



**Approche du SIG pour la valorisation des carrières de matériaux de construction.
Cas d'étude : Ex-Région septentrionale de Meknès-Tafilalet, Maroc
(GIS approach for career development building materials
Case study: Northern of former Region of Meknes-Tafilalet, Morocco)**

H. Benbaqqal^{1*}, A. Masrouf¹, E.M. Benyassine², M. Erragragui¹

¹ Equipe « Géosciences, Patrimoine et Substances utiles », Département de Géologie, Faculté des Sciences, Meknès.

² Equipe « Géoexplorations et Géotechniques », Département de Géologie, Faculté des Sciences, Meknès.

Received 05 Nov 2015, Revised 19 Apr 2016, Accepted 24 Apr 2016

*Corresponding author. E-mail: hichambenbaqqal@gmail.com

Résumé

Le Maroc est un pays en plein épanouissement en domaine d'habitat et aménagement urbain. Ce développement nécessite l'exploitation des quantités énormes de matériaux de construction. Depuis l'indépendance, le nombre des carrières est en augmentation, mais ces carrières restent toujours mal valorisées vis-à-vis des caractéristiques des matériaux. En effet, la majorité de ces carrières sont exploitées d'une façon aléatoire en l'absence d'études géologique et géotechnique. Dans cette étude, nous avons appliqué le système d'information géographique (SIG) dans la valorisation des carrières de matériaux. Ces carrières appartiennent aux domaines des Rides sud-rifaines, du Bassin de Saïs, de la Meseta centrale et du Moyen Atlas. Elles présentent une diversité géologique allant du Paléozoïque au Quaternaire. Le SIG permet la création et l'organisation de bases de données géologiques, géotechniques, des réserves, de la production et de la pérennité estimative des carrières en question. Les problèmes environnementaux se posent pour la majorité des carrières. La création des cartes thématiques de ces données permet d'avoir des informations sur l'état de ces carrières. Les données d'analyses géotechniques des échantillons sont interprétées en comparaison avec les normes AFNOR ou avec les normes marocaines de la qualité des matériaux.

Mots clés : Carrières, SIG, Rides, Paléozoïque, géotechniques, normes marocaines.

Abstract

Morocco is a country in full development in housing and urban development area. This development requires the use of large quantities of construction materials. Since independence, the number of career progress is excessive but these careers are still undervalued vis- a-vis the characteristics of materials. Indeed, the overwhelming majority of these quarries are operated in a random manner because of the lack of geological and geotechnical study places great potential. In this study, we adopted the application of geographic information system (GIS) for career enhancement of existing building materials in the fields of South Rides Rif , Basin Saïs, the central plateau and the Middle Atlas , with a geological diversity ranging from Paleozoic to Quaternary . This system allows the creation and organization of databases geological, geotechnical, reserves, production and estimated sustainable careers in question. Environmental problems for the majority of careers because of the uncontrolled establishment of careers. Creating thematic maps of these data allowed to have information on the status of these careers. Data geotechnical analyzes of samples taken in situ from these quarries are interpreted in comparison with AFNOR or Moroccan standards of quality materials.

Keywords: Careers, GIS, ridges, Paleozoic, geotechnical, Moroccan standards.

1. Introduction

La grande demande en habitats qui a mis en évidence une utilisation accrue des matières premières pour la fabrication des matériaux de construction a poussé la réflexion dans la voie de recherche d'autres matériaux de substitution [1] ou d'autres sites d'exploration. La valorisation des ressources naturelles est cruciale dans les conditions économiques conjoncturelles. Les matériaux de construction, qui en font partie, sont de plus en plus sollicités dans les dernières décennies. La caractérisation et la mise en valeur des matériaux tels que les calcaires, les sables, les marnes, les argiles, les alluvions gravières au point de vue géotechnique et mécanique devront obéir à la classification des normes marocaines.

La zone d'étude appartient à la partie septentrionale de l'ancien découpage administratif du Maroc (Meknès-Tafilalet) dont la superficie est de l'ordre de 79 210 km², cette zone est dotée d'une diversité géologique, paléogéographique et paléoclimatique qui résultent d'une succession des cycles géologiques au cours des millions d'années. La méthodologie présentée consiste, à travers le SIG, de montrer la conformité, la friabilité et les différentes propriétés mécaniques des matériaux de construction dans la région d'étude, et d'étudier l'exploitabilité des autres localités vierges.

La cartographie des domaines des Rides sud-rifaines, du bassin de Saïs, de la Meseta centrale et du Moyen Atlas par l'intégration des résultats d'analyses géotechniques comparés aux normes marocaines. Ceci permet la visualisation et la répartition spatiale de ces données. Le couplage entre les données lithologiques prises dans les carrières et la cadence d'extraction des matériaux nous a permis d'estimer les réserves et la durée de vie probable de ces carrières. Ces bases de données seront utiles comme une plate-forme pour les investisseurs au domaine de l'exploitation des carrières.

L'analyse spatiale est une technique qui est basée sur la localisation géographique de l'objet et sur la forme de données spatiales, dont le but est d'extraire et de transmettre l'information spatiale. C'est un outil de la réalisation de la pensée géospatiale, est aussi la décision spatiale SIG en pensant au mode de réalisation spécifique ; celle-ci, comprend l'analyse des modèles numériques de terrain, l'analyse des caractéristiques spatiales géométriques, l'analyse de réseau, l'analyse d'images numériques et l'analyse des variables géographiques [2].

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation du milieu d'étude

La région d'étude est localisée dans la partie centrale du Maroc, dont les latitudes et les longitudes varient entre 32 et 34°N, 4 et 7°W. Elle s'étend sur une superficie de 31 247 km². Elle est limitée au Nord par le Pré-rif externe, au Sud par la haute Moulouya, à l'Est par la plaine de Fès et le Causse de Boulmane et à l'Ouest par le massif hercynien.

En raison de l'immensité et de la morphologie de la région, le climat présente une diversité remarquable. En effet, on distingue deux grandes zones climatiques : 1) une zone montagneuse située au Nord et au Sud de la zone d'étude, de plus de 1000 m d'altitude, caractérisée par un climat humide ; 2) les plaines au centre, à plus de 500 m d'altitude, caractérisées par un climat semi-aride.

Sur le plan structural et géologique, les carrières étudiées sont implantées sur quatre principaux domaines structuraux (**Fig. 1**) :

- Une partie septentrionale ; représentée par le domaine des Rides Sud-rifaines qui s'intercale entre le sillon sud rifain au Sud et le Pré-rif. Il est constitué d'une succession de terrains secondaires chevauchés en écaillés anticlinales successives trainant un remplissage néogène des fosses synclinales associées dont la sédimentation marneuse, marine et relativement profonde, constitue le trait commun de tous les bassins du Couloir sud-rifain [3]. Ces terrains affleurent sous forme de deux arcs montagneux ; l'arc Sud-rifain oriental et occidental, séparé par le plateau d'Elgaada ; elles sont formées principalement par des affleurements carbonatés du Jurassique inférieur et moyen, structurés par l'orogénèse alpine [4] ;
- Une partie méridionale ; comprenant le Moyen Atlas dont la superficie est de l'ordre de 13200 km² (8540 Km² pour le Moyen Atlas plissé et 4750 Km² pour le causse moyen atlasique) [5]. Cette partie est subdivisée en deux domaines ; le Causse moyen atlasique qui se caractérise par une structure tabulaire ou subtabulaire, constitué par

des affleurements de faible pendage, traversés par des failles de direction atlasique NE-SW et des affleurements de carbonates liasiques (Dolomies calcaires). D'autre part, le Moyen Atlas plissé qui est caractérisé par une structure plissée, avec une direction NE-SW, séparant la Meseta en deux [6]. Il est formé d'une épaisse série Permo-mésozoïque et Cénozoïque, plissée au cours de l'orogénèse atlasique dont les phases majeures de plissements sont datées du Jurassique supérieur et du Tertiaire ;

- Une partie centrale ; constituée du plateau de Meknès et de la Meseta centrale. Le premier constitue la partie occidentale du bassin de Saïs, il s'agit d'un vaste synclinal dissymétrique de direction généralement E-W de dépôts d'âges secondaire à quaternaire recouvrant un socle paléozoïque [7]. Il est formé pendant le Miocène supérieur et comblé par une série du Néogène qui débute par des faciès transgressifs surmontés par des Marnes bleues Tortono-Messiniennes, au-dessus desquelles se développent des formations de sables fauves datés du Pliocène moyen. La série se poursuit par des dépôts continentaux fluvio-lacustres, attribués au Pliocène moyen à supérieur et se termine par des dépôts fluviatiles quaternaires [8].

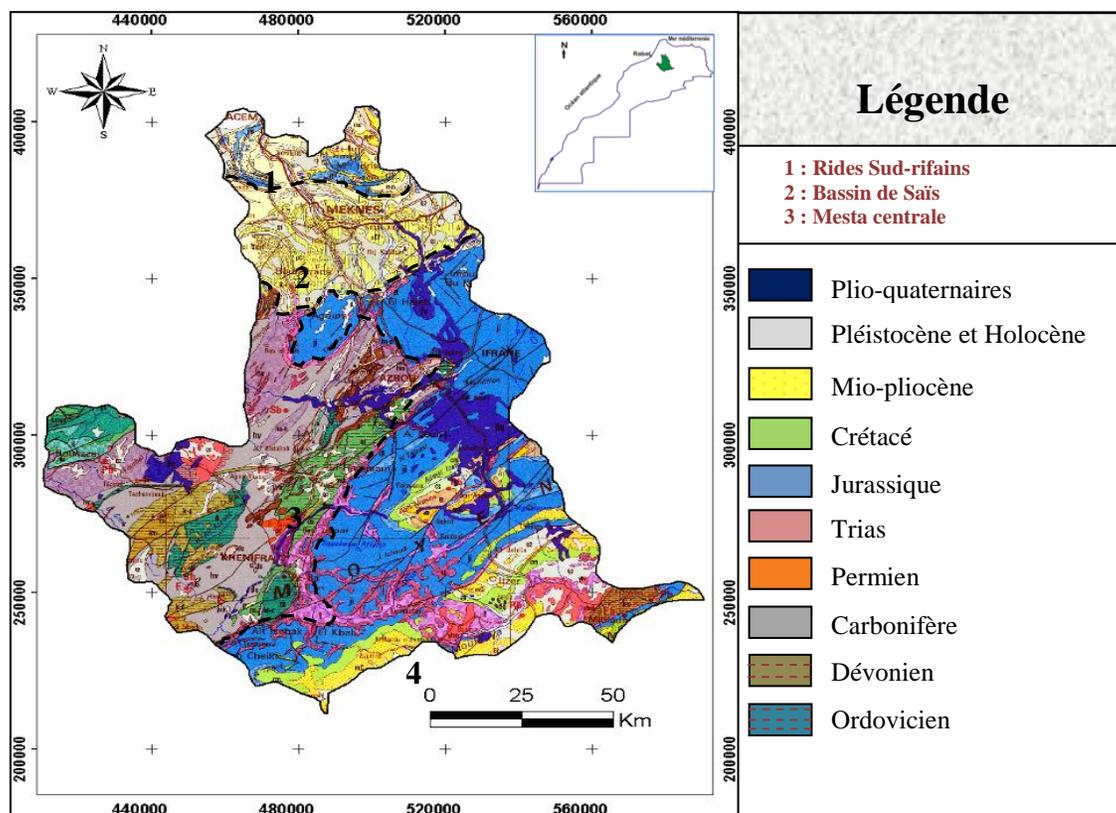


Figure 1 : Géologie de la région d'étude [10]

Le second est défini comme étant le domaine de la chaîne hercynienne du Maroc, constituée d'un socle paléozoïque schisteux du Viséen supérieur recouvert en discordance par des séries méso-cénozoïques non déformées d'Argiles rouges intercalées par des basaltes doléritiques triasique et du Calcaire liasique, il est caractérisé par une succession d'anticlinaux et de synclinaux à fortes pentes et avec une direction NE-SW [9].

2.2. Echantillonnage et méthodes d'analyses

Suivant la norme NM 10.1.008 [11], les granulats sont des matériaux inertes provenant de roches naturelles, employées tels quelles ou bien concassées, ils constituent le squelette en principe inerte du béton. Ils sont soit naturels provenant de roches compactes ou de gisements alluvionnaires. Soit artificiels, et dans ce cas

issus de matériaux de démolition ou de recyclage. Ils confèrent ainsi au béton sa compacité et participent à sa résistance mécanique [12].

L'échantillonnage de ces granulats a été réalisé dans des carrières éparpillées sur la zone d'étude (**Fig. 2 et 3 ; Tabl. 1**). Les prélèvements ont été faits en trois reprises dans chaque station, les échantillons requis sont mis dans des sacs de plastique puis transmis au laboratoire public des essais et des études de Meknès (LPEE) afin de les passer aux différents protocoles expérimentaux [13-14-15].

Au cours d'extraction et d'exploitation des carrières, plusieurs paramètres influencent sur les granulats de matériaux de construction, parmi eux : les paramètres physiques, les paramètres mécaniques, la lithologie de la roche, les propriétés pétrographiques et enfin, leurs utilisations. Dans cette étude, on s'intéresse essentiellement à la détermination des différents paramètres physiques (densité et porosité) et mécaniques (Los angles et micro Deval) des granulats naturels.

Des travaux de recherches réalisés ont présenté des solutions très intéressantes quant à la valorisation de ces matériaux dans le domaine de construction : matériaux cimentaires [16], fabrication des granulats artificiels [17], béton [18].

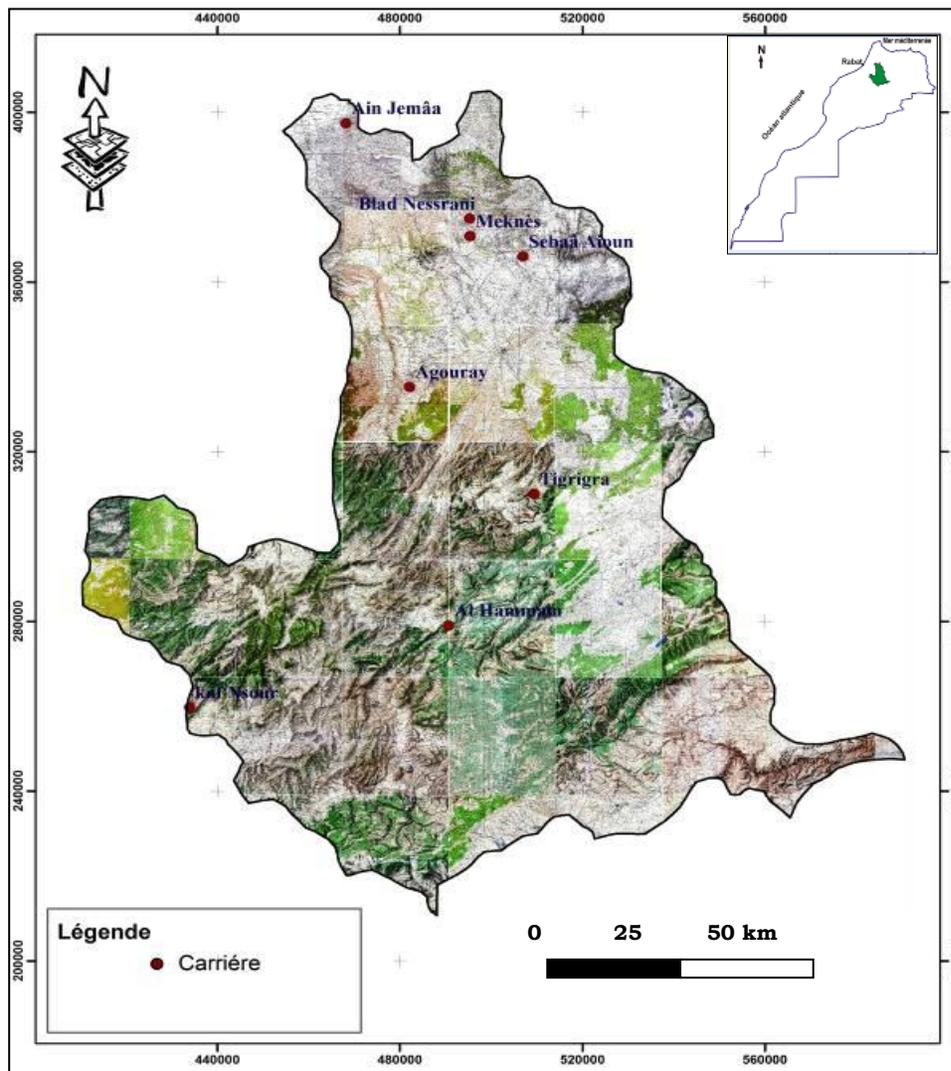


Figure 2 : Région d'étude et carrières de prélèvements des échantillons

Tableau 1 : Situation géographique et caractéristiques des carrières étudiées

N° des Station	X	Y	Carrière	Commune	Type de carrière	Nature des matériaux	Age	Subdivisions structurales
1	468200	397400	Ain Jemâa	Ain Jemaa	Granulats	Calcaires et Dolomies	Lias et Dogger	Rides Sud rifaines
2	495278	374886	Blad Nessrani	Dkhissa	Granulats	Calcaires et Dolomies	Lias inférieur	
3	507000	366000	Sebaâ Ayoun	Sebaâ Ayoun	Granulats	Basaltes	Quaternaire	Bassin de Saïs
4	495377	370759	Dkhissa	Dkhissa	Granulats	Calcaires	Pliocène supérieur	
5	490664	279048	Al Hammam	Khénifra	Granulats	Calcaires récifal	Jurassique	Moyen atlas
6	509413	309988	Tigrigra	Azrou	Granulats	Calcaires et Dolomies	Lias	
7	482129	335225	Agouray	El Hajeb	Granulats	Calcaires et calcaires dolomitique	Lias inférieur	Meseta centrale
8	433941	259711	kaf Nsour	Khénifra	Granulats	Calcaires et Schistes	Dévonien	

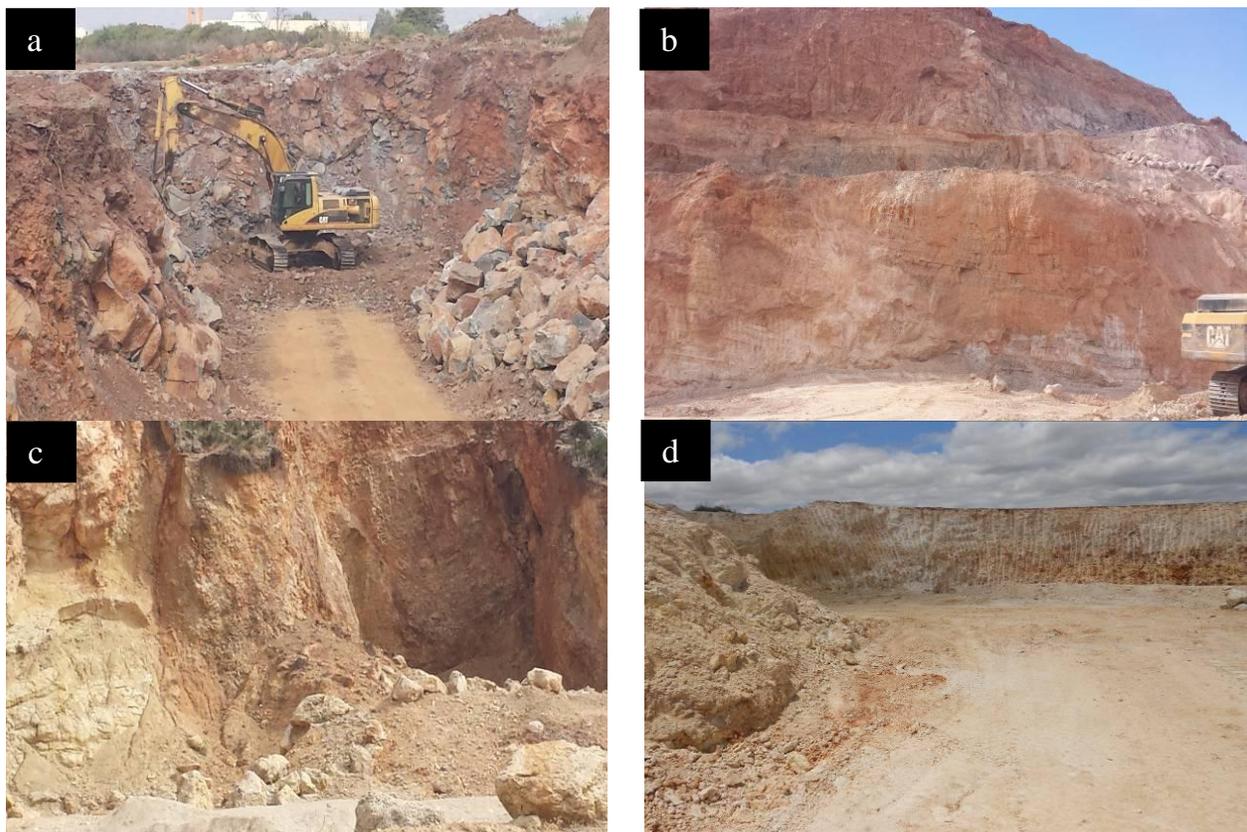


Figure 3 : Carrière de basaltes de Sbaa Ayoune (a), Carrière de calcaires de Tigrigra (b), Carrière de calcaire dolomitique de Blad Nessrani (c), Carrière de calcaire lacustre de Dkhissa (d)

2.3. La répartition spatiale des carrières

Les caractéristiques géomorphologiques et topographiques ont été extraites des fonds topographiques (1/50000) et des données SRTM couvrant la zone d'étude. L'ArcGIS est le logiciel du SIG utilisé pour l'exploitation de ces données topographiques afin de créer des cartes thématiques de la représentation spatiale des données d'analyses géotechniques.

3. Résultats et discussion

3.1. Caractéristiques géomorphologiques

Pendant les opérations d'extraction et d'exploitation des granulats, un nombre de paramètres interactifs interviennent, qui influence sur la forme des carrières, l'affleurement de la formation géologique, le mode d'exploitation et la stabilité des gisements de carrières. Cette information géomorphologique est figuré dans le modèle numérique de terrain (Mnt) (Fig.4), qui montre que les carrières étudiées sont réparties spatialement sur la totalité de la région d'étude dont les granulats est le seul matériau de construction présenté comme type.

Les reliefs sont relativement importants au Nord, où affleurent les rides sud-rifaines avec une altitude maximale de 1100 m. Elle ne dépasse nulle part 600 m à l'échelle du bassin de Sais et de la Meseta centrale. Cependant, cette altitude peut surélever jusqu'aux 1000 m dans le Causse moyen atlasique et plus de 2000 m au Moyen atlas plissé.

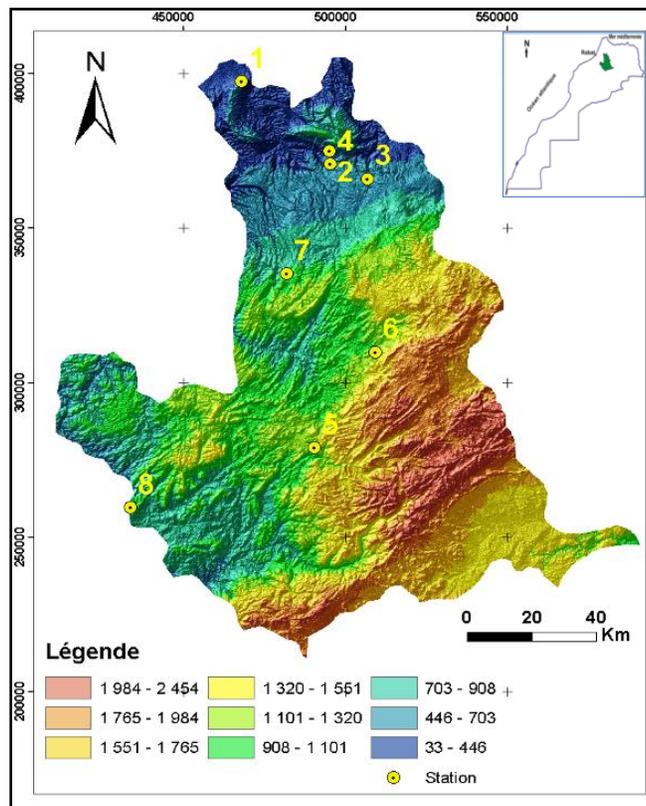


Figure 4 : Modèle numérique de terrain de la zone d'étude

3.2. Caractéristiques géotechniques

Les résultats d'analyses géotechniques des échantillons des granulats des carrières étudiées sont présentés ci-dessous (Tabl. 2).

Tableau 2 : Les différentes analyses géotechniques des carrières étudiées

N° des Station	Carrière	Densité	Porosité	L.A (%)	MDe (%)	Durée de vie estimative	Superficie exploitable
1	Ain Jemâa	2,62	1,87	26	19	17 ans	10 ha
2	Blad Nessrani	2,68	1,76	24	17	3 ans	15 ha
3	Sebaâ Ayoun	2,78	1,84	19	11	15 ans	150 ha
4	Dkhissa	2,69	1,80	23	20	8 ans	22 ha
5	Al Hammam	2,67	1,83	22	18	2 ans	2 a
6	Tigrigra	2,73	2,00	21	14	13 ans	06 ha
7	Agouray	2,73	2,00	23	17	7 ans	07 ha
8	kaf Nsour	2,61	2,10	26	21	2 ans	03 ha

L.A : Los angeles ; MDe : Micro Deval

D'après les résultats obtenus, on peut déduire que :

- Les différentes formations géologiques représentent une diversité lithologique telle que : les calcaires, dolomies, marnes, argiles, basaltes, grès et schistes dont les âges de ces formations peuvent aller du Paléozoïque (Kef Nsour), du Jurassique (Al hammam, Agouray, Tigrigra, Ain Jemaa, Blad Nessrani), du Pliocène supérieur (Dkhissa) et au Quaternaire (Sbaa Ayoun) ;
- Les matériaux extraits du basalte et du calcaire récifal présentent une faible porosité (< 2,00), avec une densité assez stable (2,67 à 2,78) et une dureté de résistance très élevée (L.A > MDe) ;
- Les matériaux extraits des roches carbonatées (calcaires et dolomies) sont caractérisés par une faible porosité (< 2,00), une densité assez stable (2,62 à 2,73) et une dureté de résistance élevée et variable d'une carrière à l'autre (L.A > MDe) ;
- Les matériaux issus des calcaires et des schistes représentent une porosité faible (< 2,00), avec une densité assez stable (2,61 à 2,69) et une dureté de résistance moyenne (L.A > MDe).

Pour bien exprimer ces résultats, on doit faire des classifications [19] afin d'avoir l'utilité de ces matériaux de construction dans le domaine de génie civil. Le digramme des paramètres mécaniques (**Fig. 5**), permet de les classer suivant les normes appropriées du LCPC [20-21].

D'après les classifications des normes AFNOR pour les chaussées neuves à fort trafic, on peut déduire que deux carrières sont classées dans la zone B (stations 3 et 6). Par contre, la majorité des carrières étudiées sont classées dans la zone C.

Pour les classifications des normes AFNOR des chaussées neuves à faible trafic, la majorité des carrières étudiées sont classées dans la zone 1.

Enfin, d'après les classifications des normes marocaines, les carrières sont réparties entre les zones 2B, 3C et 4C. Donc, on peut dire qu'il y a une similitude avec la classification des normes AFNOR des chaussées neuves à fort trafic, sauf qu'il y a une particularité des dénominations au niveau des zones.

Les roches massives du gisement de basalte (Carrières de Sebaâ Ayoun) représentent un matériau de qualité supérieure et de caractères très sollicités. La résistance mécanique très élevée de ce matériau qui lui permet d'être le seul à utiliser pour la préparation du ballast destiné à la construction et la réfection des voies ferrées.

Les calcaires récifaux de la carrière d'Al Hammam, représentent aussi une résistance mécanique élevée, pourraient être utilisés dans les différents domaines, en particulier dans le secteur routier et les graviers employés dans les bétons à haute qualité (Dalles préfabriquées, ponts).

Les carrières des roches carbonatées (Carrières Agouray, Tigrigra, Ain jemâa et Blad Nessrani) représentent une qualité moyenne à élevée, qui fournissent l'essentiel des granulats routiers et des graviers employés dans le domaine de la construction.

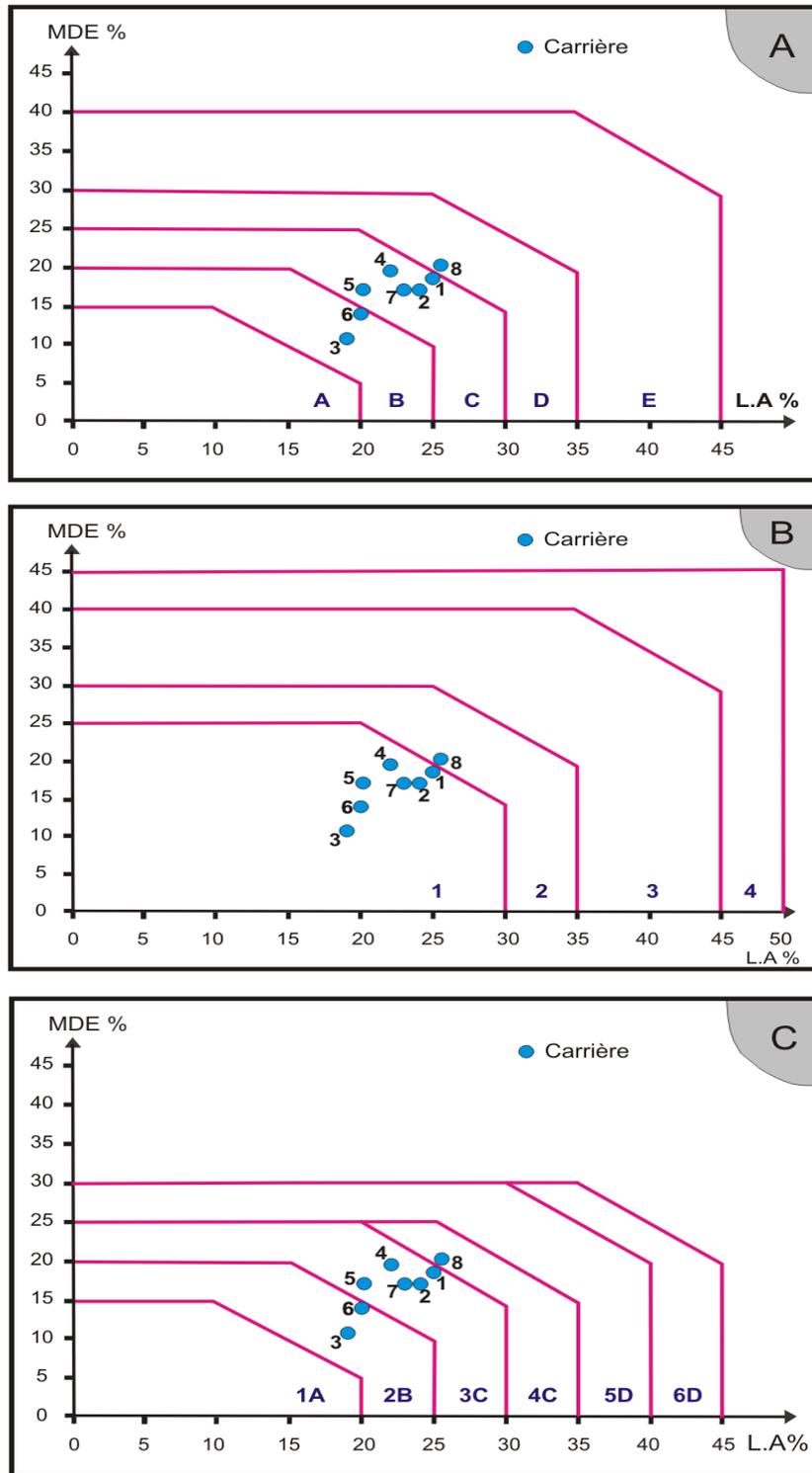


Figure 5: Diagramme des paramètres mécaniques (A: normes AFNOR, Chaussée neuve à fort trafic, B: normes AFNOR, Chaussée neuve à faible trafic, C: normes marocaines)

Les formations plio-quaternaires formées dans un environnement lacustre (Carrière de Dkhissa) n'ont pas les qualités de produire des granulats désignés à la construction des chaussées routières puisqu'ils constituent un réservoir aquifère important [22] dont la nappe est peu profonde. Les calcaires de Kaf Nsour sont intercalés par des bancs schisteux, ce qui détruit leur qualité. Ces calcaires pourraient être destinés uniquement à l'industrie cimentière. Pour mettre en valeur ces résultats géotechniques obtenus et faciliter aux promoteurs de répondre aux besoins excessifs de ces matériaux de construction de différentes natures et aspects géologiques, on devra créer des cartes thématiques de la représentation spatiale des données d'analyses géotechniques. Ces dernières, présentent une mosaïque entre les fonds topographiques et les données SRTM couvrant la zone d'étude. L'analyse spatiale de ces résultats géotechniques montre que les valeurs de la porosité et de la densité ont une grande homogénéité entre ces carrières (Fig.6), alors que les valeurs de Los angeles et de MicroDeval montrent le contraire (Fig.7) ; ceci suggère une divergence entre les mesures de l'usure des granulats produite par frottement qui sont peu rapprochées et les mesures de la résistance à la fragmentation par chocs qui sont peu éloignées.

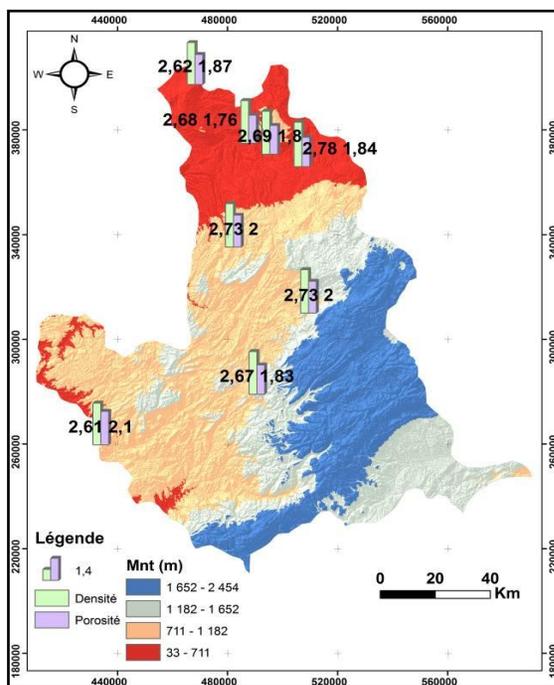


Figure 6 : Répartition spatiale des paramètres physiques de la région d'étude

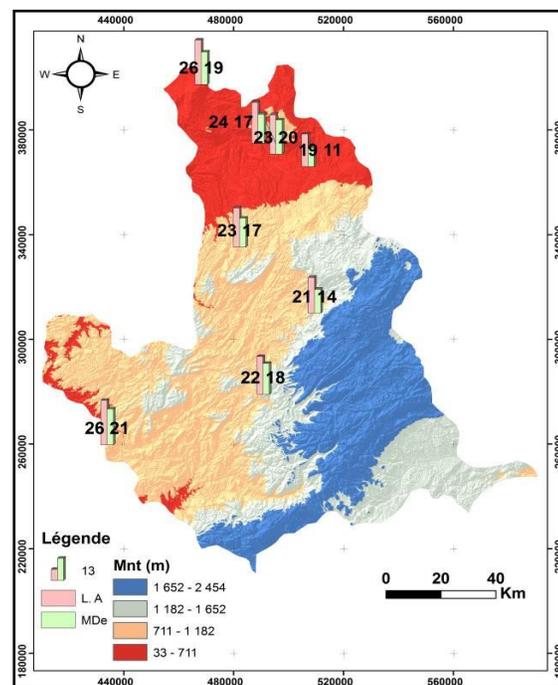


Figure 7 : Répartition spatiale des paramètres mécaniques de la région d'étude

Cette répartition spatiale permet d'identifier les classes des granulats de matériaux de construction en les comparant avec les normes (AFNOR à fort trafic, AFNOR à faible trafic et Marocaine) et de les valoriser (Fig.8, Fig.9 et Fig.10). Elle permet aussi de garder leur utilité et choisir la zone appropriée pour toute implantation des carrières en tenant compte de l'impact environnemental.

Pour l'impact environnemental, on déduit que les carrières étudiées ont un impact néfaste sur l'environnement. Malgré l'importance de leur intérêt économique et social, ces carrières doivent respecter le contexte juridique environnemental et d'exploitation [23-24-25] qui impose la conservation et l'aménagement de l'entourage au cours et après l'exploitation. Ces activités d'exploration impliquent une forte pression sur les ressources naturelles déjà menacées par la rareté et la surexploitation. Ces carrières dispersées représentent des sources de pollution réelles qui contaminent l'eau, l'air et le sol par l'utilisation non rationnelle du fuel et ses dérivés en absence totale des moyens de protection contre l'infiltration et la propagation des produits chimiques nuisibles et toxiques.

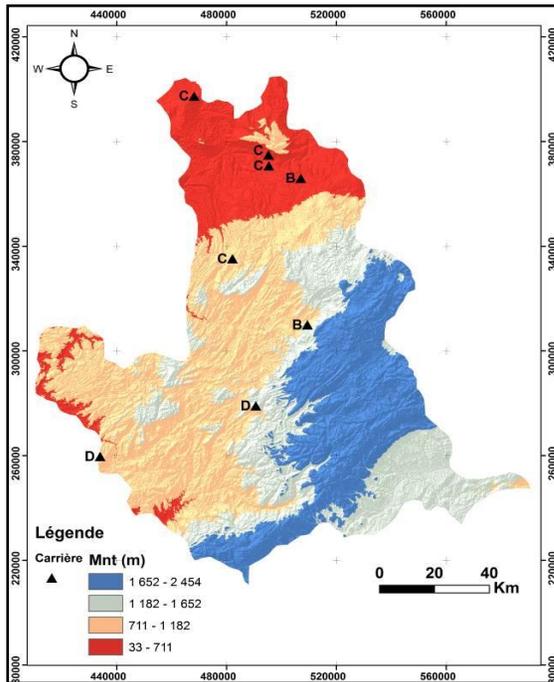


Figure 8 : Répartition spatiale selon la classification AFNOR à fort trafic

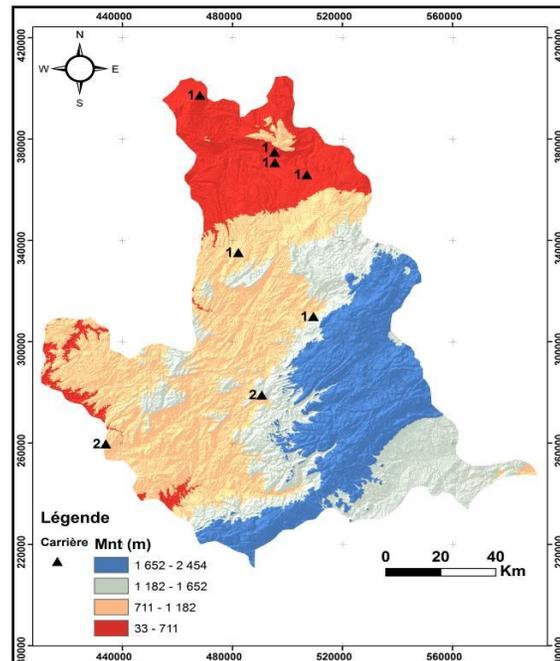


Figure 9 : Répartition spatiale selon la classification AFNOR à faible trafic

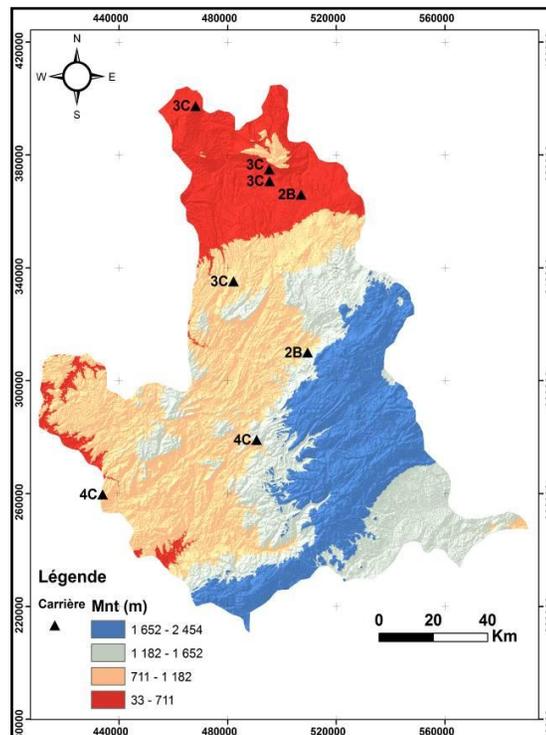


Figure 10 : Répartition spatiale selon la classification des normes marocaines

Conclusions

L'utilisation du système d'information géographique (SIG) a permis d'élaborer des cartes thématiques spatiales à partir des résultats d'analyses géotechniques des différentes carrières en superposition sur les différents faciès géologiques en affleurement dans la région d'étude, qui appartient aux domaines des Rides sud-rifaines, du bassin de Saïs, de la Meseta centrale et du Moyen Atlas. La méthode utilisée contribue à la valorisation des carrières en cours d'exploitation de matériaux de construction et pourraient constituer un document de base pour toute identification des zones à exploiter, des terrains à aménager dans les mesures environnementales. L'extraction à destination de la fabrication de granulats à partir de matériaux originaires de roches massives est très remarquable puisqu'ils se diversifient sur l'ensemble de la zone d'étude. En outre, ils présentent une bonne qualité comme pierre de construction ou pour applications industrielles. Ceci, fournit une plateforme pour des investissements dans le domaine de carrières en respectant toutes les mesures d'atténuation de la cadence d'exploitation et de la préservation de l'entourage environnemental avoisinant.

Références

1. Frar I., Ben Allal L., Ammari M., Azmani A. Utilisation des sédiments de dragage portuaire comme matière première dans la fabrication des briques en terre cuite. *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (2) (2014) p.390-399
2. Wang G Z., Fondation sur le SIG de planification urbaine et la conception de méthodes et la recherche appliquée, un exemple de planification urbaine et la conception conçue. Mémoire de maîtrise de la technologie, Université d'Architecture à Xi'An (Chine), (2005).
3. Dayja D., Janin M-C., Boutakiout M., Biochronologie et corrélation des bassins néogènes du Couloir sud-rifain (Maroc) fondées sur les événements de foraminifères planctoniques et de nannofossiles calcaires. *Revue de micropaléontologie*, 48, (2005), p.141–157
4. Bargach K., Les déformations plio-quatérnaires dans la partie frontale de la chaîne du Rif (Rides pré-rifaines, et bassin du Saïs) un exemple de la tectonique en coins expulsés. Thèse de Doctorat de l'université Mohammed V, Rabat, (2011) 215p.
5. El Ouazani Kh., Reconnaissance hydrogéologique des systèmes karstiques du causse moyen atlasique ; apport de la géophysique et l'étude combinée des débits de sources et de la pluviométrie. Thèse de Doctorat de l'université Moulay Ismaïl, Meknès, (2006) 221p.
6. Amraoui F., Contribution à la connaissance des aquifères karstiques : Cas du Lias de la plaine du Saïs et du Causse moyen Atlasique Tabulaire (Maroc). Thèse de doctorat d'Etat, Université Hassan II, Ain Chock, Casablanca, (2005) 249p.
7. Essahlaoui A., Sahbi H., Bahi L., El-Yamine N., Reconnaissance de la structure géologique du bassin de saïs occidental, Maroc, par sondages électriques. *Journal of African Earth Sciences*, Volume 32, Issue 4, (2001), p.777-789
8. Fassi D., Les formations superficielles du Saïs de Fès et de Meknès. Notes et mémoires du service géologique du Maroc, N°389, (1999) 527p.
9. Michard A., Eléments de géologie marocaine. Notes et Mém. Serv. Geol. Maroc, N°252. (1976) 408p.
10. Saadi, M., Hilali, E.A., Bensaid, M., Boudda, A., Dahmani, M., Carte géologique du Maroc, Service géologique du Maroc, (1985), N°260.
11. NM 10.1.008, Classification des granulats, (2007).
12. Baroghel Bouny V., Caractérisation des pâtes de ciment et des bétons - Méthodes, Analyse, interprétations. Thèse de l'E.N.P.C., L.C.P.C., Paris, (1994) 468p.
13. Afnor, NF P 18-554. Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'adsorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux (1990).

14. Afnor, NF P 18-572. Essai d'usure micro Deval (1990).
15. Afnor, NF P 18-573. Essai Los Angeles (1990).
16. Agostini F., Skoczylas F., Lafhaj Z. *Cement and Concrete Composites*, 29(2007) 270-278.
17. Brakni S., Abriak N.E., Gregoire P., Zentar R. *25^{ème} Rencontre de l'AUGC*, (2007) 23-25 mai.
18. Samara M., Rozière E., Khokhar M.I.A., Loukili A., Skoczylas F. *26^{ème} Rencontres Universitaires de Génie Civil*, (2008) 4-6 juin.
19. Benchakroun G., Etude et recherche des matériaux de constructions routières dans le Maroc oriental. Thèse de Doctorat, Université Mohamed V, Rabat, (1992) 225p.
20. LCPC-SETRA., Remblayage des tranchées et réfection des chaussées. *Guide technique*, mai 1994, (1995) 80p.
21. LCPC-SETRA., Remblayage des tranchées et réfection des chaussées. *Compléments au guide technique Setra-LCPC* de Mai 1994, CETE Normandie - Centre, (2007) 10p.
22. Essahlaoui A., Sahbi H., El Yamani N., Application de la géophysique (méthode géoélectrique) à la reconnaissance du plateau de Meknès (Bassin de Saïs) Maroc. *Geologica Belgica*, 3/ 1-2, (2000) p35-53.
23. Loi n° 08-01., Relative à l'exploitation des carrières (B.O. n° 5036 du 5 Septembre 2002).
24. Loi n° 11-03., Relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement (B.O. n° 5118 du 19 Juin 2003).
25. Loi n° 28-00., Relative à la gestion des déchets et à leur élimination (B.O. n° 5480 du 7 Décembre 2006).

(2016) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>