

ÉVALUATION DU RISQUE D'INONDATION DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED KNISS – CENTRE URBAIN D'ALGER – ALGÉRIE.

Ghani CHEIKH LOUNIS*, Jean-Luc CHATELAIN**, Omar MIMOUNI*,
Djamel MACHANE***, Mustapha HELLEL****, Djelloul BELHAI*,
Mounir DOUKHI* et Ouassila SADOU*.

RÉSUMÉ

Le bassin versant de l'Oued Kniss, fortement urbanisé, est situé au centre d'Alger. Le long de ce cours d'eau, des habitations anarchiques ont été construites au cours des dernières décennies, ainsi qu'un réseau routier le long du lit mineur. De ce fait, des crues exceptionnelles, telles celles qui ont causé les inondations et coulées de boues de Bab El Oued (Alger) du 11 novembre 2001, peuvent rendre certaines zones très vulnérables aux inondations. L'ajustement des séries de pluies journalières maximales à la loi de Gumbel a permis de déterminer des précipitations maximales pour des périodes de retour de 50 et 100 ans. Un calcul des débits maximaux correspondant à ces périodes de retour, a permis d'évaluer sur des profils en travers, le débordement le long de l'oued. L'établissement de la carte d'aléa a permis de délimiter des zones potentiellement inondables. Ce document sera un outil indispensable pour la réduction du risque d'inondation.

Mots-clés - Aléa - Inondation –Vulnérabilité - Pluie - Période de retour - Cartographie - Risque - Oued Kniss - Algérie.

ASSESSMENT OF FLOOD RISK IN THE KNISS WADI CATCHMENT IN URBA IN AREA ALGIERS – ALGERIA.

ABSTRACT

The Kniss Wadi catchment, highly urbanized in its northern part, is located in the center of Algiers. Along this wadi, anarchical buildings and a road are built. An exceptional flood may weaken these zones. Adjustments to the Gumbel law have been used to the maximum rainfall for return periods at 50 and 100 years. The calculation of maximum discharges linked to different return periods allows evaluating the overflowing on cross sections along the the Kniss Wadi. Hazard maps evidence zones that are potentially threatened by flooding. Such maps should be considered and used so as to be the main tool to reduce the flood risk.

* Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire (FSTGAT), Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB), BP. 32, El Alia 16111, Bab Ezzouar, Alger, Algérie. E-mail : gcheikhounis@yahoo.fr

** Institut de Recherche pour le Développement (IRD) - Institut des Sciences de la Terre (ISTerre), Grenoble, France. E-mail : Jean-luc.chatelain@ird.fr

*** Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS), 1 Rue Kaddour Rahim, BP. 252, Hussein-Dey, 16040 Alger, Algérie. E-mail : machanedjamel@yahoo.fr

**** Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, BP. 19, Bois des Cars, Dély Brahim, Alger, Algérie. E-mail : hellelmustapha@yahoo.com

- Manuscrit déposé le 17 Janvier 2012, accepté après révision le 09 Mai 2012.

Keywords - Hazard – Vulnerability - Flood – Rainfall - Return period - Cartography - Risk - Kniss Wadi - Algeria.

1. INTRODUCTION

À l'échelle mondiale, les inondations comptent parmi les phénomènes les plus fréquents, les plus dangereux et les plus destructeurs, entraînant, en plus de pertes humaines importantes, des dommages économiques considérables.

En Algérie, de tels phénomènes sont fréquents. Les inondations et coulées de boues de Bab El Oued (Alger) du 11 novembre 2001 (Argence et *al.*, 2006; Cheikh Lounis et *al.*, 2009; Hegglin et *al.*, 2004; Kästner, 2003; Machane et *al.*, 2008; Santos-Munoz et *al.*, 2006; Thomas et *al.*, 2003), de Ghardaïa, en septembre 2008, Béchar, Naâma, Méchria et Tlemcen en octobre 2008, ont fait un grand nombre de victimes et causé des dégâts considérables. À Bab El Oued, les inondations ont provoqué la mort de 700 personnes et des dégâts évalués à plus de 20 milliards de dinars (200 millions d'euros) (Cheikh Lounis et *al.*, 2011).

Le bassin versant de l'Oued Kniss est du même ordre de grandeur et de morphologie très semblable à ceux du bassin versant de Bab El Oued (fig. 1a). Pour ces raisons, une analyse du risque d'inondation dans le bassin versant de l'Oued Kniss s'avère impérative pour la prévention d'une catastrophe. L'analyse des paramètres climatiques, lithologiques et morphologiques a permis de définir le niveau d'intensité, la répartition spatiale, la période de retour et la fréquence des inondations. La combinaison de ces résultats avec les facteurs anthropiques a ensuite permis de délimiter les zones vulnérables aux inondations.

Le sous-bassin versant de l'Oued Kniss situé sur le versant nord du Sahel d'Alger (fig. 1b) fait partie du bassin versant côtier algérois (N° 2), d'une superficie de 11972 km². Le Sahel est une

structure plissée orientée est-ouest, avec une altitude maximale de 250 mètres à l'Ouest d'Alger (Douera) et 60 mètres au Nord de Reghaïa, qui s'étend tout le long du littoral algérois, à l'exception d'une section érodée en bordure de la baie d'Alger. Il est composé de terrains d'âge mio-plio-quadernaires discordants sur le socle métamorphique. La plaine de la Mitidja est formée de sédiments mio-plio-quadernaires provenant des reliefs limitrophes (le Sahel au nord et l'Atlas au sud). L'Atlas blidéen est un massif montagneux atteignant 1600 mètres d'altitude, orienté NE-SW, bordant la plaine de la Mitidja au sud. Il présente des pentes abruptes et il est la source de plusieurs cours d'eau qui sillonnent la Mitidja. Il est composé de terrains schisto-gréseux et marno-calcaires, de type tellien, d'âges mésozoïque et cénozoïque.

Le bassin versant de l'Oued Kniss présente trois unités lithologiques distinctes :

1. la marne grise du Plaisancien qui présente une couche superficielle altérée et facilement érodable;
2. la molasse astienne, qui présente un faciès gréseux carbonaté avec des passages sableux;
3. des sables argileux rouges du Quaternaire.

Ces formations peuvent alimenter l'Oued Kniss en apports solides, ce qui peut aggraver les conséquences en cas d'inondation.

2. MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Pour ce travail de recherche, une collecte des données pluviométriques est réalisée au niveau des différents organismes afin de connaître le régime pluviométrique qui caractérise le secteur

ÉVALUATION DU RISQUE D'INONDATION DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED KNISS -
CENTRE URBAIN D'ALGER - ALGÉRIE.

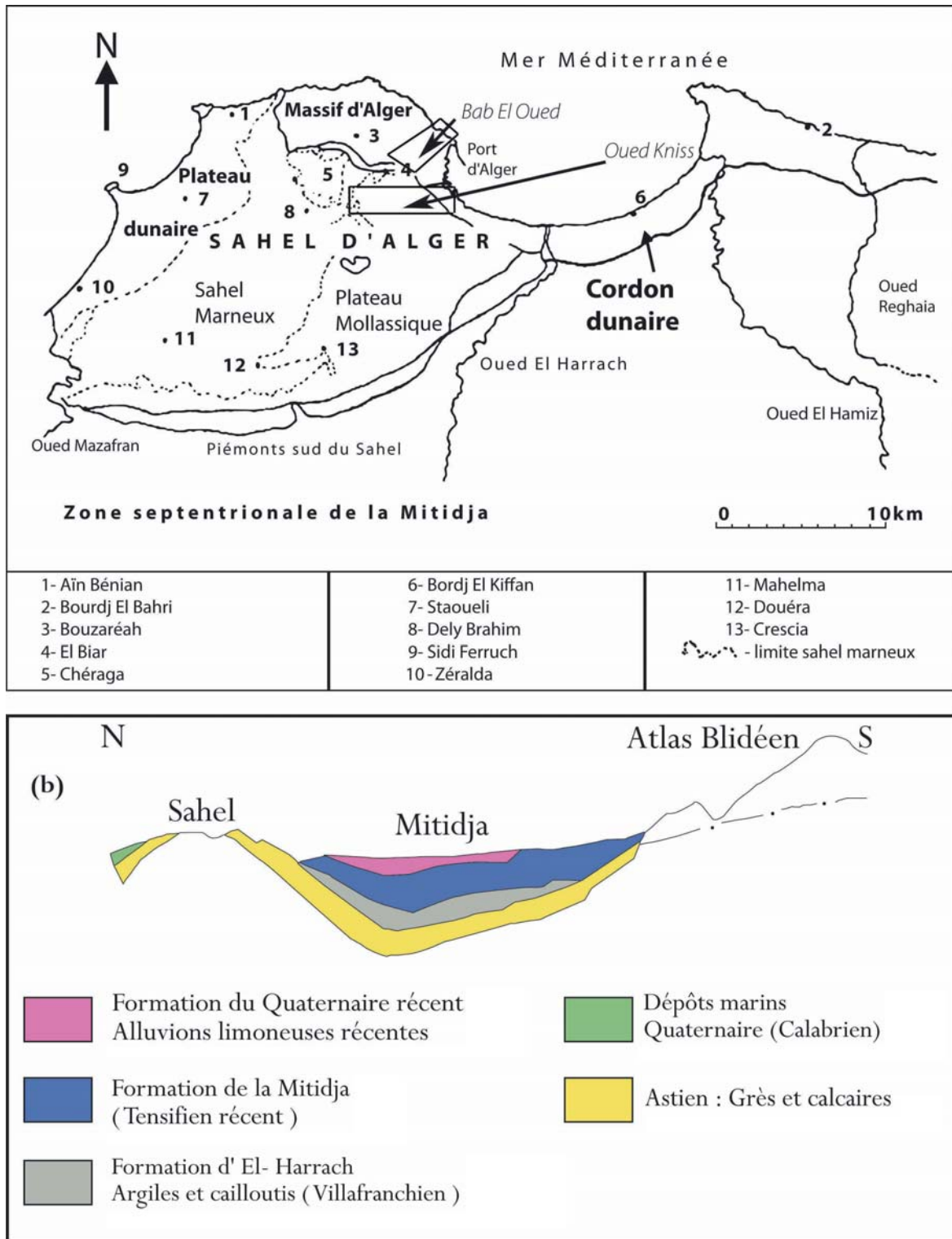


Fig. 1 - Les grands ensembles géomorphologiques de la région d'Alger.

Algiers region map showing the geomorphological settings.

d'étude. Une attention particulière est accordée aux précipitations journalières maximales. L'ajustement des séries de pluies journalières maximales à la loi de Gumbel a permis de déterminer des précipitations maximales pour différentes périodes de retour. Ce travail est complété par des visites de terrain entre 2008 et 2011 qui ont permis d'identifier des zones vulnérables. Un calcul des débits maximaux a permis d'évaluer sur des profils en travers, le débordement le long de l'oued. La carte d'aléa est réalisée en tenant compte des débits maximaux et des conditions géomorphologiques. La superposition de cette dernière avec la carte de vulnérabilité a permis l'établissement d'une carte de risque d'inondation.

3. LES PARAMÈTRES DE L'ÉVALUATION DE L'ALÉA

Une crue torrentielle se forme par enrichissement du débit d'un cours d'eau en matériaux solides, lesquels accroissent très fortement son pou-

voir érosif. Ce type de crue, comme celle du 11 novembre 2001 de Bab El Oued (Machane et al., 2008), affecte des sous bassins versants d'une dizaine de km² de superficie.

Le Bassin versant de l'Oued Kniss fait partie des petits sous-bassins versants algérois. Il couvre une superficie de 10,78 km². Il est caractérisé par une urbanisation importante, rendant la majeure partie de sa superficie imperméable, ce qui favorise le ruissellement et les inondations en zone urbaine.

3.1. Paramètres physiques

L'analyse des caractéristiques de forme et des paramètres physiographiques de la zone d'étude (tabl. I) permettent de conclure qu'avec un indice de compacité $K = 1,84$ et un indice de pente globale $I_g = 16,96$ m/km, le bassin est de forme allongée (fig. 2). Le temps de concentration ($TC = 3,12$ h) avec une vitesse de ruissellement ($VR =$

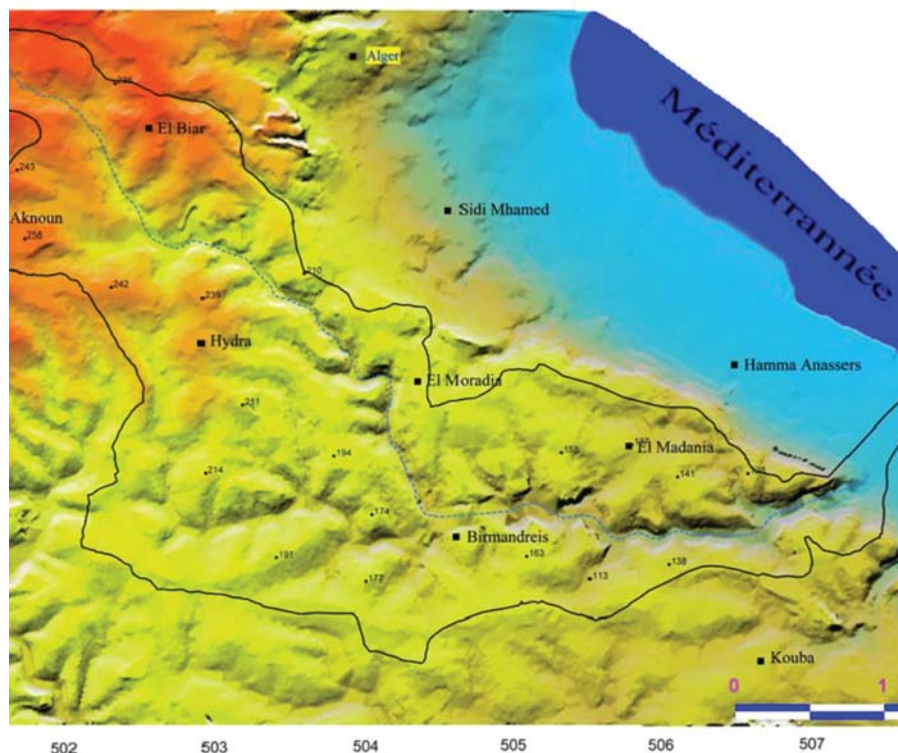


Fig. 2 - Modèle numérique de terrain (basé sur les données EDC-USGS GTOPO 30).
Elevation model (based on EDC-USGS GTOPO 30 data).

ÉVALUATION DU RISQUE D'INONDATION DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED KNISS -
CENTRE URBAIN D'ALGER - ALGÉRIE.

Tableau I - Caractéristiques physiques
du sous bassin versant de l'Oued Kniss.

**Physics characteristics of the Kniss
Wadi sub-watershed.**

Paramètres		Symbole	Valeur numérique
Superficie		A (km ²)	10.78
Périmètre		P (km)	21.66
Indice de Compacité		K_C	1.84
Dimensions du rectangle	Longueur	L (km)	10.78
	Équivalent	L (km)	1
Altitudes		H _{max} (m)	250
		H _{min} (m)	70
		H _{moy} (m)	175
Indice de pente globale		Ig (m/km)	16.96
Dénivelé spécifique		D _s (m)	55.68
Longueur de talweg principal		L _t (km)	7.90
Densité de drainage		D _d (km/km ²)	2.52
Coefficient de torrentialité		C _t	8.64
Temps de concentration		T _c (heures)	3.12
Vitesse de ruissellement		V _r (km/h)	2.53

2,53 km/h) et un coefficient de torrentialité important (CT = 8,64) sont les éléments qui répondent à une crue torrentielle de l'oued, lorsqu'ils sont associés à une pluie très intense. Le relief accentué avec prédominance de hautes altitudes (> 250 m) et le passage rapide à des basses altitudes (< 10 m) dans un rayon inférieur à 4 km montrent bien le caractère torrentiel des crues.

3.2. Les pluies

Nous disposons des relevés pluviométriques journaliers maximaux (ANRH, 2007) pour les trois stations considérées comme les plus représentatives aux conditions topographiques du bassin versant de l'Oued Kniss : Bir Mourad Raïs, Douéra et Baraki. Pour chaque station une série de pluies journalières maximales a été constituée

de 1970 à 2000, après avoir comblé les lacunes d'observations. L'ajustement des séries de pluies journalières maximales à la loi de Gumbel a permis de déterminer des précipitations maximales pour des périodes de retour à l'aide du logiciel HYDROLAB (Laborde, 1998). Le résultat de cet ajustement montre (figs. 3 et 4) des précipitations supérieures à 100 mm pour des périodes de retour de 50 et 100 ans.

3.3. Les crues

Lorsque l'on dispose d'observations du débit de crue sur le site lui-même, ou à proximité, il est possible de procéder à un ajustement statistique, puis à une extrapolation sur les fréquences. Cette méthode est parfaitement justifiée lorsqu'on dispose d'observations sur une longue période, dix ans étant un strict minimum. Pour une durée d'observation n, il n'est pas raisonnable d'extrapoler l'ajustement statistique à des périodes de retour supérieures à 2n ou 3n. Étant donnée la durée habituelle des observations, cette méthode est donc limitée à la prédétermination de débits de crue de fréquence généralement inférieure à 0,99. Dans notre cas, il n'est pas possible d'utiliser l'ajustement statistique, étant donné l'absence d'observations des débits. Nous sommes donc contraints d'utiliser une formule empirique.

Les formules empiriques sont multiples et souvent d'une portée régionale. La formule de Possenti (*in*: Belizaire, 1955), qui prend en compte les relations entre la fréquence des pluies journalières maximales et les caractéristiques morphologiques et hydrologiques des bassins versants, paraît la plus adaptée pour l'Algérie. Elle s'exprime de la façon suivante :

$$Q_{\max} = \frac{C \times PJ_{\max}}{L} (Sm + Sp/3)$$

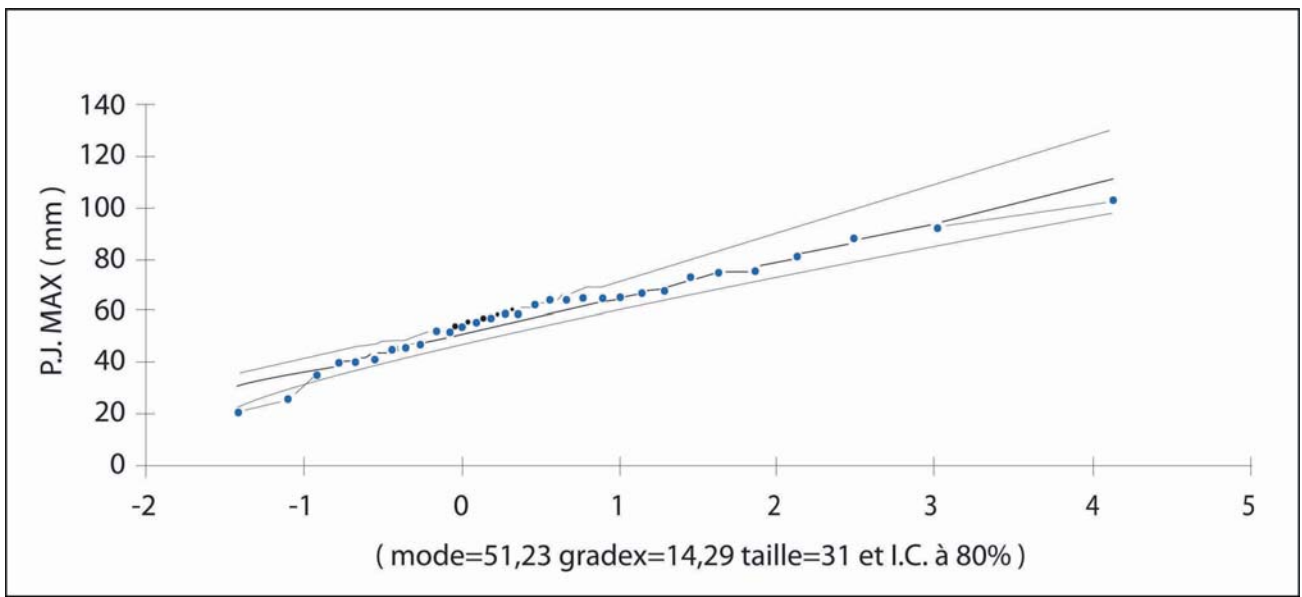


Fig. 3 - Ajustement à la loi de Gumbel des pluies journalières maximales de la station de Bir Mourad Raïs.
Maximal daily rainfall adjusted to Gumbel law for the Bir Mourad Raïs station (P.J.max in mm).

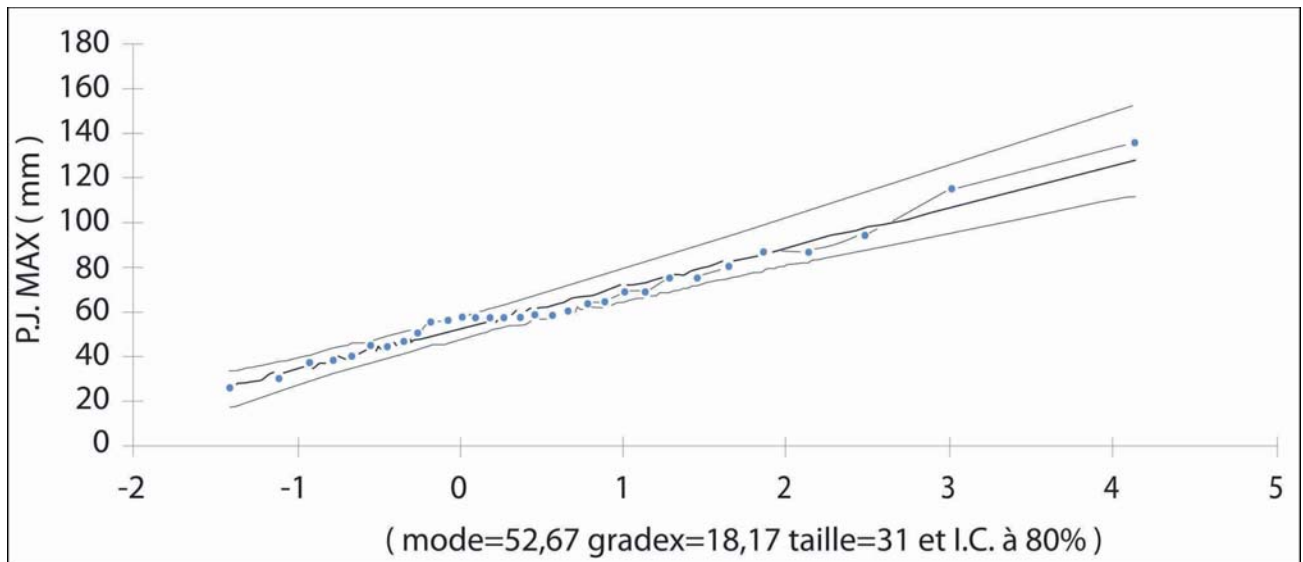


Fig. 4 - Ajustement à la loi de Gumbel des pluies journalières maximales de la station de Baraki.
Graph of maximal daily rainfall adjusted to Gumbel law for the Baraki station (P.J.max in mm).

ÉVALUATION DU RISQUE D'INONDATION DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED KNISS -
CENTRE URBAIN D'ALGER - ALGÉRIE.

avec :

Q_{max} : débit maximal de crue (m^3/s);

C : coefficient dépendant des caractéristiques morphologiques du bassin versant ($700 < C < 800$);

PJ_{max} : pluies journalières fréquentielles (m);

L : longueur du talweg principal (km);

Sm : superficie montagneuse du bassin versant (km^2);

Sp : superficie plane du bassin versant (km^2).

En l'absence de valeur de C déterminée pour l'Algérie, nous avons choisi la valeur moyenne de $C = 750$.

Les débits de crues obtenus par la méthode de Possenti sont de 84 à 158 m^3/s pour le bassin versant de l'Oued Kniss (tabl. II). La zone d'étude peut donc être confrontée à des inondations qui se manifestent par des crues catastrophiques, caractérisées par des débits supérieurs à 130 m^3/s pour une période de retour de l'ordre de 50 et 100 ans.

L'importance des ruissellements torrentiels (débit très fort, pentes fortes) est surtout perçue dans l'aménagement des zones se trouvant sur la trajectoire des cours d'eau. Ces cours d'eau forment de véritables torrents en cas d'importantes averses et vont déferler sur les zones les plus basses (le quartier du Ruisseau, la rue des Fusillés et la rue Tripoli) emportant tout sur leur passage.

3.4. Cartographie des zones inondables

L'étude des paramètres liés à l'hydrologie confirme la prédisposition de la région étudiée aux inondations. Le bassin versant est caractérisé par des pentes très fortes aux abords de l'Oued Kniss (falaises de Bir Mourad Raïs-Hydra), qui peuvent atteindre plus de 25 %, tandis qu'à l'exutoire du bassin, le quartier du Ruisseau est caractérisé par des pentes faibles, de l'ordre de 3 %, ce qui favorise la stagnation des eaux, d'où l'apparition du phénomène d'inondation. L'imperméabilisation des sols par la forte urbanisation augmente la vitesse de ruissellement. Les matériaux de déblais déversés sur les berges et la présence de faciès meubles constituent une source en apports solides. Une sévère dégradation du couvert végétal, réduit à une moyenne d'environ 12 % de la surface totale du bassin versant.

Tableau II - Valeurs des débits maxima (Q_{max} en m^3/s) pour différentes périodes de retour pour chaque station, d'après la méthode de Possenti.

Values of maximal discharges (Q_{max} in m^3/s) for each station different return periods at each station, using Possenti Method.

Stations Période de retour	P. J. max (m)			Q max (m^3/s)		
	Bir Mourad Raïs	Baraki	Douéra	Bir Mourad Raïs	Baraki	Douéra
P_5	0,0799	0,0726	0,0658	84,92	77,16	69,93
P_{10}	0,0939	0,0836	0,0758	99,8	88,85	80,56
P_{50}	0,1239	0,1076	0,0968	131,7	114,35	102,88
P_{100}	0,1396	0,1176	0,1048	148,4	124,98	111,38
P_{200}	0,1489	0,1276	0,1138	158,25	135,61	120,95

La carte d'aléa (fig. 5) correspond à une phase interprétative dans laquelle l'aléa est classifié en trois niveaux (fort, moyen, faible) qui sont indiqués par les hauteurs d'eau observées (tabl. III) en tenant compte de la probabilité d'occurrence, de l'intensité et de la répartition spatiale

du phénomène. Des profils en travers le long de l'oued principal montrent les niveaux de crue (tabl. III) pour des périodes de retour de 50 et 100 ans avec des hauteurs d'eau comprises entre 0.3m dans la partie amont et 2.0m dans la partie aval.

Tableau III - Hauteur d'eau en cas de crues cinquantennale et centennale le long des profils en travers.
Flooding level corresponding to 50- and 100-years return periods along the cross-sections.

Situation des profils en travers (A, B, C)	Période de retour de 50 ans		Période de retour de 100 ans	
	Débit Q (m ³ /s)	Hauteur d'eau H (m)	Débit Q (m ³ /s)	Hauteur d'eau H (m)
Parc d'Hydra (A)	26.87	0.3	30.28	0.32
Ravin de la femme sauvage (B)	97.72	1.4	110.11	1.52
Vers Ruisseau (C)	131,7	1.5	148,4	2.14

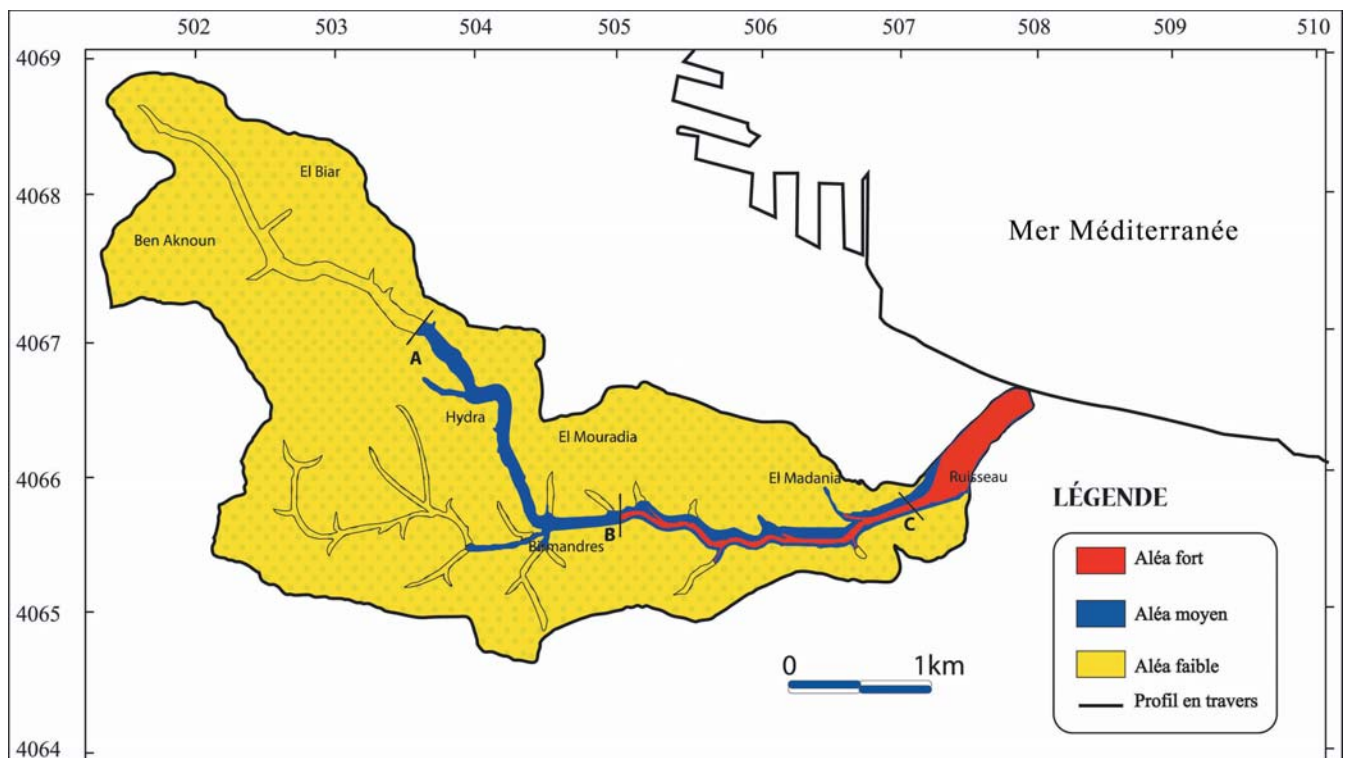


Fig. 5 - Carte d'aléa inondation montrant les profils en travers et les niveaux de crues correspondant aux périodes de retour de 50 et 100 ans.

Flood hazard map showing cross sections and the flooding level corresponding to 50- and 100-years return periods.

ÉVALUATION DU RISQUE D'INONDATION DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED KNISS -
CENTRE URBAIN D'ALGER - ALGÉRIE.

4. VULNÉRABILITÉ DES ZONES INONDABLES

La carte d'occupation du sol réalisée sur la base des photos aériennes (fig. 6), de la carte topographique au 1/10 000 et des images satellites tirées à partir de Google Earth, datées de 2008, illustre la vulnérabilité au niveau du bassin versant. Ce travail est complété par des visites de terrain entre 2008 et 2011 qui ont permis d'identifier des zones vulnérables telles que les constructions chaînées et non chaînées dans le lit mineur au niveau du Val d'Hydra (fig. 7).

La carte de vulnérabilité (fig. 8) a été matérialisée à partir de la carte d'occupation du sol et d'observations sur le terrain.

5. CARTE DU RISQUE D'INONDATION

La cartographie du zonage du risque consiste à établir des zones homogènes en fonction de l'importance du risque. La carte des risques (fig. 9) a été établie par la superposition des cartes d'aléa et de vulnérabilité.

On constate que l'Oued Kniss est, dans sa majeure partie, limité par des falaises dont la hauteur peut dépasser 30 m (Hydra-Bir Mourad Raïs). Cette morphologie fait que le débordement à ce niveau est nul. En revanche, le lit mineur de l'oued est soit urbanisé (fig. 6), soit traversé par des routes, ce qui augmente la vulnérabilité des biens et des personnes en cas de crue torrentielle.

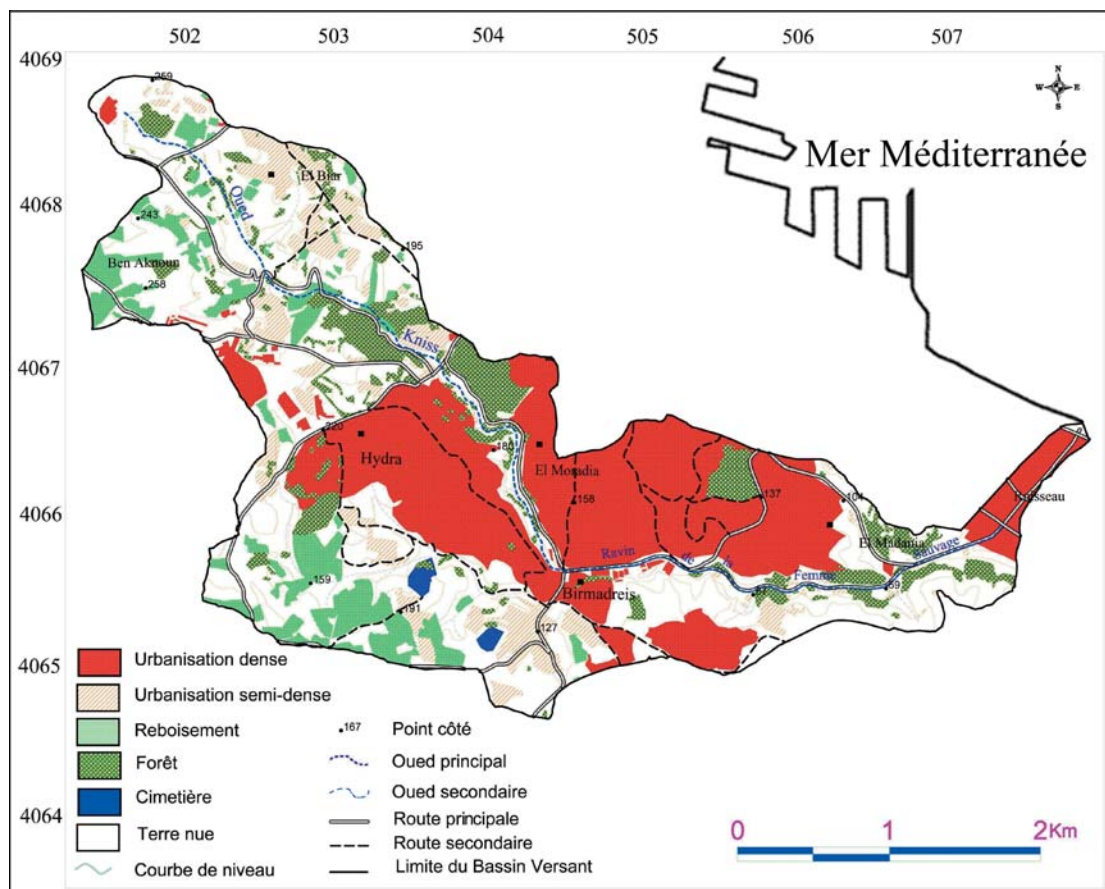


Fig. 6 - Carte d'occupation des sols
Subcatchment land-use map.



Fig. 7 - Photo montrant les constructions dans le lit mineur au niveau du Val d'Hydra (2007).
Photograph showing buildings in the minor bed in Val d'Hydra (2007).

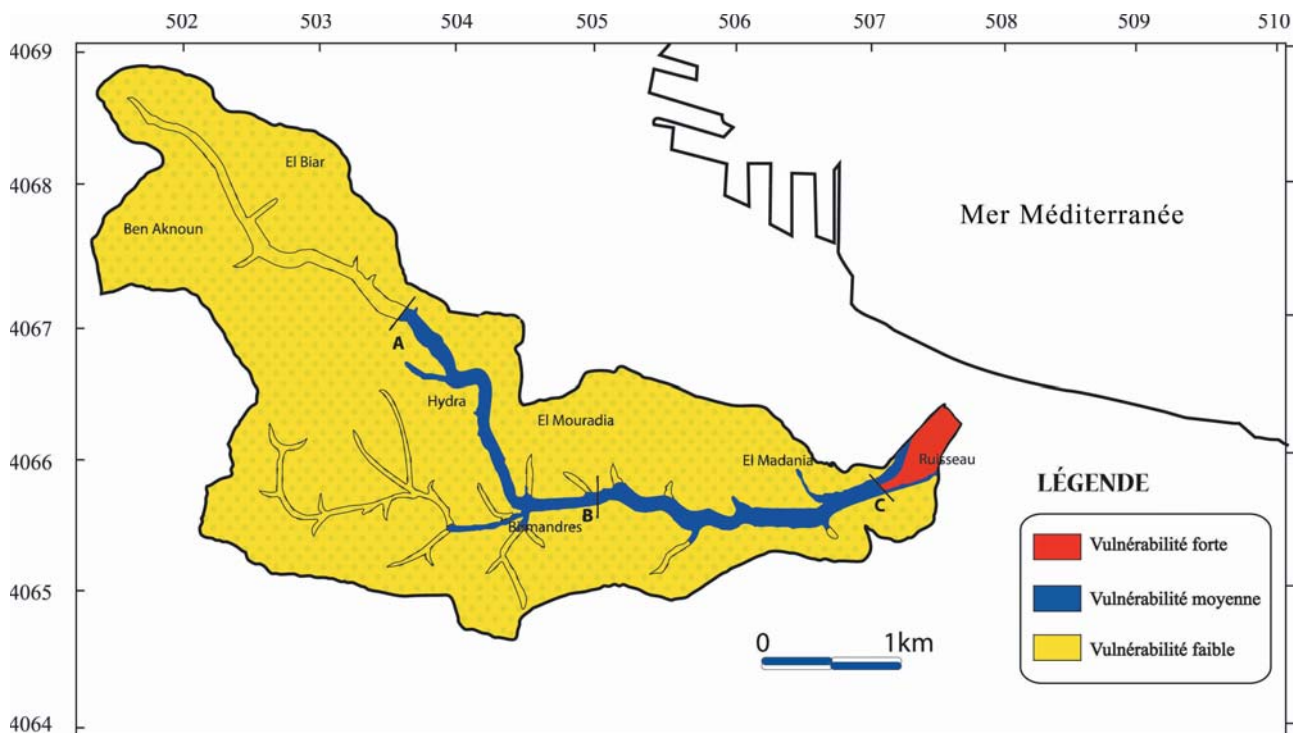


Fig. 8 - Carte de vulnérabilité à l'inondation.
Flood vulnerability map.

ÉVALUATION DU RISQUE D'INONDATION DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED KNISS -
CENTRE URBAIN D'ALGER - ALGÉRIE.

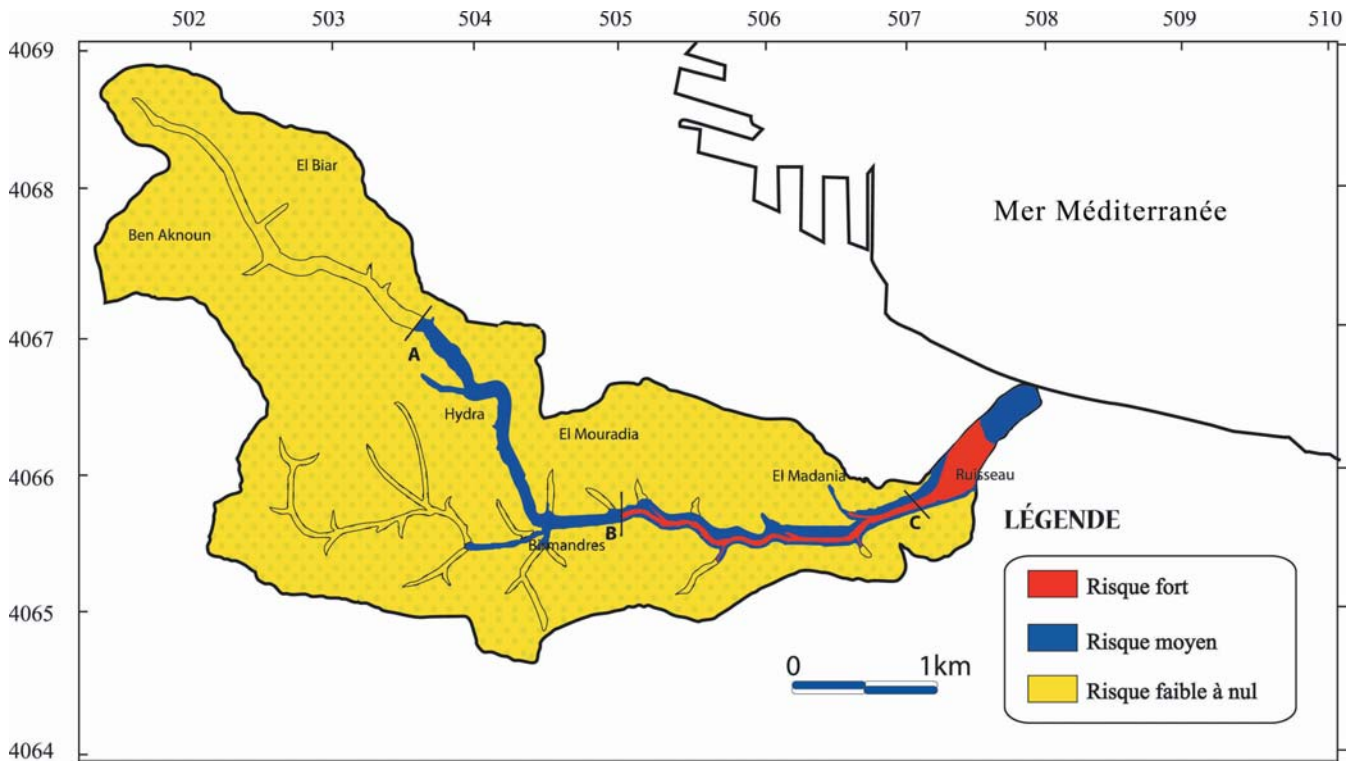


Fig. 9 - Carte du risque d'inondation.

Flood risk map.

Au Ruisseau, les pentes sont faibles, l'absence de falaises et la situation du quartier, érigé à l'embouchure de l'Oued Kniss, rendent le site très vulnérable. C'est dans cette partie à forte densité urbaine où, paradoxalement sont érigées une station de métro et une station de tramway que le risque est le plus élevé.

6. CONCLUSION

L'étude hydrologique et les caractéristiques géomorphologiques montrent que l'Oued Kniss peut, en cas d'une averse exceptionnelle, produire des crues torrentielles. Du point de vue de la vulnérabilité, les photos aériennes et les travaux de terrain, montrent que le lit mineur de l'oued est en grande partie urbanisé. Les voies de circulation peuvent aussi être très vulnérables, surtout en hiver lors des averses, durant lesquelles elles se transforment en axes de drainage. La carte du risque d'inondabilité montre que l'Oued Kniss

présente un risque assez important le long de son cours, surtout au niveau de l'embouchure. Des profils en travers le long de l'oued principal, montrent les niveaux de crue pour des périodes de retour de 50 et 100 ans avec des hauteurs d'eau comprises entre 0.3 m dans la partie amont et 2.0 m dans la partie aval.

Au niveau du quartier du Ruisseau, les pentes sont faibles, l'absence de falaises et la situation du quartier, érigé à l'embouchure de l'Oued, rendent le site très vulnérable. C'est dans cette partie à forte densité urbaine, où le risque est le plus élevé, que sont érigées une station de métro et une station de tramway.

Finalement, la mise en place d'un plan de prévention, basé sur cette cartographie, conduit à dégager quelques principes généraux, à mettre en œuvre pour mieux orienter les futurs plans d'occupation des sols :

- 1- il est urgent de délocaliser les populations installées dans des constructions non chaînées bidonvilles;
- 2- il faut interdire toute construction nouvelle à l'intérieur des zones inondables soumises aux aléas les plus forts, et toutes les opportunités doivent être saisies pour réduire le nombre des constructions exposées;
- 3- il faut un contrôle strict de l'extension de l'urbanisation dans les zones d'expansion des crues, c'est-à-dire dans les secteurs peu ou non urbanisés et peu aménagés, où la crue peut stocker un volume d'eau important;
- 4- il faut éviter tout endiguement ou remblaiement nouveau qui n'est pas justifié par la protection des lieux fortement urbanisés;
- 5- il est nécessaire de construire des canaux d'évacuation des eaux de ruissellement correctement dimensionnés et entretenir ceux qui existent.

BIBLIOGRAPHIE

- AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES (ANRH), 2007. Données pluviométriques de la période 1975-2006. *Rapport interne inédit*.
- ARGENCE, S., LAMBERT, D., RICHARD, E., SOHNE, N., CHABOUREAU, J.-P., CRÉPIN, F. AND ARBOGAST, P. 2006. High resolution numerical study of the Algiers 2001 flash flood: sensitivity to the upper-level potential vorticity anomaly. *Adv Geosc.*, 7, pp. 251-257.
- BÉLIZAIRE, D. 2005. Premier cours national post-gradué sur l'irrigation, le drainage et la gestion des ressources hydriques. ISSN 606-0534-5391. *Révision et édition: Humberto Pizarro*.
- CHEIKH LOUNIS, G., MACHANE, D., BELHAI, DJ., CHATELAIN, J.-L., DAHMANI, K. AND BICHI, N. 2009. Floods and mudflows on November 11, 2001 in Bab El Oued, (Algiers). *Proceeding of the 6th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems in Munich*, vol. 1, pp. 328-331.
- CHEIKH LOUNIS G., BELHAI, DJ., CHATELAIN, J.-L., HELLEL, M., MACHANE, D., SAMET, B. ET HABI, M. 2011. Évaluation du phénomène d'inondation dans la plaine orientale de la Mitidja (Oued El Hamiz et Oued Réghaïa) Alger – Algérie. *Bull. du Serv. Géol. National*, vol. 22, n° 2, pp. 199-212, 9 fig., 4 tabl.
- HEGLIN, M.-I., BRUNNER, D., WERNLI, H., SCHWIERZ, C., MARTIUS, O., HOOR, P., FISHER, H., SPELTEN, N., SCHILLER, C., KRESBSBACH, M., PARCHATKA, U., WEERS, U., STAEHELIN, J. AND PETER, T. 2004. Tracing troposphere-to-stratosphere transport above a mid-latitude deep convective system. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 4, pp. 169-206.
- KÄSTNER, M. 2003. Intercomparison of Precipitation Estimations Using TRMM Microwave Data and Independent Data. In: *Third GPM Workshop - Consolidating the Concept*, Noordwijk, NL 24-26 June 2003.
- LABORDE, J.-P. 1998. HYDROLAB. Logiciel de traitements statistiques des données. Université de Nice Sophia Antipolis. Librement téléchargeable à l'adresse: <http://www.unice.fr/hydroprotech/download/download>.
- MACHANE, D., BOUHADAD, Y., CHEIKHLOUNIS, G., CHATELAIN, J.-L., OUBAICHE, E.- H., ABBES, K. AND GUILLIER, B. 2008. Examples of geomorphologic and geological hazards in Algeria. *Natural Hazards, on line*, 5 February 2008, doi 10.1007/s11069-007-9167-5.
- SANTOS-MUNOZ, D., MARTIN, M.-L., LUNA, M.-Y. AND MORATA, A. 2006. Diagnostic and numerical simulations of heavy rain event in the Western Mediterranean Basin. *Adv. Geosc.*, 7, pp. 105-108.
- THOMAS, W., BAIER, F., ERBERTSEDER, T. AND KÄSTNER, M. 2003. Analysis of the Algerian severe weather event in november 2001 and its impact on ozone and nitrogen dioxide distributions. *Tellus Blackwell*, 55B, pp. 993-1006.

CALCAIRES ET CHAUX : LA CARRIÈRE DU KHROUB (ALGÉRIE NORD-ORIENTALE), UN EXEMPLE D'APPLICATION.

Mohammed BOUREZG* et Omar KOLLI**

RÉSUMÉ

L'Algérie, et particulièrement sa région nord-orientale, recèle des potentialités appréciables en calcaires. Pour cette matière première le cas d'une carrière en activité, celle de l'Oum Settas (El Khroub), a été retenu comme exemple. Cette carrière est présentée dans son environnement géologique local. Elle se situe dans l'un des massifs appartenant au domaine néritique constantinois et est exploitée pour son niveau calcaire attribué au Crétacé moyen à supérieur.

À partir d'observations et de données d'analyses d'échantillons, nouvellement prélevés, nous avons avancé, au moyen d'une approche statistique, des interprétations sur le comportement géochimique d'éléments constitutifs de ce carbonate. Au-delà de ces interprétations, un tel calcaire reste très pauvre en contenus chimiques autre que carbonaté. S'il est exploité assez sélectivement tout en le débarrassant (en cours du broyage) des phases argileuses associées, il réunit des qualités qui le rendent apte à la fabrication de chaux. D'autres tests, thermiques et de réactivité confirmeront à coup sûr cette tendance.

L'objectif de cette note est de mettre l'accent sur la valorisation de la chaux car ses applications sont nombreuses et de plus en plus variées. La production avérée d'un tel matériau est pour beaucoup de pays un véritable indicateur de croissance économique.

Mots-clés - Oum Settas (Algérie du NE) - Calcaire - Chaux - Prospection - Analyses chimiques - Approche géochimique.

LIMESTONE AND LIME : THE KHROUB CARRY (NORTH EASTERN ALGERIA), AN APPLICATION EXAMPLE.

ABSTRACT

Algeria and particularly the Northeastern region reveals valuable potentialities of limestones. For these raw materials, a carry, as Oum Settas (El Khroub) which is currently operating, is taken into consideration. The latter is presented in its local geological environment. It's located in one of the massifs belonging to the Constantinois neritic domain.

The pit is worked for its limestone levels attributed to the Middle and Upper Cretaceous.

From the mining data and some results of sample analyses recently taken, by means of a statistical approach, interpretations of the elements geochemical behavior of elements that constitute these carbonates, have been suggested. This step is considered only as the first stage to be followed by other tests in order to characterize the obtaining of the appropriate lime types.

* Laboratoire Géologie et Environnement, Département des Sciences de la Terre, FSTGAT-Université Mentouri-Constantine. Route Aïn el Bey, campus Zouaghi, Constantine. E-mail : bourezg_hamid@yahoo.fr

** Laboratoire de Métallogénie et Magmatisme de l'Algérie, FSTGAT-USTHB, Alger. E-mail: okollidz@yahoo.fr
- *Manuscrit déposé le 27 Juillet 2011, accepté après révision le 05 Avril 2012.*

The aim of this paper is to focus the lime valorization because of their applications which are numerous and various. The recognized production of a such material is for many countries a true indicator of an economic development.

Keywords - Oum Settas (NE Algeria) - Limestone - Lime - Prospection - Chemical analysis - Geochemical approach.

1. INTRODUCTION

1.1- Généralités

Le calcaire est parmi les roches industrielles les plus communément utilisées dans la vie courante. Ce carbonate naturel est très connu dans le domaine de la construction depuis la plus haute antiquité. Il donne après cuisson, de nombreuses variétés de chaux aux applications largement plus étendues que celles des roches à leurs origines. C'est la connaissance de plus en plus étendue de ces chaux qui a rendu possible de telles applications. Nous rappelons quelques caractères de bases de ces produits tant utilisés avant de présenter la carrière du Khroub. Le calcaire qu'elle produit est tout indiqué pour fabriquer de la chaux de bonne qualité. Il faudra trouver dans la région des calcaires de ce type pour envisager une production massive de chaux.

1.2- Importance de la chaux

La chaux est obtenue par calcination du calcaire à une température voisine de 900°C. Pour l'industrie, la matière première recherchée est un calcaire chimiquement très pur.

Les autres constituants qui peuvent lui être associés sont considérés comme des "impuretés", donc à éviter au maximum, au-delà d'un seuil de présence :

- le soufre et le phosphore sont nuisibles dans les applications en sidérurgie;
- le fer dans les applications où la couleur a de l'importance (verre, gypse...);
- les métaux lourds comme le Pb, Zn, Hg, Cd...

sont à éviter pour les applications dans l'environnement, l'alimentation etc....

Des limites de tolérance sont spécifiées pour chaque type d'application.

L'homogénéité, la cohésion de la roche de départ sont aussi appréciées. Cette dernière qualité assurera une bonne fragmentation du matériau et limitera la production de particules fines, indésirables lors de la cuisson. D'autres propriétés comme la blancheur des calcaires, leur état granulaire (finesse, surfaces spécifiques) sont rigoureusement contrôlées pour certaines applications.

Dans le cas où le calcaire est relativement pur, les chaux obtenues sont dites aériennes. Dans le domaine de la construction, on parle aussi de «chaux grasses» à cause de l'onctuosité qu'elles procurent aux mortiers. Ces chaux aériennes se subdivisent elles-mêmes en deux catégories : les chaux vives et les chaux éteintes, selon leur mode d'obtention et donc leur nature chimique. Les chaux vives (CaO) sont obtenues par calcination à 900°C de calcaires très purs alors que les chaux éteintes [Ca(OH)₂] sont le produit de l'hydratation de la chaux vive (action de l'eau dite aussi extinction).

Le carbonate naturel de base peut être aussi une dolomie, ce qui donnera lieu à une chaux magnésienne (ou dolomitique).

La présence de CaO dans les calcaires, leur confère certaines caractéristiques spécifiques : **(i)** - une faible dureté, **(ii)** - un caractère basique (ou réactivité) faible ou prononcé et **(iii)** - une capacité à être décarbonatés (pour leur transformation en CaO), (Claude, 1994).

Le composé (CaO) en abondance dans la matière première, donne à la chaux un caractère hydrophile important (avidité d'eau); de plus, sa réaction d'hydratation est fortement exothermique et s'accompagne d'une augmentation de volume et d'une augmentation de la finesse des grains (utilisée pour les assèchements des sols, des routes...).

La chaux est une base forte, apte à neutraliser des acides. Réactive, cette basicité induit un caractère caustique important (application comme désinfectant, bactéricide puissant, traitement des arbres, des eaux usées, des boues des stations d'épuration...).

Dans l'épuration des eaux usées, surtout par les procédés physico-chimiques, l'action de la chaux, outre sa rapidité et sa souplesse, est multiple. Elle agit comme éliminateur des produits toxiques et des sels de métaux lourds grâce à une élévation du pH qui les fait précipiter sous forme d'hydroxydes. Elle ajuste ainsi le pH afin de rendre l'eau compatible avec les traitements ultérieurs (Claude, 1994).

Tableau I - Zones idéales de pH pour la précipitation de divers sels de métaux lourds par la chaux

pH ideal zones of various salts precipitation

Métal \ pH	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Aluminium									
Cadmium									
Chrome									
Cobalt									
Cuivre									
Fer									
Plomb									
Manganèse									
Mercure									
Nickel									
Argent									
Zinc									

Le tableau I montre les zones idéales de pH où précipitent divers sels de métaux lourds sous l'action de la chaux.

La chaux a une grande aptitude à la recarbonatation : elle «revient» d'où l'application comme mortier, comme absorbeur de CO₂ (fabrication de sucre, adoucissement des eaux calcaires). Elle assure, par sa réactivité, la coagulation et la précipitation de nombreuses matières organiques en suspension dans un liquide, dans une réaction de floculation (traitement des boues, des sols, des marées noires, des fumées...). Celle-ci peut donner aussi, une structure grumeleuse à des produits organiques pour mieux les séparer ou les manipuler (Claude, 1994 et Lhoist, 1992).

Elle permet aussi de réaliser des réactions pouzzolaniques en formant avec certains matériaux (pouzzolanes naturels, scories et incuits de hauts fourneaux) des silicates ou aluminates de calcium qui durcissent comme un ciment.

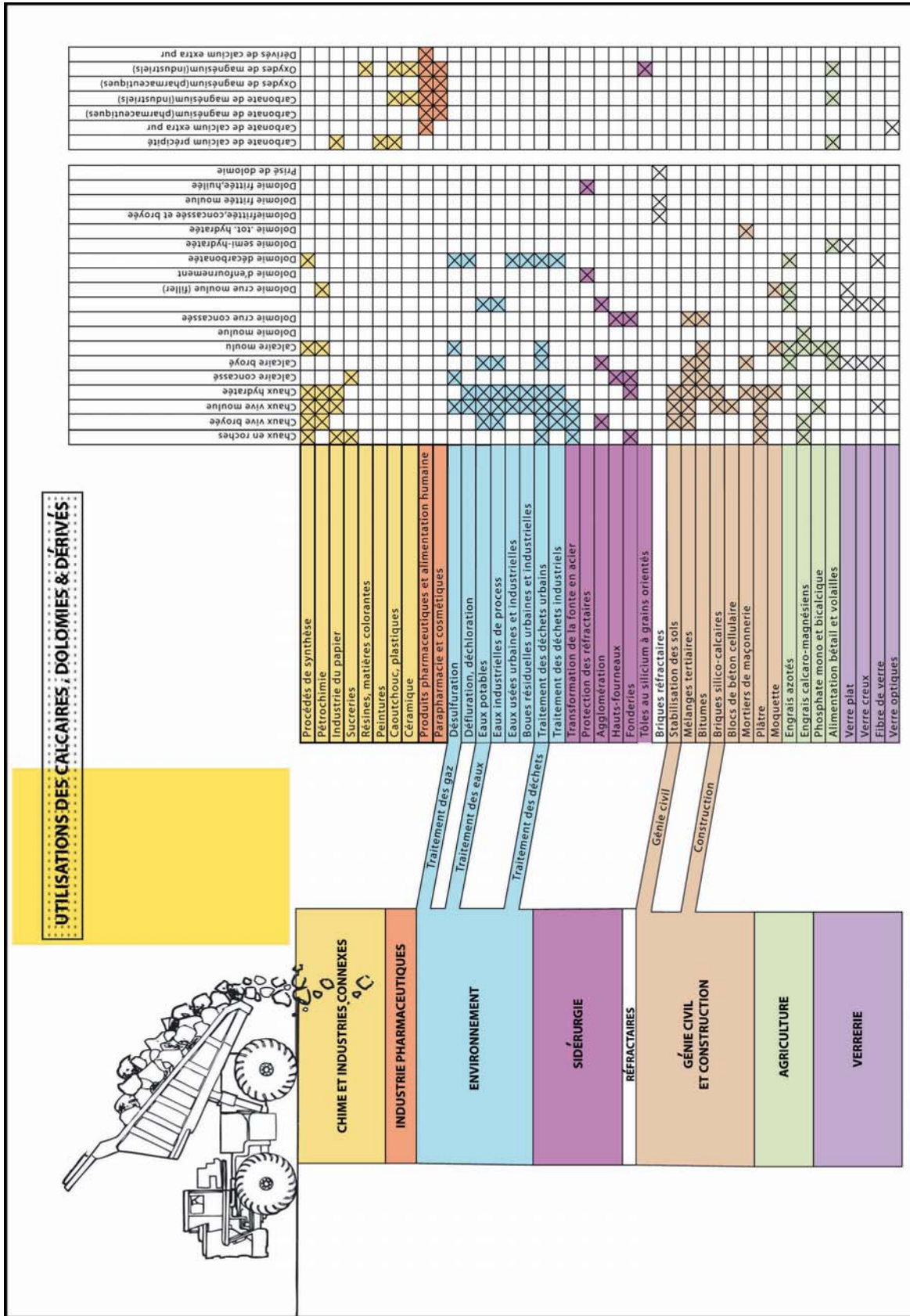
Elle est hautement appréciée dans les domaines architectural et artistique pour sa perméabilité à la vapeur d'eau et son imperméabilité à l'eau de ruissellement. Elle est connue pour sa souplesse et son élasticité mais aussi pour son esthétique (site internet).

Un autre caractère, on ne saurait les citer tous, est la modification de sa porosité et un changement de texture qui induit celle de sa densité apparente... (Claude, 1994, Lhoist, 1992).

L'utilisation de la chaux se justifie donc en raison de ses nombreuses qualités. Sa fabrication de plus en plus fine et scientifique la rend chaque fois plus adaptée à de nouvelles applications.

Le tableau II indique de façon très condensée quelques domaines d'utilisation des carbonates naturels et chaux associées (Lhoist, 1992) :

Tableau II - Domaine d'utilisation des carbonates (Lhoist 1992)
 Use domain of carbonates (Lhoist, 1992)



1. 3 - La chaux en Algérie

La fabrication de chaux est encore à ses débuts. Sa production, en 2008 est estimée à moins de 130000 t/an toutes gammes confondues (statistiques du Ministère de l'Énergie et des Mines, Algérie (sites internet)). Cette chaux est destinée presque exclusivement au secteur de la sidérurgie et reste peu ou mal connue ailleurs. Pourtant elle peut intervenir dans un nombre considérable de domaines comme nous pouvons le constater.

Dans le nord-est du pays, les potentialités en matière première de qualité sont importantes. Elles se trouvent dans les massifs carbonatés sédimentaires. Ceux formant la Dorsale Kabyle ou ceux du néritique constantinois constituent des gîtes intéressants avec des réserves valorisables importantes.

Il est établi que les calcaires les plus prometteurs sont de type organogènes, construits en dalles ou récifs par des colonies d'organismes, micro-organismes et végétaux (algues, rudistes, polypiers, miliolles, foraminifères...) déposées en milieu marin relativement peu profond. Ces récifs

sont associés à des périodes de transgressions majeures comme celles connues durant le Cénozoïque (cas de l'Oum Settas).

Ces constats peuvent servir de guides préliminaires utiles à la mise en valeur de nouvelles potentialités. Dans ce qui va suivre, la carrière de l'Oum Settas (fig.1), (Vila, 1978 et 1980) est examinée dans son contexte géologique et minier. Cette exploitation est prise en exemple car les granulats qu'elle produit ont des qualités qui les rendent aptes à la production de chaux et autres variantes.

De tels produits, par leurs propriétés intrinsèques et à acquérir durant l'enfournement, trouveront des applications importantes et variées.

La fabrication de certaines qualités de chaux est assez largement accessible. L'expérience acquise au complexe d'El Hadjar (Annaba) le prouve. La production couvre les besoins de la sidérurgie et ceux d'autres petits utilisateurs. Il faut intéresser d'autres consommateurs (habitat, agriculture, industries diverses...) car pour de tels produits, un marché aux énormes besoins reste à consolider et à conquérir.

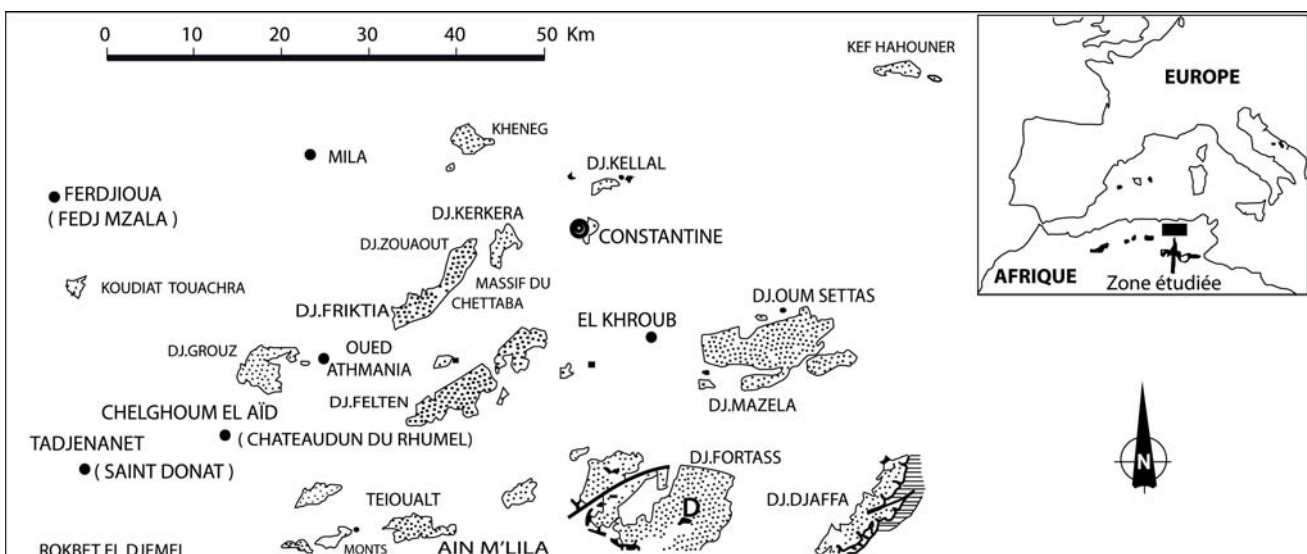


Fig. 1 - Répartition régionale partielle des massifs nérétiques constantinois (d'après Vila, 1978, modifiée)

Partial regional distribution of the constantinois neritic massifs

2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

2.1- Localisation

Dans l'orogénie alpine, la région de Constantine fait partie des Maghrébides de l'Algérie nord-orientale. Elle représente un tronçon de la chaîne « alpine » nord africaine. Cet édifice orogénique résulte de la structuration du bassin maghrébin et de ses marges lors des phases tectoniques tertiaires (Aris, 1994). Il en a résulté plusieurs domaines paléogéographiques qui sont, en partie, superposés suite à un réarrangement global complexe (mouvements compressifs, distensifs, fractures, cisaillements...).

Dans cet ensemble, quelques reliefs carbonatés apparaissent sous forme de « hauts fonds ». Ils sont appelés massifs néritiques constantinois. C'est dans ce domaine qu'est situé le massif de l'Oum Settas contenant la carrière de calcaire dite « carrière géante du Khroub » non loin de la ville de Constantine.

2.2- Le domaine néritique constantinois

Il fait partie des zones externes et regroupe un ensemble de massifs carbonatés datés jurassico-crétacés ainsi que leur couverture marno-calcaire d'âge crétacé supérieur à éocène.

Le premier ensemble correspond à l'un des témoins d'une plateforme à sédimentation néritique de haut fond. De nombreux indices caractérisent l'allochtonie de cette plateforme et de sa couverture, lesquels sont signalés par Guiraud (1973); Vila (1980) et Lahondère (1992) *in*. Aris (1994).

Les terrains les plus anciens remontent au Néocomien. Ils sont composés de marno-calcaires et calcaires surmontant par endroits des calcaires dolomitiques et des dolomies de la fin du Jurassique. Au-delà du Valanginien, les faciès redeviennent essentiellement calcaires jusqu'à l'Ap-

tien et même au Sénonien (cas de l'Oum Settas). À ce dernier niveau, les faciès, devenus franchement marno-calcaires puis conglomératiques, appartiennent à la couverture de la plateforme constantinoise.

Du point de vue structural, la région de Constantine montre un empilement d'unités charriées. Chaque unité se définit selon sa nature par son comportement, ses caractères de mise en place, ses types de déformations... L'ensemble donne une configuration beaucoup plus complexe qu'un simple empilement de nappes (Aris, 1994).

Les mouvements ayant généré cette disposition remontent au Crétacé. D'autres phases ont suivi durant l'Eocène (Lutétien tardif) et au Miocène. Durant la phase alpine, de grands chevauchements ont été à l'origine de désordre dans la structure d'ensemble. Puis a succédé une déformation tectonique compressive à la limite du Plio-Quaternaire qui est considérée comme responsable de la topographie actuelle (Marmi et Guiraud, 2006).

Sur le plan paléogéographique et sédimentologique, le domaine néritique constantinois s'individualise dès la fin du Jurassique et se caractérise par une sédimentation carbonatée massive. Cette sédimentation carbonatée va se poursuivre jusqu'au Cénomanién inférieur.

Dès le Cénomanién moyen et supérieur, la limite sud du sillon voit réapparaître une sédimentation pélagique avec une mince intercalation à « caprines ». Le Cénomanién est localement transgressif sur le domaine néritique. Le passage Cénomanién-Turonien correspond à une sédimentation instable (djebel Oum Settas et environs de Constantine). Les faciès néritiques réapparaissent au Cénomanién supérieur. Le Sénonien, permet de faire la zonation la plus complète; ses formations, conglomératiques au départ puis marno-calcaires, sont peu épaisses et plus ou moins transgressives sur la plateforme néritique (Aris,

1994; Coiffait et *al.*, 1975; Raven, 1957 et Vila, 1980).

Il y a une lacune de dépôts éocènes mais les premiers charriages se produisent vraisemblablement au Priabonien et l'avancée des nappes sur le domaine néritique provoquent des plissements NE-SW (phase atlasique). Après une période relativement calme, la mer revient en transgression au Burdigalien supérieur et la sédimentation se généralise sur toute la plate-forme néritique.

3. DONNÉES SUR L'OUM SETTAS (EL KHROUB)

3.1- Situation et aperçu géologique

L'Oum Settas, situé à l'est du Khroub, est un massif allongé E-W. Il apparaît en horst, comme les autres massifs du néritique constantinois et comporte des formations carbonatées fracturées, plissées en un anticlinal dont le flanc sud laisse parfois entrevoir des strates dont le pendage varie de 15° à 25° vers le sud-ouest.

Localement, au niveau de la carrière et partant du sud vers le nord et de haut en bas, ces formations comportent (fig.2) :

- une couverture sénonienne conglomératique et marno-calcaire qui débute par des surfaces durcies ou «hard ground», qui sont visibles dans le talweg en contrebas de la plateforme de base de la carrière, au sud du profil 1 dressé en remontant la topographie à partir du niveau 700 (fig.3);

- au dessus, viennent sur près de 100 m, des niveaux calcaires attribués au Cénomaniens et Céno-mano-Turonien. Ces calcaires ont des textures, des duretés et des teintes légèrement variables. Ils sont fracturés, plus ou moins karstifiés avec dans les fissures de beaux cristaux parfois pluricentimétriques de calcite teintée et en croissance centripétale. Ces calcaires sont riches en fossiles: hippurites, foraminifères, rudistes...

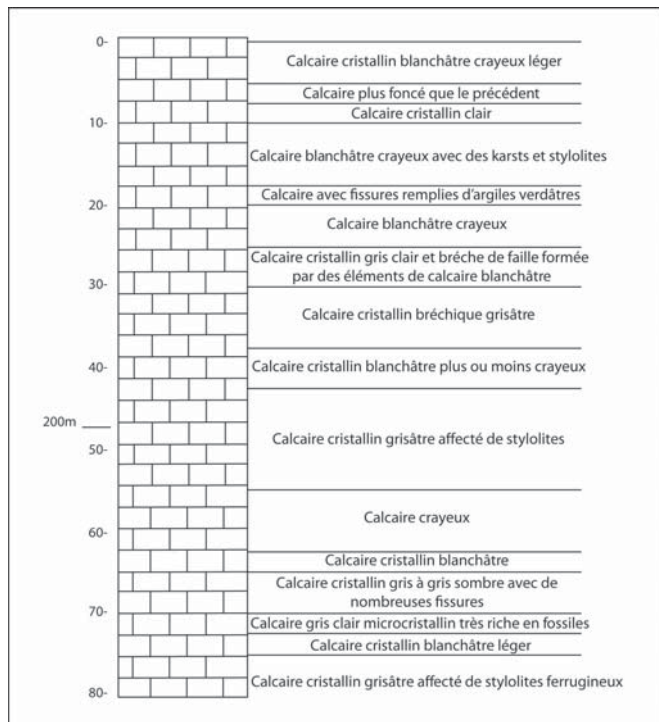


Fig. 2 - Lithologie du sondage S22 implanté dans la partie nord de la carrière

Lithological column of borehole number 22 implanted in the northern part of the quarry

Certains bancs comportent des surfaces stylolitiques plus ou moins concordantes avec la stratification.

Des sections observées à la loupe binoculaire montrent que ces calcaires sont organogènes et contiennent des hippurites parfois pluricentimétriques. Les textures sont souvent micritiques, parfois sparitiques et reflètent des dépôts marins de milieu peu profond (observations personnelles).

En surface, les roches ont des formes arrondies et montrent parfois des rainures et parfois des perçages plus ou moins importants dus aux dissolutions. Le sol de couverture est composé d'argiles brun-rougeâtres qui contiennent de la calcite et un peu de quartz (confirmés en analyse par diffraction aux RX). Ces argiles remplissent les vides laissés par les fractures et les dissolutions.

- Vers le nord, les calcaires deviennent plus sombres et contiennent des coquilles d'huîtres entières ou en débris parfois pluricentimétriques. Ce faciès marque le sommet de l'Aptien.

- Plus au nord, au sommet du massif, affleure une série carbonatée attribuée au Barrémien.

Des discontinuités de sédimentation sont mises en évidence. Elles se rapportent aux lacunes de l'Albien, à la discordance du Cénomanién et aux lacunes du Turonien et du Sénonien inférieur. Dans le secteur du massif, cette absence de dépôts (soulignée par des surfaces durcies) et des discordances angulaires semblent être l'effet d'une instabilité post-aptienne probablement associée à une tendance à l'approfondissement (période Vraconien-Cénomanién inférieur). Pour Aris (1994) et d'autres auteurs, les passages latéraux

de faciès et l'anisochronie de la base du Sénonien caractérisent des conditions de dépôt influencées par une mobilité tectonique du substratum suggérant un mouvement vertical de panneaux rigides.

Par ailleurs, Le massif de l'Oum Settas est marqué par une intense fracturation multidirectionnelle.

3.2- données minières

Plusieurs carrières sont ouvertes dans les calcaires crétacés du flanc sud de ce massif. Celle exploitée par l'entreprise nationale des granulats (ENG) est située dans la partie ouest et appelée carrière « géante » en raison de sa taille. Sa mise en activité date du milieu des années 1970.

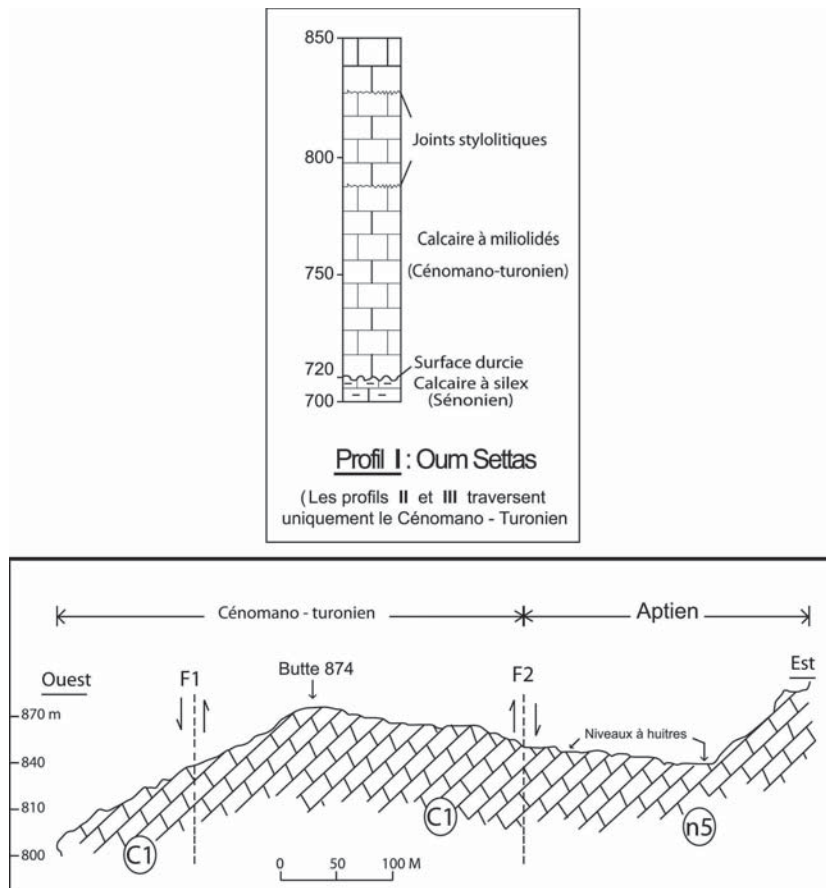


Fig. 3 - Profil (1) et coupe A, Oum Settas (observations personnelles)

Profil (1) and cross section A, Oum Settas massif (personal observations)

Cette carrière - qui produit aujourd'hui près d'un million de tonnes de tout venant par an, a été reconnue par plusieurs campagnes de prospection (rapport de l'ENDMC, 1991; rapport de l'ENG, 2001). Les études réalisées ont permis d'individualiser deux types de calcaire :

- une variété riche en carbonate de calcium (reconnaissable sur le terrain grâce à sa teinte claire), faisant l'objet d'une exploitation sélective, d'un tri de blocs et d'un broyage séparé destiné à produire un calcaire très pur, blanc, appelé «poudre de carbonate de calcium». Réduites à des dimensions commerciales, les variétés les plus fines et les plus pures sont destinées aux secteurs pharmaceutique, alimentaire et chimique (papeterie, peintures, etc.). Quelques caractères, montrant qualité et usages du produit, apparaissent dans la fiche technique donnée en exemple (tabl. III en annexe);

- les catégories les plus grossières servent dans le domaine du bâtiment (carrelages, enduits...) ou comme additif pour d'autres utilisations;

- puis une variété de calcaire plus ordinaire, moins pur, moins blanc mais débarrassé, assez aisément durant le criblage, des impuretés argileuses plus ou moins riches en oxydes de fer. Celle-ci est destinée à fournir différentes catégories de granulats.

Loin des fractures, les calcaires sont homogènes. Ils se débitent bien durant le concassage et ne produisent pas trop de fines.

3.3- Échantillonnage et géochimie

L'échantillonnage est réalisé le long de profils plus ou moins parallèles et distants d'environ 200 m les uns par rapport aux autres. Des profils (I, II et III) sont dirigés approximativement N-S au sommet du Cénomaniens et d'autres (A et B) sont orientés E-W et situés à la base de cet étage et près du contact avec l'Aptien (profil I et coupe A en fig.3). Ce qui a permis de prélever quelques

107 échantillons de surface qui ont été analysés pour leur contenu en oxydes majeurs [CaO, MgO, Fe₂O₃, SiO₂, Al₂O₃, MnO et S, avec PF (pertes au feu)] (tableau en annexe). Parmi ces échantillons, 47 le sont pour 18 éléments (au contenu précédent s'ajoutent BaO, SrO, P₂O₅, Na₂O, K₂O, Pb, Zn, Ni, V, TiO₂).

Les analyses sont effectuées par voies spectrométriques : d'absorption atomique (AAS); éventuellement complétées par fluorescence X (XRF) dans le laboratoire de l'entreprise LHOIST, en Belgique, selon les modes opératoires en usage dans ce laboratoire (tableau de données en annexe).

L'approche statistique réalisée au moyen du logiciel Statistica Logiciel (1984-2002), pour une distribution normale des données, permet de relever plusieurs tendances corrélatives. En retenant un taux de corrélation significatif ($r > 0.83$; r : coefficient de corrélation) (tabl. IV et V en annexe), quelques unes de ces tendances apparaissent dans les diagrammes binaires des variables (ici les éléments chimiques). Deux cas de figure sont envisagés en fonction du nombre d'observations et de variables :

* Pour le premier cas
(107 observations et 08 variables).

La figure 4 présente des corrélations parmi les plus significatives en accord avec les valeurs élevées des coefficients de corrélation (tabl. IV).

Les liens entre les différents éléments apparaissent sur le graphe (fig.5).

Les variables sont réparties uniformément et de façon arbitraire sur le pourtour du graphe et leurs relations sont marquées par des traits différenciés.

- Les corrélations positives montrant les affinités (ou compatibilités) suivantes :

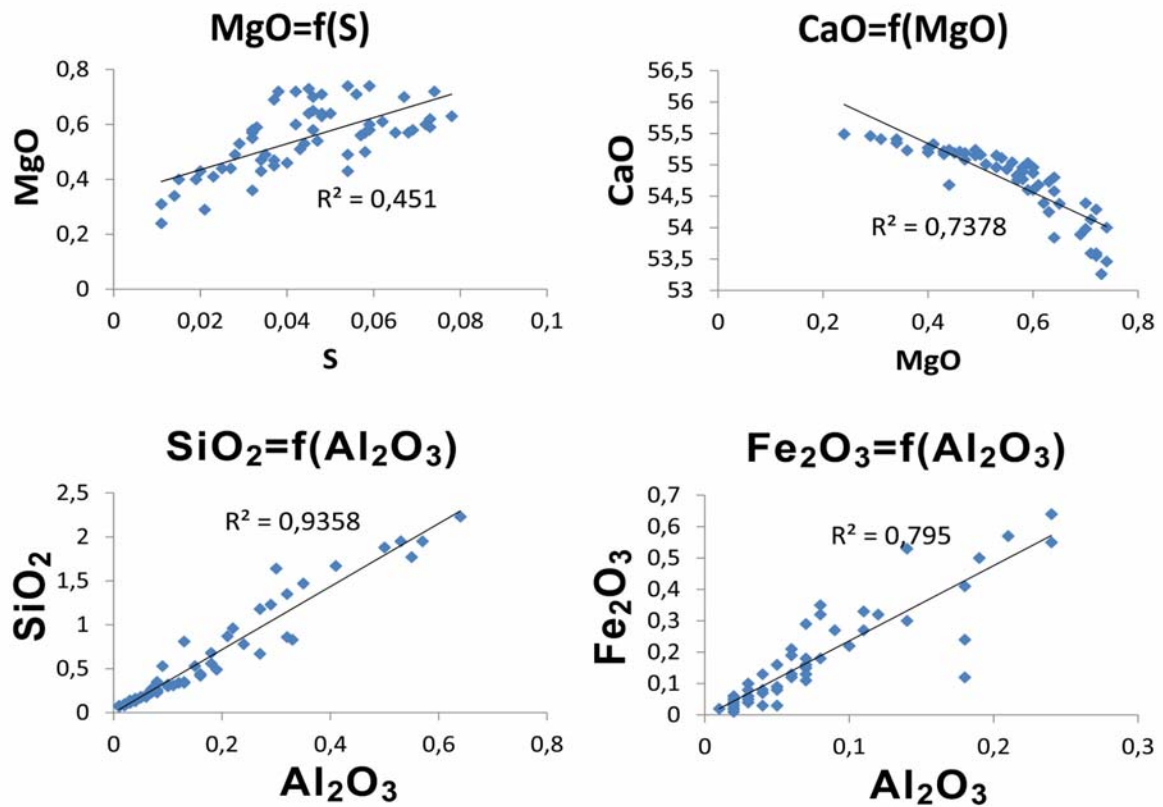


Fig. 4 - Exemple de diagrammes de corrélation (107 observations, 8 variables)

Correlation graphs exemple (107 observations, 8 variables) Oum Settas massif

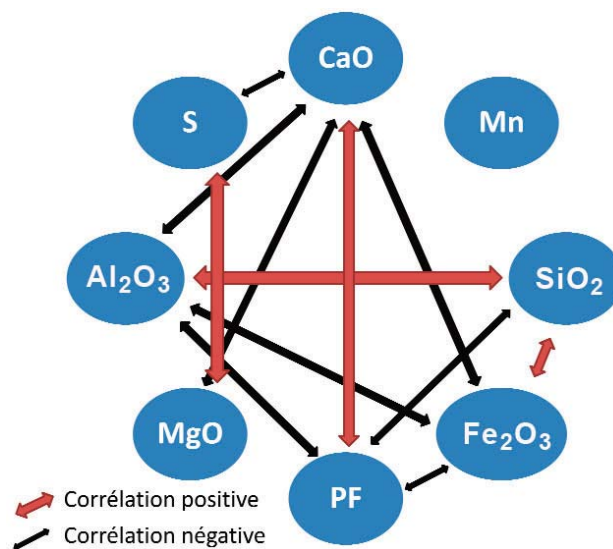


Fig. 5 - Graphique d'assemblage des corrélations (107 observations, 8 variables)

Correlation assembly graphic (107 observations, 8 variables)

(a) CaO - PF : liée à la présence de CO_2 dans les calcaires ;

(b) Al_2O_3 - Fe_2O_3 - SiO_2 : reflète la phase argileuse des sédiments associés aux calcaires ;

(c) MgO - S : affinité du soufre pour l'oxyde de magnésium.

- Des corrélations négatives montrant des incompatibilités d'associations :

(d) S - CaO; CaO - MgO; Fe_2O_3 - CaO.

* Pour le deuxième cas
(47 observations et 18 variables).

(e) La même tendance corrélative qu'en (b) réapparaît, avec K_2O et MgO qui rejoignent cette association dans la phase argileuse;

(f) une autre tendance corrélative est celle qui regroupe :

MnO - P_2O_5 (où $r = 0,83$).

Mais son interprétation est incertaine en raison du nombre restreint d'observations.

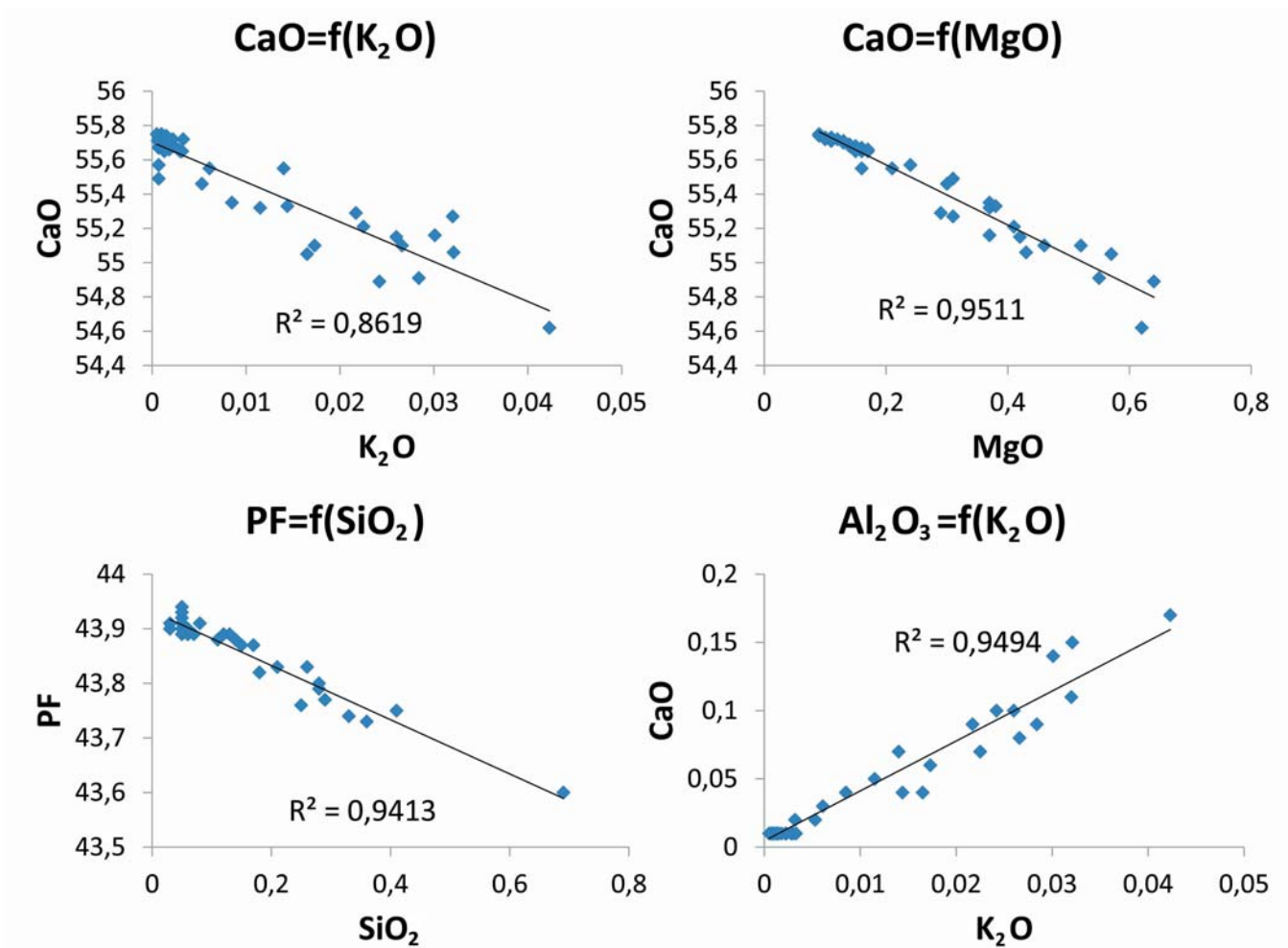


Fig. 6 - Exemples de diagrammes de corrélation (48 observations, 18 variables)

Correlation graphs exemple (48 observations, 18 variables)

La figure 6 précédente montre des diagrammes reflétant quelques unes des tendances évoquées.

Cette approche géochimique met en évidence des corrélations entre les éléments contenus dans les calcaires de l'Oum Settas et même certaines incompatibilités. L'examen des données d'analyses montre, par ailleurs, la très faible présence d'éléments chimiques autre que CaCO_3 et une grande régularité de leurs distributions dans l'espace échantillonné (tabl. VI, en annexe). La liaison du calcaire avec les argiles et autres impuretés associées est éphémère car facile à rompre durant le broyage.

Cette pauvreté chimique et cette homogénéité de composition font du calcaire de l'Oum Settas un matériau qui fournit un produit (le carbonate de calcium) d'excellente qualité. Si l'on tient compte de la texture de la roche de départ, de sa blancheur et de son bon comportement mécanique à l'écrasement, il y a là, une somme de caractères indiquant sa bonne aptitude à produire de la chaux.

4. CONCLUSION

La chaux, toutes variétés confondues, est un produit de première importance. Même si elle est pondéreuse et à faible valeur ajoutée, sa production dans les pays avancés est un puissant indicateur de développement local. Grâce à ses nombreuses qualités, la chaux est un produit plus qu'utile. En Algérie, où les matières premières sont abondantes, sa production et son utilisation doivent figurer parmi les priorités des futurs plans d'investissements. Elle aura à jouer un rôle capital en agriculture et dans de nombreuses branches industrielles, dont le traitement des eaux et la protection de l'environnement.

Cependant, il est souhaitable de recenser et de sélectionner des carrières nouvelles ou en activité, à l'échelle régionale et à l'image de l'Oum Settas, susceptibles de fournir les matières pre-

mières en qualité et quantité suffisantes. Des démarches de caractérisations systématiques et approfondies devront être entreprises. Des essais de cuisson à différentes échelles et autres tests sur produits cuits sont indispensables. Ils serviront à prédire les variétés de chaux possibles.

BIBLIOGRAPHIE

- ARIS, Y. 1994.** Étude tectonique et microtectonique des séries jurassiques à plio-quatérnaires du Constantinois central (Algérie nord-orientale) : caractérisation des différentes phases de déformation. *Thèse de Doctorat. Nancy I-France. Géol. d'Algérie*, n°141, 55 fig., 2 pl. h.t. 249p.
- CLAUDE, J. 1994.** La chaux, ses utilisations. Balthazar et Cotte (Groupe Lhoist) - Tech. *Nathan France*. 73p.
- COIFFAIT, P.-E., QUINIF, Y. ET VILA, J.-M. 1975.** Karstification des massifs néritiques constantinois (Algérie). *Revue des ann. de spéléo.*, t. 30, 0, fasc.4. CNRS. France.
- ENDMC (ENT. NAT. DES MAT. DE CONSTRUCTION) 1991.** Unité de recherche et Études Géologiques «Projet poudre de carbonate de calcium d'El Khroub» Boumerdès. *Rapport inédit*.
- ENG (ENT. NAT. DES GRA.) 2001.** Exploitation qualitative du gisement de carbonate de calcium d'El Khroub-Constantine. Alger. *Rapport préliminaire inédit*.
- GUIRAUD, R. 1973.** L'évolution post-triasique de l'avant pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. *Thèse Sci. Univ. de Nice*, 114 fig., 12 pl. h.t., 270p.
- LHOIST, S.-A. 1992.** Brochures et Prospectus «Chaux, fabrication, usages». Coordination Center B-1342 Ottignies- Louvain La Neuve. Belgique.
- MARMI, R. AND GUIRAUD, R. 2006.** End Cretaceous to recent polyphased compressive tectonics along the "Môle Constantinois" and foreland (NE Algeria). *Jour. of African Earth Sciences*, 45, pp. 123-136.

RAVEN, TH. 1957. Carte et notice explicative de la carte géologique au 1/50 000 du Khroub. *Publication du Serv. de la Carte Géol. de l'Algérie.*

VILA, J.-M. 1978. Définition de la nappe néritique constantinoise, élément structural majeur de la chaîne alpine d'Algérie nord orientale. *Bull. Soc. Géol. France*, 7^e série, t. XX, n°5, pp. 791-794.

VILA, J.-M. 1980. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. *Th. Doc. es-Sc. Univ. P. et M. Curie-Paris VI*, 2 vol., 665 p.

SITES INTERNET

- www.ecole-avignon.com
- www.ocres-chaux.fr/chaux.shtml
- Wikipedia.org/wiki/chaux_chimie=la_chaux_vive
- www.fr.ekopedia.com/chaux
- www.mem.algeria.org/français/index.php

LOGICIEL. Logiciel STATISTICA-Version 6.1 (1984-2002) copyright stat soft, Inc.

Tableau III - Fiche technique du carbonate de calcium cru (ENG-Khroub)
Data sheet of raw calcium carbonate (ENG-Khroub)


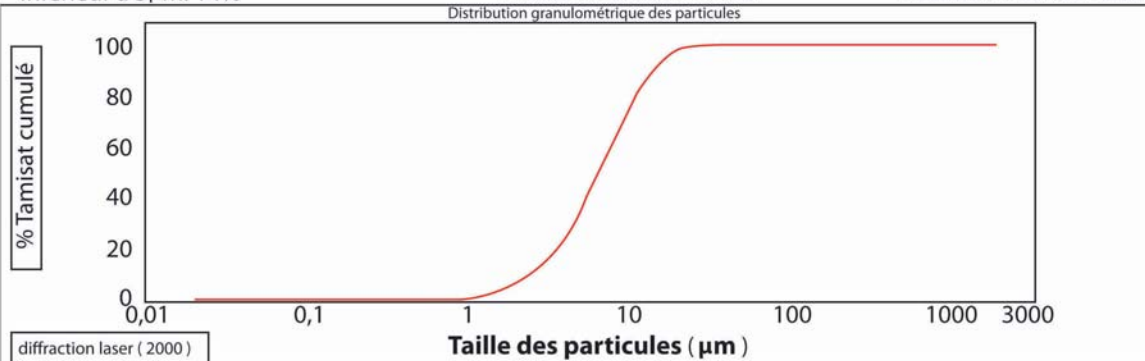
		ALCAL UFS	
Fiche technique			
Le gisement El-khroub occupe la partie sud ouest du massif Oum Settas au nord-est de Constantine il est constitué de calcaire d'origine biochimique néritique caractérisé par une grande pureté chimique et une blancheur élevée			
<u>Caractéristiques chimiques</u>		<u>Caractéristiques physiques</u>	
CaCO ₃	99%	Dureté (Mohs) :	3
CaO	56,33%	Poids spécifique :	2,7
SiO ₂	0,06%	Densité apparente non tassée :	0,80g /cm ²
Na ₂ O	0,14%	Blancheur (CR 310 MINOLTA) :	L : 95,31 a+0,19 b+2,36
Al ₂ O ₃	0,03%	Prise d'huile (NF. T30.022) :	25g/100g de poudre
MgO	0,38%	Prise DOP (NF.T 30.022) :	34g/100g de poudre
Fe ₂ O ₃	0,03%	Humidité à l'ensachage :	0,07%
Perte au feu	43,00%	Indice de réfraction :	1,71
Ph	9		
<u>Répartition granulométrique</u>			
Inférieur à 3µm: 14%		Diamètre médian : 7µm	
		Inférieur à 20 µm : 98%	
Distribution granulométrique des particules			
			
les valeurs figurant dans cette fiche technique sont des valeurs caractéristiques moyennes de la production			
<u>Conditionnement</u>		<u>Principales utilisations</u>	
En vrac Big-bag (1 tone) Palette houssées (48 sacs de 25Kg)		Peinture mate et satinée en phase aqueuse et phase solvant . Peinture en poudre hydrodispersible Peinture routière et Painture industrielle PVC plastifié	
		Caoutchouc et plastique industriel	
		Différentes colles	
		Composites	
		Etanchiété, isolation	
DG : Z.I Gué de constantine Alger , tel : 021 83 93 86 / 021 83 93 87 / Fax : 021 83 93 84 Usine Carbonate de Calcium El-khroub W. Constantine , tel : 031 95 41 75 / 95 41 14 / Fax : 031 95 41 13			
mars-04			

Tableau VI - Données d'analyses Oum Settas (OS) (suite)

Oum Settas analyses data

N° simple	CaO (%)	MgO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	S (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	PF (%)
O.S.054	54,29	0,72	0,11	0,074	0,83	0,33	0,002	43,45
O.S.055	54,58	0,64	0,08	0,045	0,68	0,18	0,002	43,59
O.S.056	54,25	0,63	0,11	0,048	1,18	0,27	0,002	43,32
O.S.057	54,39	0,62	0,12	0,073	0,86	0,32	0,002	43,42
O.S.058	55,03	0,59	0,03	0,073	0,15	0,04	0,002	43,89
O.S.059	54,76	0,57	0,07	0,068	0,53	0,15	0,002	43,65
O.S.060	54,68	0,61	0,07	0,062	0,56	0,18	0,002	43,64
O.S.061	54,96	0,58	0,05	0,069	0,24	0,08	0,002	43,82
O.S.062	54,89	0,58	0,06	0,046	0,34	0,12	0,002	43,77
O.S.063	55,21	0,46	0,02	0,04	0,14	0,04	0,002	43,89
O.S.064	55,16	0,5	0,05	0,058	0,12	0,03	0,002	43,89
O.S.065	54,83	0,57	0,18	0,058	0,34	0,12	0,002	43,71
O.S.066	54,6	0,6	0,06	0,042	0,81	0,13	0,002	43,56
O.S.067	53,59	0,72	0,24	0,038	1,77	0,55	0,0029	42,9
O.S.068	53,55	0,72	0,14	0,042	1,95	0,53	0,0027	42,87
O.S.069	54,00	0,74	0,08	0,059	1,35	0,32	0,0026	43,25
O.S.070	54,13	0,71	0,07	0,056	1,23	0,29	0,0025	43,31
O.S.071	53,89	0,69	0,14	0,037	1,64	0,3	0,0028	43,1
O.S.072	54,68	0,44	0,18	0,027	0,78	0,24	0,002	43,45
O.S.073	55,15	0,49	0,03	0,054	0,16	0,04	0,002	43,87
O.S.074	55,23	0,36	0,04	0,032	0,27	0,07	0,002	43,79
O.S.075	55,17	0,43	0,04	0,034	0,23	0,07	0,002	43,82
O.S.076	54,73	0,63	0,05	0,078	0,53	0,09	0,002	43,69
O.S.077	55,19	0,47	0,03	0,037	0,15	0,04	0,002	43,88
O.S.078	55,21	0,43	0,03	0,054	0,18	0,05	0,002	43,85
O.S.079	55,04	0,56	0,03	0,057	0,2	0,06	0,002	43,86
O.S.080	54,9	0,58	0,05	0,059	0,35	0,08	0,002	43,78
O.S.081	54,38	0,65	0,1	0,046	0,96	0,22	0,002	43,44
O.S.082	53,84	0,64	0,18	0,048	1,67	0,41	0,0024	43,01
O.S.083	53,46	0,74	0,21	0,054	1,95	0,57	0,0024	42,82
O.S.084	53,26	0,73	0,24	0,045	2,23	0,64	0,0027	42,65
O.S.085	53,59	0,71	0,19	0,048	1,88	0,5	0,0028	42,89
O.S.086	54,39	0,7	0,06	0,067	0,87	0,21	0,0021	43,5
O.S.087	53,98	0,7	0,08	0,046	1,47	0,35	0,0028	43,18
O.S.088	55,08	0,47	0,03	0,034	0,3	0,1	0,002	43,79
O.S.089	55,01	0,51	0,03	0,043	0,32	0,1	0,002	43,78
O.S.090	55,11	0,54	0,03	0,047	0,13	0,04	0,002	43,9
O.S.091	55,19	0,45	0,02	0,037	0,18	0,06	0,002	43,86
O.S.092	54,82	0,57	0,07	0,065	0,42	0,16	0,002	43,7
O.S.093	55,33	0,41	0,02	0,023	0,08	0,01	0,002	43,93
O.S.094	55,24	0,49	0,02	0,035	0,07	0,01	0,002	43,94
O.S.095	55,15	0,53	0,02	0,044	0,11	0,03	0,002	43,92
O.S.096	54,87	0,6	0,07	0,072	0,31	0,11	0,002	43,77
O.S.097	54,96	0,6	0,03	0,059	0,23	0,08	0,002	43,84
O.S.098	55,24	0,49	0,02	0,028	0,08	0,01	0,002	43,94
O.S.099	54,8	0,64	0,07	0,05	0,34	0,13	0,002	43,77
O.S.100	55,41	0,34	0,02	0,014	0,08	0,02	0,002	43,91
O.S.101	55,41	0,31	0,02	0,011	0,14	0,03	0,002	43,88
O.S.102	55,24	0,44	0,04	0,025	0,13	0,03	0,002	43,89
O.S.103	55,2	0,4	0,04	0,015	0,26	0,08	0,002	43,81
O.S.104	55,27	0,4	0,03	0,019	0,17	0,05	0,002	43,86
O.S.105	54,6	0,59	0,09	0,033	0,67	0,27	0,002	43,55
O.S.106	54,84	0,57	0,05	0,032	0,44	0,16	0,002	43,71
O.S.107	54,96	0,53	0,04	0,029	0,35	0,13	0,002	43,76
O.S.108	55,46	0,29	0,01	0,021	0,1	0,02	0,002	43,9
O.S.109	55,22	0,43	0,02	0,02	0,19	0,06	0,002	43,86
O.S.110	55,49	0,24	0,02	0,011	0,13	0,04	0,002	43,87
O.S.111	54,93	0,55	0,04	0,032	0,35	0,13	0,002	43,77
O.S.112	54,77	0,58	0,06	0,032	0,49	0,19	0,002	43,67
O.S.113	55,35	0,34	0,02	0,014	0,17	0,05	0,002	43,86