



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

LA FABRICATION ET L'EMPLOI DU CIMENT PORTLAND

Rapport du séminaire interrégional
organisé à Holte (Danemark)
du 7 au 20 mai 1972

avec un résumé des communications

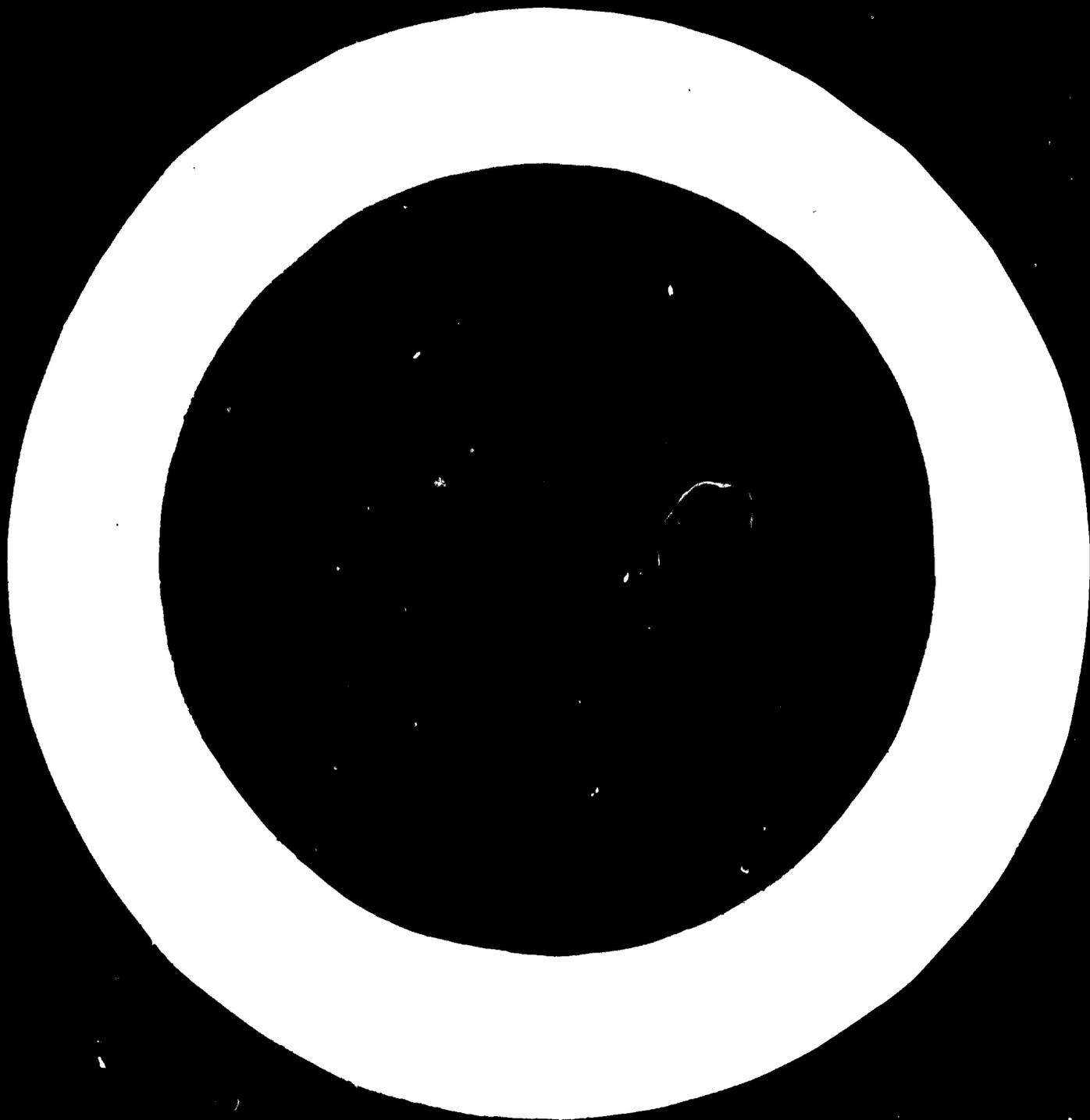


NATIONS UNIES

(32 p.)



**LA FABRICATION
ET L'EMPLOI
DU CIMENT PORTLAND**



ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL
Vienne

LA FABRICATION ET L'EMPLOI DU CIMENT PORTLAND

*Rapport du séminaire interrégional
organisé à Holte (Danemark)
du 7 au 20 mai 1972*

avec un résumé des communications



NATIONS UNIES
New York, 1973

La reproduction, en tout ou en partie, du texte de la présente publication est autorisée. L'Organisation souhaiterait qu'en pareil cas il soit fait mention de la source et que lui soit communiqué un exemplaire de l'ouvrage où sera reproduit l'extrait cité.

ID/97
(ID/WG.125/8/Rev.1)

PUBLICATION DES NATIONS UNIES
Numéro de vente: F.72.II.B.32
Prix: 1 dollar des Etats-Unis
(ou l'équivalent en monnaie du pays)

TABLE DES MATIERES

	<i>Page</i>
<i>Introduction</i>	1
<i>Première partie</i>	
RAPPORT DU SEMINAIRE	
Résumé des débats	3
Conclusions	7
Recommandations	8
<i>Deuxième partie</i>	
RESUMES DES COMMUNICATIONS	
Evolution des industries du ciment et du béton	
J. K. Rasmusen	10
Planification de la construction et de l'agrandissement des cimenteries	
H. Carlsen	11
Fabrication, propriétés et emplois du ciment portland	
T. Enkegaard	13
Produits et industries basés sur le ciment portland	
G. Idorn	13
Technologie du béton	
P. Nepper Christensen	15
Agrégats naturels et artificiels pour la fabrication du béton	
P. Christensen	16
Béton prémélangé	
S. Lund	17
L'industrie du béton: parpaings, construction par éléments, tuyaux et produits divers	
J. Fuglsang	18
Le fibrociment	
K. Thiele	18
Méthodes industrielles de construction	
P. Snabe	20
L'industrie du ciment portland et ses rapports avec les secteurs du bâtiment et des travaux publics	
C. Bang-Petersen	21
<i>Annexe</i>	
Description des usines visitées	23

Notes explicatives

Le terme "tonne" s'entend de la tonne métrique et le terme "dollar" du dollar des Etats-Unis d'Amérique.

Les abréviations suivantes ont été utilisées dans la présente publication:

- ASTM : American Society for Testing Materials
(Association américaine pour les essais de matériaux)**
- ISO : Organisation internationale de normalisation**
- PNUD : Programme des Nations Unies pour le développement**

Introduction

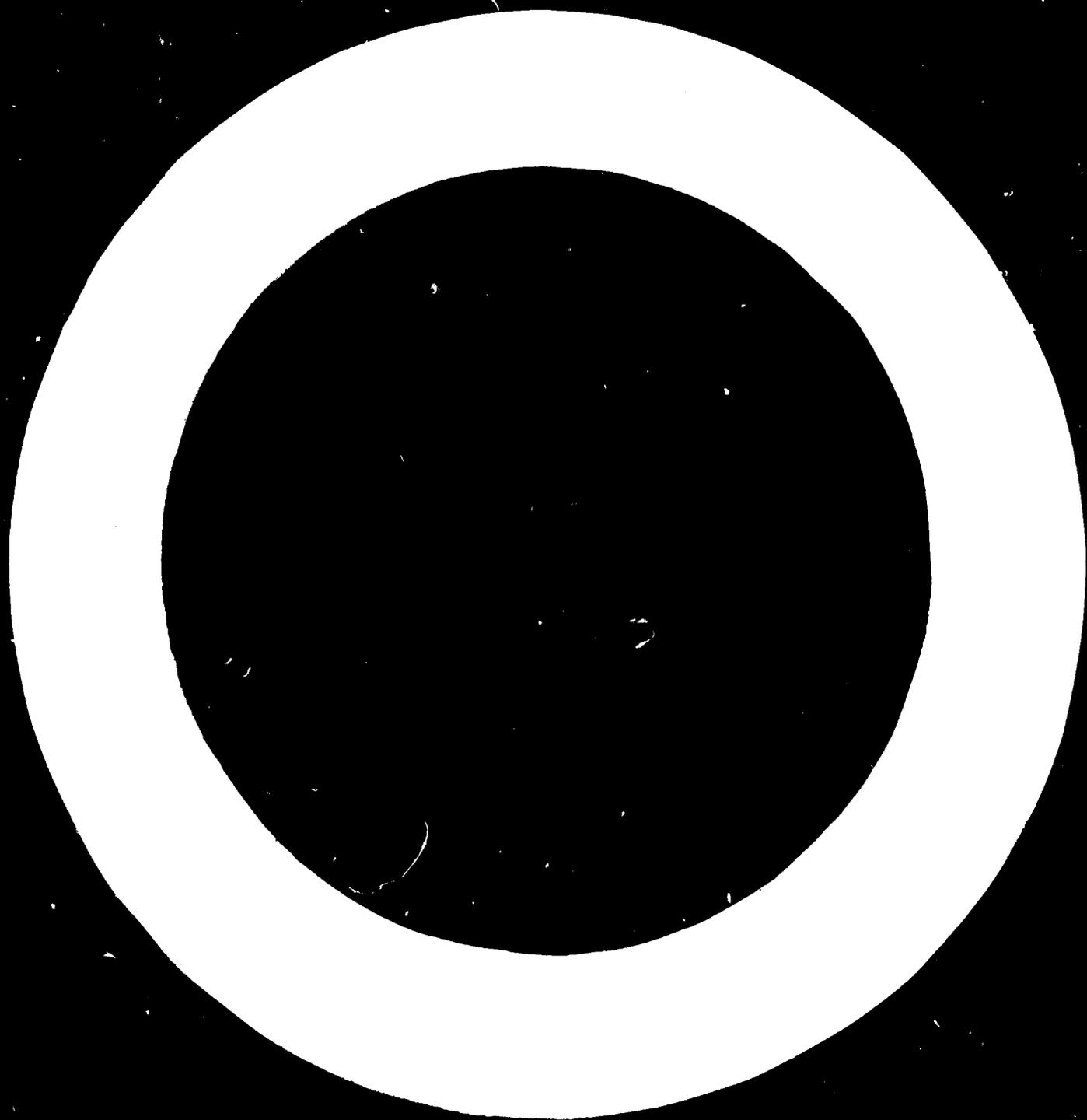
Le Séminaire interrégional sur la fabrication et l'emploi du ciment portland¹ a eu lieu à Holte (Danemark) du 7 au 20 mai 1972 sous les auspices de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI) et de l'Office danois pour le développement international (DANIDA).

Cette réunion a permis un échange de renseignements techniques sur les industries du ciment et du béton. Les participants ont étudié les possibilités d'emploi du ciment comme produit industriel et comme matériau de base pour d'autres industries. Parallèlement à ce séminaire, des entretiens ont eu lieu entre les participants et des représentants d'entreprises industrielles et de bureaux d'études. Ont assisté au séminaire 25 participants et observateurs de pays d'Afrique, d'Asie, d'Amérique latine et du Moyen-Orient, ainsi que 30 représentants d'entreprises industrielles. Outre les exposés, des documents ont été présentés par des participants venus des pays suivants: Arabie Saoudite, Argentine, Bolivie, Brésil, Egypte, Inde, Indonésie, Irak, Maurice, Mexique, Ouganda, Pérou, République arabe libyenne, République arabe syrienne, République-Unie de Tanzanie, Soudan, Tunisie, Union des Républiques socialistes soviétiques et Zaïre.

Le Séminaire avait pour directeur M. S. A. Koch-Petersen, du DANIDA et pour codirecteurs M. H. C. Alsted Nielsen, du DANIDA, M. C. Rydeng de la Division de la technologie industrielle de l'ONUDI, et M. Q. Tran-Le, de la Division des politiques et de la programmation industrielles de l'ONUDI.

Les participants ont visité une cimenterie, une usine de fibrociment, une installation de production de béton prémélangé, des usines d'éléments préfabriqués et des installations de production d'agrégat et de matériaux de base.

¹Ce séminaire faisait suite au Séminaire interrégional sur l'industrie du ciment, organisé au Danemark du 2 au 16 mai 1964 (voir le document ST/TAO/SER.C/71).



Première partie

RAPPORT DU SEMINAIRE

RESUME DES DEBATS

Développement et planification

Les participants ont reconnu qu'une solide industrie du ciment et des produits à base de ciment peut jouer un rôle important sur le plan économique et social. Mais l'implantation de ces entreprises à fort coefficient de capital est une étape difficile de l'industrialisation et les gouvernements doivent leur accorder une priorité et un soutien particuliers.

Bien que la rentabilité des cimenteries paraisse faible au regard d'autres industries, le ciment est l'un des matériaux de construction de base indispensables à l'industrialisation. Aussi les pouvoirs publics doivent-ils encourager et faciliter le développement des industries du ciment et des produits à base de ciment. Qui plus est, les nouvelles cimenteries sont créatrices d'emplois grâce aux diverses possibilités d'applications du ciment. Toutefois, la rentabilité étant faible, la création de nouvelles cimenteries, ou l'agrandissement des installations existantes, doit être précédée d'une étude de faisabilité approfondie. Les investisseurs éventuels ne prendront en considération que des estimations comportant un calcul très précis des bénéfices escomptés. Un critère général de la rentabilité d'une entreprise est qu'elle doit permettre non seulement d'amortir le capital, mais aussi de verser des dividendes suffisants aux actionnaires et de constituer des réserves pour les investissements ultérieurs.

Le lieu d'implantation optimal d'une cimenterie sera déterminé au premier chef par les débouchés et l'approvisionnement en matières premières. L'étude de faisabilité doit tenir compte du coût du transport par rapport à l'emplacement choisi.

La capacité de production minimale d'une cimenterie doit être de 150 000 tonnes par an. Dans certains cas, des considérations d'ordre politique pourront justifier la construction d'une usine répondant à d'autres paramètres économiques et techniques. Les dépenses d'investissements pour une nouvelle cimenterie varient entre 50 et 75 dollars par tonne de capacité annuelle et atteignent 85 dollars si l'on installe un matériel antipollution.

Pour justifier les gros investissements qu'exige la construction d'une cimenterie intégrée, celle-ci pourra être précédée de la mise en place d'installations de broyage de clinker, ou bien on pourra utiliser du ciment importé. Toutefois, ce dernier devra être vendu et distribué conformément à des spécifications valables.

Une fois prise la décision d'implanter une cimenterie dans une région nouvelle, il faut recruter un personnel compétent. Pendant la construction, il conviendra de rechercher les techniciens et les ouvriers qualifiés. Le personnel clef, tel que les conducteurs de fours et les contremaîtres, doit être formé à l'avance de façon à ce que chacun connaisse bien ses fonctions lorsque l'usine démarrera. Par ailleurs, presque toutes les usines nouvelles ont généralement besoin d'une équipe de spécialistes pour aider et diriger les opérations pendant la construction. La valeur de l'équipement installé dans les cimenteries justifie souvent la présence continue d'un spécialiste de la production envoyé par le fournisseur afin d'assurer un fonctionnement correct et efficace des installations.

Pour satisfaire la demande sans cesse croissante de ciment, il est souhaitable d'agrandir une usine existante en installant une nouvelle unité ayant au moins la même capacité que la première. Avant la mise en service de la nouvelle installation, on pourra importer une quantité suffisante de clinker pour exploiter au maximum la capacité existante.

Le choix du procédé de fabrication sera fonction des matières premières. Le procédé par voie sèche aura généralement la préférence, sauf si des conditions particulières justifient l'emploi du procédé par voie humide ou du procédé par voie semi-sèche. Le choix dépendra, entre autres facteurs importants, du pourcentage d'impuretés et du taux d'humidité. On optera pour le procédé par voie humide quand le pourcentage en alcalis, en chlorures et en sulfates est élevé; le procédé par voie semi-sèche peut être employé dans des conditions particulières après enrichissement des matières premières au moyen du procédé par voie humide.

Béton et agrégats

La fabrication du béton nécessite des agrégats. On se procure les agrégats naturels, soit par exploitation directe de gisements, soit en concassant la roche. Dans les deux cas il faut trier soigneusement les agrégats si l'on veut obtenir un béton de bonne qualité. Dans les agrégats obtenus par concassage on se sert de concasseurs à cône pour obtenir des particules cubiques. Toutefois, il est essentiel de bien utiliser les concasseurs. Quand on veut juger de la qualité d'une nouvelle livraison d'agrégats, il faut déterminer la stabilité chimique des matières premières; les agrégats qui présentent des réactions alcalines exigent une attention particulière.

Certains types d'agrégats provoqueront une réaction alcali-agrégat dans le béton quand il est exposé à l'humidité. Bien que les mécanismes chimiques fondamentaux ne soient pas bien connus, on sait que les principaux types d'agrégats actifs sont le SiO_2 amorphe, le silice et la roche volcanique basique (haute teneur en verre).

On peut éviter les réactions de l'agrégat en utilisant, soit des pierres ne contenant pas d'alcalis actifs, soit du ciment à faible alcalinité. Les dégâts provoqués par ces réactions peuvent être réduits, si le béton fabriqué est de bonne qualité et de forte densité ou si l'on broie ensemble des pouzzolanes et du clinker de Portland. La présence d'agrégats dangereux peut être décelée par l'une des méthodes mises au point par l'ASTM [soit la méthode chimique rapide (ASTM C289-64), soit l'essai de dilatation (ASTM C227-67)].

Le chlorure de calcium corrode l'acier des armatures. Par conséquent, quand on utilise du béton armé, il est suggéré de ne pas dépasser les proportions suivantes:

1,5% de CaCl_2 dans le ciment avec simple armature et 0,5% lorsqu'il s'agit de ciment armé précontraint. Pour le ciment sans armature, la limite est de 2,5%.

Les agrégats contenant des sulfates sont courants dans certains pays. En Irak, par exemple, on utilise des agrégats comportant jusqu'à 0,25% de SO_3 . Il n'a pas été possible de se prononcer de manière définitive car on ne possède que très peu de documentation à ce sujet. De plus, les limites pour le SO_3 varient selon les pays, étant probablement liées à la composition des sulfates contenus dans les agrégats (CaSO_4 , MgSO_4 et BaSO_4).

Des ciments spéciaux sont parfois nécessaires, mais il faut les éviter autant que possible. On s'est aperçu au Danemark que les ouvrages portuaires, naguère construits avec des mélanges de ciment contenant de la terre à diatomées, pouvaient être édifiés avec du ciment de Portland gris ordinaire à condition que le béton utilisé soit de la qualité appropriée.

Une discussion générale s'est ouverte sur les méthodes recommandées pour l'étude de la composition. Au Royaume-Uni, la circulaire n° 4 sur les routes, qui est bien connue, donne à cet égard d'excellentes directives et peut être considérée comme une bonne introduction à l'étude de la question. En général, on n'utilise pas de grosses pierres pour la fabrication du béton en Europe; cependant, leur usage n'est pas nécessairement à proscrire, pourvu que les surfaces soient nettes et qu'elles ne soient pas directement en contact les unes avec les autres.

La maturation du béton à température élevée est un procédé très répandu, mais la charge de rupture risque de s'en trouver réduite de 20%. De plus, il faut surveiller soigneusement le rapport temps-température pendant le traitement.

Les Romains fabriquaient dès l'an 300 un béton dont la résistance à la compression était d'environ 160 kg/cm^2 . Aujourd'hui, les bétons ont une résistance à la compression légèrement supérieure, mais on peut s'attendre à un progrès considérable avec la commercialisation des méthodes perfectionnées de compactage. On espère ainsi obtenir une résistance à la compression de $1\ 200 \text{ kg/cm}^2$.

On a construit aux Etats-Unis des tours en béton fabriqué avec du schiste expansé dit "lourd". Les fabricants danois ont également mis au point à cet usage des agrégats à base d'argile lourde expansée. Il existe d'autres agrégats artificiels de densité moyenne, notamment les scories expansées et les cendres volantes frittées.

Il faut poursuivre les recherches sur la possibilité de fabriquer du béton de bonne qualité en utilisant les eaux usées industrielles. On peut employer l'eau de mer pour la préparation du béton, mais dans ce cas il est prudent de substituer au ciment portland ordinaire du ciment résistant à l'eau de mer ou du ciment résistant aux sulfates afin d'éviter que ces derniers sulfates ne provoquent la dilatation du béton.

L'emploi du ciment peut être encouragé par la création de petites entreprises fabriquant des articles en béton: conduites, parpaings, dalles. Il existe tout un outillage très varié qui permet la mécanisation de ces industries.

Il faut envisager la création d'un service consultatif pour les utilisateurs de ciment, mais ceux-ci devront être conseillés sans qu'il soit tenu compte du seul intérêt des fabricants.

Béton prémélangé

Le produit le plus simple est le béton prêt à l'emploi. Il est livré soit à partir d'une centrale de mélange, soit par des camions avec malaxeur. Par climat tempéré, le

béton prémélangé peut être livré à une distance allant jusqu'à 300 km de la centrale de mélange. Par temps chaud, on peut le transporter à condition de poursuivre le malaxage en cours de route de telle sorte que l'eau soit ajoutée au moment voulu. De plus, on peut utiliser un retardateur de prise.

On peut organiser la fabrication dans une seule installation, mais en prenant le risque de compromettre gravement les grands travaux, par exemple la construction d'un pont, en cas de panne à la centrale de mélange. L'entrepreneur est toujours tenu pour responsable en cas de rupture d'un ouvrage en béton.

Le seuil de rentabilité d'une usine correspond à une production annuelle de 10 000 à 15 000 mètres cubes. Au Danemark la commande minimale de béton prémélangé est de 0,25 mètre cube. Il convient de signaler que dans l'un et l'autre cas la rentabilité est alors nulle.

Fibrociment

Les usines de fibrociment travaillent en relation étroite avec les cimenteries. Quand on crée de nouvelles usines de fibrociment dans les pays qui n'ont pas encore l'expérience de cette production, il faut tenir dûment compte des profils choisis pour les plaques ondulées. Il est possible de faire démarrer une usine de fibrociment avec une machine Hatschek simple à cylindre unique.

Le chrysotile et l'amphibole sont deux sortes d'amiante qui présentent des caractéristiques différentes. Toutefois, on se procure facilement des fibres de chrysotile, tandis que l'approvisionnement en fibres d'amphibole est limité. On se sert généralement des fibres d'amphibole pour accélérer la vitesse de filtrage du coulis de fibrociment. La quantité de fibres qui doit être ajoutée au mélange est toujours déterminée par les conditions locales. Bien que les fibres cellulosiques ne fassent pas l'objet de normes internationales, elles sont largement utilisées au Royaume-Uni et en Inde.

Il est possible de lutter contre l'asbestose en éloignant les fibres d'amiante des postes de travail dans les usines. L'évacuation des poussières est une mesure sanitaire indispensable.

Conduites

Les conduites d'eau et d'égouts sont indispensables dans les agglomérations urbaines à forte densité de population. On peut fabriquer des tuyaux de refoulement en fibrociment et en béton armé. Les canalisations de drainage seront construites en béton et fibrociment. Les conduites en ciment sont les moins chères. Il existe divers types de joints, mais il est préférable d'employer des joints souples et faciles à vérifier. La fabrication des conduites peut se faire soit par simples opérations manuelles, soit de façon automatique. Les conduites en béton peuvent être utilisées dans les régions où l'on ne peut pas se servir de conduites en matière plastique qui sont susceptibles d'être attaquées par les termites.

Systemes de construction industrielle

Les pays en voie de développement peuvent éprouver des difficultés à trouver des industries disposant des capitaux nécessaires à la création de systemes de

construction industrielle. L'industrie du ciment devrait envisager l'éventualité d'investir dans ce procédé étant donné qu'elle dispose souvent de capitaux. Tel n'a pas été le cas, toutefois, en Scandinavie, bien que l'industrie du ciment en Suède ait récemment absorbé des entreprises de construction. Au Danemark, les bureaux d'études, de même que les coopératives de construction, ont joué un rôle très important dans la création et l'implantation des systèmes de construction industrielle.

Au Danemark, la collaboration des architectes, des ingénieurs et des bureaux d'études a conduit à une large utilisation des cloisons de soutènement, qui laissent toute latitude pour disposer les façades comme on le désire.

Promotion de projets industriels

La réunion destinée à promouvoir des projets industriels a comporté des discussions entre les participants au séminaire et les représentants de diverses entreprises; 80 consultations ont été prévues. Des renseignements ont été communiqués au sujet d'un projet de construction de logements de conception norvégienne à Abidjan (Côte d'Ivoire), ainsi que sur l'utilisation de la latérite comme matériau de construction.

Monographies par pays

Chacun des participants a décrit l'évolution et la structure des industries utilisatrices de ciment dans son pays. Bien que la situation varie d'un pays à l'autre, la discussion a permis de dégager plusieurs points communs. L'insuffisance de l'infrastructure pose des problèmes pour le transport des matières premières et la distribution des produits finis. On a signalé pour tous les pays la pénurie de personnel technique qualifié, le manque d'information de la clientèle et l'absence de méthodes modernes de commercialisation.

CONCLUSIONS

Les conclusions suivantes reposent sur les informations fournies dans les monographies par pays et les exposés ainsi qu'au cours des débats.

L'industrie du ciment est une des industries de base du processus d'industrialisation. Son implantation est suivie d'une augmentation progressive de la consommation de ciment. Par conséquent, il faut poursuivre sans relâche les études de faisabilité technique et économique, la planification technique et les programmes de formation de main-d'oeuvre.

Puisque l'industrie du ciment et les industries consommatrices de ciment absorbent de grandes quantités de matières premières, il faut étudier la production de celles-ci et en déterminer, quantitativement et qualitativement, les réserves afin d'éviter d'éventuelles difficultés à cet égard. Une exploitation rationnelle et bien planifiée de ces ressources permettra de satisfaire la demande ultérieure.

Le fait que le ciment et les matériaux entrant dans la composition du béton sont des produits pondéreux et relativement bon marché fait ressortir la nécessité de moyens de transport bien organisés. Il est souhaitable de développer l'infrastructure actuelle, ainsi que d'adopter un réseau de distribution rationnel.

Pour donner des résultats satisfaisants, le marché du ciment doit reposer sur une qualité uniforme de ciment portland ordinaire. Les besoins particuliers seront satisfaits par la fabrication d'autres ciments, tels que les ciments à prise rapide et les ciments résistant à la chaleur ou aux sulfates. Si la production du ciment est par nature une industrie à fort coefficient de capital, les métiers du bâtiment qui reposent sur l'emploi du ciment constituent par contre un secteur à fort coefficient de main-d'oeuvre.

L'importance des investissements nécessaires et le bas niveau des bénéfices réalisables font obstacle à la création de nouvelles fabriques de ciment, surtout dans les pays en voie de développement. Il faut donc encourager, dans la planification du secteur public et les projets financiers, la création d'industries consommatrices de ciment. On pourrait citer comme exemple un vaste programme de construction exigeant une production déterminée de béton prémélangé, de parpaings et d'éléments structuraux, de feuilles de fibrociment, de tuyaux en béton et de dalles.

RECOMMANDATIONS

Le séminaire a recommandé un certain nombre de mesures qui devraient être prises par les pays en voie de développement, par l'ONUDI et par les pays industrialisés. Ces recommandations sont résumées ci-dessous:

A. Pays en voie de développement

1. L'industrie du ciment devrait:

- a) Instituer et poursuivre un contrôle approprié de la production, en s'attachant notamment aux problèmes de l'extraction, du malaxage, du traitement et de la manutention du produit final;
- b) Appliquer des méthodes d'entretien et déterminer si l'on dispose de quantités appropriées de pièces de rechange;
- c) Former des groupes régionaux de techniciens pour des échanges de vues;
- d) Envoyer des ingénieurs au siège de l'ONUDI pour y discuter des projets d'industrialisation et des difficultés techniques particulières;
- e) Choisir les candidats éventuels que les gouvernements désigneront pour participer au programme de bourses de l'ONUDI.

2. Les gouvernements devraient:

- a) Procéder à l'évaluation des besoins en matière de développement de l'industrie du ciment portland et des industries consommatrices de ciment;
- b) Définir les besoins nationaux d'assistance technique, en collaboration avec l'industrie du ciment, et les exposer à l'ONUDI.

B. L'ONUDI devrait:

1. Continuer à fournir de la documentation technique aux ingénieurs et au personnel dirigeant des pays en voie de développement;
2. Comme suite au présent séminaire, en organiser plusieurs autres dans des entreprises à l'intention des ingénieurs de l'industrie du ciment et des industries consommatrices de ciment des pays en voie de développement;
3. Fournir une assistance complète en vue de la réalisation de programmes de développement technique à court terme et à long terme, en envoyant sur demande des experts ou des experts associés;
4. Renforcer les activités techniques de l'ONUDI en recrutant des ingénieurs expérimentés qui assureront une liaison directe entre le Siège de l'ONUDI et les pays en voie de développement, et en instituant à l'intention de l'industrie du ciment et du béton un système de conseillers interrégionaux qui aideront les pays en voie de développement sur place à résoudre leurs difficultés et à définir les mesures d'assistance que requièrent leurs industries du bâtiment et des matériaux de construction.

C. Les pays industrialisés devraient:

1. Offrir à l'intention des participants individuels de plus nombreuses possibilités de formation au titre du programme de bourses de l'ONUDI;
2. Continuer à organiser et à accueillir des séminaires et des journées d'études techniques, facilitant ainsi un transfert permanent de connaissances techniques vers les pays en voie de développement;
3. S'efforcer de revoir, en les développant, les principes dont s'inspire leur participation financière à la création d'industries du ciment et d'industries consommatrices de ciment dans les pays en voie de développement;
4. Nommer un nombre suffisant d'experts pour familiariser la main-d'oeuvre locale avec tous les aspects du fonctionnement des usines nouvelles.

Deuxième partie

RESUMES DES COMMUNICATIONS

Evolution des industries du ciment et du béton

J. K. Rasmusen

L'industrie du ciment est souvent qualifiée d'industrie clef parce qu'elle fabrique un produit très largement utilisé dans toutes sortes de constructions. Cependant, cette industrie ne se justifie dans une nation ou une région que si les conditions nécessaires à la consommation de son produit y sont réunies. La production de ciment est donc un moyen de satisfaire des besoins locaux et non une fin en soi. Cette limitation géographique vient du fait que le faible prix et la nature pondéreuse du ciment et des agglomérés entraînent des coûts élevés de transport qui ont longtemps rendu impossible la vente des produits finis loin des lieux de production. Cependant, cette situation est en train de changer.

L'auteur passe en revue la consommation de ciment et l'évolution de cette industrie d'après des statistiques provenant d'Europe, des Etats-Unis et de pays en voie de développement. Il démontre qu'il faut se garder de tirer des conclusions de la situation d'un pays pris isolément, parce que les traditions, les conditions climatiques et de nombreux autres facteurs influent sur l'emploi du béton et de ses dérivés sur le marché local des matériaux de construction.

Des efforts portant sur l'amélioration de la qualité du ciment et du contrôle et de la rationalisation de sa production montrent que cette industrie peut bénéficier d'économies d'échelle. En conséquence, les industries du ciment devraient s'efforcer d'élargir leur marché, soit géographiquement, soit en augmentant la consommation sur place, soit par l'un et l'autre moyens.

Les possibilités d'expansion géographique sont liées à des facteurs tels que les conditions économiques générales, les ressources en matières premières et la concurrence. Cependant, il est vraisemblable que la demande de grandes unités de production et les risques économiques correspondants accélèrent les modifications de structure basées sur un système de transport et de distribution rationalisé. Etant donné les progrès techniques réalisés dans le transport en vrac du clinker et du ciment, la centralisation rationnelle de la production du ciment pourrait être un facteur dynamique pour accroître le marché potentiel.

De plus, ces progrès du transport en vrac peuvent avoir des conséquences importantes pour les régions où les matières premières nécessaires ne sont pas facilement accessibles. On pourrait fabriquer le ciment près des centres de consommation en broyant du clinker importé.

L'accroissement de la consommation entraîne une augmentation parallèle de la production de ciment. L'industrie du ciment doit donc s'intéresser activement à tout progrès des industries consommatrices puisque leurs intérêts sont liés. Dans certains cas, il s'établit, non seulement des relations économiques et techniques, mais aussi une collaboration dans la gestion sous forme d'intégration verticale.

Les progrès des transports à longue distance par gros tonnages de vrac, ainsi que le coût élevé de la prévention de la pollution, pourraient se traduire par une redistribution géographique d'une partie de la production mondiale de ciment. De toute façon, il est probable que l'on assistera à une certaine concentration de cette industrie.

Planification de la construction et de l'agrandissement des cimenteries

H. Carlsen

La production de ciment portland n'est rentable que dans des usines d'une importance minimale impliquant un investissement initial de plusieurs millions de dollars. Il est donc essentiel que la création d'une cimenterie ne soit décidée qu'après des études approfondies du marché, des matières premières et des autres facteurs techniques et économiques. De plus, les plans du projet doivent être très soigneusement préparés parce que toute modification importante après le début de la construction atteindrait vraisemblablement un coût très élevé sinon prohibitif.

Le but de l'étude de marché est de s'assurer que la demande de ciment justifie la construction d'une nouvelle usine et de réunir les données nécessaires pour en fixer la taille. Cette étude doit fournir des chiffres détaillés de la consommation présente et future, ainsi que les capacités de production des cimenteries concurrentes existantes ou prévues.

Le succès d'une nouvelle cimenterie dépend dans une très large mesure de l'existence de calcaire et d'agrégats de bonne qualité en quantités suffisantes. Les critères de qualité concernent les propriétés chimiques et physiques, notamment la teneur en eau, qui doit être faible. Les gisements doivent être assez importants pour alimenter l'usine pendant au moins la durée de vie normale de l'outillage, estimée généralement à environ 25 ans. Comme on envisage le plus souvent d'agrandir ultérieurement les usines, les gisements devraient de préférence pouvoir approvisionner au moins une seconde unité de production, ce qui signifie qu'ils doivent représenter normalement un minimum d'environ 50 fois la consommation annuelle de l'unité initiale.

L'évaluation des gisements exige normalement des recherches géologiques comprenant des opérations de carottage. L'auteur de cette communication évoque la possibilité d'enrichir les matières premières de qualité médiocre ou d'utiliser des matières premières artificielles dans les cas où l'on ne dispose pas de calcaire à haute teneur en carbonate.

Dès que l'on a acquis la certitude que le marché et les ressources en matières premières justifient la construction d'une nouvelle cimenterie, il faut procéder à une étude préliminaire de faisabilité pour s'assurer que le projet mérite d'être poursuivi. Cette étude comprend une estimation d'ensemble des besoins initiaux en capitaux,

une évaluation des coûts de production et des recettes brutes et nettes, un plan de financement et un calcul de rentabilité. L'auteur expose les différentes méthodes d'expression du rapport du capital investi: durée de remboursement, taux simple, taux de rentabilité interne.

Le déplacement d'une cimenterie étant normalement d'un coût prohibitif, le choix de son emplacement doit être fait en fonction de l'avenir. L'équipe chargée de l'élaboration du projet doit donc prendre en considération les plans de développement du pays, ou de la région, considéré.

En principe, on peut déterminer l'emplacement idéal de l'usine en calculant les coûts totaux de transport des matières premières et du ciment pour chaque endroit puis en choisissant celui pour lequel ces coûts sont le moins élevés. Cependant, d'autres facteurs peuvent aussi influencer la décision, par exemple l'énergie électrique, l'eau et la main-d'oeuvre. Il est préférable que l'usine soit construite à une certaine distance des villes et des régions touristiques pour éviter les réclamations qu'entraîneraient la poussière et le bruit.

Etant donné que, dans la plupart des pays, la consommation de ciment s'accroît régulièrement, les plans d'une nouvelle usine devraient comprendre une capacité excédentaire permettant de satisfaire la demande future pour un certain nombre d'années. Cependant, le rendement des investissements supplémentaires nécessaires pour agrandir la cimenterie est très faible au cours des premières années, quand le marché n'a pas encore atteint le niveau correspondant à la capacité de production. La taille optimale d'une usine peut être calculée à partir des chiffres figurant dans l'étude de marché et des prix unitaires de base du ciment, de la main-d'oeuvre, des combustibles et du courant électrique. Comme ces calculs sont fondés sur l'évolution probable du volume du marché et des prix, il est recommandé de suivre les conséquences des écarts par rapport aux estimations de base.

La nature des matières premières est le facteur principal dans le choix du procédé de fabrication, voie sèche, voie humide ou voie semi-sèche. Le procédé par voie sèche est généralement la solution la plus économique, mais la voie humide présente des avantages dans certains cas, par exemple quand la teneur naturelle en eau des matières premières est exceptionnellement élevée (au-dessus de 15 ou 20%). L'auteur décrit un certain nombre d'autres opérations, telles que le filtrage du coulis, le séchage par pulvérisation, le procédé à phase liquide et l'utilisation des fours droits.

L'outillage de l'usine doit être choisi en fonction des matières premières, du procédé de fabrication et, dans certains cas, de l'emplacement de la cimenterie. Si l'on prévoit des agrandissements dans un proche avenir, le plan de l'usine doit tenir compte de l'addition d'une seconde unité et, éventuellement, de plusieurs autres par la suite. Ces aménagements augmenteront le coût de la première unité, de sorte qu'ils ne sont pas toujours justifiés.

Une extension importante exige les mêmes études préparatoires que la construction d'une usine neuve. De plus, le choix de l'outillage doit tenir dûment compte de l'usine existante et les travaux de construction doivent être programmés de façon à gêner au minimum le fonctionnement de la cimenterie. Généralement, le coût de la seconde unité est nettement inférieur à celui de la première (à moins que les prix n'aient augmenté). L'une des raisons est que la capacité de stockage de matières premières, de pâte brute, de clinker et de ciment n'a souvent pas besoin d'être accrue car le fonctionnement d'une usine comportant deux unités de production nécessite des stocks régulateurs relativement moindres.

Une fois choisis le procédé de fabrication, la taille de l'usine et son emplacement, on peut établir le devis total du projet à partir des prix proposés pour l'outillage principal et des coûts estimés de la construction. Le plan de financement devrait comprendre une courbe du cash flow pour les cinq ou dix premiers exercices après la mise en exploitation. L'auteur expose les principes régissant l'établissement des rapports de faisabilité en fournissant quelques exemples; il donne également des ordres de grandeur pour les coûts et les délais de construction, ainsi que des estimations des coûts d'exploitation pour divers types de cimenterie.

Fabrication, propriétés et emplois du ciment portland

T. Enkegaard

L'auteur fournit des données sur la consommation de ciment portland et d'autres types de ciment, puis analyse le mécanisme du retrait et du fluage du ciment, en indiquant les moyens d'éviter ces phénomènes et la composition à donner au ciment expansif précontraint.

Il explique la corrélation entre les matières premières et les procédés utilisés pour fabriquer le ciment portland, ainsi que les propriétés du produit fini. Il expose brièvement la fabrication du ciment du point de vue chimique en soulignant l'importance de l'homogénéisation, de la cuisson, du concassage et du stockage du ciment et décrit ensuite l'automatisation des cimenteries par emploi de calculateurs analogiques.

L'auteur récapitule les principales normes mondiales relatives au ciment. L'Organisation internationale de normalisation (ISO) a adopté les méthodes d'essai du RILEM Cembureau. L'auteur examine dans quelle mesure les différentes normes établies pour le ciment déterminent la qualité du produit final, c'est-à-dire le béton. Etant donné que le ciment portland est un produit dont certaines caractéristiques dépendent étroitement des matières premières utilisées, il ne faudrait pas que les limites fixées dans les spécifications internationales soient étroites au point de constituer un obstacle pour certains fabricants ou d'empêcher l'exploitation de vastes gisements de matières premières importants pour l'économie locale.

Produits et industries basés sur le ciment portland

G. Idorn

Etant donné l'énorme demande de logements et d'ouvrages de génie civil dans le monde entier, il importe que la recherche sur le ciment et le béton soit désormais orientée vers l'innovation et s'efforce de mettre au point le plus rapidement possible de nouveaux procédés industriels et de nouveaux produits.

La recherche fondamentale est concentrée dans le secteur public et l'enseignement supérieur et n'a que de lointains rapports avec les problèmes pratiques de l'industrie du ciment et du béton. Il y a beaucoup moins de recherches sur la fabrication du ciment que sur d'autres industries modernes produisant en grande série. Etant donné que, dans la plupart des régions du monde, on commence seulement à industrialiser la fabrication du béton, la recherche fondamentale devrait progresser encore et trouver une application dans des programmes plus intensifs de recherche et de développement.

La caractéristique dominante du développement des industries du ciment et du béton a été la rationalisation plutôt que l'innovation qualitative, et cela pour les raisons suivantes:

Mécanisation de l'extraction et du transport des matières premières;

Accroissement de la capacité des fours, qui est passée de 500 à 4 000 tonnes par jour;

Rationalisation du fonctionnement des fours;

Adoption du transport en vrac.

L'application, à partir des années quarante, de la chimie physique théorique et expérimentale aux recherches sur le béton a conduit à l'abandon de beaucoup de méthodes d'essai traditionnelles. On est parvenu à mieux connaître et à mieux comprendre la nature de la pâte de ciment et du béton, mais ces progrès de la recherche n'ont guère abouti à des innovations importantes dans les méthodes de fabrication du béton, ni à une amélioration marquée des caractéristiques des produits en béton: maniabilité, résistance et durabilité, notamment.

C'est ainsi que l'industrie du béton préfabriqué, par exemple, est encore basée en grande partie sur la technologie classique. Ce sont la mécanisation et la rationalisation qui ont permis de réaliser des économies et d'accroître la capacité de production. Même un progrès tel que l'accélération de la prise par traitement à la vapeur a été une innovation tout à fait empirique. La recherche n'a été utilisée que sporadiquement pour l'élaboration de nouvelles spécifications pour les matières premières et les opérations de fabrication. Le développement de l'industrie du béton préfabriqué est donc dû au perfectionnement des machines et à l'ingéniosité des bureaux d'études et des constructeurs.

Les recherches sur le béton utilisent maintenant de nouvelles techniques et de nouvelles méthodes. Elles devront s'orienter vers les domaines suivants: approvisionnement en agrégats et en eau, malaxage et coulage du béton, structure et prise du béton.

APPROVISIONNEMENT EN AGREGATS ET EN EAU

Des agrégats de qualité supérieure sont nécessaires pour les bétons spéciaux à densité et à résistance élevées. Les agrégats utilisés traditionnellement s'épuisent dans certaines régions et doivent être remplacés par des pierres concassées de qualité variable, des agrégats artificiels et du gravier de mauvaise qualité. Les eaux usées provenant de l'industrie et l'eau de mer devront être traitées pour pouvoir servir d'eau de gâchage dans les régions qui risqueraient de manquer d'eau douce pour la consommation domestique.

MALAXAGE ET COULAGE DU BETON

Les principales opérations à automation dans l'industrie du béton sont le malaxage, le transport, le coulage, le compactage, le décoffrage, la réception et le contrôle.

STRUCTURE ET PRISE DU BETON

Pour économiser sur la main-d'oeuvre et pour améliorer les qualités du béton comme matériau de construction, on s'efforcera de plus en plus d'accélérer l'hydratation du béton en le traitant à la vapeur, à l'électricité et à l'eau chaude, d'utiliser des accélérateurs chimiques et de renforcer sa microstructure (monomère/polymère).

Technologie du béton

P. Nepper Christensen

Les deux constituants du béton au ciment portland sont l'agrégat, généralement un système inerte de particules distinctes, et le liant, c'est-à-dire la pâte de ciment qui remplit les interstices entre les particules de l'agrégat et les lie entre elles de façon à former un matériau durable et solide. L'agrégat représente environ 75% du volume du béton et le liant seulement 25%. Par conséquent, la nature et la qualité de l'agrégat, de même que les propriétés de la pâte de ciment, influent de façon notable sur la qualité et les propriétés du béton.

La nature et les caractéristiques de l'agrégat influent sur les facteurs suivants:

Quantité d'eau nécessaire pour le béton frais;

Résistance et poids du béton;

Durabilité physique et chimique du béton.

Les caractéristiques des particules d'agrégat les plus importantes à cet égard sont:

La courbe granulométrique;

Le poids et la porosité des particules;

La composition minéralogique.

On obtient le liant, c'est-à-dire la pâte de ciment, en délayant du ciment portland avec de l'eau. Des réactions chimiques se produisent qui provoquent la formation d'un matériau solide de plus en plus dense et résistant. La pâte de ciment commence à prendre une à trois heures après le gâchage et la prise dure généralement entre quatre et six heures; ce stade est suivi par celui du durcissement, dont la durée est très variable puisqu'elle va de quelques semaines à plusieurs années.

Le rapport entre le poids de l'eau et le poids du ciment, que l'on appelle rapport eau/ciment, est le facteur qui influe le plus sur le niveau de résistance de la pâte après le durcissement final et sur sa perméabilité ou son étanchéité à l'eau. Le type et la qualité du ciment influent surtout sur la vitesse de durcissement et sur la résistance chimique de la pâte durcie. Divers adjuvants chimiques peuvent être ajoutés à la pâte: accélérateurs ou retardateurs de prise, durcisseurs, plastifiants et agents qui accroissent la résistance aux attaques chimiques.

La composition exacte du béton est fixée à l'avance et l'on pèse tous les constituants, ciment, eau, agrégats à grains fins et à grains grossiers et quelquefois, un ou deux adjuvants, avant de les introduire dans le malaxeur. Il est nécessaire de contrôler la consistance du béton frais qui doit être adaptée au matériel de compactage disponible. Le béton frais est transporté jusqu'au coffrage qui se trouve sur le chantier de construction ou à l'usine. On peut recourir au pompage. Une fois coulé dans le coffrage, le béton est compacté par vibration. Différents types d'appareils peuvent être utilisés pour le compactage.

Après la mise en place et le compactage, le béton doit être protégé contre la dessiccation et les changements brusques de température. Pour accélérer la prise et le durcissement, on peut élever artificiellement la température de maturation, au moyen de vapeur par exemple. Ce procédé, utilisé surtout dans les usines de béton préfabriqué, permet de décoffrer plus tôt et donc de réutiliser plus vite le coffrage.

L'auteur examine pour finir les développements à prévoir en ce qui concerne la composition et la qualité du béton.

Agrégats naturels et artificiels pour la fabrication du béton

P. Christensen

Le béton ordinaire est un mélange de ciment, d'agrégat et d'eau dans lequel l'agrégat tient, en volume, la place la plus importante. Au Danemark, on utilise les types suivants d'agrégats: agrégats provenant de gisements terrestres, agrégats d'origine marine, roches concassées (granite) et agrégats artificiels, par exemple argile expansée et cendre volante de potassium.

Il y a quelques années encore, l'agrégat était considéré seulement comme un matériau inactif et bon marché du béton mais on sait maintenant que le choix de l'agrégat est important pour différentes raisons. La forme et les dimensions de ses grains, par exemple, ont une certaine influence sur la quantité d'eau nécessaire au béton frais et sur sa maniabilité.

Dans le béton durci, du fait que les agrégats naturels sont généralement beaucoup plus résistants que les mortiers, la résistance est surtout fonction du rapport eau/ciment, mais il n'en est pas toujours ainsi lorsqu'on utilise des agrégats artificiels; le retrait au séchage est influencé par la granulométrie des agrégats puisque seul le liant se rétracte et la durabilité dépend du choix d'agrégats qui ne réagissent pas chimiquement avec les composants du ciment.

Les normes danoises pour les agrégats sont en cours de révision. Elles fixent certaines limites à la teneur des agrégats en boue, limon, argile, calcite et impuretés organiques. Il n'existe pas de spécifications pour la granulométrie, mais seulement certaines recommandations.

Les agrégats d'origine marine proviennent du littoral ou sont dragués au fond de la mer par des navires spéciaux. Ils sont traités et triés au port avant d'être vendus.

Les gisements de sable et de graviers sont généralement recouverts de bancs stériles qui sont enlevés par les excavateurs. Ces bancs stériles sont transportés jusqu'à un endroit déjà exploité de la carrière par des camions, des camions-bennes ou des courroies transporteuses. Différents types d'excavateurs sont utilisés pour extraire les graviers et ceux-ci sont transportés de la carrière à l'usine par des camions, des camions-bennes, des wagonnets ou des courroies transporteuses, souvent après un premier concassage ou l'élimination des pierres les plus grosses.

A l'usine d'agrégat, on trie le gravier dans des cribles tournants à barreaux ou dans des vibro-cribles. Les pierres d'un diamètre inférieur à 60 mm sont souvent lavées, soit pendant le criblage, soit dans des laveurs séparés. L'eau de lavage est ensuite purifiée dans des bassins de décantation ou dans des cyclones; le sable est utilisé comme agrégat après épuisement de l'eau. Les pierres de plus de 60 mm sont souvent concassées et renvoyées au courant principal parce que les pierres de petites dimensions sont plus utilisées que les grosses pierres non concassées. Dans certaines carrières, les grosses pierres sont triées mécaniquement ou à la main. Le granite et le silex sont traités dans des installations de concassage et de tamisage et vendus comme agrégats, tandis que le calcaire est utilisé à d'autres fins.

Le contrôle de la qualité comporte les opérations suivantes: analyse granulométrique, analyse sédimentaire, détermination des impuretés organiques et détermination de la composition minéralogique. Le sable et le gravier sont triés puis vendus au volume ou au poids.

Béton prémélangé

S. Lund

L'auteur explique l'organisation des usines danoises de béton prémélangé, la production, les services de livraison, la clientèle. Les centrales fixes de malaxage et les camions-malaxeurs sont décrits, notamment du point de vue des avantages et inconvénients des deux méthodes. Vient ensuite un examen détaillé de deux types d'usines, avec le matériel de base, l'entretien, les coûts initiaux, la fiabilité. Les avantages et inconvénients de plusieurs types de véhicules de livraison du béton sont analysés du point de vue de l'efficacité et de l'entretien.

L'auteur expose les conditions idéales pour la production de béton de bonne qualité. Le contrôle des matières premières et le contrôle du béton frais et du béton durci font partie intégrante des opérations de fabrication.

Les principaux problèmes posés par la livraison sont discutés et l'auteur formule des suggestions pour résoudre certains de ces problèmes.

L'industrie du béton: parpaings, construction par éléments, tuyaux et produits divers

J. Fuglsang

A l'origine, les éléments préfabriqués en béton étaient produits uniquement par de petites usines, mais aujourd'hui, au Danemark, il s'agit d'une production moderne à la chaîne. Cette industrie doit répondre à la demande très variée des constructeurs et des entreprises industrielles. Les principaux produits préfabriqués en béton au Danemark sont les tuyaux, les bordures de trottoirs, les dallages, les parpaings, les piliers de fondation, les éléments de construction, les traverses de chemin de fer et les poteaux télégraphique et pylônes électriques. L'auteur passe en revue les divers types de machines utilisées pour ces produits. Au Danemark, la valeur totale des produits préfabriqués en béton dépasse 150 millions de dollars.

Une grande usine type de produits en béton a au Danemark un chiffre d'affaires annuel de 3 millions de dollars et consomme 60 tonnes par jour de ciment portland, soit 14 000 tonnes par an. Sa production annuelle est de 90 000 tonnes de béton et le coût unitaire des produits finis est d'environ 70 dollars le mètre cube.

Les matières premières utilisées au Danemark sont le ciment portland à prise rapide et les agrégats de gravillons. Une condition particulière au Danemark est la nécessité d'utiliser des agrégats résistant au gel, donc exempts de calcaire, pour la surface des éléments en béton, les dallages et les bordures de trottoirs. Outre ces matières premières traditionnelles, on utilise du ciment blanc et des ciments colorés pour obtenir des surfaces teintées. Il y a actuellement une demande très forte de parements à agrégats apparents. L'industrie danoise n'utilise pas d'adjuvants, à l'exception d'accélérateurs de durcissement pendant les mois d'hiver.

Les matières premières sont pesées, mélangées, puis versées automatiquement dans le moule. On assure ensuite le compactage du béton par vibration, on le démoule et les produits sont mis à durcir dans une chambre à une température de 20°C. Certaines usines emploient le séchage à la vapeur, tandis que d'autres utilisent des matières premières préalablement chauffées afin de réduire la durée de la prise. Il devient alors possible de transporter les produits dans des cours de stockage en plein air après environ 18 heures.

Après une période de durcissement, dont la durée varie selon la saison, les produits sont prêts à être utilisés. Les frais de transport correspondent à 8 à 10% du prix final. Au Danemark, le transport se fait dans un rayon de 100 kilomètres.

Le fibrociment

K. Thiele

Le fibrociment sert principalement à fabriquer des plaques et des tuyaux. L'auteur de l'exposé examine certains des procédés utilisés et formule des recommandations au sujet du matériel et de la taille des installations qui conviennent le mieux aux pays en voie de développement.

La machine de Hatschek est couramment utilisée pour produire des éléments plats ou ondulés. La plaque de fibrociment se forme sous vide sur un tambour grillagé. Ce procédé est très répandu du fait qu'il permet d'obtenir des produits d'une très grande diversité. Une installation de taille moyenne, comportant une seule cuve et produisant de 30 à 40 tonnes par jour de produits en fibrociment, peut être graduellement agrandie et perfectionnée, sa production passant à 130 tonnes par jour avec trois cuves. Ce procédé est donc tout indiqué lorsqu'il s'agit d'implanter une première fabrique de fibrociment. La machine de Hatschek présente cependant un inconvénient: les seules fibres qu'elle peut travailler sont celles de l'amiante. Le procédé Hatschek n'en est pas moins, du point de vue du rendement général, celui qui doit s'imposer dans beaucoup de pays désireux de fabriquer des produits en fibrociment.

On a signalé au cours de la discussion que ces dernières années diverses améliorations ont été apportées en Union des Républiques socialistes soviétiques au matériel courant. C'est ainsi que la mise en oeuvre de presses à plusieurs étages, plus puissantes, permet d'obtenir un matériau plus résistant.

Dans la machine Magnani pour la fabrication d'éléments plats, la pâte est refoulée par une pompe dans un distributeur mobile. L'épaisseur voulue est obtenue progressivement au moyen de caisses aspirantes placées sous le feutre. La plaque brute est ensuite calandree et découpée, puis transférée à l'atelier de séchage. Ce procédé, remarquable de simplicité, est d'un bon rendement et permet d'utiliser des fibres autres que celles de l'amiante. Toutefois, les fibres ne sont pas orientées, comme c'est le cas avec la machine de Hatschek; c'est pourquoi les produits obtenus ne sont pas tout à fait aussi résistants. De plus, les plaques ne se prêtent généralement pas au moulage manuel.

Aux Etats-Unis, une entreprise a mis au point un procédé par refoulement susceptible de jouer un rôle important dans la fabrication de certains produits. Elle a aussi élaboré un autre procédé par moulage à sec, suivi de l'adjonction de la quantité d'eau nécessaire à l'hydratation du ciment; la surface des produits est traitée aux cylindres gaufreurs. Les produits ainsi obtenus sont moins résistants que les matériaux travaillés avec des machines à feutrage par voie humide. L'intérêt de la méthode réside dans la possibilité d'utiliser n'importe quel type de fibre. Autre avantage important pour les climats secs: la consommation d'eau est extrêmement faible.

Le principe de fonctionnement de la machine Magnani est le suivant: on fait passer la pâte liquide sur un mandrin d'acier creux gainé de toile sur lequel se dépose, sous l'effet d'une aspiration, une couche de fibrociment qui forme le tuyau, auquel des cylindres en rotation impriment son profil extérieur. Le mandrin entouré du tuyau passe ensuite dans une calandre où s'effectue la dernière compression. Le tuyau subit après cela un premier durcissement qui dure 10 heures, puis un ultime durcissement pendant trois à sept jours. Une installation pour la fabrication de tuyaux longs de 3 mètres peut être ajoutée pour une dépense modique à une usine fabriquant des produits d'amiante-ciment. Dans les pays en voie de développement, il vaut mieux se borner, pour commencer, à fabriquer des conduits ou des tuyaux ayant à supporter une faible pression, car la fabrication de conduits de pression est complexe et exige beaucoup d'expérience; en outre, le coût d'une usine avoisine un million de dollars, dont 35% pour les installations mécaniques et électriques. L'entretien de ce matériel est rarement à la portée du personnel disponible sur place.

Méthodes industrielles de construction

P. Snabe

La construction industrielle a pour objet de permettre une utilisation optimale de ressources limitées tout en construisant le nombre maximum de bâtiments économiquement viables. Les divers systèmes utilisés sont généralement conçus en fonction d'un matériau de base déterminé. En Europe, la plus grande partie de la construction industrielle est à base de béton en raison de la facilité avec laquelle on peut obtenir le matériau et de son bas prix de revient.

L'industrialisation permet d'obtenir ces résultats grâce à une réduction importante de la main-d'oeuvre qualifiée par rapport aux méthodes traditionnelles et par une accélération sensible du rythme des travaux. Toutefois, on ne peut pas appliquer tels quels, dans le monde entier, des systèmes mis au point pour faire face aux besoins d'un pays donné. Les systèmes scandinaves ont été adoptés dans de nombreux pays, mais ils doivent faire l'objet d'une adaptation là où le coût de la main-d'oeuvre est beaucoup moins élevé qu'en Scandinavie ou dans les pays où la quasi-totalité de l'équipement de base doit être importée.

Néanmoins, tous ces systèmes répondent aux critères suivants, qui sont universels:

Economie due à la répétition;

Utilisation souple d'éléments standard;

Exactitude des dimensions grâce à une production à la chaîne;

Planification et programmation détaillées de la production, du montage et du finissage.

Le degré d'automatisation doit être déterminé en fonction des conditions économiques du pays. La rationalisation doit toujours être poussée au maximum.

L'industrialisation implique un accroissement de l'automatisation et de la rationalisation. Pour qu'elle réussisse, il faut deux conditions préalables: continuité de la production, facilité de la reproduction. Dans le premier cas, il s'agit essentiellement d'une question de politique, dans le second principalement d'un problème d'étude qui consiste à limiter le nombre des éléments de base et celui des variantes pour chacun de ceux-ci.

Pour que ces conditions soient remplies, il faut prendre les mesures suivantes à l'échelle nationale:

Adoption d'une réglementation nationale uniforme pour le bâtiment;

Adoption générale de normes et de spécifications fonctionnelles, par opposition aux normes ou spécifications techniques axées sur tel ou tel matériau ou sur tel ou tel produit;

Application d'un système standard de coordination modulaire pour tous les travaux de construction;

Degré élevé d'uniformité, à l'échelon national, pour les formes et les dimensions des éléments de base;

Planification à long terme du programme national de construction de logements pour assurer la continuité de la production.

Le succès de l'industrialisation est alors étroitement lié à l'efficacité de l'organisation au niveau du chantier. La condition primordiale est la désignation d'un coordonnateur de projet unique qui en assume l'entière responsabilité et est de préférence totalement indépendant du bureau d'étude (il est en effet impossible d'être à la fois juge et partie). Ce coordonnateur de projet pourra être un employé du client, du sous-traitant ou d'une entreprise indépendante spécialisée dans la coordination dans le secteur du bâtiment (ce type d'entreprise est né en Scandinavie).

L'industrie du ciment portland et ses rapports avec les secteurs du bâtiment et des travaux publics

C. Bang-Petersen

L'industrie du ciment portland est l'une de celles dont la création dans un pays en voie de développement est le plus souhaitable. Son établissement comporte cependant des risques et des problèmes, dont certains tiennent à l'interdépendance entre l'industrie du ciment et les secteurs du bâtiment et des travaux publics.

Il semble donc que certains problèmes de coopération pourraient être plus facilement résolus si l'on étudiait les rapports entre ces industries. L'industrie du ciment exigeant beaucoup de capitaux, il faut évaluer avec le plus grand soin les risques et les incertitudes inhérents à la création ou au développement de ce secteur, en particulier lorsqu'il s'agit de planifier la capacité de production. Dès ce stade, le concours de l'industrie du bâtiment et des travaux publics peut être d'un grand secours. Ainsi, les rapports entre industrie du bâtiment et industrie du ciment ont une importance capitale dès le stade de la planification.

L'industrie du ciment portland présente les caractéristiques suivantes:

Les matières premières peuvent se trouver dans la plupart des pays;

Les investissements nécessaires sont importants et le taux de rentabilité est faible;

Les économies d'échelle sont considérables;

Le secteur a un effet multiplicateur sur l'économie du pays;

Le prix du ciment départ usine est peu élevé;

Les coûts de distribution sont élevés par rapport aux coûts de production;

Le ciment est une matière première et non un produit final;

Le volume d'activité de l'industrie du ciment est étroitement lié à celui des industries utilisatrices de ciment.

De son côté, l'industrie du bâtiment et des travaux publics:

Existe dans tous les pays;

Constitue l'un des principaux secteurs de l'économie;

Est un secteur à fort coefficient de main-d'oeuvre;

- Est tributaire de la politique suivie par le gouvernement;
- Est tributaire du niveau de vie de la population;
- Est un très gros consommateur potentiel de ciment.

Les relations entre l'industrie du ciment et le secteur du bâtiment et des travaux publics sont essentiellement des rapports de fournisseur à client. Elles reposent sur les facteurs suivants:

- Existence d'un produit commun, le ciment;
- Propriétés du ciment;
- Technologie de la fabrication du béton;
- Aptitude du béton à concurrencer d'autres produits;
- Activités communes en matière de formation et de promotion;
- Industrialisation de la construction des logements;
- Industrialisation du bâtiment et des travaux publics;
- Normalisation des produits en ciment et en béton;
- Coopération financière verticale;
- Intégration verticale.

Les mesures d'ordre général propres à favoriser un équilibre satisfaisant entre l'industrie du ciment et celle du bâtiment devraient porter sur les points suivants:

- Approvisionnement sûr en ciment;
- Fixation d'un prix équitable pour le ciment;
- Production de ciment de qualité satisfaisante;
- Services consultatifs;
- Laboratoires;
- Activités de formation;
- Activités de promotion;
- Service de documentation;
- Recherche et développement sur le ciment et le béton;
- Assistance technique;
- Aide financière;
- Intégration.

Annexe

DESCRIPTION DES USINES VISITEES

Installation de préparation des agrégats Nymølle Stenindustri, Hedehusene

La carrière de gravier de la Nymølle Stenindustri est l'une des dix plus grandes du monde. Deux cents techniciens et ouvriers y produisent chaque année plus de 2 millions de mètres cubes d'agrégats et 3 000 tonnes de calcaire servant à fabriquer de la chaux dans des fours droits.

Deux excavateurs de 1,5 mètre cube extraient les morts-terrains que des camions et des convoyeurs à bande déposent dans des fosses prévues à cet effet. Le transport des graviers du front de taille à l'installation se fait par camions, dumpers et wagonnets à benne basculante. On soumet le gravier à plusieurs criblages successifs pour le répartir en catégories correspondant aux dimensions couramment utilisées. Le concassage est effectué par 15 concasseurs, à mâchoires ou à cônes, compte tenu des exigences du marché danois pour les pierres de petite taille. Pour débarrasser les agrégats de l'argile indésirable, le crible est muni d'un dispositif de lavage.

Les eaux résiduaires sont envoyées dans un bassin, où le sable se dépose avant de passer par des cribles d'épuisement ou des doubles vis laveuses. Une partie des fines provenant du trop-plein du bassin est retenue dans des cyclones. L'eau qui contient encore des fines est envoyée dans un bassin pour purification avant d'être remise en circulation dans l'installation.

Le sable est débarrassé de l'argile et des acides humiques par lavage, puis mis en tas pour épuisement.

Pour répondre aux exigences des normes danoises en ce qui concerne la teneur en calcaire poreux pour la résistance au gel, les pierres peuvent être triées à la main. On enlève en même temps le granite et le calcaire.

Modulbeton, Ølstykke

Modulbeton est l'une des deux plus grandes usines d'éléments en béton existant au Danemark. Le système Jespersen est utilisé surtout pour la construction des grands ensembles immobiliers.

Le béton utilisé doit avoir une teneur en ciment de 280 kg/m³. La consommation quotidienne de ciment est de 100 tonnes.

Le traitement et le durcissement à la vapeur permettent le décoffrage au bout de trois heures seulement si l'on utilise du ciment à prise rapide. La résistance à la compression est alors de 150 kg/m² à une température de 70°C à 80°C.

La visite comprenait la projection d'un film consacré à une usine canadienne appliquant le système Jespersen. La production annuelle de cette usine est de

2 500 appartements de 100 mètres carrés en moyenne. Le montant total des investissements s'est élevé à 2,8 millions de dollars des Etats-Unis.

Larsen et Nielsen, Glostrup

Le système Larsen et Nielsen d'éléments en béton préfabriqué combine les cloisons de soutènement avec des revêtements extérieurs. Le système peut être utilisé aussi bien pour la construction d'immeubles à plusieurs étages que pour celle de pavillons. La visite des installations de production a été suivie de celle de l'ensemble Brøndby Strand, pour lequel Larsen et Nielsen doivent fournir 2 800 appartements en quatre ans. Il s'agit d'un grand ensemble de conception moderne comportant notamment des zones réservées aux piétons. Les participants ont assisté à la projection d'un film consacré à un ensemble d'habitations à bon marché construit à Kuala Lumpur (Malaisie) sous licence Larsen et Nielsen. Des investissements d'un montant total de 8 millions de dollars ont permis la construction de l'usine et la production de 3 000 logements. Ces appartements ont en moyenne une superficie de 60 mètres carrés; le prix de revient est de 40 dollars par mètre carré. L'usine et la première tranche de 3 000 appartements ont été construits en 27 mois.

L'ensemble de Kuala Lumpur a été conçu selon un système normalisé n'utilisant que neuf éléments. Ce nombre est habituellement de 60 pour le système Larsen et Nielsen Nybo; il est même de 300 pour l'ensemble plus élaboré de Brøndby Strand.

De Danske Betonfabrikker, Hedehusene

L'entreprise De Danske Betonfabrikker située à Hedehusene est la fabrique de béton prémélangé la plus moderne de l'agglomération de Copenhague. L'exposé général sur le transport du béton prémélangé comportait une description des divers types de véhicules utilisés.

Cette usine produit annuellement 80 000 mètres cubes de béton prémélangé. Pour tripler sa capacité, on peut utiliser deux malaxeurs supplémentaires. Le béton est fabriqué en continu dans des malaxeurs à axe vertical. Un ordinateur à calcul analogique permet de contrôler simultanément la composition des différents mélanges.

La majeure partie du béton utilisé au Danemark est fabriquée dans des centrales, alors que dans les pays où les trajets à parcourir sont plus longs, le mélange est fréquemment effectué en cours de transport.

Aalborg Portland Cement Fabrik Rørdal, Aalborg

C'est la plus grande cimenterie du Danemark. Elle exploite d'importants gisements de craie et d'argile tout proches et sa capacité annuelle est de 25 millions de tonnes. Outre le ciment portland, elle fabrique des ciments spéciaux (essentiellement du ciment blanc).

Le fonctionnement des nouvelles installations de l'usine, notamment la fabrication de la pâte à ciment, la marche des fours, ainsi que le stockage et le broyage du clinker est surveillé et contrôlé à partir d'une salle de commandes centrale qui est équipée d'un ordinateur numérique-analogique.

La craie et l'argile sont traitées respectivement dans les trommels laveurs et dans des nettoyeurs, puis broyées ensemble de façon à former une pâte qui est soumise à une homogénéisation continue. Les matières premières ayant une forte teneur en eau à la carrière (environ 25%) et pouvant être traitées par voie humide à peu de frais, on a choisi ce procédé pour les installations les plus récentes. Le procédé par voie humide est plus économique dans ce cas que le traitement par voie sèche, bien que les fours consomment davantage de combustible.

Neuf fours sont en service à l'usine Rørdal. Le dépoussiéreur électrostatique associé à chacun des nouveaux fours permet de séparer les poussières riches en alcalis de celles que l'on réintroduira dans le four. Les poussières riches en alcalis sont soit mélangées à de l'eau de mer pour former une boue qui est déversée par pompage dans des carrières d'argile abandonnées, soit vendues comme engrais. Une partie des poussières réutilisables est amenée jusqu'à l'orifice latéral du four, le reste étant insufflé directement dans la zone de calcination du four. Le dépoussiéreur électrostatique associé à l'un des nouveaux fours possède plusieurs orifices supplémentaires pour l'évacuation des poussières riches en alcalis, ce qui permet de régler la quantité de poussière éliminée et donc de maintenir la quantité d'alcalis dans des limites acceptables.

Un dispositif d'alimentation spécial permet de maintenir à un niveau constant les quantités de poussière réintroduites par l'orifice latéral et dans la zone de calcination. Les variations de la quantité de poussière réutilisable fournie par le dépoussiéreur électrostatique sont compensées par déversement ou par prélèvement dans une chambre d'équilibre.

A chaque nouveau four est associé un broyeur et une trémie de chargement pour le charbon qui est introduit dans le four grâce à un dispositif d'alimentation incorporé. L'air utilisé pour le séchage dans les broyeurs à charbon est injecté dans les fours comme air primaire. Afin d'éviter les perturbations que la mise en route ou l'arrêt des broyeurs à charbon pourraient provoquer dans le fonctionnement des fours, les broyeurs ont été équipés d'un moteur à régime variable pour assurer un fonctionnement continu. Le broyage du charbon est réglé automatiquement de façon que la trémie de chargement soit constamment pleine en dépit des variations dans la consommation de charbon du four. Cette commande automatique règle en outre la grosseur des particules de charbon pulvérisé.

L'utilisation du système MINIPEBS dans lequel le broyage se fait en circuit ouvert à l'aide d'un broyeur primaire et d'un broyeur secondaire simplifie l'installation de broyage. Il présente des avantages du point de vue de l'installation, de l'exploitation et du coût de l'équipement.

La majeure partie du ciment est commercialisée en vrac. Des bateaux conçus spécialement à cet effet transportent le ciment jusqu'aux entrepôts équipés pour le stockage en vrac dans diverses régions du Danemark; de là, le ciment est livré en vrac aux clients par des camions appartenant à la société.

Dansk Eternit Fabrik, Aalborg

Cette grande fabrique de produits en amiante-ciment dispose de 11 chaînes pour la fabrication de plaques et d'une chaîne pour la fabrication de tuyaux. Les plaques en amiante-ciment sont fabriquées à l'aide de machines Hatschek et de machines Magnani. Les avantages et les inconvénients de ces deux types de machines sont les suivants:

La capacité de production de la machine Magnani, 200 tonnes par jour, est légèrement supérieure à celle de la machine Hatschek à trois cuves.

Les investissements sont plus élevés pour les grandes machines Hatschek que pour les machines Magnani. Les machines Hatschek ont une plus grande diversité d'emploi, pouvant être utilisées pour la fabrication d'éléments plats et ondulés et pour toute une gamme d'autres produits.

Les produits fabriqués à l'aide de machines Hatschek ont une résistance légèrement supérieure à celle que l'on obtient avec les machines Magnani. Cependant, cet avantage est compensé par le fait que les plaques ondulées obtenues avec des machines Magnani ont un meilleur profil, ce qui leur donne une bonne résistance.

L'amiante étant une matière première importée coûteuse, on attache une grande attention à son traitement qui est effectué dans deux broyeurs à barres modernes. L'usine consomme en moyenne de 80 à 100 tonnes d'amiante par jour.

La capacité annuelle de l'usine est de près de 30 000 tonnes de produits en amiante-ciment. Au Danemark, la consommation par habitant de produits en amiante-ciment atteint 50 kg contre 16 kg dans la République fédérale d'Allemagne et 12 kg en Suède.

L'usine fabrique toute une gamme de produits moulés à la main, des éléments plats ou ondulés, des bardeaux et des tuyaux à haute pression. Les plaques ondulées pour toitures représentent 70% de la production totale. On s'attend toutefois à une légère diminution de la part des plaques pour toitures dans le marché des produits en amiante-ciment, tandis que la part d'un certain nombre de produits nouveaux devrait augmenter. Il est à noter que la production de l'usine se caractérise par un degré de normalisation assez poussé par rapport à d'autres pays.

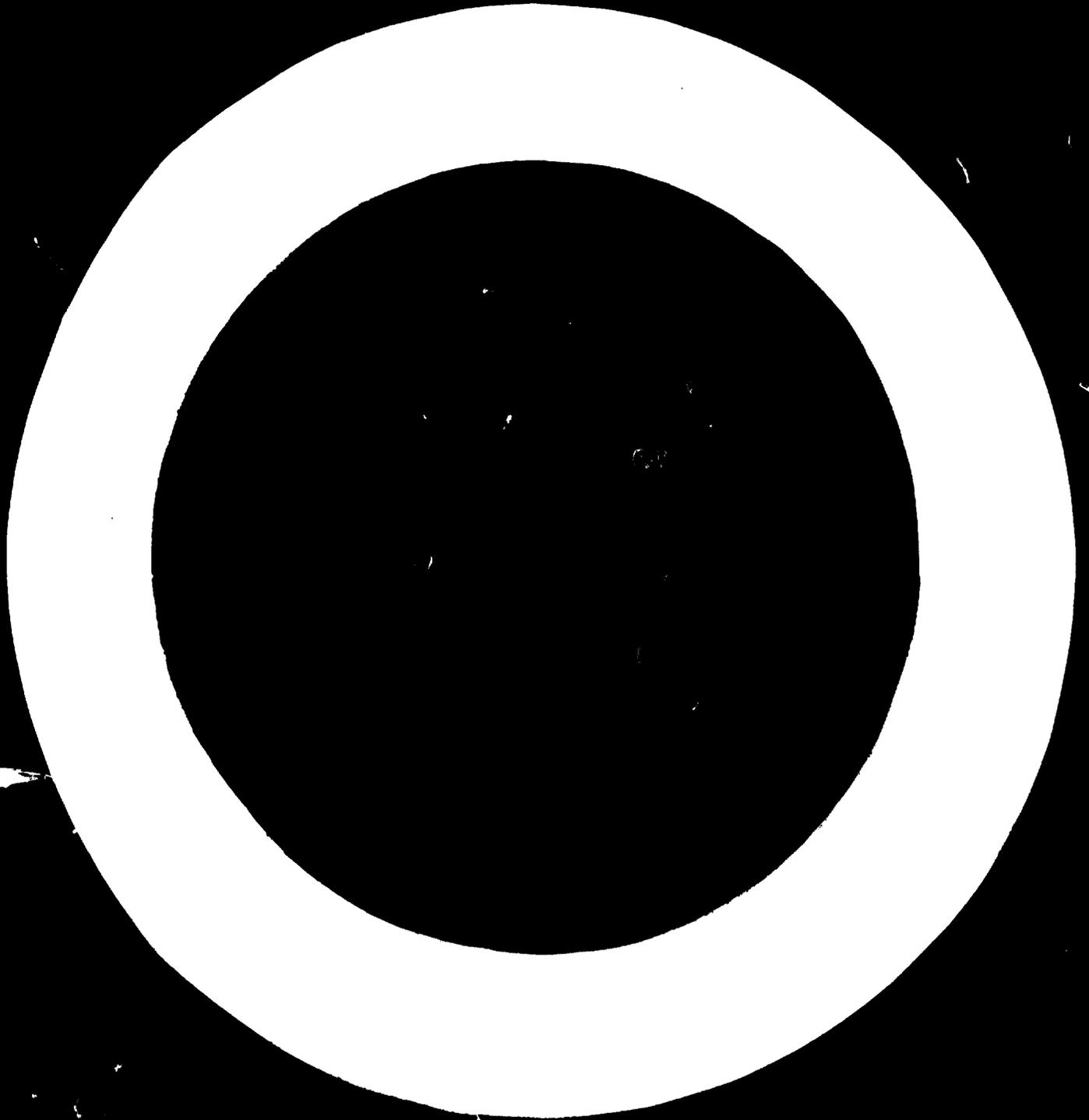
Pedershaab Maskinfabrik, Brønderslev

La Pedershaab Maskinfabrik construit les célèbres machines VIHY utilisées pour la fabrication des tuyaux. Après la visite des chaînes de production, une démonstration a été effectuée dans le laboratoire où les nouvelles machines sont construites et soumises à des essais. Un nouveau modèle peut fabriquer des tuyaux ayant jusqu'à 250 cm de long et 60 cm de diamètre intérieur. Il est entièrement automatique et produit un tuyau toutes les trois minutes. Cette machine ne nécessite comme main-d'oeuvre qu'un conducteur de chariot pour retirer les tuyaux. D'autres machines fabriquées dans cette usine servent à produire des tuyaux dont le diamètre intérieur peut atteindre 200 cm.

Une machine moins complexe produit des tuyaux de 125 cm de long dont le diamètre intérieur est compris entre 10 et 40 cm. Il suffit d'un seul ouvrier pour l'actionner et elle produit entre 250 et 300 tuyaux par jour.

Les tuyaux en béton peuvent être assemblés de différentes façons. La méthode la plus simple consiste à utiliser du mortier de ciment. Cependant, les meilleurs joints sont en caoutchouc synthétique et présentent les avantages suivants: souplesse, possibilité d'ouverture en cas de nécessité, étanchéité, installation et contrôle aisés.

Pour la fabrication des tuyaux en béton, on utilise du ciment portland ordinaire en été et du ciment à prise rapide en hiver. Au Danemark, il n'est pas nécessaire de traiter le béton pendant le durcissement sauf au cours des premières 24 heures si les produits sont stockés sous abri. Dans les pays où l'humidité est faible, des précautions spéciales sont parfois nécessaires.



HOW TO OBTAIN UNITED NATIONS PUBLICATIONS

United Nations publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DES NATIONS UNIES

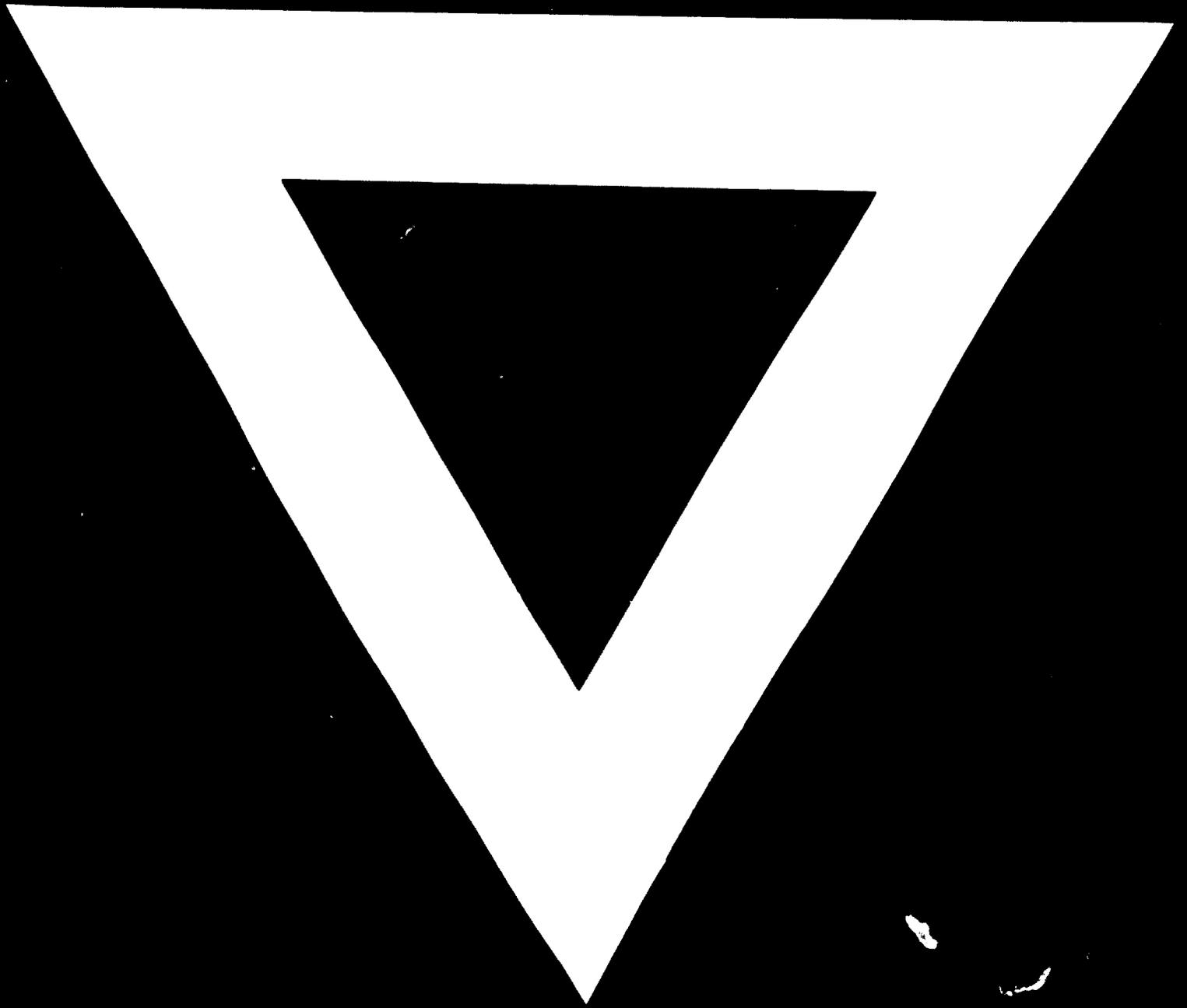
Les publications des Nations Unies sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre librairie ou adressez-vous à: Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

КАК ПОЛУЧИТЬ ИЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Издания Организации Объединенных Наций можно купить в книжных магазинах и агентствах во всех районах мира. Наводите справки об изданиях в вашем книжном магазине или пишите по адресу: Организация Объединенных Наций, Секция по продаже изданий, Нью-Йорк или Женева.

COMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

Las publicaciones de las Naciones Unidas están en venta en librerías y casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.



27-12-74