

Cours de

MATERIAUX

2BTS – G.BAT & G.TP

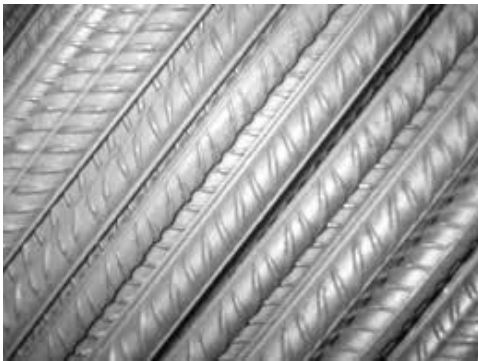
Objectifs du cours

- ∞ Comprendre la fonction des matériaux dans la construction ;
- ∞ Comprendre les propriétés et sollicitations qui orientent le choix des matériaux de construction ;
- ∞ Intégrer la démarche qualité dans l'élaboration et l'utilisation des matériaux de construction
- ∞ **Savoir élaborer des mortiers et bétons pour un emploi donné ;**

Programme

Etude des matériaux composites

- ♥ *Les mortiers hydrauliques*
- ♥ *Les bétons hydrauliques*



ABDOULAYE OUATTARA

PETP-GENIE CIVIL \ Techniques d'Equipements

Contact : khalicksieh@gmail.com / 07 07 50 57 29

CONTROLE DES PREREQUIS

EXERCICE 1

Un échantillon de sable sec a une masse volumique apparente de 1590 kg/m^3 et une densité spécifique de 2,690. Quel est sa porosité et son indice des vides ?

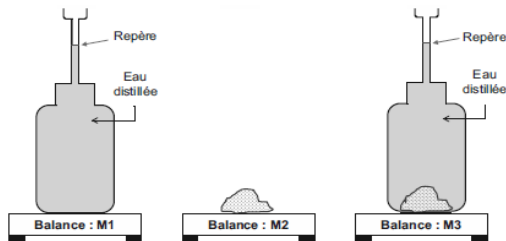
EXERCICE 2

Deux échantillons de sable fin ont été prélevés, l'un sous le niveau de la nappe phréatique (Échantillon 1), l'autre au-dessus (Échantillon 2). Le tableau ci-dessous présente les mesures effectuées.

	Masse totale en kg	Masse sèche en kg	Volume de l'échantillon en cm^3
Echantillon 1	0,250	0,220	130
Echantillon 2	0,223	0,190	105

- Déduisez pour chaque échantillon la masse volumique apparente ρ et la teneur en eau w .

Un essai au pycnomètre a été réalisé afin de déterminer la masse volumique absolue de ce sable.



M_1 : masse du pycnomètre rempli d'eau jusqu'au repère.

M_2 : masse du matériau sec.

M_3 : masse du pycnomètre rempli d'eau jusqu'au repère et le matériau sec

Pesée au pycnomètre

On suppose que cette masse volumique absolue est la même pour l'ensemble de la couche de sable fin.

Les masses mesurées sont : $M_1 = 1200,1 \text{ g}$; $M_2 = 55,1 \text{ g}$ et $M_3 = 1234,9 \text{ g}$.

- Exprimez la masse volumique absolue ρ_s en fonction de M_1 , M_2 , M_3 et ρ_w .
- Déterminez la masse volumique absolue ρ_s en kg/m^3 et en déduire l'indice des vides e et le degré de saturation S_r des échantillons 1 et 2.

EXERCICE 3

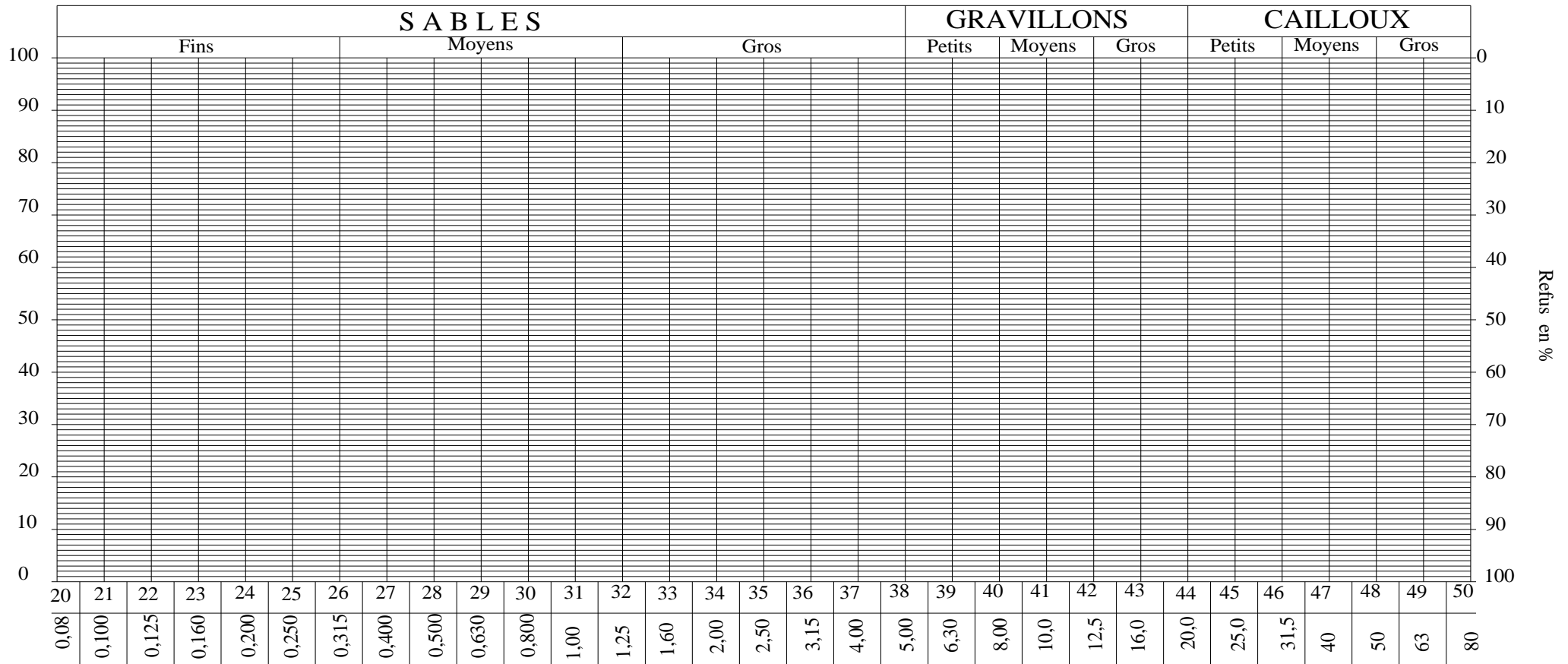
A la recherche d'un sable pour la composition d'un mortier pour agglomérés, un essai d'analyse granulométrique a été effectué sur un échantillon de sable de masse 1950 grammes. Les résultats de cet essai sont présentés dans le tableau ci-dessus :

Module des tamis	5	2,5	1,25	0,630	0,400	0,315	0,160	0,08
Passant partiel en g.	266,00	361,00	436,00	261,00	120,00	271,00	134,00	70,00

Questions

- Tracez la courbe granulométrique du granulat.
- Calculez son module de finesse.
- Déterminez la classe granulaire du matériau et le pourcentage de fines.
- Dire quel est le type de granulat analysé ?
- Quelles seront les caractéristiques du mortier fabriqué avec ce matériau
- Quelle différence existe-t-il entre la classe granulaire et le coefficient granulaire.
- Quels sont les principaux types de granulats utilisés en CI ? précisez leur origine minéralogique.
- Quelles sont les caractéristiques morphologiques des granulats ? définissez-les.

DIAGRAMME SEMI – LOGARITHMIQUE



EAU DE GACHAGE

1. INTRODUCTION

Parmi les éléments qui entrent dans la fabrication des matériaux ou qui interviennent dans leur comportement, l'eau est certainement celui qui est essentiel.

C'est un matériau au même titre que le ciment et les granulats et elle intervient par ses propriétés mécaniques et physico-chimiques à toutes les étapes de la vie du matériau.

Elle confère au béton une plasticité qui permet son écoulement et son moulage. Elle assure l'hydratation du ciment et participe à la cohésion du matériau durci.

2. L'EAU DANS LA NATURE

L'eau est le corps le plus répandu dans la nature mais elle est rarement rencontrée à l'état pur. Elle contient le plus souvent des ions en solution et des particules solides en suspension.

Elle peut être purifiée par élimination des matières organiques, des sels minéraux en quantité trop abondante et d'éventuels toxiques (cyanure, mercure, engrais, effluents urbains).

3. L'EAU DE GACHAGE DES MORTIERS ET BETONS

3.1 L'eau dans les granulats destinés à la confection des bétons

En général, les granulats naturels utilisés pour la confection du béton sont peu poreux et n'absorbent pratiquement pas d'eau lorsqu'ils sont gâchés avec le ciment et l'eau. Par contre, des granulats artificiels, tels le LECA (Light expanded clay aggregate = agrégats légers expansés d'argile), sont poreux. Il faut alors tenir compte de l'absorption de l'eau par les granulats lorsque l'on détermine la quantité d'eau requise pour fabriquer le béton.

3.2 L'eau et les matériaux pierreux (Divers états de l'eau dans un matériau poreux)

On distingue trois grandes catégories d'eau:

- L'eau absorbée: qui se trouve dans le vide entre les particules de matière solide;
- L'eau adsorbée: qui se trouve à la surface des particules solides; Plus les particules sont petites, plus cette eau joue un rôle important. La première couche moléculaire est orientée et présente des propriétés voisines de celles de l'état solide;
- L'eau chimiquement liée: qui fait partie des particules solides. On parle d'eau d'hydratation ou de cristallisation.

3.3 L'eau de gâchage

On appelle eau de gâchage la quantité d'eau ajoutée au mélange sec. On distingue ainsi l'eau de gâchage de l'eau de prise qui est adsorbée par le liant.

L'eau permet :

- L'hydratation du liant ;
- Le mouillage des granulats ;
- Le malaxage.

Elle facilite en outre la mise en œuvre du mortier ou du béton.

Certaines eaux sont agressives vis-à-vis du mortier ou du béton. Ce sont :

- Les eaux pures ($P_H = 7$) ; eaux de pluie, eaux de fonte de neige
- Les eaux acides ; eaux naturelles avec une forte proportion de CO_3H_2 , $P_H = 5$ à 4
- Les eaux alcalines ; elles proviennent de la décomposition des roches, sels de métaux.
- Les eaux séléniteuses : elles contiennent du sulfate de chaux
- Les eaux fortement salifiées (chlorurées, sulfatées, magnésiennes)
- Les eaux de mer.

☞ L'action des eaux agressives varient suivant la nature respective des eaux et des liants :

- Liants basiques: ciments où le pourcentage de portland domine (riches en chaux)
- Liants neutres : ciments riches en laitier
- Liants acide : ciments alumineux.

- ☞ Les eaux pures ont une action de dissolution sur la chaux ; il faut plutôt utiliser dans ce cas les liants neutres ou acides (éviter les ciments riches en chaux).
- ☞ L'action des eaux acides est grave sur la chaux ; les liants riches en chaux sont attaqués.
- ☞ Les eaux alcalines attaquent les ciments alumineux ; on utilisera de préférences les Ciments neutres ou basiques.
- ☞ Les eaux séléniteuses sont très dangereuses pour les liants libérant de la chaux pendant la prise ; le sulfate de chaux agit sur les aluminates non dissous pour donner du sel de CANDLOT. Les liants attaqués sont les Portlands et les liants basiques ; les liants résistants sont les liants neutres.
- ☞ La présence de chlorure accroît la solubilité du gypse (4 à 10 g/l) dans les eaux fortement sulfatées ; en présence de chaux, on obtient un sulfate de chaux + un sulfate de magnésite qui précipite.
- ☞ Les eaux de mers contiennent des chlorures et leurs actions sur les liants sont complexes. Elles sont cependant moins dangereuses que les eaux précédentes. Toutefois, il y a élimination de la chaux d'où un affaiblissement de la résistance ; on utilisera de préférence les liants neutres.

Les caractéristiques de l'eau de gâchage sont définies par la norme française NFP 18-303. L'eau doit être propre ; les quantités de matières en suspension (caractéristiques physiques) et de sels dissous (caractéristiques chimiques) sont limitées (*tableau ci-dessous*).

Toute eau douteuse doit être soumise à l'analyse chimique.

Valeurs limites	Béton type A	Béton type B	Béton type C
Matières en suspension (caractéristiques physiques)	2 g/l	2 g/l	5 g/l
Sels dissous (Caractéristiques chimiques)	15 g/l	15 g/l	30 g/l

- ☞ Béton A : Béton de haute qualité, à forte résistance mécanique (poutres) ;
- ☞ Béton B : Béton à grande imperméabilité (barrage, réservoirs, radiers) ;
- ☞ Béton C : Béton courant peu ou pas armé (fondations ordinaires).

4. EAU DE GACHAGE EN COTE D'IVOIRE

On utilise généralement l'eau du réseau de distribution d'eau potable (SODECI). A l'intérieur du pays suivant l'emplacement du chantier on utilise soit l'eau de la ville, soit l'eau des rivières. Ces eaux sont très peu chargées en sels dissous (1,07 à 0,15 g/l en raison de la pauvreté en éléments soluble (Ca, Mg, Na, K) des terrains drainés. Leur légère acidité (PH de 4,5 à 6) est peu gênante pour le gâchage des bétons.

Dans le béton ou le mortier frais, on fait une distinction entre le volume d'eau de dosage, le Volume d'apport, le volume d'eau efficace et le volume d'eau contenu dans les matériaux (particulièrement apportée par la teneur en eau des matériaux).

- ✓ **Volume d'eau de « Ve »** est la quantité utilisée pour réaliser le gâchage, c'est la quantité totale d'eau contenue dans la gâchée (le mélange)
- ✓ **Volume d'eau contenu dans les matériaux « $V_{e(G)}$ »** est le volume d'eau lié à la teneur en eau des matériaux, c'est la quantité d'eau apportée par les matériaux du fait de leur humidité.
- ✓ **Volume d'apport « $V_{e(aj)}$ ou $V_{e(ap)}$ »** est la quantité à ajouter aux matériaux pour atteindre le volume d'eau de dosage. Tel que : $V_{e(apport)} = V_{e(dosage)} - V_{e(matériau)} = V_e - V_{e(G)}$
- ✓ **Volume d'eau efficace** est la quantité d'eau nécessaire pour réaliser l'hydratation du ciment, le mouillage des grains et le malaxage, c'est le volume d'eau réellement utilisé pour la cohésion du béton ou du mortier.

REMARQUE

Le gâchage à l'eau de mer est en principe interdit : le chlorure de sodium attaque les armatures d'acier.

Leçon 1 : TECHNOLOGIE DES MORTIERS HYDRAULIQUES

1. DEFINITION

On appelle mortier un mélange de liant hydraulique (ciment, chaux hydraulique), et de sable, additionné d'une quantité d'eau suffisante pour constituer une pâte plus ou moins plastique.

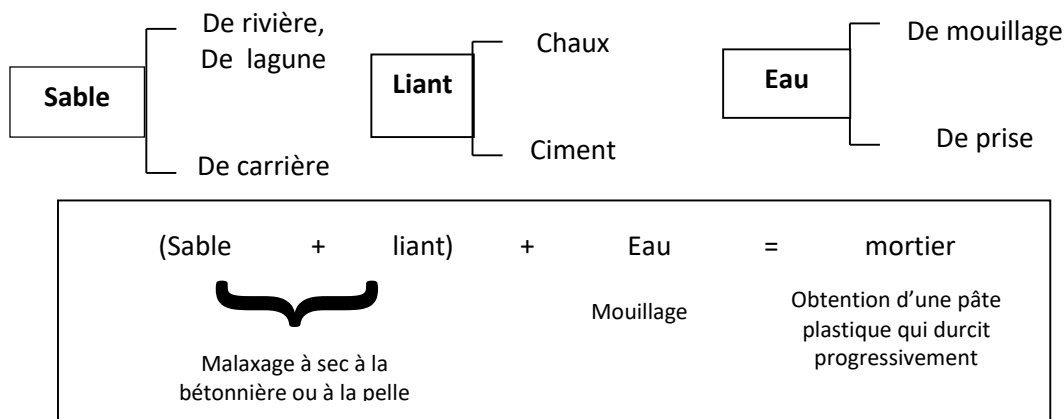
La pâte ainsi obtenue joue plusieurs rôles essentiels dans les constructions :

- Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique ;
- Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol ;
- Constituer des chapes d'usure, pour les dallages en béton ;
- Devenir la matière de base dans la fabrication de bloc manufacturés, carreaux, tuyaux et divers éléments moulés ;
- Consolider certains sols de fondation sous forme d'injection.

Les mortiers servent surtout à la réalisation des maçonneries, des enduits et des chapes

2. CONSTITUANTS DES MORTIERS

Un mortier est constitué par le mélange de :



2.1\ Sable

Suivant la granulométrie du sable utiliser, on désigne les mortiers sous le nom de :

- Mortier fins : fabriqués à partir de sable 0/0,315,
- " Moyen : " " " 0/1,25,
- " Gros : " " " 0/5.

Le sable doit être propre, ne contenir que peu d'argile. La quantité de pâte de ciment nécessaire pour enrober le sable augmente avec la finesse de celui-ci, c'est-à-dire avec sa surface Spécifique.

Un sable bien gradué 0/5 donne la compacité maximum, ce qui entraîne une imperméabilité et une résistance accrues.

Un mauvais choix du sable peut avoir des effets néfastes sur le mortier :

- L'excès de fines provoque une chute de résistance, un accroissement du retrait (faiénçage) ;
- Le manque de fines et un excès de gros éléments réduisent l'ouvrabilité ;
- Un sable uniforme donne un mortier poreux, ...

2.2\ Ciment

Les ciments les plus utilisés en Côte d'Ivoire pour la confection des mortiers sont le CPJ, le CPA. On désigne souvent le mortier en fonction de son dosage en ciment :

La qualité dépend d'abord du dosage :

- ☞ Un mortier est plein, normal, lorsque le liant remplit sans excès les vides du sable.
- ☞ Un mortier est dit maigre, poreux, pauvre si le liant ne remplit pas les vides du sable.
- ☞ Un mortier est dit gras, riche, lorsque le liant se trouve en excès

Les dosages sont choisis en fonction de l'emploi du mortier dans la construction. Un mortier d'étanchéité pour un réservoir sera plus dosé que la « colle » (mortier de pose des agglomérés) destinée à monter un mur de clôture.

2.3\ Eau de gâchage

Un mortier sera trop sec, difficile à mettre en œuvre, et il adhèrera mal aux pierres si la quantité d'eau de gâchage est faible. On fait donc des mortiers un peu mous.

La quantité d'eau de gâchage est en relation avec la surface des grains de mortier ; elle augmente avec la finesse du sable, et la quantité du liant.

Exemple : Quantité d'eau de gâchage en fonction du dosage du ciment et pour 1 m³ de sable sec.

Dosage en ciment	Dosage en eau (l/m ³)		
	250	450	650
Sable Moyen	150 l	200 l	230 l
Sable Fin	240 l	270 l	300 l

NB : Le mortier peut recevoir des produits d'adaptation éventuels. Ces produits confèrent aux mortiers des qualités spécifiques et sont constitués par des:

- Plastifiants et entraîneurs d'air pour faciliter la mise en œuvre
- Hydrofuges pour réduire la pénétration d'eau
- Colorants pour obtenir une teinte désirée après le durcissement

3. ROLES DES MORTIERS

- Assurer la liaison des éléments constitutifs des murs
 - Agglomérés en béton
 - Briques pleines ou creuses
 - Moellons de granit
- Transmettre les charges par les joints verticaux et horizontaux des murs porteurs
- Assurer la protection contre les intempéries par les enduits extérieurs ;
- Protéger des infiltrations d'eau et de l'humidité par - Enduits sur murs de sous-sol - Arase étanche
- Rendre les fosses ou cuvelage étanches en utilisant un adjuvant (hydrofuge) dans le mortier destiné aux enduits
- Nivelier les surfaces de béton par réalisation de chapes sur dallages ; planchers ;

4. LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES MORTIERS

a) L'adhérence

L'adhérence ou résistance à l'arrachement dépend de la rugosité du support et des dosages en liant, granulats et eau ;

Grâce à une bonne répartition des contraintes ; pour obtenir une résistance maximale il faut réduire les vides au minimum tout en limitant l'eau à la quantité indispensable à la mise en œuvre du mortier

b) La compacité

Elle favorise la résistance à la compression et à l'imperméabilité ; elle dépend essentiellement de la proportion des grains fins et gros grains utilisés et du dosage en liant. Ce qui évite l'infiltration des eaux dans les ouvrages et assure en même temps un accroissement des résistances mécaniques ; l'augmentation de la compacité permet d'obtenir une augmentation de l'imperméabilité et une augmentation de la résistance. La recherche de la compacité maximale, c'est-à-dire de la porosité minimale implique une étude granulométrique et la mesure des vides du sable dont on dispose ; on en déduira la quantité de liant nécessaire pour réaliser un mortier plein, sachant que le volume des vides devra être rempli par un volume égal de pâte pure de ciment.

Cela permet d'obtenir un maximum d'étanchéité des joints de maçonneries et des enduits. Aucun mortier n'est rigoureusement imperméable. On cherche à améliorer l'imperméabilité des mortiers :

- ♦ Superficiellement avec un badigeonnage (bitume) ou lissage à la truelle ;
- ♦ Dans la masse avec des matières hydrofuges et une bonne granulométrie (Sulfate de baryum, silice pulvérisée, chaux pouzzolanes, huiles, bitume).

c) L'ouvrabilité

C'est la facilité d'emploi des mortiers par application manuelle ou mécanique

d) La résistance aux agents agressifs

La résistance aux intempéries (pluie, chaleur) et la durabilité du produit durci.

e) Conservation d'un volume constant

Pendant la prise et le durcissement pour éviter les fissures ;

f) Retrait

Pendant leur prise, puis leur durcissement, les mortiers de ciment subissent un certain raccourcissement de leurs dimensions c'est ce qu'on appelle le retrait.

L'importance du retrait est en rapport avec :

- ☞ **Le dosage** : Un dosage excessif (mortier trop gras) accentue le retrait et de là, la fissuration.
- ☞ **La quantité d'eau de gâchage** : Celle-ci joue un très grand rôle dans la qualité d'un mortier.
- ☞ **La qualité du liant** : Un super ciment fait un retrait plus important qu'un liant dont la résistance mécanique est de 160 à 250 bars. C'est un tort de délaissier certains liants au profit de ceux dont la haute résistance mécanique n'est pas en rapport avec les contraintes que subiront les ouvrages. Les ciments conseillés c'est-à-dire les plus adaptés à la composition des mortiers de qualité pour des ouvrages courants seront les CPA et les CPJ de résistance nominale à la compression à 28 jours égale à 32,5 MPa.

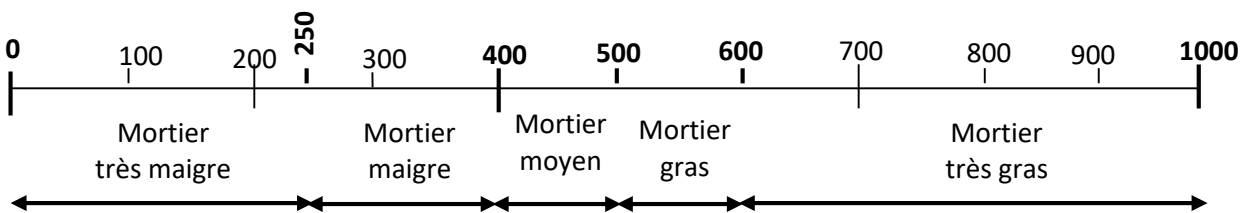
La qualité dépend d'abord du dosage (mortier est plein, mortier maigre, mortier gras)

5. RENDEMENT D'UN MORTIER

C'est le rapport du volume du mortier réalisé au volume de sable sec qui a servi à le confectionner. Apriori, on peut penser que R est toujours supérieur ou égal à 1, c'est-à-dire que le liant et l'eau remplissent les vides laissés par le sable. Cela n'est pas toujours vérifié, en particulier pour les mortiers maigres : l'adjonction de ciment au sable joue le rôle de lubrifiant et facilite le tassement de ce sable, ce qui explique pourquoi le volume final de mortier est inférieur au volume de sable dont on est parti.

Exemple : avec 1m³ de sable et 600kg de liant on obtient plus de 1m³ de mortier.

- ☞ Mortier est dit gras : 1m³ de sable + liant \geq 1m³ de mortier
- ☞ Mortier moyen ou mortier plein : 1m³ de sable + liant = 1m³ de mortier
- ☞ Mortier maigre : 1m³ de sable + liant \leq 1m³ de mortier



Type de mortier	Dosage en ciment CPA 350(kg/m ³)	Eau.(l/m ³)	R	Affaissement au cône d'Abrams(cm)
Mortier maigre de ciment pour chape	350	225	0,968	0,5
Mortier riche pour couche d'usure	600	290	1,150	4

6. CLASSIFICATION DES MORTIERS

Les types de mortiers utilisés en Côte d'Ivoire peuvent être classés

a) Suivant le lieu de fabrication

- **Les mortiers de chantier** : Ils sont réalisés par l'entreprise directement sur le site
- **Les mortiers frais retardés** : Ce sont des mortiers prêts à l'emploi, livrés sur chantier par centrales à mortier et béton

b) Suivant le liant utilisé

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier:

- **Les mortiers de ciment**

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables.

- **Les mortiers de chaux**

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment mais ils sont gras et onctueux. La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.

- **Les mortiers bâtards**

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée :

- ☞ Plus de chaux : plus grande plasticité
- ☞ Plus de ciment : plus grande résistance

c) Suivant le dosage

mortier	Dosage	Utilisations
Mortier maigre	250 à 400 kg/m ³	Mortier pour maçonnerie en élévation (pose de briques, agglos...)
	300 à 350 kg/m ³	- chape pour revêtement
Mortier moyen	400 à 500 kg/m ³	- enduit extérieur et intérieur - maçonnerie fortement chargée
Mortier gras ou riche	500 à 600 kg/m ³	- enduits extérieurs
Mortier très riche	Plus de 600 kg/m ³ (CPA ; CPJ ; CLK ; CHF)	- chapes d'usure - enduits étanches - coulis de ciment - rejointoiement

7. EMPLOIS DES MORTIER DANS LA CONSTRUCTION

Il existe de nombreuses utilisations parmi lesquelles :

Les joints de maçonnerie : le mortier sert à jointoyer des parpaings, des briques, des pierres, etc. dosage en ciment : maigre ou normal ; granularité : moyenne ou grosse ;

La fabrication ou préfabrication de petits éléments : petit tuyaux, produit de voirie, cas de dressages;

Le ragréage de bétons (Nis de graviers) ; absence d'éléments fins.

La confection de chapes d'étanchéité : pour balcon, pont terrasses, revêtement de conduites d'égouts, de galeries ; dosage en ciment riche et produit hydrofuge ;

La fabrication de chapes d'usure : pour sols industriels, trottoirs, quais de chargement, Certaines aires de circulation : dosage en ciment riche ;

La confection des enduits : c'est l'une des plus importantes utilisations du mortier, les murs intérieurs ou extérieurs d'un bâtiment peuvent être recouverts d'un mortier de ciment masquant les défauts du gros œuvre, protégeant l'habitation de l'humidité et donnant l'aspect esthétique recherché.

8. MORTIER TYPES UTILISES EN COTE D'IVOIRE

Les dosages en ciment sont donnés pour 1 mètre cube de sable sec, soit environ 20 brouettes de sable sec (volume apparent).

Tenir le plus compte de la teneur en eau de sable utilisé. Un sable peut paraître seulement humide et contenir plus de 50 litres d'eau par m³

Les brouettes utilisées contiennent 50 litres à condition que celle-ci soient arasées. Certaines brouettes du commerce contiennent plus de 50 litres ; s'en assurer avant tout dosage.

Le dosage en eau moyen sera de 200 litres par mètre cube. Il variera en fonction de la finesse du sable et du dosage en ciment.

Dosage en ciment (kg/m³)	Domaine d'utilisation
250	<ul style="list-style-type: none">- Hourder la maçonnerie de moellons, d'aggloméré de ciment plein ou creux, de briques pleines ou creuses.- Exécuter les enduits intérieurs sur B.A ; moellons, brique ou agglomérés de ciment.- Exécuter le jointoiment et le montage de la maçonnerie
300-350	<ul style="list-style-type: none">- Enduit extérieur ordinaire- Deuxième couche d'un enduit tyrolien- Troisième couche d'un enduit dit à la "moustiquette"- Enduit lavé grain de riz- Enduit de parement en cailloux- Pose de carrelages en carreaux de ciment comprimé
400	<ul style="list-style-type: none">- Rejointoiment en creux sur moellons ou sur briques pleines,- Chape au mortier de ciment,- Calfeutrement de bâtis dormants, etc.- Joints pour canalisation en ciment, ou ciment armé ;- Enduit des parois et fond de regard de visite.
500	<ul style="list-style-type: none">- Enduit étanche, Chape étanche, revêtement vertical en carreau de Cérame,- Revêtement vertical en carreaux de faïence
600	<ul style="list-style-type: none">- Scellement dans briques, agglomérés de ciment ou Béton

Leçon 2 : COMPOSITION DES MORTIERS

1. DEFINITION

L'étude de la composition des mortiers consiste à définir un mélange optimal des matériaux (sable, ciment et eau) à utiliser pour fabriquer un mortier dont les qualités soient celles recherchées pour un ouvrage ou une partie d'ouvrage à réaliser.

2. DOSAGE DU MORTIER

Le dosage d'un mortier est la proportion des différents matériaux ou constituants à mettre en œuvre pour réaliser un volume d'un mètre cube de mortier. **Dans la pratique, c'est la quantité de liant mélangée avec 1 m³ de sable sec.**

2.1 – Volume du mortier

Le volume du mortier est la somme des volumes absolus des différents matériaux le constituant. Selon que le liant remplisse totalement ou partiellement les vides du volume apparent du sable, on distingue :

✓ Le mortier normal

Le volume $-V_m-$ d'un mortier normal exprimé en litre est tel que : $V_m = V'_s + V'_c + V_e$ avec :

V'_s : le volume absolu du sable

V'_c : le volume absolu du ciment

V_e : le volume de l'eau

✓ Le mortier ordinaire

Le volume $-V_m-$ d'un mortier ordinaire exprimé en litre est tel que : $V_m = V'_s + V'_c + V_e + V_v$ avec :

V'_s : le volume absolu du sable

V'_c : le volume absolu du ciment

V_e : le volume de l'eau

V_v : le volume de vide non occupé par le liant ou volume d'air

2.2 – Rendement du mortier

Le rendement $-R-$ d'un mortier est le rapport du volume de mortier $-V_m-$ réalisé au volume apparent de

sable sec $-V_s-$ qui a servi à le confectionner :
$$R = \frac{V_m}{V_s} = \frac{1}{V_s} [V'_s + V'_c + V_e]$$

2.3 – Dosage en sable

Pour réaliser 1m³ de mortier, il faut approximativement 1m³ de sable sec tel que :

✓ Le volume apparent du sable exprimé en litre est : $V_s = \frac{V_m}{R}$ aussi $V_s = \frac{M_s}{\rho_s}$

✓ Le volume absolu du sable exprimé en litre est : $V'_s = \frac{M_s}{\rho_{abs.s}} = \frac{\rho_s}{\rho_{abs.s}} \cdot V_s$

(Exprimez le volume absolu en fonction des densités et du volume apparent)

2.4 – Dosage en ciment

Le dosage $-C-$ en liant d'un mortier est la quantité de liant mélangé à 1m³ de sable sec tel que :

$C = \frac{M_c}{V_s}$, il est exprimé en Kg de liant par mètre cube de sable sec.

✓ Le volume apparent de ciment exprimé en litre est : $V_c = \frac{M_c}{\rho_c}$

✓ Le volume absolu de ciment exprimé en litre est : $V'_c = \frac{M_c}{\rho_{abs.c}}$

(Exprimez le volume absolu du ciment en fonction du volume apparent de sable, du dosage et de la densité absolue du ciment)

2.5 – Dosage en eau

Le dosage – E – en eau d'un mortier est le nombre de litres d'eau contenus dans un mètre cube de mortier. Il est fonction de la granulométrie du sable et du type de mortier à fabriquer. Il faudra dans la pratique tenir également compte de la teneur en eau du sable au moment de sa mise en œuvre.

On a : $E = \frac{V_e}{V_m} \Rightarrow V_e = E.V_m$; V_e est en litre et E est exprimé en l/m³.

Application

Pour un mortier normal, exprimez V_e ; puis exprimez, le rendement **R** en fonction de $\rho_{abs.s}$, ρ_s , $\rho_{abs.c}$, C et E.

3. RESISTANCE DU MORTIER EN COMPRESSION ET EN TRACTION

La compacité est un paramètre fondamental pour la résistance d'un mortier sec. La compacité est le volume des pleins à l'état sec.

On sait qu'un mortier quelconque de volume un mètre cube, on a :

$$1m^3 = V'_s + V'_c + V_e + V_v. \quad \text{La compacité est donc : } \gamma = V'_s + V'_c$$

La résistance en compression du mortier varie dans le même sens que la compacité de la pate. Plusieurs auteurs ont établi des formules permettant de calculer la résistance et qui sont en excellent accord avec les résultats expérimentaux.

3.1 – La formule de FERET

$$R_c = G_c \cdot \sigma_j \left(\frac{V'_c}{V'_c + V_e + V_v} \right)^2 \quad \text{Avec :}$$

G_c : Coefficient dépendant du sable utilisé

σ_j : Résistance à la compression du ciment utilisé au jour considéré, tel que : $\sigma_j = \sigma_{c28} \frac{j}{R_d(j-28)+28}$

ou : σ_{c28} : la classe vraie du ciment

R_d : la fraction de la résistance atteinte à 28 jours tel que : $R_d = \frac{\sigma_{c28}}{\sigma_{28}} \leq 1$; R_d est d'autant plus élevé

que le durcissement est rapide.

Pour simplifier, la formule de FERET peut s'écrire : $R_e = K \left(\frac{V'_c}{1-V'_s} \right)^2 = K \left(\frac{V'_c}{V'_c + V_e + V_v} \right)^2$ avec

K : l'énergie spécifique du liant soit à 7 jours, soit à 28 jours, soit à 90 jours. Pour les ciments actuels, K = 3000 Kg/m² à 90 jours.

3.2 – La formule de BOLOMEY

$$R = k \left(\frac{C}{E + V_v} \right) \quad \text{Tel que : } k = \frac{1}{10} K \quad (k \text{ est de l'ordre de } 350 \text{ à } 400 \text{ Kg/m}^2 \text{ à } 90 \text{ jours}).$$

C : dosage en ciment ; E : dosage en eau

3.3 – La Formule d'ABRAMS

$$R = \left(\frac{A \times V'_c}{B \times V_e} \right) \quad \text{Avec } A = 985 \text{ et } B = 7 \text{ pour un ciment de densité apparente égale à } 1,50.$$

TRAVAUX DIRIGES

Exercice 1

Pour hourder des agglomérés pleins de 40 cm x 20 cm x 20 cm et de compacité $\gamma = 0,80$, on veut utiliser un mortier de rendement $R = 1,05$. Le sable à notre disposition est de $2,500 \text{ m}^3$ avec une teneur en eau de 5%.

- 1) Calculez le volume et la masse de sable sec correspondant.
- 2) Calculez le volume de mortier qu'on peut confectionner et le nombre d'agglomérés pouvant être hourdé.
- 3) Calculez la masse de ciment et le dosage en ciment si le dosage en eau est de 200 litres/m³.
- 4) Calculez le volume d'eau d'apport ainsi que le dosage en eau pour un dosage en ciment de 350 Kg/m³.
- 5) Calculez les volumes absolus des différents constituants pour un mètre cube de mortier sachant que le dosage en ciment est de 350 Kg/m³.
- 6) Déterminez avec la formule de FERET, la résistance théorique du mortier si on donne $K = 3000$ bars.

On rappelle :

Matériaux	D _{app}	D _{abs}	$\rho_h(\text{Kg/m}^3)$
Sable	1,400	2,500	1600
Ciment	1,000	3,000	

Exercice 2

En vue de la composition d'un mortier pour réaliser un enduit de parement, un essai d'analyse granulométrique a été effectué sur une masse de 1950 grammes sable et a donné les résultats présentés dans le tableau ci-dessus :

Module des tamis	38	35	32	29	27	26	23	20
Refus partiel en g	26	255	350	425	250	109	260	123

On vous demande d'analyser les caractéristiques de ce matériau en déterminant :

1. Tracez la courbe granulométrique de ce matériau.
2. Son pourcentage de fine
3. Son module de finesse et Sa nature selon son module de finesse
4. Déterminez sa classe granulaire
5. Quelles seront les caractéristiques du mortier fabriqué avec ce matériau.

La surface à enduire nécessite une quantité de mortier de 36 m^3 dosé à 350 Kg/m^3 de ciment CPJ 32,5 MPa, de rendement $R = 0,95$ et dans lequel l'air occupe 6% du volume.

6. Déterminez le dosage en eau E du mortier ;
7. Calculez la compacité du mortier ; en déduire la résistance du mortier sachant que $k = 2700 \text{ kg/m}^2$.

Lors de l'exécution du projet, votre responsable technique vous suggère d'imposer au chef maçon des gâchées avec 4 paquets de ciment.

8. Donnez au chef maçon le nombre de brouettes de 50 litres de sable et le nombre de seau d'eau de 15 litres à mettre en œuvre pour la réalisation d'une gâchée.

A l'aube du jour d'exécution des travaux, une forte pluie tombe sur le sable livré la veille au point qu'il soit saturé. Des essais ont permis d'estimer la teneur en eau à 6%.

9. Calculez en litre, le volume précis d'eau que les maçons devront utiliser pour la gâchée.

Le sable et le ciment à utiliser présentent les caractéristiques physiques suivantes :

Matériaux	D _{app}	D _{abs}
Sable	1,400	2,650
Ciment	1,000	3,100

Exercice 3 :

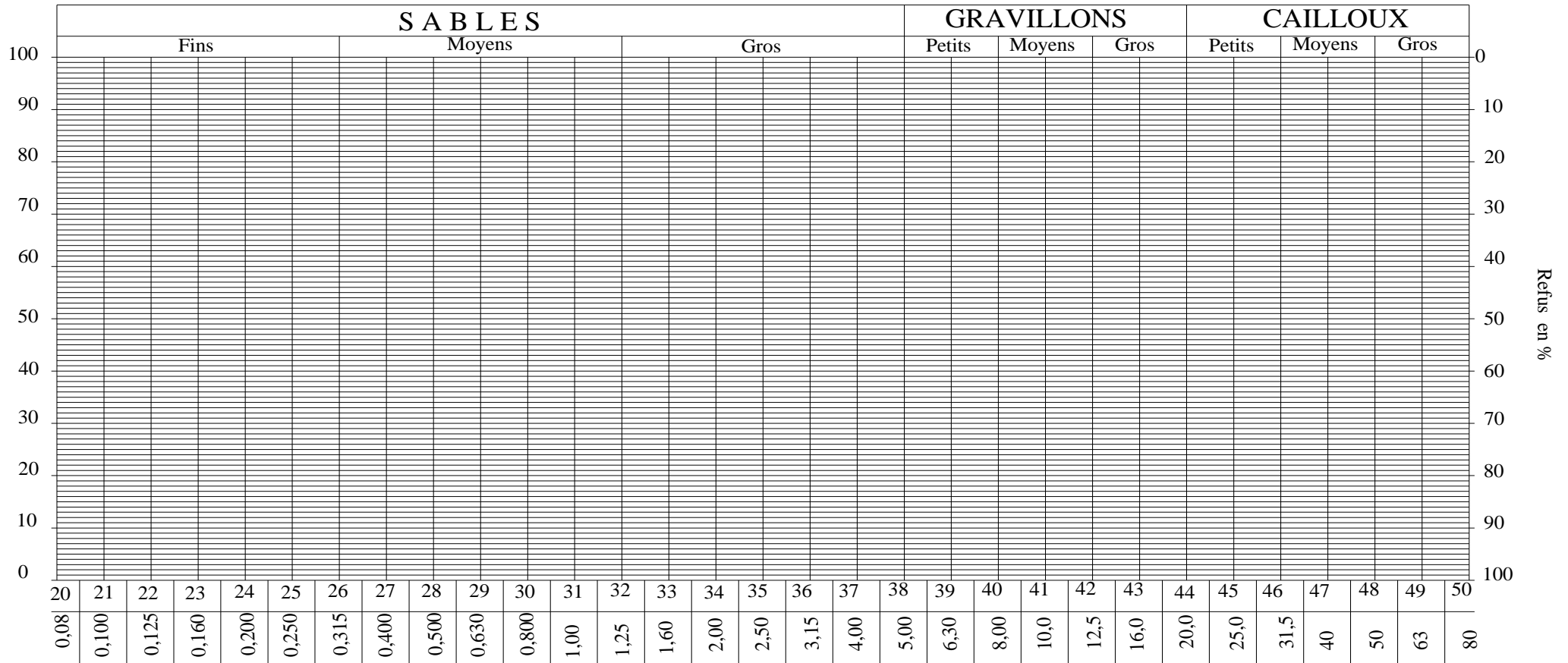
On dispose d'une quantité de sable de 12 Tonnes et de teneur en eau égale à 5%. Ce sable est utilisée pour confectionner un mortier ayant un rendement de 0,90 avec un rapport de la quantité d'eau et du ciment $E/C = 0,6$. Ce mortier est utilisé pour la fabrication de parpaings pleins d'épaisseur 15 cm. La compacité des parpaings est la même et égale à 0,85.

1. Quel est le dosage du mortier ?
2. Déterminer le nombre de parpaings pleins dont on pourrait en faire ?
3. Calculer la masse volumique humide et la densité apparente du mortier.

Données :

	Densité apparente	Masse spécifique (T/m ³)	Classe vraie (Bars)
Ciment CPA 350	1	3,00	375
Sable	1,40	2,50	-----
Gravier granite	1,40	2,65	-----

Fiche jointe



Chapitre 2 : BETONS HYDRAULIQUES

Leçon 1 : TECHNOLOGIE DES BETONS

1. GENERALITES

1.1-Définition

Un béton est un mortier à gros élément, formant une masse plus ou moins homogène, un monolithique dont la mise en œuvre a été rendue possible par la découverte de la fabrication du ciment.

1.2- Caractéristiques

1.2.3Avantages

Si on le compare à la maçonnerie traditionnelle et à la charpente métallique on peut dire que le Béton :

- Est modulable à la demande ; sa souplesse permet toutes les formes possibles et imaginables grâce à son ouvrabilité (**Exemples** : la basilique, les minarets des mosquées, les divers châteaux, etc.)
- Ses constituants sont faciles à trouver et généralement bon marché comparativement aux autres matériaux jouant le même rôle dans les constructions ;
- S'exécute rapidement sans avoir besoin de faire appel à des ouvriers hautement qualifiés ;
- Est pour le moment les matériaux qui, présente le rapport qualité/coût le plus intéressant ;
- Est durable, incombustible et peut être rendu étanche et anti-radioactif.
- Résiste bien à la compression.

1.2.2 Inconvénients

- Il est d'aspect désagréable en général, mais on peut remédier à cela en choisissant convenablement les dosages des constituants ou en traitant les parements ou encore en utilisant des ciments spéciaux ;
- C'est un matériau fabriqué par l'homme donc sujet à erreurs et à des malfaçons ;
- Sa résistance aux efforts de traction, traction par flexion est très faible ; ...
- Il est lourd donc surcharge le sol.

1.3 -Intérêt du béton dans les constructions

Contrairement à une opinion largement répandue, fabriquer un béton n'est pas une opération banale ; c'est un art.

Un béton se distingue d'un autre par ses performances : mécaniques, thermiques, de résistance au feu ; sa masse volumique, sa masse spécifique, sa destination (fondation, ouvrages armés ou précontraints, travaux à la mer), son aptitude à être manipulé, transporté et mis en place où les qualités rhéologiques interviennent pour beaucoup (mécanique, démoulage immédiat, pompage, projection...), son aspects (couleur, qualité de surface...)

Faire un béton, ce n'est pas mélanger dans des proportions plus ou moins constantes du ciment, des granulats et de l'eau. C'est plutôt produire un matériau d'une parfaite homogénéité, d'une constance répondant de façon précise aux exigences du demandeur, tout en étant le plus économique possible.

A chaque type d'ouvrage correspond un béton particulier :

- Béton de cailloux pour fondation ;
- Béton de gravillon, banché ou non pour travaux en élévation et en masse tels que murs porteurs, barrage à faible perméabilité (réservoir) ;
- Béton armé et béton précontraint à résistances mécaniques élevées

2. QUALITE DES BETONS

Pour le client un bon béton est celui qui présente le maximum de compacité et qui :

- Résiste aux efforts dus aux surcharges d'utilisation sans se fissurer,
- Est le plus étanche possible à l'eau,
- Présente le moins de retrait possible.

Pour l'entrepreneur, un bon béton c'est celui qui est facile à mettre en œuvre, c'est-à-dire ouvrable, maniable. Ceci semble aller à l'encontre des exigences du client.

Pour parvenir à la qualité, on va agir sur les facteurs dont dépendent justement ces qualités.

2.1- Cohésion

C'est l'aptitude du mélange à conserver son homogénéité ; c'est une qualité importante. Il faut éviter la ségrégation causée par :

- Excès ou manque d'eau,
- Granularité défectueuse (pauvre en ciment et en sable fin.)
- Dimensions et proportions trop forte des gros éléments du gravier,
- Défaut de malaxage,
- Ségrégation dans les transports, manipulations intempestives (chute du béton des hauteurs importantes ou à travers des ferrillages denses).

2.2 - Ouvrabilité

Elle peut se définir comme la facilité offerte à la mise en place du béton de façon parfaite dans un coffrage. De l'ouvrabilité dépend la plus part des qualités de l'ouvrage : compacité, adhérence des armatures, parements de belle qualité, étanchéité. C'est donc une qualité aussi importante que la résistance.

L'ouvrabilité ou maniabilité peut s'apprécier de diverses manières et l'essai le plus simple est l'affaissement au cône d'Abrams (slump test).

Il consiste à remplir de béton un moule en tôle tronconique ($D = 20 \text{ cm}$, $d = 10 \text{ cm}$, $h = 30 \text{ cm}$) ; le remplissage se fait en quatre (4) couches avec une tige d'acier de $\varnothing 16 \text{ mm}$ de diamètre à raison de 25 coups par couche. On soulève ensuite le moule avec précaution et on mesure l'affaissement du béton.

On apprécie la consistance du béton en fonction de l'affaissement



Affaissement en cm	Consistance de béton	Mise en œuvre
0 - 2	Très ferme	Vibration puissante
3 - 5	ferme	Bonne vibration
6 - 9	Plastique	Vibration courante
10 - 13	molle	piquage
14 - 17	Très molle	Léger piquage

L'ouvrabilité peut être aussi mesurée :

- Au maniabilimètre LCPC ;
- A la table de secousse (Flow test)

On peut améliorer l'ouvrabilité en augmentant le dosage en eau, en utilisant un adjuvant fluidifiant ou un sable de granulométrie appropriée. Mais si le dosage en eau est trop important il y a risque de ségrégation du béton.

2.3 - Résistance

2.31 Résistance en compression

Elle est mesurée à 28 jours d'âge par compression axiale d'éprouvette de bétons cylindriques normalisés de 200 cm^2 de section avec : $h = 32 \text{ cm}$, $\varnothing = 16 \text{ cm}$ ($h = 2 \varnothing$).

Ces éprouvettes sont conservées dans l'eau après le démoulage qui a lieu 24 h après la fabrication jusqu'au jour de l'écrasement. Si P est la charge qui produit la rupture du cylindre :

$$f_{cm28} = P/S \text{ en MPa}$$

f_{cm28} = résistance moyenne à la rupture en compression (par essai il faut au moins 3 éprouvettes).

S = section du cylindre, 200 cm^2

Remarque

Il ne faut pas confondre la résistance f_{cm28} et la résistance caractéristique f_{c28} ou σ_{28} qui est une fraction de la résistance moyenne et qui dépend :

- Du type de chantier ;
- Des moyens du chantier ;
- Du type de contrôle.

2.3.2 Résistance en traction

2.3.2.1 Traction par fendage

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse : cet essai est souvent appelé Essai brésilien.

Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement de cylindre. La résistance en traction par fendage à 28 jours sera :

$$f_{tm28} = \frac{2P}{\pi DL} \quad \text{avec} \quad D = \text{diamètre du cylindre} ; L = \text{longueur du cylindre}$$

2.3.2.2 Traction par flexion

L'essai consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté a et de longueur $4a$ si P est la charge de rupture, La contrainte de traction sur la fibre inférieure est : $f_{tm28} = \frac{3,6M}{a^3}$
Avec M le moment de flexion entre les deux points d'application de la charge $M = Pa/2$

3. FACTEURS DE QUALITE

3.1 - les granulats

- Un béton est un mélange intime de granulats (sable, graviers et éventuellement cailloux) liés entre eux par une pâte de ciment (ciment + eau). Le béton tire du granulat une bonne part de sa résistance et plus particulièrement du gros granulat. Il est donc nécessaire d'employer des granulats non seulement de bonne qualité, mais de dimension maximale, celle-ci devant rester compatible avec une bonne facilité de mise en œuvre
- Il faut exclure tout granulat altéré ou altérable (calcaire tendre).
- Les grains concassés avec plaquettes et aiguilles sont en générale, moins lisses que les gravillons roulés, la compacité est bonne, le béton moins ouvrable. Cependant (à condition d'éliminer plaquettes et aiguilles), les granulats concassés conviennent mieux au béton de qualité parce qu'ils offrent davantage de surfaces de contact que les gravillons roulés.
- La présence d'argiles provoque des retrait importants, supprime l'adhérence en matière de béton armé, diminue la résistance du béton à la flexion. Les autres impuretés tels que mica, matières organiques, coquillages affaiblissent la résistance du béton.
- Les poussières ou fines de concassage affaiblissent les résistances, accroissent la perméabilité le retrait et le danger de fissuration.

3.2 - Dosage en ciment, en eau et qualité des granulats

La résistance en compression du béton peut s'exprimer au moyen de la formule de Bolomey :

Avec :

$$\sigma'_{28} = G' \sigma'_c (C/E - 0.5)$$

- ✓ σ'_{28} ou f_{c28} = résistance caractéristique en compression du béton à 28 jours
- ✓ G' ou G = coefficient granulaire qui dépend de la qualité du granulat. En Côte d'Ivoire : $G_{\text{granite}} = 0,52$ et $G_{\text{quartz}} = 0,48$
- ✓ σ'_c = Classe vraie du ciment
- ✓ C = Dosage en ciment en kg/m^3
- ✓ E = dosage en eau en kg/m^3 . (Ou en $1/\text{m}^3$) avec $1.6 \leq \frac{C}{E} \leq 2.4$

Cette formule montre que la résistance du béton croit en même temps que la qualité du granulat, la classe vraie du ciment et le dosage du ciment ; et décroît lorsque le dosage en eau augmente.

3.3 Influence de la température et de l'humidité sur la résistance

La chaleur accélère la prise et le durcissement du béton. Un béton conservé dans un milieu humide à température élevée présentera au jeune âge une résistance plus élevée qu'un béton identique conservé à température moins élevée, mais à long terme la tendance sera inversée.

Un béton conservé dans un milieu humide présentera une résistance plus élevée qu'un béton identique conservé dans milieu sec, la tendance au jeune âge étant inverse.

4. EVOLUTION DE LA RESISTANCE CARACTERISTIQUE EN COMPRESSION DES BETONS IVOIRIENS

A partir d'une étude faite lors de la construction de **Moossou**, on avait proposé, pour estimer la résistance du béton en compression en fonction du temps les formules suivantes :

$$f_{cj} = 0,83f_{c28}\sqrt{\log(j+0,2)} \quad \text{si } j \leq 50 \text{ jours}$$

$$f_{cj} = f_{c50} = 1,08 f_{c28} \quad \text{si } j \geq 50 \text{ jours.}$$

$$\text{En Côte d'Ivoire, on a } a \frac{f_{c7}}{f_{c28}} = 0,77$$

$$\text{En France on a, } \frac{f_{c7}}{f_{c28}} = 0,62$$

Ces deux formules montrent que le béton durcit plus rapidement en Côte d'Ivoire qu'en France.

5. RETRAIT HYDRAULIQUE

Selon le Comité Euro-international du Béton (C.E.B) le retrait est le raccourcissement du béton non chargé au cours de son durcissement. Ce phénomène est dû à la perte par évaporation d'une partie de l'eau contenue dans le béton. Les facteurs suivants influencent le processus de retrait hydraulique :

- Le temps,
- Le dosage en eau,
- L'hygromètre relatif de l'air ambiant,
- L'épaisseur de la pièce en béton,
- La densité de ferrailage,
- La finesse du ciment,
- La nature et la granulométrie des granulats,

En plus du retrait hydraulique il existe d'autres types de retrait :

- Le retrait d'hydratation ou de dessiccation interne (retrait le Chatélier) : le volume absolu des hydrates formés par la combinaison de l'eau et du ciment est plus petit que la somme des volumes de ces deux composants avant la réaction.
- Le retrait thermique avant prise ou retrait plastique qui est le résultat de l'évaporation plus ou moins facile de l'eau de gâchage qui n'est pas encore liée aux autres constituants. On peut l'éviter en protégeant la surface du béton.
- Le retrait thermique qui est causé par le dégagement de chaleur consécutif à la réaction d'hydratation des ciments (qui est exothermique) et par les conditions climatiques (rayonnement solaire, variation de température journalière) ; est la cause d'un bon nombre de fissures dans les constructions.

6. DILATATION : Le coefficient de dilatation du béton est pris égal à $d = 10 \mu/m/^\circ C$

7. FLUAGE

C'est un phénomène de déformation différée sous charge fixe indéfiniment appliquée. Le fluage ϵ_{fl} (t) à un temps donné de chargement (t) est calculé conformément aux recommandations du BAEL.

8. DOSAGE DES BETONS

Les dosages sont rapportés au m^3 de béton mis en place. Le dosage moyen est de $350 \text{ Kg}/m^3$.

A titre indicatifs, nous donnons quelques dosages courants en fonction de la destination de l'ouvrage :

- ✓ 150 à 250 : travaux de fondations peu chargées, travaux de masse, béton banché (coulé de murs en coffrages amovibles), agglomérés courants.
- ✓ 300 à 350 : béton préfabriqué et béton armé courants, bétons routiers.
- ✓ 350 à 450 : béton préfabriqué et béton armé résistants, préfabrication lourde, précontrainte.
- ✓ 450 à 600 : béton de revêtement, chapes, cuvelages, galeries souterraines, avec venues d'eau, pièces moulées de grande résistance (conservées dans l'eau les premiers jours).

Leçon 2 : LA COMPOSITION DU BETON

I / Objectif

Etablir une composition de béton consiste à chercher les proportions optimales des divers constituants de façon à obtenir les meilleures caractéristiques pour ce béton.

Il existe de nombreuses méthodes de composition (Bolomey, Abrams, Faury, Vallette, Joisel, Dreux, Gorisse).

Déterminer en fonction des critères de maniabilité et de résistance définis par le cahier des charges, la nature et les quantités de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G en kg/m³) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton.

II / Définition du cahier des charges

Il s'agit de définir, en fonction du type d'ouvrage à réaliser, les paramètres nécessaires à la mise en œuvre du béton et à la stabilité à court et long terme de l'ouvrage.

Les paramètres principaux devant être définis sont : la maniabilité et la résistance du béton, la nature du ciment et le type de granulats.

➤ Critère de maniabilité :

La maniabilité est caractérisée, entre autre, par la valeur de l'affaissement au cône d'Abrams (Aff.). Elle est choisie en fonction du type d'ouvrage à réaliser, du mode de réalisation et des moyens de vibration disponibles sur chantier (Tab.1).

Tableau 1 : Affaissement au cône conseillé en fonction du type d'ouvrage à réaliser.

Affaissement en cm	Plasticité	Désignation	Vibration conseillée	Usages fréquents
0 à 4	Ferme	F	Puissante	Bétons extrudés ; Bétons de VRD
5 à 9	Plastique	P	Normale	Génie civil ; Ouvrages d'art Bétons de masse
10 à 15	Très plastique	TP	Faible	Ouvrages courants
≥ 16	Fluide	Fl	Léger piquage	Fondations profondes Dalles et voiles minces

➤ Critère de résistance :

Le béton doit être formulé pour qu'à 28 jours sa résistance moyenne en compression atteigne la valeur caractéristique σ_{28} ou f_{c28} .

Il ne faut pas confondre la résistance moyenne en compression f_{cm28} , mesurée sur éprouvette de béton de chantier et la résistance caractéristique f_{c28} , mesurée sur des éprouvettes de béton confectionnées au laboratoire. La résistance moyenne en compression f_{cm28} dépend :

- Du type de chantier ;
- Des moyens du chantier ;
- Du type de contrôle.

Cette valeur doit, par mesure de sécurité, être supérieure de 15 % à la résistance minimale en compression f_{c28} nécessaire à la stabilité de l'ouvrage.

$$f_{cm28} = 1,15 \times f_{c28}$$

En Côte d'Ivoire on estime que : f_{c28} ou $(\sigma_{28}) = k \times f_{cm28}$

- $k=0.75$: pour les chantiers d'ouvrage d'art et de bâtiment de grandes hauteurs (chantier de catégories 1 Auto -contrôle et surveillé).
- $k=0.67$: pour les chantiers de bâtiment ou petits ouvrages - contrôle courant. chantier de catégorie 2
- $k=0.59$: pour les chantiers éloignés des centres de contrôle et disposant d'une main d'œuvre peu qualifiées (chantier de catégorie 3).

➤ **Choix du ciment :**

Le choix du type de ciment est fonction de la valeur de sa classe vraie σ'_c et des critères de mise en œuvre (vitesse de prise et de durcissement, chaleur d'hydratation, etc...). La classe vraie du ciment est la résistance moyenne en compression obtenue à 28 jours sur des éprouvettes de mortier normalisé. Le cimentier garantit une valeur minimale atteinte par au moins 95 % des échantillons (dénomination normalisée spécifiée sur le sac de ciment). La correspondance entre classe vraie du liant et valeur minimale garantie par le fabricant est donnée dans le tableau 2.

Tableau 2 : Correspondance entre classe vraie et dénomination normalisée des ciments.

Dénomination normalisée	32,5 MPa	42,5 MPa	52,5 MPa
Classe vraie : σ'_c	45 MPa	55 MPa	> 60 MPa

➤ **Choix des granulats :**

Les granulats à utiliser dans la fabrication du béton doivent être de bonne qualité et permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Il faut en conséquence utiliser des granulats de toutes tailles pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros.

Le tableau 3 donne les valeurs de G, Coefficient granulaire qui est fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

Tableau 3 : Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats D_{max} .

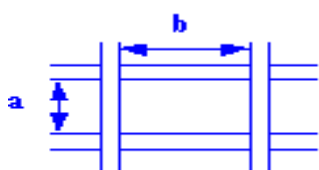
Qualité des granulats	Dimension D_{max} des granulats		
	Fins : $D_{max} < 12,5$ mm	Moyens : $20 < D_{max} < 31,5$	Gros : $D_{max} > 31,5$ mm
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions (Par vibration en principe)

Pour permettre une mise en œuvre correcte du béton, il est important que la taille des plus gros granulats D_{max} ne s'oppose pas au déplacement des grains entre les armatures métalliques du ferrailage.

Le tableau 4 donne une borne supérieure de D_{max} à respecter en fonction de la densité du ferrailage, des dimensions de la pièce à réaliser, et de la valeur de l'enrobage des armatures. D_{max} est le diamètre des plus gros granulats entrant dans la composition du béton. Sa valeur peut être lue sur la feuille d'analyse granulométrique des granulats correspondants.

Tableau 4 : Détermination de D_{max} en fonction du ferrailage et de l'enrobage.

Caractéristiques de la pièce à bétonner		D_{max}
e_h	Espacement horizontal entre armatures horizontales	$\leq e_h / 1,5$
e_v	Espacement vertical entre lits d'armatures horizontales	$\leq e_v$
d	Enrobages des armatures : Ambiance très agressive ≥ 5 cm Ambiance moyennement agressive ≥ 4 cm Ambiance peu agressive ≥ 3 cm Ambiance non agressive ≥ 2 cm	$< d$
r	<p style="text-align: center;">Rayon moyen du ferrailage</p>  <p style="text-align: center;">$r = \frac{a b}{2(a + b)}$</p> <p style="text-align: center;">Granulats roulés Granulats concassés</p>	$\leq 1,4 r$ $\leq 1,2 r$
h_m	Hauteur ou épaisseur minimale	$\leq h_m / 5$

Leçon 3 : La composition du béton par la méthode de calcul simplifiée

Introduction

La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier des charges.

Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton :

- ✓ Détermination du rapport C/E. Le rapport C / E est calculé grâce à la formule de Bolomey donnant la résistance moyenne en compression du béton à 28 jours : $f_{cm28} = G' \sigma'_c \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$
- ✓ Détermination de C et E
- ✓ Détermination du mélange optimal à minimum de vides
- ✓ Détermination de la compacité du béton
- ✓ Détermination des masses de granulats

La méthode Dreux-Gorisse a fait l'objet d'une adaptation aux granulats (granite et quartz) les plus couramment utilisés pour la confection des bétons en Côte d'Ivoire. Cette adaptation faite par le LBTP tient compte de la granulométrie peu étalée des sables ivoiriens et de leur pauvreté en éléments fins.

I -/- La méthode LBTP de calcul du dosage des bétons

1.1- CALCUL DU DOSAGE EN EAU

- Cas de granulats de quartz : $E = 174 - \frac{525}{4A + 7} + \frac{525}{2M_D - 69} + k_1$
- Cas de granulats de granite : $E = 179 - \frac{525}{4A + 7} + \frac{525}{2M_D - 69} + k_1$

A = Affaissement au cône d'Abrams

M_D = Module du tamis correspondant à la plus grande dimension

k_1 = correction en fonction de la nature du sable

✓ *Tableau de correction K_1*

	Granite	Quartz
Sable d'emprunt et rivière	0	0
Sable de mer	-8 litres	-2 litres

1.2- CALCUL DU DOSAGE EN CIMENT

$$C = E \left(\frac{f_{cm28}}{G' \times \sigma'_c} + 0,5 \right) \quad \text{Avec}$$

σ'_c = Classe vraie du ciment

f_{cm28} = résistance moyenne visée à 28 jours tel que : $f_{cm28} = \sigma'_{28}/k$ ou f_{c28}/k

G' = coefficient granulaire. En Côte d'Ivoire : $G_{\text{granite}} = 0,52$ et $G_{\text{quartz}} = 0,48$

1.3- COMPOSITION GRANULAIRE

Il s'agit de déterminer les pourcentages de sable, de gravillons et de cailloux qui vont permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Les quantités des matériaux de chaque classe granulaire doivent être judicieuses pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros. La courbe granulométrique théorique d'un matériau à minimum de vides peut être schématisée par une droite brisée.

La démarche proposée par Dreux pour déterminer le mélange optimum à minimum de vides est la suivante :

- ✓ Tracé de la droite brisée de référence
- ✓ Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux

3.1 Tracé de la courbe de référence

La droite de référence de Dreux représente la courbe idéale d'un matériau à minimum de vides. C'est une droite brisée dont le point de brisure est défini par son abscisse X et son ordonnée Y.

On joint le point **O**(0,08mm;0% tamisât), le point de brisure **B**(X;Y) et le point **C**(D_{max} ;100% tamisât)

Calcul des coordonnées X et Y du point de brisure :

En abscisse : si $D_{max} \leq 25$ mm, $X = M_{D_{max}} - 3$ ou si $D_{max} \geq 25$ mm, $X = (M_{D_{max}} + 38)/2$

En ordonnée : $Y = 49 - \sqrt{D_{max}} + 6M_f - \frac{C}{25} + k_2$

✓ Tableaux de correction de K_2

Sable de granite de classe granulaire 0/d			Sable de quartz de classe granulaire 0/d		
	$d \leq 2$ mm et $f \leq 3$ %	$d > 2$ mm et $f > 3$ %		$d \leq 2$ mm et $f \leq 3$ %	$d > 2$ mm et $f > 3$ %
Béton courant $D_{max} \leq 25$ mm	7	2	Béton courant $D_{max} \leq 25$ mm	5	0
Béton pompé	12 à 17	7 à 12	Béton pompé	10 à 15	5 à 10
Gros béton $D_{max} > 25$ mm	$(D_{max}+10)/5$	$(D_{max}-15)/5$	Gros béton $D_{max} > 25$ mm	$D_{max}/5$	$(D_{max}-25)/5$

3.2 Tracé de la ligne de partage

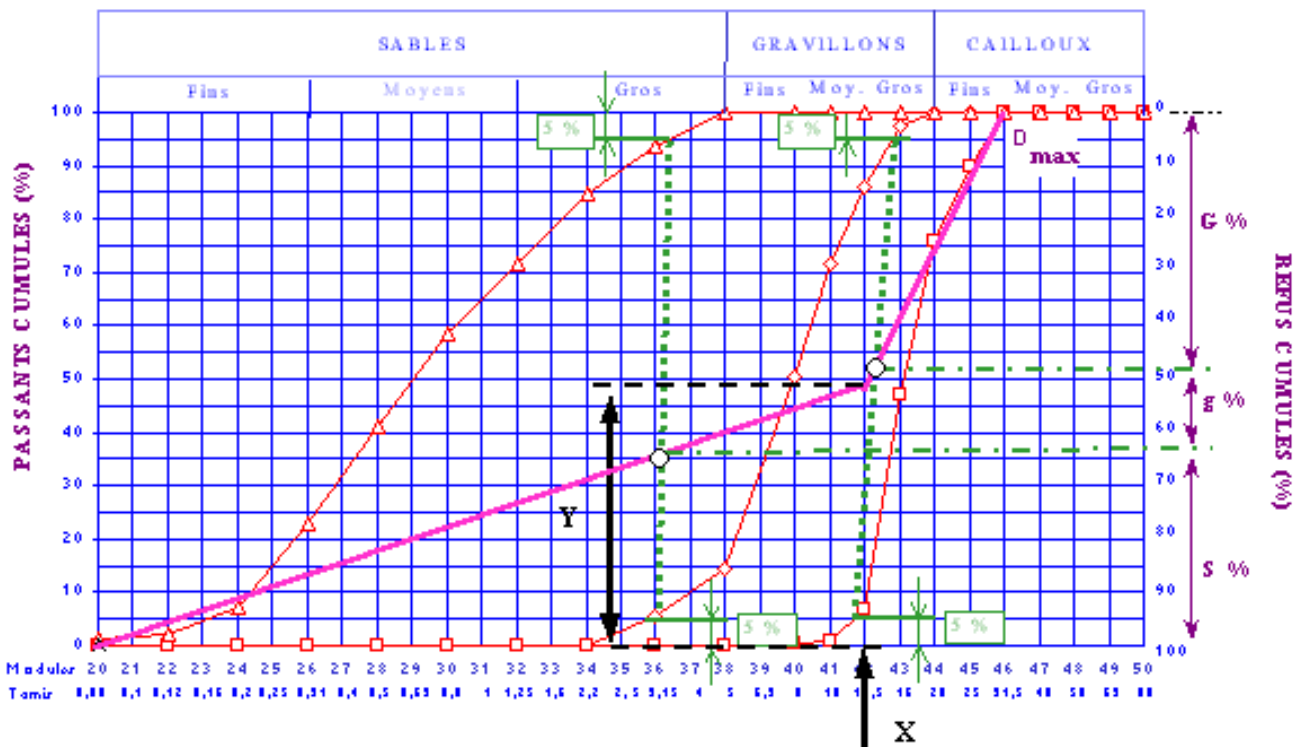
On prendra un point T sur la courbe du sable à 95 % de tamisât et un point Z sur la courbe de gravier à 5 % de tamisât. On reliera ensuite ces deux points à la règle pour obtenir la ligne de partage.

On procédera ainsi progressivement pour autant de granulats utilisés.

3.3 Pourcentage des différents granulats

Le point d'intersection de la ligne de partage et de la courbe de référence donne le pourcentage ou proportion de volume absolu des différents granulats.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE



1.4- CALCUL DES DOSAGES PONDERAUX POUR 1m³

La formule donnant le volume absolu d'un mètre cube est la suivante : $V_S + V_G + V_E + V_C = 1\text{m}^3$, avec :

- V_S = volume absolu de sable
- V_G = volume absolu de gravier
- V_E = volume absolu d'eau
- V_C = volume absolu de ciment

4.1 Calcul de la compacité

On sait que $\gamma = \frac{V_{abs}}{V} = \frac{V - V_v}{V}$ et donc pour 1m³ de béton frais on a :

$$\gamma = \frac{1000 - E}{1000} = 1 - \frac{E}{1000}, \text{ avec } 1\text{m}^3 = 1000 \text{ litres}$$

4.2 Calcul du volume absolu des granulats

$$V_G + V_C = 1000\gamma \text{ et donc } V_G = 1000\gamma - \frac{C}{\rho_{C(ABS)}}$$

4.3 Calcul des différents dosages en granulats

- Calcul du dosage en sable (M_s) : $M_s = V_G \times \%S \times \rho_{S(ABS)}$
- Calcul du dosage en gravier (M_g) : $M_g = V_G \times \%g \times \rho_{g(ABS)}$

1.5- AJUSTEMENT D'UNE COMPOSITION AU m³ DE BETON FRAIS

5.1 Calcul de la densité théorique d_0

$$d_0 = \frac{E + C + M_s + M_g}{1000}$$

5.2 Ajustement de la composition théorique

Soit d_1 (densité réelle du béton frais, celle obtenue sur béton confectionné à partir des dosages calculés).

- Si $d_0 = d_1$: les quantités calculées font un m³, pas de correction à effectuer sur les quantités calculées ;
- Si $d_0 < d_1$; les quantités calculées font moins d'un m³.
- Si $d_0 > d_1$; les quantités calculées font plus d'un m³.

→ Dans ces derniers cas, il faut apporter une correction aux différents dosages calculés.

Ce coefficient de correction est d_1/d_0 , à appliquer à chacun des dosages calculés.

5.3 Correction du dosage en ciment en fonction de la résistance f_{c28} atteinte

- Si $100 |k - 1| \leq 3\%$; prendre la composition réellement coulée
- Si $100 |k - 1| > 3\%$; conserver E_1 ajustée et apporter une correction au dosage en ciment.

$$C_2 = \frac{1}{k} [C_1 + 0,5E_1(k - 1)] \quad \text{Avec } k = \frac{f_{c28(\text{atteinte})}}{f_{c28(\text{demandé})}}$$

5.4 Composition définitive en granulats

- Calcul de la nouvelle compacité du béton : $\gamma_1 = \frac{1000 - E_1}{1000} = 1 - \frac{E_1}{1000}$
- Calcul du nouveau volume des granulats : $V'_G = 1000\gamma_1 - \frac{C_2}{\rho_{C(ABS)}}$
- Calcul des nouveaux dosages en granulats
 - Calcul du dosage en sable (M_{s1}) : $M_s = V'_G \times \%S \times \rho_{S(ABS)}$
 - Calcul du dosage en gravier (M_{g1}) : $M_g = V'_G \times \%g \times \rho_{g(ABS)}$

VI -/- Applications

Exercice 1

On veut étudier, la composition d'un béton de granite devant répondre aux caractéristiques suivantes :

$$f_{c28} = 240 \text{ bars} ; A = 8 \text{ cm}$$

1. Calculer les dosages en eau et en ciment sachant que : $\sigma'_c = 405 \text{ bars}$ pour une densité $d = 3,1$

Le sable utilisé est le sable de mer.

L'analyse granulométrique des granulats, donne les résultats suivants :

Sable

Module	38	35	32	29	26	23	20
%Refus	0	11	23	43	75	93	98

Gravier 1

Module	43	42	41	40	39	38	35
%Refus	0	3	10	27	50	86	100

Gravier 2

Module	47	46	45	44	43	42	41	40	39
%Refus	0	3	20	70	89	93	97	98	100

2. Donnez la composition granulaire du béton confectionné avec ces granulats
3. Calculez les dosages pondéraux sachant que :

	Sable	Gravier 1	Gravier 2
Masse volumique absolue en T/m ³	2,5	2,65	2,65

4. La densité du béton réellement coulé étant de 2,605 ; ajustez les quantités de matériaux pour 1m³ de béton.
5. La résistance obtenue sur les éprouvettes à 28 jours étant de 270 bars, donnez la composition définitive de béton.

**** On note que le dosage en eau calculé a permis d'atteindre l'affaissement demandé au cône d'Abrams.**

Exercice 2

Pour la confection d'un mètre cube de béton, la fiche technique du responsable de chantier indique les dosages suivants :

-Ciment : 400kg

-Eau : 150L

-Sable : 800kg

Gravier : 1200kg

Extrait d'adjuvant : 4kg

Dans la pratique, il s'avère que les granulats stockés sur le chantier sont humides et présentent les caractéristiques suivantes :

-Teneur en eau du sable : 5,5% avec un coefficient d'absorption de 0,5%

-Teneur en eau du gravier : 3% avec un coefficient d'absorption de 1,5%

-Extrait sec contenu dans l'adjuvant : 45%

Calculez les masses de matériaux devant être introduites dans le malaxeur pour fabriquer un mètre cube de béton.

Travaux Dirigés : Composition des bétons

Exercice 1 :

On désire réaliser une Analyse Granulométrique sur un échantillon de sable en vue de son utilisation pour la confection d'un béton courant normal. La masse du sable à soumettre à l'essai doit être de 2000g, l'échantillon reçu de la carrière est à une teneur en eau de 4,5%.

1. Quelle est la masse de l'échantillon reçu de la carrière si la prise d'échantillon a été effectuée après quatre opérations de quartage.
2. Calculez la masse d'eau contenue dans cet échantillon.

La formule donnant le volume absolu d'un mètre cube est la suivante : $V_S + V_G + V_E + V_C = 1 \text{ m}^3$, avec :

- V_S = volume absolu de sable
- V_G = volume absolu de gravier
- V_E = volume absolu d'eau et qui vaut 130 litres
- V_C = volume absolu de ciment et qui vaut 185 litres

La composition granululaire de ce béton est la suivante :

- %S = 35 ;
- %G = 65.

Les masses volumiques des matériaux constituant ce béton sont les suivantes :

Matériaux	Masse spécifique en g/cm^3	Masse volumique apparente en g/cm^3
Gravier	2,65	1,45
Sable	2,63	1,54
Eau	1,00	1,00
Ciment	3,13	1,10

3. Calculez le dosage pondéral du béton.
4. Faites la commande des granulats pour la réalisation d'un béton de 8 m³. Exprimez les résultats en m³ et à l'unité près.
5. Quel est le nombre de paquet de ciment nécessaire ?

Exercice 2 :

Sur un chantier de bâtiment R+4, les quantités de matériaux utilisées pour la confection du béton destiné à la mise en œuvre du plancher et d'un mortier de couche d'accrochage sont :

Pour le béton de plancher :

- 3 paquets de ciment CPA 42,5 de classe vraie 475 bars
- 5 brouettes de 50 litres de gravier de granite concassé 5/15
- 2 brouettes de 50 litres de sable de lagune 0/5
- Le rapport du dosage en eau sur celui du ciment était de 0,55

Le cahier du projet préconise un dosage de 400 kg /m³, un affaissement au cône d'Abram de 7 cm et une résistance minimale de 24 MPa.

1. Déterminez le dosage en ciment de ce béton.
2. Déterminez la résistance du béton confectionné sur ce chantier
3. Les prescriptions du cahier sont-elles respectées sur ce chantier ? si non proposez le bon dosage en ciment en admettant que le dosage en a permis d'atteindre le cône d'Abrams.

Données techniques

Matériaux	D_{app}	D_{abs}	ρ_n(Kg/m³)
Sable	1,400	2,500	1600
Gravier	1,40	2,65	
Ciment	1,000	3,000	

Exercice 3 :

Un laboratoire est contacté pour procéder à la vérification d'un dosage de béton réalisé sur un chantier courant de bâtiment d'une entreprise, le mélange du béton suit la formule suivante :

- Gravier granite = 2 brouettes de 50 litres chacune,
- Sable roulé =1 brouette de 50 litres,
- Eau = 2 seaux de 15 litres,
- Ciment CPJ 32,5 (de classe vraie 375 bars) = 1 paquet de 50 Kg.

Déterminer :

- 1-) Le dosage du béton pour 1m³.
- 2-) Déterminer la résistance caractéristique de ce béton ainsi fabriqué sur le chantier et commenter ?

Données :

	Densité apparente	Poids spécifique (T/m ³)
Gravier de granite	1,65	2,65
Sable	1,45	2,50
Ciment	1	3,1

Fiche jointe

	SABLES																		GRAVILLONS						CAILLOUX															
	Fins						Moyens						Gros						Petits		Moyens		Gros		Petits		Moyens		Gros											
100																																								0
90																																								10
80																																								20
70																																								30
60																																								40
50																																								50
40																																								60
30																																								70
20																																								80
10																																								90
0																																								100
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50									
	0,08	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,400	0,500	0,630	0,800	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,15	4,00	5,00	6,30	8,00	10,0	12,5	16,0	20,0	25,0	31,5	40	50	63	80									

Refus en %