

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses  
**Band:** 124 (1998)  
**Heft:** 17/18

**Artikel:** Cleuson-Dixence: réutilisation des matériaux d'excavation  
**Autor:** Michel, Pierre / Jacquemoud, Joseph / Pralong, Jean  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-79395>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Cleuson-Dixence: réutilisation des matériaux d'excavation

Par Pierre Michel, Joseph Jacquemoud, Jean Pralong, bureau d'ingénieurs Dr. Jean Pralong + Associés SA, rue de la Majorie 9, 1950 Sion et Christophe Carron, bureau d'ingénieurs Schneller, Ritz und Partner AG, Nordstrasse 16, 3900 Brigue

**1. Description générale**  
L'aménagement Cleuson-Dixence est situé en Suisse romande, dans le canton du Valais. Il relie le barrage de la Grande-Dixence, érigé au fond du val d'Hérémence (à 2364 m d'altitude), à l'usine souterraine de Bieudron dans la plaine du Rhône (à 480 m d'altitude) par une galerie d'amenée de 15,9 km ( $\varnothing$  4,80 m) et un puits blindé incliné de 4,3 km ( $\varnothing$  3,20 m). L'objectif de ce nouvel aménagement est d'augmenter la puissance de l'aménagement existant de 1200 MW par une chute record de 1880 m à un débit de 75 m<sup>3</sup>/s pour permettre une meilleure valorisation de l'énergie disponible<sup>1</sup>. Les expériences décrites ci-après concernent l'identification, la caractérisation et le traitement de maté-

riaux excavés au tunnelier, ainsi que leur réutilisation comme agrégats à béton dans l'ouvrage définitif. Ces expériences ont porté sur les lots A/B, soit la partie amont de l'aménagement – du Lac des Dix jusqu'à Tortin (km 8,5) – réalisée à partir du chantier du Chargeur (fig. 1).

## 2. Réutilisation des matériaux d'excavation des lots A/B

Des essais de faisabilité réalisés en 1990 ont montré qu'il était possible d'utiliser les matériaux provenant du pied du barrage pour la fabrication de granulats à béton. Les prévisions géologiques étant homogènes sur la longueur des lots A/B de l'aménagement Cleuson-Dixence, l'option a été prise avec le maître de l'ouvrage lors de la mise en soumission de fabriquer les granulats > 4 mm sur le chantier. Les conditions à respecter étaient les suivantes :

- lavage et stockage en trois fractions: 4-8; 8-16; 16-26
- coefficient de forme selon AF-NOR supérieur à 0,20
- les sables 0-4 seront, de préférence, roulés; ils proviendront de la région et devront répondre aux exigences normalisées.

Les volumes de matériaux effectivement excavés sur les lots A/B sont les suivants :

- 28 500 m<sup>3</sup> à l'explosif: fenêtres d'accès et cavernes au Chargeur
- 194 300 m<sup>3</sup> au tunnelier: galerie d'amenée Chargeur-Tortin.

Pour des raisons inhérentes à l'organisation de l'entreprise et au déroulement des travaux, seuls des matériaux forés au tunnelier (« chips ») ont été réutilisés.

Les données pétrographiques résultant d'essais préliminaires réalisés en 1995 sur des granulats produits à partir du marin sont les suivantes :

- granulats concassés :

<sup>1</sup> Pour plus de détails, voir BOSKOVITZ, PIERRE: « Aménagement Cleuson-Dixence », IAS N° 4 du 4 février 1998, pp. 44-49, et N° 8 du 1<sup>er</sup> avril 1998 118-122

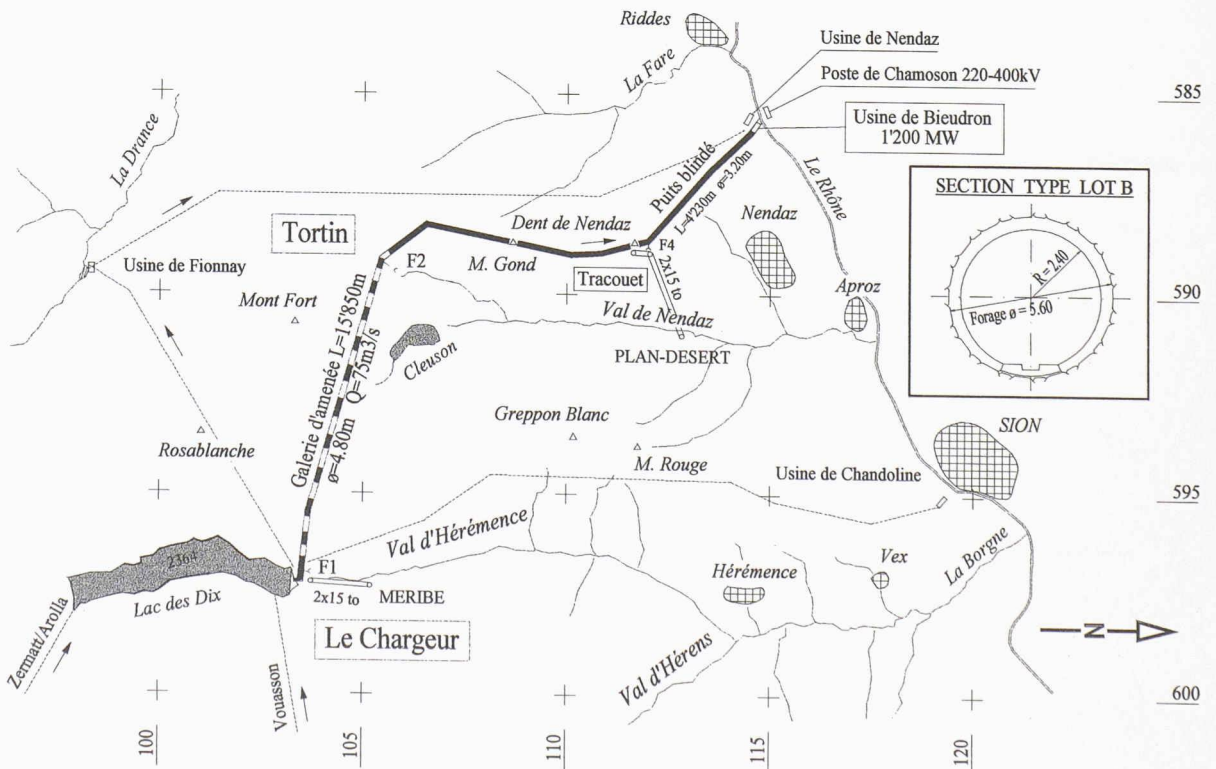


Fig. 1. – Situation générale de l'aménagement Cleuson-Dixence

- ~84,0 % de roches cristallophyliennes
- ~6,6 % de roches sédimentaires
- ~6,0 % de quartz filonien
- ~3,4 % de calcite, micaschistes (cette composition est indicative et sujette à variations importantes et rapides);
- sable: riche en micas (>10%), pratiquement inutilisable même après lavage.

Ces résultats venant confirmer les hypothèses admises, la décision a été prise de fabriquer au Chargeur des granulats à béton à partir des matériaux excavés au tunnelier pour les fractions Ø 4-8, 8-16 et 16-26 mm. Les sables ont par contre été amenés depuis la vallée. Les quantités de béton à produire sur place pour les ouvrages des lots A/B représentent un volume théorique global de 56 000 m<sup>3</sup>, réalisés à 93 % avec les matériaux revalorisés sur le site.

### 3. Préparation des granulats à béton

#### 3.1 Concept d'assurance qualité

La préparation, l'organisation et le contrôle ont été définis dans le cadre du plan d'assurance qualité

appliqué au chantier. Les tâches et responsabilités des intervenants ont été fixées. Le déroulement et le suivi des opérations ont été formalisés au moyen de:

- fiches de procédure
- fiches de suivi et protocoles d'essais
- traitement de non-conformités éventuelles.

#### 3.2 Choix du marin réutilisable

Différents critères de sélection du marin ont été testés et évalués pour les lots A/B Cleuson-Dixence:

- a) visuel: pétrographie, structure et forme des matériaux d'excavation
- b) « Los Angeles »: usure, friabilité
- c) « Point Load »: écrasement ponctuel
- d) LCPC-BR: broyabilité
- e) LCPC-ABR: abrasivité
- f) scléromètre: résistance
- g) carottage: résistance
- h) paramètres d'avancement du tunnelier: poussée, pénétration.

Les résultats des essais et de la mise en œuvre dans les conditions de chantier des lots A/B ont permis de constater que seuls les critères a) à e) pouvaient fournir des résultats représentatifs, suffisamment rapides et significatifs.

Pour l'exécution, les critères a), b) et c) se sont révélés les mieux adaptés aux spécificités des lots A/B. Ils ont été retenus et appliqués par la direction locale des travaux pour la sélection du marin réutilisable.

Les principes essentiels de sélection du marin sont les suivants:

- a) L'examen visuel permet d'apprécier immédiatement la granulométrie du marin, le « type » de roche, sa schistosité et sa friabilité. Il constitue la base de *décision a priori* soit pour le tri des matériaux à 15 mm et leur stockage en prévision de leur réutilisation, soit pour la mise en décharge définitive. La durée de l'examen visuel est minimale.
- b) L'essai *Los Angeles* permet de quantifier la friabilité du maté-

riau et par là son aptitude à être réutilisé. Si la mesure est inférieure à une valeur limite située à 40, alors le matériau est considéré comme réutilisable. La mesure « Los Angeles » constitue donc une base de *décision a posteriori* qui confirme ou corrige la décision prise sur la base de l'examen visuel. La durée de l'essai est d'environ trois heures.

- c) L'essai *Point Load* permet de quantifier la résistance du matériau (« chips ») à l'écrasement ponctuel. Les résultats d'essais sont sujets à de fortes fluctuations en fonction de la schistosité des échantillons, si bien que l'interprétation des résultats est parfois délicate. La mesure « Point Load » constitue un *indicateur de déviations* qui peut être corrélé avec la mesure « Los Angeles ».

En pratique, l'examen visuel d'abord, l'essai « Los Angeles » ensuite, ont servi de base à la direction locale des travaux pour décider de (fig. 2):

- stocker les matériaux en prévision de leur réutilisation
- mettre définitivement en décharge les matériaux non réutilisables.

L'expérience montre que dans les conditions de chantier, seul un tri primaire des matériaux basé sur une décision rapide peut effectivement être réalisé sans risquer d'influencer l'avancement. Une classification plus fine en catégories n'est réalisable qu'ultérieurement, à la station de concassage par exemple.

#### 3.3 Résultats pratiques

L'application pratique des critères de sélection par examen visuel et essais « Los Angeles » lors de la creuse de la galerie d'amenée est représentée graphiquement dans le profil en long de la figure 3.

Sur le chantier, la direction locale des travaux s'est aperçue à l'exécution que, selon la nature des roches et la forme des « chips », un traitement préliminaire à 100 tours (L.A. 100) s'avérait judicieux pour corriger les résultats trop pé-

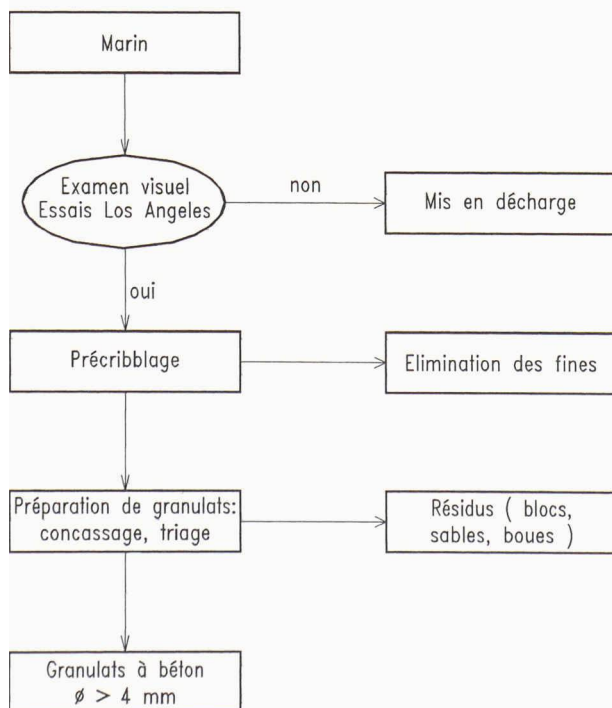


Fig. 2.- Schéma décisionnel



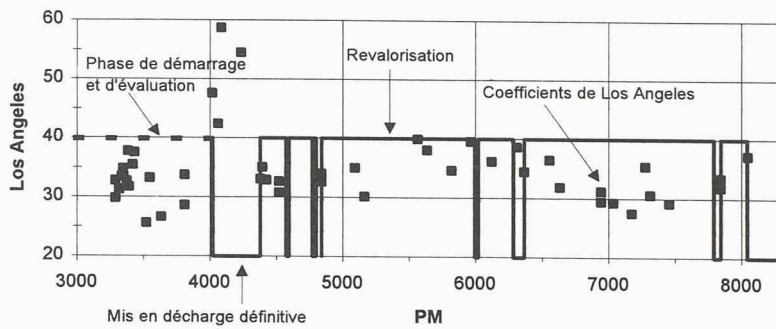


Fig. 3. - Résultats « Los Angeles » en fonction du PM et décision pour la réutilisation

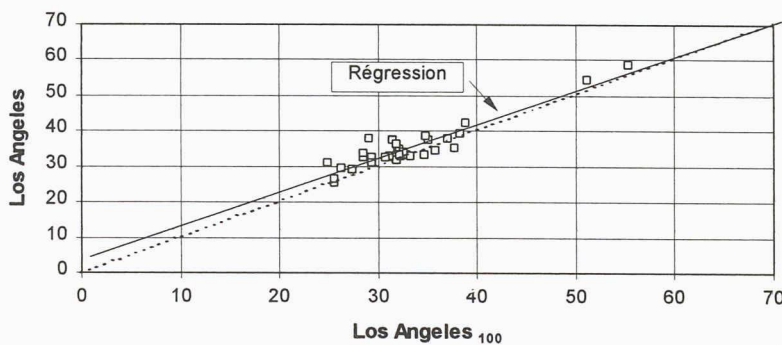


Fig. 4. - Corrélation « Los Angeles » - « Los Angeles 100 »

nalisants de l'essai « Los Angeles » normalisé (fig. 4).

La combinaison des résultats d'essais « Point Load » et « Los Angeles » (fig. 5) permet d'affiner le critère de triage des matériaux en fonction de l'orientation de la schistosité sur les échantillons testés.

Le triage des quelque 200 000 m<sup>3</sup> de marin excavés avec le tunnelier du lot B Cleuson-Dixence, entre le PM 4000 et le PM 8283 a fourni :

- 80 % de matériaux revalorisables, soit plus de 160 000 m<sup>3</sup> foisonnés
- 20 % de matériaux mis en décharge définitivement.

Il convient de relativiser ce résultat car les besoins du chantier en matériaux revalorisables étaient sensiblement inférieurs. En optimisant le triage et en l'extrapolant à l'ensemble de la longueur forée, on peut estimer qu'il aurait été possible d'atteindre une proportion de matériaux revalorisables de 85 %.

#### 3.4 Installation de chantier

Les installations de chantier de l'entreprise comprennent les élé-

ments principaux suivants (fig. 6) :

- une installation de précriblage à  $\varnothing > 15$  mm du marin revalorisable ;
- une installation de concassage comprenant un concasseur primaire à percussion, un broyeur à marteaux à axe vertical et une installation de lavage et de triage.

Le choix du type de concasseurs s'est effectué sur la base d'essais préliminaires comparatifs réalisés sur deux types d'installations différentes avec des matériaux d'excavation prélevés sur le chantier et avec comme critères le rendement d'une part, et la forme (selon AF-NOR) d'autre part.

Relevons ici que les conditions de chantier au Chargeur, à 2200 m d'altitude, sont fortement tributaires de la météorologie saisonnière. En période hivernale, l'accès au chantier n'est possible qu'au moyen d'un téléphérique. La production de granulats est alors interrompue et les stocks sont protégés. Le transport des granulats produits sur le site, du lieu de stockage jusqu'à la centrale à béton souterraine, fait appel à un téléphérique de chantier jusqu'au portail, puis à un tapis roulant en galerie. Les autres composants du béton (sable, ciment, adjuvants) sont livrés sur le site par téléphérique ou par la route en période estivale.

#### 3.5 Fabrication des granulats

Les critères de contrôles de qualité des granulats produits au Chargeur sont les suivants :

- a) granulométrie : VSS 670'835
- b) propreté : SIA 162/1
- c) cubicité : AFNOR 18-301, 18-561

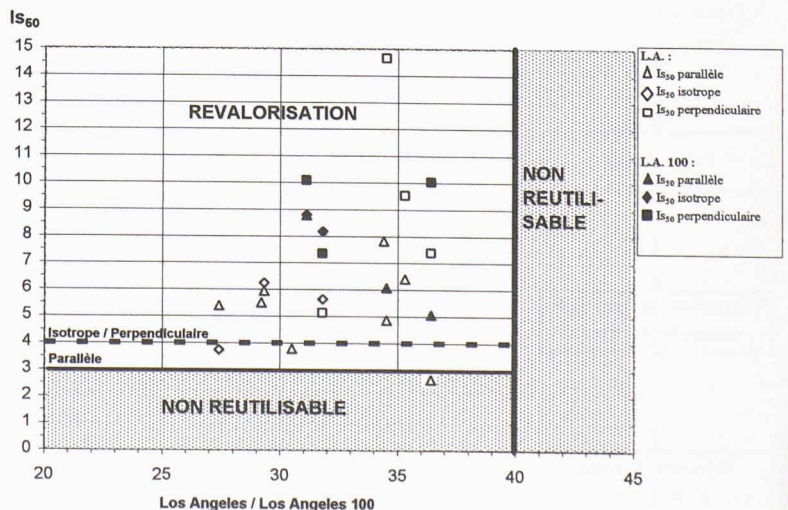


Fig. 5. - Corrélation « Los Angeles » resp. « Los Angeles 100 » - « Point Load »



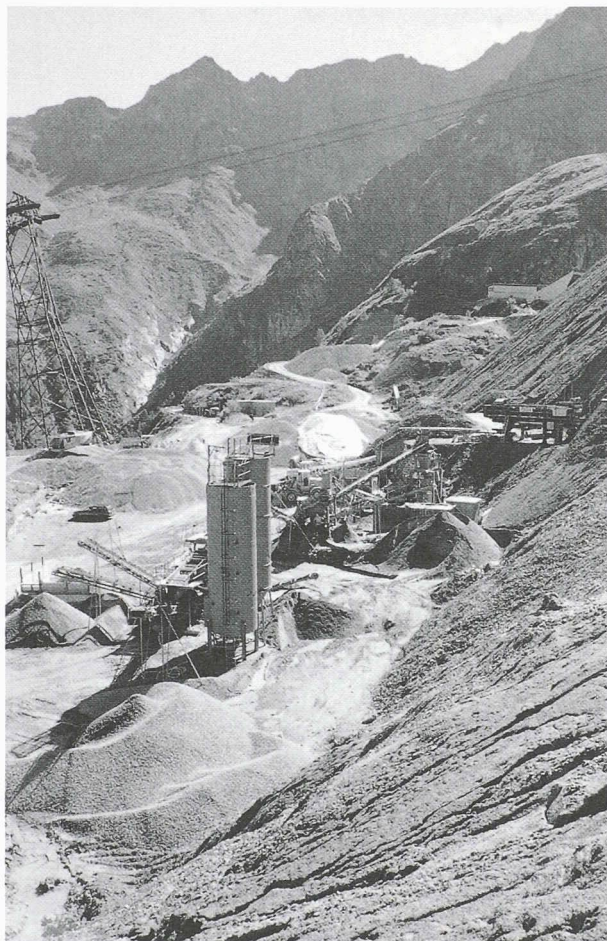


Fig. 6. - Vue d'ensemble de l'installation de concassage

- d) teneur en fines : SIA 162/1  
 e) impuretés organiques :  
 SIA 162/1.

Les essais de convenance réalisés au démarrage de la production ont démontré que les critères a), b), d) et e) étaient satisfaits sans difficulté. En ce qui concerne la cubicité des granulats, l'exigence visant à obtenir un coefficient de forme supérieur à 0,2 a été adaptée en valeur cible, les résultats d'essais sur béton ayant démontré que cette condition ne constituait pas un critère absolu.

33 700 m<sup>3</sup> de granulats > 4 mm ont été produits au Chargeur à partir de matériaux excavés au tunnelier. Les rendements obtenus à partir du matériau d'excavation brut, par sélection du marin, précriblage à 15 mm puis finalement concassage et triage en granulats à béton sont détaillés à la figure 7. Compte tenu de l'ensemble des opérations, il résulte finalement une proportion de 29 % de granulats à béton > 4 mm obtenue à partir de l'ensemble des matériaux d'excavation.

Ce résultat est à considérer comme une valeur inférieure, car

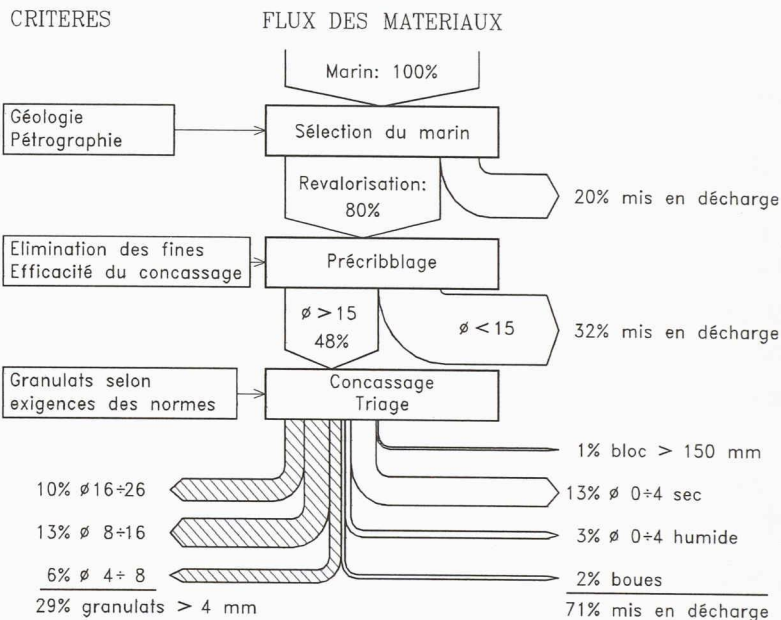


Fig. 7. - Répartition des matériaux en fonction des différentes opérations réalisées à partir du marin jusqu'aux granulats finis

le processus n'a pas été optimisé puisque les volumes à disposition étaient supérieurs aux besoins. Dès lors, c'est l'efficacité qui a primé, en fonction de l'objectif à atteindre, soit la production des granulats > 4 mm strictement nécessaire au chantier.

### 3.6 Aspects financiers

Si la fabrication de granulats sur place a nécessité un investissement supplémentaire en installations de chantier au départ, celui-

ci est finalement compensé par la production des bétons à un prix unitaire inférieur. Dans le cas du chantier du Chargeur, le seuil de rentabilité financière pour le maître de l'ouvrage se situe à 22 000 m<sup>3</sup> de granulats à béton (fig. 8).

### 4. Bétons

Les principaux types de béton mis en œuvre en grande masse pour l'exécution des revêtements des ouvrages souterrains sont détaillés

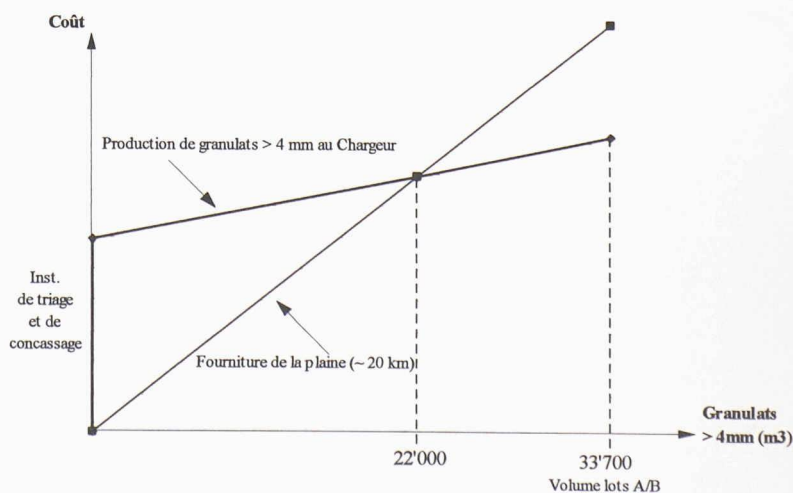


Fig. 8. - Coûts comparatifs



Type de béton	B 35/25	B 35/25 *	B 45/35
Recettes :			
Ø 0 ÷ 4 mm	860 kg	948 kg	744 kg
Ø 4 ÷ 8 mm	140 kg	434 kg	223 kg
Ø 8 ÷ 16 mm	436 kg	337 kg	446 kg
Ø 16 ÷ 26 mm	474 kg	-	484 kg
Ciment CEM I 42.5	325 kg	325 kg	-
Ciment CEM I 52.5	-	-	375 kg
Fluidifiant	1.2 %	1.3 %	1.5 %
Retardateur de prise	-	-	0.1 %
Cendres volantes	35 kg	95 kg	-
Microsilices	-	-	10.0 %
E/C	0.50	0.48	0.49
Quantités mise en place	17'450 m <sup>3</sup>	15'700 m <sup>3</sup>	3'250 m <sup>3</sup>

Fig. 9. – Recettes de béton de revêtement de galerie et quantités mises en place

Type de béton	B 35/25		B 35/25 *		B 45/35	
	Exigences	Essais	Exigences	Essais	Exigences	Essais
Résistance $f_{cm,28j}$ , 28 j. $f_{cm,28j} > 90 j$	35 N/mm <sup>2</sup>	41.6 N/mm <sup>2</sup> 55.9 N/mm <sup>2</sup>	35 N/mm <sup>2</sup>	33.0 N/mm <sup>2</sup> 52.6 N/mm <sup>2</sup>	45 N/mm <sup>2</sup>	50.9 N/mm <sup>2</sup>
Résistance initiale : $f_{cm,24h}$ , 24 h scélomètre 24 h $f_{cm,3j}$ , 3 j	10 N/mm <sup>2</sup>	29.1 N/mm <sup>2</sup>	10 N/mm <sup>2</sup>	13.8 N/mm <sup>2</sup> ~ 10 N/mm <sup>2</sup>	10 N/mm <sup>2</sup>	~ 15 N/mm <sup>2</sup> 38.7 N/mm <sup>2</sup>
Durabilité (pénétration d'eau DIN)	< 5 cm	4.4 cm	< 5 cm	3.5 cm	< 5 cm	2.4 cm
Consistance étalement AM, t = 0 étalement AM, t = 2hres Walz W	pompable	54 cm 38 cm	autonivelant	69 cm 60 cm	pompable	1.03

Fig. 10. – Exigences et résultats d'essais sur bétons de revêtement

à la figure 9. La distinction entre le béton B 35/25 et le béton B 35/25\* est une exigence particulière de consistance permettant une mise en place sans vibration. Une synthèse des résultats d'essais est représentée à la figure 10. Les granulats fabriqués au Char-

geur ont également été utilisés pour l'exécution de béton de radier, de bétons projetés de soutènement et de revêtement ainsi que de mortier de remplissage auto-nivelant. L'utilisation de granulats produits à partir du marin n'a pas occasionné de problèmes particuliers dans

l'élaboration des recettes de béton, ni dans la production de masse lors de l'exécution. Pour les conditions géologiques rencontrées, l'enseignement principal retiré de l'expérience du Chargeur est la confirmation que les granulats Ø 4-26 mm fabriqués à partir de matériaux excavés au tunnelier conviennent parfaitement à la fabrication des bétons.

### 5. Conclusions

L'expérience des lots A/B de l'aménagement Cleuson-Dixence a démontré que la réutilisation de matériaux excavés au tunnelier est possible.

Pour l'excavation au tunnelier le choix du marin réutilisable peut, dans un cas comme celui du chantier du Chargeur, se baser sur :

- le contrôle visuel (qualitatif)
- l'essai « Los Angeles » (quantitatif : LA < 40)
- l'essai « Point Load » (indicatif)

Les bétons fabriqués au Chargeur avec des granulats > 4 mm tirés des matériaux d'excavation du tunnelier satisfont les exigences de qualité requises.

L'ensemble des procédures d'exécution a été soumis à l'observation d'un concept d'assurance qualité. La démarche adoptée constitue à n'en pas douter une solution intéressante qui a restreint les impacts du chantier sur l'environnement. Cela étant, l'option de réutiliser les matériaux d'excavation pour la fabrication des bétons nécessite un engagement plus important de tous les intervenants.

## Servons-nous du mot juste

### Réimpression – Mise en souscription

La deuxième édition de cet ouvrage, destinée à éviter « Les pièges tendus au traducteur par l'allemand des bâtisseurs », est actuellement épuisée. Les commandes continuant à nous arriver, nous avons décidé une réimpression de cet outil très largement apprécié, même au-delà du milieu de la construction auquel il était destiné en priorité.

A cet effet, nous ouvrons une souscription jusqu'au 30 septembre prochain. Les commandes nous parve-

nant à cette date bénéficieront d'un prix inchangé de Fr. 20.-; passé cette date, le prix de vente est fixé à Fr. 22.-, pour tenir compte de l'évolution des coûts d'impression (TVA et frais de port en sus).

Nous espérons ainsi contribuer à améliorer la compréhension entre les professionnels de la construction de part et d'autre de la Sarine.

Nos lecteurs trouveront un bulletin de commande en p. 8 des annonces.

Rédaction