

Réutilisation de matériaux d'excavation de tunnels dans la superstructure de la A5 vaudoise

Autor(en): **Simond, Eric**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tracés : bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **129 (2003)**

Heft 03: **Contradictions autoroutières**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-99189>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Réutilisation de matériaux d'excavation de tunnels dans la superstructure de la A5 vaudoise

Une fois achevée, la route nationale A5 couvrira 108 km pour desservir les villes du pied du Jura, à partir d'Yverdon-les-Bains jusqu'à la plaine de l'Aar au nord de Soleure. Elle sera en outre reliée à la Transjurane (A16) qui dessert le Jura bernois et le canton du Jura, à la J20 venant de la Vue des Alpes et à la J10 provenant du Val de Travers, favorisant ainsi le développement des régions traversées et de tout l'arc jurassien.

A la suite d'un premier tronçon de 9 km ouvert à la circulation en 1984, l'achèvement de la totalité de la A5 sur sol vaudois est prévu pour début 2005. Sur les 9,9 km qui restent à construire dans le canton, la A5 aligne cinq ponts d'une longueur totale de 540 m (5% du tracé), une galerie couverte de 600 m (6% du tracé) et deux tunnels d'une longueur totale de quelque 1700 m (17% du tracé) (fig. 1 et 2).

Le présent article retrace les différentes étapes - des études aux travaux - engagées par la Division des

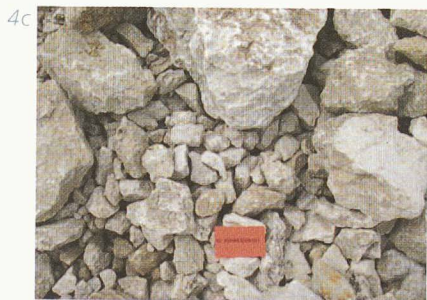
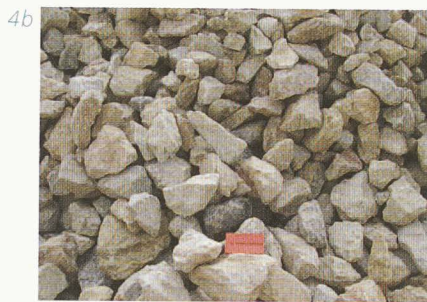
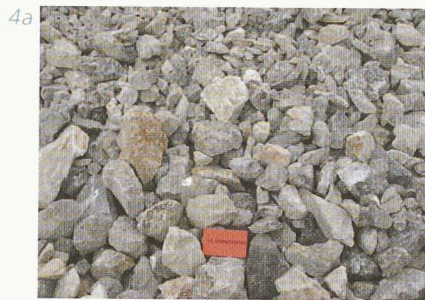
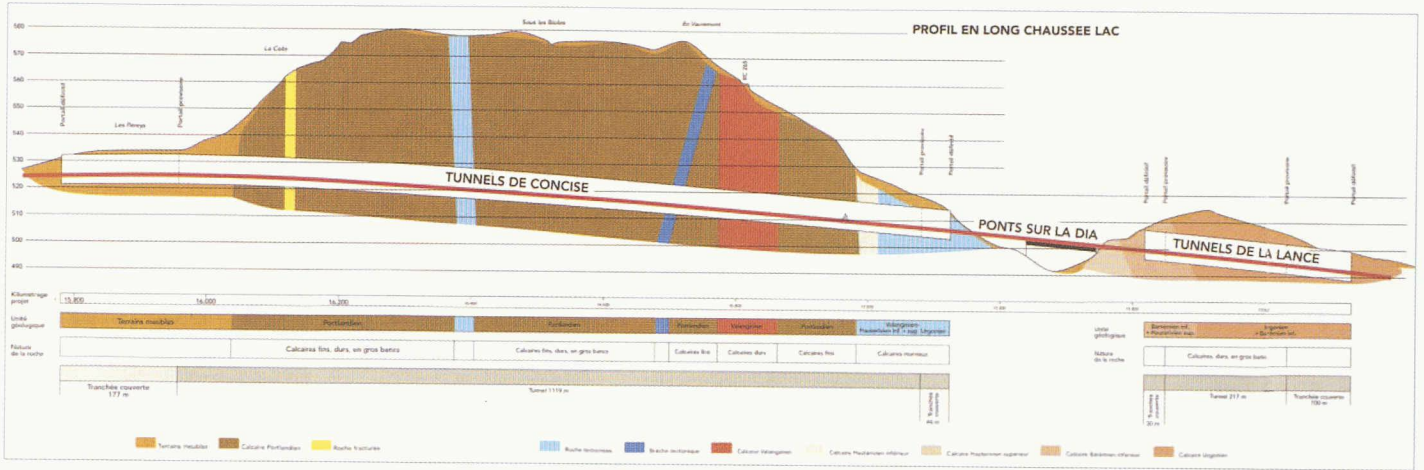
routes nationales du Département des infrastructures du canton de Vaud pour réutiliser les matériaux d'excavation des tunnels. L'originalité de cette réutilisation porte essentiellement sur le fait que ces matériaux rocheux sont exploités pour réaliser la superstructure hydrocarbonée de l'autoroute. En effet, s'il est relativement fréquent de réutiliser de telles ressources pour la confection de remblais, de grave ou de béton, leur part à la fabrication d'enrobés bitumineux est nettement plus rare.

Caractéristiques des roches des tunnels

Les sondages de reconnaissance réalisés sur le tracé des tunnels dans le cadre de l'avant projet et du projet d'exécution ont montré que :

- le tunnel de Concise (1450 m) traversait principalement du calcaire portlandien de très bonne qualité (70% du tunnel en rocher) et du calcaire valenginien (10% du tracé en rocher)





Type de roche	Volume à excaver [m ³]	Couleur dominante
Portlandien	237 000	Gris
Valenginien	47 000	Beige
Hauterivien supérieur - Barrémien	81 000	Jaune clair

- le tunnel de La Lance (250 m) se situait entièrement dans des calcaires du complexe Hauterivien supérieur - Barrémien (fig. 3).

Les volumes concernés des principaux types de calcaires rencontrés par le tracé sont reportés dans le [tableau I](#).

Les premiers essais mécaniques réalisés sur les calcaires présents dans les carottes des sondages de reconnaissance ont montré que ces roches peuvent être réutilisées pour la réalisation des remblais autoroutiers et ils laissent entrevoir la possibilité de les affecter à la fabrication de béton et/ou à une exploitation pour la superstructure de l'autoroute (grave, HMF et éventuellement HMT) (voir encadré p. 29).

Afin de mieux cibler les possibilités de réutilisation des matériaux rocheux d'excavation (fig. 4a, b et c), des études complémentaires ont été entreprises sur les calcaires des carottes de sondage. Il a été choisi de réaliser des essais *Los Angeles*¹ (LA), ce type d'essai permettant d'évaluer la qualité d'une roche et de déterminer son adéquation pour la fabrication d'enrobés bitumineux.

Les résultats obtenus se déclinent comme suit:

- Portlandien 20 à 25
- Valenginien 27 à 30
- Hauterivien supérieur - Barrémien 27 à 38

Ces valeurs permettent d'envisager la réutilisation de ces roches pour la fabrication de grave et de granulats pour HMF. Un certain doute subsiste quant à la fabrication des couches de base en HMT. En effet, selon les exigences normatives, les granulats entrant dans la confection d'HMT de type « S »,

¹ Cet essai permet d'évaluer la résistance au choc et à l'abrasion d'un granulat. Il consiste à introduire, dans un tambour rotatif, une masse de granulats ainsi qu'une quantité de boulets métalliques définis et de leur imposer un nombre normé de rotations. Le coefficient *Los Angeles* (LA) correspond au rapport entre la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produite au cours de l'essai et la masse initiale de l'échantillon d'analyse. Plus ce chiffre est petit, plus la roche peut être qualifiée de « dure ».



Fig. 1 : Vue aérienne du tracé de la A5 en direction de Neuchâtel (Photo Jean Jeker)

Fig. 2 : Vue aérienne du tracés de la A5 en direction d'Yverdon ; au premier plan le centre de tri des matériaux d'excavation de tunnels (Photo Jean Jeker)

Fig. 3 : Profil en long des tunnels de Concise et de la Lance (Document IDé CONCEPT)

Tableau 1 : Prévisions de volumes et principaux types de calcaires rencontrés dans les tunnels

Fig. 4 : Différents types de roche testés à l'essai Los Angeles ; a) gris, b) beige, c) jaune clair (Photos Viagroup SA)

Fig. 5 : Criblage et concassage des matériaux (Photo Eric Simond)

soumis à des sollicitations sévères, doivent présenter une valeur LA inférieure à 25 et contenir plus de 60% de matériaux durs. Or cette dernière exigence, uniquement basée sur la pétrographie, exclut les calcaires des roches dures et limite par conséquent la part de ces derniers à un maximum de 40% dans les couches de base.

L'usage de matériaux calcaires pour réaliser la couche de surface est en revanche clairement à proscrire en raison de leur trop faible résistance au polissage.

Restent les travaux de remblayage de la galerie d'Onnens et d'importants réaménagements de terrain prévus par l'étude d'impact de la A5 (création d'un remblai d'aménagement de quelque 400 000 m³ et restauration de vergers), qui permettront de valoriser comme remblais d'aménagement les matériaux impropres à la réalisation de remblais autoroutiers.

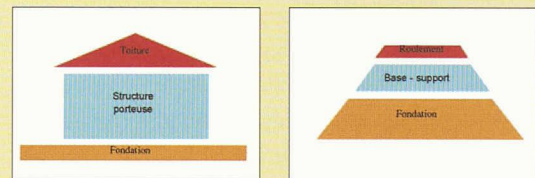
Hypothèses et décisions prises pour la procédure d'appel d'offres

Les décisions suivantes ont été retenues pour l'appel d'offres lancé aux entreprises :

- pas de lavage des matériaux et, par conséquent, pas de fabrication de granulats pour béton (la mise en place d'une installation de lavage engendrerait en effet des surcoûts et nécessiterait une adaptation trop importante de la mise à l'enquête initiale);
- criblage systématique des matériaux bruts de minage à 50 mm (cela résout le problème des fines et des roches de moindre qualité, cette fraction étant affectée aux remblais d'aménagement d'Onnens);
- concassage des blocs excédant 300 mm (fig. 5);
- tri des matériaux rocheux d'excavation en trois classes : classe C (qualité médiocre) 0/200 pour remblais; classe B 50/300 (qualité moyenne) pour les couches inférieures de la superstructure autoroutière (grave et HMF); classe A (qualité bonne, LA<22) 50/300 pour les couches supérieures de la superstructure autoroutière (HMT) - il a donc été décidé de ne pas tenir compte de l'exigence « 60% de matériaux durs », mais de rabaisser en contrepartie la limite sur l'essai *Los Angeles* de 25 à 22 unités;
- traitement des classes A et B de 50/300 dans une installation de concassage provisoire installée sur la future aire de repos de Concise, afin de produire les fractions granulo-

Superstructure d'une chaussée autoroutière

De manière très simplifiée, il est possible de tirer un parallèle entre un bâtiment et la superstructure d'une chaussée autoroutière selon le schéma suivant :



Les rôles des différentes couches formant la superstructure d'une chaussée s'articulent comme suit :

- couches de fondation : amélioration de la portance du sol naturel pour qu'il supporte les charges du trafic sans déformation - les principaux matériaux utilisés à cette fin sont la grave (couche de fondation non liée) et les HMF (couche de fondation liée ou enrobé à chaud pour couche de fondation) ;
- couches de base ou de support : reprise et diffusion des charges du trafic vers les couches de fondation - les principaux matériaux affectés à ce rôle sont les HMT (enrobé à chaud pour couche de base) ;
- couches de roulement ou de surface : écoulement de l'eau (empêcher sa stagnation et son infiltration dans le corps de la superstructure) et sécurité du trafic (adhérence et confort de roulement).

Le schéma ci-dessous présente les principales caractéristiques exigées de ces différentes couches.

	Exigences sur la qualité des granulats	Teneur en bitume	Teneur en vides	Epaisseur
Couche de roulement				
Couches de base				
Couches de fondation liée				
Couche de fondation non liée				

Fig. 6 : Schéma du concept de réutilisation des matériaux

Fig. 7 : Schéma du centre de stockage et de traitement des matériaux d'excavation des tunnels (Document IDé CONCEPT)

Tableau II : Résultats des essais Los Angeles

Fig. 8 : Vue aérienne du centre de stockage et de traitement des matériaux d'excavation des tunnels (Photo Jean Jeker)

Fig. 9 : Vue générale du stockage des matériaux d'excavation (Photo Jean Jeker)

métriques nécessaires à la fabrication de grave et d'enrobés bitumineux (fig. 10);

- montage d'une centrale d'enrobage provisoire sur le même site.

Les figures 6 et 7 présentent de manière synthétique le concept de réutilisation mis en place sur la A5 (fig. 8 et 9).

Du point de vue quantitatif, la problématique porte essentiellement sur les volumes de matériaux nécessaires à la superstructure (grave, HMF et HMT), les autres zones de déblais présentes le long du tracé couvrant largement les besoins liés aux remblais autoroutiers. Pour les estimations chiffrées des quantités de matériaux exploitables, les hypothèses suivantes ont été admises, basées d'une part sur les résultats des sondages de reconnaissance et d'autre part sur l'expérience de spécialistes :

- 65% des matériaux rocheux sont de classe A ou B,
- 80% des matériaux bruts de minage ont un diamètre supérieur à 50 mm,
- les pertes de matériaux lors du traitement sont de 5%.

Ce qui donne l'évolution suivante (les quantités sont exprimées en tonnes et non en mètres cubes afin de s'affranchir du foisonnement) :

- matériaux rocheux	970 000 to
- matériaux rocheux A+B	630 500 to
- 50/300 A+B	504 400 to
- fraction pour grave HMF et HMT	480 000 to
alors que les besoins sont de :	
- grave et enrobage canalisations	290 000 to
- granulats pour HMF	88 000 to
- granulats pour HMT	93 000 to
- total	471 000 to

C'est sur cette base équilibrée que les appels d'offres auprès des entreprises ont été rédigés.

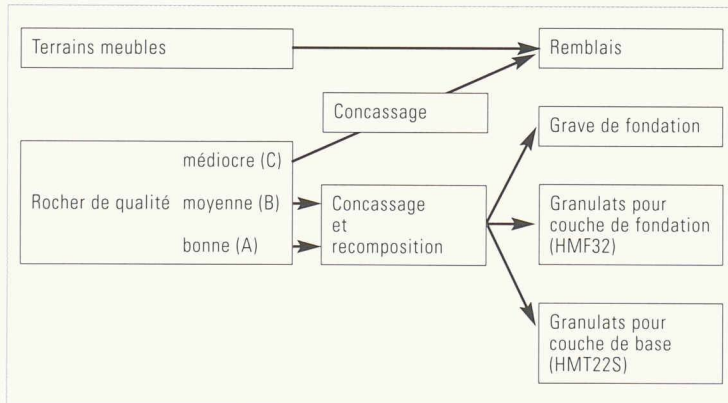
Appel d'offres auprès des entreprises

Il a été décidé de réaliser deux appels d'offres distincts pour les différentes phases de la réutilisation des matériaux d'excavation, à savoir :

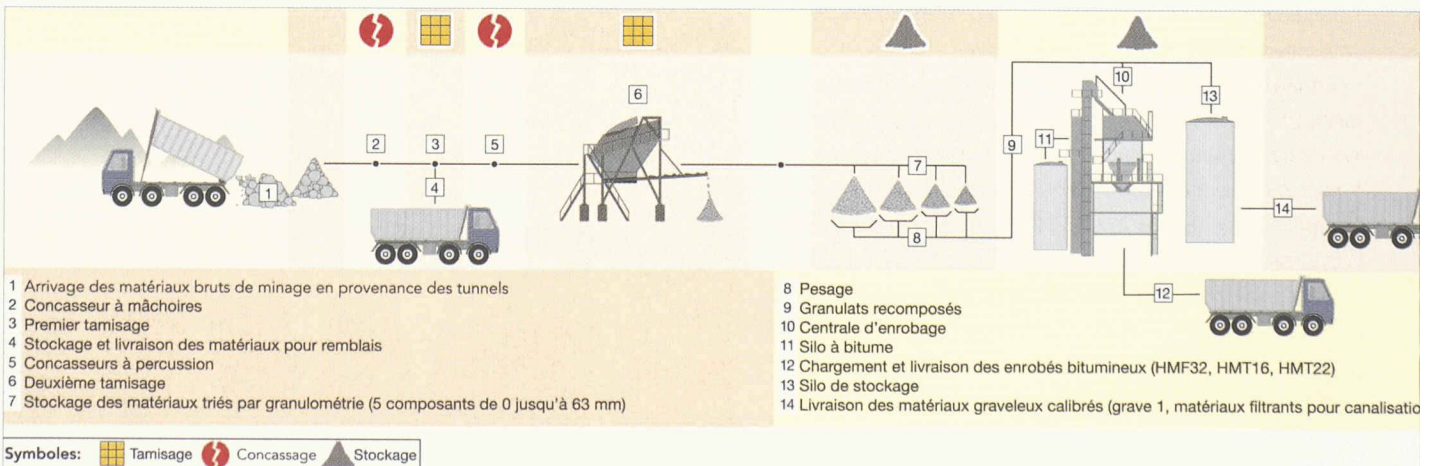
- un lot pour le percement des deux tunnels, le concassage et la mise en remblais des plus mauvais matériaux, ainsi que la confection de stocks de matériaux de meilleure qualité en deux tas de 50/300 de qualité A et B (appel d'offres lancé au printemps 1999);
- un lot pour le traitement des matériaux rocheux 50/300 de qualité A et B, destinés à la fabrication de la grave et des enrobés bitumineux (appel d'offres lancé début 2001).

Il est à noter que l'appel d'offres pour le percement des tunnels a été lancé sur la base d'une excavation traditionnelle par minage. En effet, l'utilisation d'un tunnelier produit des chips dont la taille ne permet pas la réutilisation pour la fabrication de grave et de granulats pour enrobés.

6



7



Le délai d'une année entre le début des travaux du premier lot - qui consistaient à réaliser une galerie pilote (nécessaire pour une excavation en attaque descendante dans un massif calcaire karstique) - et l'appel d'offres pour le traitement des matériaux rocheux devait permettre, via l'analyse des matériaux excavés, d'affiner les connaissances sur la qualité et les quantités réellement exploitables.

Malheureusement, des incidents de chantier n'ont pas permis la réalisation de ladite galerie pilote avant l'envoi de l'appel d'offres pour le traitement des matériaux rocheux. Ce document a donc été établi sur les résultats des études préliminaires.

Après analyse des variantes proposées par l'entreprise *Weibel AG*, adjudicatrice du lot de traitement des matériaux, il a été décidé de réaliser l'HMT en substituant 30% des matériaux calcaires des tunnels par des matériaux provenant de la carrière de Choëx, qui contiennent 96% de grès durs. Cette adaptation permet de se rapprocher du critère normatif concernant la dureté des granulats et améliore les caractéristiques mécaniques des HMT produits.

Délimitation des seuils

Du point de vue stratégique, il est aisé - comme développé dans la première partie de cet article - de décider de trier les matériaux en trois classes selon leur qualité, mais lorsque l'on passe à la phase opérationnelle, la tâche devient nettement plus ardue. En effet, l'excavation se poursuivant 24h sur 24, il n'est pas possible de réaliser un prélèvement à chaque tir, puis d'attendre qu'un essai soit réalisé pour se déterminer sur la qualité de la roche.

Pour ce faire, une campagne d'essais *Los Angeles* a été effectuée sur les premiers stocks de matériaux bruts de minage : on a procédé à une soixantaine de prélèvements de quelque 200 kg chacun, puis ces matériaux ont été concassés et la fraction 6/11 testée via l'essai *Los Angeles*. Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau II.

L'analyse de ces résultats a notamment montré que les valeurs LA obtenues étaient relativement homogènes pour le calcaire portlandien et que lui seul satisfaisait de manière univoque le critère stratégique retenu pour la classe A.

Type de roche	Fourchette	Moyenne
Portlandien (gris)	17 à 23	20
Valenginien (beige)	19 à 29	25
Hauterivien supérieur - Barrémien (jaune clair)	24 à 32	28



8

En se basant sur ces résultats et sur les besoins en matériaux pour les classes A (HMT) et B (grave et HMF), le critère stratégique « LA < 22 unités » délimitant ces deux classes est devenu, dans la phase opérationnelle, « roche grise ».

Par contre, la limite entre matériaux B (grave et HMF) et matériaux C (remblais) n'a pas pu être fixée de manière chiffrée via le résultat d'un essai. La présence de karsts remplis ou non de limons et de différentes qualités de roches pouvant varier de manière rapide rendent extrêmement ardue la définition de cette limite.

Il a donc été décidé que cette limite serait donnée de cas en cas en fonction des conditions locales par le géologue de la direction locale des travaux, Pierre-Charles Bugnon. Par ce choix, la Division des routes nationales s'est appuyée sur la très large expérience du géologue dans ce genre d'exercice, une expérience acquise notamment dans la construction de routes financées par la banque mondiale en Afrique. Si elle peut paraître subjective, une telle option n'en constitue pas moins un critère de décision pragmatique et efficace dans le cadre de l'excavation de tunnels.

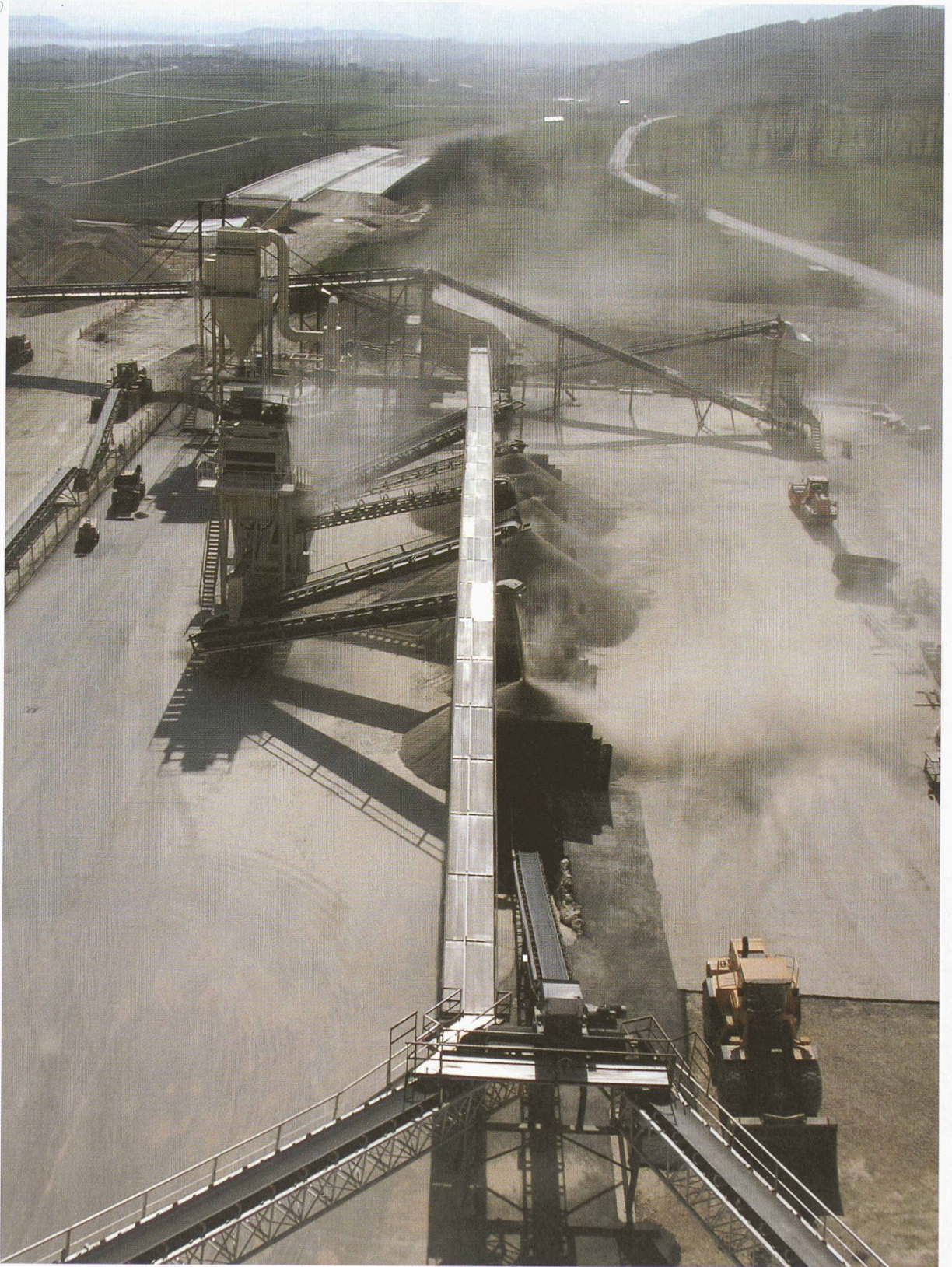
9



Fig. 10 : Criblage des matériaux (Photo Jean Jeker)

Fig. 11 : Construction de la superstructure avec les matériaux d'excavation de tunnels (Photo Eric Simond)

10



Bilan des matériaux

Les besoins en matériaux pour le tracé de l'autoroute, ouvrages d'art non compris, sont les suivants :

- Matériaux pour les remblais autoroutiers	560 000 m ³
- Matériaux pour les remblais d'aménagement	420 000 m ³
- Grave de fondation et enrobage de canalisations	140 000 m ³
- Enrobé bitumineux pour couches de fondation (HMF)	42 000 m ³
- Enrobé bitumineux pour couches de support (HMT)	45 000 m ³
- Enrobé bitumineux pour couches de surface (DRA11)	11 000 m ³
Total	1 218 000 m ³

Le percement des tunnels de Concise et de la Lance ainsi que les terrassements des zones de portails aboutira à la production d'une grande quantité de matériaux.

Les matériaux ainsi excavés se décomposent selon les types suivants :

- Terre végétale et sous-couche	75 000 m ³
- Terrain meuble (colluvion, moraine,...)	153 000 m ³
- Rocher (calcaire)	365 000 m ³
Total	593 000 m ³

En tenant compte de l'apport des autres zones de déblais réparties sur le reste du tracé, le bilan global des masses est quasiment équilibré et la réalisation de l'autoroute consomme la quasi totalité des déblais et excavations qu'elle produit.

Adaptation des hypothèses de base à la réalité du chantier

Dans la phase de chantier, plusieurs hypothèses de base ne se sont pas vérifiées et un certain nombre d'adaptations ont dû être effectuées, sans toutefois remettre en question le principe de réutilisation des matériaux d'excavation dans la superstructure autoroutière.

D'une part, la quantité de roche exploitable pour la superstructure (classe A et B) s'est révélée environ 30% inférieure à l'extrapolation retenue sur la base des résultats des sondages. D'autre part, la proportion de la fraction 50/300 brut de minage, d'abord estimée à 80%, est, dans la réalité, tombée à 60 - 50%, voire en dessous de 50% pour certains types de roches.

Pour faire face à ces impondérables, des études complémentaires ont été menées afin de palier ce manque de matières premières. Elles ont essentiellement porté sur la possibilité de trouver, sur le tracé, une autre source de matériaux exploitable et sur celle de réutiliser une partie de la fraction 0/50 brut de minage dévolue aux remblais d'aménagement d'Onnens.

Ces deux solutions ont pu être mises en pratique. Une zone de déblais dans un massif calcaire nettement moins fracturé que prévu et de très bonne qualité a permis de gagner quelque 250 000 tonnes de roche exploitable. Et les essais *Los Angeles* effectués sur la fraction 32/50 n'ont pas montré de différences significatives avec les valeurs obtenues sur la fraction 50/300. C'est donc la fraction 32/300 qui a servi de base à la fabrication de grave et de granulats pour enrobés. Malgré ce déplacement de limite, le pourcentage effectif de roche utilisable pour la fabrication de la superstructure fluctue autour des 60%, soit un volume qui demeure bien inférieur aux 80% pronostiqués.

Cela étant, la mise en application conjointe de ces deux solutions, associée à des besoins revus à la baisse (13%) après affinage des projets, a permis de rééquilibrer le bilan des masses.

Conclusions

Si l'exploitation d'une carrière suppose, voire implique de suivre les veines de matériaux de meilleure qualité, la réutilisation des matériaux d'excavation d'un tunnel oblige à « faire avec ce que l'on a ». Il a donc fallu composer avec la géologie réelle - qui peut parfois s'avérer assez éloignée de celle du projet - et adapter les options stratégiques pour mener à bien cette réutilisation dans des conditions optimales.

Bien que les chantiers de construction de la A5 ne soient pas terminés - l'ouverture est fixée au printemps 2005 - tout porte à croire que l'objectif visant à construire les remblais et la superstructure de l'autoroute avec les matériaux d'excavation des tunnels (fig. 11) sera atteint.

Cette façon de faire a permis de réaliser une économie importante sur le transport de granulats, de revaloriser de manière rationnelle les roches excavées des tunnels et de minimiser les apports extérieurs de matériaux (voir encadré ci-dessus).

Eric Simond, ingénieur en sciences des matériaux EPFL
Département des infrastructures du canton de Vaud
Service des routes, Division des routes nationales
Av. de l'Université 3, CH - 1014 Lausanne

11

