

ETUDE DE LA DEGRADATION DES GRAINS SOUS DES CONDITIONS CLIMATIQUES SIMULEES : CALCUL DE LEUR DIMENSION FRACTALE

STUDY OF THE DEGRADATION OF GRAINS UNDER SIMULATED CLIMATE CONDITIONS: CALCULATION OF THEIR FRACTAL DIMENSIONS

MELBOUCI¹ ET O. OUAAZ²

^{1,2} Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou - Laboratoire Géo Matériaux Environnement et Aménagement

Date de réception : 16/02/2016 / Date d'acceptation : 27/11/2016 / Date de publication : 30/01/2017

RÉSUMÉ

L'étude de l'influence des conditions climatiques a été réalisée par une série d'essais d'altération (l'essai gel/dégel, l'essai de dégradabilité et l'essai d'altérabilité) pour 3 types de roche (marne, schiste et grès). La dégradation des grains a été évaluée par la notion de dimension fractale qui mesure du degré d'irrégularité ou de la fragmentation des grains. L'analyse des résultats montre que la marne est une roche dégradable, sensible aux conditions hydriques, et tout particulièrement aux conditions de gel-dégel, par contre, le grès est peu dégradable et peu sensible à ces conditions et le schiste est une roche qui présente des caractéristiques intermédiaires.

Mots clés : Matériaux, grains, dégradation, conditions climatiques, dimension fractale.

ABSTRACT

Influence of Ice Watch of climatic conditions was carried out by a series of alteration test (freeze / thaw test, degradability test and alterability test) for 3 types of rock (marl, schist and sandstone). The deterioration of the grains was evaluated by the concept of fractal dimension, which measures the degree of irregularity or fragmentation of the grains. Analysis of the results shows that the marl is a degradable rock, sensitive to water conditions, particularly to freeze-thaw conditions, against, the sandstone is not degradable and insensitive to these conditions and the shale is a rock has intermediate characteristics.

Keywords: Materials, grains, degradation, climate, fractal dimension.

1. INTRODUCTION

La pierre, la terre et les sables disponibles dans la nature et les alentours des villages étaient les principaux matériaux de construction utilisés dans les bâtiments ou les travaux publics. La durée de vie des ouvrages de génie civil dépend essentiellement du comportement des matériaux utilisés comme couche d'assise ou matériaux de construction, vis-à-vis des sollicitations extérieures engendrées par l'ouvrage lui-même ou par les phénomènes naturels tels que les intempéries, le climat... Sachant que tout terrain possède un certain degré d'humidité dû : à l'eau qui s'évapore depuis une strate mouillée vers l'atmosphère ; à l'eau de pluie infiltrée qui, à la fin de la précipitation, cherche à s'évaporer ; et à l'eau rémanente dans le terrain, provenant de fuites, de l'arrosage, etc. L'équilibre entre les deux flux (celui d'absorption et celui de désorption), est donc déterminé par les conditions climatiques et microclimatiques et engendre l'altération ou la dégradation des matériaux de construction.

Cette altération des matériaux est un processus géologique naturel. Le but de notre étude est de montrer l'action de la nature sur la dégradation des roches en effectuant une série d'essais climatiques (gel/dégel, altérabilité et dégradabilité) sur trois types de matériaux locaux très utilisés dans la région (marne de Tizi-Ouzou, schiste de l'oued Sébaou et grès de Yakouren). Leur dégradation est évaluée avec la notion de la dimension fractale qui est une généralisation de la dimension euclidienne qui permet de tenir compte de la forme, de la nature, et de la taille des grains.

2. NOTION DE FRACTAL ET MÉTHODE UTILISÉE POUR LE CALCUL DE LA DIMENSION FRACTALE

Le mot «fractal» vient du latin «fractus» qui signifie fragmenter ou briser. En effet, un fractal est un objet géométrique « infiniment morcelé » dont des détails sont observables à une échelle arbitrairement choisie. La dimension fractale est un nombre qui mesure le degré d'irrégularité ou de la fragmentation d'un objet, ou la mesure de la rugosité d'une surface [1].

Pour introduire la notion de la dimension fractale, il est indispensable de parler d'abord de la dimension euclidienne. En effet, en géométrie euclidienne seules les dimensions entières 0, 1, 2, 3, sont utilisées (exemple : La dimension d'un point est zéro (0), une ligne droite a pour support un espace de dimension un (1), un plan est un espace de dimension deux (2), un volume est inscrit dans un espace de dimension trois (3). Ce qui n'est pas forcément le cas pour une courbe fractale où sa dimension n'est jamais entière. Donc, les outils de la géométrie euclidienne ne suffisent plus à résoudre les problèmes qu'ils introduisent. De nos jours, seule l'utilisation des fractales et de leur caractère chaotique ou paradoxal (le fini contenant l'infini), permet de résoudre ces problèmes. Il existe ainsi de très nombreux domaines d'applications aussi variés qu'en Astronomie, la Biologie et le Génie Civil où plusieurs chercheurs ont pu développer la notion de la géométrie fractale pour modéliser la structure poreuse du sol, décrire les fissures dans les roches ainsi que le calcul de la dimension fractale des grains constituant le sol. Plusieurs méthodes ont été développées pour calculer la dimension fractale comme : area-périmètre (surface-périmètre), line divider (lignes parallèles) et les méthodes de box counting (comptage de boîtes), qui sont des méthodes les plus utilisées selon (Hyslip

et Vallejo, 1997) [2] et la méthode des masses qui est retenue dans cette étude. Comparativement aux autres méthodes qui se consacrent à l'échelle du grain, la méthode des masses se consacre à l'échelle de l'échantillon [3].

2.1-Méthode des masses

La définition classique de la dimension fractale des masses est déduite de la masse de l'agrégat M , et de sa taille L . Cette méthode est basée sur la distribution des grandeurs des grains de l'échantillon. Après avoir choisi une granulométrie bien définie d'un échantillon de matériau Tyler et Wheatcraft (1992) [4] ont développé une formule en utilisant l'analyse granulométrique pour le calcul de la dimension fractale de fragmentation DFR. Cette méthode de calcul emploie la masse retenue en passoire et son diamètre correspondant. Cette équation est définie comme suit :

$$\left(\frac{MR_r}{M_t}\right) = \left(\frac{r^{3DFR}}{R_l}\right)\left(\frac{MR_r}{M_t}\right) = \left(\frac{r^{3DFR}}{R_l}\right) \quad (1)$$

$M (R < r)$: masse cumulative des particules avec la taille R plus petite qu'un comparatif donnée de classe r .

M_t = masse totale des particules ;

r = taille de l'ouverture des passoires ;

rL = dimension des particules maximale définie par la plus grande ouverture de la taille des passoires.

DFR = dimension fractale de fragmentation.

La dimension fractale est calculée en utilisant l'équation suivante :

$$DFR = 3 - m \quad DFR = 3 - m \quad (2)$$

avec m la pente de la droite la mieux appliquée à l'équation.

Les différents calculs de la dimension fractale se feront par cette méthode des masses. Elle est calculée en utilisant les résultats de l'analyse granulométrique des échantillons étudiés. L'avantage de cette méthode est que les données de la courbe granulométrique peuvent être utilisées et la dimension fractale (DFR) tient compte de tous les diamètres de l'échantillon mesuré.

3. MATÉRIAUX DE L'ÉTUDE ET ESSAIS RÉALISÉS

Les matériaux utilisés ont été extraits sous forme de blocs de grande dimension. Ces derniers sont concassés à l'aide d'un marteau pour les grands diamètres et d'un concasseur à mâchoire (pour les petits diamètres inférieurs à 5 mm). Les grains obtenus après concassage et tamisage sont indépendants et sont de forme irrégulière. La sélection des différentes formes est faite manuellement à l'œil nu. Dans cette étude, 3 formes ont été adoptées : allongée, arrondie et anguleuse. Les échantillons sont soumis aux différents essais climatiques : gel-dégel, dégradabilité et altérabilité.

3.1-Matériaux de l'étude

Trois matériaux ont été étudiés : le grès, le schiste satiné et la marne. Ce sont des matériaux locaux de dureté variable qui sont disponibles en grande quantité dans la région et sont très utilisés dans le domaine du génie civil.

Grès : le grès est une roche détritique, issue de la cimentation (ou diagenèse) de grains de sable. Il s'agit, par conséquent, d'une roche

cohérente et dure constituée par l'agglomération de nombreux petits grains unis par un ciment naturel de composition variable. Le matériau étudié est extrait au lieu « Yakourène », situé à 70 km à l'Est du chef lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou (figure 1).

Schiste : le schiste est une roche qui a pour particularité d'avoir un aspect feuilleté et de se débiter en plaques fines ou (feuilletés rocheux). On dit qu'elle présente une schistosité. Il s'agit d'une roche métamorphique. Le schiste étudié est du type schiste tacheté. Le site d'extraction est situé à 4km au Nord-Est de la ville de Tizi-Ouzou sur les flancs longeant l'Oued Sébaou (figure 1).

Marnes : les marnes sont des roches relativement tendres qui présentent une résistance élevée à l'état sec mais qui deviennent non résistantes en présence d'eau. La marne a une couleur grise, friable et s'altère rapidement en présence d'eau. Les marnes utilisées dans cette étude ont été prélevées à Tizi-Ouzou sur le site dit « les Chabanes » (figure 1).



Figure 1 : Les matériaux utilisés : le grès, le schiste et la marne : échelle 1/5.

Figure 1: Materials used : the sandstone, the schist and the marl : échelle 1/5.

Le choix des échantillons de granulats à tester a été fait de telle manière que le spectre des valeurs de la dégradation soit le plus étendu possible. Pour cela, nous avons sélectionné les 3 types de granulats comme suit : (tableau 1).

Table 1: Characteristics of three types of aggregate.

Tableau 1: Caractéristiques des trois types de granulat.

Echantillonnage de granulats	Pétrographie	Origine
Roche détritique concassée	Grès numidien siliceux (91% de SiO ₂)	Grès de Yakouren
Criblage ou concassage	Marne grise de 52% de CaCO ₃ avec présence de kaolinite	Marne de Tizi-Ouzou
Criblage ou concassage	Roches métamorphiques : Schistes gris tachetés à 50% d'amphibole.	Tizi-Ouzou Oued Sébaou

3.2-Essais réalisés

Sous les conditions climatiques de la région, le comportement mécanique de ces matériaux est caractérisé par :

- un coefficient de fragmentation représentant la fragilité du matériau aux sollicitations externes;
- un coefficient de dégradabilité représentant le potentiel d'évolution d'un matériau sous l'action des conditions climatiques.

1- Essai gel/dégel (norme NF EN 1367-1) : cet essai permet d'avoir une idée sur la résistance du granulat lorsqu'il est soumis à des cycles gel/dégel. Le gel crée des contraintes dans les granulats qui peuvent provoquer leur rupture. La résistance au gel des grains est appréciée par la perte de masse en fin d'essai. Les phénomènes de gel et de dégel affectent les propriétés mécaniques des matériaux selon deux processus disjoints et complémentaires : la gélification et la cryo-succion.

La gélification est un phénomène qui se traduit par la rupture des grains ou des liaisons inter granulaires sous l'action des contraintes thermiques et/ou des forces développées par la congélation de l'eau et son accroissement de volume.

La succion cryogénique est un phénomène de dépression et d'aspiration d'eau qui se développe au niveau de l'interface eau-glace. La dynamique du changement d'état eau liquide-glace crée un champ de pression qui entraîne l'eau vers la zone de congélation. L'essai de détermination de la résistance au gel dégel des granulats selon de la norme NF EN 1367-1 consiste à exposer une fraction granulaire connue (d/D) et totalement immergée dans de l'eau à 10 cycles thermiques de 24h, alternant des phases de gel (jusqu'à -17,5 °C) et de dégel (20±3 °C).

2-Essai de dégradabilité (norme NF P 94-067) : l'essai de dégradabilité permet d'apprécier les potentialités d'un matériau à évoluer après sa mise en œuvre sous l'action des cycles immersions après séchage (cycles climatiques).

L'essai consiste à déterminer la réduction de D₁₀ d'un échantillon, de granularité d/D donnée, soumis à quatre cycles imbibition/séchage conventionnels. Cette réduction s'exprime par le rapport défini par DG représentant le coefficient de dégradabilité du matériau.

$$D_G = \frac{D_{10 \text{ initial avant essai}}}{D_{10 \text{ final après le 4ème cycle imbibition-sécl}} \quad (3)$$

3-Essai d'altérabilité : l'altération d'une roche est conditionnée par l'altérabilité des minéraux qui la constituent. Elle permet d'étudier l'influence du changement de température et d'humidité sur la dégradation des grains, ainsi que l'effet du vent sur ces grains (% de ventilation). Afin de comparer la granulométrie sèche du matériau ayant subi plusieurs cycles d'essai d'altérabilité, à celle du matériau altéré dans l'enceinte climatique, nous avons effectué des essais de granulométrie avant et après altération.

L'étude de l'altérabilité des matériaux étudiés est réalisée dans une enceinte climatique selon le programme ci-dessous (tableau 2) :

Table 2: Monitoring program for the alterability test.

Tableau 2 : Programme suivi pour l'essai d'altérabilité.

	3 jours	3 jours	2 jours	4 jours
température	45°C	26°C	0°C	-10°
humidité	30%	40%	50%	80%
ventilation	65%	80%	60%	90%
Etat d'échantillons	sec	sec	mi-imbibé	imbibé

4. PRÉSENTATION ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

L'eau apparaît comme l'agent responsable de la dégradation des grains des trois matériaux rocheux. Son action se fait sous deux formes :

- les alternances gel-dégel où un petit nombre de cycles suffit à désagréger particulièrement les matériaux les plus fragiles en un amas de grains et de fines ;
- les alternances imbibition-séchage qui agissent d'une façon très efficace dès les premiers cycles.

L'étude expérimentale a montré que l'action du gel sur les grains dépend de deux facteurs essentiels :

- la structure du matériau et la présence de fissures au niveau des grains ;
- la teneur en eau dans la roche au moment où se produit le gel.

Le gel répété a été reconnu, depuis longtemps, comme un des facteurs susceptibles de désagréger certaines roches et, plus particulièrement, les roches sédimentaires (marnes, grès, etc.). En outre, les variations de température entraînent la dilatation ou la contraction des roches soumises à des variations de volumes incessants : une roche ou un grain se fissure puis éclate. L'eau pénètre dans les fissures puis gèle avec augmentation de volume : les cristaux de glace s'accroissent perpendiculairement à la surface de la fente et augmente son ouverture jusqu'à l'éclatement.

Quant aux alternances imbibition, séchage celles-ci jouent un rôle primordial dans la fragilisation des grains. En effet, le temps sec favorise le phénomène de retrait et le temps humide ou pluvieux favorise l'infiltration, l'absorption et même le gonflement pour certaines roches.

4. 1- Etalement granulométrique après essai

La granulométrie de chaque échantillon est déterminée avant chaque essai de dégradation pour mieux connaître la distribution de la taille des grains des trois matériaux après les différents cycles de chaque essai. L'évolution de la granulométrie peut s'observer visuellement et une diminution de la taille des grains est constatée engendrant ainsi une production de fines.

4.1.1-Essai gel/dégel

Les échantillons sont soumis aux différents cycles de gel-dégel. L'analyse granulométrique après essai de la fraction granulaire 0/16 pour les 3 formes des trois matériaux a montré un étalement des courbes avec une production de fines plus ou moins importante en fonction de la dégradation du matériau. L'évolution de la granulométrie peut s'observer visuellement (Figure 2 pour le schiste, figure 3 pour la marne, figure 4 pour le grès et figure 5 pour la comparaison de l'étalement granulométrique pour les trois matériaux). Cet essai montre l'influence qu'exerce la température et notamment le passage du gel au dégel sur la dégradation des trois matériaux. Le matériau le plus dégradé dans cet essai est la marne qui présente une granulométrie plus étalée et qui a produit plus de particules fines que pour les deux autres matériaux (figure 5). Le grès est le matériau qui a résisté le plus aux cycles gel-dégel. Dans cet essai, la forme des grains n'a pas d'influence sur les cycles gel/dégel, puisque les courbes granulométriques après essai sont toutes presque confondues.

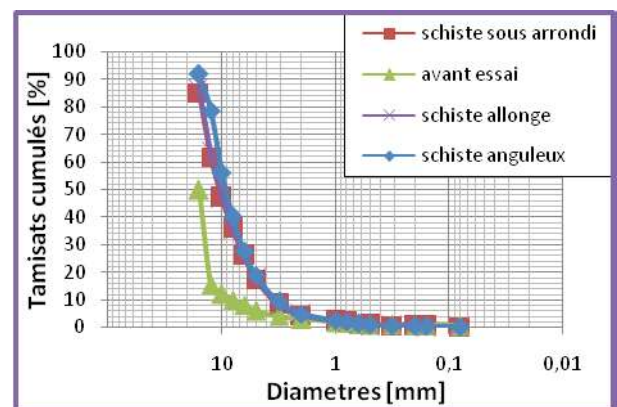


Figure 2 : Comparaison des courbes granulométriques des 3 formes de schiste obtenues avant et après essai.

Figure 2: Grading curves of 3 forms of the schist obtained before and after the test.

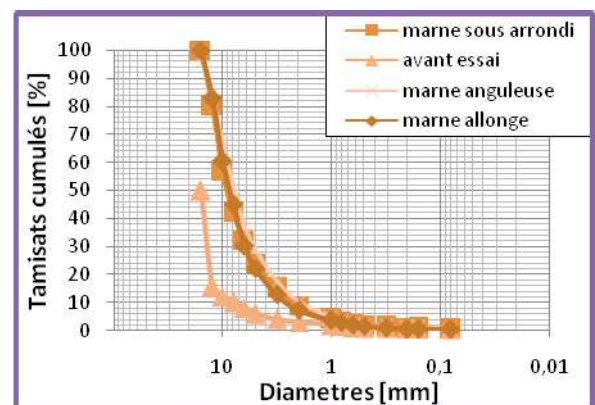


Figure 3 : Comparaison des courbes granulométriques des 3 formes de marne obtenues avant et après essai.

Figure 3: Grading curves of 3 forms of the marl obtained before and after the test.

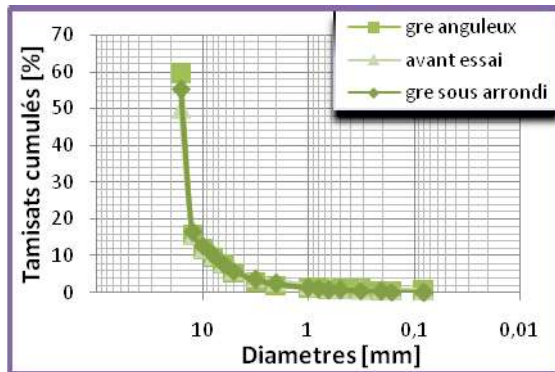


Figure 4 : Comparaison des courbes granulométriques des 3 formes du grès obtenues avant et après essai.

Figure 4: Grading curves of 3 forms of the sandstone obtained before and after the test

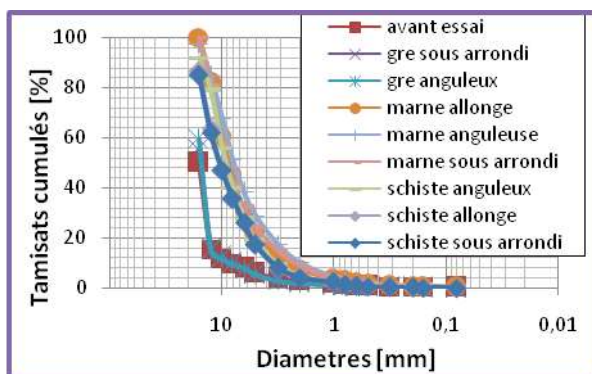


Figure 5 : Comparaison des courbes granulométriques des 3 formes des 4 matériaux obtenues avant et après essai.

Figure 5: Grading curves of 3 forms of the materials obtained before and after the test.

4.1.2-Essai d'altérabilité

Les courbes granulométriques après essais sont plus étalées que la courbe initiale dans le cas du matériau marneux (figure 7) et du matériau schisteux (figure 6) avec une importante production de fines ; contrairement au matériau grès où les courbes granulométriques sont moins étalées et sont presque confondues à la courbe initiale (figure 8) avec une faible production de fines. La figure 9 montre que le schiste est le matériau le plus dégradé à l'essai d'altérabilité. En effet, les courbes granulométriques sont les plus étalées et cela quelque soit la forme des grains. D'après Martin (1973) [5], dans la plupart des roches, l'altération progresse surtout par les minéraux les plus altérables tels que les kaolins pour les schistes.

La forme des grains n'est significative que pour la marne et le schiste. Pour le grès, les courbes granulométriques sont confondues après essai pour les trois formes des grains (figure 8).

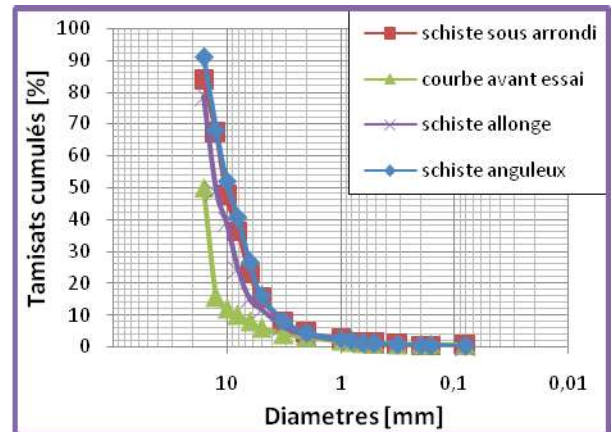


Figure 6 : Comparaison des courbes granulométriques des 3 formes du schiste obtenues avant et après essai.

Figure 6: Grading curves of 3 forms of the schist obtained before and after the test.

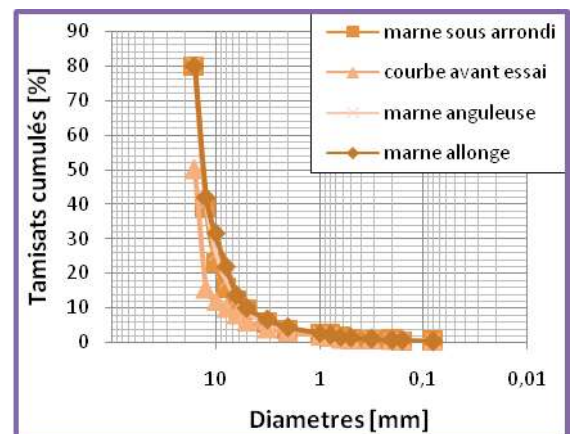


Figure 7 : Comparaison des courbes granulométriques des 3 formes de la marne obtenues avant et après essai.

Figure 7: Grading curves of 3 forms of the marl obtained before and after the test.

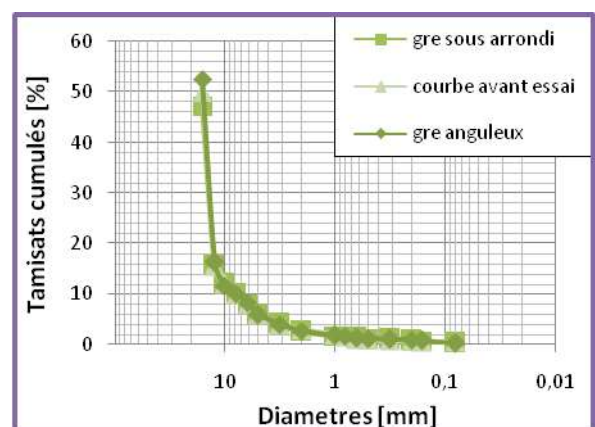


Figure 8 : Comparaison des courbes granulométriques des 3 formes du grès obtenues avant et après essai.

Figure 8: Grading curves of 3 forms of the sandstone obtained before and after the test.

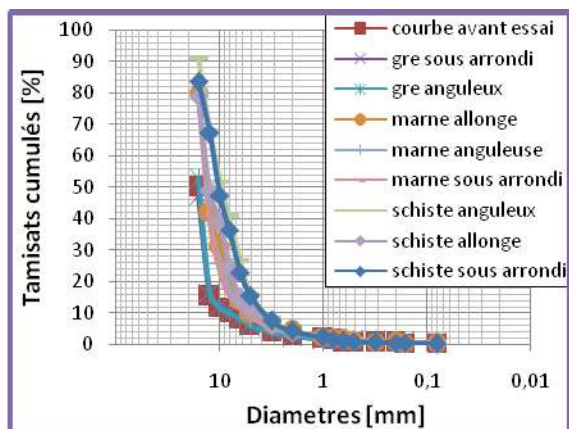


Figure 9 : Comparaison des courbes granulométriques des 3 formes des 4 matériaux obtenues avant et après essai.

Figure 9: Grading curves of 3 forms of the materials obtained before and after the test.

4.1.3-Essai de dégradabilité

Les courbes granulométriques observées après essai sont plus étalées que la courbe initiale : il y a eu production de particules fines (figures 10, 11 et 12). Cette dégradation se traduit par une évolution du diamètre D₁₀ qui est mesuré avant et après l'application des cycles. Les courbes les plus étalées sont celles du matériau schiste (figure 13). Par contre, le grès n'a eu qu'une petite production de fines donc un léger étalement granulométrique (figure 12).

Dans le cas de la marne et du grès, la forme des grains n'influe pas sur la dégradation (figures 11 et 12), les courbes sont pratiquement confondues. Par contre, dans le cas du schiste, on remarque que les formes allongée et anguleuse sont légèrement plus dégradables (tableau 3).

Table 3: Value of degradability coefficients of each material.

Tableau 3 : valeur des différents coefficients de dégradabilité de chaque matériau

Type du matériau	Schiste sous arrondi	Schiste anguleux	Schiste allongée	Marne sous arrondi	Marne anguleuse	Marne allongée	Grès anguleux	Grès sous arrondi
D _G	2	2.285	2.285	1.269	1.269	1.6	0.784	0.784

Les matériaux étudiés ont tous un coefficient de dégradabilité inférieurs 5 ; donc ce sont des matériaux peu dégradables. Notons que la valeur DG du schiste est la plus élevée.

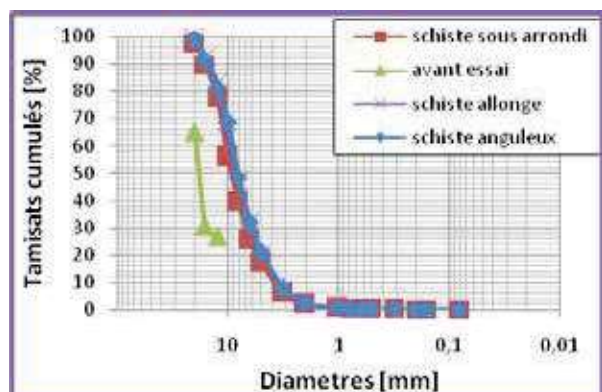


Figure 10 : Comparaison des courbes granulométriques des 3 formes du schiste obtenues avant et après essai.

Figure 10: Grading curves of 3 forms of the schist obtained before and after the test.

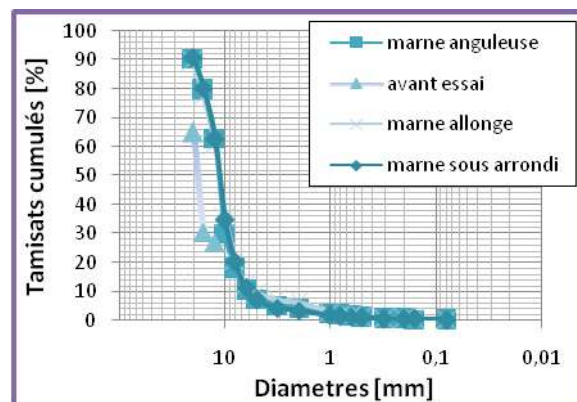


Figure 11 : Comparaison des courbes granulométriques des 3 formes de la marne obtenues avant et après essai.

Figure 11: Grading curves of 3 forms of the marl obtained before and after the test.

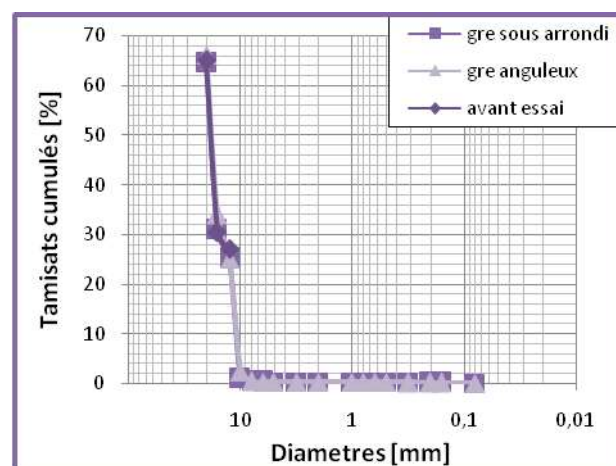


Figure 12 : Comparaison des courbes granulométriques des 3 formes du grès obtenues avant et après essai.

Figure 12: Grading curves of 3 forms of the sandstone obtained before and after the test.

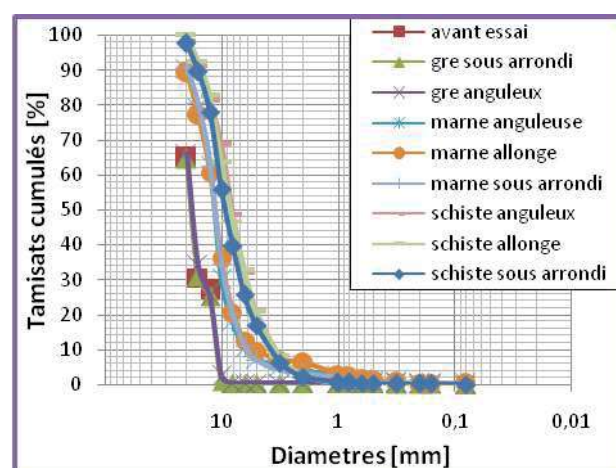


Figure 13 : Comparaison des courbes granulométriques des 3 formes des 3 matériaux (grès, schiste, marne) obtenues avant et après essai.

Figure 13: Grading curves of 3 forms of the materials obtained before and after the test.

4.2. Evolution de la dimension fractale

Après avoir soumis les échantillons aux trois essais de dégradation, on examine les grains après chaque cycle et on évalue la quantité de fines produites ainsi que le changement de leur dimension fractale. En effet, les essais font augmenter l'écrasement des grains, ce qui influe sur la valeur de la dimension fractale qui peut ainsi varier après chaque cycle de l'essai. Les résultats varient aussi en fonction du type d'essai, de la nature du matériau et de la forme des grains.

4.2.1-Influence du type d'essai

Les essais ont engendré un écrasement des grains ce qui a fait varier la valeur de leur dimension fractale. Celle-ci a diminué dans le cas de deux essais de dégradabilité et de gel/dégel et a augmenté à l'essai d'altérabilité par rapport aux valeurs initiales de la dimension fractale (DF) avant essai. En effet, les résultats obtenus sur la dimension fractale des grains, dépendent du mode de rupture qu'ils subissent [6]. La dimension fractale diminue dans le cas d'un « fendage » et/ou d'une « rupture des aspérités » et elle augmente dans le cas d'un « écaillage » qui provoque l'augmentation des irrégularités superficielles. L'observation des échantillons a montré une rupture des aspérités dans le cas de l'essai gel/dégel et de l'essai de dégradabilité et un écaillage dans le cas de l'essai d'altérabilité. L'essai gel-dégel est l'essai qui a causé le plus de dégradation particulièrement pour les grains du matériau schiste (figure 14) et marne (figure 15) et cela quelque soit la forme de leurs grains. La quantité de fines produite à l'essai gel-dégel est pratiquement le double que celle produite à l'essai de dégradabilité et le triple que celle produite à l'essai d'altérabilité, et cela pour les trois matériaux. Cependant, les grains du matériau grès n'ont subi qu'une faible rupture des aspérités. A l'essai de dégradabilité, les grains des trois matériaux ont subi une importante rupture des aspérités, ce qui a augmenté leur rugosité. L'essai d'altérabilité est l'essai le moins influent par rapport aux deux autres essais, qui a aussi provoqué une dégradation des grains de marne et de schiste, mais qui n'a provoqué qu'un faible écaillage pour les grains de grès.

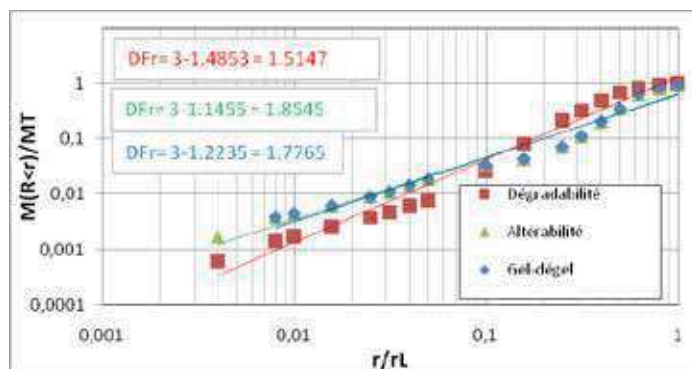


Figure 14 : Courbes de tendance du matériau schiste de forme anguleuse aux essais climatiques.

Figure 14: Trend curves of the angular form of schist material in climate tests.

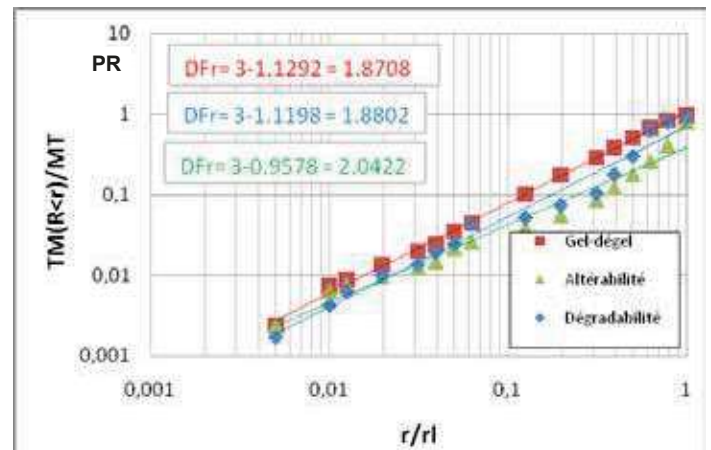


Figure 15 : Courbes de tendance du matériau marne de forme anguleuse aux essais climatiques.

Figure 15: Trend curves of the angular form of marly material in climate tests.

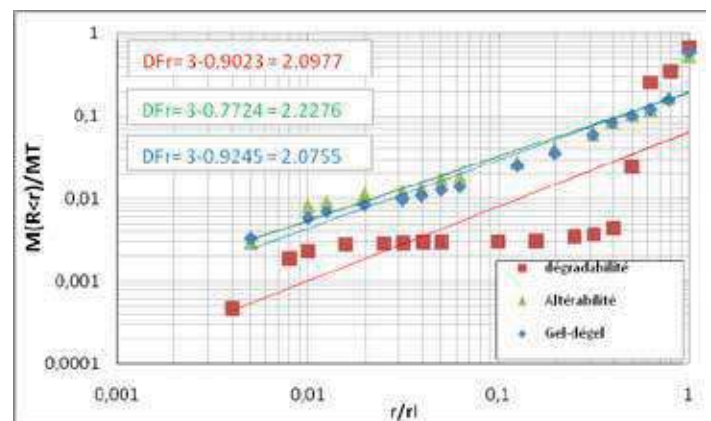


Figure 16 : Courbes de tendance du matériau grès de forme anguleuse aux essais climatiques.

Figure 16: Trend curves of the angular form of sandstone material in climate tests.

Dans les courbes de tendance des figures (14, 15 et 16), le coefficient de corrélation pour tous les matériaux étudiés varie de 0,93 à 0,99. R^2 est supérieur à 0,9, nous pouvons considérer que nous avons obtenu de bonnes corrélations qui sont donc fiables et les dimensions fractales déduites sont donc représentatives.

4.2.2-Influence de la nature du matériau

Le schiste est le matériau le plus dégradé dans les cas des deux essais de gel/dégel et dégradabilité (figure 17) où on a remarqué un étalement des courbes granulométriques plus important que pour les autres matériaux avec un pourcentage de fines plus élevé. La valeur de la dimension fractale obtenue pour le matériau schisteux est la plus faible (1.4203) et l'écart entre (DF) initiale et (DF) final (2.2157-1.4203) après essai est le plus élevé. La marne a subi moins de dégradation que le schiste tant à l'essai gel/dégel qu'aux essais de dégradabilité et d'altérabilité figures (17, 20 et 22). Le grès est le matériau le plus résistant aux trois essais réalisés.

Au regard des trois essais, la forme anguleuse des matériaux (grès et marne) est la forme des grains qui a subi le plus de dégradation et la forme sous-arrondie est la forme qui s'est dégradée le moins. La forme des grains du matériau marneux a peu influé sur le calcul de la dimension fractale où on a remarqué des valeurs assez proches pour les trois formes (figure 21) ; de même, à l'essai d'altérabilité,

il n'y a qu'une très faible variation de la dimension fractale entre les trois formes des trois matériaux étudiés, donc la forme n'influe que très peu pour cet essai (figure 18). Quand au matériau schiste, seule la forme allongée a fait varier de façon remarquable la dimension fractale (DF) (figure 19).

Le grès est le matériau qui a subi le moins d'écrasement, ainsi les dimensions fractales sont assez proches de la dimension fractale initiale (figures 17, 20 et 22). Finalement, la nature minéralogique du matériau influe sur la dégradation des grains de roches. Plus les minéraux sont résistants, plus les grains sont moins altérables, moins dégradables et moins sensibles aux essais gel/dégel.

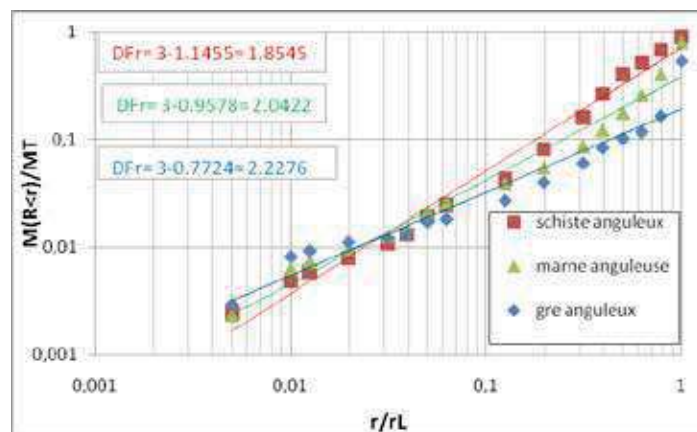


Figure 17 : Courbes de tendance à l'essai d'altérabilité des trois matériaux pour la forme anguleuse.

Figure 17: Trend curves of the angular form of the materials in weathering tests.

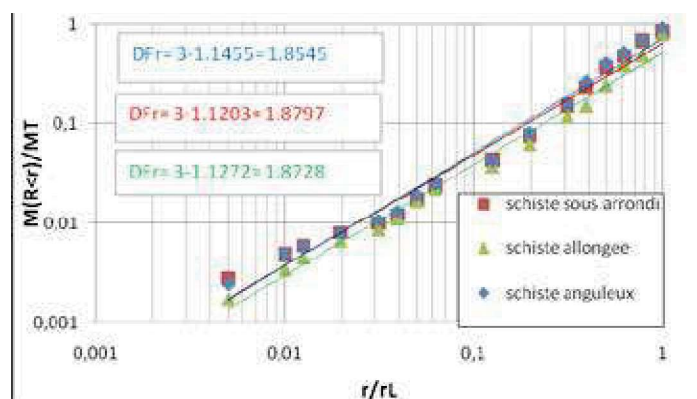


Figure 18 : Courbes de tendance à l'essai d'altérabilité pour le schiste sous ses trois formes.

Figure 18: Trend curves of schist in its three forms in weathering test.

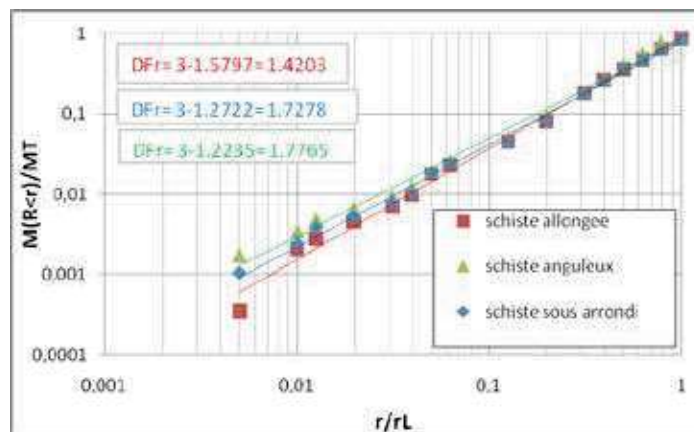


Figure 19 : Courbes de tendance à l'essai de gel/dégel pour le schiste sous ses trois formes.

Figure 19: Trend curves of schist in its three forms in the freeze thaw test.

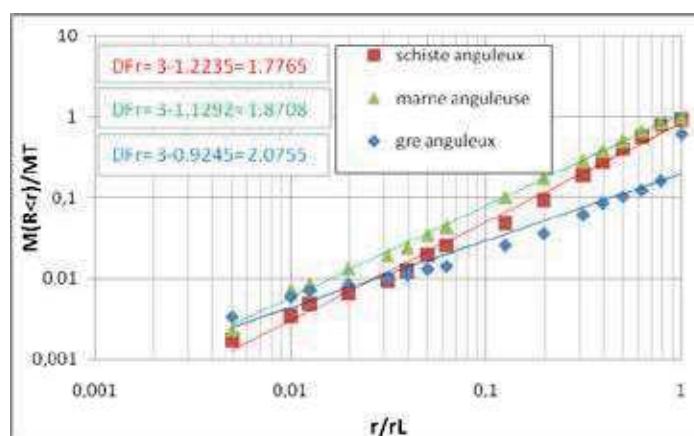


Figure 20 : Courbes de tendance à l'essai de gel/dégel pour la forme anguleuse des trois matériaux.

Figure 20: Trend curves for the angular shape of the materials in the freeze thaw test.

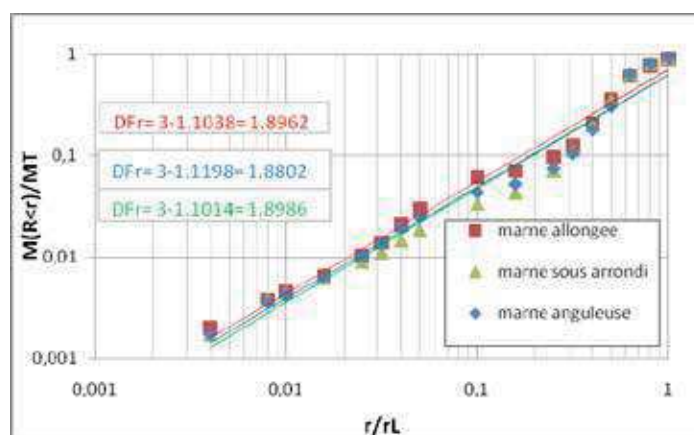


Figure 21 : Courbes de tendance à l'essai de dégradabilité pour la marne sous ses trois formes.

Figure 21: Trend curves of marl in its three forms in the biodegradation test.

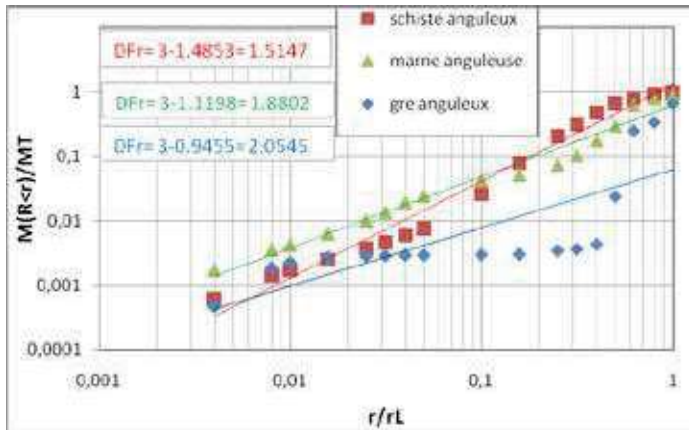


Figure 22 : Courbes de tendance à l'essai de dégradabilité pour la forme anguleuse des trois matériaux.

Figure 22: Trend curves of the angular form of the three materials in the biodegradation test.

5. CONCLUSION

Une série d'essais a été entreprise pour identifier et mesurer la sensibilité des matériaux (schiste, grès et marne) à l'action de l'eau (cycle dessiccation-saturation) d'une part et à l'action du gel (cycle gel/dégel) d'autre part. Les résultats des essais montrent que la sensibilité potentielle de ces matériaux à l'eau dépend très fortement de leur composition minéralogique. La dégradation d'un grain peut être appréhendée par l'altérabilité de ses minéraux : les plus fragiles d'entre eux se dégradent dès les premiers cycles. Les spécificités de chacun des matériaux sont comme suit :

- le grès est le matériau le plus résistant aux essais climatiques où sa courbe granulométrique après essai est pratiquement confondue à la courbe initiale avec une production de fines en petite quantité. Ainsi leurs dimensions fractales sont assez proches de la dimension fractale initiale avant essai ;
- dans le cas du matériau marne, les résultats des essais montrent un matériau évolutif, qui se présente sous forme d'une roche à l'état intact et sous la forme dégradée après essai. Les marnes sont deux fois plus sensibles à l'action du gel/dégel qu'à l'action du cycle dessiccation-saturation vue les quantités de fines produites à l'essai gel/dégel. Ce matériau est donc très sensible aux variations climatiques. Les dimensions fractales obtenues reflètent cette sensibilité avec des valeurs assez éloignées de la DF initiale ;
- le matériau schiste est le matériau le plus dégradé en termes de dimension fractale et en terme d'étalement granulométrique et production de particules fines ;
- l'essai d'altérabilité qui est le moins défavorable en produisant le moins de fines. Les courbes granulométriques obtenues lors de cet essai, sont moins étalées et présentent moins de dégradation des grains par rapport aux deux autres essais (gel/dégel et dégradabilité).

L'essai gel/dégel a eu la plus grande diminution de la dimension fractale après essai ; ce qui prouve qu'il est l'essai le plus dégradant. L'essai de dégradabilité reste un essai intermédiaire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Mandelbrot B., Les objets fractals : forme, hasard et dimension, Paris (France), éd. Flammarion, 1975.
- [2] Hyslip J. et Vallejo L., "Fractal analysis of the roughness and size distribution of granular materials," Engineering geology, Vol. 48, 1997, pp. 251-244, 1997.
- [3] Russel D., Hanson J., Ott E., Dimension of strange attractors. Physical Review Letters 45, pp 1175-1178, 1980.
- [4] Tyler S. W. et Wheatcraft S. W., Fractal scaling of soil particle-size distributions: analysis and limitations. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 362-369, 1992.
- [5] Martin C., détermination de la sensibilité potentielle des roches cristallophylliennes à l'altération chimique à partir de leur composition chimique. Études de Géographie Physique, n° XXXVII, 2010.
- [6] Troadec JP., Guyon E., Du sac de billes au tas de sables. Ed. Odile Jacob, Paris 1994.