

XXIIe CONGRÈS MONDIAL DE LA ROUTE DURBAN 2003

RAPPORT NATIONAL DE LA SUISSE

SÉANCE D'ORIENTATION STRATÉGIQUE TS1 *Des niveaux de service et des innovations pour répondre aux attentes des usagers*

Sommaire

Indicateurs de qualité de service pour évaluer le niveau de réponse aux exigences des usagers

- Vulnérabilité de la route face au risque d'instabilité des versants et moyens de la réduire

Techniques et organisations des moyens concernant l'entretien et les travaux de réparation pour rapporter le meilleur service aux usagers

- La gestion de l'entretien des routes nationales: critères principaux et préparation des éléments de décision
- Chaussées en béton de recyclage
- Recherche dans le domaine des connaissances des charges réelles du trafic autoroutier

Résumé

La route est en de nombreux endroits vulnérable aux risques d'instabilité de versants. Ces différents risques correspondent d'une part à des phénomènes continus, d'autre part à des phénomènes subits. L'expérience montre que cette situation résulte d'une mauvaise prise en compte de ce genre de phénomène déjà lors de la conception de la route, même du choix du tracé. Le premier chapitre du rapport présente le développement d'une démarche destinée à définir des indicateurs de risque par moyen de l'amélioration de la cartographie des risques géologiques dans le territoire. Celle-ci doit mettre l'accent sur la cartographie des phénomènes non seulement existants mais potentiels, afin d'intégrer les projets routiers dans le développement durable des infrastructures. Les développements dans ce sens sont présentés par des exemples.

L'application de systèmes de gestion de l'entretien des routes peut apporter une amélioration importante du service aux usagers. Le deuxième chapitre du rapport présente l'état de la situation dans ce domaine avec une attention particulière sur les directives déjà appliquées à court terme pour l'organisation des chantiers, les efforts de récolte de données sur l'état des chaussées et des ouvrages d'art et finalement les développements conceptuels dans le domaine restreint des systèmes de gestion. La solution envisagée prévoit à court et moyen terme l'application de solutions informatiques séparées pour les chaussées, les ouvrages et les installations électromécaniques qui seront complétées plus tard par l'intégration de ces sous-systèmes dans un système de gestion des routes.

En Suisse, les gisements de sables et de graviers deviennent de plus en plus rares. Pour cette raison, ainsi que pour des raisons d'ordre écologique, on cherche à pratiquer le recyclage des matériaux, en particulier ceux provenant de la démolition routière. Au lieu d'être convoyés à la décharge, ces matériaux devraient être réutilisés pour en obtenir des produits nouveaux de la meilleure qualité possible. Ceci implique une systématique de recyclage strictement basée sur les caractéristiques des matériaux. Des tests de recyclage d'anciens revêtements en béton furent exécutés à l'occasion de la construction de nouveaux tronçons routiers. Il en résulta qu'il était possible d'exécuter des revêtements en béton de haute qualité, capables de résister aux sels de déverglaçage sans qu'il soit nécessaire de recourir à des ajouts de matières premières naturelles, à condition toutefois d'avoir pris les mesures préliminaires appropriées. Les revêtements tests (deux courts tronçons de route) ont été soumis au trafic depuis 1990 pour l'un et 1991 pour l'autre.

Les charges du trafic ont une influence déterminante sur l'évolution de l'état des chaussées et il convient donc de pouvoir prévoir et quantifier aussi précisément que possible ce facteur. Le dernier chapitre du rapport présente les résultats d'une étude basée sur l'analyse des résultats des pesages automatiques pour améliorer le degré de fiabilité des facteurs de conversion de charges différents en nombre d'essieux standard.

Vulnérabilité de la route face au risque d'instabilité des versants et moyens de la réduire

Aurèle Parriaux, Laboratoire de géologie de l'ingénieur et de l'environnement, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse.

Introduction

Dans les conditions orographiques de la Suisse, le système route doit affronter diverses instabilités de versants et ceci dans les différentes phases de son développement. Le présent article montre par des cas typiques quelle est la vulnérabilité de la route face à ces dangers, quelles sont les conséquences sur sa viabilité et sur les usagers. Nous tenterons d'en tirer des règles destinées aux planificateurs, aux constructeurs et aux exploitants qui devraient tendre à une réduction de cette vulnérabilité. Cette problématique présentée ici à l'échelle de la Suisse est également une préoccupation du comité C12 de l'AIPCR. La Suisse présente l'avantage de regrouper sur un petit territoire une grande variété de situations topographiques et géologiques. Elle présente ainsi un potentiel élevé de généralisation pour d'autres pays sur la planète. Cet article s'adresse aux ingénieurs routiers du milieu de la pratique. Précisons que nous limitons la matière de cet article aux risques de versants. Nous ne traitons pas des inondations en plaine alluviale mais bien en revanche des laves torrentielles.

Perturbation de l'exploitation des routes : quelques éléments historiques

Il est utile de faire un retour en arrière d'une vingtaine d'années pour évaluer comment la route a été soumise aux risques géologiques et comment elle a souffert de ces phénomènes naturels. Les quelques cas cités ci-dessous, provenant de la moitié occidentale de la Suisse, montrent de manière qualitative différentes conditions d'événements, selon

- le contexte géologique de l'instabilité
- le type de phénomène
- les conditions hydroclimatologiques
- la catégorie de routes concernée
- les pertes humaines
- les dommages encourus.

En effet, en matière de processus naturels généralement rares, la leçon du vécu revêt une grande importance.

Entre le 20 et 21 avril 1983, le glissement de la Chenaulaz, près de Lausanne, a déplacé d'une quinzaine de mètres un segment hectométrique la route Pully-Belmont (fig 1). La moraine remplissant une ancienne vallée anté-glaciaire a subi une brusque accélération à la suite de fortes précipitations. La route a été totalement détruite. Il a fallu plusieurs mois pour reconstruire une nouvelle route à l'emplacement de l'ancienne, après avoir stabilisé le glissement.



Figure 1: Route cantonale emportée par le glissement de la Chenaulaz près de Lausanne. Photo DUTI.

En juillet 1987, les crues exceptionnelles dans les Alpes centrales ont emporté par érosion du pied des versants de nombreuses routes, ou par des laves torrentielles (fig 2). Par exemple, les villages du Val de Conches ont été isolés pendant de nombreux jours du reste du canton du Valais. Des crues d'une telle intensité ont surpris les ingénieurs.

En 1990, une fouille dans le déblai d'une route communale à Belmont a entraîné un grand glissement couche sur couche de molasse subalpine, qui a détruit une maison et endommagé deux villas. La route a été complètement ensevelie sous le glissement.



Figure 2 : Instantané de l'arrivée d'une lave torrentielle sur la Zarvragia, affluent du Rhin dans les Grisons. Photo A: le 18.7.1987 à 16 heures. Photo B : 15 minutes plus tard. Débit estimé 600 m³/s. Vitesse de front 8 m/s. Photo OFEFP, mai 1991.

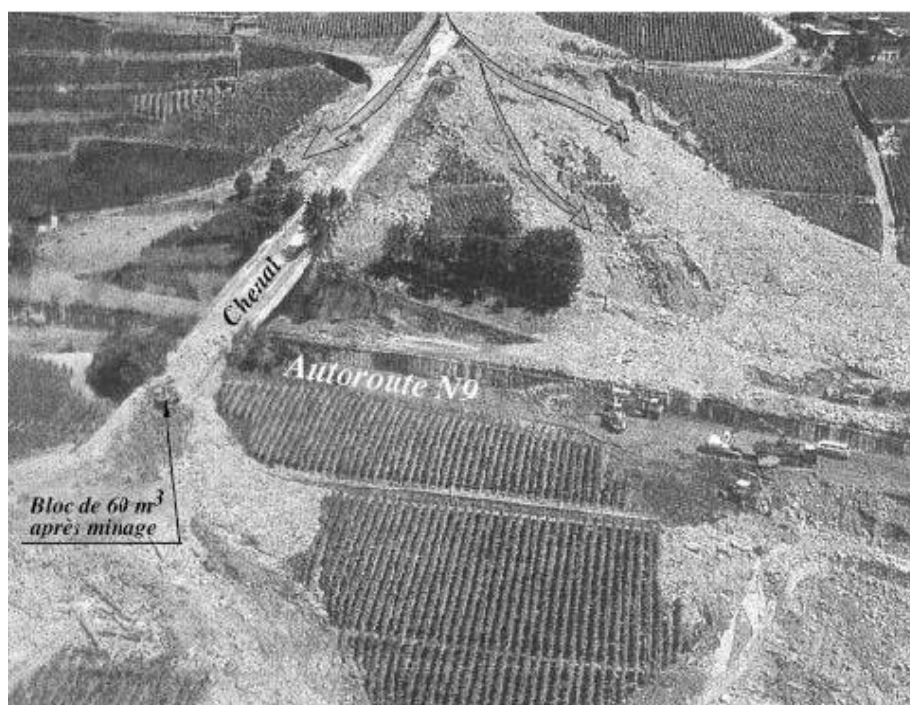


Figure 3 : L'autoroute du Simplon coupée par la lave torrentielle du Pissot. A noter le bloc de 60 m³ qui a franchi l'autoroute en restant lui dans le chenal. Cet événement a donné lieu à la construction d'un très grand bassin de décantation en amont du cône de déjection.



Figure 4: Eboulement de Randa (Valais).



Figure 5: Coulée boueuse détruisant le village de Gondo et la route du Simplon. Les maisons et la route ont été emportées par une coulée boueuse qui a fait glisser à son tour un mur de soutènement dans le haut du village. Photo CREAL

En avril 1991, la route montant à la célèbre station de Zermatt était recouverte par le grand éboulement de Randa (fig 4). Trente millions de m³ ont enseveli la route et la ligne de chemin de fer. Par chance, ce phénomène géologique n'a pas fait de victimes humaines. Une route de remplacement a été rapidement construite à la périphérie de la masse éboulée.

Dans la nuit du 13 au 14 août 1995, une lave torrentielle envahissait l'autoroute du Simplon (fig 3). Le torrent traverse l'autoroute dans un chenal perché, dimensionné pour des crues classiques de torrents. Le phénomène lave torrentielle n'avait pas été pris en compte dans le concept de l'ouvrage. Les matériaux ont quitté le chenal et ont envahi la tranchée de l'autoroute. Une dizaine de voitures sont venues s'encastrent dans la masse. Des pertes humaines ont été évitées de justesse. Cet axe autoroutier alpin a été coupé totalement pendant 2 jours.

Les fortes précipitations de l'années 1999 ont entraîné des accélérations de nombreux glissements. L'un d'eux a emporté la route d'accès aux Plans-sur-Bex dans les Préalpes vaudoises au lieu-dit la Chenaulette. La route est restée coupée jusqu'à sa reconstruction complète. A noter que ce glissement a eu lieu à un endroit qui n'avait pas été cartographié comme zone instable, ni sur la carte géologique, ni sur la carte des glissements du Canton de Vaud. Ce fait démontre la nécessité de cartographier non seulement les glissements actuels et anciens, mais aussi les zones de glissements potentiels.

Les précipitations tout à fait exceptionnelles d'octobre 2000 dans le versant sud des Alpes a donné lieu à une coulée de boue en amont du village de Gondo, coupant le village en deux, faisant 14 victimes (fig 5). La route internationale du Simplon a été coupée durant plusieurs jours. Les pluies responsables de cet événement auraient d'après les météorologues une période de retour supérieure à 1000 ans. A moins que le changement climatique soit en train de modifier la probabilité des événements exceptionnels.

Dans les cas moins soudains, les glissements de terrains actifs comme celui de la Frasse, sur la route du col des Mosses, cause des problèmes depuis plus de 100 ans aux exploitants. Des sommes importantes sont injectées chaque année pour maintenir une viabilité la meilleure possible.

Ces quelques événements illustrent à eux seuls la fragilité du système route, surtout dans les conditions alpines. Globalement, la route suisse a bien résisté à ces assauts de la nature et peu de victimes sont à déplorer.

Les principaux phénomènes et leur incidence sur les routes

La vulnérabilité du système routier due aux instabilités de versant se partage en phénomènes discontinus et continus.

Phénomènes continus

Il s'agit surtout des glissements contenant du matériel à haute plasticité. Ils affectent de manière plus ou moins régulière la viabilité de la route mais sont rarement très dangereux, sauf en période de subite accélération. Ils affectent la structure routière soit par emportement de la chaussée, soit par recouvrement par du matériel glissé. Si la vitesse de déplacement reste modérée et qu'il n'y a pas de présomptions qu'elle augmente soudainement, la route peut être utilisée, voire sur une seule voie (fig 6). En revanche, si le pronostique prévoit une accélération possible, la route sera totalement fermée au trafic. La Suisse a la chance d'avoir un réseau routier très dense qui permet souvent de trouver des itinéraires de remplacement, plus rarement en montagne.

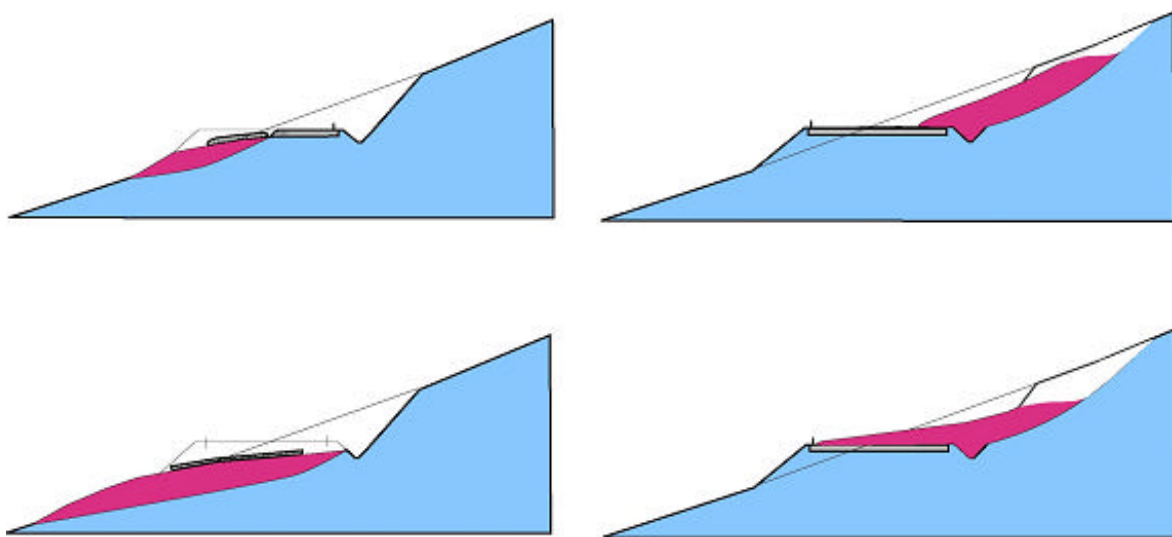


Figure 6: Cas-typés de glissements affectant la route selon la position relative glissement - chaussée.

Les chutes de pierres peuvent être aussi considérées comme phénomènes continus, bien que leur fréquence soit fortement liée aux mécanismes de gel – dégel. S'ils correspondent à l'évolution normale d'une falaise rocheuse, les ouvrages de retenue permettront d'exploiter la route en toute sécurité (filets, barrières, digues). Si, en revanche, les chutes de blocs présentent une intensité anormale, elles sont annonciatrices d'instabilités rocheuses plus graves qui peuvent donner lieu à un éboulement.

Phénomènes discontinus

En font partie surtout les instabilités de versants rocheux (intenses chutes de pierres, éboulement, écroulements), les coulées boueuses et les laves torrentielles. La prévision de déclenchement de ces phénomènes subits rend leur gestion très difficile. La sécurité de la route est la plus menacée. Le risque de victimes humaines est important.

Analyse a posteriori de situations typiques

L'analyse a posteriori des situations où la route est vulnérable révèle que souvent la composante risque géologique n'a pas ou pas suffisamment été prise en compte dans la conception du système. Ceci vaut pour le choix du tracé et pour les solutions techniques adoptées pour la construction des ouvrages. De bonnes raisons expliquent cela dans beaucoup de cas : tracé ancien modernisé progressivement, passage plus ou moins obligés en raison de critères topographiques. Dans un autre ordre d'idée, il faut reconnaître que la prise de conscience des risques de versant s'est beaucoup développée récemment.

Considérons par exemple le cas du Pissot (fig 3). A la fin des années soixante, le franchissement du torrent a été conçu et dimensionné pour des débits de torrent en crue conventionnel (débit d'eau avec débit solide ordinaire pour un torrent). Personne à l'époque avait imaginé devoir prendre en compte des écoulements de blocs de plus de 60 m³ dans le chenal qui surplombe l'autoroute. Si l'autoroute devait être conçue aujourd'hui, il en serait certainement autrement. On aurait pu par exemple se libérer de cette contrainte en passant le cône en viaduc et non pas en tranchée. On aurait aussi pu concevoir un bassin de décantation à inclure dans les travaux ordinaires de construction.

Les hautes eaux de 1987 ont montré pour leur part que l'on avait sous-estimé l'érodabilité des terrains en bordure et dans les rivières alpines. De nombreux ouvrages n'avaient pas été conçus pour de telles contraintes.

Le bureau d'ingénieurs qui a conçu de placer une canalisation au pied du déblai à Belmont n'avait pas réalisé l'effet qu'allait provoquer la troncature de la couche de grès qui a ravagé tout le versant. Une analyse géologique aurait pourtant mis en évidence ce risque et recommandé une autre variante pour la conduite.

Comment réduire le risque avec des moyens supportables ?

L'expérience issue de la construction de nombreuses routes dans différents pays permet d'exprimer la règle suivante :

Plutôt dans le projet routier on considérera le risque d'instabilité, mieux on le résoudra de manière durable et à moindre frais.

Cette règle peut être illustrée par les degrés de liberté dont dispose l'ingénieur dans le cycle de vie d'un projet routier (fig 7), par l'efficacité, la sécurité des mesures et par leur coût (fig 8).

Les marges de manoeuvre sont minimales lorsqu'un risque apparaît durant la **phase d'exploitation**. Ni le tracé, ni l'ouvrage ne peuvent être sensiblement modifiés. Des mesures de constructions doivent être mises en place, souvent en maintenant le trafic, ce qui limite les solutions possibles et fait croître leur coût. La sécurité reste mauvaise durant toute la période des travaux. La sécurité à long terme reste mal assurée.

La situation est un peu meilleure quand le problème est détecté à la **phase de construction**. Le tracé ne peut pas être modifié mais les ouvrages de sécurisation peuvent être implantés plus commodément et plus efficacement.

L'idéal, et on doit tendre vers cela, est la reconnaissance des risques d'instabilité lors de la **phase de conception** du système. C'est là seulement que l'on peut influencer le tracé et se mettre à l'abri durablement d'un danger qui menacera la route pendant des décennies. On tendra ainsi à éviter le risque plutôt que de s'y confronter.

Dans l'optique du développement durable, la notion de cycle de vie s'applique aussi aux ouvrages du génie civil. L'ingénieur devrait être tenu d'inclure une **phase de démantèlement** de la route, afin de rendre le territoire anthropisé à la nature. Là encore, il se peut qu'une condition de tracé mal choisie implique un danger d'instabilité de versant pour une très longue durée, bien au-delà de la durée de service de la route. C'est typiquement le cas de la route en profil mixte, des murs ancrés, de certains tronçons en tunnels.

6. La clé de la détection précoce des risques d'instabilité

Les bases scientifiques sur le territoire contiennent des informations générales à la disposition des ingénieurs :

- cartes géologiques
- cartes de dangers naturels.

Ces documents lorsqu'ils existent, alliés au conseil d'un géologue, permettent déjà de donner des avis sur les tracés envisageables lors des préétudes. Cependant, ils traitent tous deux essentiellement des phénomènes existants, plus rarement des instabilités potentielles. Or celles-ci sont déterminantes dans le cas de travaux modifiant l'équilibre d'un versant, comme la route typiquement. Dans notre Laboratoire, nous travaillons actuellement sur la cartographie des phénomènes potentiels par l'introduction de la notion de géotypes (fig 9). Les géotypes sont des groupes de terrains qui se comportent de manière similaire vis à vis d'un phénomène d'instabilité déterminé : par exemple, les glissements de terrain. Une gestion de l'information géologique par un système d'information à référence spatiale (SIG) permet d'attribuer à ces géotypes une prédisposition aux dangers de glissements en tenant compte encore des facteurs tels que la pente, la présence d'eau souterraine etc.

Nous obtenons ainsi une cartographie de la prédisposition plus nuancée (fig 10) et plus robuste que celle communément utilisée dans l'approche classique surtout basée sur l'analyse géomorphologique des phénomènes actuels. Ce gain au niveau des glissements potentiels est fort utile pour une analyse de risque dans la procédure de choix d'un tracé routier.

Nous attendons de ce développement de recherche des progrès importants dans l'évaluation des dangers potentiels par cette méthode qui valorise à la fois la connaissance géologique des terrains et l'outil SIG. Les routes seront parmi les premières bénéficiaires de cette amélioration du diagnostique de compatibilité d'un projet en fonction du territoire.

Ces approches devront être utilisées à des échelles plus détaillées au fur et à mesure de la précision du projet routier.

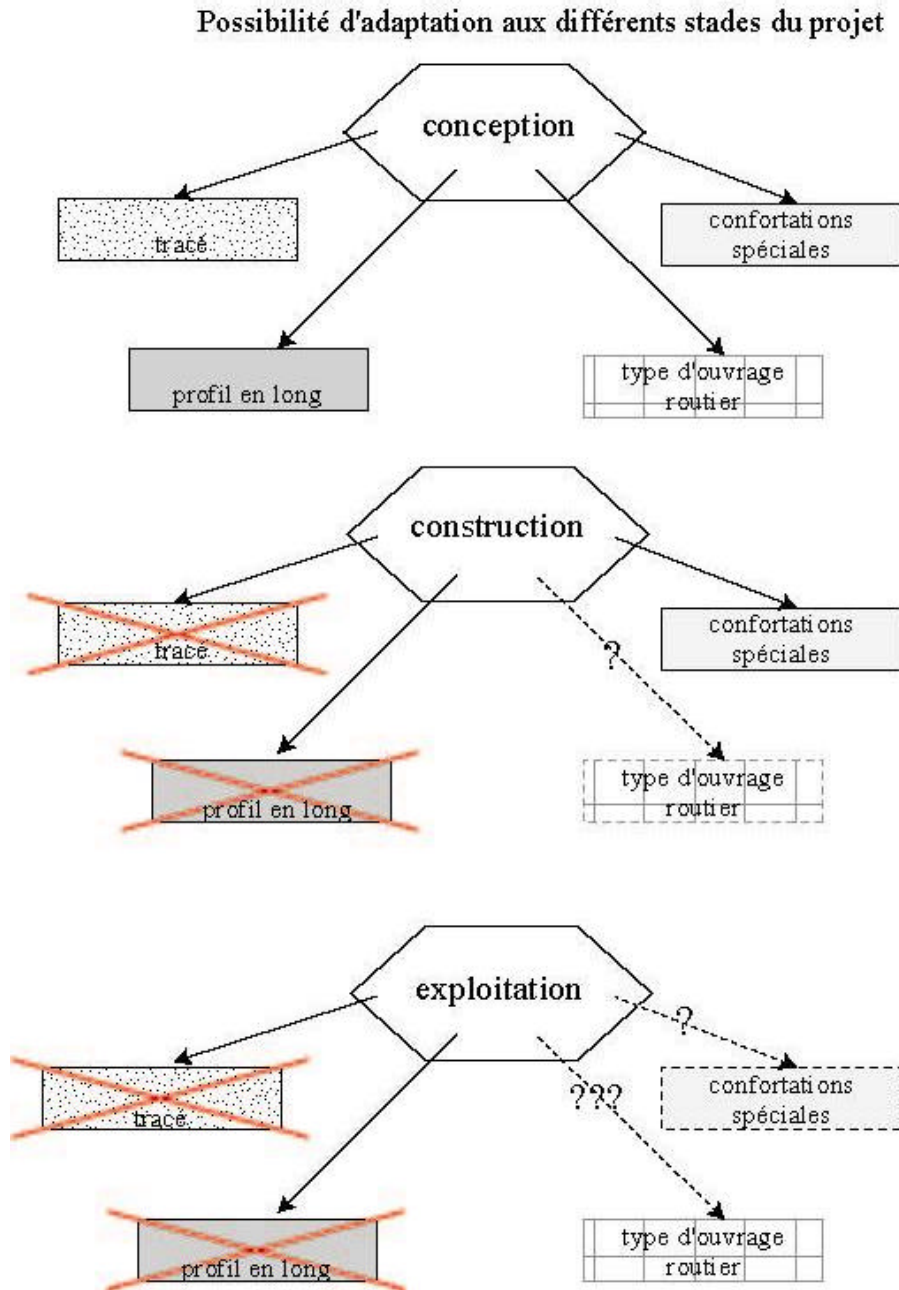


Figure 7: Le traitement de l'instabilité des terrains dans les différentes phases d'un projet routier. Les flèches indiquent les différents degrés de libertés qui sont offerts pour résoudre un problème d'instabilité de terrains. Au niveau de la conception, ces possibilités sont multiples. Elles diminuent drastiquement lors de problèmes rencontrés à la construction. En période d'exploitation, ce ne sont plus pratiquement des mesures confortatives.

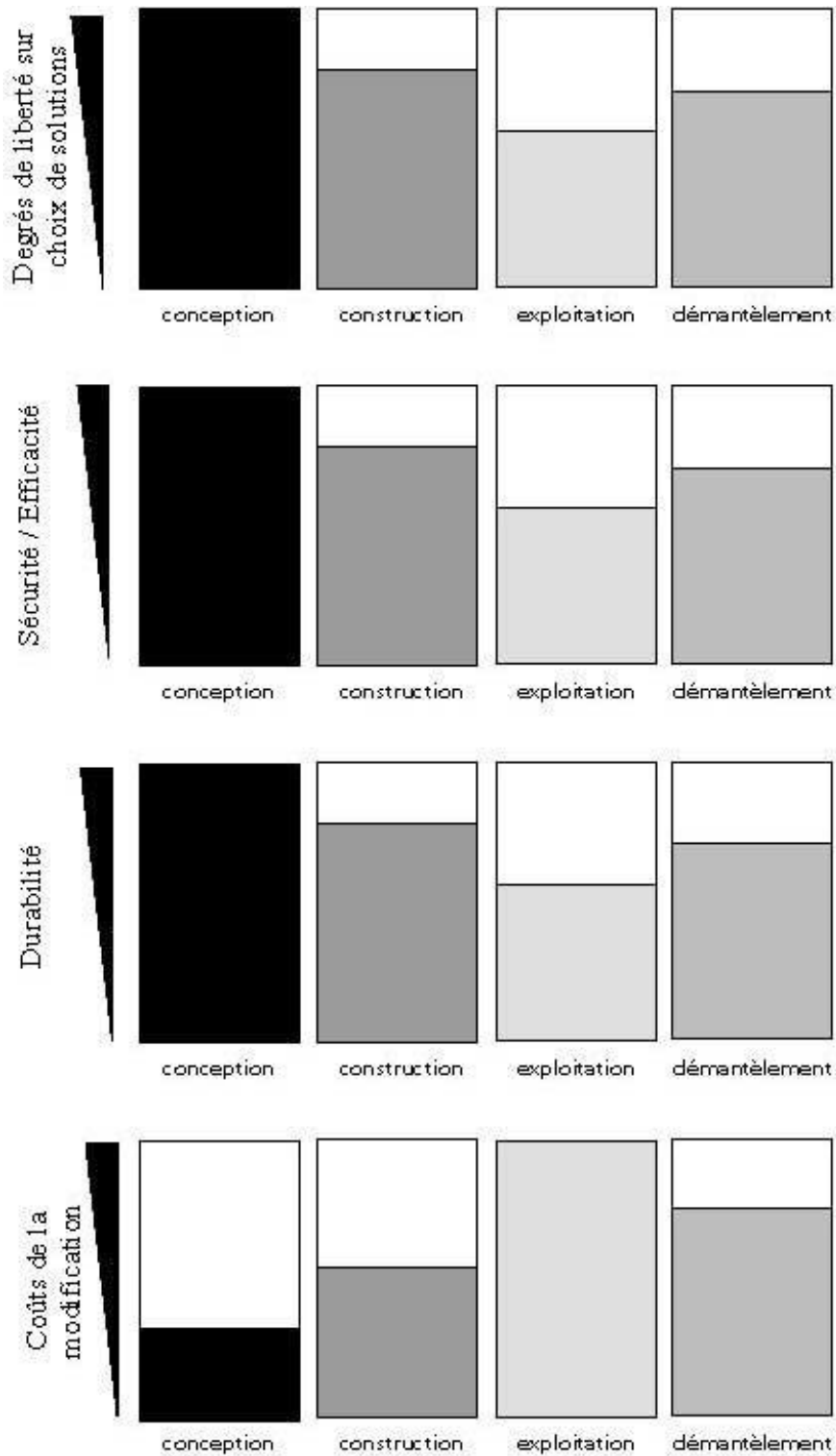


Figure 8 : Les remèdes apportés à des problèmes de stabilité de versant selon les phases d'un projet. Comparaison des degrés de liberté, de l'efficacité, de la durabilité et du coût des mesures à mettre en oeuvre.

GEOTYPES			PREDISPOSITION AU GLISSEMENT							
Type	Milieu de formation		Classes de pente							
			0-5	5-10	10-15	15-25	25-40	40-60	60-90	
QUATERNAIRE	Dépôts alluviaux (s.l.)	Alluvions de plaines	actuelles	0	0	1	ne	ne	ne	ne
			en terrasses	0	0	1	1	2	2	ne
		Alluvions torrentielles	actuelles	0	0	1	1	ne	ne	ne
			en terrasses	0	0	1	1	2	3	ne
		Dépôts lacustres	delta (anciens)	0	0	1	1	2	3	ne
	de fond		0	1	2	3	3	ne	ne	
		Dépôts palustres	0	1	2	3	3	ne	ne	
	Dépôts glaciaires (s.l.)	Moraines	superficielles	0	0	1	2	3	ne	ne
			frontales	0	0	0	1	2	ne	ne
			latérales	0	0	1	2	3	3	ne
de fond			0	0	1	2	3	3	ne	
aquatique			0	1	2	3	3	ne	ne	
Pérglacière		fluvio-glaciaire	0	0	0	1	2	2	ne	
	glacio-lacustre	0	1	2	3	3	ne	ne		
Dépôts de versants	Colluvions/déluvions		0	1	2	3	3	ne	ne	
	Ebouffis		0	0	0	0	1	2	ne	
	Eboulements		0	0	0	0	1	2	ne	
	Tuf		0	0	0	0	1	2	ne	
Remblais artificiels			0	1	2	3	3	ne	ne	

PREDISPOSITION: 0=très faible, 1=faible, 2=moyenne, 3=élevée, ne=non existant

Figure 9: Matrice de prédisposition au glissement pour les géotypes des terrains meubles, en fonction de la pente calculée directement par le SIG. Les prédispositions sont graduées selon quatre degrés : 3 = danger fort, 2 = danger moyen, 1 = danger faible et 0 = pas de danger.

7. Conclusion et recommandations

Par les leçons du passé, par les progrès des analyses scientifiques, de moins en moins d'aléas routiers issus de phénomènes d'instabilité des versants peuvent être considérés comme une fatalité.

Dans la situation actuelle, plusieurs bases de données sur le territoire permettent une première évaluation du danger d'instabilité de versants. Même si elle n'est pas capable de tout prédire dans le détail, la géologie de l'ingénieur apporte des méthodes qui sont applicables pour une bonne part dans la pratique des projets routiers.

Nous recommandons surtout aux planificateurs des grands projets de veiller à ce que l'analyse du risque géologique soit faite très tôt dans le projet si l'on veut réellement construire dans l'optique du développement durable. Ce facteur doit avoir un poids important dans les critères d'évaluation de variantes routières. Dans ce concept, ce qui a été considéré longtemps comme de l'argent perdu dans des études permettra en fait d'économiser des montants importants de construction et d'augmenter à long terme la sécurité d'exploitation du système route.

Les bases actuelles doivent toutefois être encore améliorées. Ceci implique des actions dans les domaines suivants :

- Recherche : méthodologie de valorisation des connaissances sur le sous-sol en vue de la détermination d'une prédisposition aux dangers potentiels

- Enseignement : rendre l'ingénieur civil plus curieux dans sa perception du territoire et des phénomènes géodynamiques qui le modèlent en permanence, améliorer l'interface ingénieur civil - géologue
- Domaine des applications pratiques et de l'administration : collaborer avec la recherche dans un échange d'expérience et soutenir des tests méthodologiques sur des cas réels typiques qui pourront être généralisés au territoire.

La réduction de la vulnérabilité des voies de communication face aux risques géologiques a donc besoin de tous les partenaires du milieu routier. Chacun a un intérêt et une contribution à apporter à cette noble cause. Pour être plus efficace, les relations entre ces partenaires devraient être resserrées, surtout au moyen de projets communs qui fédèrent recherche et milieux de la pratique.

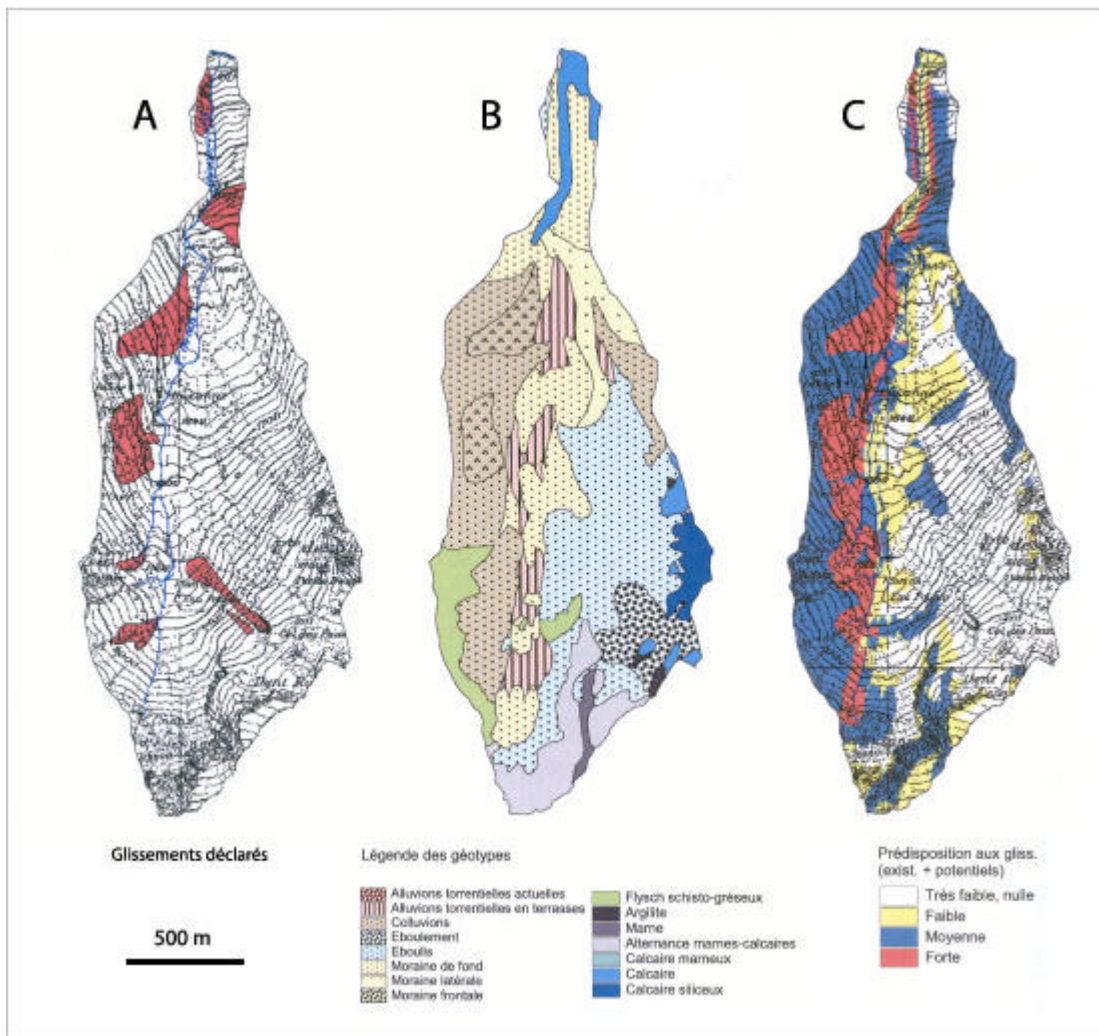


Figure 10 : Exemple d'application de la méthode des géotypes afin de déterminer les dangers potentiels d'instabilité de versant. Cas du bassin expérimental d'Euzanne dans les Préalpes vaudoises. La carte A représente les glissements déclarés. La carte B est la carte des géotypes. Elle permet par le SIG de traduire directement l'information géologique en carte des prédispositions grâce à la matrice donnée à la figure 9. Cette traduction prend aussi en compte la présence d'eau souterraine issue de la cartographie des sources et la distance aux cours d'eau.

La gestion de l'entretien des routes nationales: critères principaux et préparation des éléments de décision

par: I. Scazziga, Viagroup SA, Winterthur et Romanel s/Lausanne

Introduction

La structure fédéraliste du pays a pour conséquence que la maîtrise des ouvrages et tous travaux de construction et d'entretien soient dans les mains des cantons. Sur un ensemble de 26 cantons et demi-cantons le nombre de cantons "autoroutiers" est de 24 et il sont donc responsables de la gestion d'un réseau autoroutier d'une longueur variable entre 11.5 et 229.2 km (longueur planifiée du réseau). Dans le cadre d'un projet de redistribution des différentes tâches entre la Confédération et les cantons devant être réalisé à moyen terme (avant 2010) l'ensemble des routes nationales passera sous la propriété et entière responsabilité de la Confédération, qui jouait jusqu'ici essentiellement un rôle d'organisme de financement et supervision technique.

Dans le contexte actuel et en particulier sur les 20 dernières années la coordination de différentes activités et donc marquée de façon relativement importante par les "désavantages" du fédéralisme c'est-à-dire une prise de décision qui très souvent ne tient pas compte des intentions des cantons limitrophes. La très forte augmentation du trafic sur le réseau autoroutier au courant de ces dernières années a mis encore davantage en évidence ces défauts et les autorités compétentes, en particulier l'Office Fédéral des Routes, ont été poussées à agir pour améliorer cette situation.

La but de la présente relation est de montrer d'une part les critères adoptés pour la gestion de l'entretien du réseau autoroutier et d'autre part la mise en route de différentes activités ayant le but d'assurer l'application de critères retenus.

Critères adoptés pour les chantiers d'entretien autoroutiers

Une nouvelle approche globale visant à optimiser les efforts de l'entretien des autoroutes est en introduction par étapes depuis la publication en 1998 du rapport final d'une étude approfondie sur différents aspects liés à la conservation du réseau des routes nationales qui proposait un ensemble de 17 différentes mesures pour répondre à la question posée au groupes d'experts responsable pour l'étude, à savoir: "*Comment assurer une conservation du réseau des routes nationales satisfaisante du point de vue technique à moindres coûts?*"

Les différents mesures proposées peuvent être appliquée de suite ou alors doivent faire l'objet d'un certain nombre d'études détaillées voir du développement des outils correspondants, en particulier dans le domaine des systèmes de gestion.

En dehors des critères de gestion proprement dits, à savoir si l'optimisation doit se faire sur la base d'un indice global (lequel?), d'un indice thématique partiel (par exemple: sécurité) et avec ou sans prise en compte des coûts aux usagers, l'Office fédéral des routes a fixé un ensemble de conditions cadre visant à tenir compte en particulier de la gêne aux usagers:

- distance minimale entre chantiers: 50 km
- longueur maximale d'un tronçon d'entretien: 15 km
- période minimale sans intervention sur un tronçon d'entretien: 10 ans

L'application pratique de ces conditions implique la nécessité d'intervenir en même temps sur

les différentes parties de l'infrastructure, c'est-à-dire les chaussées, les ouvrages et les installations électromécaniques. Ceci exige évidemment une préparation soignée et détaillée des travaux où la coordination des différents intervenants est déterminante. Différents chantiers de ce type ont déjà été réalisés avec succès.

Récolte d'informations: auscultation des chaussées et des ouvrages

Les méthodes applicables pour le relevé et l'évaluation de l'état des chaussées et des ouvrages sont décrites de façon détaillée soit dans des normes (en évolution constante), que dans des rapports de recherche correspondants ainsi que dans des manuels spécialisés (notamment pour le domaine des ouvrages d'art).

Auscultation des chaussées

Pour les chaussées, la méthode prévoit l'évaluation des indices suivants:

- I1: indice des dégradations de surface*
- I2: Indice de planéité longitudinale
- I3: Indice de planéité transversale
- I4: Indice de qualité antidérapante
- I5: Indice de portance

*: il est actuellement proposé de décomposer cet indice par des indices regroupant différentes "familles" de dégradations.

Si dans le passé les cantons avaient procédé de façon indépendante et sans une coordination au niveau du réseau complet à l'auscultation des chaussées sur leur territoire, c'est l'Office fédéral des Routes qui coordonne voire même organise de façon centralisée depuis quelques années les différentes campagnes de relevé.

Un premier relevé systématique de l'indice des dégradations de surface pour l'ensemble des routes nationales a été réalisé en 1999. Cette campagne de mesure était coordonnée par l'Office fédéral des routes, mais la réalisation pratique restait dans la compétence des cantons. Ceci a conduit à l'utilisation de différentes approches pour le relevé proprement dit:

- relevé visuel à pied par le personnel des cantons
- relevé visuel à pied par du personnel de bureaux d'études ou laboratoires routiers
- relevé visuel depuis véhicule par des sociétés d'auscultation, partiellement en utilisant des résultats de mesure d'appareil à grand rendement (pour le paramètre "déformations")

Cette disparité dans les approches adoptées et l'emploi d'un très grand nombre de personnes différentes pour cette tâche a été caractérisée par une très grande influence des appréciations subjectives. Même si des doutes justifiés subsistent quant à la comparabilité de ces résultats il a été possible d'établir une première carte générale de l'état des dégradations de surface sur l'ensemble des routes nationales.

Les indices I2 et I3, c'est-à-dire l'appréciation de l'uni longitudinal et transversal (orniérage), a fait l'objet d'une campagne de mesure organisée directement par l'Office fédéral des routes suite à appel d'offres international. Les mesures ont été réalisées au printemps de l'année 2000 à l'aide d'un seul appareil multifonctions à grand rendement pour l'ensemble du réseau et les deux indices.

L'année suivante, soit en 2001, c'est de nouveau sur la base d'un mandat accordé par l'Office

fédéral des routes sur appel d'offres international, que les informations relatives à la qualité antidérapante ont été recueillies.

La capacité portante ne constitue en principe pas un des majeurs soucis des administrations routières. Un dimensionnement des superstructures très prudent, associé parfois à des sur-épaisseurs pour tenir compte du gel, et une évolution relativement lente des niveaux de trafic surtout pendant les premières années et ceci en présence d'un taux de poids lourds relativement faible dans une comparaison à l'échelle européenne, n'ont pas fait apparaître à ce jour des véritables problèmes de portance et les dégradations par fatigue sont encore peu fréquentes. Toutefois, un échantillonnage restreint de tronçons d'autoroute pour une totalité de 200 km de longueur, sélectionné sur la base des résultats des inspections visuelles, a été ausculté en 2002 à l'aide d'un appareil de type FWD.

Au moment de la rédaction du présent rapport l'analyse de l'ensemble des données d'auscultation est encore en cours. Au-delà du contrôle de qualité des données obtenues et de la détection d'éventuelles zones nécessitant des interventions d'urgence, réalisés après réception de données, ces analyses comprennent différentes approches statistiques pour détecter évaluer "l'état de santé" ou le niveau de service du réseau, estimer les volume de travail nécessaire à court et moyen terme, mettre en évidence les problèmes principaux tout en les associant dans les limites du possibles à d'autres paramètres tels que le volume du trafic et les matériaux de la superstructure. Les résultats de ces analyses permettront aussi de préciser un certain nombre de critères de décision applicables dans un système de gestion des chaussées.

Evaluation des ouvrages

L'auscultation ou plus précisément la surveillance des ouvrages est évidemment une tâche bien plus "individualisée" que l'auscultation des chaussées en raison de la nature très variables des ouvrages, qui sont pratiquement tous des structures "uniques". Pour cette même raison l'automatisation des auscultations n'est pas possible comme dans le cas des chaussées et on retrouve donc dans ce domaine une organisation de ce type d'activité avec le personnel propre des administrations dans un nombre limité de cas et le recours à des spécialistes venant des bureaux d'étude dans la majorité des cas.

Néanmoins des procédures normalisées pour la surveillance des ouvrages ont été adoptées, comprenant un schéma d'évaluation avec 5 niveaux de qualité, et organisées sous forme de:

- inspection intermédiaire,
- inspection principale,
- inspection complémentaire.

Développements dans le domaine des systèmes de gestion

Les travaux en cours pour le développement des systèmes de gestion touchent à la fois trois domaines différents, en particulier:

- les chaussées
- les ponts et autres ouvrages d'art
- les installations électromécaniques

Pour ces trois domaines des applications informatiques différentes sont actuellement dans une phase de mise au point soit par des études conceptuelles et de modélisation que par des

travaux de mise au point de logiciels spécifiques. En même temps, des recherches et études s'occupent de l'intégration des trois "sous-systèmes" pour aboutir finalement à un véritable système de gestion des routes.

Les critères de priorisation et d'optimisation applicables doivent tenir compte d'une part des intérêts des usagers – ce qui repose entre autres sur la loi fédérale des routes nationales et se reflète entre autres par les différentes conditions adoptées pour les chantiers – et d'autre part de différents critères techniques et économiques. Les différents travaux de développement mentionnés se concentrent actuellement surtout sur des aspects liés au maintien de conditions d'exploitation suffisantes et au respect des critères de sécurité.

La préparation d'un premier plan quinquennal pour tous les travaux d'entretien et d'aménagement des routes nationales constitue un des premiers résultats concrets de ces efforts coordonnés. Ce plan sera ensuite mis à jour et amélioré au fur et mesure que des étapes déterminantes de développement auront été complétées.

Chaussés en béton de recyclage

par: R. Werner, Ing. HTL/STV;Bonstetten

Généralités

En Suisse, il est de plus en plus difficile d'exploiter les réserves encore existantes de granulats de haute qualité. D'autre part, il règne un manque patent de surfaces de décharge pour les matériaux pierreux de démolition. Cette situation s'est développée au cours des dernières années et résulte du désir croissant de passer d'une société de consommation à une société de recyclage.

Philosophie

Une valorisation optimale des matériaux de démolition pierreux passe par l'observation de certaines règles fondamentales relatives à la gestion de ces matériaux. Les propositions ci-dessous représentent les objectifs principaux formulés lors de l'élaboration d'une norme générale sur la réutilisation des matériaux de démolition [1].

- Ne pas désigner ni gérer les matériaux de démolition pierreux comme des déchets, mais comme des matières premières de recyclage
- Maintenir le recyclage comme objectif principal
- Recycler les matériaux de démolition pierreux dans les mêmes domaines de construction que ceux dont ils proviennent
- Agir autant que possible dans l'optique de plusieurs recyclages successifs
- Utiliser les matières premières de recyclage conformément aux normes applicables dans le domaine de construction envisagé.

La mise en pratique de cette philosophie exige le respect d'un certain nombre de conditions préalables. Parmi celles-ci, il faut souligner que la réutilisation doit être organisée de manière méthodique, c'est-à-dire que les matières premières de recyclage doivent être triées et catégorisées avec le plus grand soin, de manière à ce que leur réutilisation permette d'atteindre une exécution de bonne qualité. Plusieurs directives furent élaborées sur ces bases, l'une d'elles traitant en particulier de la réutilisation du béton de démolition [2].

Exécution de revêtements routiers en béton contenant des granulats de béton

La question principale était de savoir jusqu'à quel point les revêtements en béton sont aptes au recyclage, en d'autres termes quelle proportion de matières premières de recyclage pouvait être intégrée aux granulats destinés au béton du nouveau revêtement. La question a été entièrement résolue lors de la reconstruction d'un tronçon de route de la vallée du Rhin, entre Sargans et St. Margarethen.

Ce revêtement en béton de plus de 20 ans d'âge a été mis hors service, démoli et concassé avant d'être recyclé en granulats de béton. Ce processus était destiné à permettre un réemploi de ce matériau dans le renforcement d'une infrastructure routière par une stabilisation au ciment. Une certaine quantité de ces granulats de béton fut toutefois mise de côté en vue de tester son aptitude au recyclage en tant que constituant du béton lors de la mise en œuvre et de l'exécution de la dalle de revêtement.

Deux sections de cette route (de 300 m' chacune) furent ainsi bétonnées en 2 étapes, entre 1990 et 1991.

Travaux préliminaires

- a) *essais complémentaires sur les granulats de béton*
- Teneur en chlorures
La teneur en sel mesurée dans le béton ancien était très faible – 0,24 kg/m³ de béton – et, par conséquent, insignifiante dans le cas de l'utilisation prévue.
 - Le coefficient de polissage (PSV) de 48 et n'était que très faiblement inférieur à la valeur 50, spécifiée pour l'usage prévu.
- b) *mesures préparatoires*
- Afin d'éviter une absorption partielle de l'eau de gâchage par la pâte de ciment contenue dans les granulats de béton concassés, ceux-ci furent arrosés d'eau pendant les 48 heures qui précédèrent leur mise en œuvre, assurant ainsi la totale saturation en eau de la pâte de ciment.

Confection et mise en place du béton

Le béton de recyclage a été confectionné et mis en place au moyen de l'équipement disponible sur le chantier. Il devait être intégré à l'ouvrage pendant l'exécution des travaux de bétonnage. Sa mise en place s'est effectuée au moyen d'une finisseuse à coffrage fixe avec, pour des raisons techniques, une recette identique pour les couches inférieure et supérieure.

Le béton confectionné au moyen de la recette n° 1 suscita quelques difficultés. En effet, même si les essais globaux sur granulats avaient montré une bonne distribution granulaire, le stockage en tas et le transport jusqu'à la centrale à béton furent la cause de sérieux démêlages. Des irrégularités dans le dosage de l'eau amenèrent elles aussi des fluctuations considérables de l'ouvrabilité. La conséquence de ces problèmes se remarqua au niveau de la résistance du béton qui n'atteignit pas les valeurs spécifiées.

La mise en place du béton confectionné avec la recette n° 2 ne causa aucun problème. Les mesures prises consistèrent à éliminer la fraction granulaire 0-4 et à la remplacer par du sable naturel et du sable concassé. De même, le reste des granulats de recyclage fut séparé en fractions (4-8, 8-16 et 16-32) ce qui permit de l'utiliser sans difficulté dans la confection du nouveau béton.

Avec la recette n° 2, il restait toujours nécessaire d'ajouter 34 % de matière première naturelle (soit toute la fraction 0-4), si bien qu'un essai de remplacement partiel de la fraction 0-4 eut lieu, aboutissant à la recette n° 3 avec un remplacement de seulement 40 % des granulats de recyclage. La proportion totale de granulats de recyclage utilisée se monta dès lors à 87 %. Le malaxage et la mise en place du béton furent menés à bien sans la moindre difficulté.

L'objectif principal restait toutefois d'exécuter un revêtement en béton de haute qualité ne contenant aucun granulats naturels, c'est-à-dire avec 100 % de granulats de béton concassés. La mise en œuvre de l'expérience acquise au cours des essais précédents permit d'atteindre ce but avec la recette n° 4. Donc, bien que la distribution granulaire initiale du mélange global se soit révélée optimale, c'est l'exigence – somme toute logique – de séparer les granulats de recyclage en quatre fractions granulaires qui a permis d'atteindre l'objectif principal sans autre difficulté.

Tableau 1 : Recettes de béton

Recette	1	2	3	4
Granulat	100 % de granulats de recyclage 0-32mm (mélange global)	Fraction 0-4mm: 100% de sable naturel et concassé, Fractions 4-8, 8-16, et 16-32mm: 100 % de granulats de recyclage	Fraction 0-4mm:60% granulats de recycl., 40% de sable nat., Fractions 4-8, 8-16 et 16-32 mm: 100 % de granulats de recyclage	100 % de granulats de recyclage dans les fractions 0-4, 4-8, 8-16 et 16-32mm
Ciment	Ciment Portland 375 kg/m ³ *	Ciment Portland 375 kg/m ³ *	Ciment Portland 375 kg/m ³ *	Ciment Portland 375 kg/m ³ *
Additions	Entraîneur d'air : Fro V5 (Sika) 0,7-0,9 % du poids du ciment Plastifiant : Plastiment FN (Sika) 0,7-0,8 % du poids du ciment	Entraîneur d'air : Fro V5 (Sika) 0,7-0,9 % du poids du ciment Fumée de silice : Sikacrete-PP1 ** 2,4 % du poids du ciment	Entraîneur d'air : Fro V5 (Sika) 1,3 % du poids du ciment Plastifiant : Sikament 10 (Sika) 0,71 % du poids du ciment Fumée de silice : Sikafume-HR ** 4,75 % du poids du ciment	Entraîneur d'air : Fro V5 (Sika) 1,3 % du poids du ciment Plastifiant : Sikament 10 (Sika) 0,71 % du poids du ciment Fumée de silice : Sikafume-HR ** 4,75 % du poids du ciment
Rapport E/C visé	0,40 (0,50)	0,40 (0,50)	0,40 (0,50)	0,40 (0,50)
Indice de serrage (selon Walz)	1,2-1,4		1,3-1,4	1,1-1,2
Teneur en air nécessaire	4-6 % en volume	4-6 % en volume	4-6 % en volume	4-6 % en volume
Temps de malaxage	90 s	90 s	70 s	70 s
% de granulats de recyclage dans le mélange total	100 %	66 %	87 %	100 %
Ouvrabilité	modérée	modérée	très bonne	très bonne

* Comparé au béton normalement utilisé pour les revêtements routiers (et constitué de granulat naturel), le dosage en ciment a été augmenté de 25 kg/m³ pour arriver à 375 kg/m³.

** Une addition de fumée de silice a contribué à l'amélioration de la qualité

Essais sur béton frais et sur béton durci

a) Essais sur béton frais

Les essais, effectués en continu, ont donné les valeurs (moyennes) suivantes :

Tableau 2 : Résultats des mesures sur béton frais

Recette	1	2	3	4
Proportion de granulats de recyclage	100 %	66 %	87 %	100 %
Densité à l'état humide [kg/m ³]	2,330	2,310	2,320	2,293
Densité à l'état sec [kg/m ³]	2,170	2,150	2,141	2,096
Rapport eau/ciment (E/C)	0,45	0,41	0,47	0,53
Teneur en air à la centrale à béton [%]	6,2	6,4	5,0	5,5
Teneur en air lors de la mise en place [%]	4,6	5,4	4,0	4,5
Indice de serrage [Walz]	1,34	1,33	1,28	1,20

b) Essais sur béton durci

La valeur spécifiée de résistance à la traction par flexion à 28 jours était de 5,2 N/mm². Mis à part la recette n° 1 (5,04 N/mm²), cette valeur minimale fut toujours dépassée sans difficulté (5,66 - 6,70 N/mm²)

Tableau 3: Développement de la résistance à la compression depuis la mise en place du béton en 1990 et 1991

Recette	Proportion de granulats de recyclage	Résistance à la compression [N/mm ²] après			
		28 jours	1 année	2 ans	3 ans
1	100 % (mélange global)	32,4	-	36,5	-
2	66 % (4 fractions)	39,7	-	39,6	54,1
3	87 % (4 fractions)	44,3	46,3	59,3	
4	100 % (4 fractions)	42,2	46,6	58,6	
Béton de référence	0 % (8 fractions)	39,2	44,7	-	

Ainsi qu'il apparaît au tableau 3, la montée en résistance du béton fut conforme à ce que l'on pouvait espérer et ne présenta pas de différence fondamentale avec celle du béton de référence confectionné exclusivement au moyen de constituants naturels.

De même, sur le plan visuel, la portion de revêtement mise en place au moyen du béton constitué de granulats concassés de recyclage présente un aspect impeccable. Sa surface fait aujourd'hui encore l'objet d'inspections régulières.

Conclusions

Le béton de revêtement d'anciennes voies de circulation routière peut être réutilisé pour la confection de nouveaux revêtements en béton de haute qualité et résistant aux sels de déverglaçage, exigences nécessaires pour les routes soumises à un trafic lourd.

En vue d'atteindre les valeurs élevées mentionnées plus haut, il faut satisfaire aux deux conditions énoncées ci-dessous, à savoir :

- Les granulats de béton concassés doivent être triés et répartis en quatre fractions granulaires, par exemple 0-4, 4-8, 8-16 et 16-32 mm.
- Les granulats constitués par l'ancien béton doivent être arrosés d'eau au moins pendant les 48 heures précédant le malaxage afin que la pâte de ciment qu'ils contiennent soit saturée d'eau.

L'augmentation du dosage en ciment et/ou l'addition de fumée de silice sont des mesures qui améliorent notablement la résistance finale du béton.

Comme la teneur en chlorures de l'ancien béton était très faible, il n'y eut pas de mesures particulières à prendre pour la mise en place du nouveau revêtement en béton (non armé).

Le remplacement partiel ou complet du sable naturel ou concassé par la fraction 0-4 mm n'entraîne pas nécessairement une augmentation de la résistance.

Bibliographie

- [1] Norme suisse SN 640 740a : Réutilisation des matériaux de démolition - Généralités
 [2] Norme suisse SN 640 743a : Réutilisation de béton de démolition

Recherche dans le domaine des connaissances des charges réelles du trafic autoroutier

par: M. Caprez, Institut de géotechnique IGT, Ecole Polytechnique Fédérale, Zurich

La problématique des sollicitations du revêtement des chaussées souples

Différents paramètres influencent l'ampleur et surtout la fréquence des travaux d'entretien et les entraves au trafic, voir même des clôtures à la circulation qui en découlent. Parmi les paramètres les plus importants et déterminants on pourra citer d'une part la qualité initiale de la construction qui comprend aussi les aspects du dimensionnement et le choix optimal des matériaux et d'autre part les sollicitations dues aux conditions climatiques et aux charges de trafic pendant la période d'exploitation. Le dernier de ces paramètres, les charges du trafic, peut uniquement être estimé au moment de la construction et il est bien connu que la grande majorité de ces pronostics sont très fréquemment dépassés pendant la période d'utilisation de la route soit en terme du nombre de véhicules que du point de vue du nombre et du poids des essieux.

Différents efforts de recherche visant au développement de nouvelles techniques ont été portés à bout avec succès dans le domaine des structures de chaussées souples pour les routes plus fortement sollicitées. Les changements intervenus au niveau de l'optimisation des recettes des enrobés bitumineux en sont un exemple. L'application de méthodes d'essai plus sensibles telles que l'utilisation de l'appareil d'orniérage LCPC et de la presse à cisaillement giratoire sont en train de prendre la relève de la philosophie de l'essai Marshall appliquée jusqu'ici. Les délais de transfert des résultats des recherches sur les "enrobés spéciaux" pour les routes à fort trafic dans la normalisation et dans la pratique de construction sont raccourcis de plus en plus.

Evolution dans le domaine des charges du trafic

L'évolution des charges du trafic sur le réseau autoroutier suisse a été considérable au cours des dernières années. Ceci en fonction entre autres d'un changement des valeurs maximales admissibles pour le poids total des véhicules qui a été porté de 28 à 40 tonnes de la part des autorités politiques. Cette modification du poids total admissible ainsi qu'une mesure de caractère fiscal ont eu une influence immédiate sur les charges du trafic même s'il n'y ait pas eu de changement au niveau des charges admissibles par essieu. De plus et tout récemment un autre phénomène s'ajoute aux facteurs d'influence déjà connus des charges du trafic. Les longues colonnes d'attente de véhicules en situation de bouchon aussi bien que des poids lourds circulant à très faible vitesse et l'irradiation de chaleur provenant des moteurs provoquent une sollicitation thermique intensifiée des couches de surface qui peut affaiblir la résistance des enrobés aux charges roulantes, surtout pendant les périodes les plus chaudes de l'été.

Dans le cadre d'un travail de recherche terminé fin 2001 dans le but de vérifier les coefficients d'estimation du nombre d'essieux standard par catégorie de véhicules il a été possible de bien mettre en évidence les conséquences des changements dans les régulations relatives aux poids admissibles sur les charges observées sur route.

Travaux de recherche pour la détermination du trafic pondéral équivalent

Les normes utilisées actuellement en Suisse proposent l'utilisation de facteurs de conversion applicables à différentes classes de trafic, différents types de véhicules et finalement aussi à différentes catégories de routes pour déterminer la charge équivalente du trafic (nombre

d'essieux standard). Le trafic pondéral équivalent est défini comme le produit entre le facteur de conversion et le nombre de véhicules lourds. Pour une route donnée le trafic pondéral équivalent est défini par la somme des valeurs de trafic pondéral équivalent pour chaque catégorie de véhicules.

Le projet de recherche mentionné a porté sur l'analyse détaillée des résultats du pesage automatique des véhicules en marche (WIM: weigh in motion) sur un ensemble d'un total de cinq postes de pesage distribuées sur le réseau des routes nationales pour des périodes de deux semaines de durée des années 2000 et 2001. Cette analyse, dans laquelle on été appliqués les coefficients d'équivalence par essieu selon les résultats de l'essai AASHTO a eu pour but de vérifier les facteurs de conversion par catégorie des véhicule et si nécessaire de proposer des nouveaux facteurs. Pour l'année 2000 la législation en vigueur permettait un poids total admissible par véhicule de 28 tonnes, limite qui a été portée à 34 tonnes pour l'année 2001. La sélection des périodes de mesure sur des années avec des limites légales de poids différentes devait permettre aussi une extrapolation sur la situation que l'on puisse anticiper pour une limite légale de 40 tonnes qui sera introduite prochainement.

Quatre différentes catégories de véhicules ont été analysées:

- les poids lourds (véhicule seul)
- les trains routiers (poids lourd avec remorque)
- les véhicules articulés
- les cars et autobus; cette dernière catégorie a été ajoutée par rapport à la pratique précédente et les résultats obtenus sont uniquement valables pour les transports en commun sur les longues distances sans prendre en compte la situation particulières des villes et des agglomérations urbaines.

Les facteurs de conversion suivants, applicables sur autoroutes, sont proposés pour différentes catégories de véhicules sous un régime de 40 tonnes:

catégorie de véhicules	normes existantes		proposition	
	chaussées souples	chaussées rigides	chaussées souples	chaussées rigides
poids lourds	1.0	1.3	0.9	1.0
trains routiers	2.2	2.2	1.9	2.0
véhicules articulés	1.4	1.4	1.7	2.0
cars	-	-	2.3	2.3

Les facteurs de conversion suivants, applicables à la totalité des véhicules lourds, ont été proposés pour différentes catégories de routes sous un régime de 40 tonnes.

catégorie de route	normes existantes		proposition	
	chaussées souples	chaussées rigides	chaussées souples	chaussées rigides
autoroutes	1.5	1.5	1.6	1.7
routes express	1.3	1.5	1.4	1.5
routes principales	1.2	1.4	1.3	1.5
routes de liaison	1.0	1.3	1.0	1.3

L'étude recommande finalement de réévaluer les résultats des pesages WIM par moyen d'une analyse couvrant une période de 5 ans au minimum pour aboutir, après la période actuelle de "transition", à des facteurs de conversion définitifs.