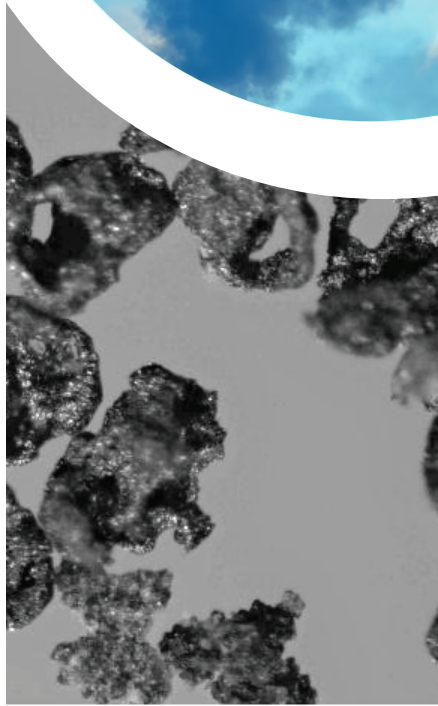


Résultats analytiques des laboratoires
de recherche de Greenpeace (GRL)

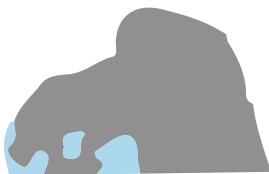
Analyse des poussières sédimentées provenant de la ville de **Kénitra, Maroc**



GREENPEACE
غرينبيس



جمعية أوكسجين للبيئة والصحة
Oxygen Association for Environment and Health



Avertissement :

Les résultats présentés dans ce rapport ne permettent pas d'identifier de manière concluante la source précise des dépôts de poussières noires. Il convient de préciser que toute référence à une installation ou à une activité dans le présent rapport est faite uniquement dans le cadre d'une observation scientifique et d'une évaluation environnementale, notamment en raison de sa proximité avec les sites d'échantillonnage. Ces références ne doivent en aucun cas être interprétées comme une allégation, une attribution de responsabilité ou une identification d'une quelconque installation en tant que source de pollution.

La proximité des sites d'échantillonnage avec une centrale électrique, dont il est rapporté qu'elle fonctionne de manière périodique et utilise du fioul lourd, constitue un élément d'observation pertinent pouvant justifier des investigations complémentaires. Toutefois, l'attribution définitive de l'origine de ces dépôts nécessiterait des investigations ciblées supplémentaires, des analyses spécifiques d'identification des sources ainsi que des éléments de preuve complémentaires dépassant le cadre de la présente étude.

Introduction

Les laboratoires de recherche de Greenpeace (GRL) ont reçu deux échantillons de poussière noire sédimentée, prélevés les 15 et 16 août 2022 à Kénitra, au Maroc, pour analyse le 30 août 2022. Ces échantillons ont été collectés à proximité d'une centrale électrique située dans une zone industrielle avoisinante, laquelle est rapportée par les habitants comme utilisant du fioul lourd comme combustible. La nature de ces échantillons consistait en une fine poudre noire sèche, préalablement stockée dans des sacs plastiques neufs et stériles de type "zip lock", et acheminée vers le laboratoire dans ces récipients. À réception, les échantillons ont été conservés dans l'obscurité à une température de 4 degrés Celsius en vue de leur analyse ultérieure. Le tableau 1 présente en détail les caractéristiques des échantillons reçus.



Tableau 1



Code de l'échantillon aux GRL	Date et heure de l'échantillonnage	Lieu de l'échantillonnage	GPS	Distance (km) et direction de la centrale électrique
MA22001	15-8-2022 , 18h30	Toit d'une maison, quartier Khabazat, Kénitra	34.26428 N, -6.56489 W	2.3 Km, sud
MA22002	16-8-2022 , 19h15	Toit d'une maison, Bab Fès, Kénitra	34.27249 N, -6.55728 W	1.5 Km, sud-sud-est

Tableau 1: détails des échantillons reçus et analysés dans les laboratoires de recherche de Greenpeace (GRL)

Laboratoire de Recherche de Greenpeace École
des sciences biologiques
Centre d'Innovation Phase 2 Rennes Drive
Université d'Exeter EX4 4RN, Royaume-Uni

CONTENT

Introduction	2
Matériaux et méthodes	6
Résultats	8
Répartition des particules en fonction de leur taille	9
Microscopie visuelle	10
Analyse quantitative des métaux par l'ICP-MS	11
Dépistage qualitatif par GC-MS des contaminants organiques semi-volatils (COSV) extractibles par solvant	12
Pyrolyse qualitative GC-MS pour les composés organiques semi-volatils et les produits de pyrolyse	12
Analyse du carbone total	18
Analyse par infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)	18
Remarques finales	19
Références	21
Annexe 1	22

Matériaux et méthodes

Chaque échantillon a été soumis à un processus de tamisage utilisant des mailles de différentes tailles afin de déterminer la plage de tailles des particules présentes dans le matériau. Les fractions de taille prédominante, situées entre 63 μm et 250 μm , ont été sélectionnées pour chaque échantillon, et ont servi de base à une série de techniques d'analyse approfondie, comprenant :

Microscopie
visuelle

Analyse
quantitative des
métaux par
spectrométrie
de masse à
plasma (ICP-MS)
après digestion
acide

Dépistage
qualitatif des
contaminants
organiques
semi-volatils
(COSV) extractibles
par solvant par
chromatographie
en phase gazeuse
couplée à la
spectrométrie de
masse (GC-MS)

**Pyrolyse
qualitative par
GC-MS pour
l'identification des
composés
organiques
semi-volatils et des
produits de
pyrolyse**

**Analyse du
carbone total**

**Analyse
infrarouge par
transformée de
Fourier (FTIR)**

Pour plus de détails sur les méthodes spécifiques relatives à chaque type d'analyse, veuillez vous référer à l'annexe 1.



Résultats

Les sections suivantes exposent les résultats obtenus à partir de chacune des analyses susmentionnées.

Répartition des particules en fonction de leur taille

Pour les deux échantillons, la majorité des particules (94-95 %) étaient de taille inférieure à 355 μm , tandis que le reste se composait principalement de particules plus grosses qui présentaient visuellement des différences par rapport aux particules noires constituant la majorité de chaque échantillon. Parmi les particules de taille inférieure à 355 μm , la plupart se situaient dans la plage de 63 μm à 250 μm (voir le Tableau 2 pour plus de détails). Les observations de microscopie visuelle effectuées sur la tranche de particules comprises entre 250 μm et 355 μm ont révélé des particules présentant une similitude visuelle remarquable avec celles de la plage 63-250 μm (voir les images ci-dessous). Dans les deux échantillons, la faible quantité de particules de moins de 63 μm avait une teinte brun clair, distincte visuellement de la tranche principale.

La gamme de tailles des particules observées dans les échantillons correspond aux cendres volantes produites par les centrales électriques utilisant du fioul lourd, en particulier dans des conditions de combustion défavorables (Al-Degs et al., 2014 ; Kwon et al., 2004 ; Yu et al., 1996), bien que d'autres sources de particules puissent également présenter des plages de tailles similaires.

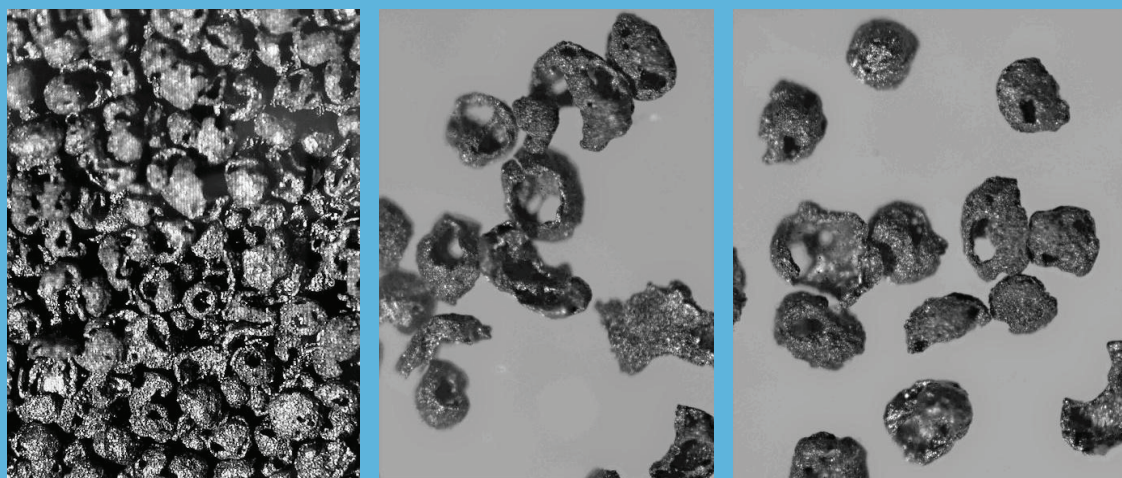
Tranche de taille	MA22001	MA22002
355 - 250 μm	24.5 %	34.1 %
63 - 250 μm	74.4 %	65.6 %
<63 μm	1.1 %	0.3 %

Tableau 2: Pourcentages de masse pour les différentes tranches de taille du matériau qui sont passées à travers la maille de 355 μm .

Microscopie visuelle

L'observation des particules dans la tranche de taille 63-250 μm des deux échantillons à l'aide d'un microscope visuel révèle la présence de particules creuses caractéristiques de la cénosphère (voir **figure 1**). Ces structures sont couramment observées dans les cendres volantes, notamment celles résultant de la combustion de fioul lourd (Caramuscio et al., 2003).

(a).



(b).

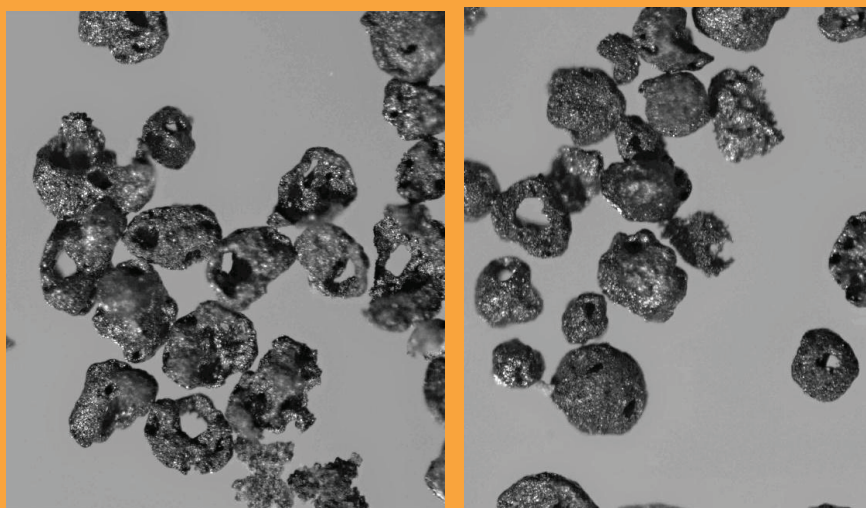
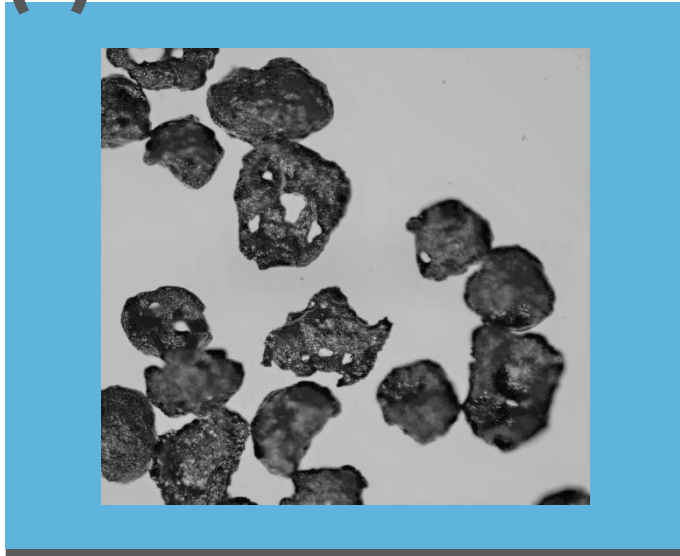


Figure 1: Images de microscopie visuelle de la tranche 250-63 μm pour **(a) MA22001** et **(b) MA22002**.

Les particules de la tranche de taille 250-355 μm des deux échantillons présentaient une morphologie similaire à celles de la tranche 63-250 μm (voir figure 2).

(a).



(b).

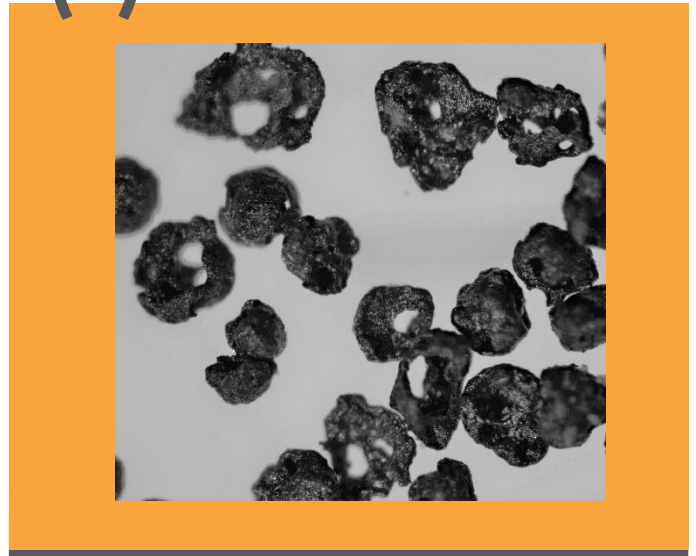


Figure 2: VImages de microscopie visuelle de la fraction 355-250 μm pour (a) MA22001 et (b) MA22002

Analyse quantitative des métaux par l'ICP-MS

Les concentrations d'une série de métaux et de métalloïdes dans la tranche de 63 à 250 μm de chaque échantillon sont indiquées dans le Tableau 3 ci-dessous.

Les échantillons contenaient des concentrations notables de vanadium (1640-3060 mg/kg) et de nickel (656-1180 mg/kg). Les cendres volantes provenant de fioul lourd ont été identifiées comme contenant des concentrations relativement élevées de vanadium et de nickel, bien que généralement à des concentrations encore plus élevées que celles des 2 échantillons, allant de 7000 à 61000 mg/kg de vanadium et de 2000 à 14000 mg/kg de nickel. En comparaison, les cendres volantes de charbon ont généralement une concentration plus faible de ces métaux, de l'ordre de 100 à 200 mg/kg pour le vanadium et de 30 à 200 mg/kg pour le nickel (Al-Degs et al. 2014). Les deux échantillons contenaient également d'autres métaux et métalloïdes à des concentrations inférieures à celles que l'on trouve généralement dans les cendres volantes de charbon, notamment de l'arsenic, du bore et de l'uranium (EPRI 2009).

Dépistage qualitatif par GC-MS des contaminants organiques semi-volatils (COSV) extractibles par solvant

Aucun composé organique extractible par solvant n'a été identifié dans les deux échantillons.

Pyrolyse qualitative GC-MS pour les composés organiques semi-volatils et les produits de pyrolyse

Aucun composé organique semi-volatil n'a pu être détecté après avoir chauffé ces deux échantillons à 200°C, ce qui suggère que le matériau est relativement inerte et de nature inorganique dans les deux cas.

Metal/metalloid		MA22001	MA22002
Aluminium	Al	2800	5380
Antimoine	Sb	0.6	1.9
Arsenic	As	2.7	4.3
Baryum	Ba	30.8	114
Béryllium	Be	0.10	0.21
Bore	B	15	23
Cadmium	Cd	0.28	0.28
Calcium	Ca	2790	3040
Cérium	Ce	8.9	8.9
Chrome	Cr	44.3	38.5
Cobalt	Co	6.08	10.4
Cuivre	Cu	34.6	41.8
Gallium	Ga	1.89	4.77
Fer	Fe	3660	9580
Plomb	Pb	18.1	39.4
Magnésium	Mg	1500	1850
Manganèse	Mn	84.4	120
Molybdène	Hg	<0.1	<0.1
Molybdène	Mo	24.0	42.4
Nickel	Ni	656	1180
Potassium	K	1540	1740
Sélénium	Se	0.30	0.52
Sodium	Na	2020	1610
Strontium	Sr	33.7	34.0
Thorium	Th	0.44	0.86
Etain	Sn	0.71	6.09
Titane	Ti	19	127
Uranium	U	0.20	0.25
Vanadium	V	1640	3060
Zink	Zn	180	222

Tableau 3:
Concentrations en métaux et métalloïdes (mg/kg de masse sèche) pour les fractions de taille 63-250 µm

La pyrolyse effectuée à 700°C n'a engendré que des pics mineurs de produits de pyrolyse (voir Figure 3), avec une présence plus importante et plus abondante dans l'échantillon MA22001 que dans MA22002. Cependant, ces résultats demeurent cohérents avec la nature relativement inerte du matériau. Les produits de pyrolyse détectés comprenaient de faibles résidus de benzène et de toluène, ainsi que des dérivés de furannes et de phénols, des composés courants issus de la pyrolyse de diverses matières organiques et non caractéristiques d'une source spécifique. Des traces de dérivés de furanone et de furfural ont également été observées, en particulier dans l'échantillon MA22001, ce qui pourrait suggérer la présence de petites quantités de matériaux biogéniques (par exemple, de petits fragments de matière végétale ou de poussière de sol) plutôt qu'une source de carbone fossile en tant que telle.

Malgré les efforts pour isoler uniquement les particules noires dans les sous-échantillons soumis à la pyrolyse, il n'a pas été possible de garantir l'exclusion de toute autre matière susceptible d'être déposée (et donc collectée par la suite) avec les particules noires. Par conséquent, les produits mineurs de pyrolyse identifiés pourraient provenir d'autres matières associées mélangées aux sphères.

La nature inerte des particules noires dans la tranche de 63-250 µm a été confirmée par l'observation microscopique des sous-échantillons après la pyrolyse, où elles sont apparues physiquement inchangées malgré l'exposition à une chaleur intense de 700°C pendant 15 secondes (voir Figure 4). Ce résultat est en accord avec des rapports antérieurs concernant les particules de cendres volantes de fioul lourd, qui sont demeurées presque identiques après une pyrolyse à 900°C (Caramuscio et al., 2003).

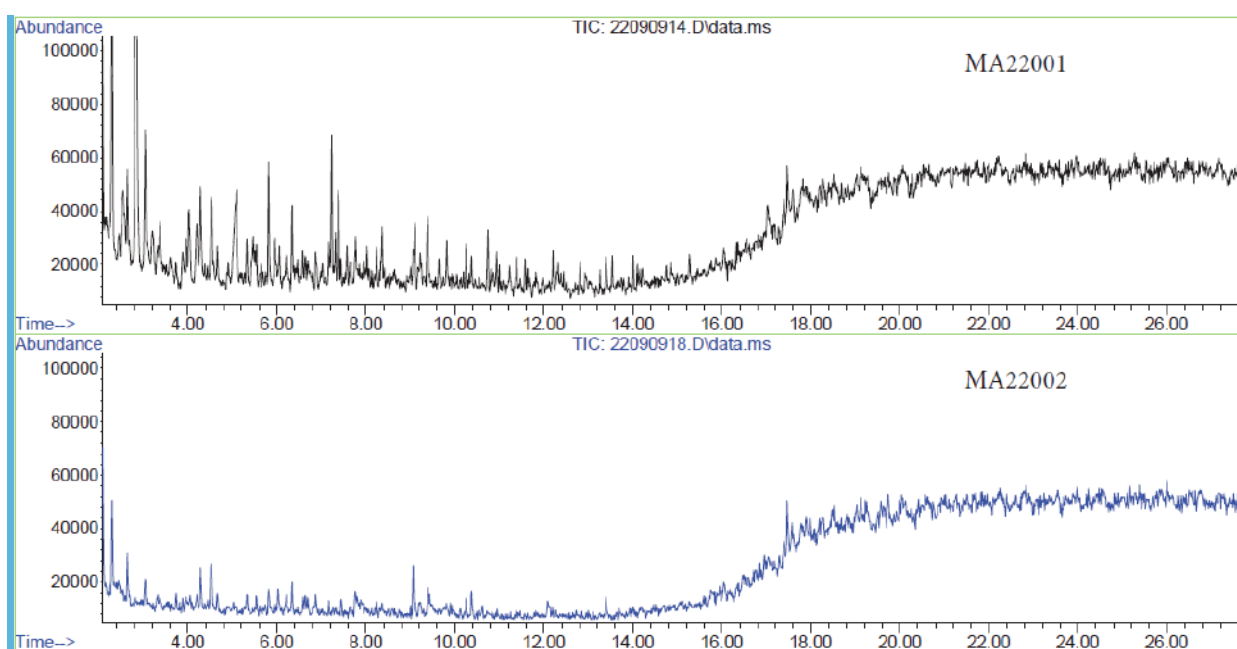


Figure 3: Pyrogrammes (chromatogrammes d'ions totaux de la pyrolyse GC-MS) pour des sous-échantillons des tranches de 63-250 µm pour MA22001 et MA22002, ne montrant que des pics mineurs au-dessus de la ligne de base.

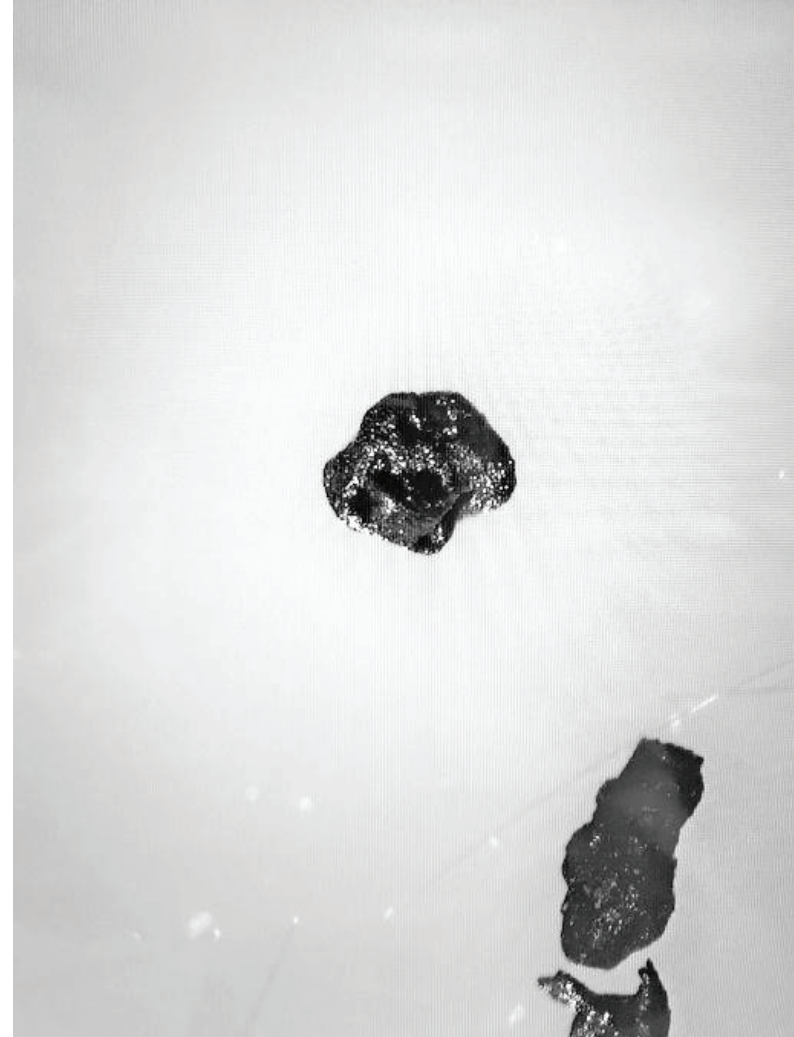
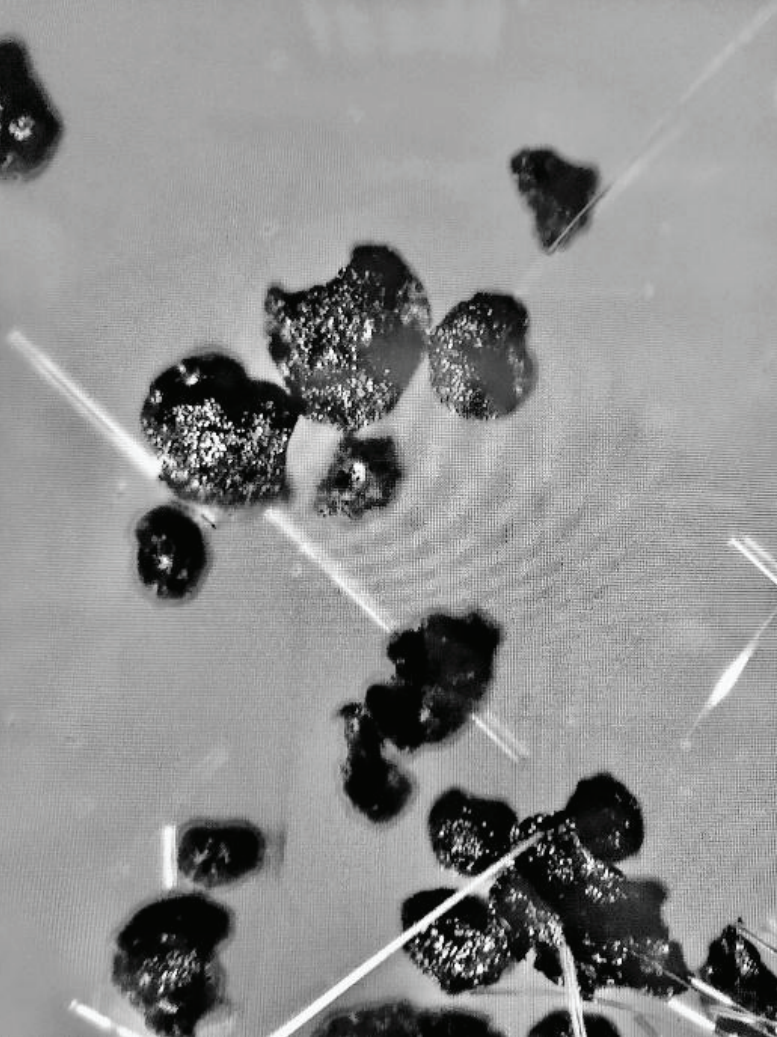


Figure 4: Images au microscope visuel de la tranche 250-63 μm après pyrolyse. Les fibres visibles dans l'image de gauche proviennent de la laine de quartz utilisée pour maintenir l'échantillon en position dans les tubes de pyrolyse pendant l'analyse.

À des fins de comparaison qualitative uniquement, des quantités équivalentes de deux matériaux de référence certifiés (cendres volantes et cendres volantes de fioul pulvérisé) ont été soumises à la même analyse GC-MS par pyrolyse, ainsi qu'un échantillon de poussière de charbon (fragments de poussière de la même fraction de taille préparés à partir de charbon de chauffage domestique acheté au Royaume-Uni) d'une quantité et d'une fraction de taille similaires afin d'exclure la possibilité que la poussière noire accumulée sur les toits soit liée à la manipulation de charbon non brûlé, vu la similitude des matériaux observés à l'œil nu. Les pyrogrammes (chromatogrammes de l'analyse qualitative GC-MS par pyrolyse) des deux échantillons de cendres volantes sont comparés à ceux des deux échantillons de poussière MA22001 et MA22002 collectés sur les toits dans la figure 5 ci-dessous. Bien que ce type de comparaison soit entièrement illustratif, étant donné que les pics correspondants à un temps de rétention particulier (axe horizontal) ne représentent pas nécessairement les mêmes produits chimiques (voir ci-dessous),

la comparaison permet tout de même de constater que les échantillons de cendres volantes peuvent également produire des produits mineurs de pyrolyse, malgré leur origine à partir de déchets issus d'un processus de combustion à haute température. De plus, de nombreux produits chimiques obtenus par pyrolyse des cendres volantes étaient en effet similaires à ceux obtenus par pyrolyse des deux échantillons de poussière noire, notamment le benzène, le toluène, le furane, le phénol et leurs dérivés.

En revanche, et toujours à des fins de comparaison qualitative, le pyrogramme issu de la pyrolyse d'une quantité équivalente de poussière de charbon était nettement différent (voir Figure 6). Cela illustre simplement le type de pyrogramme auquel on pourrait s'attendre si la poussière noire était un matériau à forte teneur en carbone organique combustible.

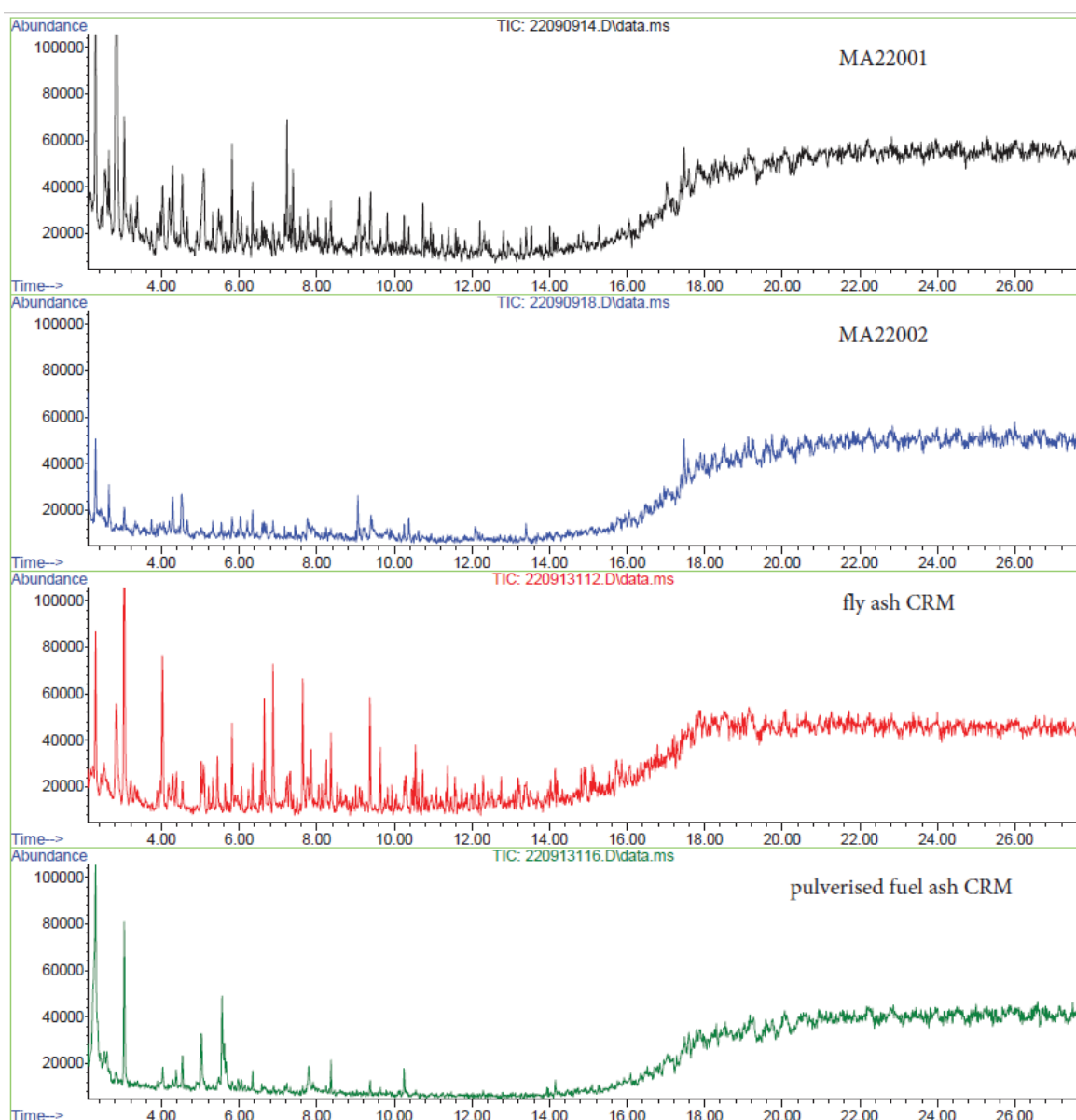


Figure 5: Pyrogrammes (chromatogrammes ioniques totaux issus de la pyrolyse GC-MS) pour des sous-échantillons des fractions 250-63 μm pour MA22001 et MA22002, comparés à ceux de deux matériaux de référence certifiés (MRC) à base de cendres volantes.

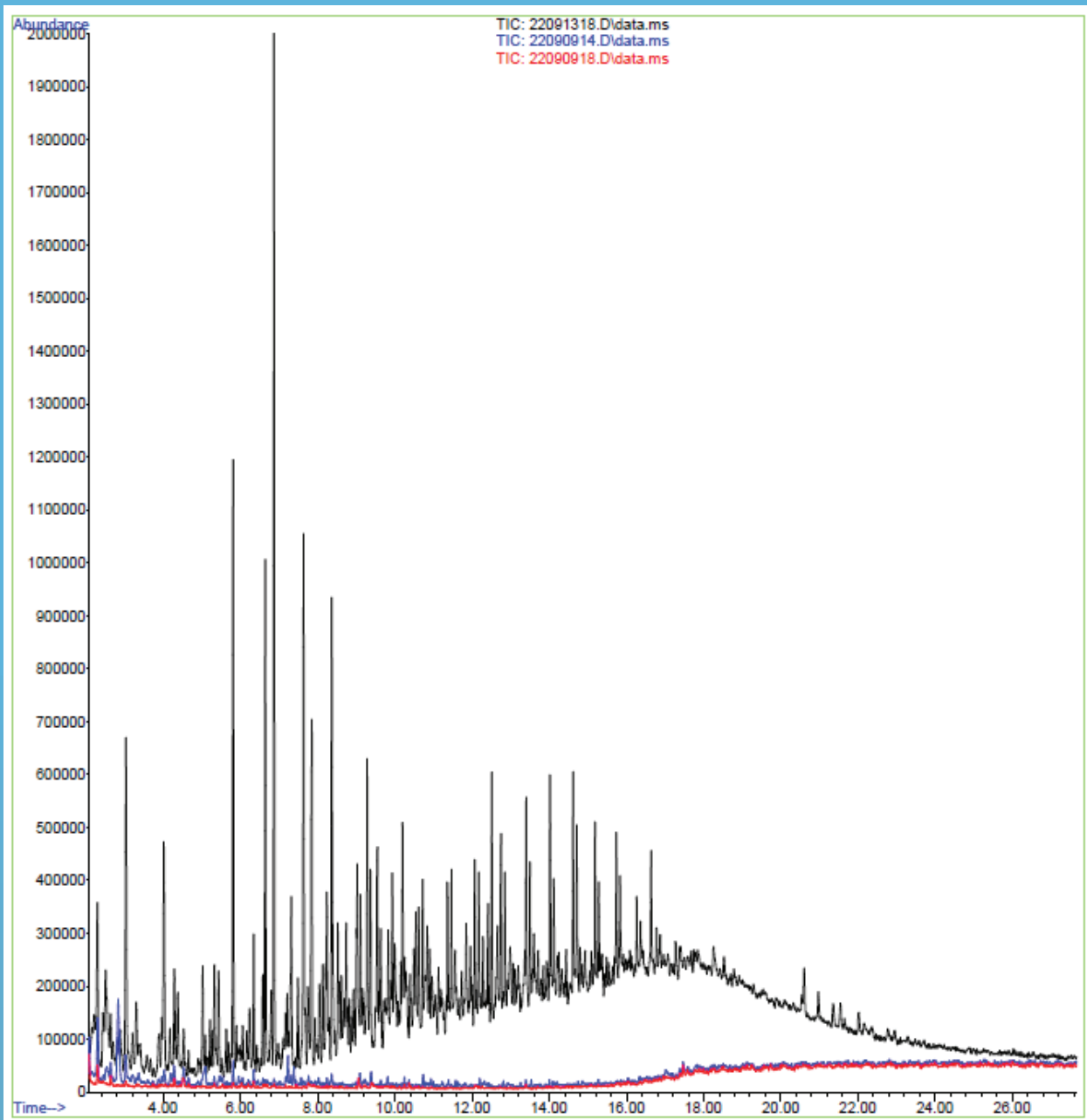


Figure 6: Pyrogrammes (chromatogrammes ioniques totaux issus de la pyrolyse GC-MS) des sous-échantillons des fractions de 63 à 250 μm pour MA22001 et MA22002 (représentés par les lignes bleue et rouge) comparés à ceux obtenus à partir d'une masse équivalente de fragments de charbon de chauffage domestique dans la même fraction de taille (représentée par la ligne noire).

Analyse du carbone total

La concentration de carbone total dans les deux échantillons est présentée dans le Tableau 4. Les concentrations relevées sont cohérentes avec celles rapportées pour le carbone total dans les cendres volantes issues de la combustion de fioul lourd (Caramuscio et al., 2003 ; Kwon et al., 2004).

Échantillon	Carbone total (%)
MA22001	54.6
MA22002	68.1

Tableau 4: Concentration de carbone total (masse %) pour la fraction de taille 63-250 µm pour chaque échantillon

Analyse par infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

Malgré plusieurs tentatives, il s'est avéré impossible d'obtenir un spectre IRTF significatif à partir d'une fine couche du matériau broyé sur le cristal ATR, probablement en raison de sa couleur très foncée et de sa nature principalement inorganique. D'autres techniques, telles que la microanalyse par rayons X, seraient vraisemblablement nécessaires pour obtenir des informations sur la composition élémentaire et la structure probable du matériau.



Remarques finales



Deux échantillons de poussière noire prélevés sur les toits de la ville de Kenitra, au Maroc, ont été soumis à une caractérisation approfondie à l'aide d'une gamme de techniques analytiques relevant de la criminalistique environnementale. L'observation au microscope a confirmé que le matériau était principalement composé de sphères creuses de couleur sombre, surtout dans la fraction de taille 63 - 250 μm , morphologiquement similaires aux cénosphères retrouvées dans les cendres volantes issues des processus de combustion thermique.

L'examen du matériau de la fraction de taille dominante a révélé une concentration élevée en carbone, mais l'absence de composants de carbone organique facilement extractibles ainsi que la production de produits de pyrolyse mineurs à 700°C suggèrent que la majorité du carbone est de nature inorganique. La morphologie des sphères n'a pas été altérée par la pyrolyse et elles sont restées inchangées avant et après un chauffage à 700°C pendant 15 secondes.

En ce qui concerne les métaux et les métalloïdes, seules les concentrations de vanadium et de nickel étaient notablement élevées. L'ensemble de ces résultats est en accord avec les caractéristiques des cendres volantes issues de la combustion de fioul lourd, en particulier dans des conditions de combustion non optimales.

Ces analyses ne permettent pas de confirmer les origines spécifiques de la poussière noire en termes de sources ponctuelles. Cependant, étant donné que les sites d'échantillonnage sont situés à proximité d'une centrale électrique fonctionnant périodiquement et utilisant potentiellement du fioul lourd comme combustible, il est essentiel d'enquêter de manière plus approfondie et urgente sur la possibilité que cette installation soit à l'origine de la poussière noire déposée sur les toits.

Par ailleurs, bien que les résultats de cette étude indiquent que le matériau analysé était relativement inerte et ne contenait pas de niveaux élevés de contaminants toxiques, il convient de noter que la poussière déposée présentait une fraction de taille importante. Par conséquent, les échantillons collectés et soumis à l'analyse pourraient ne représenter qu'une partie de la charge totale de particules et de produits chimiques provenant de la source. En d'autres termes, la poussière noire analysée dans cette étude, bien que visible, pourrait ne constituer qu'un symptôme d'un problème plus général d'émissions atmosphériques touchant toutes les fractions de taille. Un échantillonnage plus exhaustif des contaminants atmosphériques dans la région, combiné éventuellement à la modélisation des panaches d'émissions provenant de sources ponctuelles connues, serait nécessaire pour étudier la pollution de l'air dans la région de manière exhaustive et pour évaluer les implications pour la santé des habitants de Kenitra.

Pour plus d'informations, veuillez contacter :
Kevin Brigden, Beatriz Callejo ou David Santillo

Références

Al-Degs, Y.S. Ghirir, A., Khoury, H., Walker, G.M., Sunjuk, M., Al-Ghouti, M.A. (2014) Caractérisation et utilisation des cendres volantes du fioul lourd généré dans les centrales électriques, Technologie de traitement des combustibles (Characterization and utilization of fly ash of heavy fuel oil generated in power stations, Fuel Processing Technology), 123: 41-46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fu-proc.2014.01.040>

Caramuscio, P., De Stefano, L., Seggiani, M., Vitolo, S., Narducci, P. (2003) Préparation de charbons actifs à partir de cendres volantes de fioul lourd. Gestion des déchets (Preparation of activated carbons from heavy-oil fly ashes. Waste Management), 23: 345-351

EPRI (2009) Cendres de charbon : Caractéristiques, gestion et questions environnementales (Coal Ash : Characteristics, Management, and Environmental Issues). Institut de recherche sur l'énergie électrique (Electric Power Research Institute (EPRI)). Rapport 1019022, Septembre 2009, 12pp. <http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=000000000001019022>

Kwon, W.T., Kim, D.H., Kim, Y.P. (2004) Caractérisation des cendres volantes de fioul lourd générées par une centrale électrique. Progrès dans la technologie des matériaux et du traitement des matériaux (Characterization of Heavy Oil Fly Ash Generated from a Power Plant. Advances in Technology of materials and materials processing), 6 : 260-263. doi: 10.2240/azojomo0135

Yu, Y.T., Kim, B.G., Choi, Y.Y., Hong, S.Y., Hwang, S.K., Park, J.H. (1996) Étude sur le traitement d'incinération des cendres volantes de fioul lourd - Propriétés et caractéristiques de combustion des cendres volantes de fioul lourd (A Study on Incineration Treatment of Heavy Oil Fly Ash - Properties and Combustion Characteristics of Heavy Oil Fly Ash). Journal de la Société coréenne d'ingénierie des déchets solides (Journal of Korea Solid Wastes Engineering Society), 13 : 236-246 (en coréen)

Annexe 1

détails des méthodes d'analyse appliquées

©Ayoub kbir

Métaux

Pour chaque échantillon, la fraction de taille comprise entre 250 μm et 63 μm a été sélectionnée pour l'analyse des métaux. Environ 0,2 g de chaque échantillon a été pesé avec précision, puis digéré avec 5,0 ml d'acide nitrique concentré et 0,5 ml d'acide chlorhydrique concentré. Le processus de digestion a débuté par une période de repos d'une nuit à température ambiante, suivi d'une digestion assistée par micro-ondes à l'aide d'un système CEM MARS Xpress. La température a été progressivement portée à 200 °C en 20 minutes, et maintenue à cette température pendant 20 minutes supplémentaires. Après refroidissement, chaque solution d'analyse a été filtrée et ajustée à un volume final de 25 ml avec de l'eau désionisée. Avant l'analyse, chaque solution a été diluée dans un rapport de 1 :4 avec de l'eau désionisée.

Un échantillon de contrôle a été préparé en double pour chaque analyse ICP afin de vérifier la reproductibilité des résultats. De plus, deux matériaux de référence certifiés, à savoir LGC6180 (cendres volantes de fioul pulvérisé provenant d'une centrale électrique à base de charbon, certifiées par le "Laboratory of the Government Chemist" du Royaume-Uni) et BCR-038 (cendres volantes provenant de charbon pulvérisé, certifiées par la Commission des Communautés européennes), ont été inclus dans l'analyse comme échantillons témoins.

Les échantillons digérés ont été soumis à une analyse par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) en utilisant un spectromètre Agilent 7900, avec une cellule de collision hélium assistée pour minimiser les interférences polyatomiques.

Des étalons multi-éléments correspondant à la matrice des échantillons, à des concentrations de 1, 10, 100 et 1000 µg/l respectivement (sauf pour le mercure avec des concentrations de 1, 2, 5, 20 µg/l respectivement), ont été utilisés pour étalonner l'instrument. La validité de l'étalonnage a été confirmée par l'analyse d'échantillons de contrôle de qualité à des concentrations de 80 µg/l et 800 µg/l (4 µg/l et 16 µg/l pour le mercure) préparés de manière similaire mais à partir de lots de réactifs distincts de ceux utilisés pour les étalons d'étalonnage de l'instrument. L'analyse a impliqué l'addition en ligne d'un mélange d'étalons internes à 100 µg/l (Scandium, Germanium, Yttrium, Indium et Terbium). Tout échantillon excédant la plage de calibration a été dilué en conséquence, puis analysé en double pour validation.

Les composés organiques semi-volatils (COVS) ont été extraits par extraction en phase solide (SPE) et analysés par injection liquide GC-MS.

Extraction d'échantillons

Environ 0,5 g de chaque échantillon a été prélevé dans un contenant en verre approprié, auquel 10 µg de naphthalène deutéré (étalon interne) ont été ajoutés, suivis de l'addition de 5 ml de mélange pentane : toluène (95 :5). Un blanc de procédure, composé de 5 ml de pentane : toluène (95 :5), a également été préparé.

Les échantillons et le blanc ont ensuite été placés dans un bain-marie et soniqués à 30 °C pendant 30 minutes. Par la suite, tous les échantillons ont été soumis à une procédure de nettoyage au florisol : des cartouches en verre ont été montées avec un filtre pré-nettoyé et 2 g de florisol, suivis d'un filtre final, et conditionnées avec 5 ml de Pentane. Les extraits ont été recueillis dans des récipients en verre appropriés. Ensuite, 1 ml de chaque échantillon a été transféré dans des flacons d'échantillonnage automatique de 2 ml et analysé à l'aide d'une injection liquide GC/MS.

Analyse GC-MS

Pour le dépistage des composés organiques totaux, les échantillons ont été analysés à l'aide d'un GC Agilent 6890 Série II équipé d'une colonne Restek Rtx-17Sil (30 m de longueur, 0,25 mm de diamètre interne, 0,25 µm d'épaisseur de film), relié à un spectromètre de masse inerte Agilent 5975B fonctionnant en mode EI et interfacé avec un système de données Agilent Enhanced Chemstation.

Des chromatogrammes d'ions totaux (TIC) et des chromatogrammes de surveillance d'ions sélectionnés (SIM) ont été obtenus. Le programme de température du four de chromatographie en phase gazeuse était le suivant : une température initiale de 40 °C, augmentée à 260 °C à un taux de 10 °C/min, puis à 295 °C à un taux de 50 °C/min (maintenue pendant 10 min), ensuite à 325 °C à un taux de 50 °C/min (maintenue pendant 25 min), enfin portée à 330 °C à un taux de 50 °C/min (maintenue pendant 1 min). L'hélium a été utilisé comme gaz vecteur à un débit de 1 ml/min.

L'identification des composés a été réalisée en comparant les spectres obtenus lors de l'analyse avec les bibliothèques Wiley W10N11 et Pesticides, ainsi qu'avec les spectres obtenus pour certains composés cibles. Un examen par un expert a été effectué pour vérifier la qualité de la correspondance spectrale de masse pour chaque pic individuel afin d'éviter les erreurs d'identification.

Pyrolyse GC-MS

Deux sous-échantillons d'environ 500 µg de matériau homogénéisé, prélevés dans la même fraction de taille (comportant entre 30 et 40 sphères individuelles dans chaque cas), ont été transférés dans des tubes de pyrolyse en quartz distincts. Ces tubes avaient été pré-nettoyés par pyrolyse à 700°C pendant 15 secondes. Les échantillons ont été maintenus en place dans les tubes à l'aide d'un mince bouchon en laine de quartz préalablement pyrolysée. Ils ont ensuite été soumis à une analyse qualitative de pyrolyse couplée à un GC-MS à double flux, utilisant un pyrolyseur CDS Pyroprobe 6200, équipé d'un carrousel CDS 6250T DISC Autosampler et interfacé avec un GC Agilent 6890 et un MSD 5973.

Chaque échantillon a d'abord été chauffé dans la chambre de pyrolyse à 200°C à une vitesse de 20°C/ms, la température étant maintenue pendant 15 secondes. Les composés semi-volatils émis par l'échantillon ont été dirigés vers un piège froid maintenu à 50°C, puis porté à 280°C pendant 3 minutes pour désorber ces composés sur la colonne GC en vue de l'analyse GC-MS. Ensuite, chaque échantillon a été chauffé à 700°C à la même vitesse de 20°C/ms et maintenu à cette température pendant 15 secondes, les produits de la pyrolyse étant dirigés vers le piège, puis désorbés de la même manière pour le GC-MS.

La colonne GC utilisée était une Restek Rxi-17Sil MS de 30 m de longueur, avec un diamètre interne de 0,25 mm et une épaisseur de film de 0,25 µm, alimentée en gaz porteur hélium à un débit constant de 1 ml/min. Le four a été maintenu à une température initiale de 50°C pendant 1 minute, puis la température a été augmentée à un taux de 15°C/min jusqu'à atteindre une température finale de 300°C, maintenue pendant 10 minutes, ce qui donne une durée totale de 27,67 minutes.

L'identification des composés a été réalisée en comparant les spectres obtenus lors de l'analyse avec les bibliothèques Wiley 12 et NIST 20, et en appliquant le jugement d'un expert pour vérifier la qualité de la correspondance spectrale de masse pour chaque pic, afin d'éviter les erreurs d'identification.

Analyse du carbone total

Environ 5 mg de chaque échantillon ont été pesés avec précision dans des capsules d'étain de 8 x 5 mm à l'aide d'une microbalance Sartorius (modèle MC5, Sartorius AG, Allemagne). Ces échantillons ont ensuite été analysés à l'aide d'un analyseur élémentaire Flash 2000 (ThermoFisher Scientific, Pays-Bas), en utilisant l'EDTA comme étalon.

Avant l'analyse des échantillons, une courbe d'étalonnage avec ajustement du facteur K a été établie. De plus, un étalon supplémentaire a été analysé à la fin des échantillons pour vérifier la précision de l'analyse.

Analyse par infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

Des sous-échantillons d'environ 100 mg de matière broyée de chaque échantillon ont été analysés par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) par réflexion totale atténuée (ATR), utilisant un spectromètre PerkinElmer Frontier. Les spectres IRTF (infrarouge moyen) ont été obtenus en balayant la gamme des nombres d'ondes entre 4000 et 650 cm^{-1} , avec une résolution de 4 cm^{-1} , et en acquérant 4 balayages par échantillon. Tous les spectres obtenus ont été traités en utilisant le logiciel Spectrum de PerkinElmer (version 10.5.4). Ce traitement incluait la soustraction du bruit de fond après l'acquisition, la normalisation des données, et la comparaison avec un certain nombre de bases de données spectrales disponibles sur le marché.

Greenpeace MENA:

Greenpeace MENA est une organisation indépendante et à but non lucratif, politiquement et financièrement. Fondée en 2018, elle est le plus récent bureau affilié au réseau mondial de Greenpeace, composé de 27 organisations nationales et régionales indépendantes dans plus de 55 pays, en plus de son organe de coordination, Greenpeace International. La région MENA est notre foyer, et nous travaillons selon une approche collaborative, créative et innovante pour réduire les impacts environnementaux, économiques et sociaux résultant de la crise climatique mondiale. Nous encourageons la recherche de solutions innovantes à l'échelle locale afin de permettre à nos communautés de prospérer et de vivre en harmonie avec l'environnement qui les entoure.

Découvrez plus [ici](#).



[Site Officiel](#)



[Instagram](#)



[Facebook](#)



Les échantillons ont été fournis par le président de l'Association Oxygène pour l'Environnement et la Santé à Kénitra, Maroc, Ayoub Krir. chercheur en aménagement du territoire et développement durable.

Association Oxygène pour l'Environnement et la Santé - Maroc

Informations de contact



[Youtube](#)



[LinkedIn](#)



+212 (0) 7 08 87 88 03



[Facebook](#)



[tiktok](#)



oxygeneass@gmail.com



[Instagram](#)



[Twitter](#)



[Threads](#)



+212 (0) 6 18 73 46 39



KENITRA - MOROCCO



صوت
غرينبيس

