

II -1-Généralités sur les granulats utilisés dans le béton :**II -1-1-Introduction :**

La construction de l'habitat et l'aménagement de l'environnement font appel à trois grands secteurs d'activités, qui sont les industries de carrière et matériaux de construction, le bâtiment et les travaux publics. Tous les travaux liés à ces secteurs d'activités utilisent des matières premières naturelles en tant que morceaux de roches ou alluvionnaires (sous forme de sables et graviers), soient obtenues artificiellement par traitement de roches naturelles ou des déchets industriels et parfois l'utilisation des déchets inertes. Leur nature et leur forme varient en fonction des gisements et des techniques de production. Elles sont destinées à être mises en œuvre sans aucun apport de liant pour les solidariser (ballast des voies de chemin de fer, couche de fondation des routes, remblais...) soient agglomérées à l'aide d'un liant (ciment pour le béton, bitume pour les enrobés) [7].

II -1-2- Définition des granulats :

Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125 mm) se situe dans l'une des 7 familles suivantes :

(Fillers, sablons, sable, graves, gravillons, ballast, enrochements)

Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition. Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production.

La nature minérale des granulats est un critère fondamental pour son emploi, chaque roche possédant des caractéristiques spécifiques en termes de résistance mécanique, de tenue au gel et des propriétés physico-chimiques. Les granulats les plus usuels pour la fabrication des mortiers et des bétons sont élaborés à partir de roches d'origine alluvionnaire (granulats roulés ou semi-concassés) ou à partir de roches massives (granulats concassés).

La taille d'un granulat répond à des critères granulométriques précis. Les granulats sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) déterminée par analyse granulométrique à l'aide de tamis.

II -1-3-Différents types de granulats :

Un granulat, en fonction de sa nature et de son origine, peut être...

a) naturel : D'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions) ou de roches massives n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).

b) artificiel : d'origine minérale résultant d'un pro- cédé industriel comprenant de transformation thermique ou autre.

c) Recyclé : obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments. [8]

II -1-3-1-Granulats naturels :

Les granulats naturels sont issus de roches meubles ou massives. Les roches meubles (matériaux alluvionnaires) sont exploitées le long des fleuves et des rivières. Les roches massives calcaires constituent les bassins sédimentaires et les chaînes récentes; les roches massives éruptives constituent les massifs anciens.

a)-Granulats roulés et granulats de carrières :

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories.

b)-Les granulats de roche meuble :

Dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silicocalcaires.

Ils sont exploités à proximité des cours d'eau, dans la nappe ou au-dessus de la nappe ou sur des fonds marins peu profonds. L'extraction est donc réalisée en fonction du gisement à sec ou dans l'eau.

c) Les granulats de roche massive :

Sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage. [8]

II -1-3-2-Granulats artificiels :

Des granulats artificiels peuvent être employés pour réaliser des bétons à usages spécifiques.

a)Sous-produits industriels, concassés ou non

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau.

b) Granulats à hautes caractéristiques

Il s'agit de granulats élaborés industriellement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux) ou granulats réfractaires.

II -1-3-3-Granulats recycles:

Le granulat recyclé est le granulat résultant de la transformation de matériaux inorganiques antérieurement utilisés en construction. Dans cette catégorie se rangent des granulats, comme le béton concassé, le fraisât d'enrobés bitumineux...

a)Les déchets de chantier :

Les déchets de chantiers sont composés essentiellement de déchets provenant des chantiers du bâtiment et des travaux publics et des activités industrielles consacrées à la fabrication de matériaux de construction. Ils sont définis comme étant des déchets inertes qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine [9].

Les déchets admissibles sont : les bétons, les pierres, les tuiles, les céramiques, les briques, les carrelages ainsi que les enrobés bitumineux sans goudron. L'amiante est considérée comme déchets inertes mais son utilisation est interdite pour raison de santé

La figure (I.1) présente les différentes catégories de déchets de chantiers et domaine d'application [10].

b) Les déchets de démolition :

Les déchets de démolition sont une sous catégorie des déchets du bâtiment qui regroupent tous les matériaux de déconstruction ou de réhabilitation. Comme le béton constitue presque 75 % en

poids de tous les matériaux de construction, il s'en suit donc que les fortes proportions des rebuts de démolition soient du béton [11].

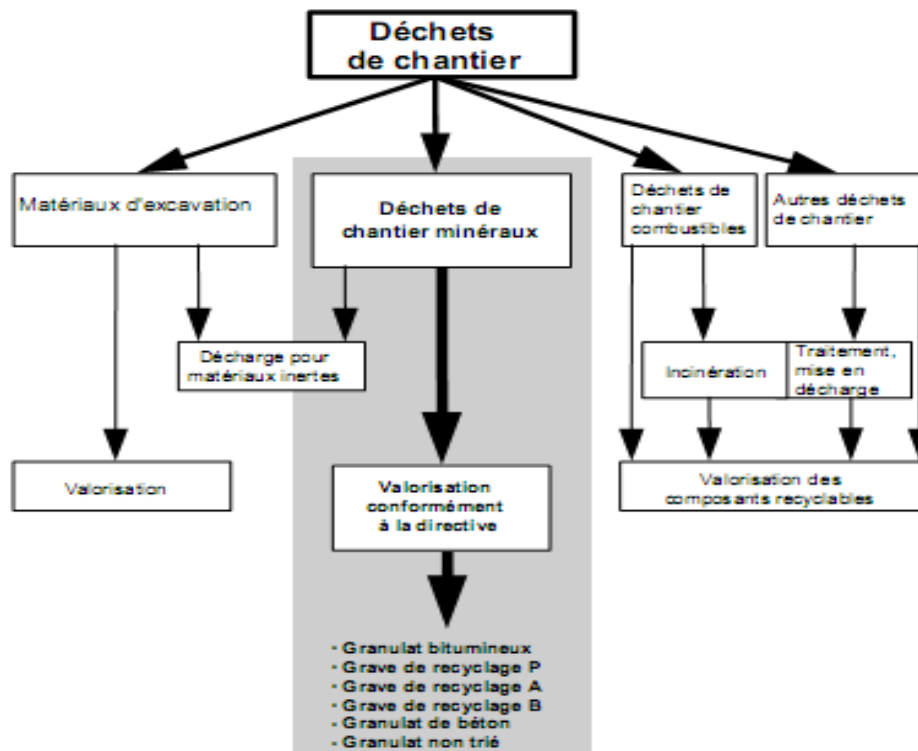


Figure II.1: Les différentes catégories de déchets de chantiers [10]

II -1-4-Recyclage :

II -1-4-1-Définition :

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles.

C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés.

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets,
- réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.

-recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine. Ainsi, dans le cas du Québec, l'importante hausse du taux de recyclage, passant de 18 % à 42 % entre 1988 et 2002, est allée de paire avec une augmentation de la quantité de déchets à éliminer par habitant, passant de 640 kg/an/personne à 870 kg du fait d'une augmentation de 50 % de la production par habitant durant cette même période. En France, le volume de déchets a doublé entre 1980 et 2005, pour atteindre 360 kg/an/personne.

Pour lutter contre l'augmentation des déchets, le recyclage est donc nécessaire, mais il doit être inclus dans une démarche plus large.

II -1-4-2-Procédés du recyclage :

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique.

Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer.

Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz.

II -1-4-3-Le stockage :

La conservation des granulats recyclés après traitement se fait dans des aires de stockage, soit sous forme de tas individualisés, soit en trémies ou silos [7], selon des critères bien précis et qui sont fonction de la provenance des granulats, de la forme des grains, de la nature des opérations de traitement et de la granulométrie.

Conseille de stocker les différents types de granulats séparément l'un de l'autre, et de ne pas conserver les sables recyclés pendant longtemps.

II -1-5-Composition et propriétés physiques des granulats recyclés de béton :

Les granulats recyclés de béton diffèrent des granulats naturels par leur composition. En effet, le granulat recyclé de béton est un matériau composite, dont les deux constituants sont [12] :

- des granulats naturels concassés partiellement.
- de la pâte de ciment hydraté concassée, enrobant les granulats naturels.



Figure II.2: Compositions des granulats recyclés de béton

Les éléments constitutifs de ces granulats recyclés sont présents en proportion différente.

En effet, Le taux de pâte de ciment présent dans les granulats recyclés de béton varie en fonction de leur origine c'est-à-dire en fonction de la formulation de base du béton initial appelé béton parent dans la littérature.

Les propriétés de la pâte de ciment sont à l'origine des éventuelles mauvaises propriétés des granulats recyclés constatées. En effet, les propriétés physiques de granulat recyclé dépendent de la quantité et la qualité de pâte de ciment présente sur les granulats concassés.

Des études montrent que la densité de ces granulats recyclés est plus faible ou encore que leur capacité d'absorption est plus élevée [12].

De plus, leurs propriétés mécaniques s'avèrent être moins bonnes que celles des granulats naturels . La qualité de la pâte de ciment du béton parent est primordiale dans la définition des propriétés des granulats recyclés selon les auteurs.

La lecture bibliographique a permis d'établir un tableau comparatif entre les propriétés physiques et mécaniques des granulats recyclés et celles exigées dans les normes européennes pour les granulats naturels dans la fabrication de bétons hydrauliques. L'analyse de ces résultats présentés nous permet de conclure que :

- 1)-la masse volumique des granulats recyclés semble plus faible que celle des granulats naturels.
- 2)-l'absorption d'eau est importante pour les granulats recyclés. En effet, l'ensemble des études montre que les granulats recyclés de béton sont caractérisés par une forte capacité à absorber l'eau. De plus, il semble que la partie plus fine des granulats recyclés absorbe une quantité d'eau plus élevée que les éléments plus grossiers.
- 3)-Le coefficient de Los Angeles est élevé comparé à celui exigé par la norme XP P 18-540. Cette tendance est confirmée par les travaux de Sanchez de Juan & Gutierrez qui expliquent que

cette valeur élevée du coefficient de Los Angeles est due à la quantité de pâte de ciment présent autour des granulats naturels concassés.

D'une manière générale, les auteurs s'accordent à dire que la qualité des granulats recyclés semble être inférieure à celle des granulats naturels.

Il est donc essentiel de contrôler la quantité et la qualité de la pâte de ciment présent sur les granulats d'origine afin de comprendre leur influence sur les propriétés des granulats recyclés et, par conséquent, les propriétés des bétons de granulats recyclés de béton.

Il convient donc de définir les essais et analyses pertinents afin de caractériser les propriétés des granulats recyclés de béton. Cela induit également la nécessité de connaître les propriétés physiques et mécaniques du béton parent.

II -1-6-Les caractéristiques de fabrication :

Les granulats sont les principaux composants du béton (70 % en poids). Les performances mécaniques des granulats vont donc conditionner la résistance mécanique du béton et leurs caractéristiques géométriques et esthétiques, en particulier, l'aspect des parements des ouvrages. Le choix des caractéristiques des granulats (roulés ou concassés, teintes, dimensions) est déterminé par les contraintes mécaniques, physico-chimiques et esthétiques du projet à réaliser et de mise en œuvre du béton (critère de maniabilité, enrobage).

II -1-6-1-Caractéristiques géométriques

a) Classe granulaire

Les granulats sont désignés selon leur classe granulaire d/D (avec d : dimension inférieure et D : dimension supérieure). L'intervalle d/D est appelé classe granulaire. Les classes granulaires sont spécifiées en utilisant des séries de dimensions de tamis (en mm). [14]

Série de base : 1 / 2 / 4 / 8 / 16 / 31,5 / 63

Série de base + série 1 : 1 / 2 / 4 / 5,6 / 8 / 11,2 / 16 / 22,4 / 31,5 / 45 / 63

Série de base + série 2 : 1 / 2 / 4 / 6,3 / 8 / 10 / 12,5 / 14 / 16 / 20 / 31,5 / 40 / 63

b) Granularité

La granularité représente la distribution dimensionnelle des grains contenus dans un granulat. Elle est

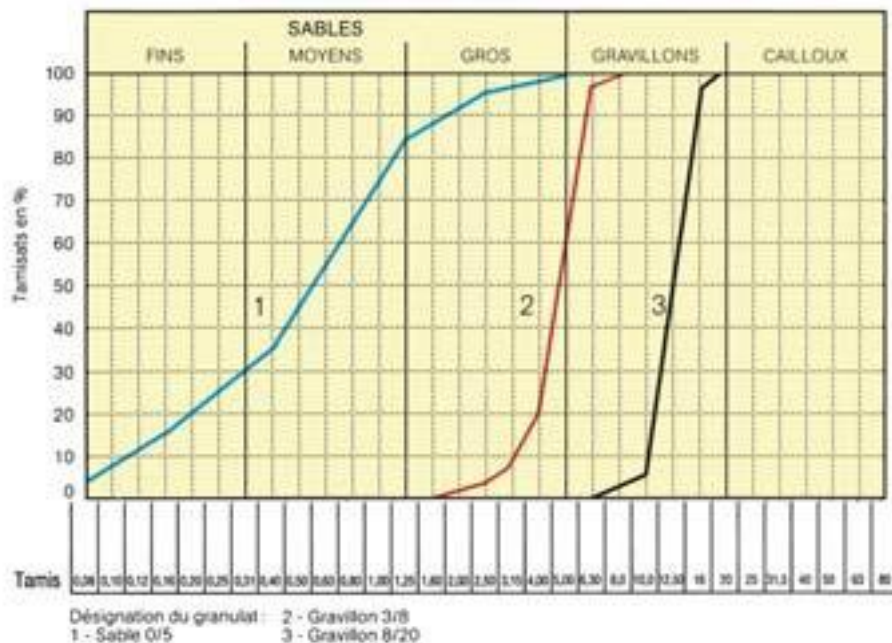


Figure II.3 : courbes granulométriques d'un sable et de deux gravillons.

Déterminée par tamisage (avec une série de tamis, de dimensions d'ouvertures décroissantes) et exprime le pourcentage massique de granulats passant au travers d'un ensemble spécifié de tamis. La proportion de particules retenues par un tamis s'appelle le refus, son complément le passant.

Elle est représentée par une courbe granulométrique représentant les dimensions de tamis en abscisses et en ordonnées les pourcentages de passants cumulés à travers les tamis successifs (en poids de grains).

c) La forme et Coefficient d'aplatissement :

La forme des gravillons est déterminée par l'essai d'aplatissement (A).

Le coefficient d'aplatissement caractérise la forme du granulat à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. Plus A est élevé, plus le gravillon contient d'éléments plats. Une mauvaise forme a une incidence sur la maniabilité et favorise la ségrégation [14].

d) Module de finesse :

Les sables sont caractérisés par le module de finesse (MF). Le module de finesse d'un granulat est égal au 1/100 e de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages, sur

différents tamis. Le module de finesse surtout utilisé pour les sables permet de caractériser leur granularité par une seule valeur. Celle-ci dépend surtout de la teneur en grains fins du sable. Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin. Un module de finesse élevée caractérise un sable grossier.

II -1-6-2-Caractéristiques physiques :

On peut les classer en deux groupes [12], celles qui concernent le granulat lui même, et celles qui concernent la teneur en substances étrangères et nocives.

a)La Masse Volumique :

Les masses volumiques des granulats sont définies et déterminées suivant les normes : NF P 18-554, 18-555, 18-558, EN 1097-3, EN 1097-6.

a.1) La Masse Volumique Apparente (en vrac) :

C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci, y compris les pores inter- granulaires.

a.2) La Masse Volumique Absolue :

C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci (hors pores).

Il existe 3 façons généralement employées pour déterminer ces masses volumiques en fonction de la précision recherchée et de la nature du granulat:

- Méthode de l'éprouvette graduée,
- Méthode de la mesure au pycnomètre: La masse des particules solides est obtenue par pesage, le volume est mesuré au pycnomètre,

b) La porosité (p) :

C'est le rapport du volume des vides pouvant être remplis d'eau au volume total d'un échantillon de granulats. La mesure de la porosité se fait selon les normes "NF P18 554, EN1097-3".

La présence de pores internes dans les granulats est en rapport direct avec la densité des granulats.

Certains pores sont complètement à l'intérieur des granulats et d'autres débouchent à la surface [13].

c) teneur en eau (W %) :

La teneur en eau est égale au rapport de la masse d'eau contenue dans l'échantillon sur la masse sèche de l'échantillon

d) taux d'absorption d'eau (AB%) :

L'absorption d'eau par définition est le quotient de la masse d'un échantillon immergé dans l'eau pendant 24 heures à 20°C et à la pression atmosphérique, par sa masse sèche. Elle est déterminée selon les normes standards "NF P 18-554, 18-555, EN 1097-3, EN 1097-6".

e) propreté des granulats :

La qualité des granulats utilisés dans les bétons est un facteur très important. Trois grandes catégories d'impuretés peuvent être rencontrées dans les granulats: matières organiques, les argiles et les matériaux fins (issues du concassage ou du broyage des roches).

Leurs présence à la surface des granulats interférant avec le processus d'hydratation du ciment et empêche la bonne adhérence granulats-liants, entraînant ainsi une chute des résistances mécaniques et des variations de propriétés rhéologiques des mélanges.

De telles impuretés semblent être plus courantes dans les sables que dans les gros granulats, plus facilement lavés [15].

f) Les sables :

On mesure l'importance des pollutions argileuses dans les sables par l'essai d'équivalent de sable et l'essai au bleu de méthylène [16].

***Equivalent de sable "ES":**

L'équivalent de sable est un rapport conventionnel volumétrique multiplié par 100 entre les éléments dits sableux et les éléments plus fins.

Il existe deux types de mesures l'essai visuel et l'essai au piston Actuellement, trois textes réglementaires décrivent cet essai:

- D'équivalent de sable (NFP 18-598)
- D'équivalent de sable à 10% de fines (NFP 18-597)
- Évaluation des fines - équivalent de sable (EN 933-8)

Les essais d'équivalent de sable permettent la détermination du pourcentage des éléments très fins du sable (aspect quantitatif) sans aucune distinction de nature "argile, limon, vase et matières solubles" (aspect qualitatif), et pour évaluer de façon plus sélective la propreté des sables, de compléter l'essai d'équivalent de sable par l'essai au bleu de méthylène

II -1-6-3-Caractéristiques chimiques :**a)Teneur en ions chlorures :**

Les chlorures modifient la cinétique d'hydratation du ciment et provoquent la corrosion des armatures. La teneur en chlorure issu de l'ensemble des constituants du béton est donc limitée.

b) Réactivités aux alcalis :

Dans des conditions défavorables (granulats contenant une fraction significative de silice soluble réactive dans un environnement riche en alcalin) et en présence d'humidité, les phénomènes d'alcali-réaction peuvent provoquer un gonflement du béton. Les granulats sont désignés comme étant non réactifs (NR), potentiellement réactifs (PR) ou potentiellement réactifs à effet de pessimisme (PRP). [14]

c)Teneur en soufre et en sulfates :

Les granulats peuvent contenir de faibles quantités de sulfates et de sulfures sous réserve que leur teneur en soufre total S n'excède pas 0,4 % en masse. La teneur en sulfates (SO) doit être inférieure à 0,2 %. On la détermine si S est supérieure à 0,08 %.

Les sulfures présents dans les granulats peuvent en s'oxydant se transformer en sulfates qui risquent de générer des phénomènes de gonflement. Il faut donc limiter la teneur en soufre pour se prémunir de ce phénomène. Les sulfates peuvent perturber la prise et les actions des adjuvants d'où la nécessité de limiter leur teneur dans le béton.

II -1-6-4-Caractéristiques mécaniques :**a)résistance des granulats :**

La résistance des granulats est obtenue par des essais indirects, des essais de résistance au choc et à l'usure. En général, la résistance et l'élasticité des granulats dépendent de leur composition minéralogique, de leur texture et de leur structure.

b) résistance a la fragmentation :**Essai los Angeles (L A) :**

Cet essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs des boulets et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulats.

La valeur du coefficient Los-Angeles doit être ≤ 40 pour les granulats naturels type B et C suivant les normes "NF P18 573, EN 1097-2 § 5" et compris entre 30 (catégorie A) et 50 (catégorie D) selon les normes XP P 18 540 et ASTM C-33 pour les granulats recyclés.

La variation du coefficient Los-Angles des granulats recyclés est en fonction de la résistance du béton d'origine, la quantité de la pâte cimentaire rattachée aux granulats et la qualité d'origine des granulats ainsi que la méthode de préparation des granulats et la puissance employée

II -2-Les propriétés physiques :

II -2-1-Influence de l'interface pate de ciment- granulat:

Les bétons recyclés présentent deux zones interraciales : l'une constituée dans le granulat recyclé (liaison granulat-pâte ancienne) et l'autre nouvellement créée entre le granulat recyclé (y compris le mortier ancien) et la pâte cimentaire nouvelle.

Ces zones doivent être prises en considération lors de l'étude de la perméabilité et la résistance du béton.

II -2-2-Influence de l'ancien mortier colle au granulat de béton recycle :

Une des tares du granulat issu de la démolition, est l'ancien mortier collé au granulat et qui ne peut être éliminé facilement. Sa quantité est aléatoire et dépend de la qualité d'adhérence granulat-pâte de ciment et ainsi que de la puissance de concassage lors de la fabrication des recyclés. Cette quantité de mortier attaché aux granulats recyclés porte atteinte à la résistance du béton à long terme.

Démontré que si le rapport E/C du béton d'origine est faible, l'effet de la pâte cimentaire n'influe pas beaucoup la résistance à long terme. Néanmoins, la quantité du mortier attaché aux granulats recyclés influe la résistance à la flexion et l'énergie de rupture, elles diminuent avec l'augmentation de la quantité du mortier.

II -2-3-Influence de la forme et la texture de surface des granulats :

La forme et la texture des granulats influencent considérablement la résistance des bétons. Celle-ci dépend en grande partie des propriétés du gros granulat, elle est plus faible lorsque les granulats présentent une surface lisse contrairement à ce que l'on obtient avec des granulats concassés, de forme angulaire et de surface rugueuse.

La résistance à la compression des bétons à base des granulats lisse est 10 % inférieure à celle des bétons à base des granulats rugueux [17].

L'influence du type de gros granulats sur la résistance du béton est fonction du rapport E/C. Cette influence des granulats sur la résistance diminue avec l'augmentation du rapport E/C comme le montre la figure (I.4).

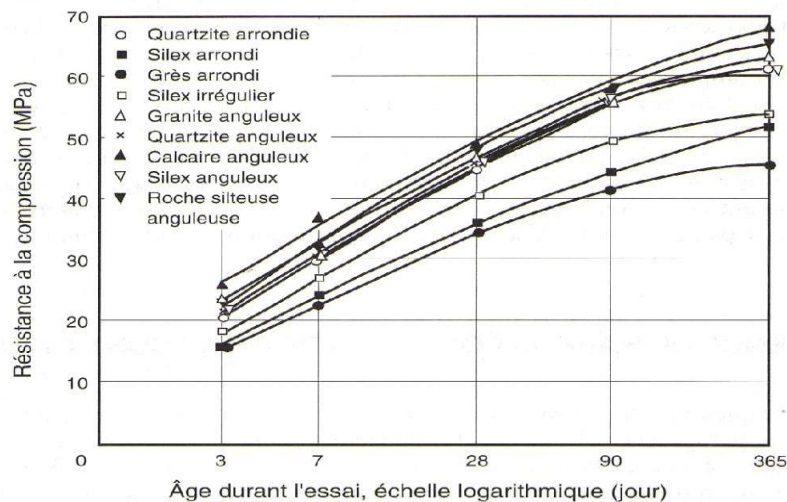


Figure II.4: Relation entre la résistance à la compression et l'âge de

Bétons confectionnés avec différents granulats (E/C=0,50) [11].

L'influence des granulats sur la résistance à la flexion dépend également de l'état d'humidité du béton au moment de l'essai.

II -3-Les propriétés mécaniques :

II -3-1-résistance à la compression :

La résistance mécanique d'un béton est fondamentalement liée aux performances mécaniques des granulats. D'après certains auteurs, les bétons fabriqués avec des granulats recyclés obtiennent de bonnes résistances mécaniques et peuvent atteindre des résistances à la compression équivalentes à celles d'un béton conventionnel.

La résistance à la compression des bétons à base de granulats de recyclage est influencée directement par la résistance des granulats utilisés. Celle-ci dépend à son tour de la densité brute des granulats. Comme les granulats de recyclage présentent généralement une densité inférieure à celle des granulats naturels, en raison de la présence de ciment et d'une composition souvent hétérogène, la résistance à la compression des bétons de recyclés est généralement moindre. La présence du mortier collé aux granulats et qui possède une dureté beaucoup plus faible que le granulat naturel, affecte davantage cette dureté donc sa qualification [13]. Néanmoins, la

résistance du béton ne soit pas seulement due à la résistance mécanique des granulats, mais aussi, à un certain degré, à leur absorption et à leurs caractéristiques de liaison.

Les RAC peuvent rivaliser les bétons conventionnels s'ils sont riches en gravier que de vieux mortier.

Avec des moyens techniques spécifiques lors de la préparation du béton, une teneur en ciment accrue (d'environ 10%) et un rapport E/C réduit, des bétons de résistance comparable à celle du béton de granulats naturels peuvent être atteints.

Un béton préparé avec 50 % de granulats recyclés humides et $E/C = 0,55$ donne la même résistance en compression qu'un béton conventionnel.

II -3-2-Influence des granulats sur le rapport E/C :

Il est connu que les bétons conçus avec des granulats concassés génèrent une surface spécifique plus développée et demandent plus d'eau que les granulats roulés ce qui affecte la résistance.

Pour des rapports $E/C < 0,4$, la résistance à la compression est majorée de 38%, lorsque le béton est fabriqué avec des granulats concassés que ceux roulés et pour des rapports $E/C = 0,65$ la résistance ne varie pas

La rétention d'eau par les granulats recyclés, conduit à réaliser les bétons recyclés avec des rapports E/C supérieurs à ceux des bétons classiques propose une relation entre le rapport E/C et la résistance de compression en fonction du pourcentage des granulats recyclés utilisé selon la figure (I.5).

démontré qu'un béton composé de 100 % de granulats recyclés avec un rapport E/C plus faible que celui d'un béton conventionnel, donne une résistance à la compression plus élevée que celle relevée avec celui-ci. Tandis que pour un rapport E/C égale, la résistance à la compression du béton avec 100 % de granulats recyclés est faible que celle du béton conventionnel

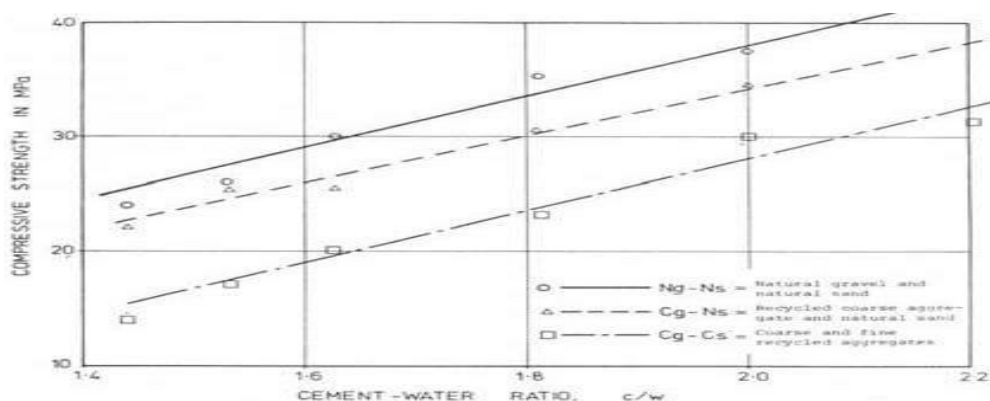


Figure II.5: Relation entre le rapport E/C et la résistance à la compression

II -3-3-Module d'élasticité (E) :

Le module d'élasticité est l'une des propriétés les plus touchées de bétons recyclés, même à des taux de substitution faibles en granulats recyclés.

Le module d'élasticité du béton recyclé a été signalé comme étant de l'ordre de 50-70% par rapport à celui du béton ordinaire, comme l'ont rapporté certains auteurs. Ceux-ci ont constaté qu'avec des niveaux de remplacement en granulats recyclés de 20, 50 et 100% dans des bétons, les valeurs moyennes du module d'élasticité sont de 10, 20 et 40% respectivement inférieures à celles enregistrées pour un béton conventionnel comme l'illustre la figure (I.6). Sur celle-ci on remarque que la perte de rigidité pour les bétons recyclés s'accroît d'avantage avec l'accroissement du rapport E/C. Une certaine corrélation se dégage entre les modules élastiques statiques du béton conventionnel et du béton recyclé lorsque la substitution en recyclés est partielle (20 et 50%) et elle devient médiocre lorsque le taux de remplacement est à 100% et ceci est bien représenté sur la figure (I.7).

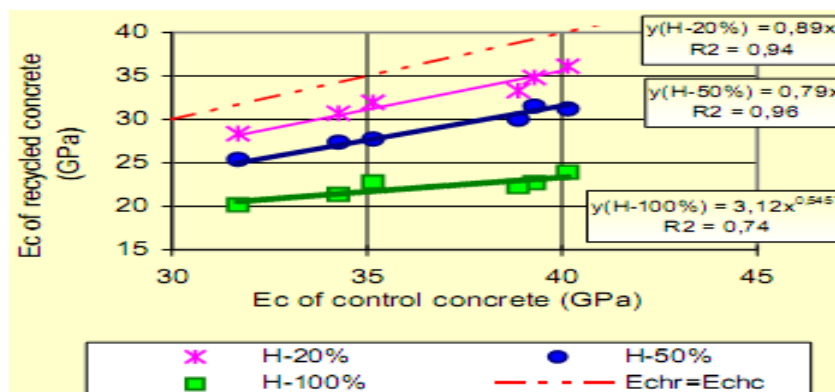


Figure II.6: Evolution du module élastique statique en fonction du taux de Substitution en recyclés et le rapport

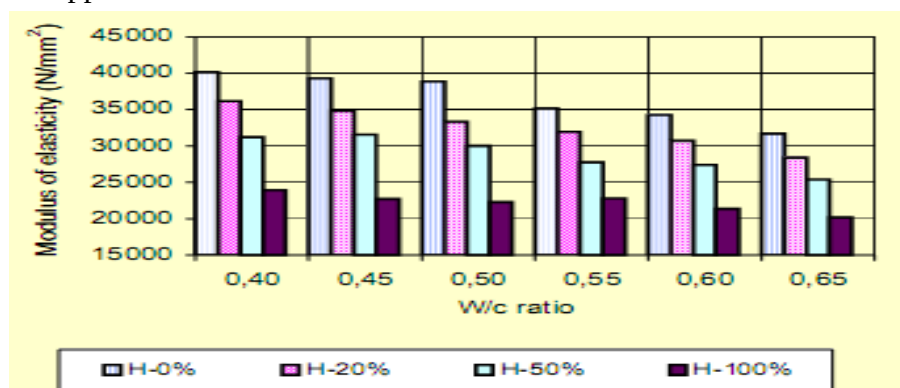


Figure II.7: Relation entre les modules élastiques des bétons recyclés et Conventionnels à différent