ARTICLES

Apport de la diffraction des rayons X à la détermination des traceurs minéralogiques de la pollution atmosphérique particulaire d'une cimenterie

DRX contribution in the mineralogical tracers determination of the particulate atmospheric pollution of a ciment factory

Said BENGAMRA*,[1], Mostafa OUJIDI**,[1], Juan BASTIDA***, Vicente ESTEVE****

Résumé

Quarante et un capteurs passifs ont été installés au voisinage de la cimenterie Holcim-Oujda située dans le couloir Naima-El Aioun. Ces capteurs reçoivent les retombées de poussières qui se déposent par gravité. L'analyse de ces retombées par diffraction des rayons X (DRX) s'est avérée une méthode efficace pour détecter le traceur de l'impact des poussières émises par la cimenterie. En effet, elle permet la séparation et l'identification des poussières d'origine industrielle (cimenterie) et celles d'origine naturelle.

La diffraction des rayons X a montré également que les poussières émises par la cheminée, déposées sur les plantes ou recueillies par les capteurs passifs installés à l'intérieur de l'usine, ne contiennent pas de ciment. Il faut souligner toutefois que leur principale composante minéralogique est la calcite. Quant aux poussières naturelles, elles sont plutôt caractérisées par le quartz (SiO_2) en tant que principale composante minéralogique. Ainsi, le rapport calcite/quartz équivalent au rapport poussières industrielles/poussières naturelles peut être considéré comme un bon traceur qui permettra de suivre la dispersion de la pollution atmosphérique particulaire issue de la cimenterie dans l'environnement du couloir Naima-El Aioun.

Abstract

The Naima-El Aioun corridor is a semi-arid rural zone, characterized by a dusty atmosphere. Indeed, it includes the Holcim cement factory with its two raw material careers (limestone and clay). Furthermore, the very frequent winds remove easily the soil dusts of this area which contribute highly to the aerosols formation. Before this situation, the agriculturists are alarmed of the environment state in their territory and more especially the impact of the dusts emitted by the Holcim factory. In fact, in this type of industry dust can be emitted at each stage of the manufacturing cement process: mine shootings, extraction, transportation, storage, handling, production, etc. These types of dust can be emitted in significant quantities (170 tons on average per month during the year 2001 for example). Generally, these particular emissions are of mineral origin and might have some impacts on the receiving environments as air, water, soil and vegetation.

The Portland cement produced in the Holcim-Oujda factory is constituted of a mixture of limestone (80%), clay (20%) and of other corrective materials in very few proportion such as, iron (Fe_2O_3), bauxites (Al_2O_3) and sand (SiO_2) which are added often to the mixture to reach the wished chemical composition. The clinker is the fundamental matter of the cement. It results from the calcination of the pre-homogenized mixture at a very elevated temperature about 1450°C. The cement is obtained by grinding the nodules of the clinker and by addition of gypsum and other corrective components.

…/…

** Doctorant au Département de Géologie – Université Mohamed 1er – Faculté des Sciences, BP 717 – 60000 Oujda – Maroc – E-mail : bengamras@yahoo.fr*

[1] PROTARS III n° D11/18 « Fonctions splines et ondelettes associées : application aux sciences de la Terre et de l'Environnement ».

*** Professeur au Département de Géologie – Université Mohamed 1er – Faculté des Sciences, BP 717 – 60000 Oujda – Maroc – E-mail : Oujidi@yahoo.com*

**** Professeur au Département de Géologie – Université de Valencia – Valencia – Espagne.*

***** Professeur au Département de Chimie – Université Jaume I – Castillon – Espagne.*

The mineralogical analysis by X-rays diffraction shows that the mineralogical composition of the dusts emitted by the Holcim chimney is similar to the pre-homogenized mixture (clay + limestone), and that the composition of soils is similar to the clays used by the cement factory. In addition, the dusts given out by the Holcim chimney and those deposited on the plants and in the captor of the immediate neighbourhoods of the factory do not contain cement. They are relatively characterized by an elevated proportion of calcite $CaCO_3$ and dolomite $(CaMg)CO_3$. The total dust fell again deposited in the passive captor installed in rural townships neighbouring the cement factory have been also analyzed by XRD which proves that they are also deprived of cement and are characterized by a high proportion of quartz (SiO_2) resulting from the soil re-mobilization. So the calcite/quartz ratio equivalent to industrial dust/natural dust could be used as a marker of the industrial particulate pollution due to the Holcim-Oujda factory.

Besides of quartz, the principal mineral phase of the natural dusts collected by the passive captors are mainly composed by the dolomite and the calcite resulting from the Jurassic carbonate belt of Beni Snassen and Oujda Mountains, and by the plagioclases and feldspars coming from quaternary and Triassic basalts and of Sidi Soltane granite and by the argillaceous minerals (illite and kaolin) which are present in few proportions and originated from the quaternary soils and Palaeozoic schist. These mineral phases are enough constant in the total dust: they represent the background of the aerosols of the Naima-El Aioun corridor.

1. Introduction

À l'échelle mondiale, les dernières décennies ont connu une dégradation importante de la qualité de l'air. Ce phénomène est lié au développement des activités industrielles et au trafic routier qui sont les principales sources de la pollution atmosphérique. Les cimenteries, bien qu'elles soient installées généralement loin des centres urbains, contribuent massivement à la pollution atmosphérique particulaire. En effet, ces unités industrielles émettent de grandes quantités de poussières. Ces dernières sont véhiculées et dispersées par le vent sur de grandes étendues pouvant ainsi affecter les différentes composantes de l'environnement (air, eau, sol et végétation) sur lesquelles elles se déposent. L'homme est particulièrement sensible à ce type de pollution. En effet, des études pathologiques récentes ont montré l'effet de l'inhalation des poussières sur le système respiratoire des ouvriers des cimenteries [1, 2, 3] et des populations résidant à proximité de ces unités industrielles [4, 5, 6] et l'effet néfaste sur la peau et les yeux à cause de leur contact avec les poussières de ciments [7, 8, 9].

La matière première des ciments Portland produits à l'usine Holcim est constituée de 80 % de calcaires, de 20 % d'argile (mélange pré-homogénéisé). Toutefois, d'autres minéraux correcteurs peuvent être ajoutés au cru pour atteindre la composition idéale. Ces minéraux sont le minerai de fer (Fe_2O_3), les bauxites (Al_2O_3) et le sable (SiO_2). Le mélange pré-homogénéisé est ensuite introduit dans les fours de calcination pour être chauffé à 1 500 °C. Durant cette étape, le CO_2 est expulsé et les éléments Ca, Si, Al et Fe se recombinent pour donner les différents constituants du ciment Portland.

Dans leur majeure partie, ces constituants sont des silicates tricalciques ($Ca_3Si_2O_5$ ou C_3S), des silicates dicalciques (Ca_2SiO_4 ou C_2S), des aluminates tricalciques ($Ca_3Al_2O_6$ ou C_3A) et des aluminoferrites tétracalciques ($Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$ ou C_4AF) [10, 11, 12, 13, 14]. Dans un ciment Portland normal, la proportion relative de ces minéraux se situe dans les fourchettes suivantes : C_3S = 50 à 75 %, C_2S = 10 à 20 %, C_3A = 5 à 10 % alors que $C_4AF \cong 10$ % [12].

Le procédé de fabrication de ciment par voie sèche adopté par l'unité industrielle de Holcim-Oujda reste très polluant. En effet, des quantités importantes de poussières sont émises dans l'atmosphère (170 tonnes en moyenne par mois durant l'année 2001, par exemple). Ces émissions particulaires sont générées à chaque étape du procédé de fabrication de ciment (Figure 1) : l'extraction minière de matières premières (argile et calcaire), l'homogénéisation et le broyage du mélange, la cuisson du mélange homogénéisé à des hautes températures (1 500 °C) pour la production du clinker et enfin le broyage de clinker et l'ajout des additifs tels que le gypse.

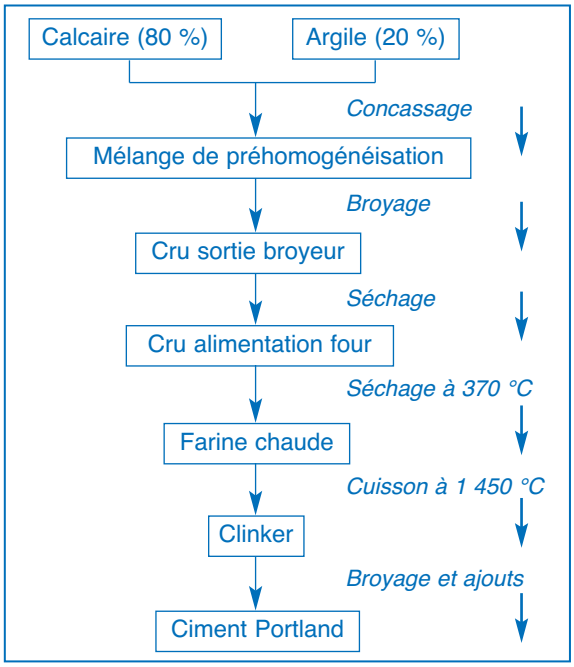

Figure 1.
Schéma du procédé de fabrication de ciment Portland à Holcim-Oujda.
Schema of the manufacturing process of Portland cement in Holcim-Oujda.

D'après P.P. Parekh [11], le ciment et le calcaire sont les deux types de poussières émises par les cimenteries. Ils sont les deux sources les plus communes de Ca [15, 16], tandis que les argiles, les schistes (matières premières) et les cendres sont les sources de Al, Si et Fe.

Dans le présent travail nous nous sommes appliqués à étudier par DRX la minéralogie des poussières émises par la cheminée, de celles déposées immédiatement au pied de la cheminée Holcim-Oujda et au niveau des boisements jouxtant l'usine, et de celles issues des retombées de poussières recueillies par les différents capteurs passifs installés dans les communes rurales avoisinant la cimenterie, ceci dans l'objectif de vérifier si elles contiennent du ciment et si elles présentent des variations géographiques autour de la source de pollution.

2. Cadre géographique et géologique de la zone d'étude

Le secteur d'étude se situe dans le couloir Oujda-Taourirt (Maroc oriental), qui est bordé respectivement au Nord et au Sud par les chaînes des Béni Snassen et des Monts d'Oujda. Cette zone quasi rurale est limitée par les longitudes 2,15° (Naima) et 2,50° Ouest (El Aioun) et les parallèles 34,50° et 34,75° Nord au niveau de Ain Sfa (Figure 2). Ce secteur s'étend sur une superficie d'environ 900 km^2 ; il englobe l'usine Holcim située au kilomètre 45 sur la route nationale n° 1. Il est subdivisé en sept communes rurales (Ain Lahjar, Rislane, Sidi Bou Houria, Labsara, Naïma (Sidi Moussa Lamhaya), Mestferki et Ain Sfa).

Du point de vue géologique (Figure 2), les Béni Snassen occidentaux sont constitués d'un noyau ancien paléozoïque schisteux et granitique surmonté d'une ceinture volcano-sédimentaire triasique [17] et enfin d'un faciès carbonaté jurassique formant l'essentiel des falaises de la chaîne. Quant aux Béni Snassen orientaux, ils sont formés essentiellement par des roches carbonatées du Jurassique inférieur et moyen. La partie septentrionale correspondant aux Monts d'Oujda, est constituée d'un socle paléozoïque schisteux et granitique, surmonté par des formations pellitiques et volcaniques du Trias et enfin par des séries carbonatées dolomitiques du Lias [18]. Le couloir Naima-El Aioun est une plaine correspondant à un grand graben subsident dans lequel se sont accumulés les sédiments tertiaires et quaternaires.

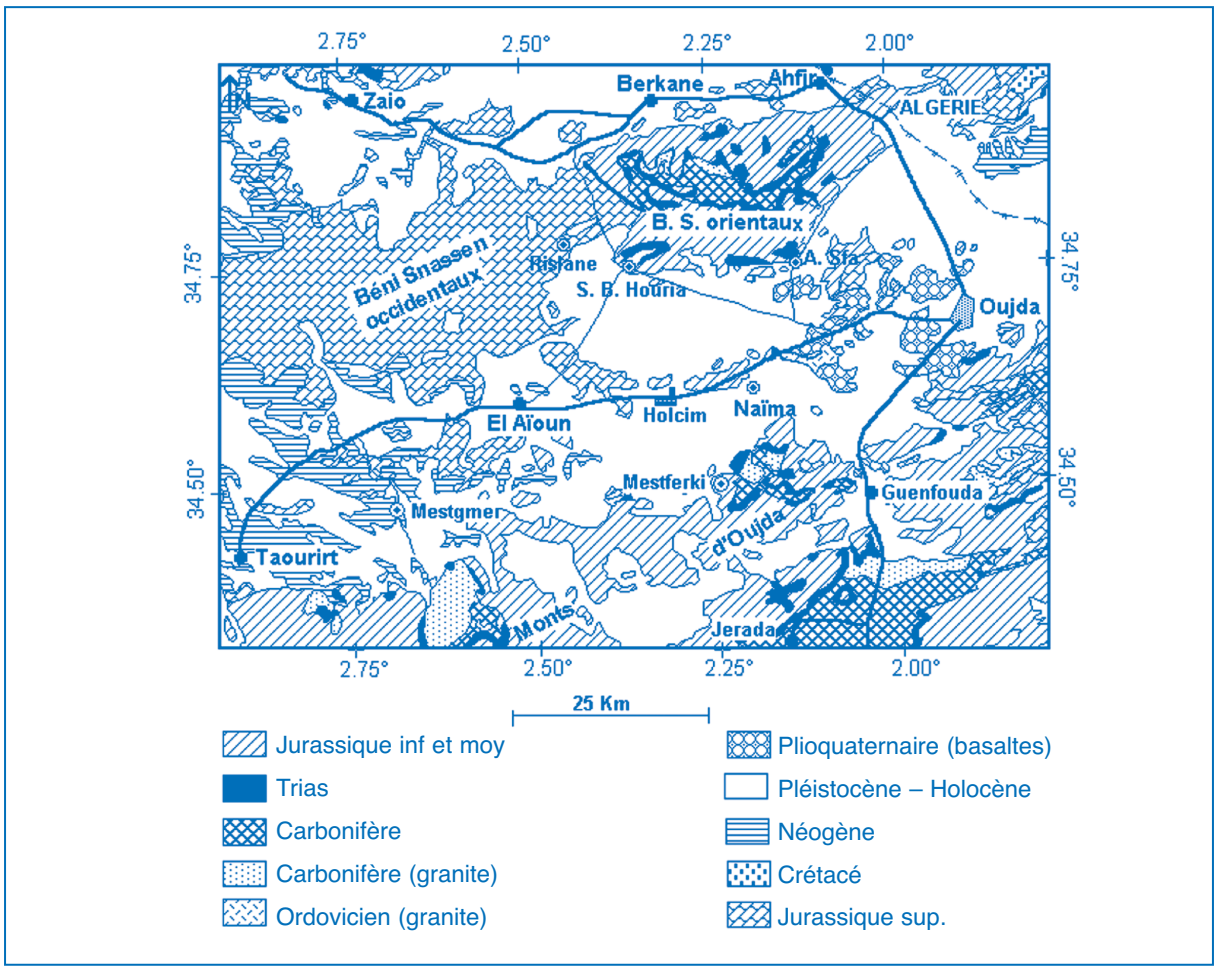

Figure 2.
Carte géologique du secteur d'étude.
Geological map of the sector of study.

La rose des vents du couloir présente quatre principales directions :

- les vents Nord avec les composantes NE et NW qui sont d'origine méditerranéenne, humides et caractérisés par une vitesse faible ;
- les vents Est et Sud qui sont d'origine continentale, chauds, secs et dominants en été ;
- les vents Ouest qui sont d'origine atlantique, humides, pluvieux et dominants durant l'hiver.

3. Matériel et méthode

Pour étudier la distribution spatiale des retombées de poussières dans le bassin Naima-El Aioun, 41 capteurs passifs ont été installés, de telle manière qu'ils divergent de la cheminée vers les huit directions de la rose des vents et sur un rayon qui varie de 15 à 20 kilomètres (Figure 3). Lors du choix des stations d'échantillonnage, nous avons tenu compte de la proximité des habitants pour la surveillance des capteurs, ainsi que de l'existence des accès et des pistes.

Le capteur passif correspond à un dispositif simple formé d'un entonnoir de 31,5 cm de diamètre, dans lequel les retombées sèches et humides se déposent sous l'effet de la gravité. Cet entonnoir est construit en zinc galvanisé, et est relié par un tube à une bouteille de récupération d'un volume de 10 litres afin d'éviter le débordement lors des chutes importantes de pluie. Autour de l'entonnoir, une bonde (grillage) de 15 cm de hauteur avec une maille de 2,5 mm, empêche les objets de grande taille de s'y déposer. Le tout est porté par un support haut de 1,35 m et fabriqué en fer galvanisé (Figure 4).

La nomenclature adoptée pour indexer les capteurs des différentes communes est basée sur l'abréviation du nom de la commune correspondante (Ain Lahjar (AL), Rislane (RN), Sidi Bou Houria (BH), Labsara (BS), Sidi Moussa Lamhaya (SM), Mestferki (MK) et Ain Sfa (AS)).

Les retombées de poussières recueillies mensuellement (30 ± 3 jours) sont souvent mélangées avec l'eau de pluie, ce qui nécessite une séparation soigneuse au laboratoire de la fraction solide et du filtrat ; cela se fait par l'utilisation de filtres de 0,45 µm de porosité. Ensuite, les résidus solides sont séchés dans un dessiccateur sous vide pendant 48 heures et sont pesés.

Les résidus solides de la campagne de janvier 2001 ont été analysés par DRX (sur échantillon total) au Laboratoire de minéralogie de l'Université de

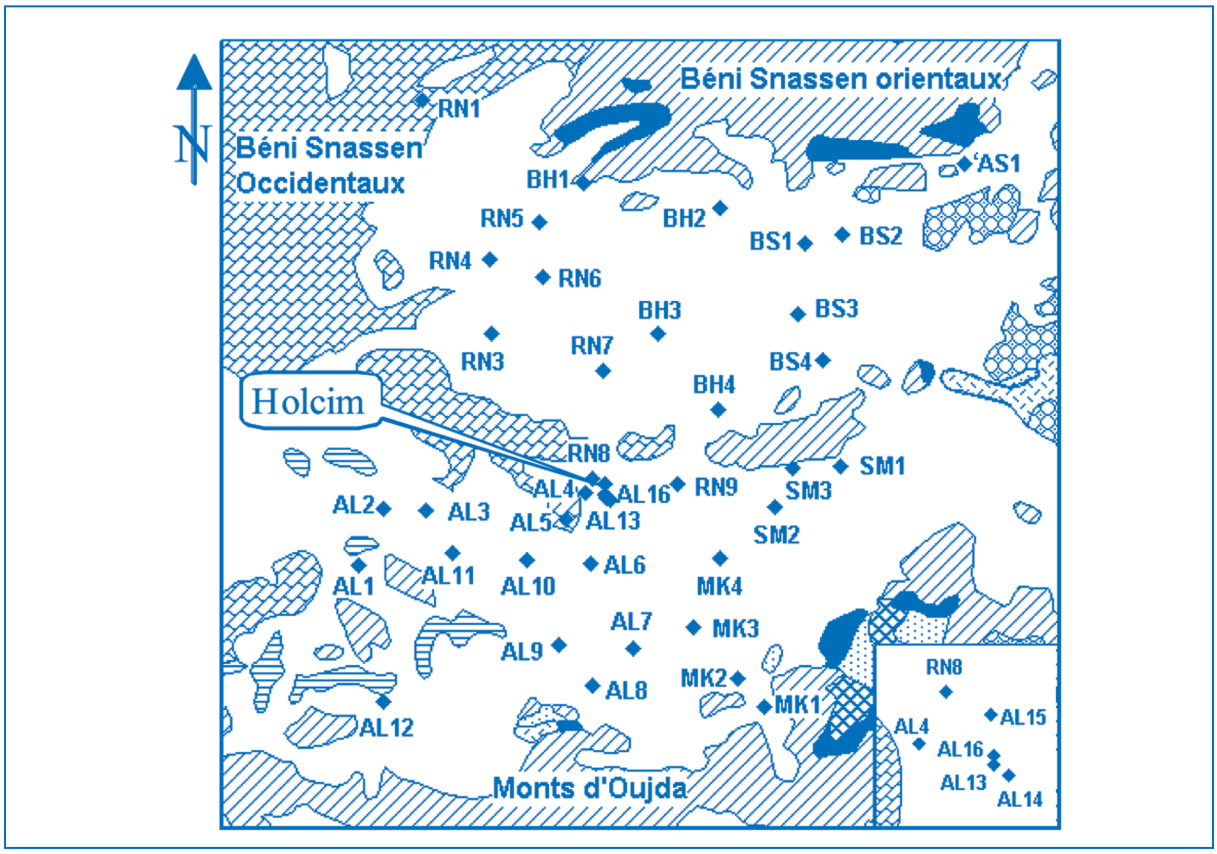

Figure 3.
Positionnement des capteurs passifs.
(En bas et à droite de la figure, un grossissement du secteur de Holcim-Oujda et ses voisinages immédiats).
Positioning of the passive captors.
(Below and at the right of the figure, an enlargement of the sector of Holcim-Oujda and its immediate neighbourhoods).

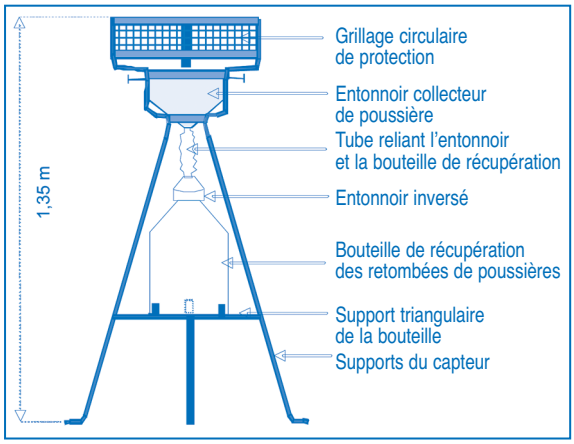

Figure 4.
Schéma du capteur passif.
Scheme of the passive captor.

Valencia. L'appareillage utilisé est un diffractomètre de rayons X (Siemens D5000), muni d'une anticathode de cuivre avec une tension appliquée de 40 kV et une intensité de 30 mA.

4. Résultats et discussion

4.1. Évolution de la minéralogie des sous-produits au cours du procédé de fabrication de ciment

Le mélange préhomogénéisé, le cru sortie broyeur et le cru alimentation four présentent des spectrogrammes de rayons X quasiment identiques. En effet, ils sont caractérisés par une forte teneur en calcite (70 %) comparativement à celle du quartz.

Le spectrogramme de la farine préchauffée présente les mêmes caractéristiques que les sous-produits précédents. Toutefois, dans l'intervalle 2θ allant de 29 à 35° on note l'apparition de miniscules pics en forme de bosse.

Le spectrogramme du clinker présente les mêmes caractéristiques que les sous-produits précédents. Toutefois, on note une accentuation des pics observés dans l'intervalle 2θ allant de 29 à 35°. Ces pics correspondent aux silicates tricalciques ($Ca_3Si_2O_5$), silicates dicalciques (Ca_2SiO_4), des aluminates tricalciques ($Ca_3Al_2O_6$) et des aluminoferrites tétra-calciques ($Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$) [10, 11, 12, 13, 14]. Ils représentent les phases minérales typiques de clinker.

L'apparition de ces pics au niveau de la farine chaude est due au préchauffage du matériau cru avant son entrée dans le four (800 °C) grâce à un contre-courant effectué par les gaz chauds provenant du four rotatif et passant par la tour de préchauffage ; des transformations au sein de la matière cru peuvent avoir lieu. Ainsi, à côté de la calcite et de la silice, la déshydratation du mélange s'accompagne de réactions chimiques qui forment les premiers vestiges des composés typiques de ciment et qui se trouvent dans l'intervalle 2θ allant de 29 à 35°. Après clinkérisation à une température de l'ordre de 1 500 °C dans le four rotatif, les produits se combinent pour donner les phases minérales typiques de clinker et de ciment (C_3A, C_2S, C_3S et C_4AF) (Figure 5).

Le diffractogramme des émissions de poussières de la cheminée ne présente aucune raie dans l'intervalle 2θ compris entre 29 et 35°, ce qui atteste que ces poussières ne contiennent pas de ciment. Néanmoins, il faut noter que son spectrogramme est très similaire à celui du mélange préhomogénéisé.

4.2. Minéralogie des poussières déposées au niveau de la cimenterie

L'objectif de cette analyse est de comparer les spectrogrammes des poussières émises par la cheminée de l'usine avec ceux des poussières recueillies au niveau des capteurs (AL13, AL14, AL15, AL16 et RN8) situés au voisinage immédiat de la cimenterie (Figure 6).

Les raies caractéristiques du ciment ne figurent pas sur les spectres des retombées de poussières recueillies par ces capteurs. Toutefois, on peut noter que la raie principale de la calcite est très développée aussi bien dans les émissions de poussières que dans les retombées récupérées par les capteurs passifs au voisinage immédiat de la cimenterie, alors que le quartz est plutôt développé au niveau des capteurs AL13 et AL14 qui sont un peu loin de la cheminée par rapport aux autres capteurs.

Les spectrogrammes des retombées de poussières recueillies par ces capteurs présentent les mêmes caractéristiques que le spectrogramme des poussières émises par la cheminée. En particulier, ils sont dépourvus des raies caractéristiques du clinker et de ciment (C_3A, C_2S, C_3S et C_4AF). Leur raie principale correspond à la calcite. Toutefois, il faut noter que les poussières recueillies par les capteurs AL13 et AL14 présentent un pic de quartz très développé ; cela peut être expliqué par le fait qu'ils sont relativement éloignés de la cheminée. Par ailleurs, le capteur AL14, qui est le plus éloigné, montre l'apparition de deux phases minérales composées de feldspath et de dolomite qui sont vraisemblablement originaires de la re-mobilisation des matériaux géologiques locaux.

4.3. Minéralogie des sols et poussières déposées sur les plantes voisinant la cimenterie

Le spectrogramme des poussières déposées sur les plantes voisinant Holcim-Oujda ne contient pas les raies caractéristiques du ciment ; leur diffractogramme est très similaire à celui des poussières dégagées par la cheminée dont elles sont originaires (Figure 7).

Contrairement au spectrogramme des poussières de la cheminée, le spectrogramme des sols (Figure 7) présente une dominance de quartz par rapport à la calcite. Toutefois, la calcite présente des teneurs de 15 à 30 % ; elle résulterait du phénomène d'encroûtement carbonaté dû au lessivage des formations jurassiques qui bordent le couloir Oujda-Taourirt.

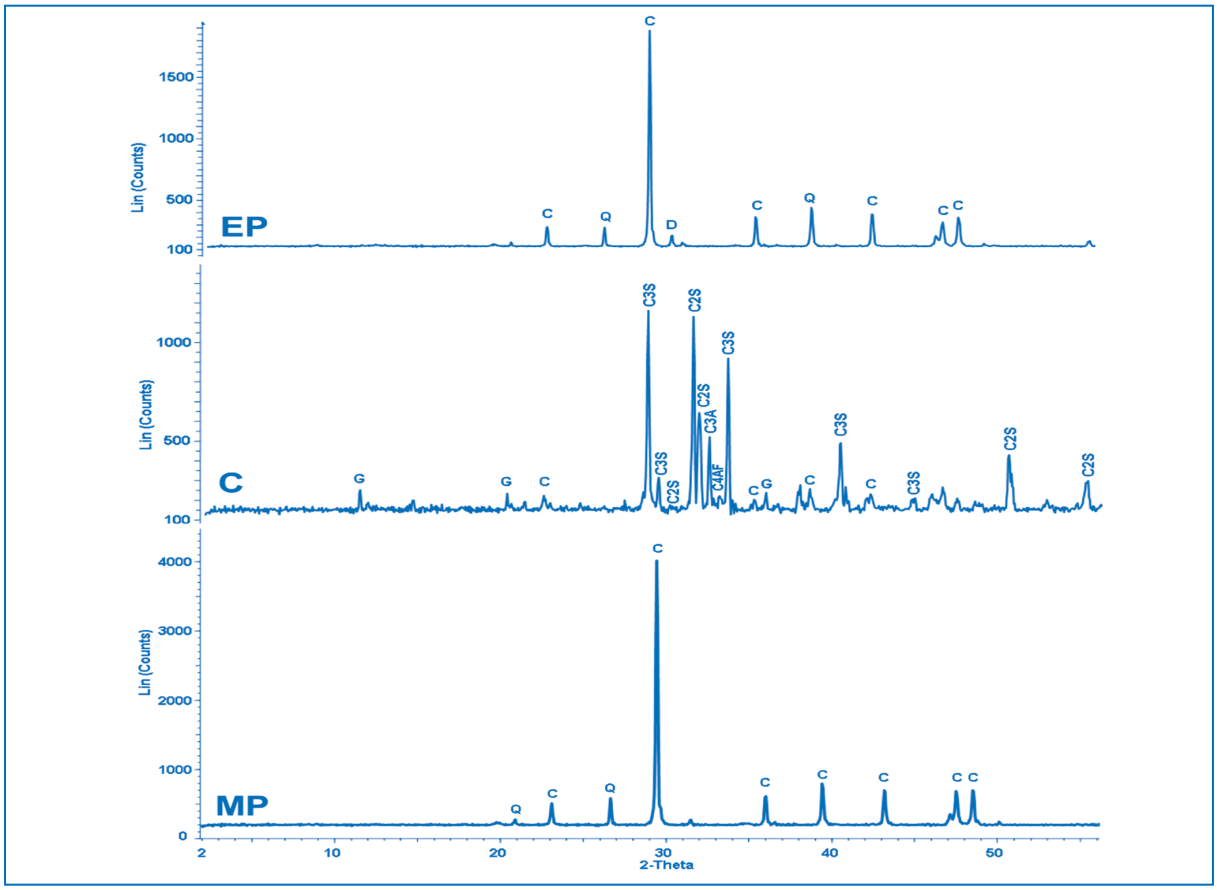

Figure 5.
Spectrogramme des émissions de poussières de la cheminée (EP), du ciment Portland (C) et du mélange préhomogénéisé.
C = calcite, G = gypse, Q = quartz, C_2S = silicates dicalciques,
C_3S = aluminates tricalciques, C_4AF = aluminoferrite tétracalcique, C_3A = aluminates tricalciques.
XRD Pattern of the dust emission of the chimney (EP), and of the Portland cement (C) and of mixture homogenized.
C = calcite, G = gypsum, Q = quartz, C_2S = silicate dicalcium,
C_3S = tricalcium aluminate, C_4AF = tetracalcium aluminoferrite, C_3A = tricalcium aluminate.

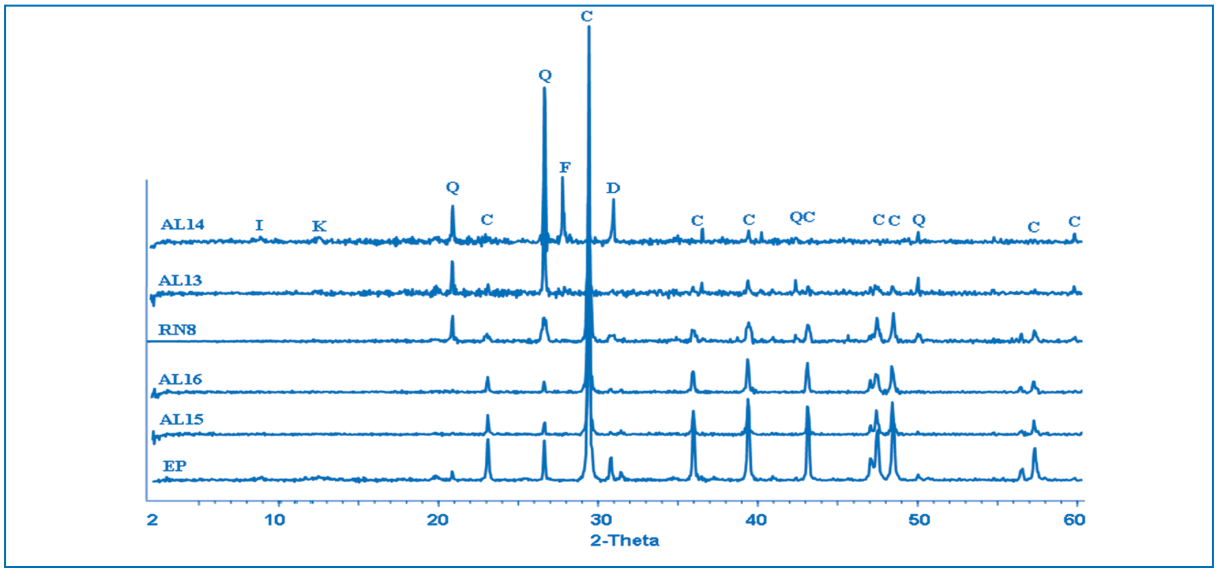

Figure 6.
Spectrogrammes des poussières déposées au sein de la cimenterie et du voisinage proche.
I = illite, K = kaolinite, Q = quartz, C = calcite, D = dolomite, F = feldspath.
XRD Pattern of the dusts deposited within the cement factory and its near neighbourhoods.
I = illite, K = kaolin, Q = quartz, C = calcite, D = dolomite, F = feldspar

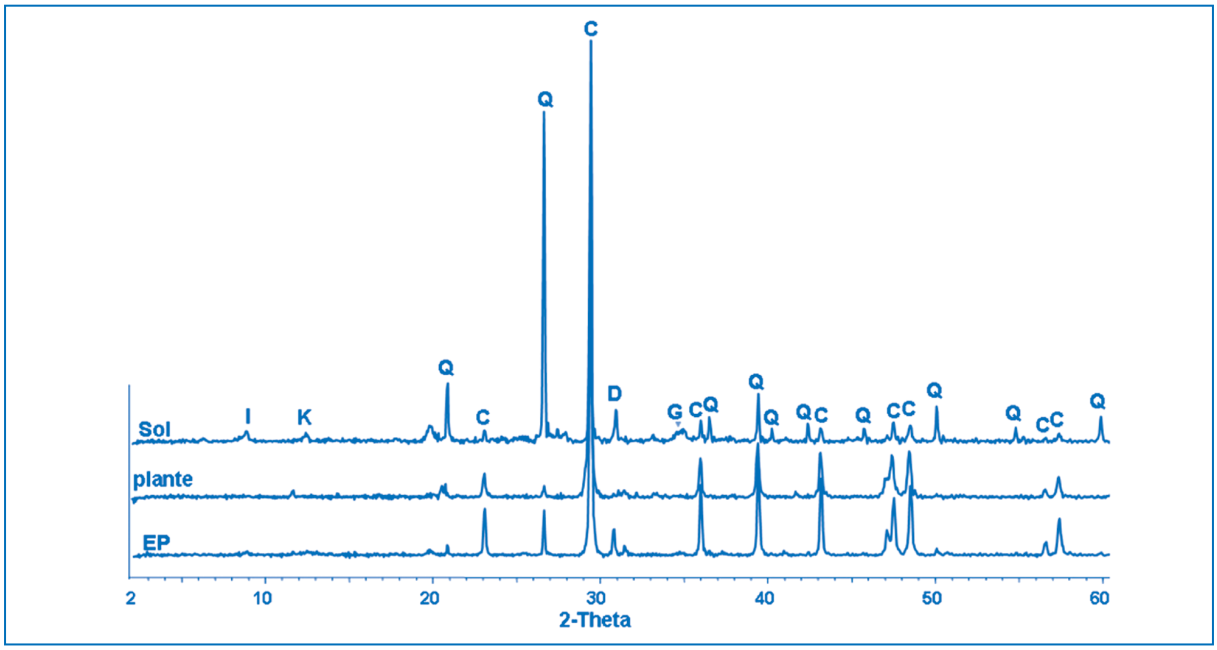

Figure 7.
Spectrogrammes du sol et des poussières déposées sur les plantes de l'usine.
I = illite, K = kaolinite, Q = quartz, C = calcite, D = dolomite, F = feldspath, G = gypse.
Pattern XRD of soil and dust deposited on the vegetables of the factory.
I = illite, K = kaolin, Q = calcite, D = dolomite, F = feldspar, G = gypsum.

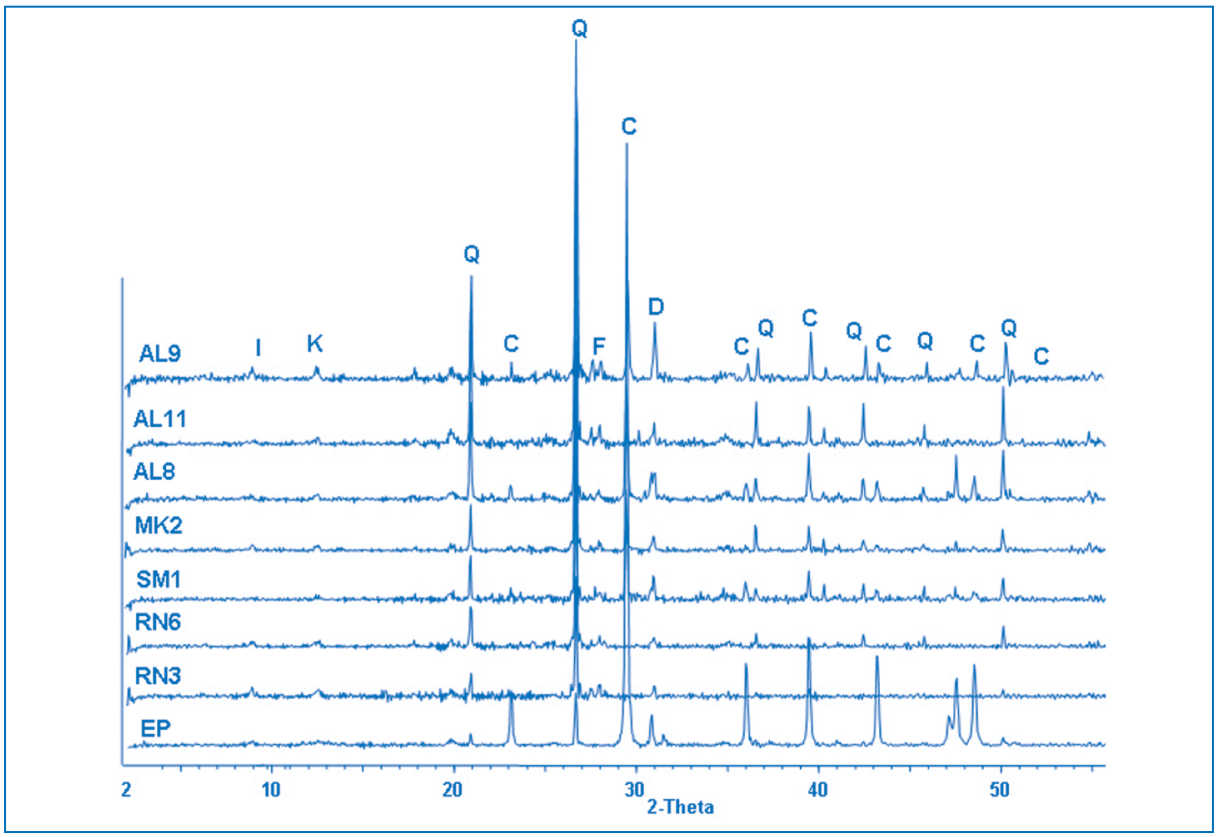

Figure 8.
Spectrogrammes des poussières déposées dans quelques capteurs passifs.
I = illite, K = kaolinite, Q = quartz, C = calcite, D : dolomite, F = feldspath.
Pattern XRD of the dust deposited in some passive captors.
I = illite, K = kaolin, Q = quartz, C = calcite, D = dolomite, F = feldspar.

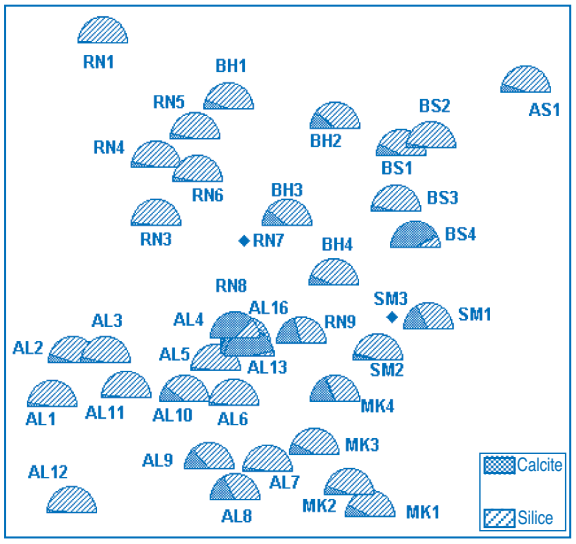

Figure 9.
Distribution spatiale des teneurs en calcite et en quartz.
Spatial distribution of calcite and quartz.

Les sols du bassin Naima-El Aioun sont pauvres en matière organique (2 à 3,6 %), Cette faible teneur est en relation directe avec la rareté du couvert végétal, ce qui rend les sols très fragiles et facilement re-mobilisables par l'eau et le vent et par conséquence générant de grandes quantités de poussières.

4.4. Minéralogie des retombées de poussières déposées dans les capteurs passifs

Le nombre total d'échantillons analysés par diffraction aux rayons X est de 41. Dans ce présent travail, seuls les diffractogrammes types sont présentés (Figure 8) pour montrer les différentes phases minérales identifiées. Ces diffractogrammes montrent que les principaux minéraux détectés sont le quartz, la calcite, les feldspaths et la dolomite. Cet assemblage est accompagné d'un cortège argileux composé essentiellement de kaolinite et d'illite. Les argiles présentent des pics de très faibles intensités vraisemblablement masqués par les quatre minéraux principaux précédents. L'ensemble de ces minéraux se trouve constamment dans toutes les stations d'échantillonnage ; ainsi, ils constituent le cortège minéral de base des poussières sédimentables du couloir Naima-El Aioun.

Au niveau des capteurs installés au pied de la cheminée de l'usine (AL13, AL15, AL16 et RN8), on note la dominance de la calcite par rapport à la silice. Ce rapport diminue dans toutes les directions en s'éloignant de la cimenterie vers les sept communes rurales avoisinantes (Figure 9). L'abondance de la calcite est normale dans cette zone, car elle est originaire principalement des activités de l'usine et notamment des émissions de poussières de la cheminée. Toutefois la re-mobilisation des sols contribue également à la teneur en calcite. Les capteurs MK4, SM1, RN9, BH4 et BS4 situés à l'est de l'usine, présentent des teneurs en calcite relativement élevées. Ceci pourrait être expliqué par le transport des émissions de poussières de l'usine par les vents d'ouest.

Les diffractogrammes des retombées de poussières des différents capteurs présentent deux phases minérales principales : le quartz (SiO_2) et la calcite ($CaCO_3$) et d'autres phases de moindre importance telles que la dolomite ($CaMg(CO3)_2$), les feldspaths (orthose et albite) et les minéraux argileux (illite et kaolinite).

Les retombées de poussières d'origine industrielle sont constituées essentiellement de calcite (92 % en moyenne) et quelques vestiges de quartz (4 % en moyenne), des feldspaths (1 % en moyenne), de la dolomite (2 % en moyenne) et des minéraux argileux (1 % en moyenne). Par contre, les poussières d'origine naturelle sont riches en quartz (69 % en moyenne). Les autres phases présentent les teneurs suivantes : la calcite (10 % en moyenne), les feldspaths (9 % en moyenne), la dolomite (8 % en moyenne) et les minéraux argileux (4 % en moyenne). En effet, la dolomite proviendrait des corniches carbonatées jurassiques des Béni Snassen et des Monts d'Oujda. Les deux autres phases minérales correspondent aux plagioclases et aux feldspaths potassiques. Elles proviendraient respectivement des basaltes quaternaires et triasiques et des massifs granitiques de Sidi Soltane, des Béni Snassen et des monts d'Oujda. Quant aux minéraux argileux (illite et kaolinite), ils résulteraient vraisemblablement de l'érosion éolienne des argiles triasiques, des sols quaternaires et des schistes paléozoïques.

5. Conclusion

L'étude minéralogique des retombées de poussières dans le bassin Naima-El Aioun et notamment autour de la cimenterie d'Oujda (Holcim-Maroc) montre que le matériel déposé est constitué d'un mélange de poussières siliceuses locales re-mobilisées par la déflation éolienne active et de poussières carbonatées d'origine double : la cimenterie et le sol.

La composition minéralogique des poussières émises par la cimenterie Holcim-Oujda est identique à celle du mélange de préhomogénéisation (argile + calcaire) ; elle est constituée essentiellement par la calcite $CaCO_3$.

Les poussières émises par la cheminée de Holcim-Oujda ainsi que celles déposées sur les plantes et dans les capteurs du voisinage de l'usine sont dépourvues de ciment, mais elles sont caractérisées par une forte teneur en calcite.

Les retombées de poussières déposées dans les communes rurales avoisinant la cimenterie sont également dépourvues de ciment et sont caractérisées par une forte teneur en quartz issu de la re-mobilisation des sols qui est elle-même liée à l'aridité du climat de la région étudiée.

En définitive, l'analyse minéralogique par diffraction des rayons X a mis en évidence le fait que le rapport calcite/quartz est un bon traceur de la pollution particulaire issue de la cimenterie Holcim-Oujda.

Mots clés

Holcim-Oujda. Émissions de poussières. Ciment. Pollution atmosphérique. Traceur.

Keywords

Holcim-Oujda. Dust emission. Cement. Atmospheric pollution. Tracer.

Références

1. Yang CY, Huang CC, Chiu HF, Chiu JF, Lan SJ, Ko YC. Effects of occupational dust exposure on the respiratory health of Portland cement workers. *J. Toxicol. Environ. Health* 1996 ; 49 : 581-8.
2. Noor H, Yap CL, Zolkepli O, Faridah M. Effect of exposure to dust on lung function of cement factory workers. *Med.J. Malays.* 2000 ; 55 : 51-7.
3. Demir TA, Akar T, Akyüz F, Isikh B, Kanbak G. Nickel and cadmium concentrations in plasma and Na+/K+ ATPase activities in erythrocyte membranes of the people exposed to cement dust emissions. *Environ. Monit. Assess.* 2005 ; 104 : 437-44.
4. Ginns SE, Gatrell AC. Respiratory health effects of industrial air pollution: a study in east Lancashire, UK. *J. Epidemiol. Community Health* 1996 ; 50 : 631-5.
5. Yang CY, Chang CC, Tsai SS, Chuang HY, Ho CK, Wu TN, Sung FC. Preterm delivery among people living around Portland cement plants. *Environmental Research* 2003 ; 92 : 64-8.
6. Schuhmacher M, Domingo JL, Garreta J. Pollutant emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighbourhood. *Environ. Res.* 2004 ; 95 : 198-206.
7. Pimental JC, Menezes AP. Pulmonary and hepatic granulomatous disorders due to inhalation of cement and mica dusts. *Thorax* 1978 ; 33 : 219-27.
8. Oleru UG. Pulmonary function and symptoms of Nigerian workers exposed to cement dust. *Envir. Res* 1984 ; 33 : 379-85.
9. Abdul Wahab SA. Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities. *Ecological Modelling* 2006 ; 195 : 338-48.
10. Parekh PP, Husain L. Selective leaching of atmospheric aerosols: Resolution of limestone and cement. *Atmospheric environment* 1988 ; 22 (4) : 707-13.
11. Parekh PP, Khan AR, Davin MT. X-ray powder diffractometry of emissions from the cement industry. *Atmospheric Environment* 1989 ; 23 (10) : 2085-91.
12. Taylor JC, Aldridge LP. Full-profile Reitveld Quantitative XRD analysis of Portland cement: Standard XRD profiles for the major phase tricalcium silicate (C3S: 3CaO.SiO2). *Powder Diffraction* 1993 ; 8 (3) : 138-44.
13. Goswami G, Panda JD. Application of XRD in a rapid quality control system of cement. *Powder Diffraction* 1999 ; 14 (2) : 114-7.
14. Taylor JC, Hinczak I, Matulis CE. Reitveld full-profile quantification of Portland cement clinker: The importance of including a full crystallography of the major phase polymorphs. *Powder Diffraction* 2000 ; 15 (1) : 7-18.
15. Kowalczyk GS, Choquette CE, Gordon GE. Chemical element balances and identification of air pollution sources in Washington D. C. *Atmospheric Environment* 1978 ; 12 : 1143-53.
16. Dzubay TG. Chemical element balance method applied to dichotomous sampler data. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1980, 338 : 126-44.
17. Ratbi S, Lago M, Galé C, Arranz E, Bastida J, Oujidi M. Tholeiitic magmatism related to the initial stages of triassic rifting; The case study of the Beni Snassen basalts (NE Morocco). IIIe Congreso Ibérico de Geoquímica, VIIIe Congreso de Geoquímica de España, Zaragoza-2001. Lago M, Arranz E, Galé C (eds) : 411-6.
18. Oujidi M, Elmi S. Architectural evolution of the Oujda Mountains (Eastern Morocco) during Triassic and lower Liassic. *Bull. Soc. Géol. France.* 2000 ; 171 (2) : 169-79.