



école polytechnique de thiès

**PROJET
DE
FIN D'ETUDES**

Gm. 0444

titre Implantation d'une Usine de Béton
Cellulaire Autoclavé

auteur : Rémy DANG

génie : Mécanique

date : Mai 1979

Ecole Polytechnique de Thiès

Implantation d'une usine

de

Béton Cellulaire autoclavé

Auteur : Rémy DANG

Date : Mai 1979

A Feu mon père, A ma mère
A Feu mon tuteur et éducateur,
qui m'ont toujours entouré de
leur dévouement total et de
leur confiance.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Monsieur ZANGHI mon directeur de projet pour ses conseils fructueux qui m'ont sans cesse guidé, à Messieurs VINH, TORREALBA et BIBAUD pour leur collaboration efficace.

A Monsieur GHARGHOURY professeur à l'E.P.M., aux Compagnies LAFARGE LTEE et PORTLAND CEMENT ASSOCIATION et à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre ont contribué à l'élaboration de ce projet, j'adresse mes remerciements sincères.

SOMMAIRE

Nous nous proposons de "fabriquer" du béton cellulaire autoclavé. En effet, les caractéristiques techniques de ce béton (classé dans les bétons spéciaux), telles sa légèreté, sa capacité d'isolation thermique, sa bonne résistance à la compression, en font un matériau de construction économiquement intéressant.

Nous avons tenté d'obtenir des renseignements en contactant quelques industries de la place traitant de matériaux de construction, mais malheureusement cela n'a donné aucun résultat utilisable. Des lettres ont été envoyées au Canada à différentes compagnies, et finalement la documentation disponible à l'École venant s'y ajouter nous avons pu écrire ce texte.

Nous ferons un choix de l'équipement après nous être fixé la production à atteindre, nous parlerons de l'organisation de l'espace et de la manutention. Bien entendu, avant cela, nous ferons un bref survol des bétons légers pour mieux situer le béton cellulaire autoclavé. En annexe, nous présentons quelques compléments. (courbes, tables, photos etc...)

TABLE DES MATIERES

<u>chapitres</u>	<u>page</u>
<u>REMERCIEMENTS</u> -----	iii
<u>SOMMAIRE</u> -----	iv
I- <u>INTRODUCTION</u> -----	1
II- <u>GÉNÉRALITES SUR LES BÉTONS LÉGERS</u> ----	3
1) Avantages et inconvénients -----	3
2) Bétons Cellulaires : classification et caractéristiques -----	7
3) Utilisations des bétons cellulaires-----	10
III- <u>FABRICATION DU BÉTON CELLULAIRE</u>	
<u>AUTOCLAVÉ</u> -----	11
1) schéma opératoire -----	11
2) Détermination et choix de l'équipement-----	13
i) Le broyeur -----	16
ii) Le Crible -----	21
iii) La cuve de dosage-----	27
iv) Les malaxeurs -----	27
v) L' autoclave -----	32
3) Stockage et manutention-----	35
IV- <u>CONTRÔLE , ENTRETIEN ET PERSONNEL</u> ----	39

a) contrôle	39
b) Entretien	40
c) Personnel	41
<u>V</u> - <u>BILAN DE MATIERES ET D'ENERGIE</u>	43
<u>VI</u> - <u>ORGANISATION DE L'ESPACE</u>	46
<u>VII</u> - <u>CONCLUSIONS ET DISCUSSIONS</u>	49

ANNEXES

<u>ANNEXE 1</u> : courbes et tables)	51b
<u>ANNEXE 2</u> : photos du matériel)	58a

<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	63
----------------------	----

I - INTRODUCTION

Tout d'abord, il faut souligner que ce texte n'a pas la prétention de traiter de l'implantation complète d'une usine de béton avec tout ce que cela comporte. En effet il serait indispensable d'être en possession de données sur un certain nombre de paramètres de l'environnement socio-économique. Entendons par-là des données sur les besoins réels du pays et de nos voisins, la disponibilité des matières premières, de la main-d'œuvre, de l'infrastructure. L'offre existante sur le marché ainsi que les perspectives d'avenir sont absolument nécessaires pour élaborer un projet complet d'implantation.

Nous constatons donc qu'il faudrait pour commencer, réaliser une étude approfondie du marché, s'assurer de la viabilité du projet en faisant une étude de rentabilité qui tiendrait compte de tous les différents facteurs pertinents et envisagerait toutes les possibilités, du moins les principales. C'est après ce stade qu'un choix judicieux de l'équipement peut intervenir.

Evidemment ceci demanderait plusieurs mois à une équipe avertie, possédant des moyens. L'on me dira dès lors : « Pourquoi ce projet ? » Son intérêt réside dans le fait qu'il peut permettre à l'élève ingénieur mécanicien d'acquiescer quelques notions sur le béton industrialisé.

Les difficultés rencontrées dans l'élaboration du projet, la recherche de la documentation et son utilisation, peuvent édifier l'élève sur le sujet un tant soit peu.

Il ne sera traité ici que du choix de l'équipement et de l'aménagement de l'usine, vu que le temps disponible est assez limité.

II - GENERALITES

1) - Avantages et inconvénients des bétons légers.

Nous allons essayer de présenter quelques informations sur les bétons légers pour mieux situer le produit que nous nous proposons de fabriquer.

Les bétons légers sont des bétons dont la masse volumique apparente est inférieure à 1800 kg/m^3 . Ils peuvent être constitués de granulats légers ou lourds et de liants hydrauliques (ciments) ou de résines synthétiques (Epoxydes, mousses polyuréthanes etc...). Certains d'entre eux, pour obtenir leurs caractéristiques définitives, doivent subir des traitements à hautes températures et hautes pressions. La majorité de ces bétons ont une masse volumique apparente comprise entre 400 et 1800 kg/m^3 , tandis que les bétons normaux ont les leurs comprises entre 2200 et 2500 kg/m^3 .

a) Principaux avantages.

* Légèreté.

Comme leur nom l'indique, la première qualité des bétons légers est leur légèreté. En effet cette qualité est l'une des plus importantes, car elle permet de réaliser des économies décisives dans la construction:

• Economie sur les fondations.

Parfois, on n'est obligé de réduire au maximum le poids mort des éléments de construction, dans le cas par exemple d'un sol de faible résistance.

Dans le cas de fondations profondes, une réduction importante du poids des structures peut entraîner une diminution du nombre de pieux ou de puits prévus.

Dans le cas de surélévation d'immeubles, la possibilité d'effectuer des travaux en alourdissant le moins possible la construction existante, pour éviter d'avoir à exécuter des renforcements au niveau des fondations (opérations toujours coûteuses, délicates ou impossibles) s'avère intéressante. Pour des tours ou de grands immeubles, le gain en poids varie entre 30 et 40%, tandis qu'il est d'environ 25% pour des constructions classiques.

• Economie de structure

Les pièces sont toujours dimensionnées pour se supporter plus elles-mêmes que pour supporter des charges. En utilisant un béton de 1600 kg/m^3 au lieu d'un béton de 2500 kg/m^3 , on peut réaliser de 15% à 20% d'économie sur la charge totale.

- Economie sur les engins de manutention

Le matériel de manutention sera de moindre puissance par rapport à celui utilisé pour les bétons normaux. Donc les possibilités des engins standards seront augmentées.

- Economie sur le Coffrage.

Par rapport au prix de revient de la pièce en bétons normaux, on peut arriver à une économie totale variant de 5% à 20%, et l'économie due au coffrage peut aller jusqu'à 5%.

** Isolation thermique

Les bétons légers ont une bonne isolation thermique et une bonne résistance au feu. Ils ne subissent qu'une faible dilatation thermique et sont incombustibles. Ces propriétés permettent une économie sur la consommation d'énergie.

*** Propriétés mécaniques favorables.

Citons en quelques unes :

Malgré la légèreté des bétons légers, la résistance à la compression peut être bonne. Le faible coefficient de dilatation qui diminue la fissurabilité, et la grande façonnabilité des bétons légers qui permet de faciliter le travail des plombiers et des menuisiers (économie de temps) sont aussi des propriétés intéressantes.

b) Principaux Inconvénients.

Le cisaillement, la résistance à la traction et le module d'élasticité sont plus faibles que ceux des bétons normaux, tandis que le retrait et le fluage sont en réalité plus élevés. Il est en général dangereux de vouloir toujours concevoir les bétons légers comme les bétons normaux, car d'importantes erreurs peuvent en découler.

Au niveau de la fabrication, l'assistance technique du fabricant est essentielle voire indispensable. Il faut faire très attention au niveau du dosage, du malaxage et de la vibration.

2) Bétons Cellulaires : classification et caractéristiques.

* classification.

Les bétons cellulaires sont des matériaux légers, d'aspect poreux. Ils ne contiennent pas forcément des graviers ni des gravillons. Ce sont donc plus des mortiers de sable fin contenant des alvéoles remplies d'air, que des bétons à proprement parler.

On divise les bétons cellulaires en deux catégories selon leur fabrication.

i) Les bétons-gaz

Ce sont des bétons dans lesquels les alvéoles sont obtenues en ajoutant un produit chimique jouant le rôle d'une levure. (poudre d'aluminium ou de zinc, eau oxygénée, carburant de calcium etc...).

ii) Les bétons-mousse

Ici les cavités proviennent de l'adjonction de produits qui moussent sous l'action d'un malaxage (détergents, savons etc...)

** Caractéristiques

- Masses volumiques apparentes: Elles se situent

entre 300 et 1300 kg/m³ suivant le dosage des Constituants. On rencontre plus couramment 550 et 650 kg/m³.

• Conductivité thermique : Les propriétés d'isolation de ces matériaux sont excellentes. Il faut dire qu'elles dépendent de la masse volumique apparente et du taux d'humidité de ces matériaux. (voir annexe)

Pour le béton cellulaire autoclavé, la conductivité thermique est de 0,1 à 0,2 kcal/hr °c m.

• Résistance à la Compression : Elle varie avec la masse volumique apparente et se situe généralement entre 15 et 150 kg/cm². Elle diminue lorsque la teneur en eau du matériau augmente. Pour le béton cellulaire cru Bétocel, la résistance à la compression doit être supérieure à 12, 14 et 20 kg/cm² pour des masses volumiques apparentes de 600, 700 et 800 kg/m³ respectivement. Pour du béton cellulaire léger autoclavé, on a les limites suivantes :

- Masses volumiques apparentes (kg/m³) : 500 ; 600 ; 700 ; 800
- Résistance à la Compression (kg/cm²) : ≥ 35 ; ≥ 45 ; ≥ 55 ; ≥ 60

• Résistance à la traction : Elle situe entre le 1/5 et la 1/2 de la résistance en compression.

• Module d'élasticité : Le module d'élasticité statique est fonction de la masse volumique apparente et de la résistance à la compression. Elle situe entre 6000 et 40 000 kg/cm². Le Comité Européen du Béton propose la formule suivante :
$$E_b = 6000 \sqrt{d^3 \times R_c}$$

où R_c : résistance à la compression en kg/cm²
 et d : masse volumique apparente en t/m³.

Cependant cette ne semble pas valable pour les matériaux crus.

• Résistance au feu : Elle est très bonne à cause de la texture, de l'isolation thermique, du faible coefficient de dilatation et de l'incombustibilité du matériau.

Notons avant de terminer que la résistance au gel (nous n'avons pas ce problème) est excellente, et la facilité d'emploi sur le chantier est bonne. Cependant, la résistance au cisaillement, le taux d'adhérence aux aciers et l'isolation acoustique restent faibles pour ces matériaux.

En respectant certaines conditions, on peut obtenir un retrait faible.

3) Utilisations du béton cellulaire.

Le béton cellulaire a une utilisation très variée.

C'est ainsi que nous pouvons en user pour la réalisation de plusieurs éléments : Citons :

i) Les éléments manufacturés : blocs, conduits de fumée, hourdis, planchers préfabriqués, dalles de toiture, cloisons et plaques d'isolation.

ii) Les panneaux préfabriqués (porteurs ou non)

iii) Les éléments de structure : murs banchés, parements, poutres, poteaux et dalles armées, poutres précontraintes, voiles et coques.

iv) Les formes de pente de toiture-terrasses.

v) Les utilisations diverses.

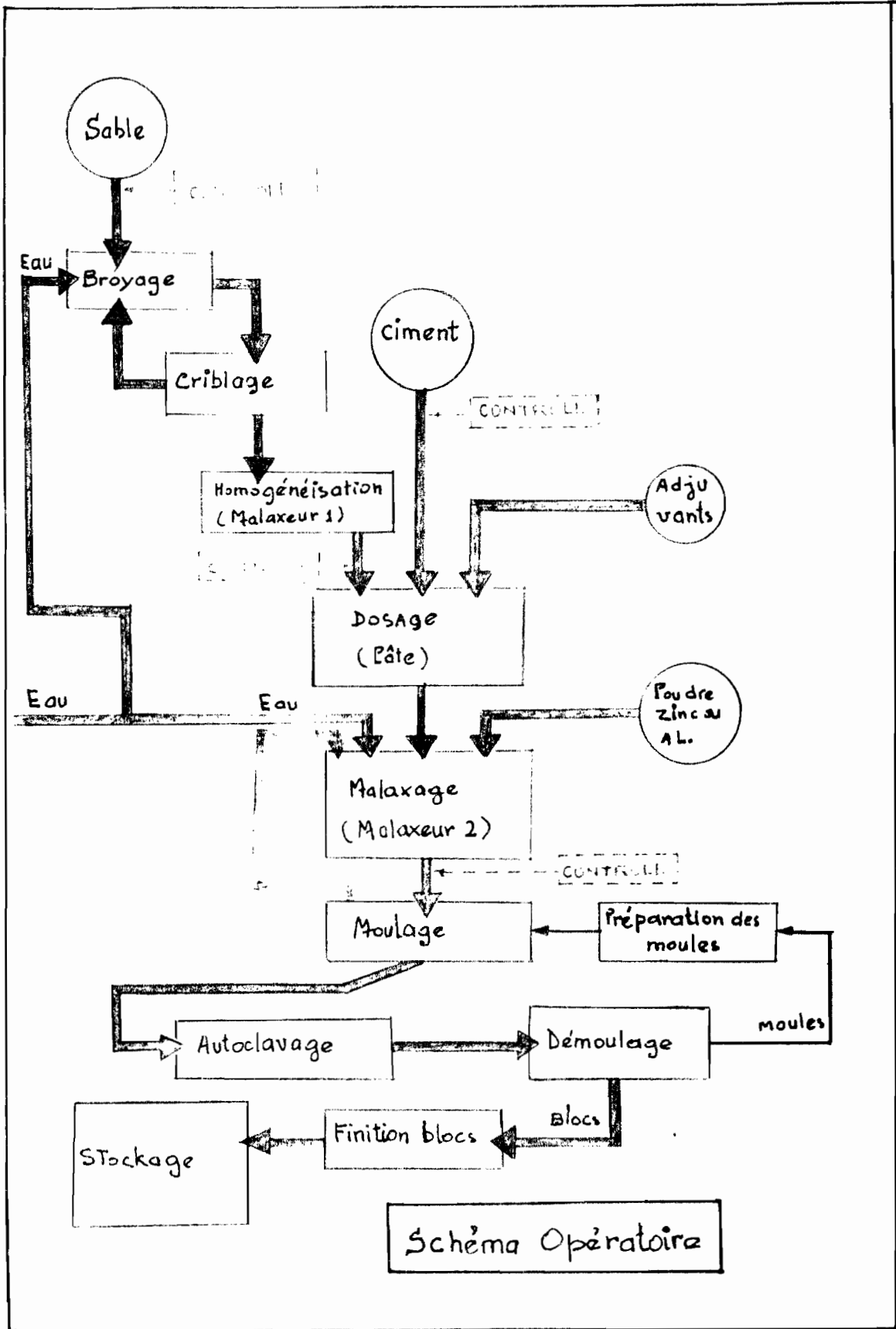
(voir référence

III - FABRICATION DU BÉTON CELLULAIRE.

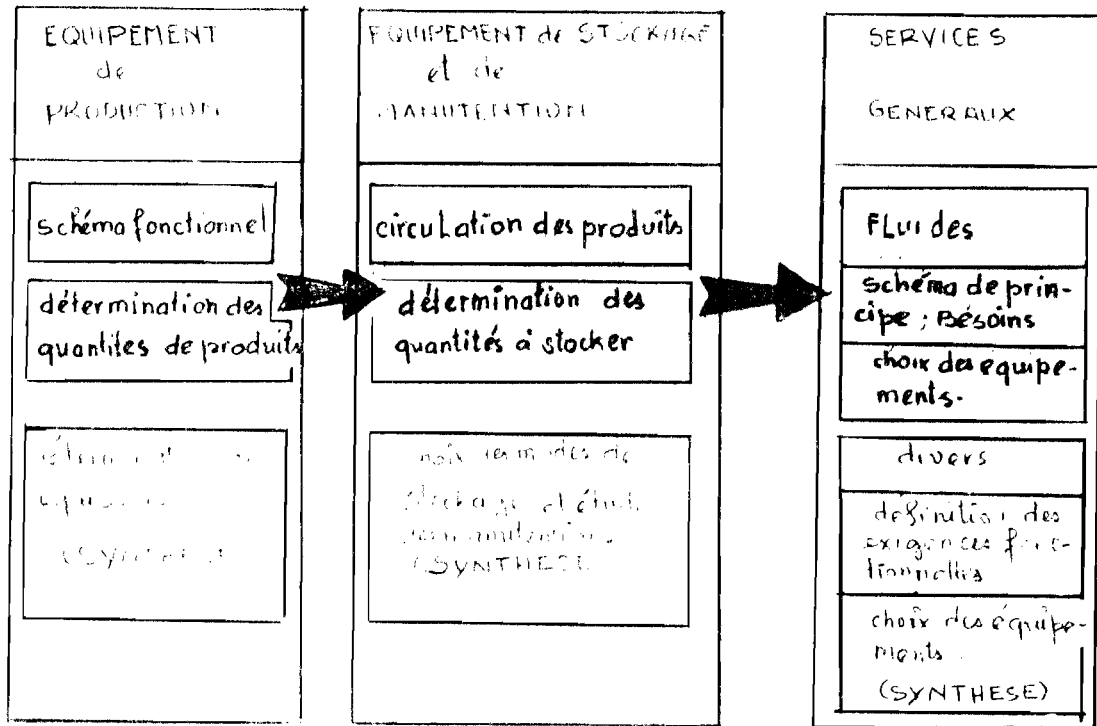
1) Schéma opérationnel.

Les différentes étapes dans la fabrication du béton cellulaire autoclavé sont les suivantes :

- mouture des granulats, humidification et homogénéisation.
- Malaxage du mélange granulats, (sable très siliceux, laitier expansé), liants (ex: chaux vive), eau, générateur de gaz.
- Coulé dans les moules
- Levée et prise de la pâte
- Ecrêtage des éléments et sciage
- Autoclavage : Température 180°C à 200°C , pression à 10 kg/cm^2 , durée 16 à 20 heures suivant les procédés. Ce traitement permet la réaction silico-calcaire qui entraîne une nette amélioration des caractéristiques du matériau. Cette réaction est une réaction de la chaux sur la silice.
- Stockage sur aire bétonnée couverte.



2) Détermination et choix de l'Équipement.



préoccupations principales : Exigences fonctionnelles, économie de réalisation et d'exploitation, problèmes humains, sécurité, souplesse d'adaptation.

DIFFERENTES PHASES DE LA DÉTERMINATION DES EQUIPEMENTS (V. P. REF N° 6)

Nous nous proposons de faire le choix de l'équipement de l'usine de béton cellulaire autoclavé. Ci-dessus, nous avons un exemple de la marche à suivre lors de la détermination de l'équipement d'une usine quelconque. Tout en le prenant pour guide, nous ne le respecterons pas point par point.

Notre équipement comprendra :

* pour la production proprement dite :

- Un broyeur pour le sable humidifié,
- Un crible pour le sable broyé,
- Un malaxeur (n°1) pour l'homogénéisation du sable,
- Une cuve de dosage,
- Un malaxeur (n°2) pour le béton,
- Un autoclave pour le mûrissement du béton
(Il sera alimenté en vapeur par une chaudière.)

* pour le stockage des matières premières : nous aurons besoin de silos. (sable et ciment.)

2-a) Choix de l'équipement de production.

voici une recommandation du fabricant de Béton cellulaire Bétocel quant au dosage à respecter. (voir réf n°5)

<u>Massa volumic pe apparente</u> (kg/m ³)	<u>Ciment</u> (kg/m ³)	<u>Sable</u> (kg/m ³)	<u>Eau</u> (l/m ³)	<u>Bétozel</u> (l/m ³)
600	250	270	200	3
700	250	370	200	3
800	250	460	200	3

EXEMPLES DE DOZAGE

Considérons une masse volumique apparente de 700 kg/m³
un sable de densité 2.65 et un ciment de densité 3.10.
Alors nous avons les pourcentages suivants:

* En poids.

$$\underline{\text{Sable}}: 100 \times \frac{370}{700} = 53\%$$

$$\underline{\text{Ciment}}: 100 \times \frac{250}{700} = 36\%$$

* En volume.

$$\underline{\text{Sable}}: 100 \times \frac{370}{2650} = 14\%$$

$$\underline{\text{Ciment}}: 100 \times \frac{250}{3100} = 8,1\%$$

Nous nous fixons comme objectif de produire environ 50t/j de béton cellulaire, soit un volume égal à:
 $(1/0,7) \times 50 = 71,4 \text{ m}^3 \approx 72 \text{ m}^3$.

i) Le broyeur-malaxeur (voir réf. 1-a) et (réf 2)

Nous aurons besoin de :

$$50 \times 0,53 = 26,5 \text{ t/j de sable.}$$

$$\text{Soit } (72 \times 0,14 = 10,1 \text{ m}^3/\text{j de sable.})$$

Le broyeur-malaxeur a pour but de réduire la granulométrie du sable (très siliceux de préférence), ou de pierres concassées, à la bonne dimension. Au cours de cette opération, il est nécessaire de procéder à l'humidification du sable, afin d'éviter l'absorption de l'eau par les granulats lors du mélange final.

En fait le broyeur malaxeur est un mélangeur avec des organes internes mobiles (galets, marteaux etc...) permettant une destruction adéquate de la granulométrie d'un corps donné. Dans notre cas il devra être équipé d'un système d'introduction d'eau, qui en plus de permettre l'humidification du sable refroidira les éléments internes qui s'échauffent à cause du frottement. Nous devons donc

veiller à ce que l'appareil soit insensible à l'humidité; Citons quelques autres caractéristiques intéressantes à obtenir :

La facilité de chargement et de déchargement, l'accessibilité pour l'entretien, l'adaptabilité à différentes conditions de fonctionnement (notamment : granulométrie finale, possibilité de recyclage des matériaux, variations de vitesse et de débit)

Etant donné la dureté du sable siliceux, notre appareil devra avoir une bonne résistance à l'usure.

Il existe toute une gamme de types de broyeurs que nous ne pouvons pas citer ici. Disons que notre attention a été retenue par 2 types : Le broyeur à marteaux et le broyeur à boulets dont voici quelques caractéristiques.

Type de Broyeur	Rythme de production	Débit ou capacité utile	Vitesse	Puissance
A Marteaux	lent	de 1 h à 2 h	500 t/mn à 1000 t/mn	0,08 kva à 72,5 kw
	très lent	-	-	-
A Boulets	lent	11/2 à 2 h	-	3,7 kva à 37 kw
	très lent	2 h à 1 j	-	0,22 kva à 14,7 kw

voir ref. 1)

caractéristiques de Broyeurs.

Le broyeur à marteaux a l'avantage d'être moins encombrant que le broyeur à boulets, mais ce dernier est plus indiqué pour l'opération d'humidification. (voir Ref. 1)) En plus, il est adaptable aussi bien au fonctionnement en continu qu'en discontinu.

Il existe sur le marché un type de broyeur à boulets appelé "tubes broyeurs compound". (Ref. 2)) Il est constitué de 2 ou 3 compartiments et parfois d'avantage. Son diamètre varie de 1,2 à 3,6 m et sa longueur totale de 8 à 16 m, dépendamment de la matière à broyer (dureté, finesse à obtenir etc...). Des cloisons ajourées séparent les unes des autres les chambres de broyage remplies de corps broyants de grosseur différente. La matière qui entre en sort avec la finesse voulue.

Quant au broyeur à boulets à un seul compartiment, la matière qui y entre sort avec un pourcentage n'ayant pas encore la finesse adéquate, d'où la nécessité d'une manutention supplémentaire pour recycler cette partie du produit. (tapis roulant, élévateur à godets etc...). Evidemment il faut d'abord faire la séparation grâce à un crible par exemple. Toutefois, malgré ces incon-

vénients, son rendement est de 17% supérieur à celui du broyeur compound. (Ref 2)). En plus, pour une petite production, il est plus indiqué car moins encombrant. Il possède de nombreux paramètres variables dont le réglage permet de l'adapter à différentes opérations: vitesse de rotation, degré de remplissage etc... Notons que le degré de remplissage est le rapport entre le volume apparent de la charge et le volume intérieur du broyeur.

Les formules utiles pour le calcul d'un broyeur sont les suivantes: (Ref: 1) et 2)

- Consommation d'énergie C. (en C.v.)

$$C = f \frac{Q \times \sqrt{D}}{1000}$$

f: facteur d'énergie (Tabulé)
D: ϕ intérieur du tube (m)
Q: (voir ci dessous.)

- vitesse de rotation N (t/mn) du tube.

$$\frac{28}{\sqrt{D}} \leq N \leq \frac{32}{\sqrt{D}}$$

D: ϕ du intérieur du tube en m.

- Poids des corps broyants Q (kg).

$$Q = \frac{\pi D^3}{4} \times L \times k \times d.$$

L: Longueur du tube en m.
k: degré de remplissage (Tabulé)

d en kg/m^3 .

d: densité des corps broyants (Tabulé)

Calculs

Choisissons: $L = 3\text{m}$; $k = 31\%$; 40mm de blindage (épaisseur de la paroi du tube.)
des boulets de $\phi D_b = 40\text{mm}$. $D^* = \phi_{\text{ext}} = 1,6\text{m}$

• Diamètre intérieur du tube D.

$$D = 1,6 - 2 \times 0,04 = 1,52\text{m}$$

$$\underline{D = 1,52\text{m}}$$

• Vitesse de rotation N

$$\frac{28}{\sqrt{1,52}} \leq N \leq \frac{32}{\sqrt{1,52}}$$

$$\underline{23 \text{ t/mn} \leq N \leq 26 \text{ t/mn}}$$

• charge de boulets Q.

$$D_b = 40\text{mm} \Rightarrow d = 4500 \text{ kg/m}^3 \text{ (Ref 2 p 115)}$$

$$Q = \frac{\pi}{4} \times (1,52)^2 \times 3 \times 0,31 \times 4500 = 7594 \text{ kg}$$

$$\underline{Q = 7594 \text{ kg}}$$

• Puissance C.

$$k = 0,31 \Rightarrow f = 9,5 \text{ (Ref 2 p 114 fig 17)}$$

$$C = 0,736 \times 9,5 \times \frac{7594}{1000} \times \sqrt{1,52} = 66 \text{ kW}; \quad \underline{C = 66 \text{ kW}}$$

• Section du tube S

$$S = \frac{\pi}{4} (1,52)^2 = 1,81 \text{ m}^2$$

$$\underline{S = 1,81 \text{ m}^2}$$

• Volume du tube V

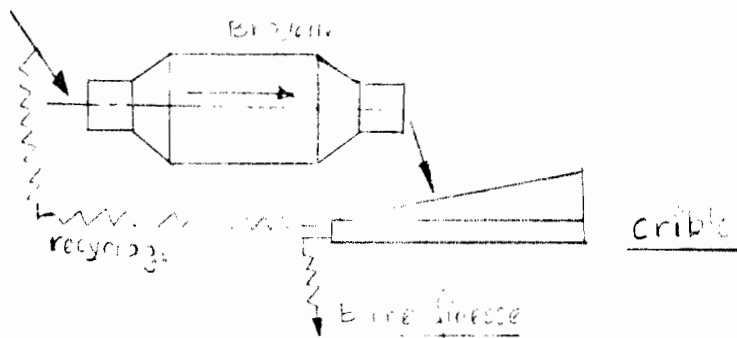
$$V = S \times L = 1,81 \times 3 = 5,43 \text{ m}^3$$

$$\underline{V = 5,43 \text{ m}^3}$$

A titre de Comparaison faisons un choix sur les tables :
(Réf 2 p.120).

pour un ϕ de 1,6 m, on a: $L = 3 \text{ m}$; $V = 5 \text{ m}^3$; $S = 1,82 \text{ m}^2$
 $Q = 7,5 \text{ t}$; $k = 31\%$; $C = 62 \text{ kW}$.

on nous dit de prévoir pour l'élevateur 10% de C environ
pour l'élevateur et le séparateur. Les tables prévoient 12%
soit 7,5 kW pour l'élevateur. Les valeurs concordent de près.



Elevateur de L. avec recyclage

ii) Le crible.

Définition du criblage. (Ref 1-b page A 904-1)

Le criblage désigne l'opération de classement portant sur des dimensions de séparation comprises entre 0,15 mm (tamis module 23) et 100 mm. Les cribles peuvent être : rotatifs (Tromels), plans à secousses, ou vibrants.

- Efficacité de Criblage.

Evidemment, on ne peut obtenir un criblage parfait. En effet, il y a beaucoup de facteurs qui peuvent être à l'origine de perturbations du bon fonctionnement du crible donc de son efficacité, et ne sont pas toujours décelables immédiatement. Citons :

- La tolérance d'exécution des surfaces de criblage qui s'accroissent avec l'usure,
- Les coefficients d'équivalence qui doivent tenir compte des différences de formes des grains, ou d'inclinaison des ouvertures. (Ces coefficients sont approximatifs),
- La trajectoire des grains au voisinage des surfaces de criblage.

- Rendement qualitatif

Le rendement qualitatif ou coefficient de sélectivité peut se définir de deux façons au moins :

1°) pourcentage de passé effectif. (R_1)

$$R_1 = 100 \times \frac{100(T-D)}{(100-D)T}$$

T = total tamisable (déterminé au labo.)

D = % de déclassés par rapport au refus total.

2°) Rendement d'épuration de refus (R_2)

$$R_2 = (100 - D) \quad D \text{ même que ci dessus.}$$

* Caractéristiques des cribles.

Nous nous limiterons aux cribles vibrants parce qu'ils sont très répandus d'une part, et sont mieux adaptés au criblage de matières telles que le sable d'autre part. Dans ce type de crible, le transport de la matière se fait par impulsions tandis que la vibration amène les gros morceaux au dessus et les plus fins en dessous, ce qui favorise beaucoup l'opération de criblage. La capacité de transport et la capacité de passage sont deux facteurs très importants pour un crible. D'autres caractéristiques intéressantes à connaître sont les suivantes :

• Capacité de Criblage

Le criblage mécanique repose sur les chances de passage du grain à travers les mailles et celles-ci sont fonction de la trajectoire des grains (vitesse et accélération), de la forme et de la dimension de l'orifice, du nombre successifs d'orifices que peut rencontrer un grain etc...

Par exemple, un grain dont la dimension représente les $\frac{9}{10}$ de celle de l'orifice a une chance de passage de 1%.

La Capacité de Criblage se mesure par :
l'efficacité de Criblage et le rendement qualitatif.

- choix d'un crible (Réf. 1-b)

Le choix d'un crible étant principalement fonction de la nature du travail à effectuer, nous nous pencherons sur le crible de produits humides, car notre sable venant du broyeur a été humidifié. Le Criblage de produits humides présente beaucoup de difficultés à cause de la grande viscosité (donc adhérence des grosses particules avec les petites) et à cause du Colmatage assez fréquent des ouvertures de la grille par le produit. Cependant il existe des moyens pour lutter contre ce colmatage :

Emploi de grillages anti-colmatants, Emploi de cribles spéciaux équipés d'un dispositif de décolmatage.

Formule

Soient: Q la capacité de base, C la capacité estimée.

(voir Réf 1-b et annexe 3 pour la définition et les tables qui ont servi aux calculs.)

$$C = Q \times R \times E \times \Delta \times F \times H \times N \times A \times I$$

R, E, Δ, F, H, N, A et I sont des facteurs de correction tabulés; de même les valeurs de Q sont tabulées.

données.

La grosseur finale du sable devrait être comprise entre 5 et 8 mm. Le broyeur devra être en mesure de nous fournir la granulométrie suivante :

$$\begin{aligned} \text{grosseur} < 4\text{mm} & \sim 15\% \\ 5 \leq \text{grosseur} \leq 8\text{mm} & \sim 75\% \\ \text{grosseur} > 8\text{mm} & \sim 10\% \end{aligned}$$

Nous choisirons une maille de 8 mm en 2^e position.

Calculs.

La table I page A 904-8 (Réf 1-b ou Annexe 1) donne pour la maille de 8 mm une capacité de base $Q = 40\text{t/m}^2\text{h}$.

Le refus est composé ici de grains de plus de 8 mm soit 10%. La table II page A-904-8 donne le facteur de refus $R = 1.4$.

Si nous voulons une efficacité de criblage $R_1 = 95\%$, la table II page A-904-8 donne par interpolation le facteur d'efficacité $E = 0.75$.

La demié dimension de la maille est 4 mm et il y a environ 15% en dessous de 4 mm : La table II p. A-904-8 donne $\Delta = 0.5$

Pour le sable, l'humidité recommandée est de 4% à 6%

d'après les auteurs (Réf 3) :

La table II (la même) donne un facteur pour l'humidité $H=0,5$. Nous ferons $I=A=F=1$ (car aucun renseignement n'est disponible pour faire autrement.)

La maille est en 2° position : donc $N=0,9$.

$$\text{d'où } C = 40 \times 1,4 \times 1 \times 0,75 \times 0,5 \times 0,5 \times 0,9 = 9,5 \text{ t/h.m}^2.$$

$$C = 9,5 \text{ t/h.m}^2$$

Les particules $< 8\text{mm}$ devront passer et il y en a 90%.
L'efficacité de criblage étant de 95% nous avons :
pour le débit du crible.

$$0,90 \times 0,95 \times 9,5 = 8 \text{ t/h.m}^2.$$

Le choix de la grille, (la maille) sera fait en fonction des différentes granulométries désirées, suivant le dosage voulu et la qualité de béton définie.

Le débit variera en fonction de la cadence de production voulue.

École Polytechnique

iii) Cuve de dosage

Nous avons vu que la production journalière serait de 72 m^3 . En supposant $22 \text{ h}^{(1)}$ de fonctionnement par jour on arrive à une moyenne de $72/22 = 3,3 \text{ m}^3/\text{h}$ de béton.

La cuve de dosage comme son nom l'indique, devra recevoir les différentes composantes du béton. (sauf l'agent moussant qui lui est directement versé dans le Malaxeur 2.). Ce qui nous intéresse, c'est sa capacité (m^3). Pour un débit $3,3 \text{ m}^3/\text{h}$, il est raisonnable de prendre une cuve d'un volume plus grand que $3,3 \text{ m}^3$. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que dans le béton cellulaire, il y a un important pourcentage d'air en volume. Nous choisirons une cuve de 4 m^3 . Le dosage se fera grâce à un système automatique commandant des balances.

iv) Malaxeurs (Réf 1-a).

Dans le choix d'un malaxeur il y a 3 groupes de facteurs déterminants dont il faut tenir compte :

- 1) - Facteurs caractéristiques des constituants (granulométrie, masses volumiques, viscosité, corrosion, abrasion, sensibilité aux agents climatiques etc...),
- 2) - Facteurs opérationnels tels que :

(1) Nous prévoyons en moyenne 2 heures d'arrêt par jour.

. La Capacité de l'installation détermine les dimensions du malaxeur, (mais il faut en même temps tenir compte de l'emplacement du malaxeur, c'est-à-dire l'espace qu'il occupera)

. L'efficacité de l'appareil: il devra assurer à tout moment la composition désirée.

. La Facilité d'entretien pour ne pas retarder la production.

. La température du mélange et la forme du produit final

. La chaleur due aux frottements au sein de la masse de matière, qui si elle est incontrôlée peut provoquer un changement d'état physique indésirable. (Il faut donc penser à l'éliminer si elle n'est pas nécessaire.)

3) - Facteurs dépendants du malaxeur :

. La puissance requise qui en fait dépend du mélange à effectuer. Il faut chercher à l'optimiser.

. Le temps de malaxage qui dépend de la Capacité et de l'efficacité du malaxeur et du travail demandé. Plus ce temps sera court mieux cela vaudra à condition bien sûr d'obtenir les propriétés désirées pour le mélange.

. L'adaptabilité à des conditions spéciales, la solidité des organes mécaniques.

- Nombre de malaxeurs

Nous avons besoin de 2 malaxeurs n°1 et n°2.

- * Le malaxeur n°1

Il servira à "l'homogénéisation" du sable provenant du crible, c'est-à-dire à la répartition uniforme des grains de sable de grosseurs différentes à travers la masse de sable.

- ** Le malaxeur n°2

Il reçoit le mélange de matières provenant de la cuve de dosage et l'agent moussant. Il a pour but de créer des bulles d'air dans la pâte, et d'homogénéiser celle-ci.

- Les appareils. (Ref. 1-a)

Les fabricants offrent toute une gamme de mélangeurs suivant le travail désiré.

* pour le malaxeur n°1, nous avons pensé au mélangeur à vis présenté dans Techniques de l'Ingénieur.

C'est une cuve cylindrique ou conique avec une vis d'Archimède verticale ou tout simplement inclinée le long de la paroi; Elle permet un mélange rapide. D'autre part ce type d'appareil peut être étanche à double enveloppe, travailler sous pression ou sous vide. En plus, il peut servir de trémie de stockage, surtout si le produit est

humide et a tendance à s'agglomérer.

Ses caractéristiques sont :

Capacité utile	:	1l à 10000l
Puissance	:	0,18 à 7kw
Vitesse	:	10 à 60t/mn
Temps de mélange	:	2 à 10mn.

Le remplissage se fait par la partie supérieure et la vidange par le bas.

Ces caractéristiques nous laisse un large choix :

Puisque notre crible a un débit de $8t/hm^2$, nous allons considérer une capacité utile de 6000l. En effet le volume de 8t de sable est $8/2.65 = 3m^3$.

Nous aurons en résumé :

Capacité utile	:	~ 6000l
Puissance	:	~ 5kw
Vitesse	:	~ 20t/mn
Temps de mélange	:	~ 3mn.

* Quant au malaxeur N°2, le choix du malaxeur mélangeur à double rotor convient. C'est un appareil constitué d'un récipient en forme d'auge avec 2 rotors

tournant en sens inverses et munis de pâles. La forme et l'inclinaison des pâles fait avancer ou reculer le produit. Ce type de mélangeur est intéressant dans la mesure où il peut être utilisé en continu ou en discontinu pour le malaxage de pâtes ou le mélange solide-liquide.

Les caractéristiques fournies par Technique de l'Ingénieur (Ref 1-4) sont les suivantes:

Débit	:	10 l/h à 10 000 l/h
Puissance	:	3,5 kW à 43 kW
Vitesse	:	120 à 25 t/mn.
Temps de malaxage	:	1 à 3 mn.

Pour nos besoins nous aurons:

Débit	:	~ 4000 l/h
Puissance	:	~ 8 kW
Vitesse	:	~ 45 t/mn
Temps de malaxage	:	~ 3 mn.

Pour ces valeurs nous nous sommes inspirés de la Ref 3, et des valeurs concernant la capacité de l'usine.

V) l'Autoclave. (Réf 3, Réf 4)

Après la fabrication du béton cellulaire, nous passons à l'opération de moulage. Une fois les moules prêts et remplis, on attend la prise du béton, pour procéder à la cure. La cure ou mûrissement, consiste à conserver le béton en atmosphère humide pour empêcher l'évaporation de l'eau de malaxage qui est nécessaire à la réaction d'hydratation. Il y a plusieurs méthodes de cure, mais nous ne retiendrons que l'autoclavage, car dans le cas des bétons cellulaires, c'est celle qui donne au produit ses meilleures caractéristiques: (Résistance à la compression, rapidité d'exploitation etc...). Cette opération se fait en présence de vapeur d'eau surchauffée (180°C et S à 10 kg/cm^2). Il nous faudra donc une source de vapeur surchauffée et sous pression et un système de contrôle pour respecter les conditions d'opération.

Evidemment l'autoclavage aura un coût élevé, mais étant donné qu'il donne au béton autoclavé ses meilleures caractéristiques techniques, nous n'y renoncerons que si les frais d'exploitation ne se justifient pas par des bénéfices nettement intéressants. L'opération dure de 16 à 20h.

- Capacité de l'autoclave.

Nous avons une production de 50t/j de béton cellulaire. En prenant 2 enceintes, nous devons avoir 25t par enceinte. Les moules seront introduits dans l'autoclave et y séjourneront grâce à des chariots recouverts d'une matière anticorrosive et pouvant résister à de fortes températures.

Les données.

Appelons q la capacité de chaque enceinte. ($q=25t$),

L la longueur de l'enceinte (L en m)

S sa section transversale (S en m^2)

V son volume (V en m^3)

D son diamètre (D en m)

f_m Linverse la capacité totale des chariots par m^3 d'enceinte (f_m en t/m^3)

alors : $V = LS = L \frac{\pi D^2}{4} = \frac{q}{f_m}$

Choisissons :

$L = 12m$ et $f_m = 3,2t/m^3$.

Les Calculs.

$$V = \frac{25}{3,2} = 7,8125 m^3 = L \frac{\pi D^2}{4} = 12 \times \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{125 \times 4}{12 \pi}}$$

$D = 3,64m$; $S = \frac{125}{12} = 10,42m^2$

Donc, nous aurons pour chaque autoclave :

$$L = 12 \text{ m}$$

$$l = 3,04 \text{ m}$$

$$S = 10,42 \text{ m}^2$$

$$V = 125 \text{ m}^3$$

le volume de béton qui sera introduit par enceinte sera :

$$\frac{25000}{700} = 35,71 \text{ m}^3 \text{ de béton.}$$

Les chariots occupent un certain volume: soit 10% du volume de béton. (Estimation pour illustrer.)

Le volume total occupé dans l'enceinte est alors de:

$$35,71 \times (1,1) = 39,28 \text{ m}^3.$$

Le volume disponible pour la vapeur est :

$$125 - 39,28 = 85,72 \text{ m}^3 \text{ par autoclave.}$$

La production de cette vapeur sera faite par une chaudière. (8 bars et 180°C).

3- Stockage et manutention.

a) Stockage.

Le stockage des produits finis se fera sur aire bétonnée couverte. On y maintiendra une température 20°C et une humidité relative de 65%. (Rq 3)

Quant à la quantité à stocker, il faudrait maintenir au moins l'équivalent d'un mois de production en stock en permanence. Toutefois, il faudrait prévoir de l'espace pour une extension éventuelle de l'usine.

La production journalière étant de 50t, pour un mois, nous aurons environ $50 \times 30 = 1500\text{t}$. qui représentent la capacité minimum de l'aire bétonnée couverte.

Pour la matière première, ce qui va surtout occuper de la place, c'est le sable de même que le ciment.

Pour le sable, nous pourrions le stocker entas, à même le sol et le recouvrir d'une bâche par exemple.

Le ciment doit être stocké et conservé sec, car toute absorption d'humidité affaiblit le ciment du point de vue résistance. Même en hangars secs, le ciment ensaché perd après 3 mois 15 à 20% et après 6 mois 20 à 30% de sa résistance. (Rq 2)

Un silo est donc nécessaire pour le ciment.

Nous devons pour le ciment et le sable avoir en stock de quoi fabriquer du béton pour au moins 3 jours.

Sable :

50t/j de béton $\Rightarrow 50 \times 3 = 150t$ de béton pour 3 jours.

150t béton pour 3 jours nous donnent pour le sable :

$$150 \times 0,53 = 79,5t \text{ de sable.}$$

En tenant compte des pertes on aura environ :

80t de sable en stock.

Ciment :

$$150 \times 0,36 = 54t$$

Pour le ciment un silo de 50 tonnes fera l'affaire soit en

$$\text{volume } \underline{50 / 3.1 = 16,13m^3}$$

D'autre part nous aurons besoin de trémies pour le sable et pour le ciment.

Le silo de ciment pourra faire en même temps office de trémie de ciment.

Le sable devra avoir une trémie pouvant contenir 80t soit en volume

$$\underline{80 / 2.65 = 30m^3}$$

On veillera à mettre côte à côte le stock de Matières premières et celui des produits finis, vers l'entrée principale pour les véhicules de transport.

b) Alimentation.

L'arrivée des matières premières et la livraison des commandes de béton se feront par CAMIONS de préférence au chemin de fer, pour éviter des impairs trop fréquents.

À l'intérieur même de l'usine nous aurons :

- des chariots élévateurs (puissance courante 2 à 3 kw)
pour charger et décharger les autoclaves par exemple.
- des convoyeurs (puissance courante 3 kw)

notamment pour transférer le sable entras, dans la trémie.
(convoyeur recouvert)

pour transférer le ciment de l'entrepôt à la trémie-silo.
(cette opération peut également se faire par pneumatique.)

pour retourner le trop-plein des moules dans le malaxeur
(c'est une opération de recyclage.)

- des chariots et des diables pour le transport jusqu'à dans l'autoclave des moules remplis.

- Un élévateur à godets pour le recyclage du sable refusé par le crible; sa consommation sera de 5 à 10% de celle du broyeur (soit 3 à 6 kw.).

- Nous utiliserons la gravité.

• Entre la trémie à sable et le broyeur, entre ce dernier et le crible

• Entre la trémie de ciment et la cuve de dosage.

• Entre le malaxeur n°1 et la cuve de dosage

• Entre la cuve de dosage et le malaxeur n°2.

• Entre le malaxeur n°2 et les moules.

Ajoutons que le malaxeur n°2 sera mobile sur rails pour remplir les moules.

IV - CONTRÔLE, ENTRETIEN & PERSONNEL

1. Contrôle de la qualité

Les qualités recherchées pour un bon béton sont les suivantes :

- La durabilité : résister donc aux agents chimiques et climatiques
- La résistance : il doit supporter avec succès les charges qu'on lui applique (compression, flexion)
- L'économie : (de matières et d'exploitation). C'est le dosage qui est en cause ici.

Pour respecter ces qualités, nous devons contrôler :

1°) La constitution qualitative du mélange.

2°) La fabrication.

* Constitution qualitative du mélange.

Il faut contrôler le sable à l'arrivée des carrières et à l'issue du triage. (humidité, granulométrie.)

Le ciment sera contrôlé pour la finesse, le taux d'humidité, la prise.

* * La fabrication

Le béton prêt à être moulé, on prélève des échantillons pour vérifier les qualités spécifiées par le spécialiste.

Le local du contrôle de la qualité subitera en même temps le laboratoire où l'on procédera continuellement à des dosages-essais qui nous permettront d'améliorer notre béton, car il faut s'attendre à ce que les dosages conseillés par les spécialistes, ne soient pas les meilleurs pour notre milieu.

b) Entretien

Le service d'entretien devra compter :

1°) Un atelier mécanique :

- 2 tours au moins , Une fraiseuse , 3 ou 4 postes de soudure , 3 ou 4 postes de perçage .
- Un espace pour la menuiserie .

Les hommes de l'atelier mécanique seront chargés de la lubrification des machines (Broyeur , crible, malaxeurs etc...) et de l'exécution de certains pièces de machine , du remplacement de pièces défectueuses etc...

2°) Un atelier électrique :

Avec tous les appareils de mesure nécessaires (Voltmètres, Wattmètres, ampèremètres etc...)

Un ou deux bancs d'essais pour moteurs .

3) Une équipe pour le nettoyage (malaxeurs, crible, broyeur etc...)

Le rôle du service d'entretien sera d'intervenir de façon rationnelle afin de :

- prévenir toute panne.
- Réagir efficacement pour remettre le processus en marche quand une panne accidentelle survient.

A ce service sera rattaché un magasin de pièces détachées telles que les roulements et les paliers, les arbres de transmission, les chaînes pour l'élévateur etc...

c) Le Personnel.

Comme personnel nous aurons besoin :

- d'ingénieurs civil et mécanicien
- des spécialistes en béton (techniciens ou autres...) pour le contrôle surtout,
- des mécaniciens et des électriciens
- des gestionnaires, des manoeuvres etc...

Au stade où nous sommes, nous ne pouvons qu'estimer l'effectif, car seule une étude approfondie peut nous guider objectivement.

Cependant, on peut penser que la production et l'entretien nécessiteront soixante dix à quatre vingt personnes.

En ajoutant les besoins des services administratifs on arrive facilement à une centaine de personnes pour l'effectif total.

V BILAN DE MATIERES & D'ENERGIE

a) Matières.

1°) Ciment

Nous avons dit que la production journalière serait de 50 t de béton. (72 m^3) et que le ciment représente en poids 36%. (8,1% en volume.) donc nous aurons :

$$\text{- par jour : } 50 \times 0,36 = \underline{18 \text{ t/j}} \quad \text{c'est à dire}$$

$$72 \times 0,081 = \underline{5,8 \text{ m}^3/\text{j}}$$

$$\text{- par an : (nous travaillons } 300 \text{ j/an.)}$$

$$18 \times 300 = \underline{5400 \text{ t/an}} \quad \text{c'est - à dire :}$$

$$5,8 \times 300 = \underline{1740 \text{ m}^3/\text{an}}$$

Mais ces chiffres ne tiennent pas compte des pertes qui se produisent lors du transport et de l'utilisation. Si on les estime à 5% il nous faudra en réalité.

$$5400 \times 1,05 = \underline{5670 \text{ t/an}}$$

$$\text{soit } 1740 \times 1,05 = \underline{1827 \text{ m}^3/\text{an}}$$

2°) Sable:

Il représente 53% en poids (et 14% en volume) dans le béton. Et on a :

$$\text{- par jour : } 50 \times 0,53 = \underline{26,5 \text{ t/j}} \quad (\text{soit } 10 \text{ m}^3/\text{j})$$

- par an :

$$26,5 \times 300 = \underline{7950t/an}$$

$$\text{soit } 10 \times 300 = \underline{3000m^3/an}$$

En tenant compte des pertes estimées à 5% on a :

$$1,05 \times 7950 = \underline{8348t/an}$$

$$1,05 \times 3000 = \underline{3150m^3/an}$$

3°) Béton :

$$- \text{par jour} : 50t/j \quad (72m^3/j)$$

$$- \text{par an} : 50 \times 300 = \underline{15000t/an} \quad (21600m^3/an)$$

4°) Eau :

le tableau du dosage donne $250l/m^3$ de béton. Cela

fait :

$$- \text{par jour} : 250 \times 72 = 18000l/j \equiv \underline{18m^3/j}$$

$$- \text{par an} : 300 \times 18000 = 54 \cdot 10^5 l/an \equiv \underline{5400m^3/an}$$

Ce chiffre ne tient pas compte de l'utilisation diversifiée faite un peu partout dans l'usine : lavage des moules, l'alimentation de la chaudière, les services généraux etc...

Comme matières nous aurons aussi de la graisse, de l'huile (pour la lubrification), les adjuvants etc...

b) Energie.1°) Electricité.

Elle sera utilisée en grande partie pour les activités suivantes:

- Eclairage des différents locaux
- criblage
- Entraînement des tapis roulants et l'élévateur à godets.
- l'Entretien notamment les machines outils.

Voici une récapitulation des puissances de quelques machines:

Appareils	Puissance (kw)	Vitesse (t/mn)	Capacité ou débit
Broyeur	66	-	3 t/h.
crible	3 à 4	-	8 t/h m ²
Malaxeurs	1	5	20
	2	8	4-5
Elévateur	2 à 3	-	-
Tapis	~ 3	-	-

2°) Fuel, coques d'arachides

La chaudière pourra marcher au fuel, mais la coque d'arachide peut bien le remplacer. Il faudrait faire une recherche du

pouvoir calorifique, comparer ce dernier avec celui du fuel relativement au coût de la kcal.

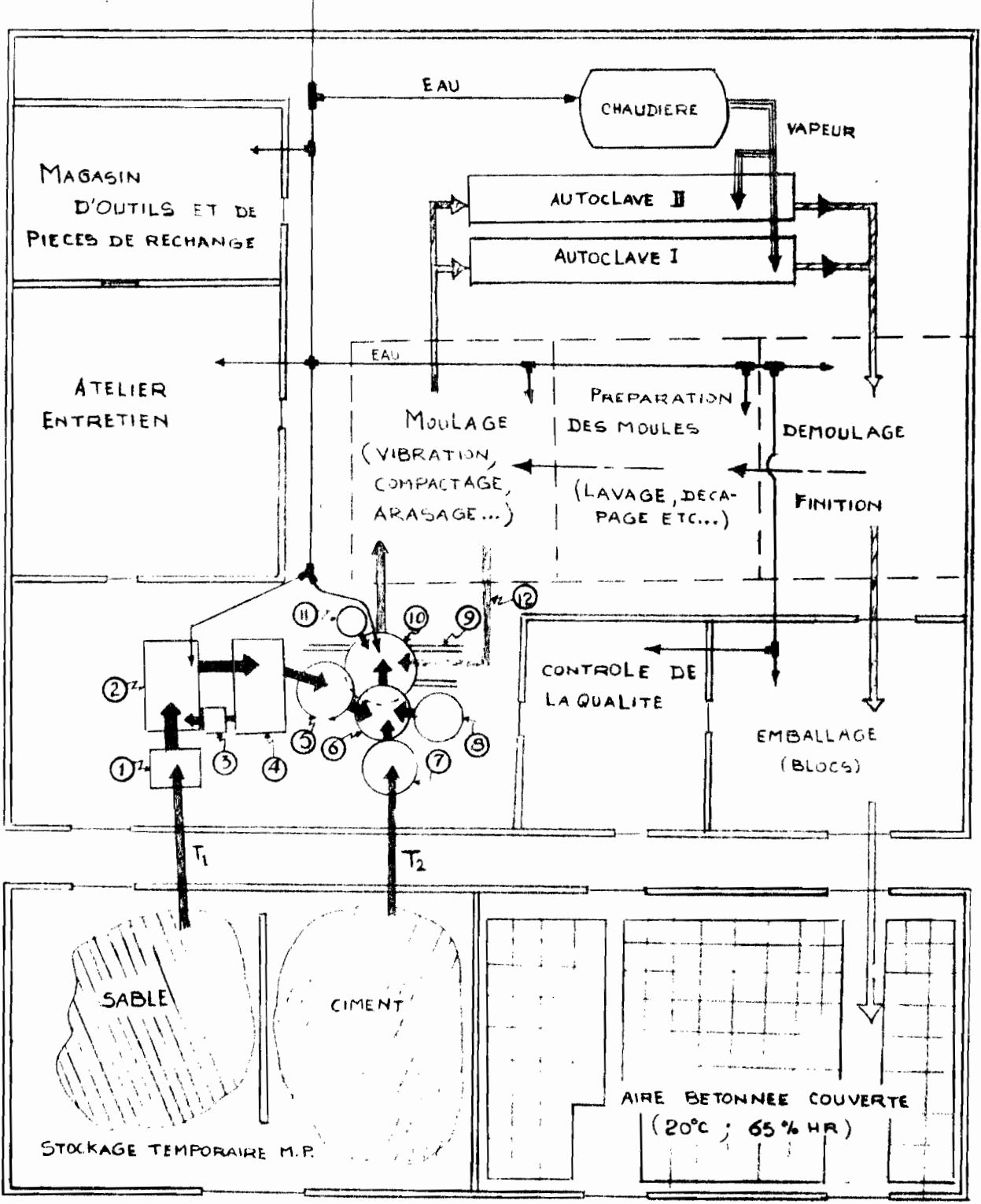
VI - ORGANISATION DE L'ESPACE.

FLOW-SHEET

Une bonne Organisation de l'espace peut nous permettre d'éviter des dépenses importantes dans l'exploitation de notre usine et faciliter une éventuelle extension de cette dernière.

Cette organisation doit tenir compte de la proximité nécessaire de certains locaux, de la circulation des matières premières et du produit fini, à l'intérieur et à l'extérieur de l'usine. Elle devra donc se faire de façon à minimiser les transports, tout en laissant assez d'espace pour l'évolution des personnes et des machines telles que les chariots élévateurs par exemple.

Notre installation se fera à deux niveaux si possible; elle devra tenir compte également du bruit des machines et des températures élevées afin d'éviter des conditions de travail pénibles. Elle permettra dans la mesure du possible, un éclairage naturel favorable pendant le jour.



ORGANISATION DE L'ESPACE
FLOW-SHEET

VII - CONCLUSIONS - DISCUSSIONS

Dans l'élaboration d'un projet sur l'implantation d'une usine quelconque, il va sans dire qu'il faut une connaissance approfondie de la situation économique du milieu, être en contact avec des usines du même genre déjà existantes, profiter de leur expérience pour éviter leurs erreurs et arriver ainsi à une meilleure exploitation. Comme souligné dans l'introduction, il faut des moyens et du temps pour cela. Aussi dans notre cas, seule une recherche bibliographique a pu être faite.

On doit s'attendre lors d'un projet, à se heurter à l'obstacle de la cueillette des données, leur triage et leur bonne utilisation.

La réalisation d'une usine de béton cellulaire permettrait :

- La production d'un béton très économique.
- La recherche sur le produit afin de l'adapter au mieux à notre milieu. On se baserait sur la qualité des Constituants disponibles pour mieux réaliser de bons dosages, au lieu de continuer avec les dosages utilisés ailleurs, aveuglément; peut-être arriverait-on d'une usine dont le

produit répondrait aux exigences du pays.

- La création de quatre vingt à cent postes de travail (à ses débuts et beaucoup plus au fur et à mesure de son extension), ce qui est une contribution non négligeable dans la lutte contre le chômage.

Les calculs qui ont été faits se rapportent à une petite usine, mais cela se justifie: Le béton cellulaire autoclavé n'étant pas répandu chez nous, on devrait l'introduire avec prudence et en prévoir l'extension pour les années à venir, lorsqu'on l'aura totalement adapté à nos conditions économiques.

L'équipement peut être simple, facile à entretenir et moderne.

Le sable de cambérène est à étudier; quant au ciment on s'adresserait à la SOCOIM. L'emplacement dans la Zone Franche Industrielle est aussi une proposition à étudier.

ANNEXES

ANNEXE 1

(courbes et tables)

LES BÉTONS CELLULAIRES

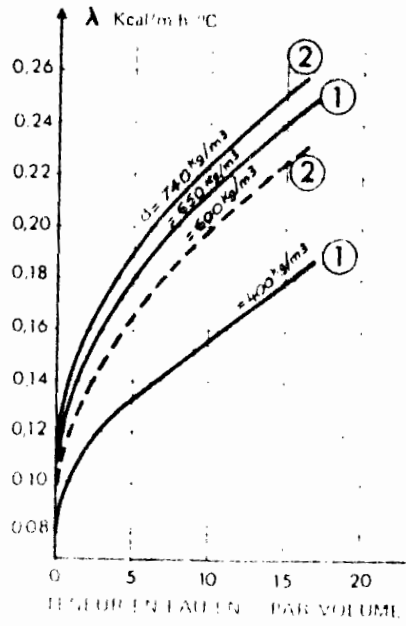


Fig. 4.1. Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en eau pour différents bétons cellulaires (d'après Jespersen) [17].

- 1. Béton cellulaire autoclave.
- 2. Béton cellulaire non autoclave.

tire de réf 3

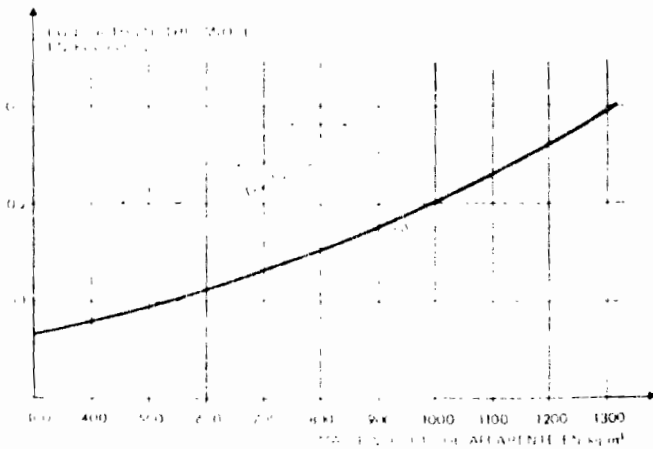
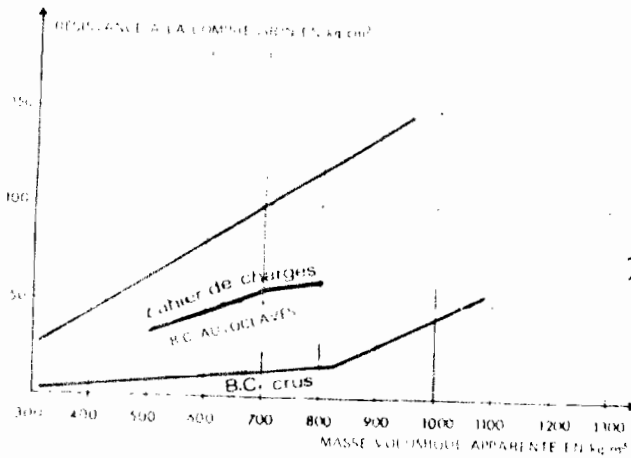


Fig. 4.3. Variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique apparente des bétons cellulaires.



tiré de
ref 3.

Fig. 4.6. — Variation de la résistance à la compression des bétons cellulaires en fonction de leur masse volumique apparente.

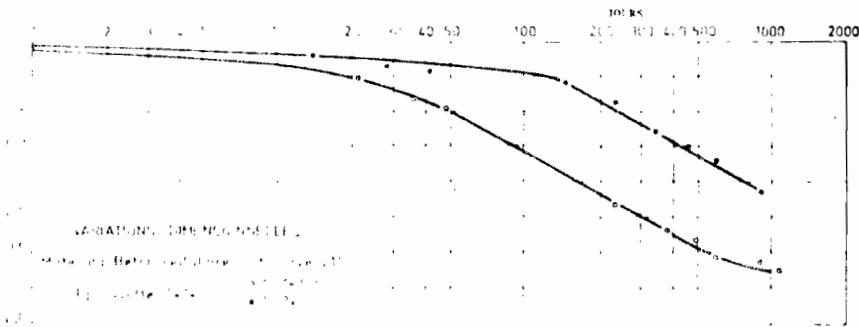
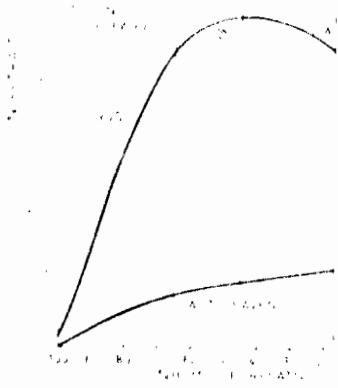


Fig. 4.9. — Retraits d'éprouvettes de béton cellulaire autoclavé en fonction du temps pour différentes conservations.

(Doc. « C.S.T.B. »)



(tiré de ref 3)

Fig. 4.10. — Relation donnant les valeurs du retrait en fonction de l'importance de l'humidité relative des bétons cellulaires crus et autoclavés [87].

(Doc. « Short et Kinniburgh. »)

TABLEAU 4.2 — Productions des principaux fabricants Européens
de bétons cellulaires autoclavés.

Fabricants Pays producteurs	SIPOREX (année 1971)		DUROX (année 1971)		Y-TONG (année 1970)		HEBEL (année 1971)		Totaux approximatifs	
	nombre usines	production m ³ /an	nombre usines	production m ³ /an	nombre usines	production m ³ /an	nombre usines	production m ³ /an	nombre usines	production m ³ /an
Algérie	1 (1)	120 000							1	120 000
Allemagne (R.D.A.)							1 (2)	320 000	1	320 000
Allemagne (R.F.A.)	3	400 000			10	1 240 000	4 -- 1 (2)	716 000	18	2 356 000
Belgique	1	150 000			1	350 000			2	500 000
Canada	1	80 000							1	80 000
Chine	1	120 000							1	120 000
Cuba	1	40 000							1	40 000
Danemark	1	100 000							1	100 000
Espagne					4	200 000			4	200 000
Finlande	2	300 000							2	300 000
France	1	150 000	1 (1)	300 000					3	750 000
Grande-Bretagne	1	80 000			7	760 000			8	840 000
Hollande			3	1 000 000					3	1 000 000
Inde	1	80 000							1	80 000
Japon	2	200 000	1 -- 1 (2)	600 000	1	80 000	2 (2) -- 1 (1)	660 000	8	1 640 000
Mexique	1	50 000							1	50 000
Norvège					1	110 000			1	110 000
Pologne	1	100 000							3	400 000
Roumanie							2 (2) -- 2 (2)	1 040 000	4	1 040 000
Suède	1	100 000			6	770 000			10	1 370 000
Suisse	1	50 000							1	50 000
Tchécoslovaquie	1	90 000							1	90 000
Turquie					1	90 000			1	90 000
U. S.-Africaine							1 (2)	120 000	1	120 000
Yougoslavie	2	200 000							2	200 000
TOTAUX	29	3 620 000	6	1 900 000	31	3 600 000	14	2 850 000	80	11 976 000

(1) Usine en construction.

(2) Usine licenciée.

tiré de ref 3).

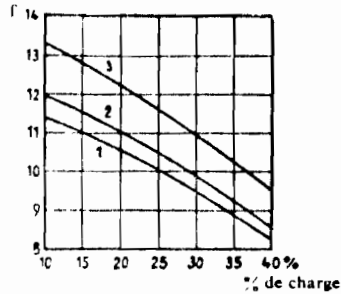
La consommation d'énergie d'un tube broyeur sans cloisonnements se calcule d'après la formule suivante :

$$N = f \cdot \frac{Q}{1000} \cdot \sqrt{D} \quad \text{en CV}$$

$$f = \frac{Q}{1000} \cdot \sqrt{D} \cdot 0,736 \quad \text{en kW}$$

- où f = facteur d'énergie selon la figure 17
 Q = Kgs de corps broyants
 D = diamètre intérieur du broyeur en m

tiré de ref 2) →



- 1 petits boulets ou cylpebs
 2 gros boulets
 3 silice

Fig. 17. Facteur d'énergie «f» en fonction du degré de remplissage.

Table pour broyeurs en circuit fermé travaillant avec élévateur et séparateur à force centrifuge

Tube broyeur		Intérieur		Charge en boulets d'acier		Consommation d'énergie			
long	volume	section	%		broyeur		séparateur et élévateur		
m	m³	m²	t	%	cv	kW	cv	kW	
1,0	2,0	1,22	0,66	1,7	31	15	11	4	3,0
1,2	2,5	2,25	0,98	3,2	↑	31	23	5	3,7
1,4	2,75	3,45	1,37	5,0		51	39	8	5,9
1,6	3,0	5,00	1,82	7,5		85	62	10	7,3
1,8	3,5	7,55	2,32	11,0		134	99	12	10,0
2,0	3,0	7,95	2,87	12,0		154	115	14	11,0
	4,0	10,80		16,0		205	150	16	12,0
2,2	3,5	11,50	3,50	17,0		210	170	17	12,5
	4,5	15,00		22,2		300	220	18	13,5
2,4	4,0	15,60	4,15	23,2		330	245	20	15,0
	5,0	19,80		29,5		415	305	22	16,0
2,6	5,0	23,50	4,90	35,0		520	380	26	19,0
	6,0	28,50		42,2		620	455	30	22,0
2,8	6,0	34,50	5,75	51,3		825	605	40	29,5
	7,0	40,30		60,3	33	965	710	50	37,0

*) Deduction faite des parois et du blindage.

5,222. Capacité estimée : elle est donnée par la formule :

$$C = Q \times R \times E \times \Delta \times H \times F \times N \times A \times I$$

Les facteurs de correction sont les quatre facteurs R, E, Δ et H (tableau II) et, en outre, les quatre facteurs F, I, N et A ci-après.

Tableau I. — Capacités de base Q de tamis et grilles.

Tamis N°	AFNOR Module	Ouverture de maille mm	Diamètre de fil mm	Vides %	Tonnage Q reçu par m² et par heure t
		100	20	70	110
		80	16	70	100
		70	12	72	95
		60	12	70	85
		50	11	70	80
		45	10	68	78
		40	8	68	75
		35	6	72	72
		30	6	70	70
		25	5	67	66
		20	4	69	60
		15	4	62	55
		12	4	56	50
		8	2,5	56	40
	38	5	2,2	48	36
4	37	4	2	44	18
6		3	1,6	43	16
8	34	2	1,25	38	14
10		1,5	1	36	9
16	31	1	0,8	30	6
20		0,75	0,6	30	4
24		0,6	0,5	30	2
30	28	0,5	0,4	30	1,2
36	27	0,4	0,35	28	0,5
48		0,3	0,25	20	0,25
80	24	0,2	0,15	32	0,10
100		0,15	0,12	30	0,10

pour pierres ou minerais concasés normaux, appliquer F = 0,85
 pour produits de forme très irrégulière, appliquer F = 0,70
 pour cribles horizontaux, appliquer le coefficient de réduction 0,8

tiré de 1-b)

Tableau II. — Facteurs de correction de la capacité de base.

Pourcentage	Facteur de refus R	Facteur de l'efficacité de criblage E	Facteur de la demi-dimension Δ	Facteur d'humidité H
1 - 4				1,0
5				0,8
6				0,5
8				0,4
9				0,3
10	1,4		0,4	0,2
20	1,3		0,6	0 (1)
30	1,2		0,8	0 (1)
40	1,1		1,0	1,0
50	1,0	2,0	1,2	1,1
60	0,9	1,8	1,4	1,2
70	0,8	1,6	1,6	1,25
80	0,7	1,4	1,8	
90	0,6	1,2	2,0	
92	0,50	1,0		
94	0,44	0,8		
96	0,35	0,7		
98	0,2	0,6		

(1) Pratiquement non criblable.

Pour cribles à plusieurs claies superposées, appliquer

- N = 1 sur la 1^{re} claie
- N = 0,9 sur la 2^e claie
- N = 0,8 sur la 3^e claie
- N = 0,7 sur la 4^e claie

Pour les cribles arrosés, appliquer les facteurs correctifs

- A₅ = 3,5 sur mailles de 5 mm
- A₄ = 3 sur mailles de 4 ou 8 mm
- A = 2,5 sur mailles de 3 ou 10 mm
- A₂ = 1,75 sur mailles de 2 ou 15 mm
- A₁ = 1,5 sur mailles de 20 mm
- A = 1,25 sur mailles de 30 mm
- A = 1 au-delà de 30 mm ou en dessous de 1 mm.

5,223. Exemple : criblage à sec par crible vibrant horizontal à la maille de 20 mm placée en 2^e position (crible à 3 claies) de sable et gravier à 6% d'eau répondant à l'analyse granulométrique ci-après :

- 0-10 mm = 30 %
- 10-20 mm = 30 %
- 20-40 mm = 20 %

Efficacité de criblage désirée R₁ = 95 %.

Le tableau I indique que pour la maille de 20, on peut recevoir 60 t par m² et par heure, d'où Q = 60. Puisqu'on veut cribler à 20, le refus est composé des morceaux > 20 mm ; le tout-venant donné en contient 20 % ; le tableau II, en face de 20 (colonne 1), donne le facteur des refus R = 1,3. On désire une efficacité de criblage de 95 % ; le tableau II par interpolation entre 94 et 96 (colonne 1) donne E = 0,75. La dimension de la maille est 20 ; la demi-dimension est donc 10 ; les données de l'exemple disent qu'il y a, dans le tout-venant, 30 % de morceaux < 10 mm ; le tableau II donne en face de 30 (colonne 1) : Δ = 1,2. Et, enfin, l'humidité du tout-venant est de 6 % ; le tableau II, en face de 6 (colonne 1) donne un facteur d'humidité H = 0,5. Nous avons également les facteurs de correction :

- F = 1 (gravier)
- N = 0,9 (2^e claie)
- A = 1 (pas d'arrosage)
- I = 0,8 (crible horizontal)

On déduit alors que, pour le tout-venant considéré, la capacité d'alimentation du crible, en t/m².h sera :

$$C = 60 \times 1,3 \times 0,75 \times 1,2 \times 0,5 \times 0,9 \times 0,8 = 25,3$$

dont les 80 %, avec 95 % de rendement, c'est-à-dire les 76 %, soit environ 20 t/h doivent constituer le passé.

Tableau IV. — Choix du mélangeur selon l'utilisation.

(Ref 1-a)

Mélangeur	Emploi												
	Mélange de poudres sèches	Poudre abrasive	Poudre pharmaceutique	Humidification	Plastification	Broyage	Granulation	Mélange de produit fragile ou friable	Mélange à réaction avec un gaz	Encrobage	Mélange avec grand écart de quantité	Mélange avec grand écart de granulométrie	Mélange avec grand écart de densité
Mélangeur à rubans	+	(+	+				±				+
Mélangeur à vis	+			+	+							±	+
Mélangeur à couteaux	+			+								+	+
Mélangeur à rotor	+			+			±		±		+		+
Mélangeur double cuve	+	+	+	+				+	+	+		+	
Mélangeur V parallèle à l'axe de rotation	+	+	+	+				+	+	+		+	
Mélangeur V perpendiculaire à l'axe de rotation	+	+	+	+				+	+	+	±	+	
Mélangeur à tambour	+	+	+	+			+	+	+	+		+	
Mélangeur planétaire à galets	+					+		(+	+
Mélangeur à bol	±		+	+			+	+					
Broyeur à marteaux	±					+						+	+
Broyeur à boulets	±			+		+						+	+
Mélangeur à turbine continu	±			±	±	±			±		±		+
Mélangeur à turbine discontinu	+		±	+	+	±			+		+		+
Mélangeur à lit fluidisé	+								+		±		

ANNEXE 2

(sketches, photos)

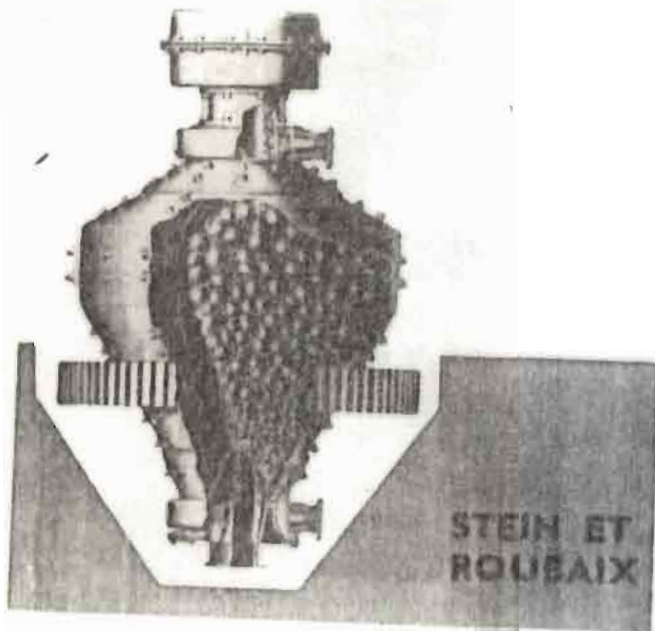
58 b

BROYEUR

"HARDINGE" - Vue perspective en coupe montrant le classement des boulets.

HARDINGE grinder - Perspective cross-sectional view showing ball sorting.

Molino HARDINGE - Vista de una sección en perspectiva, en la cual se aprecia la clasificación de las bolas.



tiré de la
Ref 12

CRIBLE VIBRANT

Production horaire :	Mailles	m ³
	5 mm	4,5 à 30
	10 mm	8,5 à 50
	20 mm	15 à 90

Vibrating screen - Hourly output:

Mesh	m ³
5 mm	4,5 to 30
10 mm	8,5 to 50
20 mm	15 to 90

Criba vibrante - Producción horaria

Malla	m ³
5 mm	4,5 to 30
10 mm	8,5 to 50
20 mm	15 to 90

CRIBLE VIBRANT

"ROL" à vibration réglable - Pas de trépidations transmises aux appuis, grâce à la suspension par câbles et forts ressorts - Pour conditionnement de : sables, cailloux, plâtres, charbons, etc.

"ROL" vibrating screen with adjustable vibration - no jerks on the bearings thanks to the cable and strong spring suspension for handling sand, pebbles, plaster, coals, etc.

Criba vibrante "ROL" de vibración graduable - Las trepidaciones no son transmitidas a los soportes, debido a la suspensión por cables y potentes resortes - Destinada al acondicionamiento de : arena, piedra, yesos, carbones, etc.

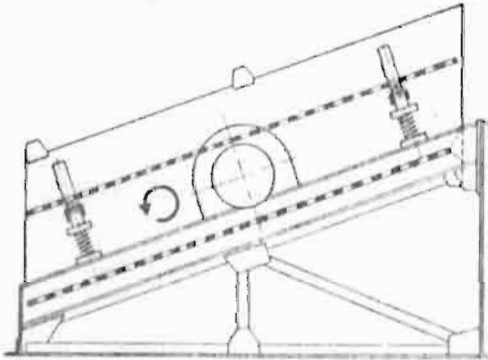
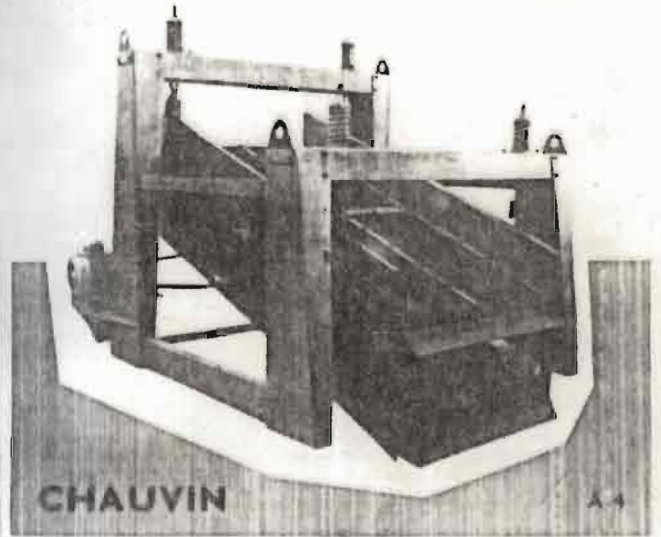
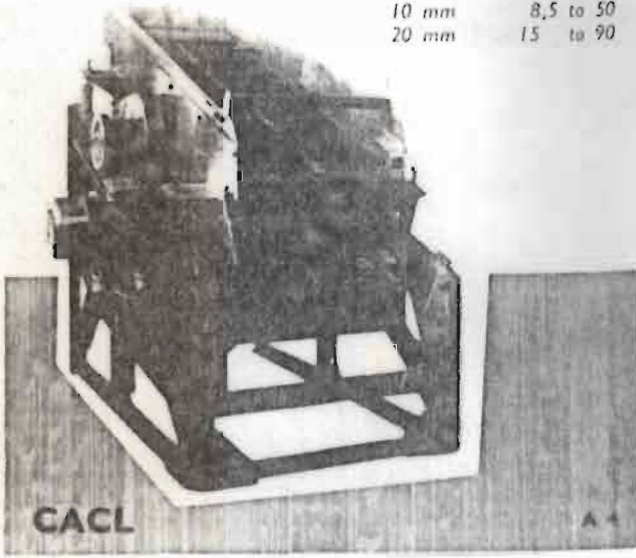
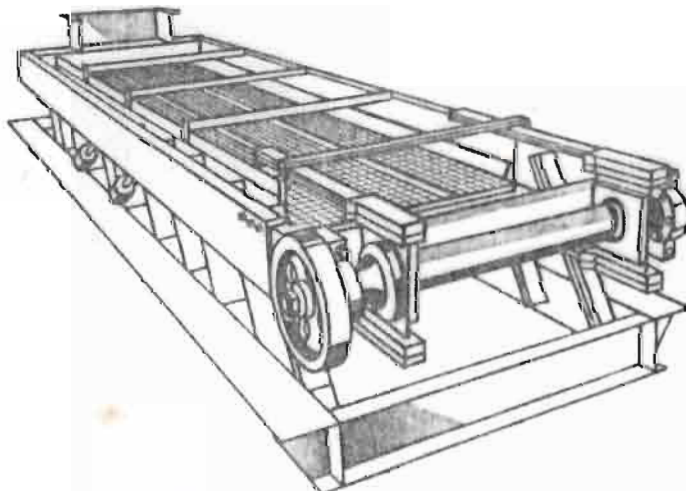


Fig. 8. — Crible vibrant incliné, à commande par excentrique.

↑ tiré de la ref 12



← tiré de la ref 1-a.

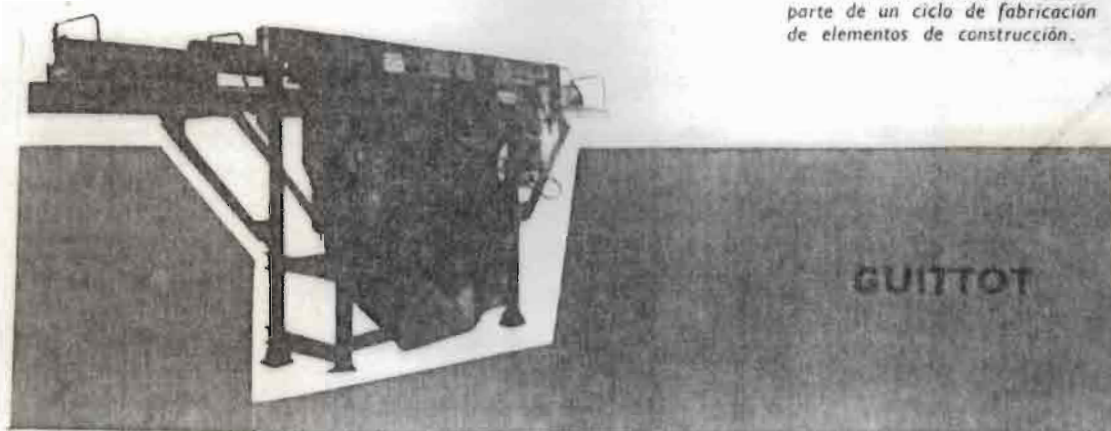
Fig. 9. — Crible vibrant horizontal à commande par excentrique.

ENSEMBLE DE DOSAGE

volumétrique, pour sable et gravier, automatique, entrant dans un cycle de fabrication d'éléments de construction.

Automatic volume proportioning unit for sand and gravel, comprised in a manufacturing line for building elements.

Conjunto de dosificación volumétrica para arena y gravilla, tipo automático. Este conjunto forma parte de un ciclo de fabricación de elementos de construcción.



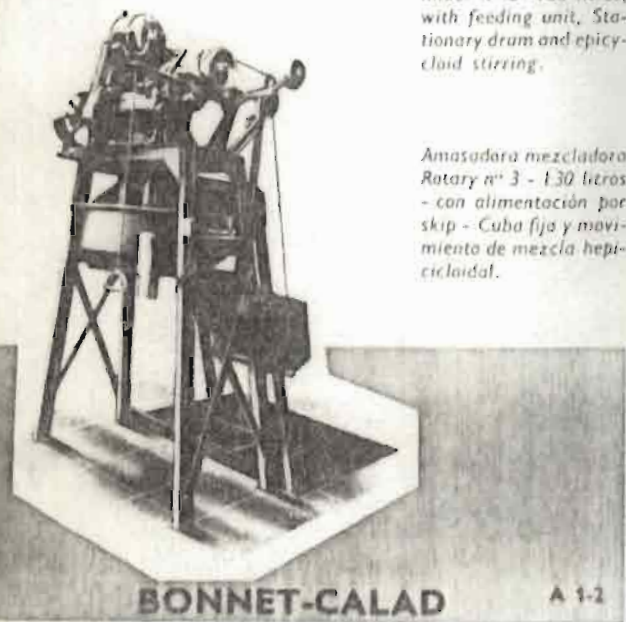
tiré de la réf 12

MALAXEUR-MÉLANGEUR

Rotary n° 3 - 130 litres - avec alimentation - Cuve fixe et mouvement de brassage épicycloïdal.

Rotary malaxator-mixer n° 3 - 130 litres, with feeding unit, Stationary drum and epicycloïd stirring.

Amasadora mezcladora Rotary n° 3 - 130 litros - con alimentación por skip - Cuba fija y movimiento de mezcla hepicycloïdal.



MÉLANGEUR

à poudre et à liquides jusqu'à 4.000 litres - Malaxeur à pâte jusqu'à 2.400 litres.

Powder and liquid mixer, up to 4,000 litres - Paste malaxator up to 2,400 litres.

Amasadora para polvo y líquidos hasta 4.000 litros - Mezcladora para pasta hasta 2.400 litros.

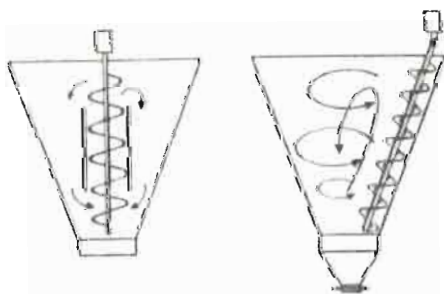
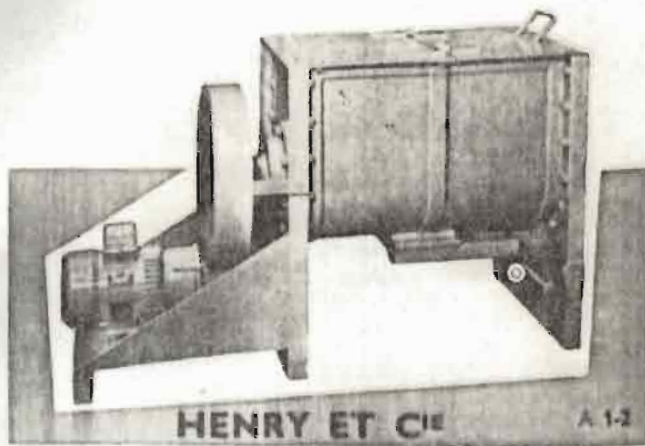


Fig. 4. -- Mélangeur à vis.

Tiré de la ref

1-a

tiré de la réf 3

4.5. — UTILISATION ET MISE EN ŒUVRE
DES BÉTONS CELLULAIRES (fig. 4.12) [87]

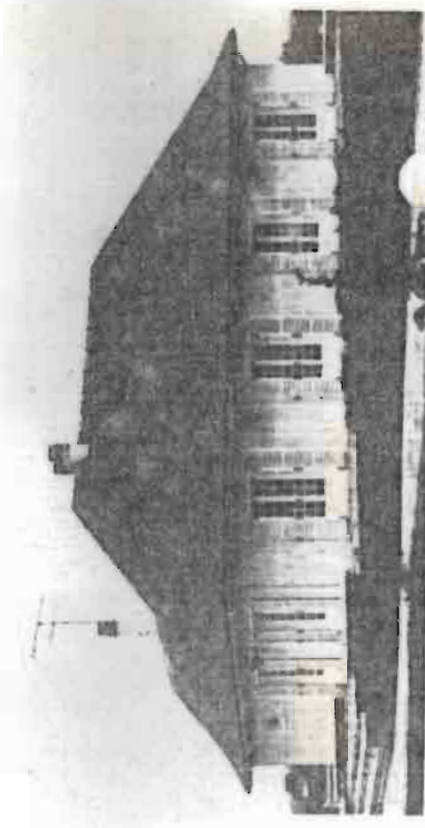


Fig. 4.12. — Exemple de maison individuelle réalisée en béton cellulaire « Siporex » (« Le Chalet Idéal »).

RÉFÉRENCES

- 1 - * TECHNIQUES DE L'INGENIEUR
 - 1-a) J2 (p J1840-1 à J1840-10 et de J1850-1 à J1850-6)
 - 1-b) A4 (p. A901-1 à A901-12 et de A904-1 à A904-10)
- 2 - * OTTO LABAHN : Memento de l'ingénieur en cimenterie, 3^e édition, 1964 (Eyrolles)
p 73 à 93 et p 111 à 125
- 3 - * P. CORMON : Bétons légers d'aujourd'hui
Editions Eyrolles 1973, collection UTI
- 4 - * AL. STEPOUE : Durabilité du béton, 2^e édition (Eyrolles) 1970, P 125 à 134
- 5 * C. PHILIP & C. PROCUREUR : Guide pour la Conception d'une usine, Editions Eyrolles, Editions d'Organisation (2^e) 1972
- 6 - * M. VENUAT & M. PAPADAKIS : Contrôle et essais des ciments, mortiers, bétons. Editions Eyrolles 1961 ; p 381 à 386
- 7 - * M. PAPADAKIS & M. VENUAT : Manuel du Laboratoire d'essais des ciments, mortiers, bétons. Editions Eyrolles 1969

- 8- * G. BAUD : Le bâtiment ; Editions SPES, Lausanne
collection DUNOD p 299-348
- 9- * PEURIFOY : Construction planning, Equipment
and methods. Mc Graw-Hill 2^e
édition
- 10- * ATR (Association Québécoise des Techniques
Routières) : Technologie du béton.
1967
- 11- * PORTLAND CEMENT ASSOCIATION :
Dosage et contrôle des mélanges
de bétons (Edition métrique 1978)
- 12- * MTPS (syndicat National des industries d'équi-
pement - Manutention, Travaux
publics, Siderurgie) ;
Les matériels français