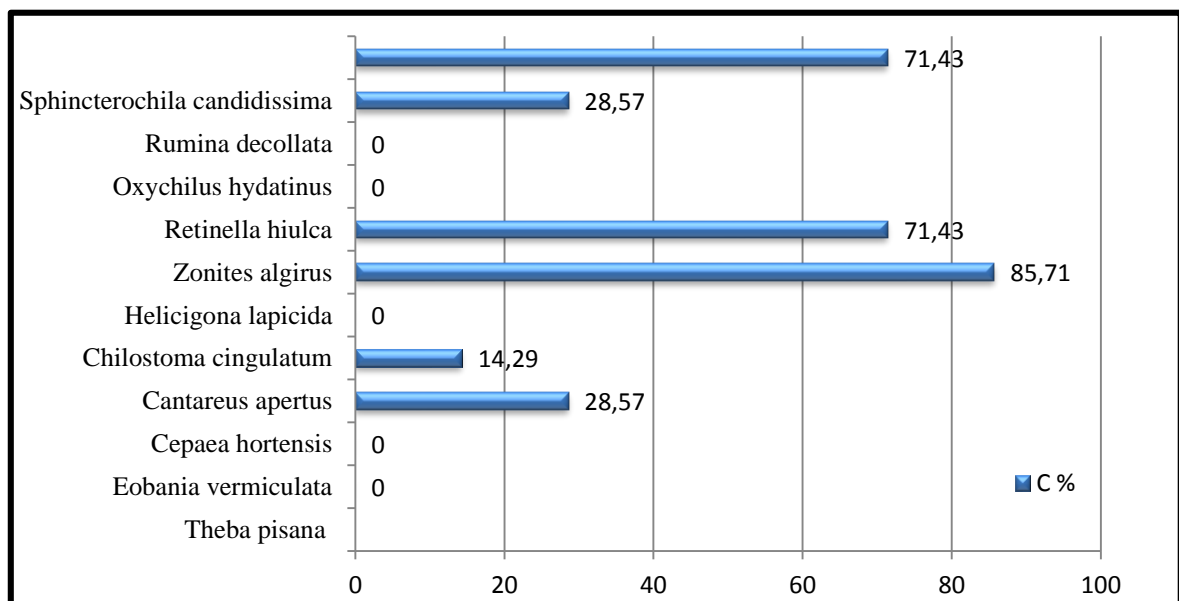


Figure n°59: Indice d'occurrence des espèces de gastéropode dans la zone d'étude

1.1.4. Similitude : On a calculé l'indice de similitude de Sorensen pour comparer la composition des populations recensées (tableau n°09).

Tableau n°09: Indice de similitude entre les différentes stations

Indices Stations	Qs			
	St 4	St 3	St 2	St 1
St 1	57,14	80	80	100
St 2	46,15	71,43	100	-
St 3	76,92	100	-	-
St 4	100	-	-	-

1.1.5. Paramètres de diversité des escargots : Nous avons calculé la richesse spécifique totale et l'effectif moyen pour évaluer la composition du peuplement. L'indice de diversité de Shannon et l'équitabilité sont également appliquées pour estimer l'organisation de la diversité des escargots dans la région d'étude (figure 58).

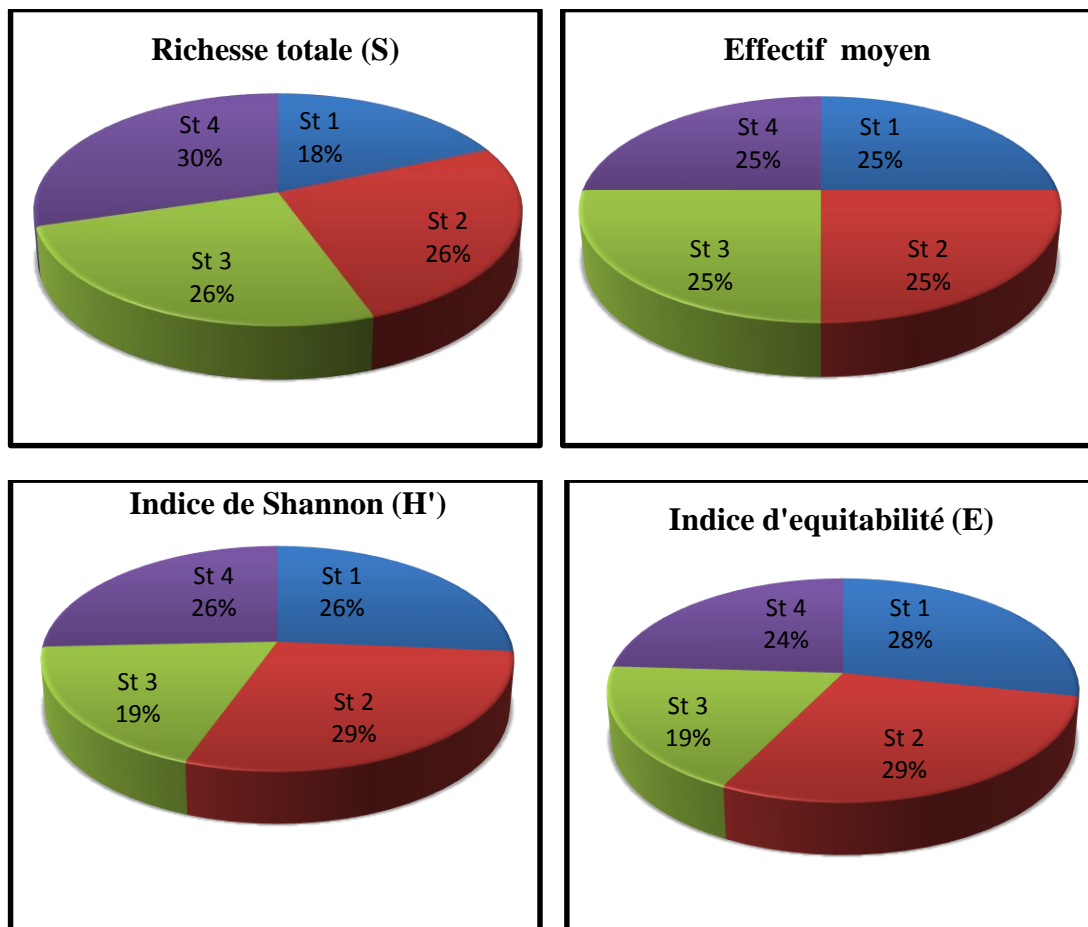


Figure n°60 : Paramètres de diversité des escargots calculés durant le printemps 2013 dans les différentes stations d'étude.

1.2. Analyse statistique

L'analyse de variance a montré que *Theba pisana*, *Eobania vermiculata*, *Zonites algirus* et *Retinella hiulca* varient hautement significative en fonction des stations avec un seuil de signification $p \leq 0.0001$; et *Chilostoma cingulatum*, *Helicigona lapicida* et *Sphincterochila candidissima* varient significativement avec des seuils de signification respectivement $p \leq (0.020, 0.044, 0.021)$ tandis que les autres espèces ne varient pas significativement.

L'analyse de variance des espèces en fonction du temps ne varient pas significativement.

L'analyse de variance des familles en fonction des stations montre que les Helicinae, Zonitidae et les sphincterochilidae varient significativement avec des seuils de signification respectivement (0.000, 0.021 et 0.021) tandis que les Helicidae et les Subulinidae.

Les résultats de l'inventaire présentent 11 espèces de 5 familles différentes, dont la majorité des espèces dans les différentes stations sont à une occurrence constante ou sporadique. Notant que les espèces de la troisième station sont accessoires. *Helicigona lapicida* est l'espèce la plus abondante dans la première station, *Zonites algirus* est abondante dans la deuxième et troisième station, et *Retinella hiulca* abondante dans la quatrième station. La similitude entre toutes les stations est significative avec une différence du degré de similitude, les indices de diversité montrent que les stations sont diversifiées et en équilibre à Ain touta, à Ghedjatti, et à El biar, tandis que la station de Lambiridi est en déséquilibre et peu diversifiée.

Theba pisana vit dans les milieux secs et ensoleillés, monte sur les tiges de plantes en grappes parfois importantes pour se protéger de la déshydratation (Kerney et Cameron, 2006 ; Noé Conservation) ce qui fait que l'abondance dans la station 4 plus importante que dans les autres stations ce qui fait sa variation hautement significative entre les différentes stations avec un seuil de tolérance < 0.0001 . *Eobania vermiculata* Vit dans les zones ouvertes plutôt ensoleillées (Noé Conservation) ; champs, haies, jardins, vignobles, pelouses sèches plus ou moins rocheuses. (Kerney et Cameron, 2006), cette espèce abondante dans la station 2 est connue par son activité d'exploitation des gisements calcaire, ce qui a fait une variation hautement significative de cette espèce dans l'espace. *Chilostomacringulatum* vit sur les rochers calcaires et murs, jusqu'à 1500 m

d'altitude (Kerney et Cameron, 2006), et comme la station 1 vers le sud est moins rocheuse que les autres on ne la trouve pas, elle varie significativement en fonction des stations. *Helicigona lapicida* se trouve généralement en milieu boisé (Noé Conservation) dans les trous, les crevasses des rochers, des murs, mais également les vieux bois et les haies. Rencontré à 1600 m dans les alpes (valais) et à moins de 1700 m dans les pyrènes (ariège) (Noé Conservation). La station 1 contient plusieurs parcelles boisées ce qui a favorisé la présence de cette espèce avec une variation significative en comparant avec les autres stations moins boisées. *Zonites algirus* vit dans forêt, bord des routes, vignes, oliveraies, souvent dans les joints des vieux murs de pierre ou dans les ordures autour des lieux habités, présente jusqu'à 1000 m d'altitude (Kerney et Cameron, 2006). Omnivore, il se nourrit notamment d'invertébrés à corps mou, Souvent sur les tas d'ordures où il s'enterre la nuit (Noé Conservation). Les stations 2 et 3 renferment plusieurs parcelles d'oliveraies c'est pour ça que cette espèce prolifère et varie moyennement significative dans l'espace. *Retinella hiulca* vit dans les lieux modérément humides ; bois parmi les rochers ; absente au-dessus de 1000m (Kerney et Cameron, 2006). cette espèce apparait en se rapprochant de la ville de Batna puisqu'elle plus humide que la commune de Ain touta, elle varie d'une façon moyennement significative dans les différentes stations contrairement à *Sphincterochila candidissima* qui est très xérophile possède une morphologie qui lui donne une protection contre la déshydratation ce qui explique sa résistance dans le climat sec (Moreno-Rueda, 2007), elle préfère les rochers totalement exposés au soleil, murs de pierre, pelouse ; elle se trouve rarement au-dessus de 500 m d'altitude (Kerney et Cameron, 2006), cette espèce apparait plus vers le Sud de la zone d'étude (Ain touta) climat plus sec ; elle varie significativement en fonction des stations.

Tandis que les autres espèces varient de façon non significative citant quelques caractéristiques ; *Cepaea hortensis* ubiquistes (Noé Conservation), elle occupe des habitats très variés, bois, prairies, lisières, haies, dunes (Kerney et Cameron, 2006), *Cantareus apertus* se trouve au Alpes-maritimes, var, bouches du Rhône. Parfois transporté avec les légumes (Noé Conservation). *Oxychilus hydatinus* vit aux lieux secs : pelouses plus ou moins rocheuses (parfois fréquent dans les débris de crues) (Kerney et Cameron, 2006). *Rumina decollata* préfère les milieux secs, ensoleillés (Kerney et Cameron, 2006), et ouverts (pelouses rases et pierreuses, murs, dunes, généralement sur terrains calcaires) (Kerney et Cameron, 2006).

Toutes les espèces varient non significativement dans le temps puisque les prélèvements sont trop rapprochés

III. Effet des poussières des carrières sur la croissance des gastéropodes (in vitro)

1. Composition chimique du polluant

La figure 59 présente le pourcentage des éléments chimiques qui composent les poussières de la carrière et qu'on a mélangé avec l'alimentation des escargots avec des doses croissantes.

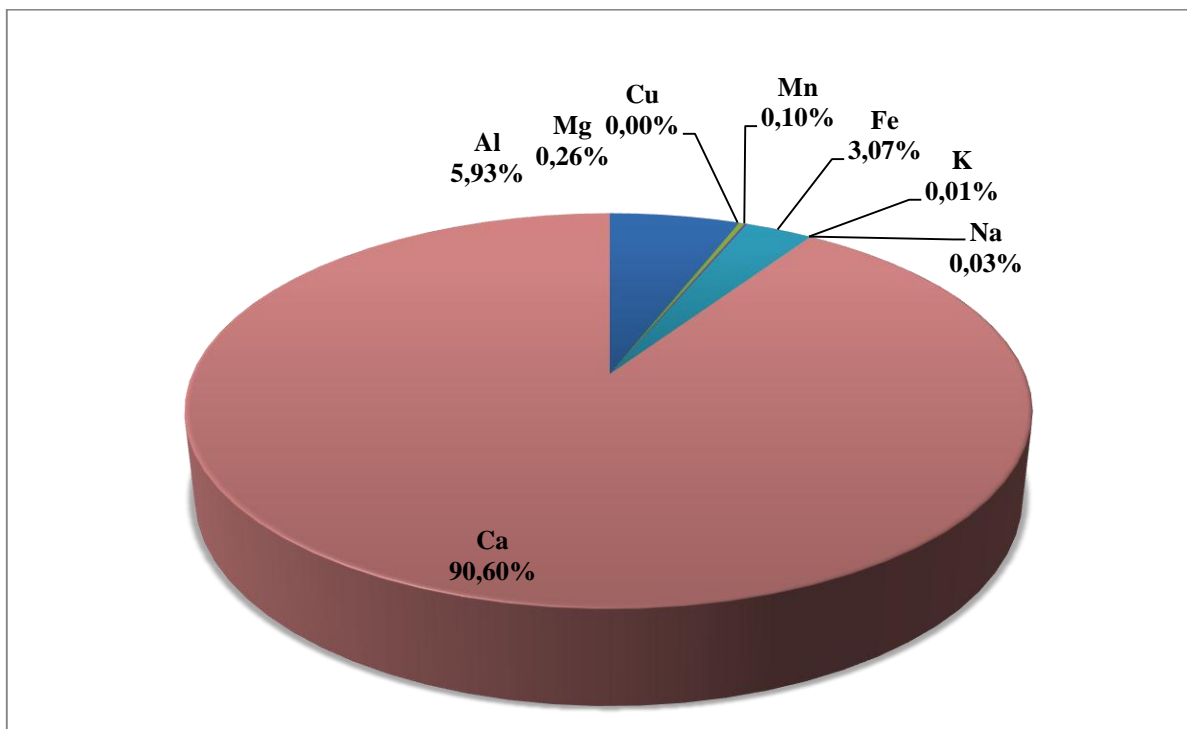


Figure n°61 : Composition chimique des poussières des carrières.

2. Composition chimique des poussières pour chaque dose

Les quantités des éléments chimiques mises en contact avec les escargots dans chaque dose de contamination sont présentées dans la figure 60

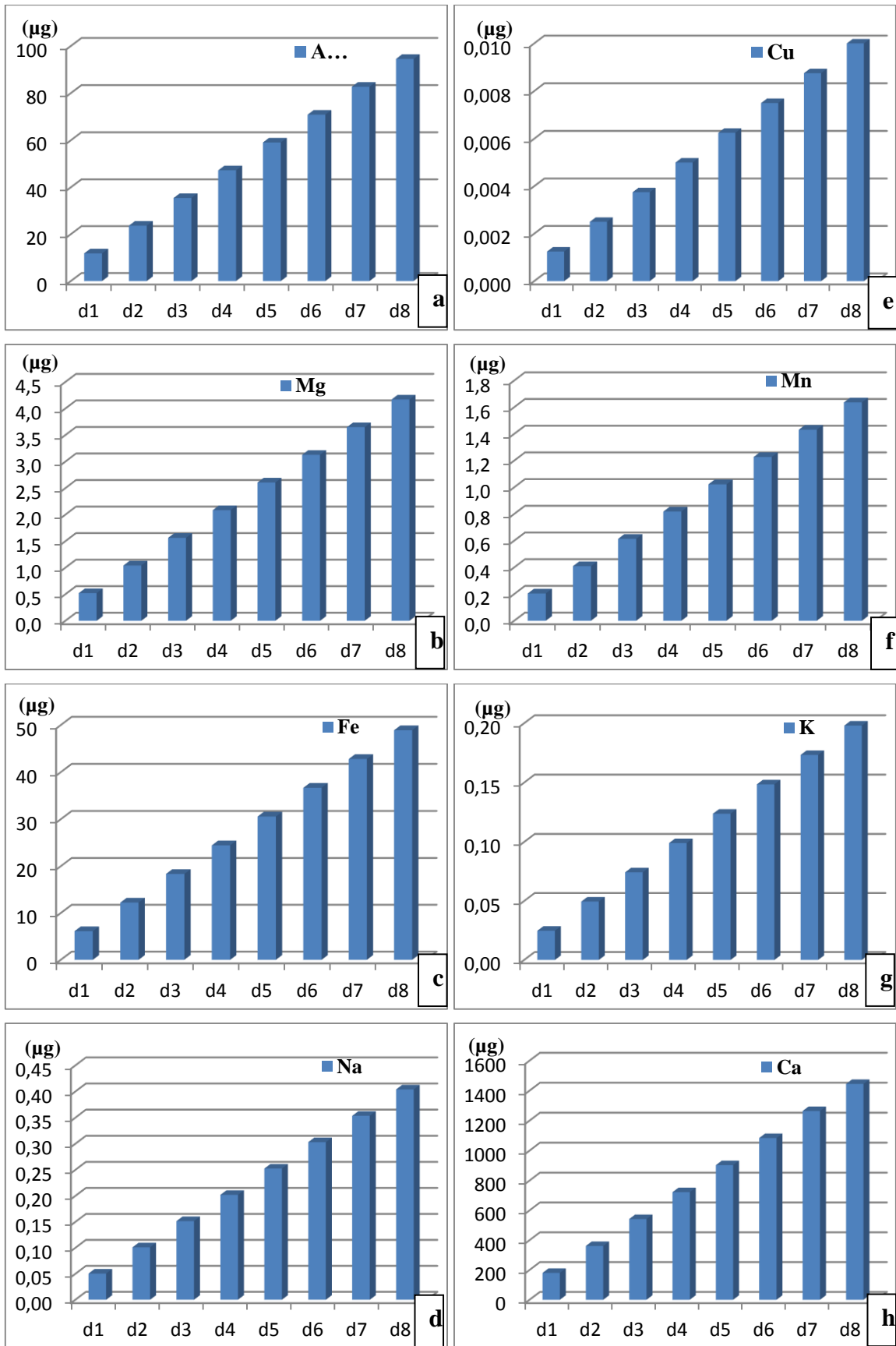


Figure n°62: Quantités des polluants pour chaque dose (a. Aluminium, b. Magnésium, c. Fer, d. Sodium, e. Cuivre, f. Manganèse, g. Potassium, h. Calcium,)

3. Evolution de la croissance des escargots

3.1. Première période d'expérimentation

Les figures présentent le suivi de croissance des escargots (gros infantiles de 0.2 à 0.6 g) en suivant le poids total (figure 61), le diamètre (largeur) (figure 62) et hauteur (figure 63) de la coquille.

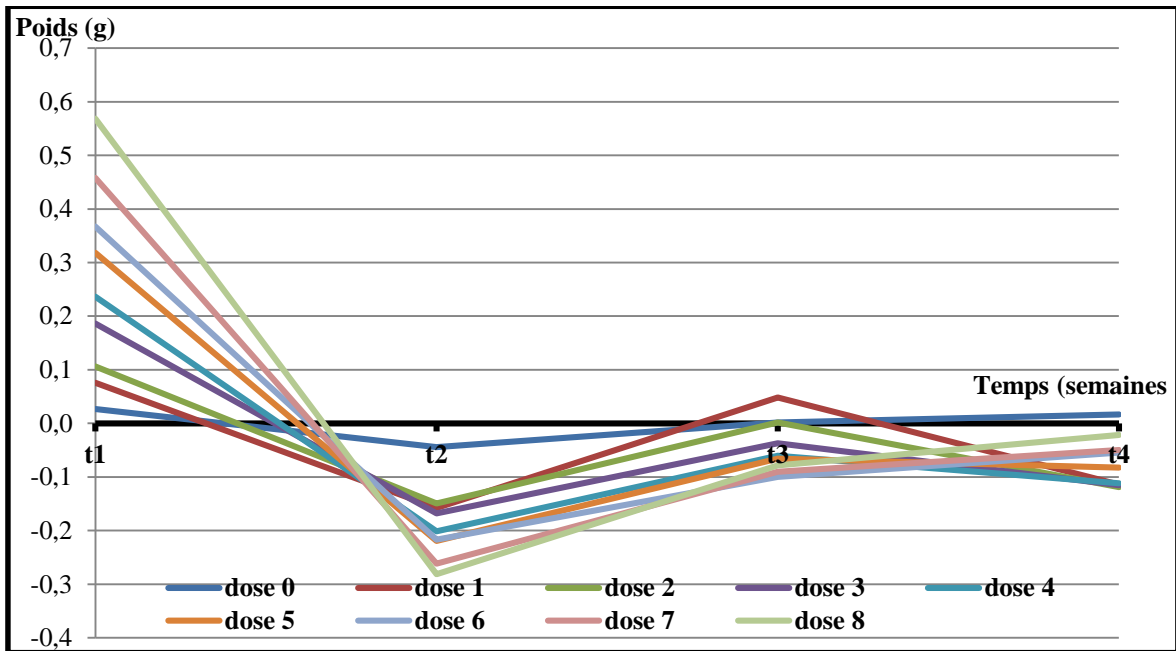


Figure n°63: Différence du poids total des escargots lors de la première période d'expérimentation en fonction du temps.

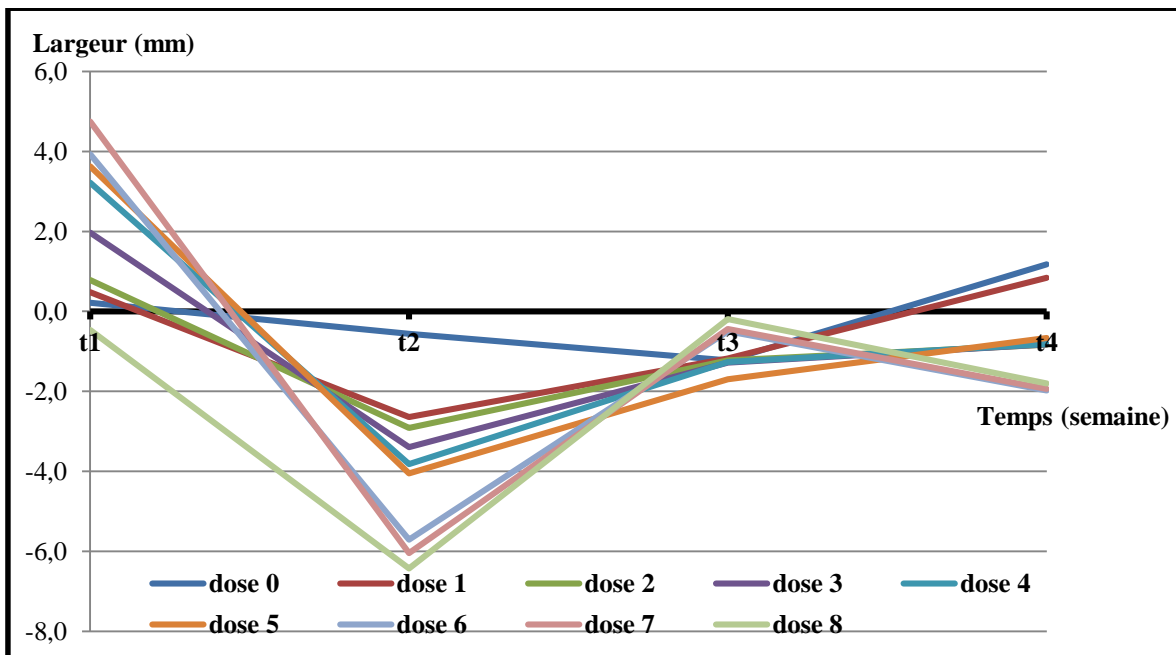


Figure n°64 : Différence de la longueur de la coquille des escargots lors de la première période d'expérimentation en fonction du temps.

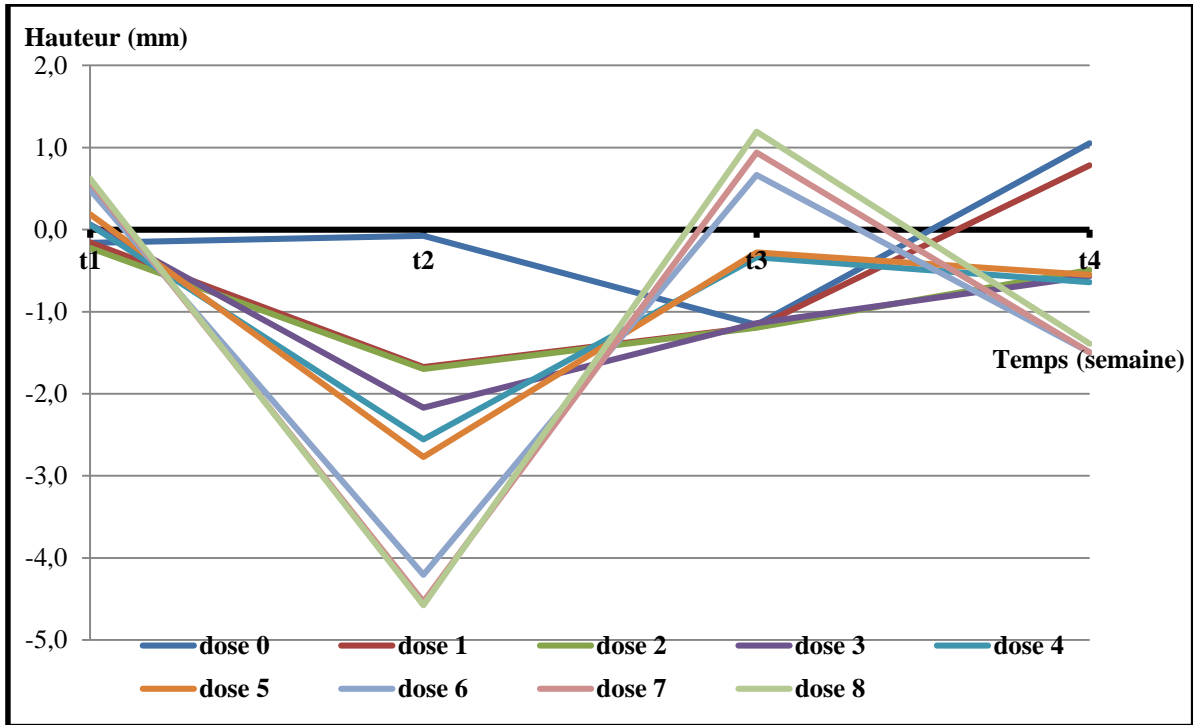


Figure n°65 : Différence de la hauteur de la coquille des escargots lors de la première période d’expérimentation en fonction du temps.

On remarque que la croissance des escargots infantiles s’influence par le polluant où on enregistre une intensité d’évolution proportionnelle aux doses de polluant, en comparant avec les témoins. Le poids et la taille des escargots diminuent au cours de la première semaine et reprennent la croissance à partir de la deuxième semaine jusqu’à la fin de l’expérimentation.

La dose 1 cause une diminution remarquable de croissance et ensuite la croissance reprend.

Le test de Kruskal et Wallis révèle qu’en fonction du temps la variation du poids est statistiquement significative avec un seuil de signification $p = 0.002$ tandis que la largeur et la hauteur de la coquille varient non significativement avec des seuils de signification respectivement de (0.929, 0.950) ; et en fonction des doses tout les paramètres (poids, largeur et hauteur de diamètre) ne varient pas significativement avec des seuils de signification respectivement de (0.309, 0.870 et 0.918) (voir l’annexe n°3)

3.2. Deuxième période d’expérimentation

Les figures présentent le suivi de croissance des escargots (juvénile moyen de 1 à 3 g) en suivant le poids total (figure 64), le diamètre (largeur) (figure 65) et hauteur (figure 66) de la coquille.

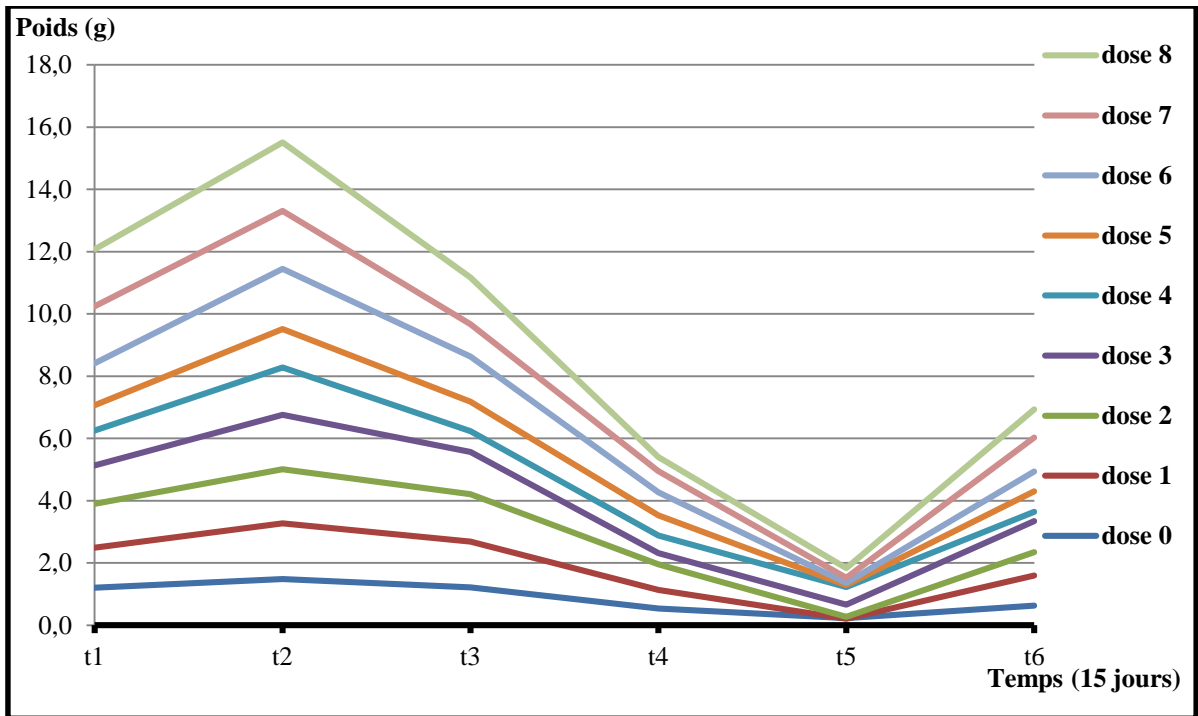


Figure n°66 : Différence du poids total des escargots lors de la deuxième période d'expérimentation en fonction du temps

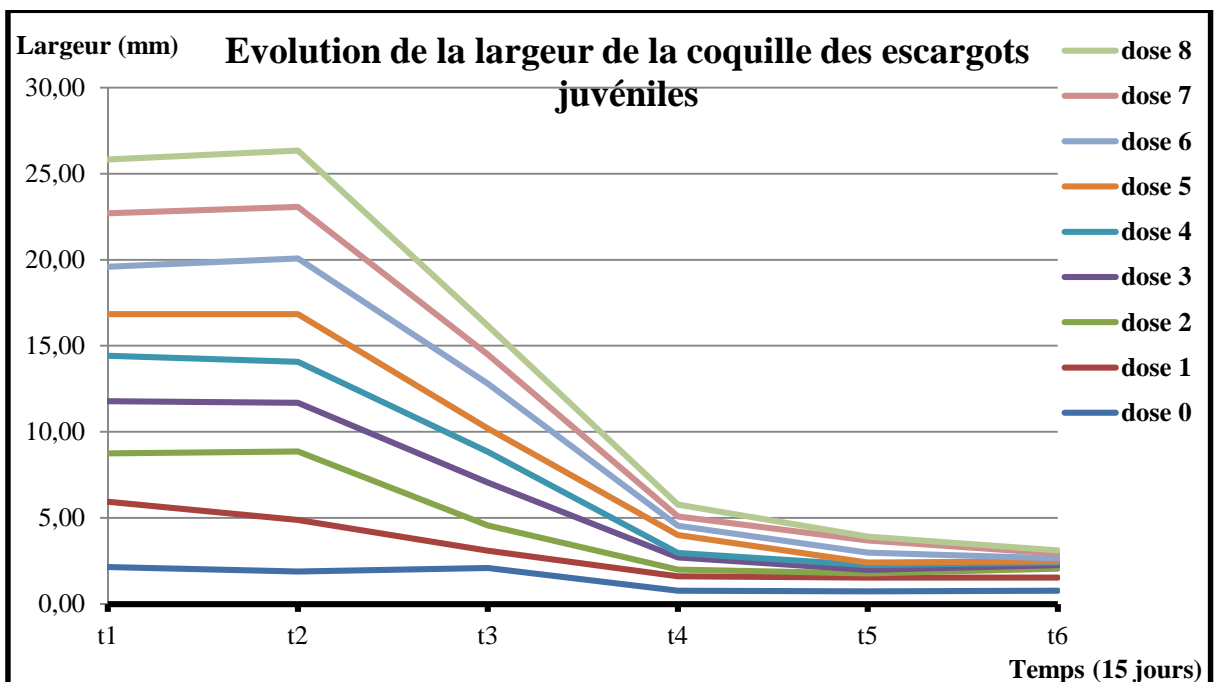


Figure n°67 : Evolution de la largeur de la coquille des escargots lors de la deuxième période d'expérimentation en fonction du temps

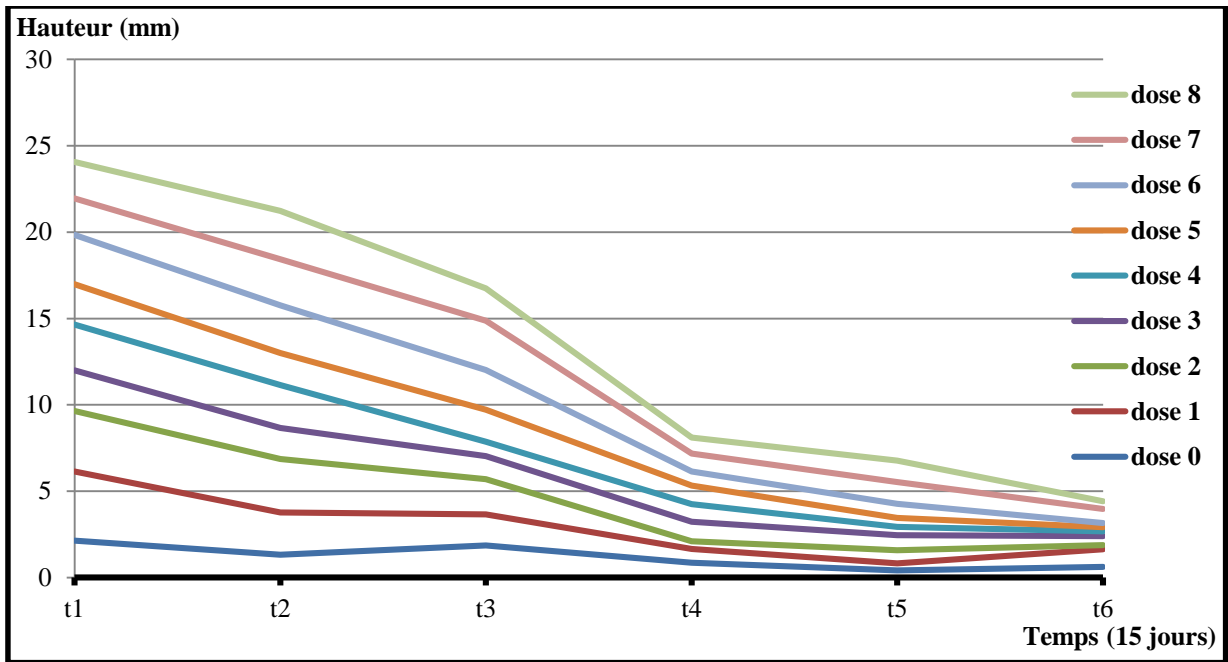


Figure n°68 : Différence de la hauteur de la coquille des escargots lors de la deuxième période d'expérimentation en fonction du temps

On remarque que la croissance des escargots juvéniles moyens s'influence par le polluant. On enregistre une intensité d'évolution proportionnelle aux doses en comparant avec les témoins. Le poids et la taille des escargots augmentent au cours de la première quinzaine et diminuent à partir de la deuxième quinzaine jusqu'à deux mois de contamination où on enregistre la croissance la plus faible puis le poids augmente au cours de la dernière quinzaine de contamination contrairement à la taille de coquille qui n'augmente que légèrement. Les doses 4 et 5 causent une diminution remarquable de croissance et ensuite la croissance reprend.

Le test de Kruskal et Wallis révèle qu'en fonction du temps la variation du poids, de la largeur et de la hauteur de diamètre est statistiquement non significative avec un seuil de signification respectivement (0.549, 0.443, 0.453) et même en fonction des doses tout les paramètres (poids, largeur et hauteur de diamètre) ne varient pas significativement avec des seuils de signification respectivement de (0.173, 0.192, 0.230) (voir l'annexe n°4).

L'étude de la croissance permet d'observer indirectement les effets d'un stress polluant sur une des composantes de la fitness des organismes et présente l'avantage d'intégrer l'histoire de vie des individus (Adams *et al.*, 1992 ; Laroche *et al.*, 2002; Marchand *et al.*, 2003 In Bourbia, 2013)

La température, l'éclairement (longueur d'onde, intensité et photopériode) sont des facteurs qui influencent négativement la croissance (Aupinel et Daguzan, 1989) il faut que les conditions respectent la valence écologique des escargots. Dans notre cas, ils ne sont pas des facteurs limitants.

Dans notre étude, on remarque que le polluant stimule l'augmentation de poids de l'escargot puisque l'*Helix aspersa* est un bon bio-accumulateur (Vaufleury, 2000). C'est pour cela qu'ils sont utilisés depuis longtemps pour étudier le phénomène d'accumulation des polluants (Pauget, 2012). Donc l'augmentation du poids à la fin des deux expérimentations et aux doses fortes est dû à l'accumulation des polluants aux organes des individus spécialement le rein (Grara, 2015) et l'hépatopancréas (Snyman, 2005 ; Grara 2015).

Notre polluant est un mélange de plusieurs éléments chimiques entre autres les éléments traces métalliques. Quoique le cuivre, le manganèse et le fer sont considérés comme des éléments constitutifs essentiels avec des fonctions spécifiques dans le métabolisme des végétaux ainsi que pour l'homme et les animaux (Viard, 2004). Sauf aux concentrations fortes où ils deviennent dangereux.

Même aux concentrations les plus fortes les éléments toxiques restent plus faibles pour influencer négativement la croissance tel que le cuivre qui n'est toxique qu'à partir de 05 mg (Amusan, 2002) et au-delà de 50 µg selon (El-gendy, 2010) et à partir de 100 µg selon (Grara, 2012 (3)) alors qu'à la huitième dose on a environ de 0.010µg de cuivre.

Le grand pourcentage d'éléments chimiques du polluant appartient au carbonate de calcium (CaCO₃) environ de 90%. Les autres éléments sont de faibles quantités ce qui diminue leur effet sur la croissance des escargots. Ce qu'on remarque à la croissance de la taille des coquilles des juvéniles qui est inhibée aux fortes concentrations, puisqu'un apport de calcium supérieur à 7,7% diminue la croissance selon (Aman, 2011). Sachant aussi que des sols pauvres en calcium peuvent constituer un facteur limitant à la croissance des escargots, le calcium étant un élément indispensable à la formation de la coquille (Dallinger *et al.*, 2001 In Bourbia,2013).

Notons aussi une très faible mortalité de 11.11% pour les juvéniles soumis au polluant pendant trois mois et 0% pour les infantiles soumis au polluant pendant un mois.

Les escargots réduisaient ou refusaient totalement de se nourrir avec une nourriture contaminée dès la deuxième semaine pour les infantiles et la quatrième semaine pour les

juvéniles. Dans un environnement pollué, l'animal se met dans un état de jeun prolongé pour éviter la nourriture souillée c'est une hypothèse confirmée par (Gimbert et al., 2008 ; Hispard, 2008)

Des troubles métaboliques, comportementaux ou de perturbations du contrôle neuroendocrine à cause de l'inhibition de croissance (Laskowski et Hopkin, 1996).

Selon Gomot (1997) in (Bourbia, 2013), le mécanisme impliqué dans l'inhibition de croissance des escargots nourris avec de la nourriture contaminée est difficile à identifier. Il pourrait s'agir d'une inhibition de synthèse d'une hormone de croissance essentielle à la croissance des escargots.

IV. Effet des poussières des carrières sur l'histologie des tissus des gastéropodes

1. Etude histologique de l'hépatopancréas

Les figures 67 à 75 montrent des observations microscopiques des coupes histologiques effectuées au niveau de l'hépatopancréas, témoin et traités.

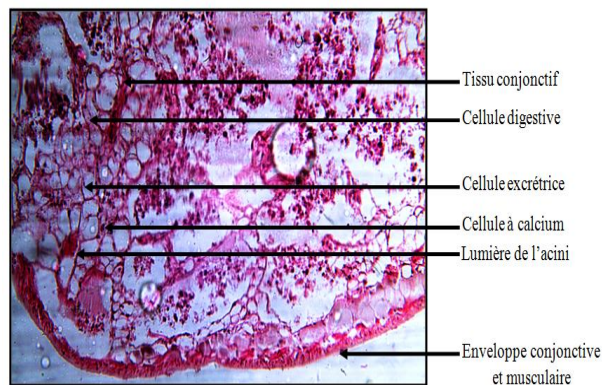


Figure n°69: Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots témoins (G×10×10)

(Photo originale)

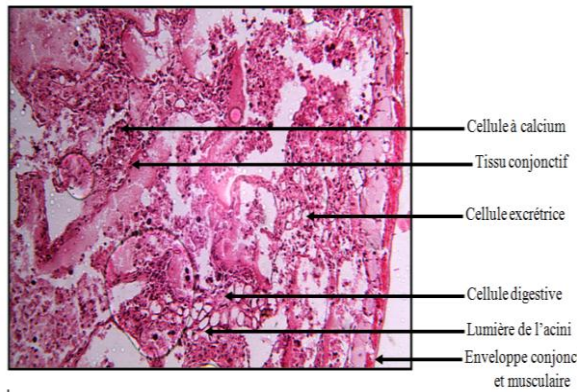


Figure n°70 : Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots traité par dose 01 (G×10×10) (Photo originale)

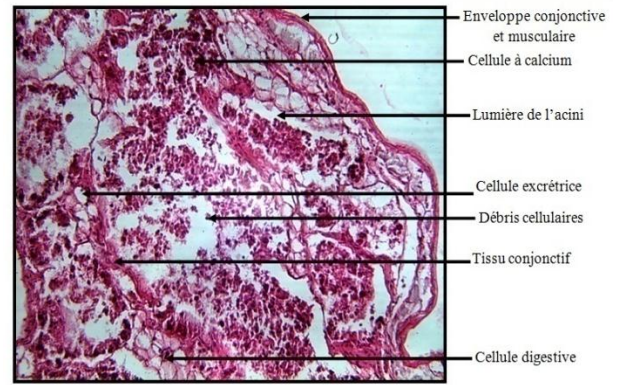


Figure n° 73: Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots traité par dose 04 (G×10×10) (Photo originale)

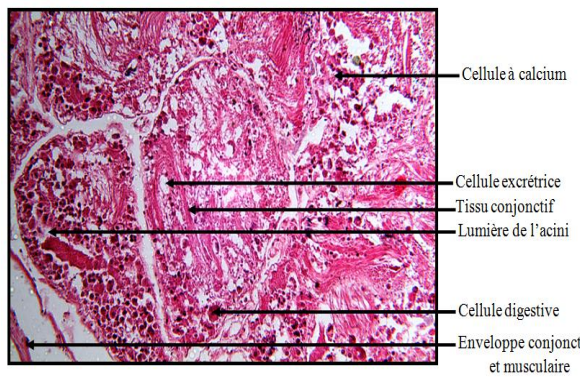


Figure n° 71: Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots traité par dose 02 (G×10×10) (Photo originale)

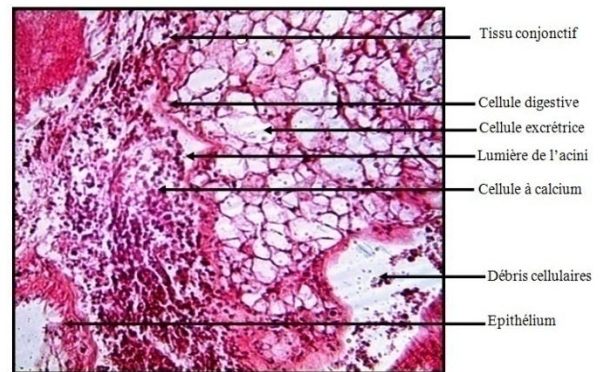


Figure n° 74 : Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots traité par dose 05 (G×10×10) (Photo originale)

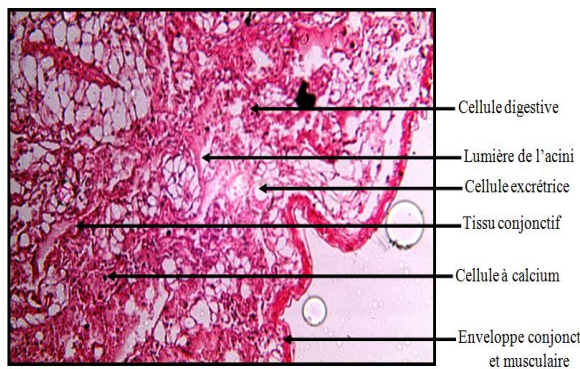


Figure n° 72 : Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots traité par dose 03 (G×10×10) (Photo originale)

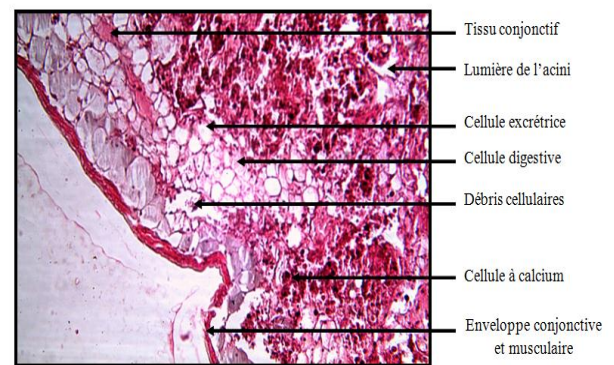


Figure n° 75 : Coupe histologique de l'hépatopancréas des escargots traité par dose 06 (G×10×10) (Photo originale)

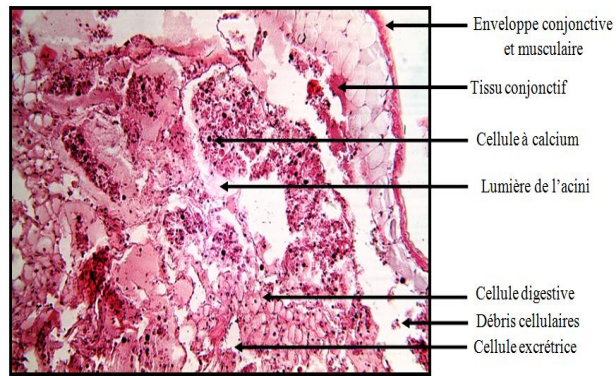


Figure n° 76: Coupe histologique de l'hépatopancreas des escargots traité par dose 07 (G×10×10) (Photo originale)

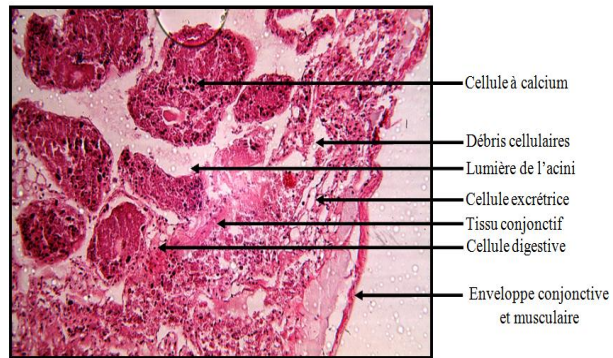


Figure n° 77 : Coupe histologique de l'hépatopancreas des escargots traité par dose 08 (G×10×10) (Photo originale)

L'hépatopancréas normal des escargots témoins (Figure 104) est constitué d'un épithélium digestif constitué des lobules formant un ensemble d'acini maintenus cohérents par un tissu conjonctif. L'épithélium renferme trois types de cellules et chaque cellule présente les constituants essentiels (noyau et membrane) : les cellules digestives (les plus abondantes), les cellules excrétrices, et les cellules à calcium comme le montre des études précédentes telle que l'étude de Boucenna, 2010;Grara, 2011 et Belhouchet 2014. Les mêmes observations sont enregistrées pour les doses 01, 02 et 03 (figures 103, 104 et 105) ce qui implique que l'organe n'est pas atteint à ces doses.

Chez les lots traités par la dose 04 on observe augmentation de cellules de calcium, et chez les lots traités par les doses 05 et 06 on observe une légère altération des structures cellulaires manifestée par des congestions vasculaires, avec quelques petites nécroses et débris cellulaires et apparition d'un nombre plus important des cellules excrétrices

Chez les doses 7 et 8 illustre une destruction du parenchyme de l'acini, la lumière irrégulière avec des débris cellulaires, ainsi qu'une forte congestion (couleur rouge foncé), la disparition des cellules digestives et une diminution de l'épaisseur de l'épithélium confirme le phénomène de nécrose (Boucenna, 2010).L'observation met en évidence une destruction du parenchyme de l'acini (Grara, 2011) et une dégénérescence très avancée des cellules digestives et à calcium avec un aspect inflammatoire (Belhouchet, 2014).

2. Etude histologique du pied

Les figures 76 à 84 montrent des observations microscopiques des coupes histologiques effectuées au niveau du pied (sole de reptation), témoin et traités.

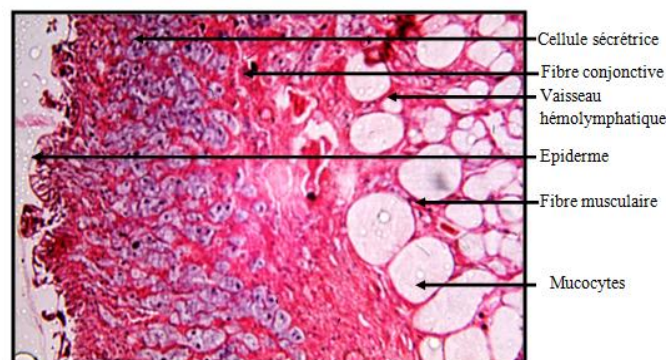


Figure n° 78: Coupe histologique du pied des escargots témoins (G×04×10) (Photo originale)

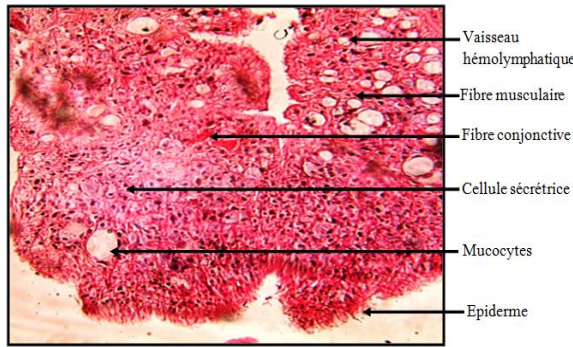


Figure n° 79: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 01 (G×10×10) (Photo originale)

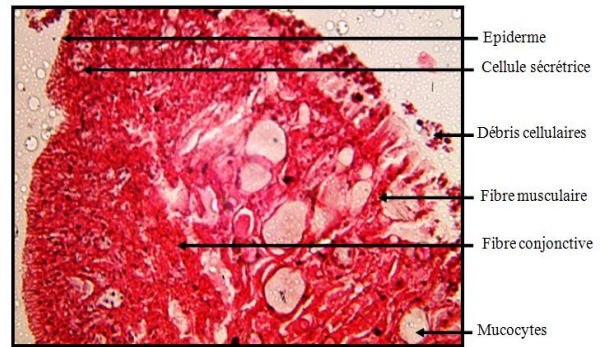


Figure n° 82 : Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 04 (G×10×10) (Photo originale)

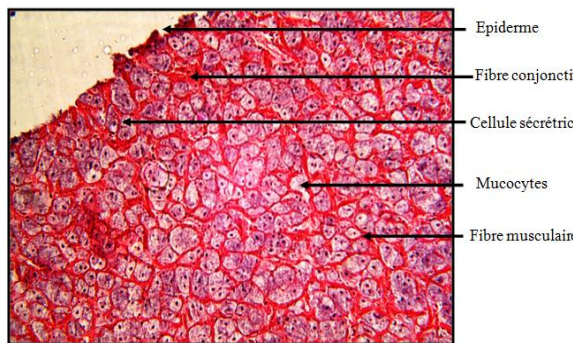


Figure n° 80: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 02 (G×10×10) (Photo originale)

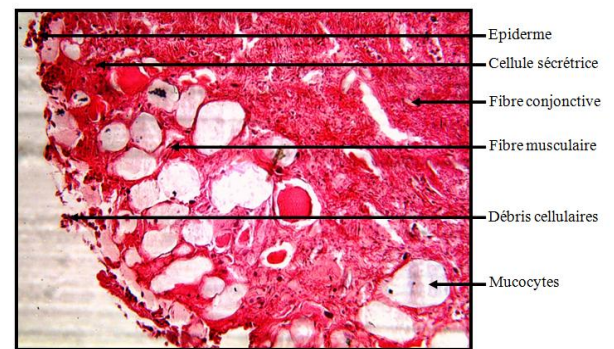


Figure n° 83: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 05 (G×10×10) (Photo originale)

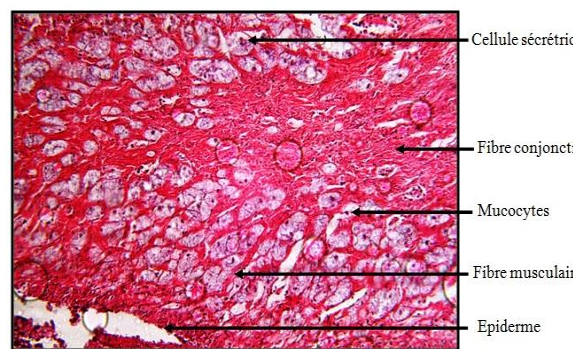


Figure n° 81: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 03 (G×10×10) (Photo originale)

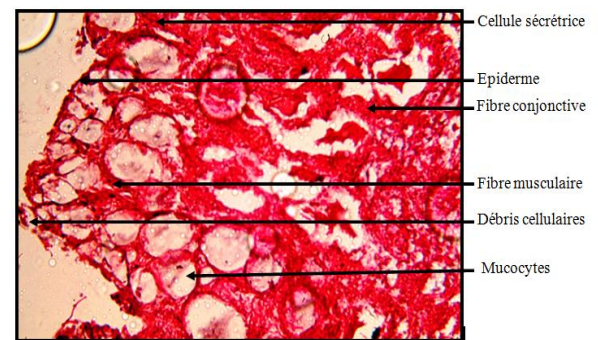


Figure n° 84: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 06 (G×10×10) (Photo originale)

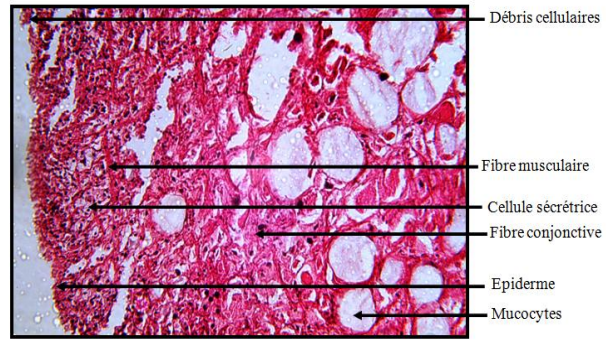


Figure n° 85: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 07 (G×10×10) (Photo originale)

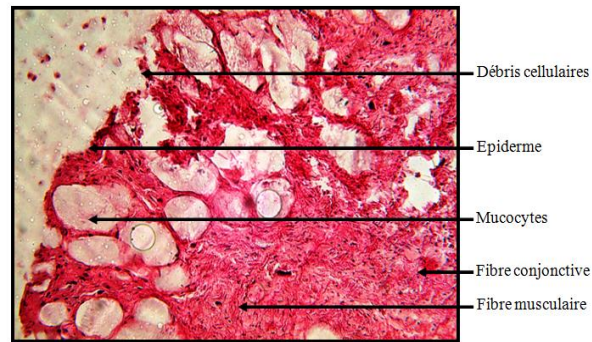


Figure n° 86: Coupe histologique du pied des escargots traité par dose 08 (G×10×10) (Photo originale)

Le pied témoin de l'*Helix aspersa* est recouvert d'un tégument dont le tégument de la région antérieure de l'Escargot est formé d'un épiderme, épithélium simple cubique à prismatique, soutenu par un tissu conjonctif épais contenant des fibres musculaires lisses nombreuses. Les cellules épithéliales portent une ciliature apicale irrégulière et des cellules glandulaires profondes sont observées (mucocytes et cellules sécrétrices) (Heusser et Dupuy, 2011).

Les pieds des escargots traités par la dose 01,02 et 03 présentent un état normal des tissus.

L'observation microscopique des tissus traités par la dose 04, 05 et 06 révèle une augmentation de la taille des mucocytes et apparition de beaucoup de grains de sécrétion « Ca », avec quelque débris cellulaires, tandis qu'aux doses 07 et 08 révèle une abondance des grandes mucocytes avec beaucoup de sécrétion, et une altération de l'épiderme et le tissu conjonctif.

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

L'évaluation et la caractérisation des poussières sur l'axe de Batna-Ain touta permet de distinguer une variation saisonnière avec un empoussièrément plus marqué à l'été (juin, juillet, Aout) que l'hiver(décembre, janvier). Ce constat est à relier aux conditions de sécheresse, facteur très favorable à l'envol de particules sédimentables.

En général, le vent transporte les particules les plus fines aux postes les plus loin et les grosses particules restent proches au point d'émission ; aux périodes à une vitesse de vent forte on ne capte que peu de poussières puisqu'elles sont transportées plus loin que nos postes tandis que aux périodes à une vitesse de vent moyenne, les fines et moyennes particules arrivent jusqu'à la station A, et aux périodes à vent faible les poussières se concentrent au poste les plus proches aux carrières.

Les éléments chimiques qui composent les poussières sont semblable aux éléments produits par les carrières (environ 90% de calcium, 6% d'aluminium, 3% de fer, et 1% d'autres éléments) ce qui prouve que les carrières sont la grande source de poussières dans cette région, où on enregistre respectivement dans les stations A, B, C et D des quantités moyennes annuelles de 471 g/m², 1286 g/m², 701 g/m² et 1086 g/m² des quantités immenses en comparant avec la carrière des grand Caous qui ne dépasse pas 0.300 g/m² en 2000 et 2001, sachant que la valeur recommandée de l'AFNOR est 1 g/m²/j (AIRMARIX,2002).

Selon un inventaire réalisé aux mêmes stations de captage, notre région d'étude contient onze espèces d'escargot soumises à cette pollution de poussières des carrières.

L'expérimentation in vitro réalisée pour connaître l'effet des poussières des carrières sur la croissance des escargots infantiles et juvéniles a permis de tirer les conclusion suivantes :

- Les poussières influencent la croissance par une amplification de variation par rapport au témoin, et plus que la contamination dure la croissance diminue.
- Les effets s'aggravent à partir d'un mois de contamination, notant que le comportement des escargots change aux fortes doses où les escargots refusent de s'alimenter après une période d'exposition aux polluants ; mais le poids des escargots augmente dû à l'accumulation des polluants.
- La croissance de la coquille des escargots augmente en fonction des doses puisqu'elles lui apportent le carbonate de calcium qui est un des éléments essentiels

à la formation des coquilles, mais en fonction du temps la taille des coquilles diminue.

L'effet des poussières sur l'histologie de l'hépatopancréas et le pied ne présente aucune manifestation aux doses 1, 2 et 3 mais à partir de la dose 4 que les effets commencent à apparaître jusqu'à une dégénérescence très avancée du tissu aux doses 7 et 8.

Les doses utilisées dans notre étude restent faibles par rapport à la dose de polluants dans le terrain, donc à court terme elle ne cause pas de grands problèmes.

A l'issue de ce travail, nous émettons quelques recommandations scientifiques, notamment:

- Il est nécessaire de compléter cette étude par d'autres explorations en tenant compte d'augmenter le nombre de capteur de poussière plus de 30 dans la région pour avoir plus de possibilités en modélisation de la dispersion des poussières.
- Il est indispensable de bien mesurer les conditions météorologiques dans la zone d'étude pour bien interpréter les phénomènes et variations.
- Etudier l'effet des poussières sur les gastéropodes in situ et à long terme.
- Développer d'autres paramètres d'évaluation des effets toxiques des poussières des carrières sur la bio-écologie des gastéropodes.

Références bibliographiques

Liste des références

A

- AbdelRahman. A, et IbrahimM. 2012. Effect of cement dust deposition on physiological behaviors of some halophytes in the salt marshes of Red Sea. Alexandria University, Faculty of Science- Botany and Microbiology department P.O. Box. 21511; Alexandria. EGYPT
- AGRO-SERVICE., 2004. L'élevage d'escargot, Etude monographique. Rapport final. Tunis.
- AIRPARIF ,2008 .synthèse des connaissances sur les particules en suspension dans l'air et des travaux d'airparif sources polluants. P105
- Aliouche M., 2008. Mémoire de magister en géologie. Département des Sciences de la Terre, Université Mentouri de Constantine. Exploitation des substances utiles à ciel ouvert et impact sur l'environnement ; Etude de cas dans l'Est Algérien (Les gisements de Djebel Salah, Région de Constantine).102 pages
- Al-momani I F., Tuncela S., Eler B., Erdal R., Sirinb G., Tuncel G., 1995. Major ion composition of wet and dry deposition in the eastern Mediterranean basin. The Science of the Total Environment 164 (199.5) 75-85
- Annette de Vaufleury & coll, 2012. Fiche les escargots bio-indicateurs de la qualité des sols Snail watch : analyse en laboratoire ou in situ de la biodisponibilité des contaminants. hal-00670360, version 1 - 15 Feb 2012.
- AIRMARIX, 2002. Suivi de retombées de poussières sedimentables.Rapport annuelcarrière des grands CAOUS

B

- Barker G.M., 2001. The biology of terrestrial molluscs. CAB International, Oxon, Wallingford, UK.
- Belhaouari B., 2012. Etude écotoxicologique chez un gastéropode marin *Osilinus tubinatus* (Born, 1780) dans le littoral algérien occidental. Thèse de Doctorat de l'université d'Oran.

- Bendada Kh. Et Boulakradeche M., (2011). Optimisation des conditions de dosage par spectroscopie d'absorption atomique (SAAF et SAAET) : application à la détermination de la pollution de la bioaccumulation des métaux lourds. Mémoire de Master: Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (U.S.T.H.B), 58p.
- Bisquert D-S., Castejon J-P., Garcia G. 2017. The impact of atmospheric dust deposition and trace elements levels on the villages surrounding the former mining areas in a semi-arid environment (SE Spain). *Atmospheric Environment* 152 (2017) 256-269
- BIT (Bureau international du travail), 1965. Guide pour la prévention et la suppression des poussières dans les mines, les galeries et les carrières. Pages 403.
- Boucenna M., 2010. Evaluation de la toxicité des poussières métalliques rejetées par les aciéries 1et 2 du complexe sidérurgique d'El-Hadjar sur un modèle bioaccumulateur Hélix aspersa. Mémoire de magister. Université Badji Mokhtar Annaba.
- Brooks A. W., White K. N., 1995. The localization of aluminum in the digestive gland of the terrestrial snail Hélix aspersa.
- Buevich A., Medvedev A-N., Sergeev A-P., Tarasov D-A., Shichkin A-V., Sergeeva M-V., and Atanasova T. B. 2016. Modeling of surface dust concentrations using neural networks and kriging. *AIP Conference Proceedings* 1789, 020004 (2016); <https://doi.org/10.1063/1.4968425>

C

- Chaxel E, 2005. Les grands modèles de dispersion atmosphérique, Concepts physiques et mathématiques. In : *Éléments du génie de l'Environnement*.
- Chevalier H., 1982. Facteur de croissance chez des Gastéropodes pulmonés terrestres
- Chevalier H., 1992. L'élevage des escargots. 2ème édition. Editions du point vétérinaire. Paris.
- Chevallier H., 1977. La variabilité de l'Escargot Petit-Gris Hélix aspersa Miiller. France. 442p.

Clément M., et Françoise P., (1997). Analyse physique des sols, méthodes choisies. Livre 3eme édition, Lavoisier Paris, 265 p.

Cœurdaissier M., et al, 2002. Is the cadmium uptake from soil important in bioaccumulation and toxic effects for snails?. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 53 (2002) 425–431

Cucherat, X., S. Demuynck, 2008. Les plans d'échantillonnage et les techniques de prélèvements des mollusques continentaux. *Malacology* 5: 244-253.

D

Daguzan J., 1983. Principales caractéristiques biologiques et écophysologiques de l'escargot. In: Daguzan J. (Ed). *L'escargot et l'Héliciculture*. Informations techniques des services vétérinaires. Paris, 207 pages.

Damerdji, A. 2008. Contribution à l'étude écologique de la malacofaune de la zone Sud de la région de Tlemcen (Algérie). *Afrique Science* 4(1): 138-153

Damerdji, A., R. Meniri, 2014. Contribution à l'étude écologique des Gastéropodes dans les stations à *Juniperus oxycedrus* L. (Cupressacées) dans les Monts de Tlemcen (Algérie nord-occidentale). *Afrique Science* 10(2): 382-393.

Descôteaux, M., 2012. Thèse de maitres en environnement, Centre Universitaire de Formation en Environnement. Diminuer les émissions de poussières d'un site d'extraction et de traitement de pierre calcaire. Université de SHERBROOKE. Québec, Canada.

Direction des opérations, 2005. Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail 8ième édition revue et mise à jour. Guide technique. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail.

Druart, c, 2011. Effets des pesticides de la vigne sur le cycle biologique de l'escargot dans divers contextes d'exposition. Thèse de doctorat en Sciences de la Vie et de l'Environnement, Université de FRANCHE-COMTE

E

El Kharmouz M., Sbaa M., Oujidi M. 2013. Etude de l'impact d'une industrie cimentière sur la composition physico-chimique des eaux de précipitations au niveau de la partie centrale du couloir Oujda-Taourirt (Maroc oriental). *Afrique SCIENCE* 09(3) (2013) 135 – 146.

Elichegaray C., 2008. La pollution de l'air - Sources, effets, prévention

ENCEM, 2011. Carrières, poussières et environnement. UNICEM

F

Fritsch C., 2010. Utilisation intégrée de bio indicateurs pour la surveillance des sols et des écosystèmes terrestres. Thèse de doctorat en science de la vie et de l'environnement, Université de FRANCHE-COMPTE.

G

Gabe M., 1968. Techniques Histologiques. Massie de Cie, Paris, 1113 p.

Gabet M.C., 1999, Dépôt de poussières au voisinage des tunnels routiers, Centre d'Etudes des Tunnels, Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement

Gaillard J.M., 1991 Gasteropodes. Laboratoire de Biologie des Invertébrés marins et malacologie Muséum national d'Histoire naturelle Paris, France. Disponible sur : <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/x0169f/X0169F59.pdf>

Gimbert F., Vaufleury A., Douay F., cœurdssier M., Scheifler R., Badot P-M. 2008. Long-term responses of snails exposed to cadmium-contaminated soils in a partial life-cycle experiment. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 70 (2008) 138–146

Gimbert. F., 2006. Cinétique de transfert de polluants métalliques du sol à l'escargot. Thèse de doctorat en Sciences de la Vie, Université de FRANCHE-COMTE

Goix S, 2012. Origine et impact des pollutions liées aux activités minières sur l'environnement (eau-sol-atmosphère) et la santé, cas d'Oruro (Bolivie). Thèse de doctorat en Environnement et Santé. Université de Toulouse III

Gomot L., Enée J., 1980. Biologie de la reproduction de l'escargot *Hélix aspersa* Müller : les phases de la croissance et de la différenciation sexuelle. *Atti. Accad. Fisiocrit. Siena* 37 : 73-85.

- Goudjil, T, 2009,. Etude de la variation de quelques paramètres sanguines chez des travailleurs de la cimenterie d'El ma el abiod, Tebessa, Algérie. Département de biologie, université de Tebessa.
- Grand C., Faure O., Harris-Hellal J., Hedde M., Le Guédard M., Pauget B., Pérès G., Villenave C., Vaufleury A, 2012. Quels bioindicateurs, pour quels besoins en sites contaminés?. Journées Techniques Nationales Bioindicateurs & Phytotechnologies, Paris, France. pp.1-22.
- Grara N., Berrebbah H., Rouabhi R., Atilia A., Djebbar M-R. 2009. Impact of pollution by industrial metallic dust on bio-accumulator organism *Helix aspersa*. *Global Veterinaria* 2009 Vol. 3 No. 4 pp. 276-280
- Grara, N, 2011. Evaluation de la toxicité de certains polluants industriels sur un animal bioaccumulateur (gastéropode *Helix aspersa*) : Cas des métaux. Thèse de doctorat en Toxicologie cellulaire. Université Badji Mokhtar, Annaba.
- Gobbi G.P., Barnaba F. Di Liberto L., Bolignano A., Lucarelli F., Nava S., Perrino C., Pietrodangelo A., Basart S., Costabile F., Dionisi D., Rizza U., Canepari S., Sozzi R., Morelli M., Manigrasso M., Drewnick F., Struckmeier C., Poenitz K., Wille H. 2019. An inclusive view of Saharan dust advections to Italy and the Central Mediterranean. *Atmospheric Environment* Volume 201, 15 March 2019, Pages 242-256

H

- Hemiri M., Goudjil T., Rouabhi A., Aouimeur M. 2011. Impact de l'industrie de ciment sur l'environnement (eau-sol-air). cas de la Cas cimenterie ERCE. Tebessa. Algérie. 1er Séminaire International sur la Ressource en eau au Sahara : Evaluation, Economie et Protection, Ourgla
- Henni-Chebra Kh., Bougara A., El-Hadj Kadri E-H 2011. Détermination du niveau d'empoussièrement engendrée par la fabrication du ciment. Rencontres Universitaires de Génie Civil. Tlemcen.
- Hispard F., Vaufleury A., Martin H., Devaux S., Cosson R.P., Scheifler R., Richert B.L., Berthelot A., Badot P.-M. 2008. Effects of subchronic digestive exposure to organic or inorganic cadmium on biomarkers in rat tissues. *Ecotoxicology and Environmental Safety* (70) 490–498

HSL(Health and Safety Laboratory), 2000. General methods for sampling and gravimetric analysis of respirable and inhalable dust in Methods for the Determination of Hazardous Substances. Health and Safety Executive

I

Iqbal,M-Z ; 2000. Periodical Effect of Cement Dust Pollution on the Growth of Some Plant Species. Turk J Bot 25 (2001) 19-24. PAKISTAN.

IRRST., 2005. Spéciation et caractérisation de poussières de béryllium. Etude et recherche : Rapport ,63 page.

INERIS, 2002. Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA-006) Dispersion atmosphérique (mécanismes et outils de calcul. Direction des risques accidentels.

Inomata y.,Igarashi Y., Chiba M.,Shinoda Y.,Takahashi H. 2009. Dry and wet deposition of water-insoluble dust and water-soluble chemical species during spring 2007 in Tsukuba, Japan. Atmospheric Environment 43 (2009) 4503–4512

Ismert, M, 2000. Les enzymes de biotransformation des xénobiotiques chez *Helix aspersa* (escargot) et *Pleurozium schreberi* (mousse), biomarqueurs potentiels de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures aromatiques polycycliques. Thèse de doctorat en Écotoxicologie, Université de METZ

Itziou A., Dimitriadis V.K., 2011. Introduction of the land snail *Eobania vermiculata* as a bioindicator organism of terrestrial pollution using a battery of biomarkers. Science of the Total Environment 409 (2011) 1181–1192

J

Jeffrey C. Nekola, 2003. Large-scale terrestrial gastropod community composition patterns in the Great Lakes region of North America. Diversity and Distributions (2003) 9, 55–71.

K

Karas F., 2009. Invertébrés Continentaux des pays de la Loire- *Gretia*. Mollusques. Gastéropodes Terrestres.

Kerney M-P.; Cameron R.A.D., (2006). Guide des escargots et limaces d'Europe. Edition Delachaux et Niestlé, France. Pages 370.

Khelifa M-R., S. Bada S., M. Al-Mukhtar M. 2009. Les cimenteries et l'environnement cas de la cimenterie de AIN-TOUTA. SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria).

Kouassi K.D., Otchoumou A., Dosso H. 2007. Les escargots comestibles de Côte d'Ivoire: influence de substrats d'élevage sur les paramètres de croissance de *Archachatina ventricosa* (Gould, 18 50) en élevage hors-sol. TROPICULTURA, 2007, 25, 1, 16-20

L

Lagadic L. et Caquet T., 1998. Invertebrates in testing of environmental chemicals: are they alternatives?. Environmental health perspectives. <https://doi.org/10.1289/ehp.98106593>

Larba R., 2014. Biosurveillance de l'environnement dans la région Est : mesure de biomarqueurs chez *Hélix aspersa* et corrélation avec les caractéristiques physico-chimiques des sols. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar-Annaba.

Larocca V., 2004. Mise au point et valorisation, sur site contaminés, (ETM-HAP) d'un teste de biosurveillance en microcosme : croissance et bioaccumulation par le gastropode terrestre marin *Hélix aspersa aspersa*. Thèse de doctorat. Université de Metz.

Laurent J., Deray A. 1984. Influence de la photopériode, du degré d'hétérogénéité de la population sur la dynamique de croissance et la maturité sexuelle de l'escargot *Hélix aspersa*. C. R. Soc. Biol 178: 421-441.

Leffa D-D., Damiani A-P., Silva J., Zocche J., Santos C., Bouffleur L-A., Dias J-F., Andrade V-M. 2010. Evaluation of the Genotoxic Potential of the Mineral Coal Tailings Through the *Helix aspersa* (Müller, 1774). Archives of Environmental Contamination and Toxicology volume 59, pages 614–621.

M

- Madec L., 1983. Importance des conditions climatiques et de l'origine des individus pour la reproduction de l'escargot petit-gris en élevage sous bâtiment contrôlé.
- Mahmoud M.A. Desouky, 2006. Tissue distribution and subcellular localization of trace metals in the pond snail *Lymnaea stagnalis* with special reference to the role of lysosomal granules in metal sequestration. *Aquatic Toxicology* 77 (143–152)
- McClintock M-A., McDowell W.H., González G., Schulz M., Pett-Ridge J-C. 2019. African dust deposition in Puerto Rico: Analysis of a 20-year rainfall chemistry record and comparison with models. *Atmospheric Environment* 216 (2019) 116907
- Mei Chen. 1999, Characteristics of the Vortex Structure in the Outlet of a Stairmand Cyclone: Regular Frequencies and Reverse Flow, univ. Alberta. Canada
- Meziane K., Allaili H., Kerfouf A. 2013. Impacts des actions anthropiques sur la biodiversité de la faune malacologique sur les zones humides côtières de la côte ouest algérienne (cas des substrats durs). Université Djillali Liabès Sidi Bel Abbès, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Département des sciences de l'environnement.
- Morera-Gómez Y., Santamaría J-M, Elustondob D, Lasheras E, Alonso-Hernández C-M. 2019. Determination and source apportionment of major and trace elements in atmospheric bulk deposition in a Caribbean rural area. *Atmospheric Environment* 202 (93–104)
- Michel F., et Courard L., (2006). Approt sur la granulométrie laser dans la caractérisation physique des filtres calcaires. 7eme édition, Toulouse France, 49 pages.
- Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (MATE), (2010). Seconde communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques à la CCNUCC.

N

- NADAMA, 2006. Influence de trois modes de gestion des sols sur le profil de la macrofaune du sol en parcelles cotonnières paysannes au nord Cameroun. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, université de DSCHANG

O

- OFEV (Office fédéral de l'environnement),2011. Poussière fines. Confédération suisse.
- O'Hara et al., 2006. Field measurements of desert dust deposition in Libya. *Atmospheric Environment* 40 (2006) 3881–3897
- OMS (Organisation mondiale de la santé) ; 1984. Evaluation de l'exposition aux particules atmosphériques dans les ambiances de travail. Pages 74.
- Orange D, Gac J-Y, Probst J-L., Tanre D. 1990 Mesure du dépôt au sol des aérosols désertiques. Une méthode simple de prélèvement : le capteur pyramidal. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 311, Série II, p. 167-172
- Ostiguy C., Roberge B., Ménard L., Endo C-A. 2008. Guide de bonnes pratiques favorisant la gestion des risques reliés aux nanoparticules de synthèse. Études et recherches guide technique R-58

P

- Panget C., Selck H., Misra S-K., Berhanu D., Dybowska A., Valsami-Jones E., Valery E Forbes V-E. 2012. Effects of sediment-associated copper to the deposit-feeding snail, *Potamopyrgus antipodarum*: A comparison of Cu added in aqueous form or as nano- and micro-CuO particles. *Aquatic Toxicology* 106– 107 (2012) 114– 122
- Pauget B., Gimbert F., coeurduassier M., Crini N., Pérès G., Faure O., Douay F., Hitmi A., Beguiristain T., Alaphilippe A., Guernion M., Sabine H., Legras M., Vian J-F., Hedde M., Bispo A., Grand C., Vaufleury A. 2013. Ranking field site management priorities according to their metal transfer to snails. *Ecological Indicators* 29 (2013) 445–45
- Perrino C., Catrambone M., Esposito G., Lahav D., Mamane Y. 2008. Characterisation of gaseous and particulate atmospheric pollutants in the East Mediterranean by diffusion denuder samplinglines, 244pages.
- Pihan F., 2001. Caractérisation de Mollusques Gastéropodes terrestres en tant que bioindicateurs de la contamination polymétallique (Al, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Cu, Cd et Pb). Thèse de doctorat. Université de METZ.

R

Rebouh, S. 2011. Impact de la pollution de l'air provoquée par la cimenterie Tahar-djouad sur la santé publique et le cadre bâti -cas de Hamma Bouziane. Département d'Architecture et d'Urbanisme, Université Mentouri de Constantine.

Regoli F., Gorbi S., Fattorini D., Tedesco S., Notti A., Machella N., Bocchetti R., Benedetti M., Piva F. 2006. Use of the Land Snail *Helix aspersa* as Sentinel Organism for Monitoring Ecotoxicologic Effects of Urban Pollution: An Integrated Approach. *Environmental Health Perspectives* • VOLUME 114

S

Sambat, S. 2001. Inventaire des émissions de particules primaires. Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique. PARIS

Sangita Das, B.S. Khangarot, 2010. Bioaccumulation and toxic effects of cadmium on feeding and growth of an Indian pond snail *Lymnaea luteola* L. under laboratory conditions. *Journal of Hazardous Materials* 182 (2010) 763–770

Scheifler R. 2002. Evaluation de la biodisponibilité et des transferts de polluants métalliques et organiques dans des réseaux trophiques "sols – plantes – invertébrés". Thèse de doctorat. Université de Franche-comte UFR sciences et techniques.

Scheifler R., Vaufleury A., Badot P.-M. 2002. Transfer of Cadmium from Plant Leaves and Vegetable Flour to the Snail *Helix aspersa*: Bioaccumulation and Effects. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 53, 148-153.

Secrétariat technique du sdage., 2002. Pollution toxique et écotoxicologie.

Séron A., Guigues N. 2000. Caractérisation chimique et minéralogique de la pollution atmosphérique particulaire dans le milieu urbain de l'agglomération lyonnaise. Rap BRGM RP 50041-FR, 110 p., 13 fig., 9 tabi.

Snyman R.G., Reinecke A.J., Reinecke S.A. 2003. Quantitative changes in the digestive gland cells of the snail *Helix aspersa* after exposure to the fungicide copper oxychloride. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60 (2005) 47–52

Specht F., 1991. A General Regression Neural Network. *IEEE Transactions on neural networks*. vol. 2 . no. 6.

Stiévenart C., Hardouin J., centre technique de Coopération Agricole et Rurale ACP/CEE

Sultan A. Meo., 2004. Health hazards of cement dust. Department of Physiology, College of Medicine, King Saud University Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia

T

Tedjar L., 2012. Impact des rejets (unités industrielles: cimenterie et BCR) sur l'environnement dans la région d'AIN EL KEBIRA (Sétif). Thèse de doctorat sciences. Département de Biologie et physiologie animale. Université Ferhat Abbas – Sétif.

V

Vaufleury A , 1998, standardized growth toxicity testing (cu, zn, pb, and pentachlorophenol) with *Helix aspersa*. *cotoxicology and Environmental Safety* 46, 41}50 (2000)

Vaufleury et Bispo, 2000. Methods for Toxicity Assessment of Contaminated Soil by Oral or Dermal Uptake in Land Snails. 1. Sublethal Effects on Growth. *Environmental Science and Technology* 34(9). DOI: [10.1021/es9907212](https://doi.org/10.1021/es9907212)

Vaufleury A.,et Kerhoas I., 2000. Effects of cadmium on the reproductive system of the land snail *Helix aspersa*. *Bull. Environ. Bull. Environ. Contam. Toxicol.* (2000) 64:434-442

Vaufleury, A. 2009. Utilisation et intérêts des escargots et des micromammifères pour la bioindication de la qualité des sols. *Étude et Gestion des Sols*, Volume 16, 3/4, 2009 - pages 203 à 217

Viard, B. 2004. Mise au point et validation, sur sites contaminés, (ETM-HAP) d'un test de bio-surveillance en microcosme: croissance et bioaccumulation par le gastéropode terrestre *Hélix aspersa aspersa*

Vrignaud, S., 2010. Inventaire des mollusques continentaux de la Réserve Naturelle Nationale du Val d'Allier (Allier, France). *Le Grand-Duc* 76: 40-48.

Z

Zaafour M, 2014. Étude écophysiologique de la reproduction de l'escargot terrestre Petit-Gris (*Helix aspersa aspersa*, Gastropoda: Stylommatophora; Helicidae) dans la

région Nord-Est d'Annaba– Algérie. Thèse doctorat en sciences. Spécialité: Biologie animale. Université Badji Mokhtar –Annaba- Algérie.

Zouhoun Th., Fayomi E.B., Tchokki F. 1993. Poussière de ciment et pollution d'eau de puits. Médecine d'Afrique Noire : 40 (3).

(Site web1) : http://www.alsace.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Decret_060598_cle02f2f8.

(Site web 2) : <http://www.airfobep.org/pollution-atmospherique.html>

Annexes

Annexes

Annexe n° 01 : tests statistiques des résultats de la première expérimentation de captage des poussières

Tableau n° 01 : Résultat du test de normalité pour le poids total des poussières captées lors de la première expérimentation

Récapitulatif du test d'hypothèse

	Hypothèse nulle	Test	Sig.	Décision
1	La distribution de PG est identique sur les catégories de T.	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants	,000	Rejeter l'hypothèse nulle.
2	La distribution de grosses PM est identique sur les catégories de T.	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants	,000	Rejeter l'hypothèse nulle.
3	La distribution de moy PM est identique sur les catégories de T.	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants	,108	Retenir l'hypothèse nulle.
4	La distribution de fine PM est identique sur les catégories de T.	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants	,001	Rejeter l'hypothèse nulle.

Les significations asymptotiques sont affichées. Le niveau de significat est ,05.

Tableau n° 02 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants pour le poids total des poussières captées lors de la première expérimentation

N Total	176
Statistique de test	45,196
Degrés de liberté	10
Sig. asymptotique (test bilatéral)	,000

1. La statistique de test est réglée pour les ex aequo.

Tableau n° 03 : Résultat de test des sous ensembles homogènes pour le poids total des poussières captées lors de la première expérimentation

Sous-ensembles homogènes basés sur PG					
		Sous-ensemble			
		1	2	3	4
Echantillon¹	T3	39,824			
	T2	68,500	68,500		
	T4	70,750	70,750		
	T9	75,094	75,094	75,094	
	T5	77,531	77,531	77,531	
	T10	79,750	79,750	79,750	
	T11		98,344	98,344	98,344
	T1		103,875	103,875	103,875
	T6		112,250	112,250	112,250
	T7			113,906	113,906
	T8				135,469
Statistique de test		9,526	13,393	11,511	6,990
Sig. (test 2-latéral)		,090	,063	,074	,136
Sig. ajustée (test 2-latéral)		,159	,086	,114	,276
Les sous-ensembles homogènes sont basés sur des significations asymptotiques. Le niveau de signification est ,05.					
¹ Chaque cellule affiche le rang moyen de PG.					

Tableau n° 04 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants pour le poids des grosses particules captées lors de la première expérimentation

N Total	176
Statistique de test	49,710
Degrés de liberté	10
Sig. asymptotique (test bilatéral)	,000

1. La statistique de test est réglée pour les ex aequo.

Tableau n° 05 : Résultat de test des sous ensembles homogènes pour les grosses particules captées lors de la première expérimentation

Sous-ensembles homogènes basés sur grosses PM					
		Sous-ensemble			
		1	2	3	4
Echantillon¹	T3	34,324			
	T2	65,367	65,367		
	T4		75,313	75,313	
	T10		78,313	78,313	
	T9		78,656	78,656	
	T5		82,438	82,438	
	T1		91,125	91,125	
	T6		108,313	108,313	108,313
	T11		110,531	110,531	110,531
	T7			111,281	111,281
	T8				139,781
Statistique de test		3,217	12,059	12,604	6,701
Sig. (test 2-latéral)		,073	,099	,082	,082
Sig. ajustée (test 2-latéral)		,340	,133	,111	,210
Les sous-ensembles homogènes sont basés sur des significations asymptotiques. Le niveau de signification est ,05.					
¹ Chaque cellule affiche le rang moyen de grosses PM.					

Tableau n° 06 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants pour moyenne particules captées lors de la première expérimentation

N Total	176
Statistique de test	15,719
Degrés de liberté	10
Sig. asymptotique (test bilatéral)	,108

1. La statistique de test est réglée pour les ex aequo.

2. Aucune comparaison multiple n'est effectuée car le test général ne contient pas de différence significative entre les échantillons.

Tableau n° 07 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants pour les fines particules captées lors de la première expérimentation

N Total	176
Statistique de test	28,962
Degrés de liberté	10
Sig. asymptotique (test bilatéral)	,001

1. La statistique de test est réglée pour les ex aequo.

Tableau n° 08 : Résultat de test des sous ensembles homogènes pour les fines particules captées lors de la première expérimentation

Sous-ensembles homogènes basés sur fine PM				
		Sous-ensemble		
		1	2	3
Echantillon¹	T3	56,471		
	T4	65,719	65,719	
	T9	71,688	71,688	
	T11	79,719	79,719	
	T5	83,344	83,344	
	T10	84,063	84,063	84,063
	T2	84,233	84,233	84,233
	T6	97,469	97,469	97,469
	T8	111,875	111,875	111,875
	T7		117,781	117,781
	T1			122,875
Statistique de test		14,328	14,999	10,210
Sig. (test 2-latéral)		,074	,059	,070
Sig. ajustée (test 2-latéral)		,089	,072	,124
Les sous-ensembles homogènes sont basés sur des significations asymptotiques. Le niveau de signification est ,05.				
¹ Chaque cellule affiche le rang moyen de fine PM.				

Annexe n° 02 : Tests statistiques des résultats de la deuxième expérimentation de captage des poussières

Tableau n° 09 : Résultat du test de normalité pour le poids total des poussières captées lors de la deuxième expérimentation en fonction des stations

Récapitulatif du test d'hypothèse

	Hypothèse nulle	Test	Sig.	Décision
1	La distribution de PG est identique sur les catégories de ST.	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants	,071	Retenir l'hypothèse nulle.
2	La distribution de grosses PM est identique sur les catégories de ST	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants	,293	Retenir l'hypothèse nulle.
3	La distribution de moy PM est identique sur les catégories de ST	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants	,000	Rejeter l'hypothèse nulle.
4	La distribution de fine PM est identique sur les catégories de ST	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants	,001	Rejeter l'hypothèse nulle.

Les significations asymptotiques sont affichées. Le niveau de significat est ,05.

Tableau n° 10 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants pour le poids total des poussières captées en fonction des stations lors de la deuxième expérimentation

N Total	176
Statistique de test	7,034
Degrés de liberté	3
Sig. asymptotique (test bilatéral)	,071

1. La statistique de test est réglée pour les ex aequo.
2. Aucune comparaison multiple n'est effectuée car le test général ne contient pas de différence significative entre les échantillons.

Tableau n° 10 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants pour les grosses particules captées en fonction des stations lors de la deuxième expérimentation

N Total	176
Statistique de test	3,725
Degrés de liberté	3
Sig. asymptotique (test bilatéral)	,293

1. La statistique de test est réglée pour les ex aequo.
2. Aucun comparaison multiple n'est effectuée car le test général ne contient pas de différence significative entre les échantillons.

Tableau n° 11 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants pour les moyennes particules captées en fonction des stations lors de la deuxième expérimentation

N Total	176
Statistique de test	23,257
Degrés de liberté	3
Sig. asymptotique (test bilatéral)	,000

1. La statistique de test est réglée pour les ex aequo.

Tableau n° 12 : Résultat de test des sous ensembles homogènes pour les moyennes particules captées en fonction des stations lors de la deuxième expérimentation

Sous-ensembles homogènes basés sur moy PM				
		Sous-ensemble		
		1	2	3
Echantillon¹	ST3	62,614		
	ST4	80,284	80,284	
	ST1		100,420	100,420
	ST2			110,682
Statistique de test		3,435	3,638	,732
Sig. (test 2-latéral)		,064	,056	,392
Sig. ajustée (test 2-latéral)		,124	,110	,631
Les sous-ensembles homogènes sont basés sur des significations asymptotiques. Le niveau de signification est ,05.				
¹ Chaque cellule affiche le rang moyen de moy PM.				

Tableau n° 13 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants pour les fines particules captées en fonction des stations lors de la deuxième expérimentation

N Total	176
Statistique de test	17,025
Degrés de liberté	3
Sig. asymptotique (test bilatéral)	,001

1. La statistique de test est réglée pour les ex aequo.

Tableau n° 14 : Résultat de test des sous ensembles homogènes pour les fines particules captées en fonction des stations lors de la deuxième expérimentation

Sous-ensembles homogènes basés sur fine PM			
		Sous-ensemble	
		1	2
Echantillon¹	ST3	64,568	
	ST4		86,011
	ST1		95,534
	ST2		107,886
Statistique de test		. ²	4,559
Sig. (test 2-latéral)		.	,102
Sig. ajustée (test 2-latéral)		.	,102
Les sous-ensembles homogènes sont basés sur des significations asymptotiques. Le niveau de signification est ,05.			
¹ Chaque cellule affiche le rang moyen de fine PM.			
² Calcul impossible car le sous-ensemble ne contient qu'un échantillon.			

Tableau n° 15 : Résultat du test de normalité pour le poids total des poussières captées lors de la deuxième expérimentation en fonction des postes

Récapitulatif du test d'hypothèse

	Hypothèse nulle	Test	Sig.	Décision
1	La distribution de PG est identique sur les catégories de POST.	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants	,004	Rejeter l'hypothèse nulle.
2	La distribution de grosses PM est identique sur les catégories de POST.	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants	,016	Rejeter l'hypothèse nulle.
3	La distribution de moy PM est identique sur les catégories de POST.	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants	,009	Rejeter l'hypothèse nulle.
4	La distribution de fine PM est identique sur les catégories de POST.	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants	,015	Rejeter l'hypothèse nulle.

Les significations asymptotiques sont affichées. Le niveau de significatif est ,05.

Tableau n° 16 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants pour poids total captées en fonction des postes lors de la deuxième expérimentation

N Total	176
Statistique de test	13,184
Degrés de liberté	3
Sig. asymptotique (test bilatéral)	,004

1. La statistique de test est réglée pour les ex aequo.

Tableau n° 17 : Résultat de test des sous ensembles homogènes pour poids total captées en fonction des postes lors de la deuxième expérimentation

Sous-ensembles homogènes basés sur PG			
		Sous-ensemble	
		1	2
Echantillon¹	P2	70,091	
	P3	85,398	85,398
	P4	89,307	89,307
	P1		109,205
Statistique de test		3,695	5,725
Sig. (test 2-latéral)		,158	,057
Sig. ajustée (test 2-latéral)		,158	,057
Les sous-ensembles homogènes sont basés sur des significations asymptotiques. Le niveau de signification est ,05.			
¹ Chaque cellule affiche le rang moyen de PG.			

Tableau n° 16 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants pour les grosses particules captées en fonction des postes lors de la deuxième expérimentation

N Total	176
Statistique de test	10,341
Degrés de liberté	3
Sig. asymptotique (test bilatéral)	,016

1. La statistique de test est réglée pour les ex aequo.

Tableau n° 18 : Résultat de test des sous ensembles homogènes pour les grosses particules captées en fonction des postes lors de la deuxième expérimentation

Sous-ensembles homogènes basés sur grosses PM			
		Sous-ensemble	
		1	2
Echantillon¹	P2	70,273	
	P3	88,250	88,250
	P4	90,420	90,420
	P1		105,057
Statistique de test		4,514	3,139
Sig. (test 2-latéral)		,105	,208
Sig. ajustée (test 2-latéral)		,105	,208
Les sous-ensembles homogènes sont basés sur des significations asymptotiques. Le niveau de signification est ,05.			
¹ Chaque cellule affiche le rang moyen de grosses PM.			

Tableau n° 19 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants pour les moyennes particules captées en fonction des postes lors de la deuxième expérimentation

N Total	176
Statistique de test	11,480
Degrés de liberté	3
Sig. asymptotique (test bilatéral)	,009

1. La statistique de test est réglée pour les ex aequo.

Tableau n° 20 : Résultat de test des sous ensembles homogènes pour les moyennes particules captées en fonction des postes lors de la deuxième expérimentation

Sous-ensembles homogènes basés sur moy PM			
		Sous-ensemble	
		1	2
Echantillon¹	P2	71,295	
	P3	85,420	85,420
	P4	89,534	89,534
	P1		107,750
Statistique de test		3,261	4,905
Sig. (test 2-latéral)		,196	,086
Sig. ajustée (test 2-latéral)		,196	,086
Les sous-ensembles homogènes sont basés sur des significations asymptotiques. Le niveau de signification est ,05.			
¹ Chaque cellule affiche le rang moyen de moy PM.			

Tableau n° 21 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants pour les fines particules captées en fonction des postes lors de la deuxième expérimentation

N Total	176
Statistique de test	10,520
Degrés de liberté	3
Sig. asymptotique (test bilatéral)	,015

1. La statistique de test est réglée pour les ex aequo.

Tableau n° 22 : Résultat de test des sous ensembles homogènes pour les fines particules captées en fonction des postes lors de la deuxième expérimentation

Sous-ensembles homogènes basés sur fine PM			
		Sous-ensemble	
		1	2
Echantillon¹	P2	76,045	
	P3	83,648	
	P4	85,068	
	P1		109,239
Statistique de test		,918	. ²
Sig. (test 2-latéral)		,632	.
Sig. ajustée (test 2-latéral)		,632	.
Les sous-ensembles homogènes sont basés sur des significations asymptotiques. Le niveau de signification est ,05.			
¹ Chaque cellule affiche le rang moyen de fine PM.			
² Calcul impossible car le sous-ensemble ne contient qu'un échantillon.			

Annexe n° 03 : Tests statistiques des résultats de suivi de la croissance des escargots de la première expérimentation

Tableau n° 23 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons dépendants pour de suivi de poids de la croissance des escargots de la première expérimentation

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: Pd

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	,077 ^a	9	,009	2,174	,030
Ordonnée à l'origine	,042	1	,042	10,622	,002
temps	,039	1	,039	9,997	,002
doses	,038	8	,005	1,196	,309
Erreur	,385	98	,004		
Total	,465	108			
Total corrigé	,462	107			

a. R deux = ,166 (R deux ajusté = ,090)

Tableau n° 24 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons dépendants pour de suivi de longueur de la croissance des escargots de la première expérimentation

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: longueur

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	21,707 ^a	9	2,412	,424	,919
Ordonnée à l'origine	1,600	1	1,600	,281	,597
temps	,045	1	,045	,008	,929
doses	21,662	8	2,708	,476	,870
Erreur	557,121	98	5,685		
Total	585,719	108			
Total corrigé	578,828	107			

a. R deux = ,038 (R deux ajusté = -,051)

Tableau n° 25 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons dépendants pour de suivi de largeur de la croissance des escargots de la première expérimentation

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: largeur

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	3,920 ^a	9	,436	,356	,953
Ordonnée à l'origine	,192	1	,192	,156	,693
temps	,005	1	,005	,004	,950
doses	3,915	8	,489	,400	,918
Erreur	120,041	98	1,225		
Total	125,471	108			
Total corrigé	123,961	107			

a. R deux = ,032 (R deux ajusté = -,057)

Annexe n° 04 : Tests statistiques des résultats de suivi de la croissance des escargots de la deuxième expérimentation

Tableau n° 26 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons dépendants pour de suivi de poids de la croissance des escargots de la deuxième expérimentation

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: poids

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.	Eta au carré partiel
Modèle corrigé	734,698 ^a	9	81,633	28,329	,000	,588
Ordonnée à l'origine	394,669	1	394,669	136,960	,000	,433
T	626,955	1	626,955	217,569	,000	,549
D	107,743	8	13,468	4,674	,000	,173
Erreur	515,814	179	2,882			
Total	6634,115	189				
Total corrigé	1250,512	188				

a. R deux = ,588 (R deux ajusté = ,567)

Tableau n° 27 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons dépendants pour de suivi de longueur de la croissance des escargots de la deuxième expérimentation

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: longueur

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.	Eta au carré partiel
Modèle corrigé	1795,887 ^a	9	199,543	20,556	,000	,508
Ordonnée à l'origine	22465,695	1	22465,695	2314,303	,000	,928
T	1382,837	1	1382,837	142,453	,000	,443
D	413,051	8	51,631	5,319	,000	,192
Erreur	1737,611	179	9,707			
Total	109802,905	189				
Total corrigé	3533,499	188				

a. R deux = ,508 (R deux ajusté = ,484)

Tableau n° 28 : Résultat Test de Kruskal-Wallis à échantillons dépendants pour de suivi de longueur de la croissance des escargots de la deuxième expérimentation

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: largeur

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.	Eta au carré partiel
Modèle corrigé	1811,746 ^a	9	201,305	22,393	,000	,530
Ordonnée à l'origine	19233,072	1	19233,072	2139,480	,000	,923
T	1330,885	1	1330,885	148,047	,000	,453
D	480,861	8	60,108	6,686	,000	,230
Erreur	1609,139	179	8,990			
Total	96285,475	189				
Total corrigé	3420,885	188				

a. R deux = ,530 (R deux ajusté = ,506)

Annexe n° 04 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des quantités de poussière collectées dans la première expérimentation

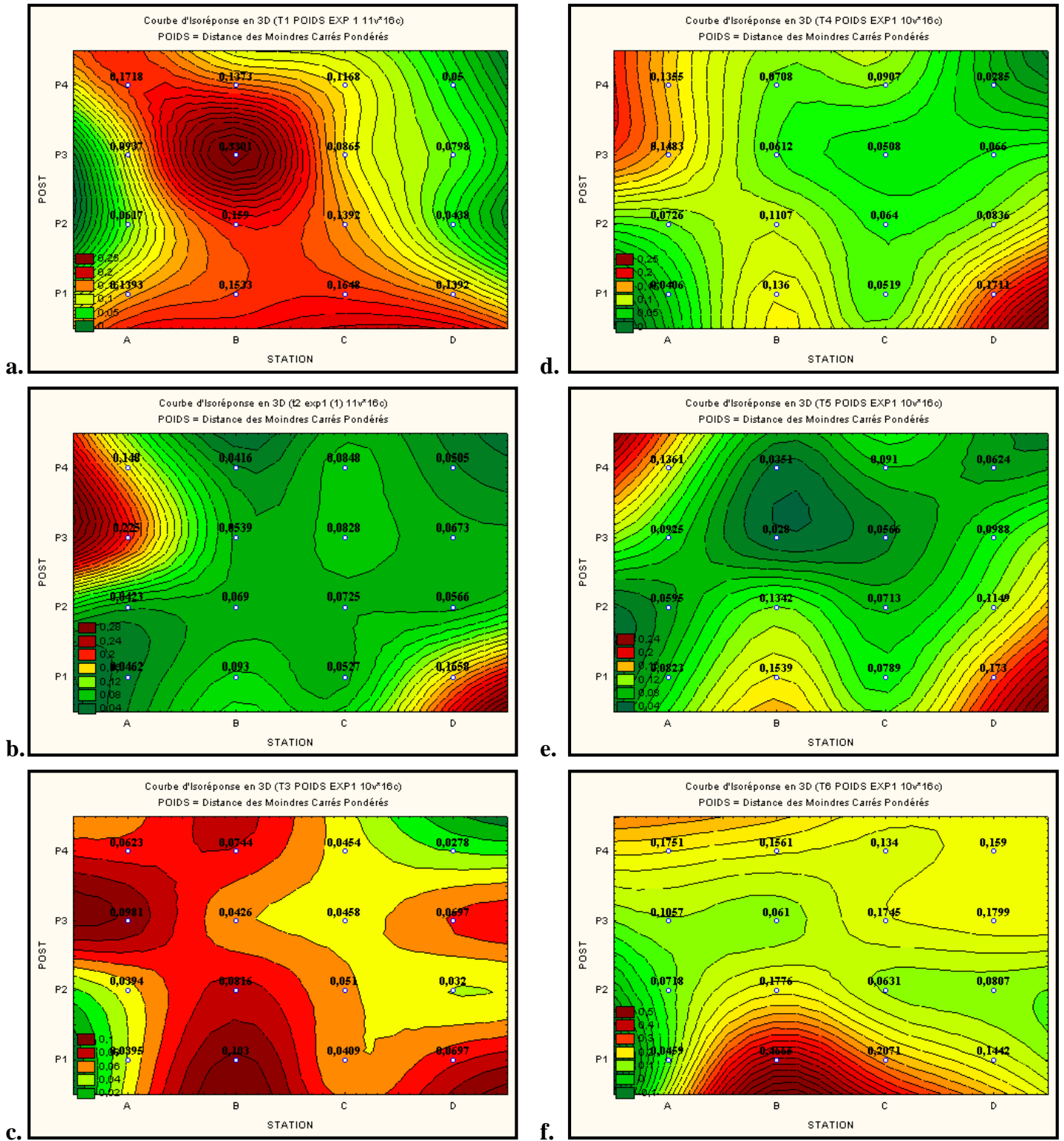


Figure n°24 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des quantités de poussière collectées dans la première expérimentation (**a.** 1^{ère} semaine, **b.** 2^{ème} semaine, **c.** 3^{ème} semaine, **d.** 4^{ème} semaine, **e.** 5^{ème} semaine, **f.** 6^{ème} semaine)

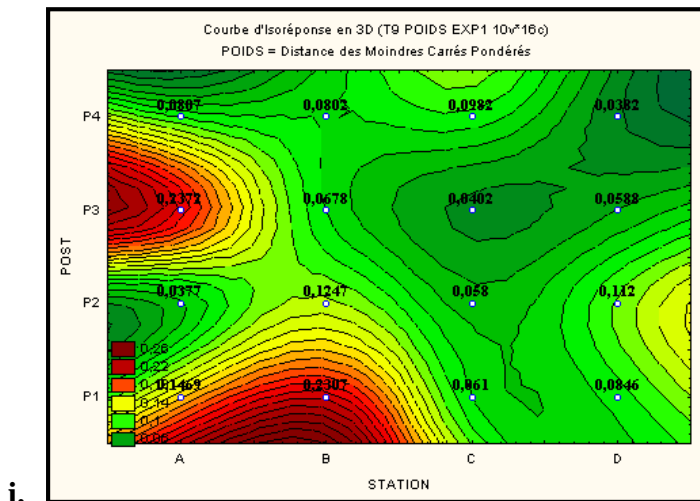
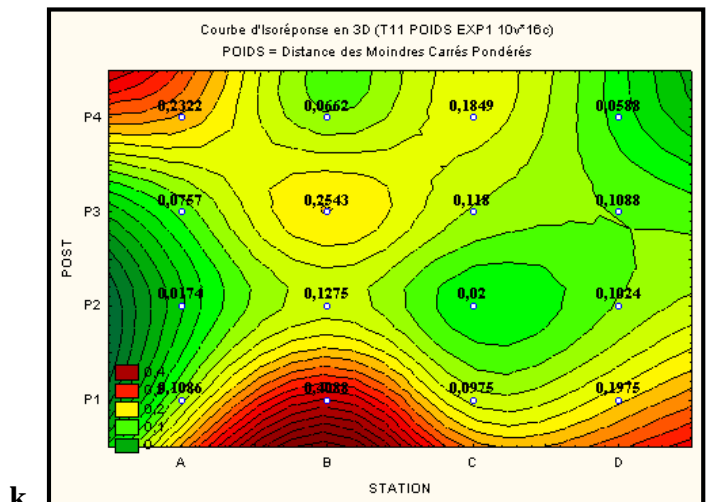
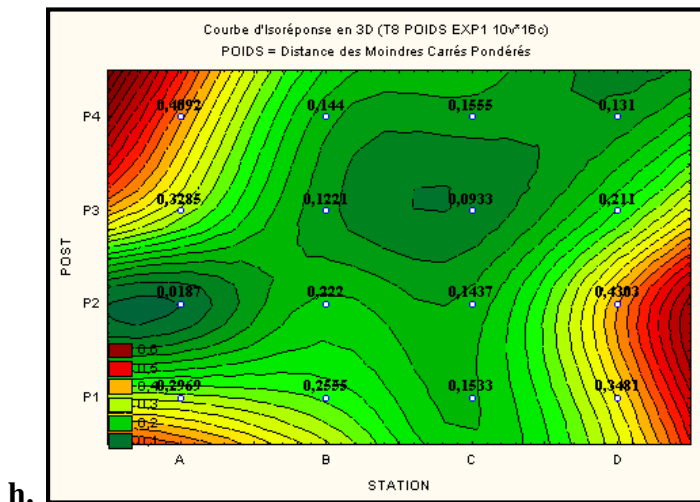
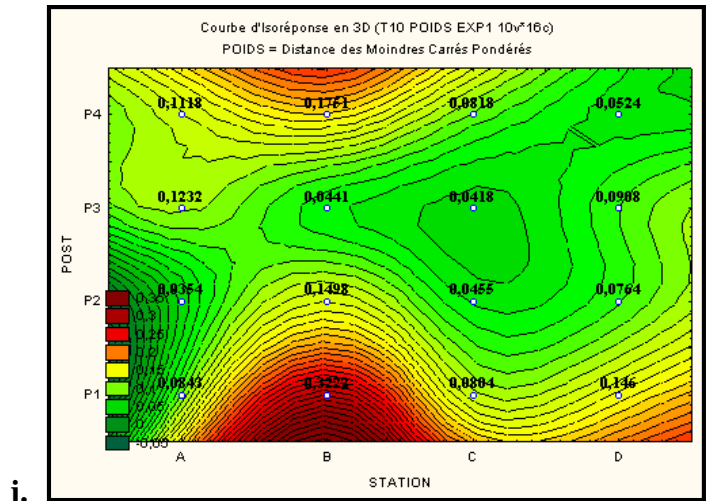
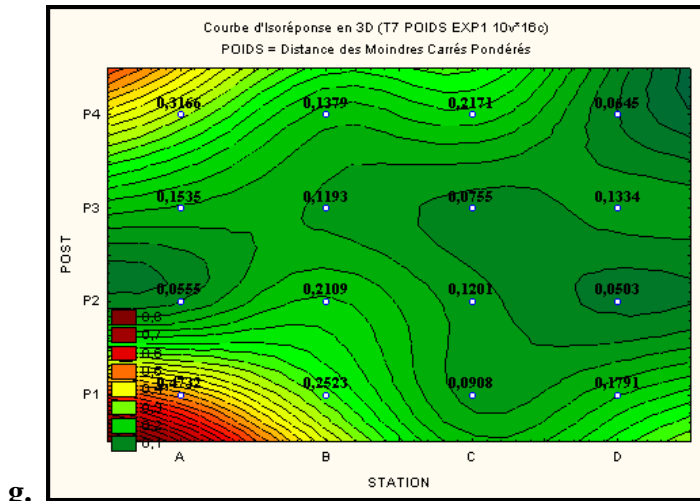
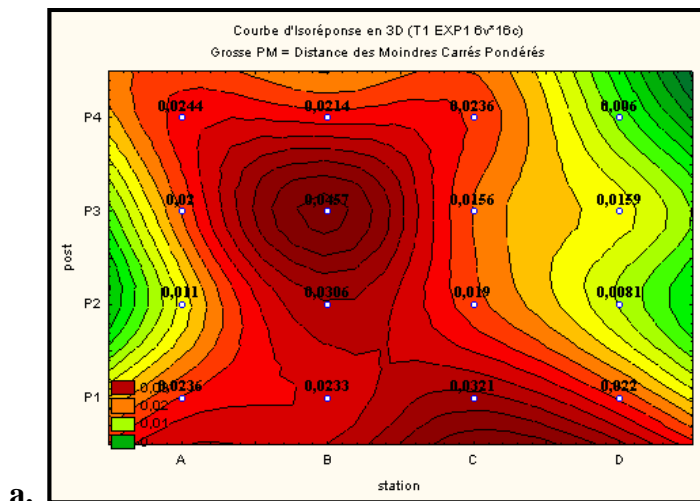
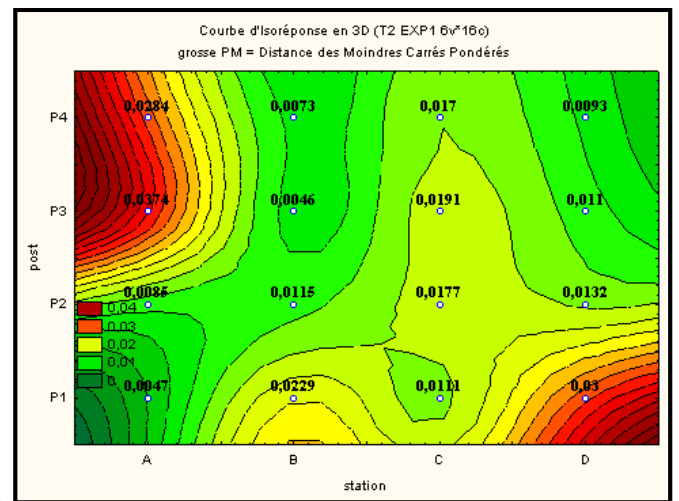


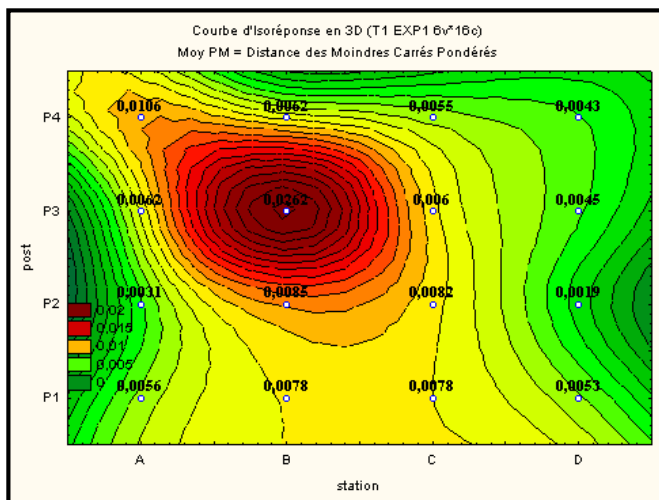
Figure n°25 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des quantités de poussière collectées dans la première expérimentation (**g.** 7^{ème} semaine, **h.** 8^{ème} semaine, **i.** 9^{ème} semaine, **j.** 10^{ème} semaine, **k.** 11^{ème} semaine.)



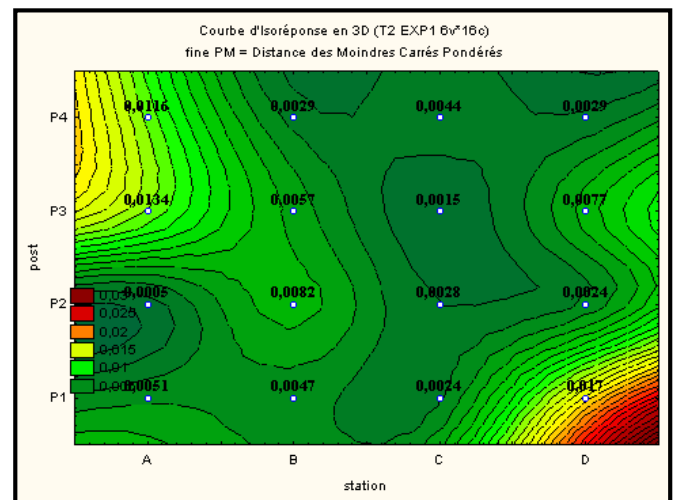
a.



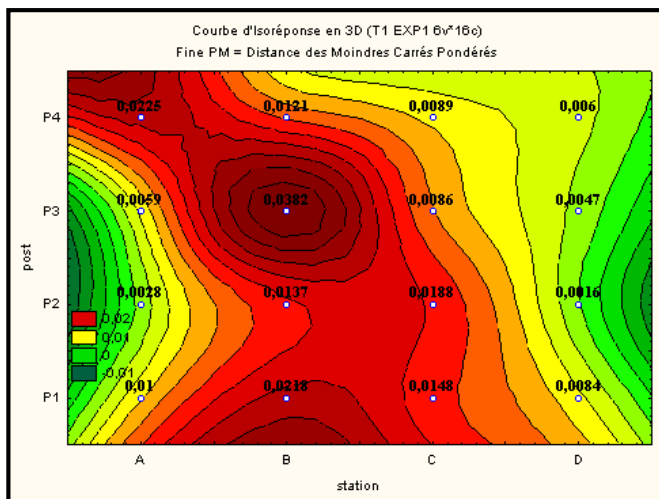
d.



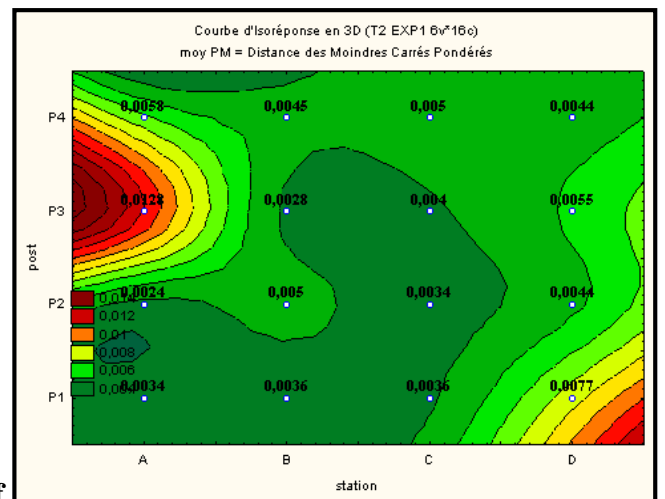
b.



e.



c.



f.

Figure n°26 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées dans la 1^{ère} semaine de la première expérimentation (a. Grosses PM, b. Moyennes PM -, c. Fines PM)

Figure n°27 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées dans la 2^{ème} semaine de la première expérimentation (d. Grosses PM, e. Moyennes PM -, f. Fines PM)

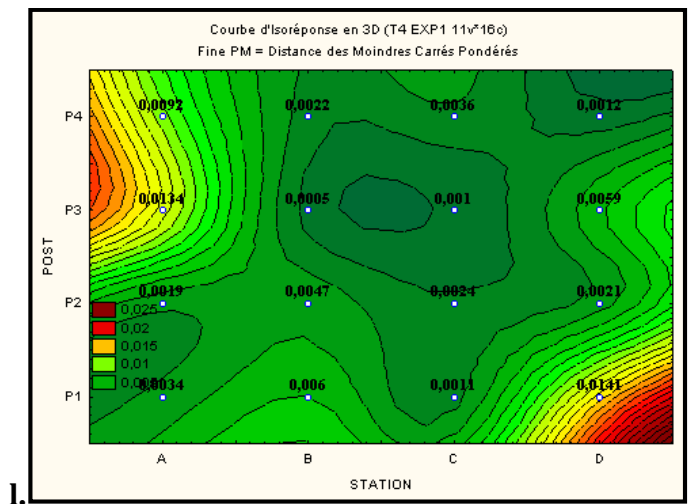
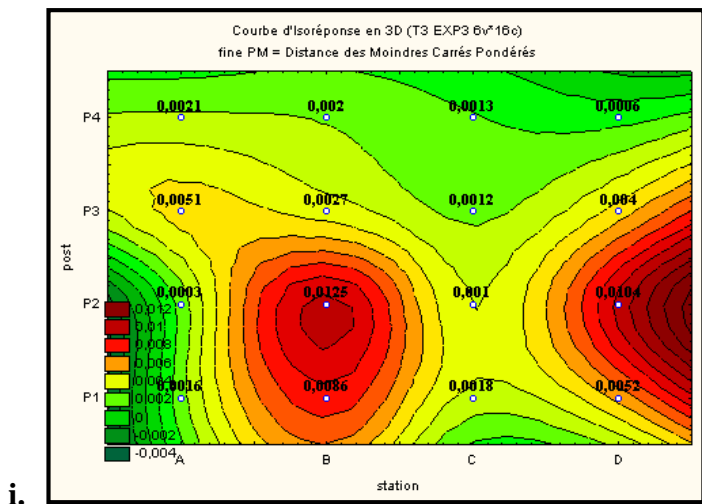
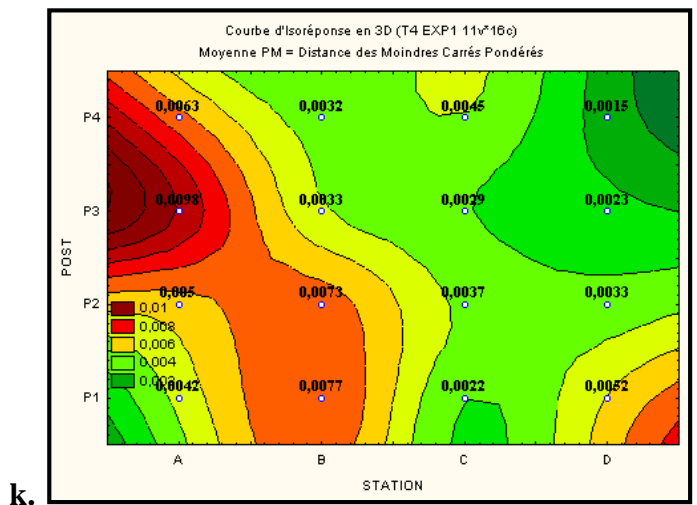
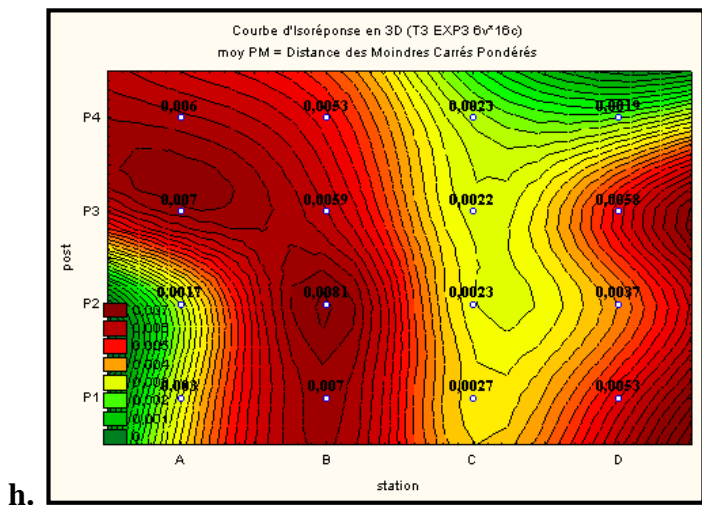
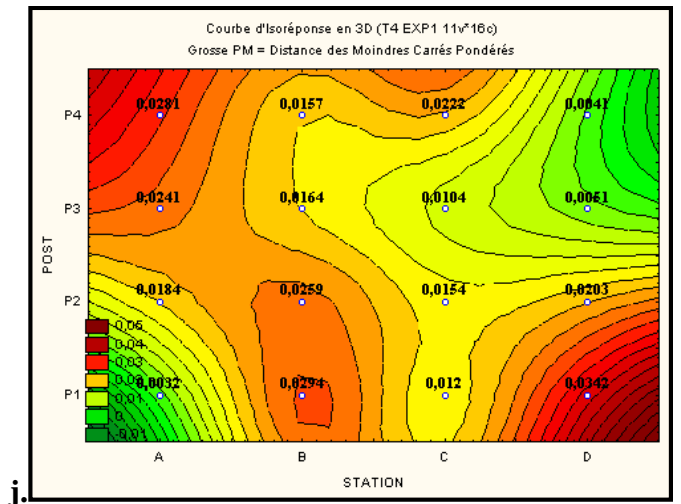
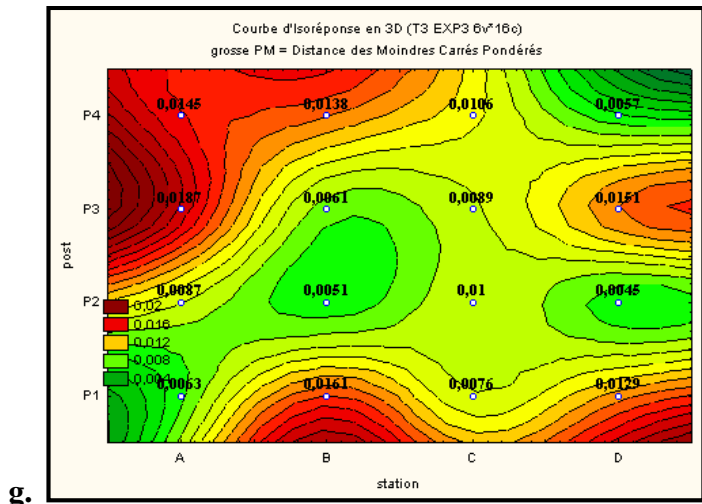


Figure n°28 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées dans la 3^{ème} semaine de la première expérimentation (g. Grosses PM , h. Moyennes PM, i. Fines PM)

Figure n°29 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées dans la 4^{ème} semaine de la première expérimentation (j. Grosses PM , k. Moyennes PM, l. Fines PM)

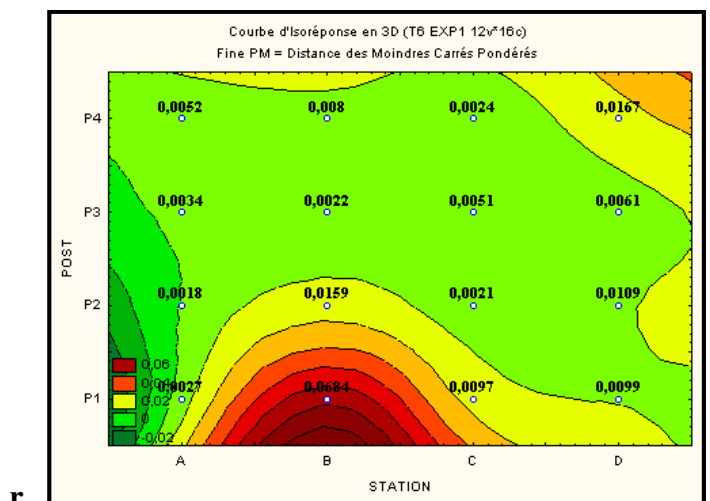
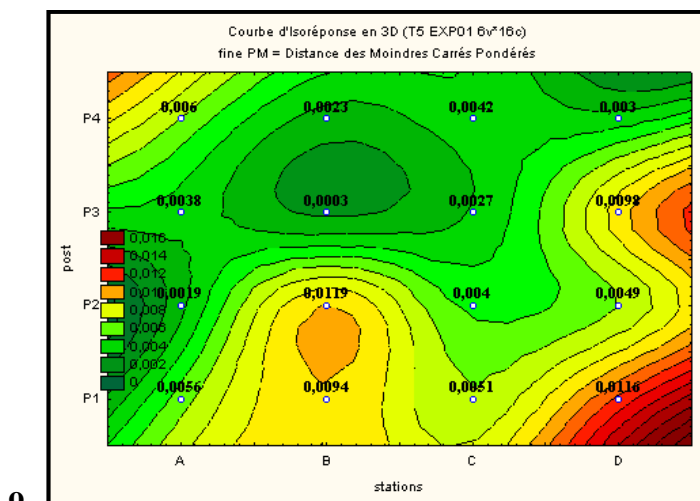
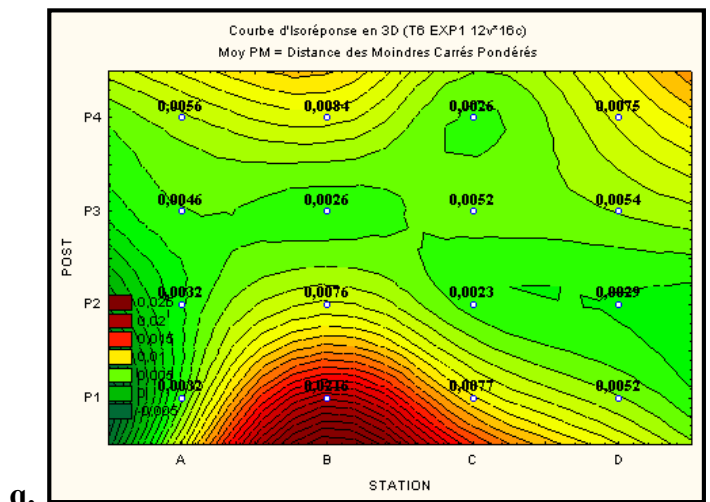
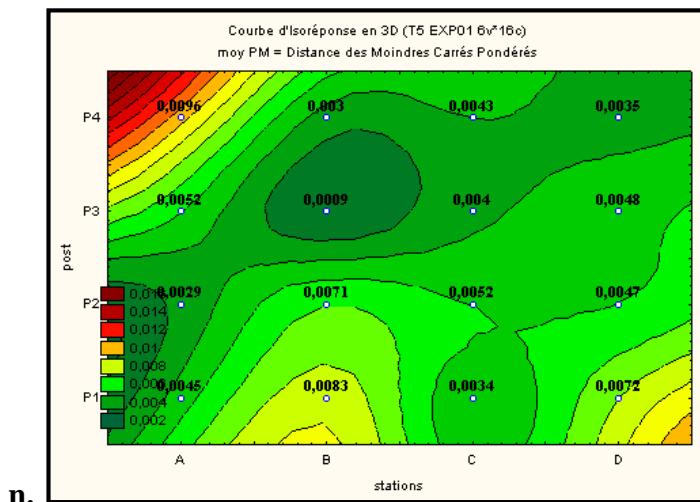
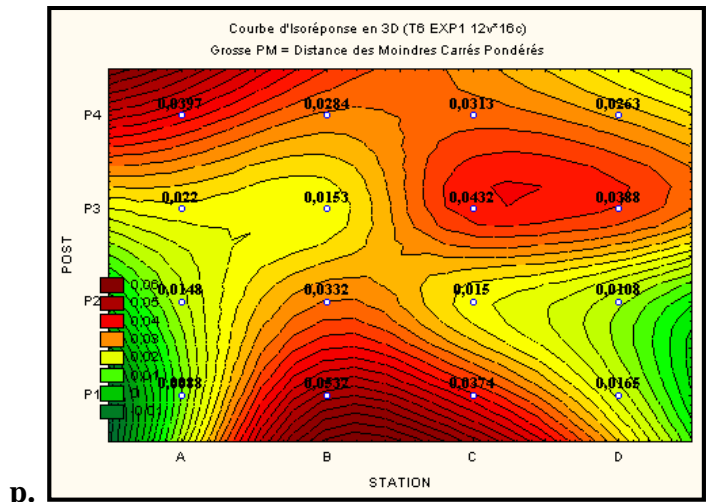
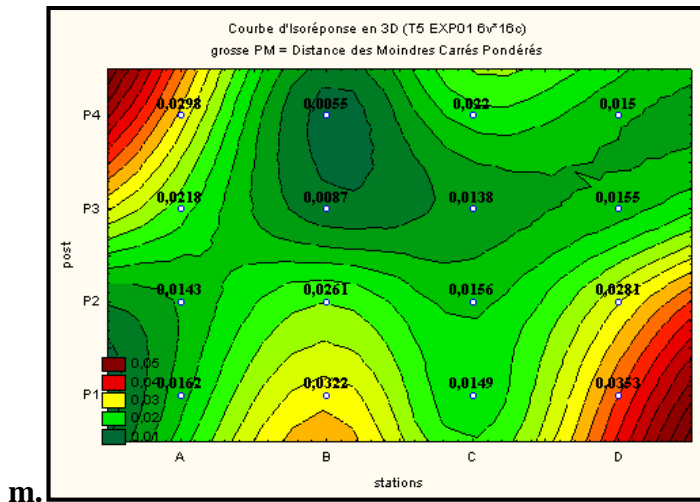


Figure n°30 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées dans la 5^{ème} semaine de la première expérimentation (m. Grosses PM , n. Moyennes PM, o. Fines PM)

Figure n°31 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées dans la 6^{ème} semaine de la première expérimentation (p. Grosses PM , q. Moyennes PM, r. Fines PM)

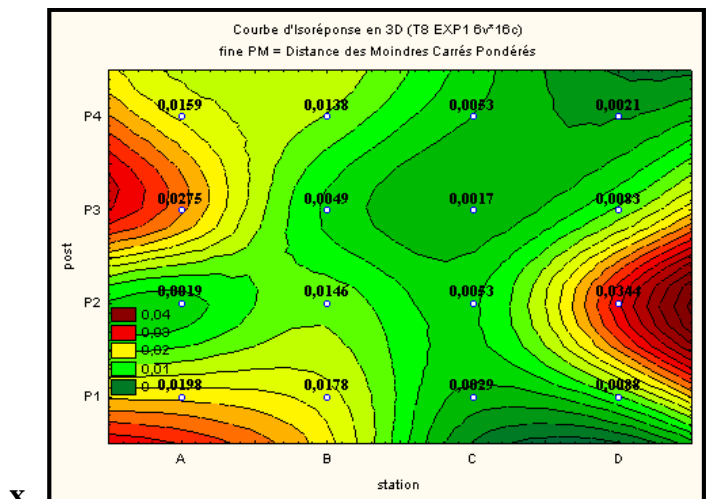
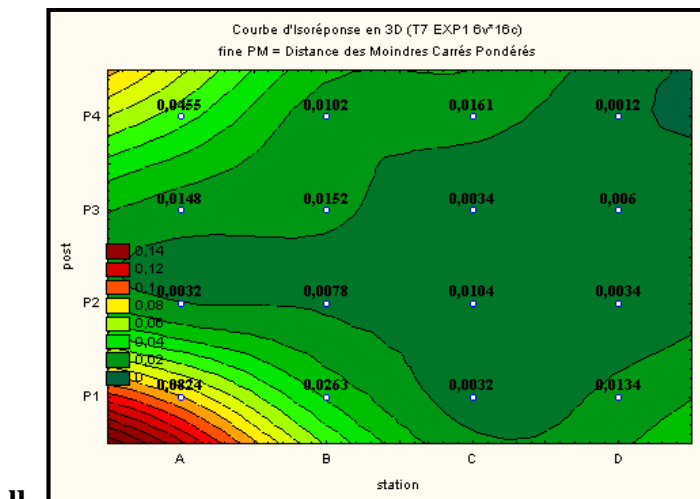
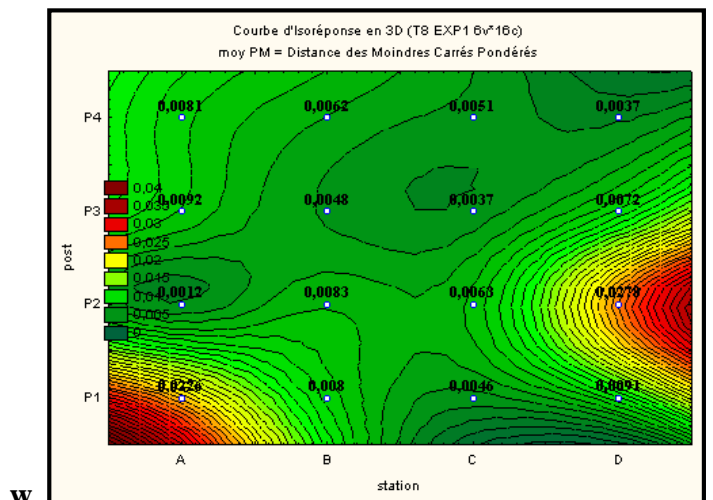
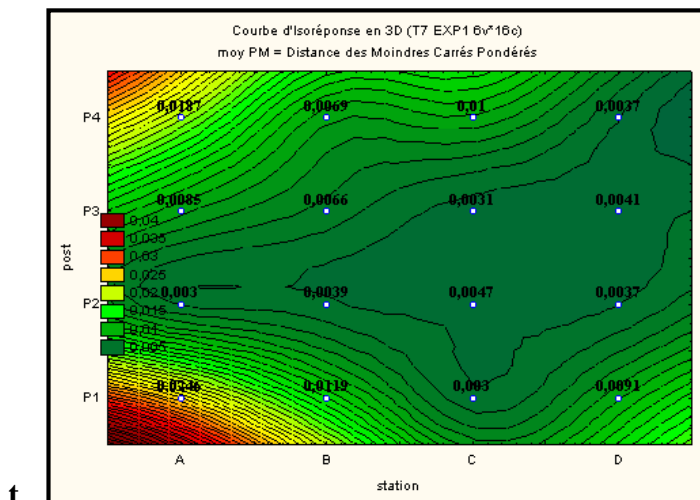
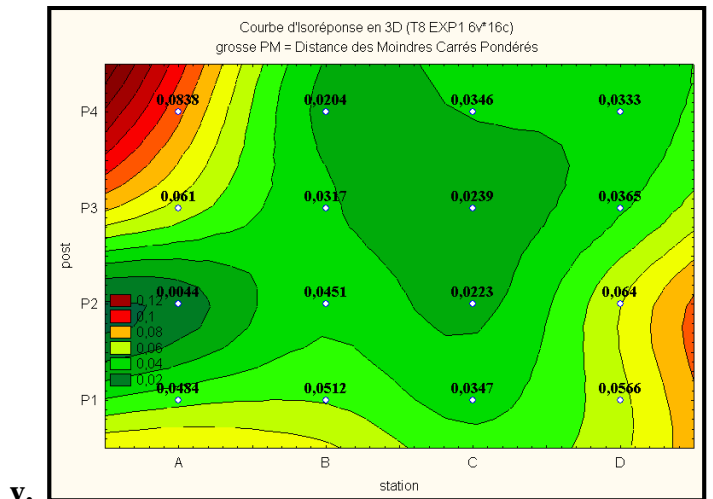
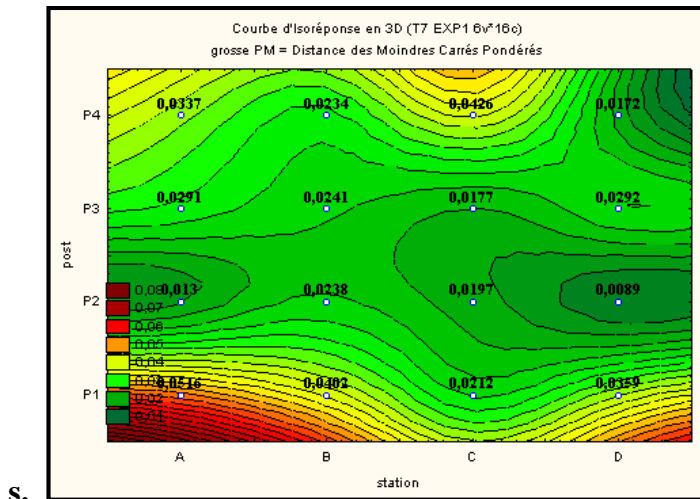


Figure n°32 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées dans la 7^{ème} semaine de la première expérimentation (s. Grosses PM , t. Moyennes PM, u. Fines PM)

Figure n°33 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées dans la 8^{ème} semaine de la première expérimentation (v. Grosses PM , w. Moyennes PM, x. Fines PM)

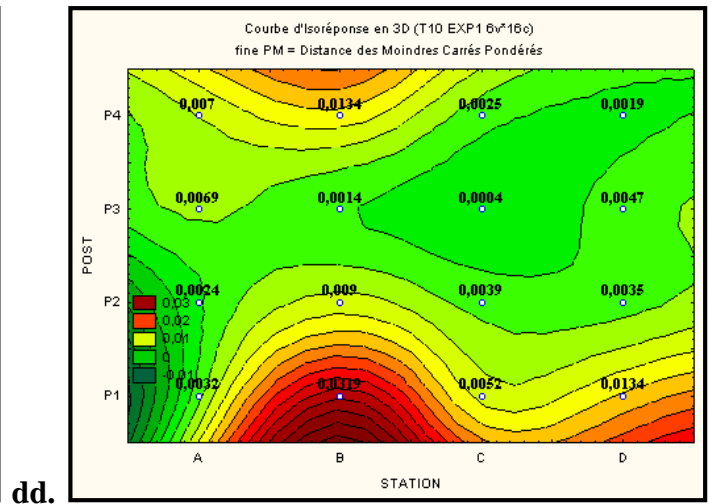
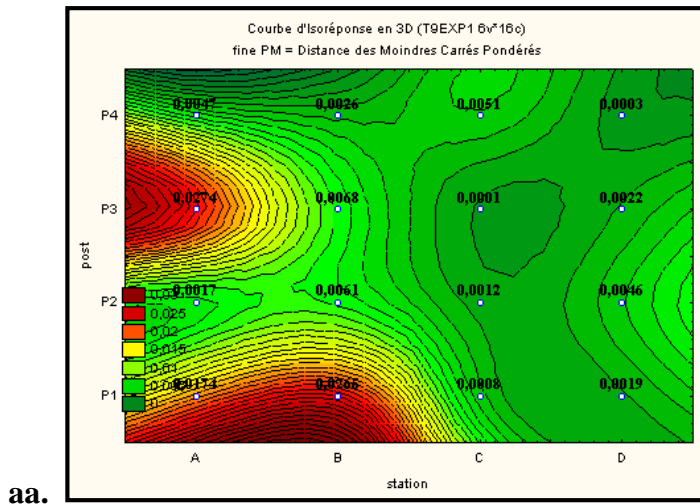
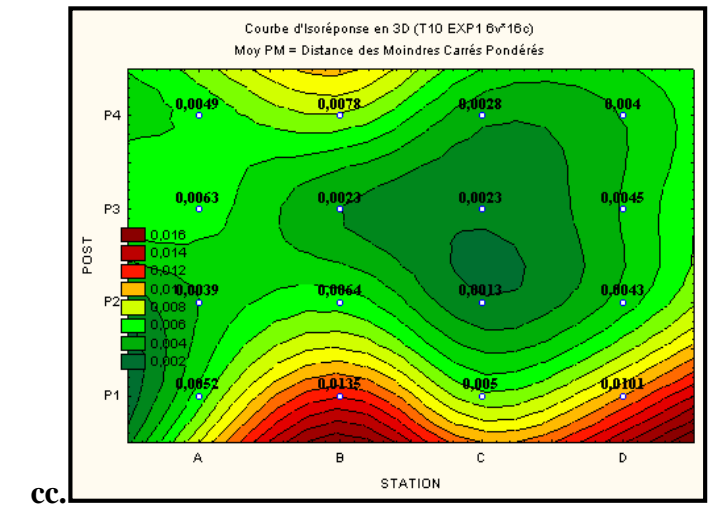
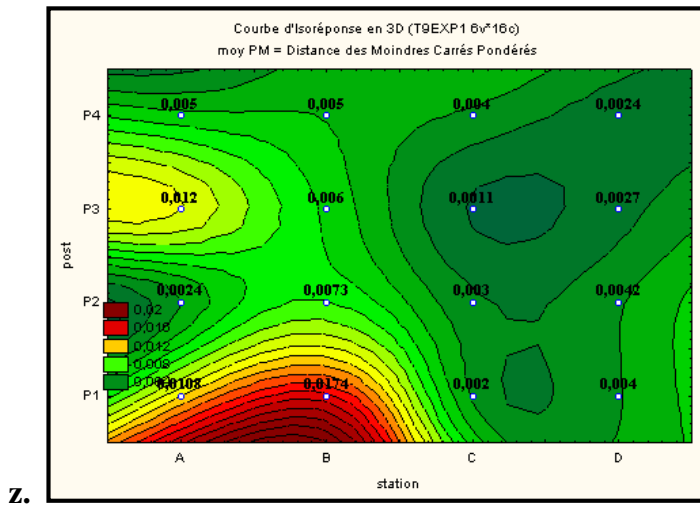
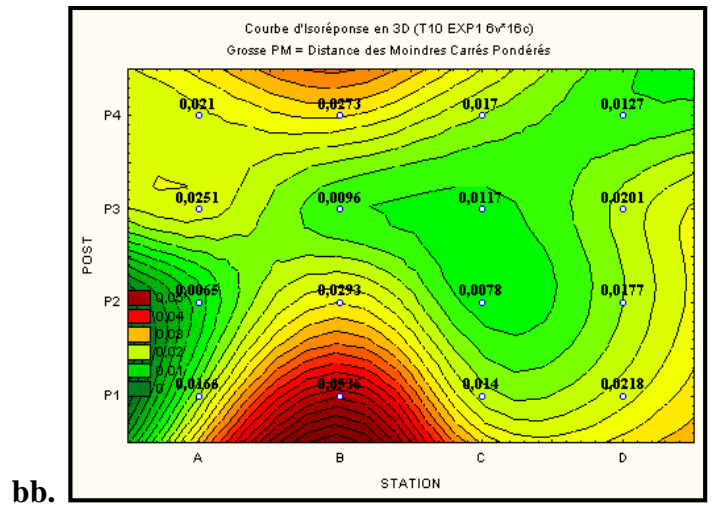
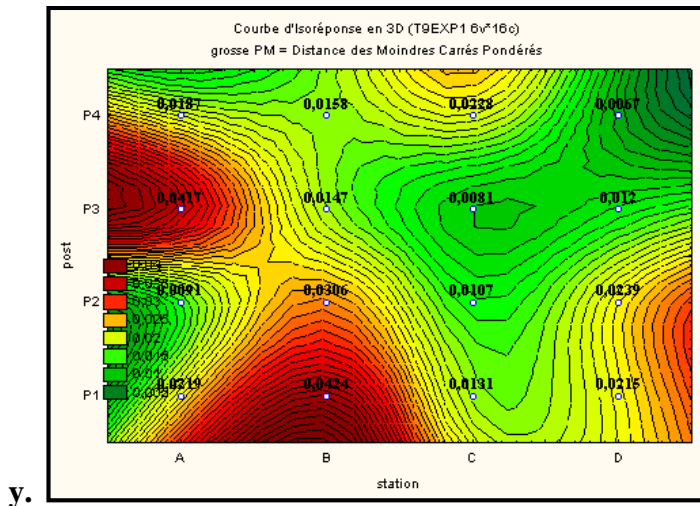


Figure n°34: Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées dans la 9^{ème} semaine de la première expérimentation (y. Grosses PM , z. Moyennes PM, aa. Fines PM)

Figure n°35 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées dans la 10^{ème} semaine de la première expérimentation (bb.Grosses PM , cc. Moyennes PM, dd. Fines PM)

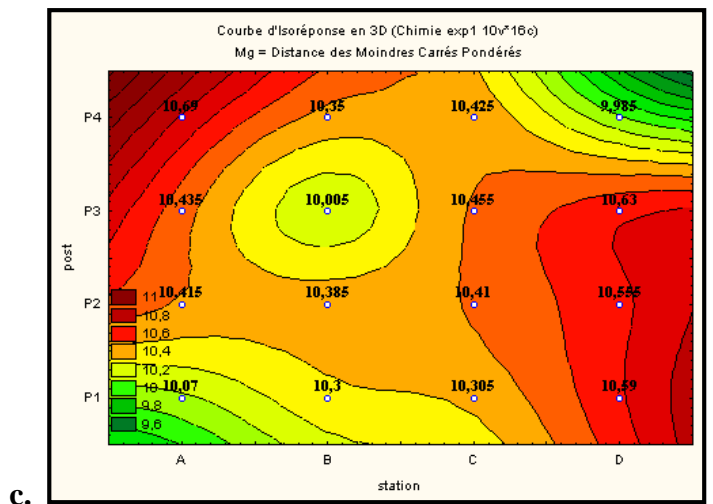
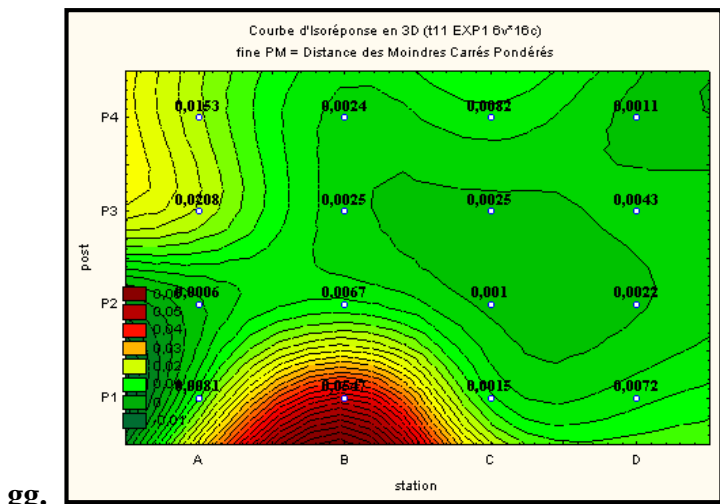
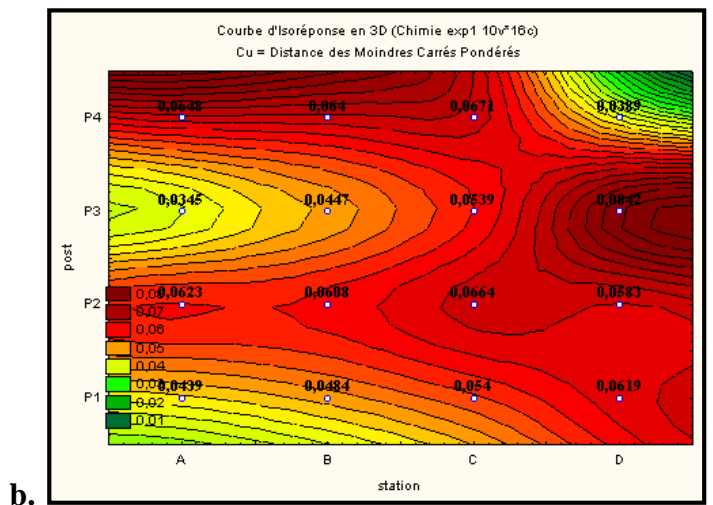
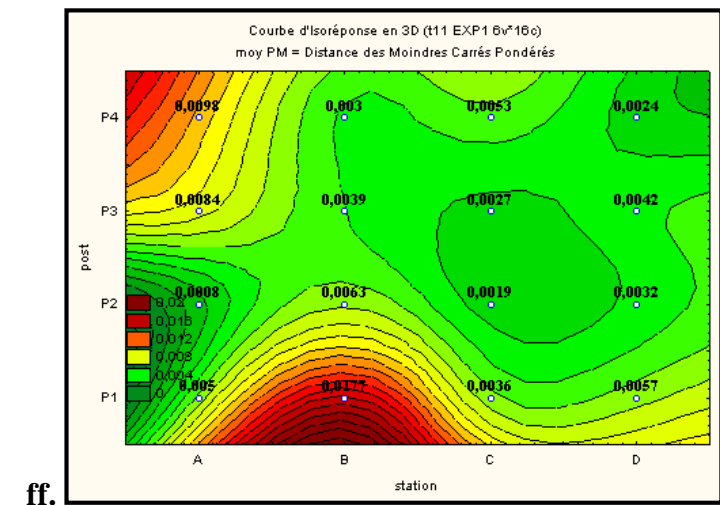
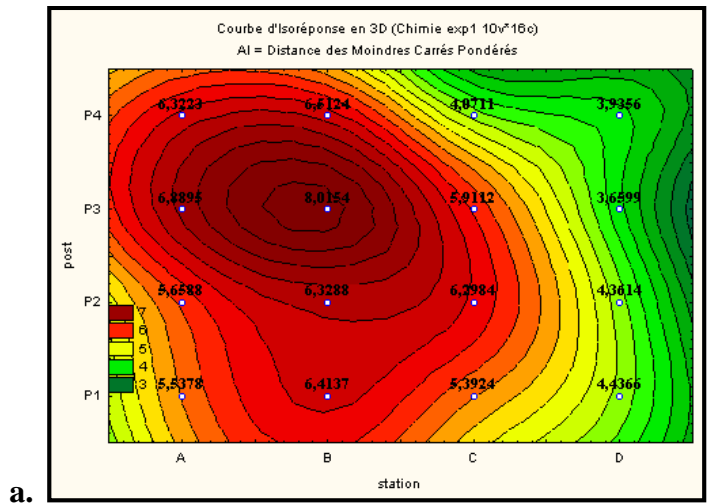
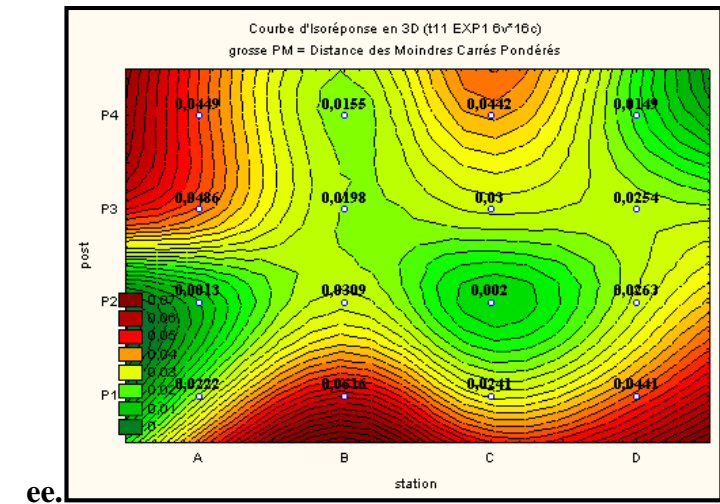


Figure n°36 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées dans la 11^{ème} semaine de la première expérimentation (s. Grosses PM , t. Moyennes PM, u. Fines PM)

Figure n°37: Les courbes d'iso-réponse en 3D des différents éléments chimiques collectées de la première expérimentation. (a. Aluminium, b. Cuivre, c. Magnésium)

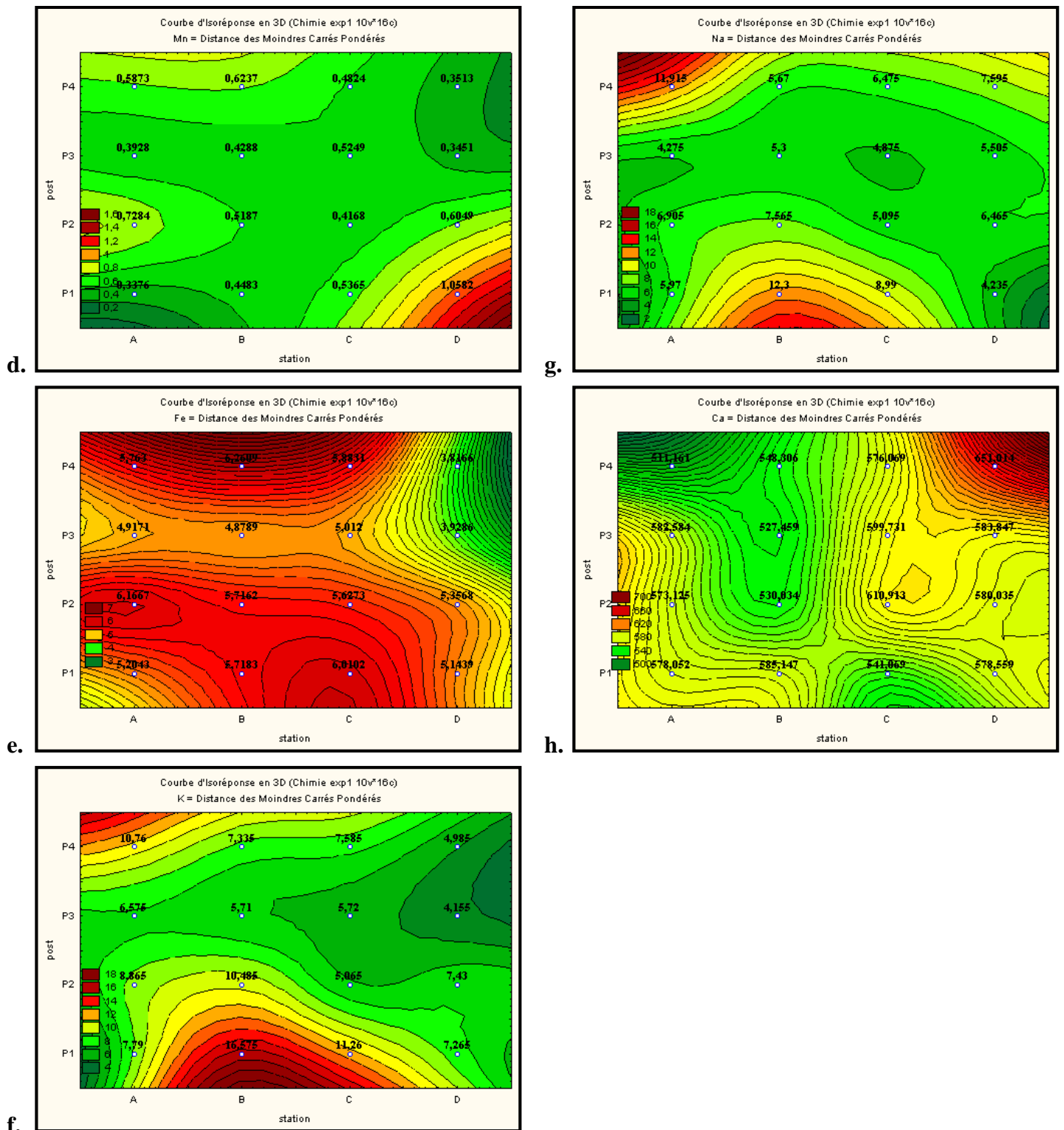


Figure n°38 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différents éléments chimiques collectées de la première expérimentation. (d. Manganèse, e. Fer, f. Potassium, g. Sodium, h. Calcium)

Annexe n° 05 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des quantités de poussière collectées dans la deuxième expérimentation

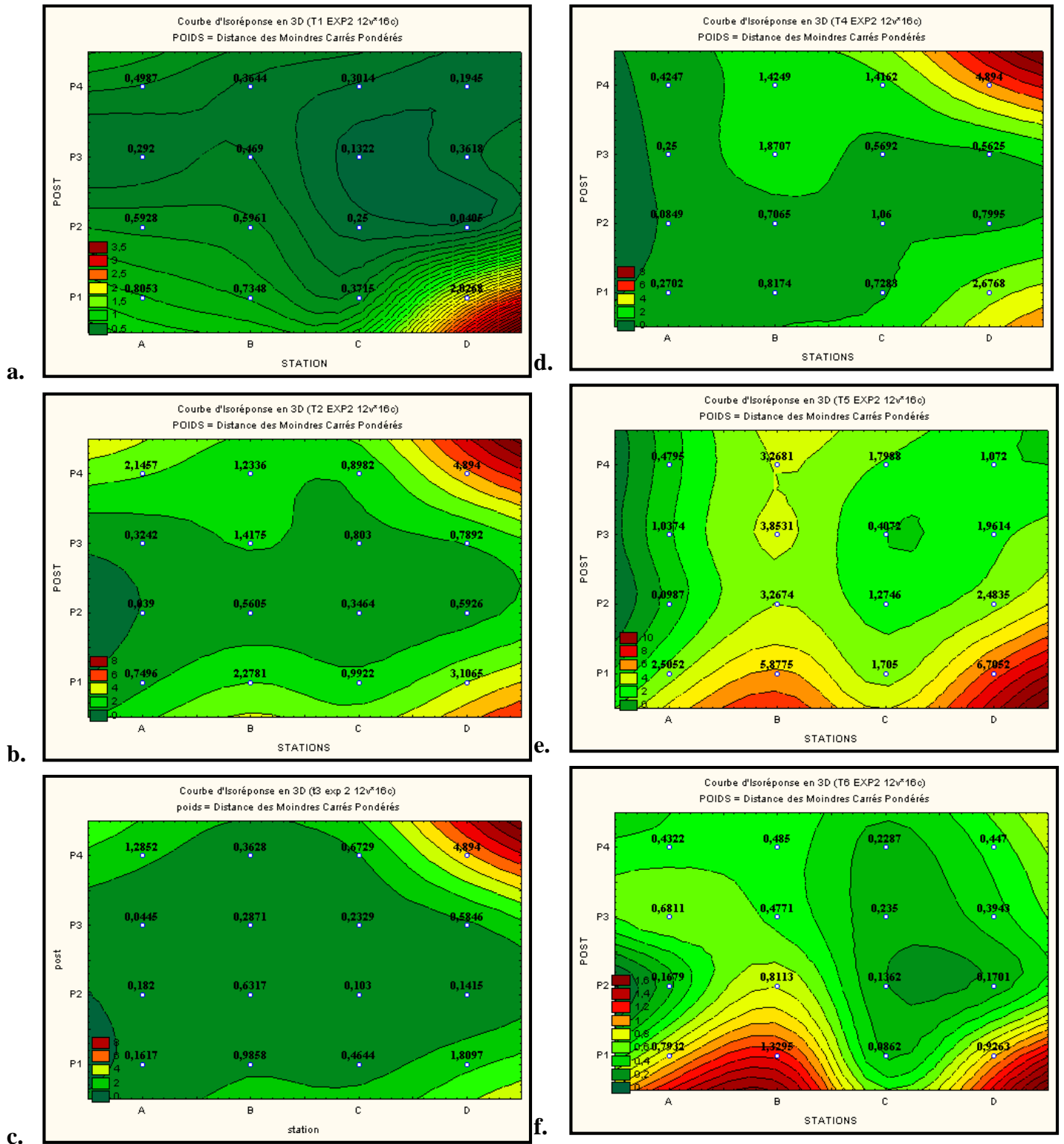


Figure n°45 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des quantités de poussière collectées dans la première expérimentation (**a.** t1-Aout 2013, **b.** t2-Septembre 2013, **c.** t3-Octobre 2013, **d.** t4-Novembre 2013, **e.** t5-Décembre 2013, **f.** t6-Janvier 2014)

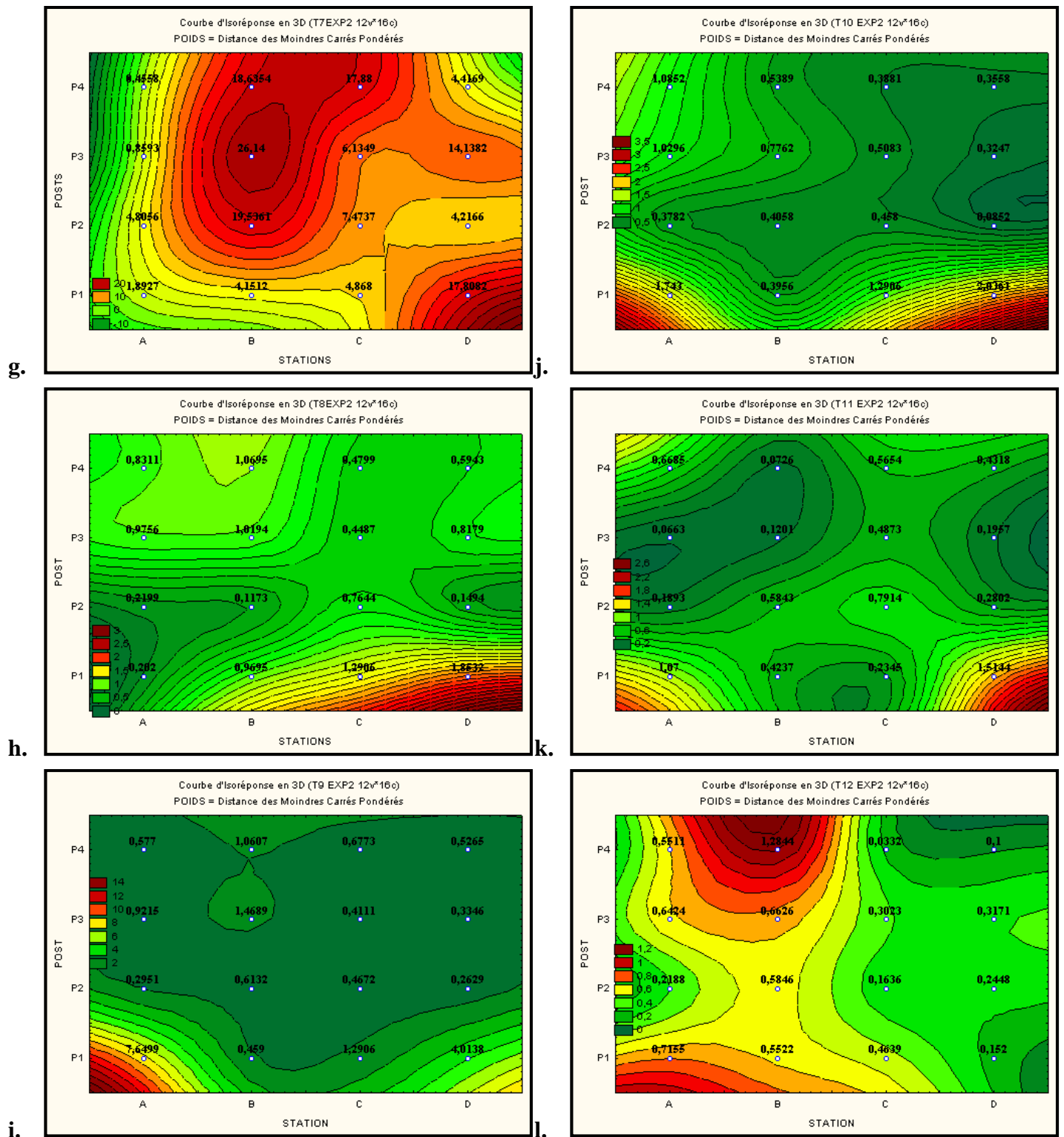


Figure n°46 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des quantités de poussière collectées dans la première expérimentation (g. t7- Février 2014, h. t8-Mars 2014, i. t9-Avril 2014, j. t10-Mai 2014, k. t11-Juin 2014, l. t12-Juillet 2014)

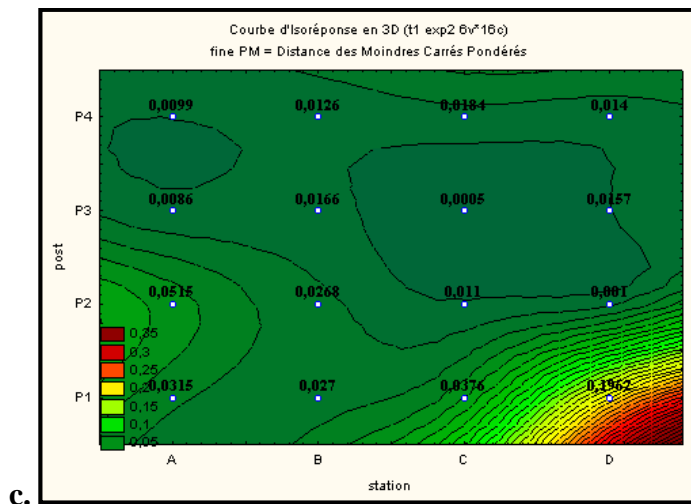
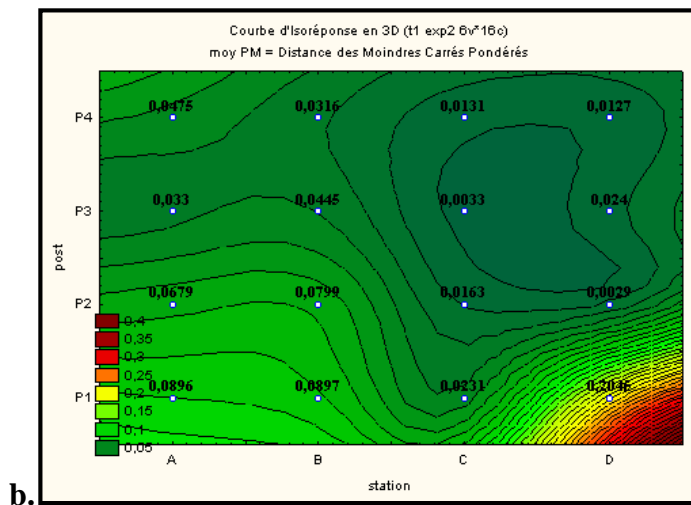
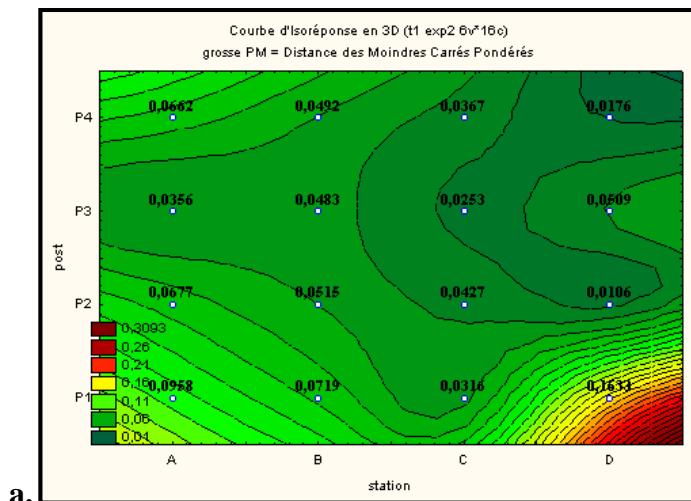


Figure °47 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées à Aout 2013 de la deuxième expérimentation (a. Grosses PM, b. Moyennes PM, c. Fines PM)

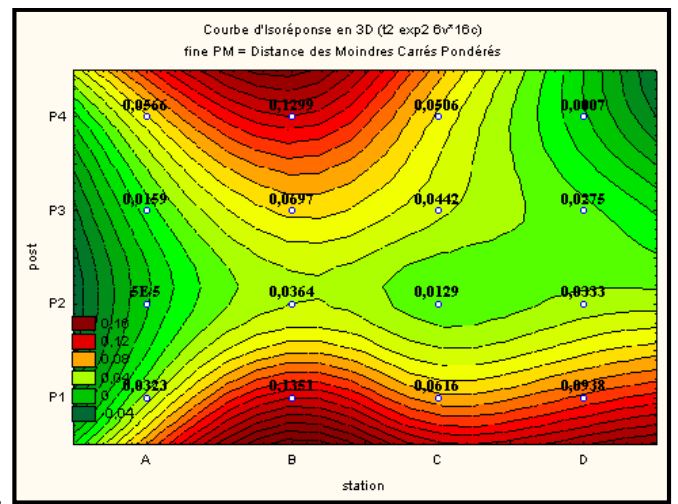
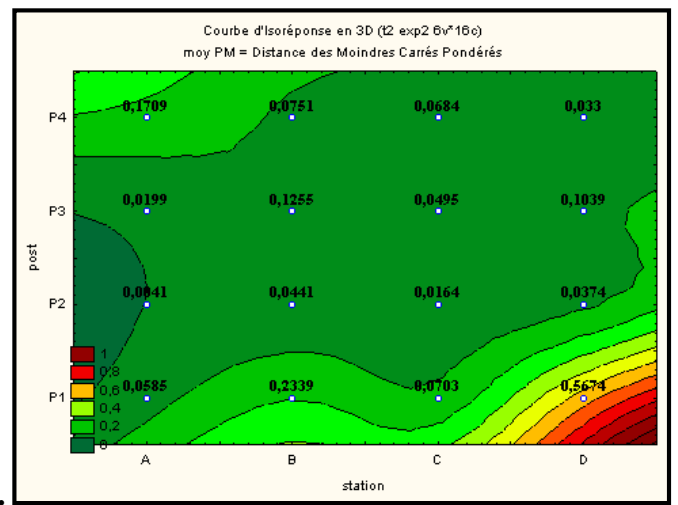
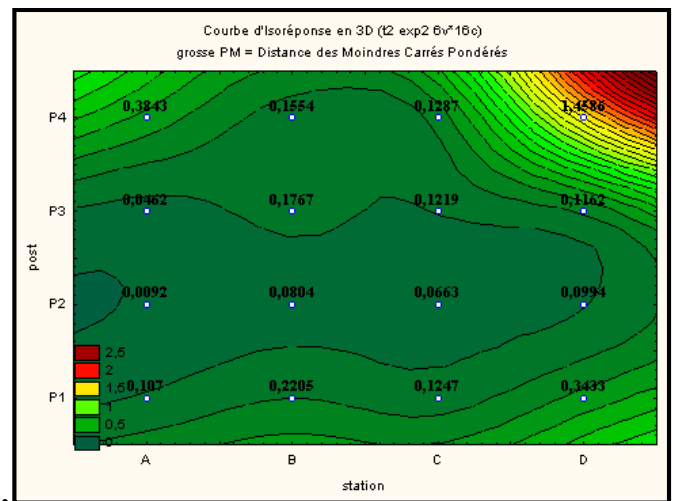


Figure n°48 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées à Septembre 2013 de la deuxième expérimentation (d. Grosses PM, e. Moyennes PM, f. Fines PM)

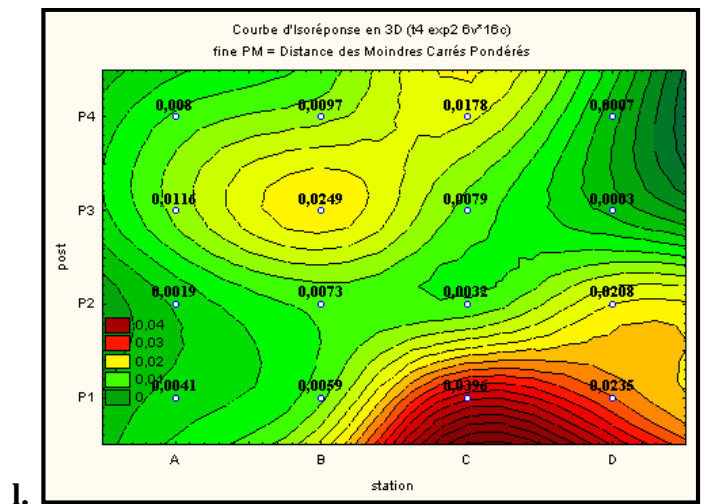
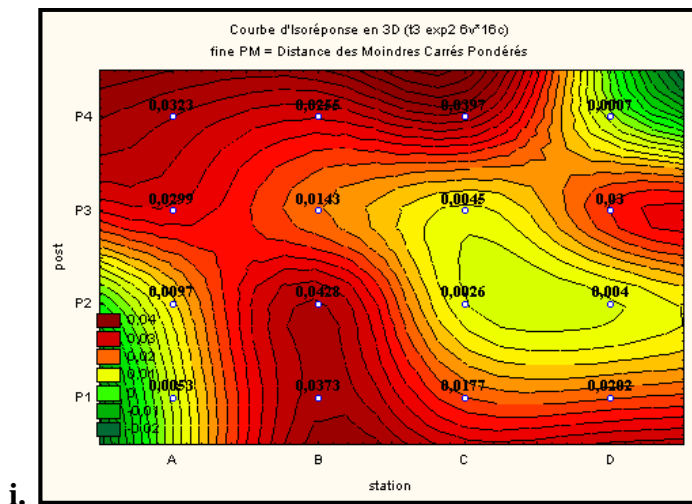
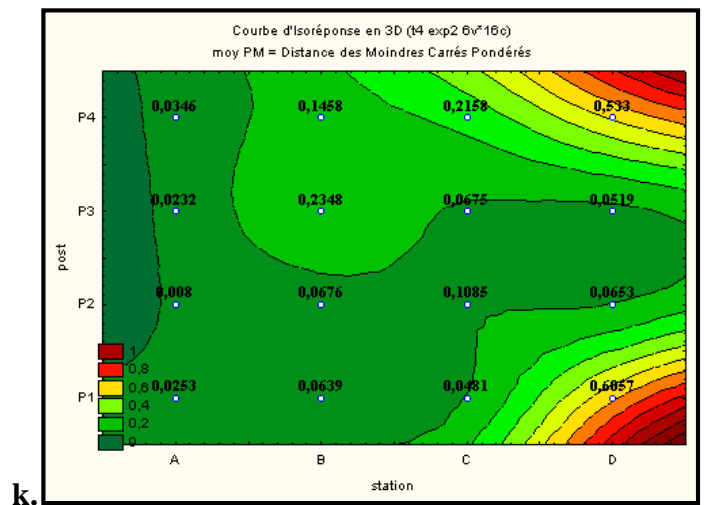
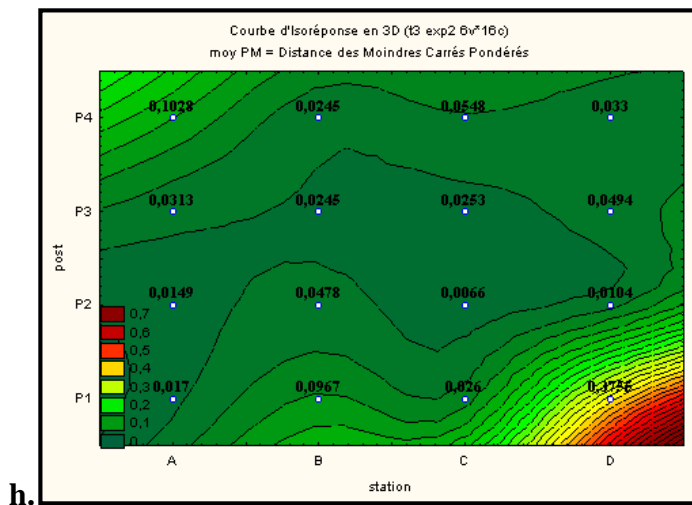
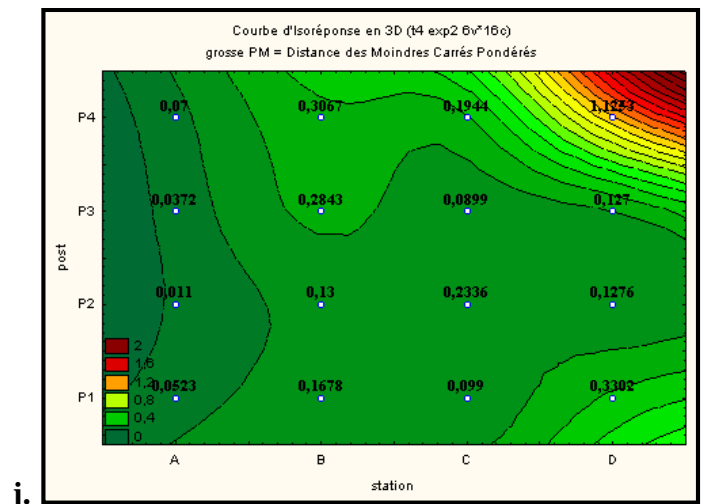
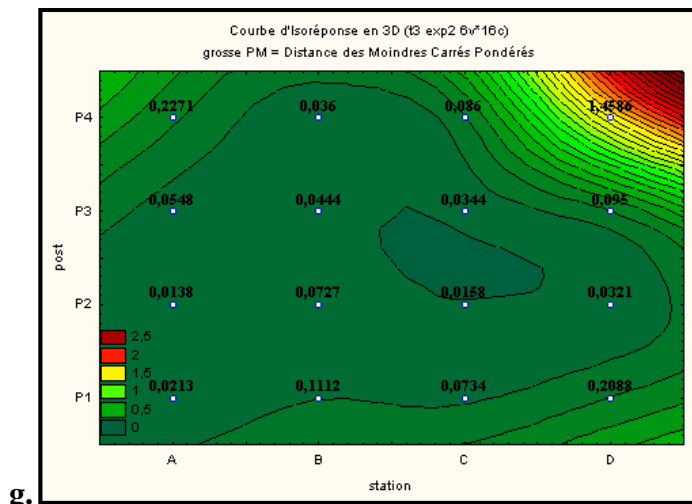


Figure n°49 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées à Octobre 2013 de la deuxième expérimentation (**g.** Grosses PM, **h.** Moyennes PM, **i.** Fines PM)

Figure n°50 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées à Novembre 2013 de la deuxième expérimentation (**j.** Grosses PM, **k.** Moyennes PM, **l.** Fines PM)

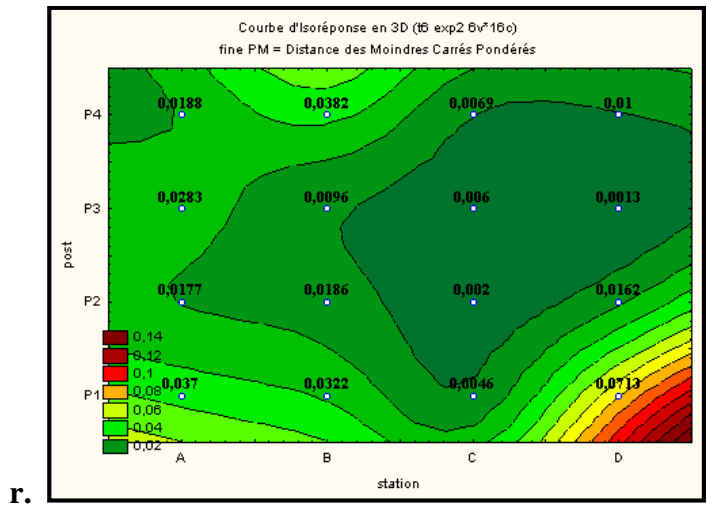
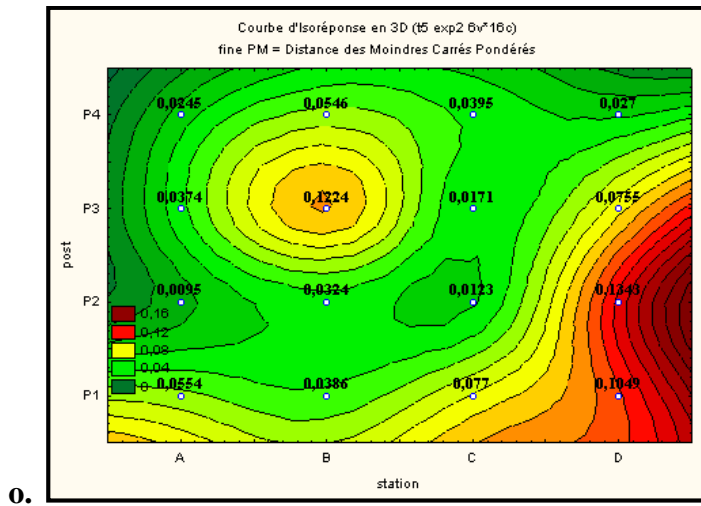
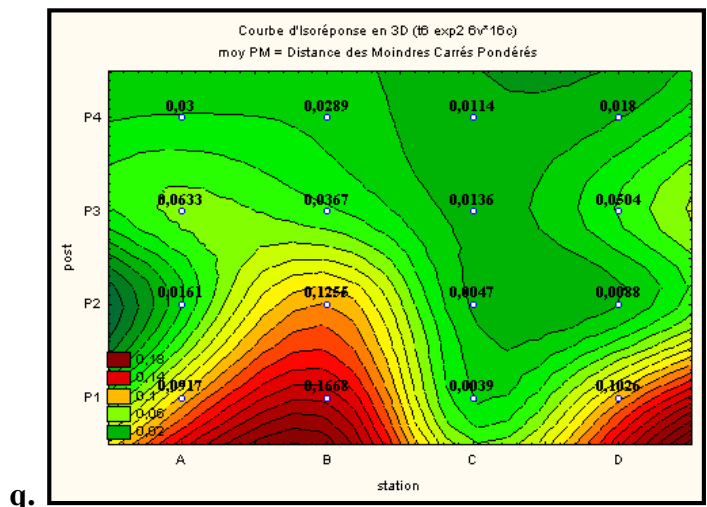
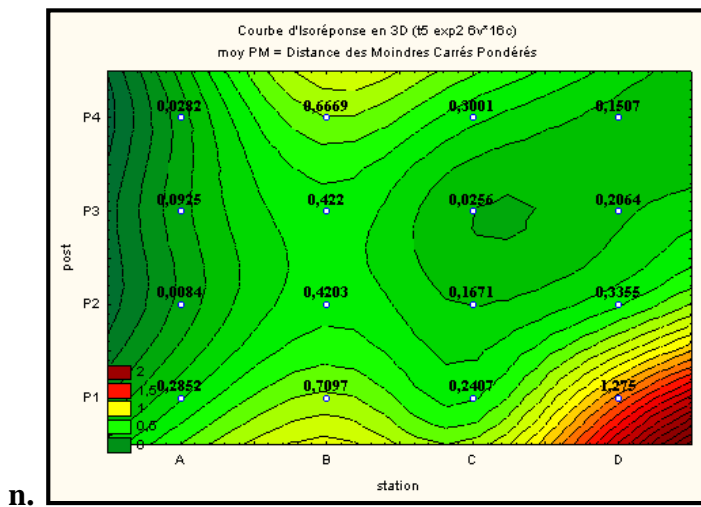
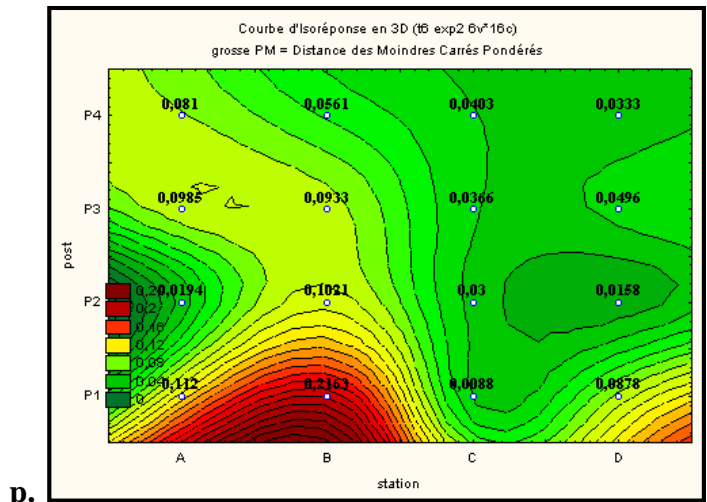
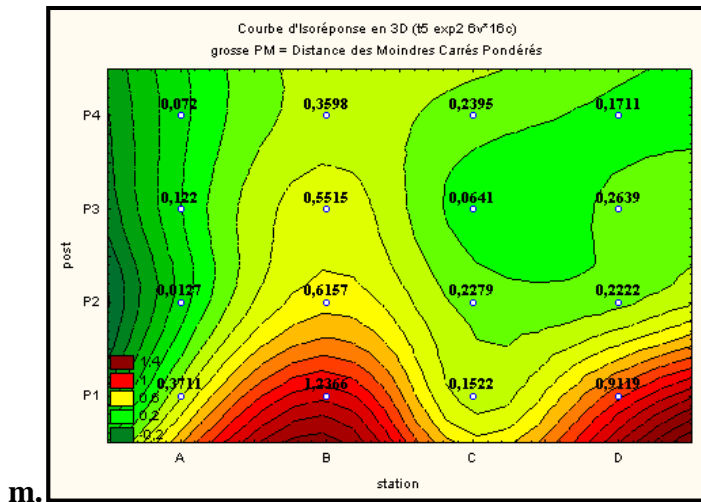


Figure n°51 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées à Décembre 2013 de la deuxième expérimentation (**m.** Grosses PM, **n.** Moyennes PM, **o.** Fines PM)

Figure n°52 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées à Janvier 2014 de la deuxième expérimentation (**p.** Grosses PM, **q.** Moyennes PM, **r.** Fines PM)

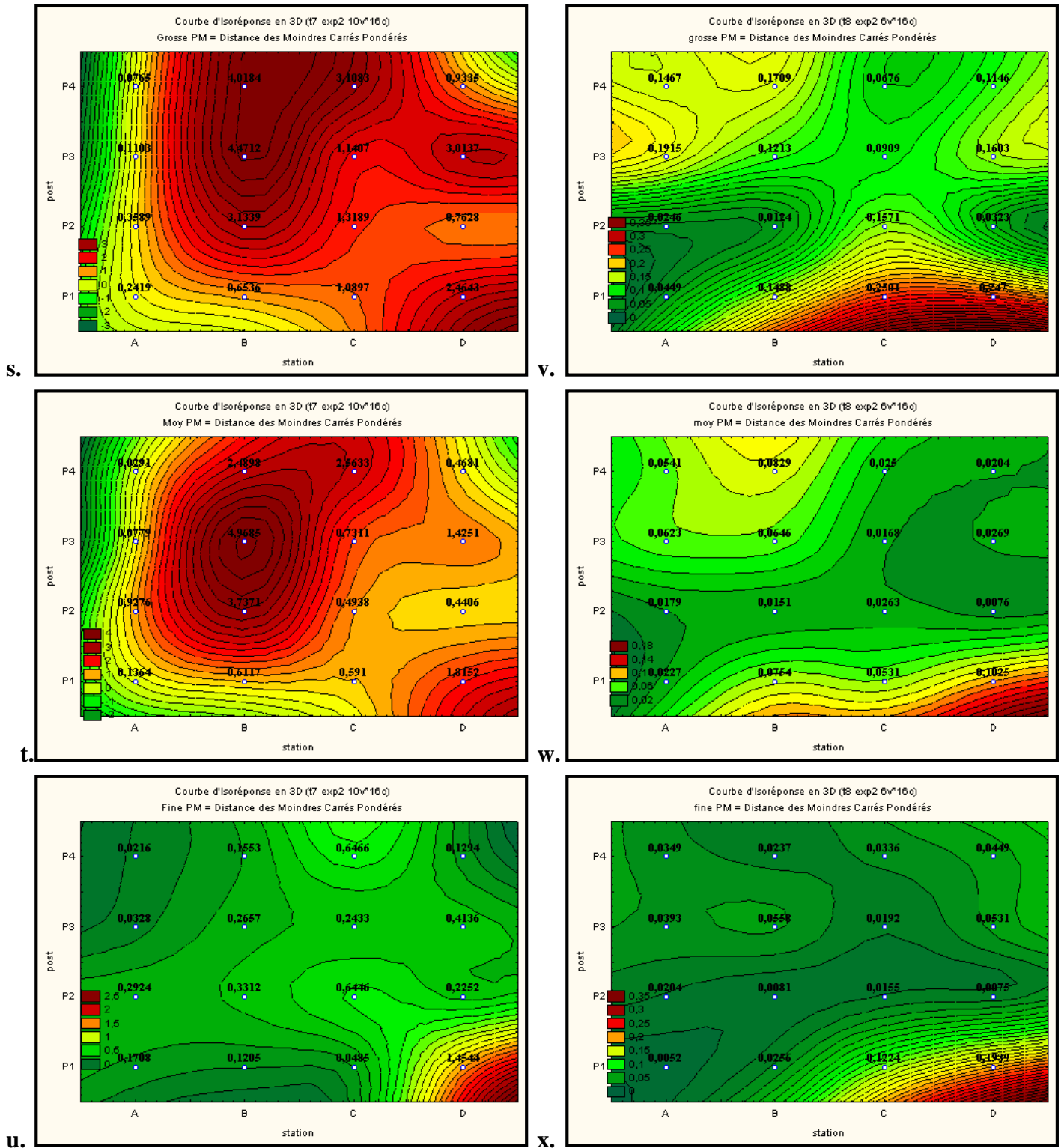


Figure n°53 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées à Mars en Février 2014 de la deuxième expérimentation (s. Grosses PM, t. Moyennes PM, u. Fines PM)

Figure n°54 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées à Mars en Février 2014 de la deuxième expérimentation (v. Grosses PM, w. Moyennes PM, x. Fines PM)

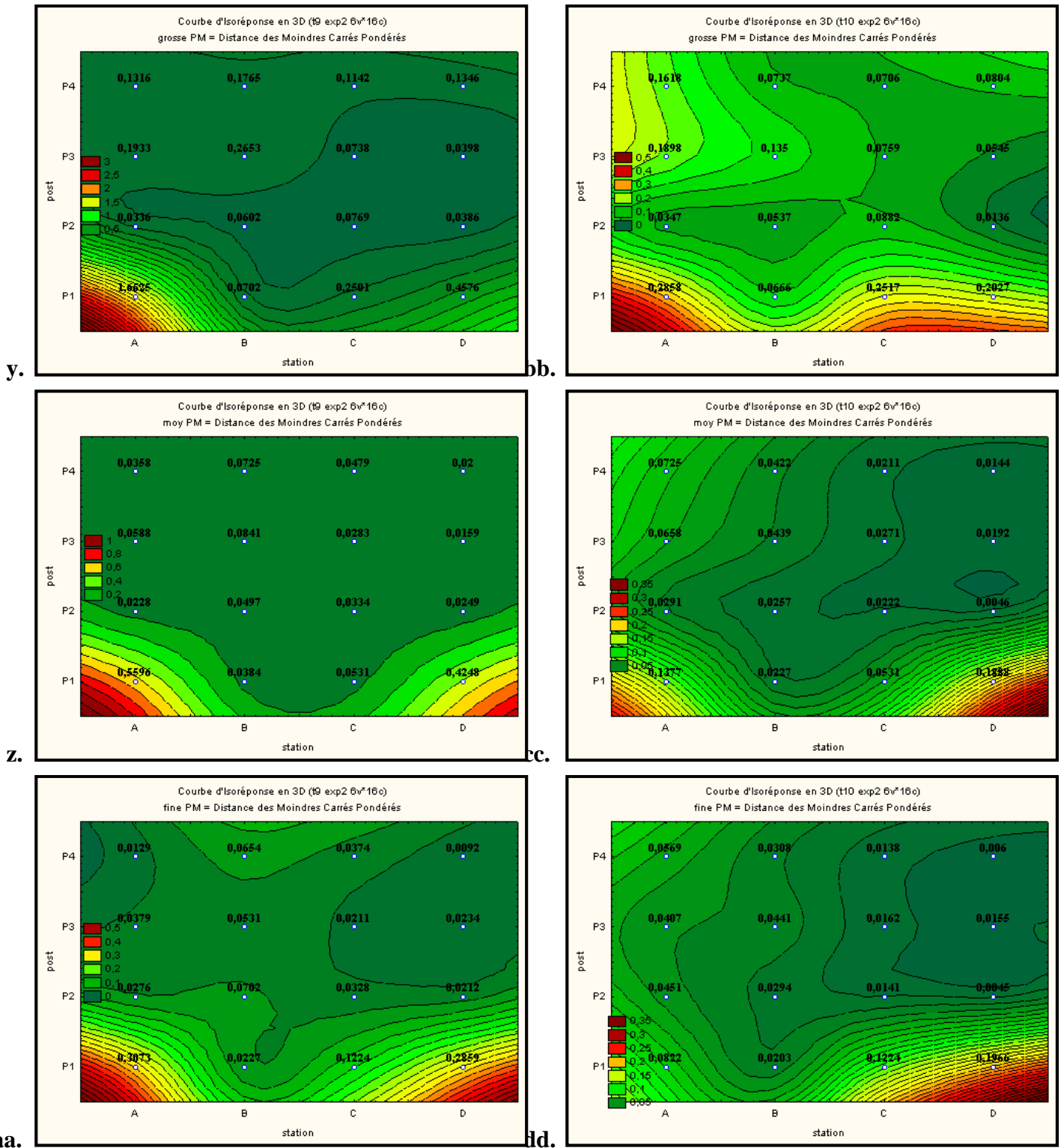


Figure n°55 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées à Avril 2014 de la deuxième expérimentation (y. Grosses PM, z. Moyennes PM, aa. Fines PM)

Figure n°56 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées à Mai 2014 de la deuxième expérimentation (bb. Grosses PM, cc. Moyennes PM, dd. Fines PM)

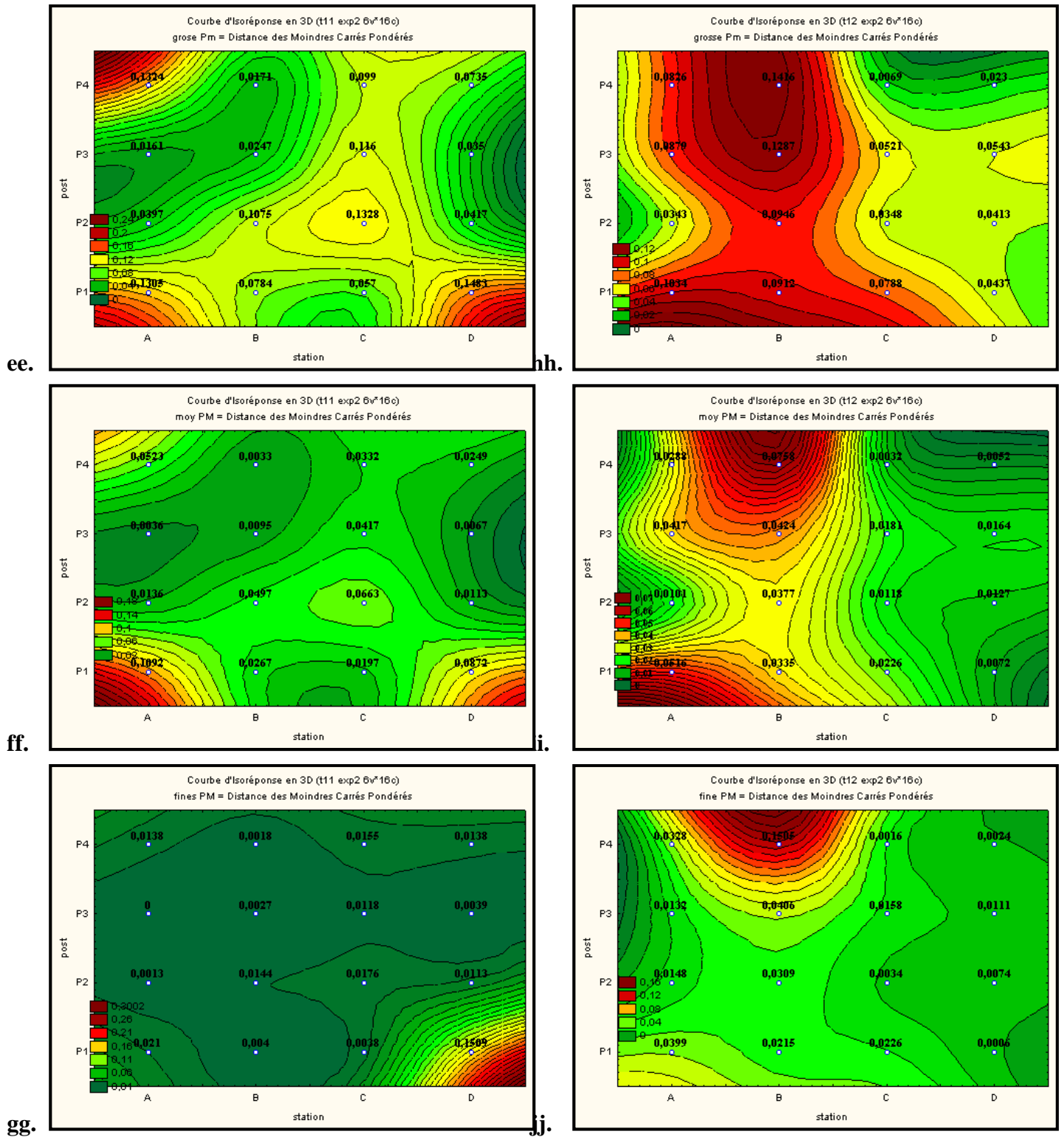


Figure n°57 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées à Juin 2014 de la deuxième expérimentation (ee. Grosses PM, ff. Moyennes PM, gg. Fines PM)

Figure n°58 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différentes fractions de poussière collectées à Juillet 2014 de la deuxième expérimentation (hh. Grosses PM, ii. Moyennes PM, jj. Fines PM)

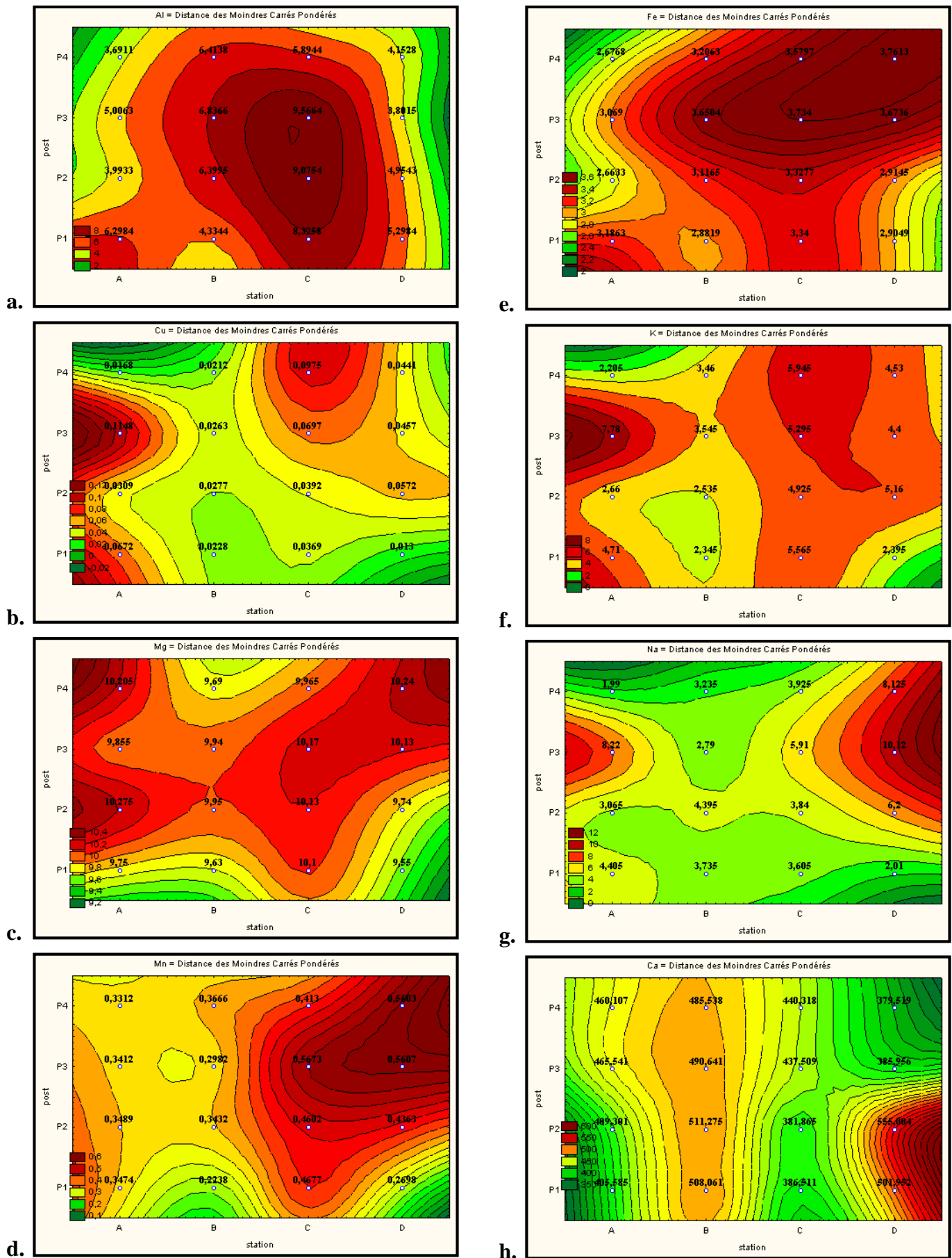


Figure n°59 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différents éléments chimiques des poussières collectées à l'automne 2014 de la deuxième expérimentation (a. Al, b. Cu, c. Mg, d. Mn, e. Fe, f. K, g. Na, h. Ca).

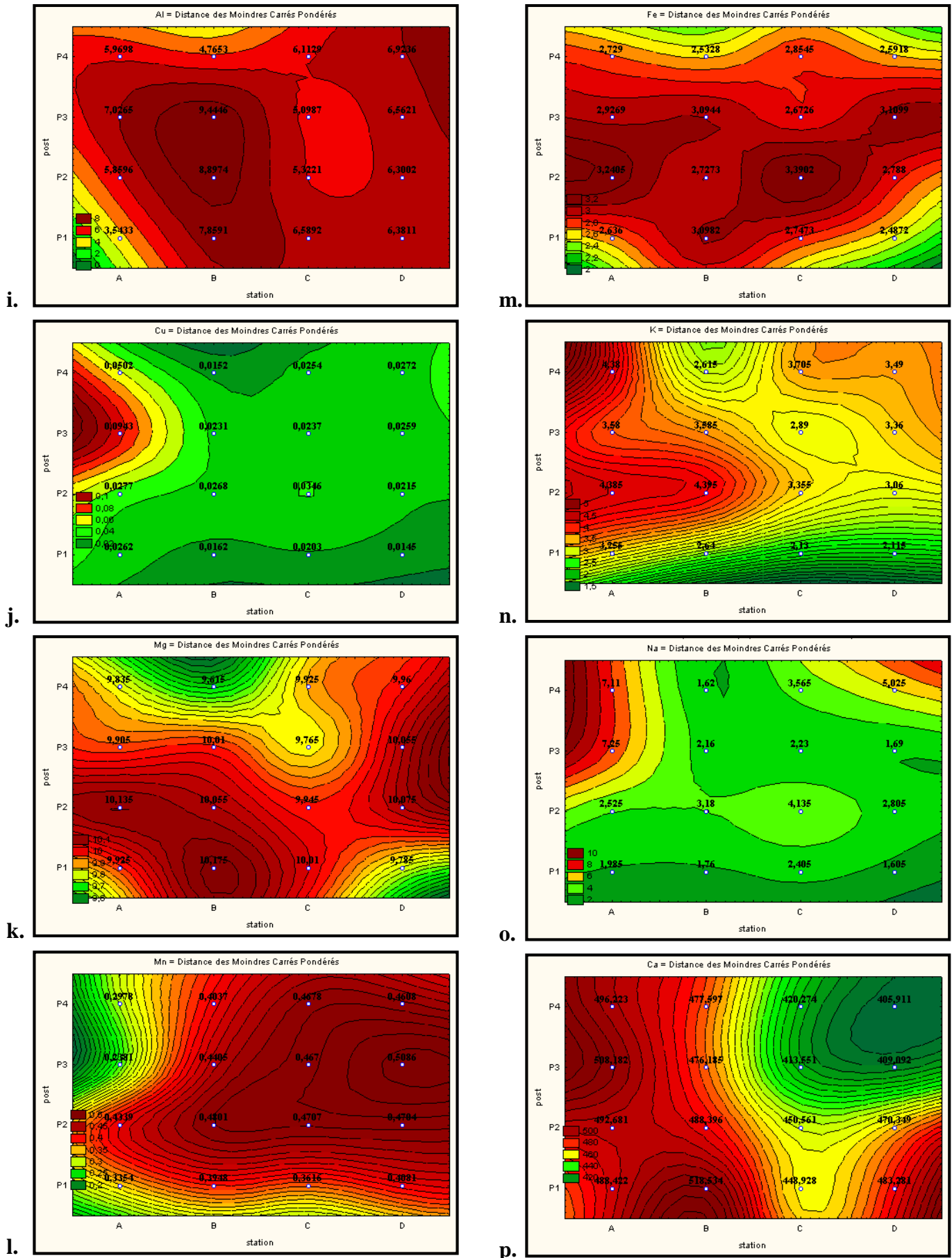


Figure n°60 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différents éléments chimiques des poussières collectées à l'hiver 2014-2015 de la deuxième expérimentation (**i.** Al, **j.** Cu, **k.** Mg, **l.** Mn, **m.** Fe, **n.** K, **o.** Na, **p.** Ca).

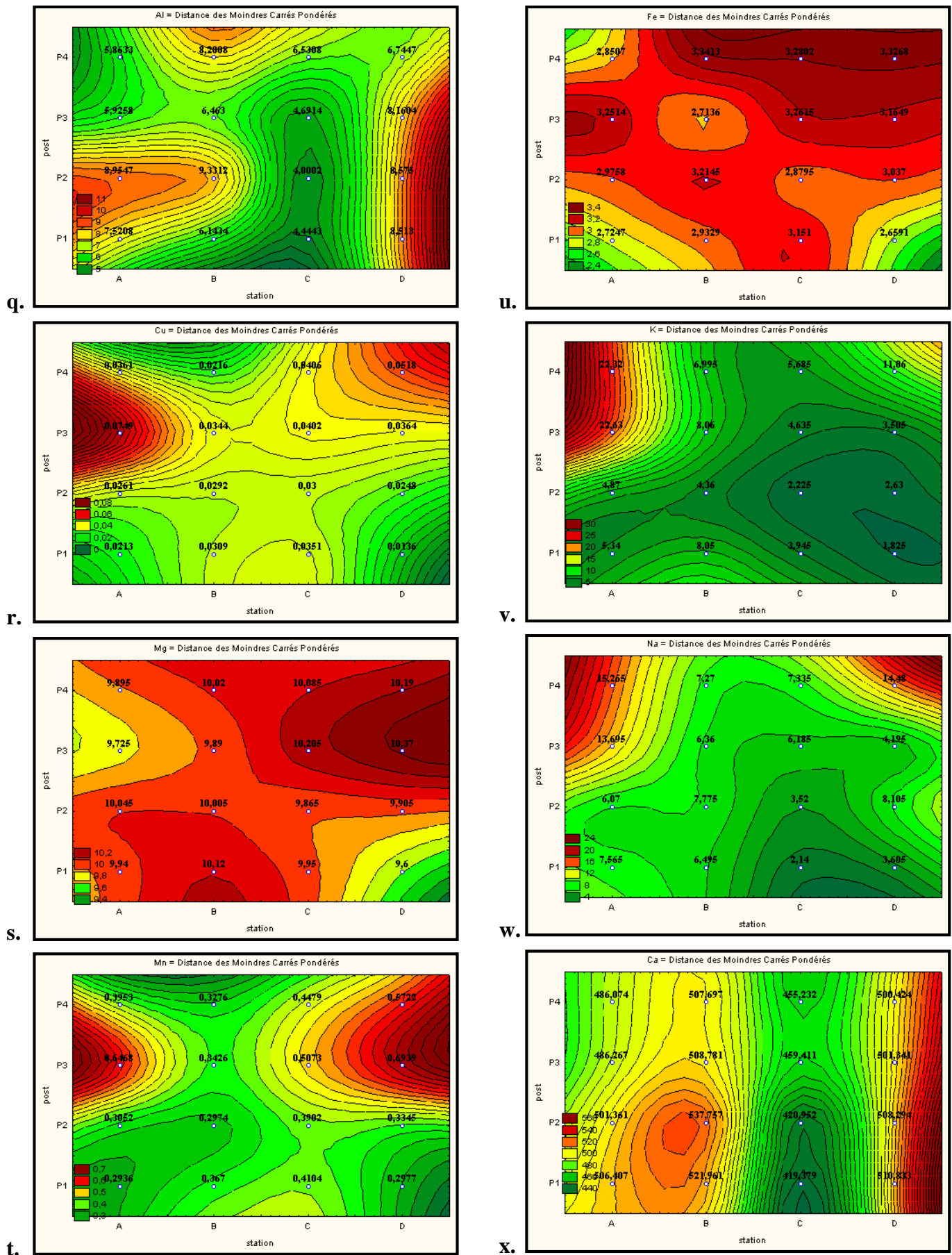


Figure n° 61 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différents éléments chimiques des poussières collectées à le printemps 2014-2015 de la deuxième expérimentation (q. Al, r. Cu, s. Mg, t. Mn, u. Fe, v. K, w. Na, x. Ca).

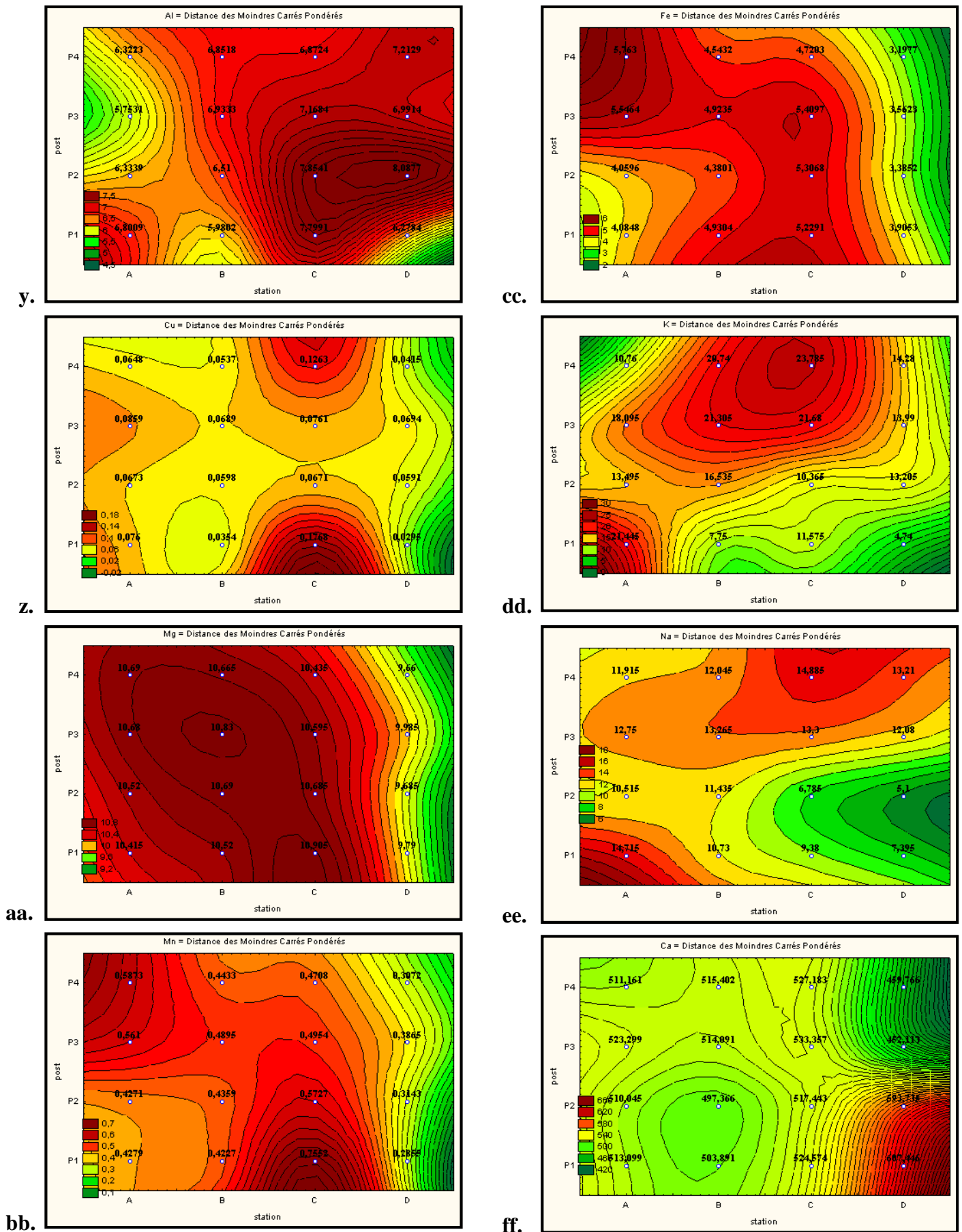


Figure 62 : Les courbes d'iso-réponse en 3D des différents éléments chimiques des poussières collectées à l'été 2015 de la deuxième expérimentation (**y.** Al, **z.** Cu, **aa.** Mg, **bb.** Mn, **cc.** Fe, **dd.** K, **ee.** Na, **ff.** Ca).

