

CONTRÔLE DE LA PERFORMANCE LIÉE AU SOUS-SOL, DES AUTOROUTES NÉERLANDAISES

A.A.M. VENMANS & C. ZWANENBURG

GeoDelft, Pays-Bas

A.A.M.VENMANS@GEODELFT.NL

J.H. BEUKEMA

Département d'ingénierie routière et hydraulique du Ministère des Transports, des Travaux publics et de la Gestion des eaux, aux Pays-Bas

henkjan.beukema@rws.nl

RÉSUMÉ

Cet article présente un exposé général des actions en cours pour augmenter le contrôle de la performance liée au sous-sol, du réseau autoroutier néerlandais. Les tassements différentiels des remblais routiers sur un sol tendre exigent une maintenance annuelle dont le montant du coût est estimé à 35 millions d'euros. Une analyse rétrograde des expériences permet d'identifier les éléments critiques pendant la construction et la maintenance. Rijkswaterstaat (l'Administration centrale néerlandaise des Travaux publics et de la Gestion des eaux), les instituts de recherche et le secteur du Bâtiment coopèrent pour améliorer ces éléments critiques.

1. SITUATION ACTUELLE

1.1. Introduction

Une importante partie du réseau autoroutier néerlandais est construite sur des couches de sol tendre, caractéristique typique de l'ensemble deltaïque des Pays-Bas. Les tassements différentiels, la stabilité des talus de remblai, les déformations latérales du sous-sol sous la charge des remblais et le contrôle des nappes phréatiques constituent les principaux facteurs qui se rapportent au sous-sol et contrôlent la construction et l'exploitation de l'infrastructure autoroutière sur un sol tendre. Le remblaiement et l'élimination des tassements différentiels par surcharge demandent tous deux un temps considérable, de l'ordre d'une année habituellement. Par conséquent, les caractéristiques du sous-sol déterminent la disponibilité de l'infrastructure dans le futur. Les tassements différentiels, si non éliminés de manière adéquate, continueront à causer des problèmes en ce qui concerne l'uni longitudinal et transversal des chaussées, longtemps après l'achèvement des travaux. Les travaux de maintenance qui devront ramener l'uni de la couche de roulement à des valeurs acceptables, auront un impact négatif sur la disponibilité de l'infrastructure.

Rijkswaterstaat est l'administration responsable de la construction et de la maintenance de l'infrastructure routière et de la gestion du réseau autoroutier. Comme les exigences relatives à la disponibilité du réseau se font plus strictes, Rijkswaterstaat a commencé à accroître le contrôle des facteurs de la construction et de la maintenance qui se rapportent au sous-sol. Cet article présente l'exposé des problèmes à résoudre, de la recherche et des actions en cours, et de l'état actuel de la mise en œuvre de ces actions.

L'article commence par décrire l'organisation et le rôle que tiennent Rijkswaterstaat et le secteur du Bâtiment. Puis il présente les résultats d'une analyse pour quantifier les coûts des dommages liés au sous-sol, par rapport aux coûts des dommages provoqués par

d'autres mécanismes. L'analyse montre l'importance de l'impact du sous-sol sur les dommages actuels des chaussées. L'analyse rétrograde d'un certain nombre d'échecs met en évidence quelques causes techniques, procédurales et organisationnelles d'un mauvais contrôle de la performance liée au sous-sol.

L'article présente ensuite l'analyse du processus actuel de spécification de la performance, de la construction, de la surveillance et de la maintenance. Il présente l'identification de quelques éléments essentiels qui empêchent le contrôle efficace de la performance liée au sous-sol, du réseau autoroutier néerlandais. Ces éléments sont élaborés et des actions définies afin de permettre à Rijkswaterstaat de mieux gérer ses biens. Plusieurs actions exigent pour cela le développement de nouveaux outils spécialisés, des procédures de travail et une attention accrue à l'organisation des données, à la connaissance et aux compétences. L'article présente l'état actuel de la mise en œuvre des actions prévues aux Pays-Bas.

1.2. Organisation de l'administration routière aux Pays-Bas

Rijkswaterstaat agit comme une agence du Ministère des Transports, des Travaux publics et de la Gestion des eaux, une situation qui devient plus courante en Europe. En tant qu'agence, Rijkswaterstaat est responsable de la construction, de la maintenance et de la gestion des biens en respectant les budgets établis. Les accords convenus sur le niveau de service définissent l'état de l'infrastructure qui doit être maintenu en tout temps. La surveillance de la performance technique de l'infrastructure, la disponibilité aux utilisateurs et la satisfaction du public permettent l'évaluation du processus.

Le secteur du Bâtiment est étroitement impliqué dans les tâches de Rijkswaterstaat. Tous les contrats des travaux de construction et de maintenance sont attribués à présent comme des contrats de Conception et Construction, c'est-à-dire que les contractants sont responsables de la performance technique de leurs produits pendant une période de sept ans, à dater de l'achèvement des travaux. Dès 2010, les contrats sur le niveau de service seront standardisés, et les contractants seront tenus responsables de la disponibilité de plus grandes parties du réseau. Les partenariats public-privé seront plus courants, quelques projets pilotes sont d'ailleurs déjà initiés. Ce qui marquera une transition des spécifications de performance orientées vers la technique vers des spécifications qui se rapportent plus directement aux intérêts des utilisateurs de la route et du public.

Dans la situation actuelle, les activités du secteur du Bâtiment consistent à assister Rijkswaterstaat dans les études de faisabilité, la conception préliminaire et la préparation du contrat (consultants en ingénierie), dans la conception finale et la construction (contractants) et dans la maintenance (contractants). Le secteur du Bâtiment devrait initier des recherches pour développer des solutions innovatrices qui permettront de répondre aux spécifications de performance définies par Rijkswaterstaat et de participer à la recherche précompétitive.

Actuellement, Rijkswaterstaat se limite à diriger le secteur du Bâtiment dans ses activités préliminaires d'adjudication de contrat, et agit comme interface avec le Ministère, le public et les tiers concernés par les projets. Suite à l'attribution des contrats, elle surveille ensuite la conformité des travaux de construction et de maintenance avec les spécifications exigées et dirige la communication avec le public. Rijkswaterstaat surveille l'état de l'infrastructure pour la planification de la maintenance à court terme et à long terme, et évalue également la performance de ses efforts pour atteindre les objectifs établis par le Ministère. La recherche contractuelle est restreinte au développement de la connaissance et des outils visant à améliorer les activités primaires. La recherche précompétitive est

stimulée par le financement et le transfert des connaissances et vise à créer des conditions qui permettraient au secteur du Bâtiment de développer les meilleures solutions.

1.3. Coûts de maintenance liés au sous-sol

1.3.1 *Le réseau autoroutier néerlandais*

Le réseau autoroutier néerlandais est composé de 3 200 km d'autoroutes et voies express, et de sept tunnels. Quelques 3 000 ponts, galeries et autres structures sont intégrés au réseau. Environ 60 % du réseau autoroutier sont construits sur des couches d'argile organique marine et fluviale de la période holocène et sur des couches de dépôts tourbeux, dont l'épaisseur atteint jusqu'à 15 m (figure 1a). À la base de ces couches tendres se trouve une couche de sable de l'époque pléistocène, qui fournit suffisamment de capacité de portage pour les fondations sur pieux.

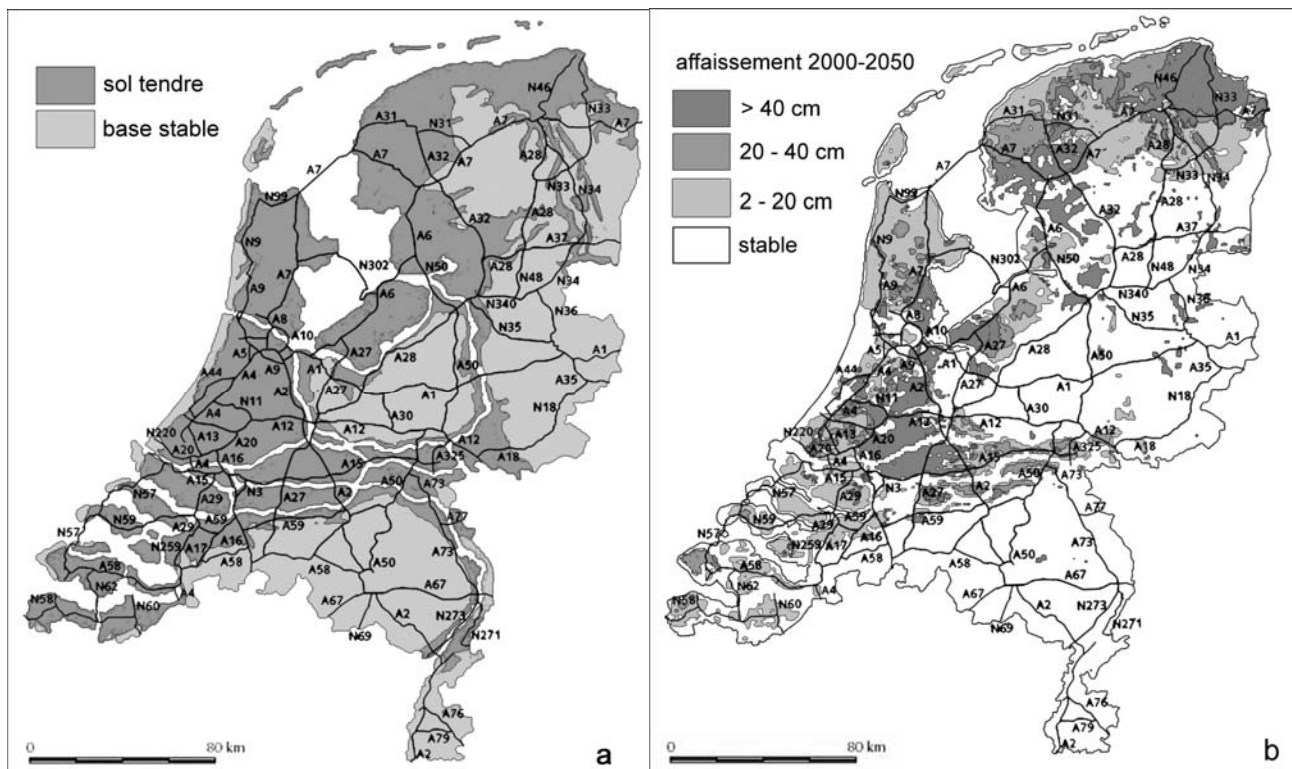


Figure 1 - Réseau autoroutier néerlandais tracé sur la carte géologique (a) et sur la carte de l'affaissement du sol (b)

Le contrôle de la construction des remblais sur ces sols friables et compactables ne peut pas avoir lieu sans accorder l'attention nécessaire au comportement à court terme et à long terme. Le remblaiement devrait avoir lieu à un rythme suffisamment lent pour permettre une meilleure capacité de portage pendant la consolidation, et éviter ainsi les mauvais talus. L'amélioration du sol ou le renforcement du sol sera indispensable dans la plupart des cas pour accélérer le processus de tassement et minimiser les tassements différentiels après l'achèvement de la route. Les tassements différentiels apparaîtront aux transitions vers les structures à piliers et aux transitions entre les remblais existants et les nouveaux remblais construits pour permettre les élargissements de chaussée (Figure 2).



Figure 2 - Fissures du revêtement de la chaussée lors d'un projet d'élargissement de la route

Des mesures d'atténuation pourraient s'avérer nécessaires pour prévenir tout endommagement des structures ou infrastructures souterraines par les déformations latérales causées par la charge du remblai. Avec le niveau des nappes phréatiques se trouvant à moins de 1 m au-dessous de la surface du sol, il est nécessaire d'assurer le drainage du remblai pour éviter des dommages causés par le gel.

Plusieurs routes sont situées dans des polders où le niveau de la nappe phréatique est maintenu artificiellement à un certain niveau pour permettre des activités agricoles sur les terres. Ce drainage expose le sol organique à l'air et provoque des pertes de volume par oxydation, ce qui continue le processus de tassement et d'abaissement du niveau de la nappe phréatique (figure 1b). Les remblais routiers suivront en partie ce mouvement, entraînant des tassements différentiels aux transitions vers les structures sur pieux et aux remblais existants. Dans le nord-est des Pays-Bas, l'affaissement est dû à l'extraction des hydrocarbures. Dans ce cas, les structures sur pieux s'affaissent également, sans impact net sur les tassements différentiels.

1.3.2 Estimation des coûts de maintenance liés au sous-sol

Tout au long de la durée de vie des remblais routiers, les tassements différentiels sont la cause la plus courante des dommages. Les impacts des tassements différentiels sont les plus prononcés aux transitions vers les ponts et autres structures à fondations sur pieux dans la couche de sable de la période pléistocène, et dans les projets d'élargissement de la route. Dans ce dernier cas, les tassements peuvent être accompagnés de mouvements latéraux du nouveau remblai, à cause du manque de support latéral. Dans les cas sévères, les mouvements combinés verticaux et latéraux ont provoqué des fissures longitudinales du revêtement de la chaussée. Les auteurs ont constaté dans la pratique qu'une mauvaise maintenance des systèmes de drainage n'est pas exceptionnelle. Des niveaux élevés de nappes phréatiques ont souvent été constatés dans les remblais routiers. Curieusement pourtant, les signes associés de dégradation du revêtement de la chaussée que l'on s'attendrait à voir, sont rarement constatés.

Tous les deux ans, Rijkswaterstaat surveille la condition de tout le réseau autoroutier. Elle utilise pour cela un véhicule *ARAN (Automatic Road Analyser)* qui effectue l'analyse automatique des routes en roulant à la vitesse du trafic. Les données sont stockées et réduites pour obtenir une estimation de l'évolution de l'endommagement étalé sur un certain temps, en utilisant pour cela le système d'information *IVON* sur la maintenance de

la chaussée. Les dommages provoqués par le sous-sol déjà décrits, s'expriment en un uni insuffisant le long de l'axe de la route (tassements différentiels aux transitions vers les structures sur pieux), un talus transversal excessif et des fissures du revêtement de la chaussée (élargissement de route).

Grashuis [1] présente une analyse des données dans le système d'information IVON, qui révèle que ces types de dommages dominant dans presque 4 % de la longueur du réseau autoroutier. Comme le budget annuel de la maintenance de la chaussée est de l'ordre de 200 millions d'euros, ce pourcentage représente environ 8 millions d'euros qui sont dépensés chaque année. Dans 96 % des cas, d'autres dommages dominant, parmi lesquels le plus important est le désenrobage autour des granulats de bitume de la couche de roulement. Au cours du remplacement de la couche de roulement, les autres dommages sous-dominants sont également réparés. On estime que dans 10 % de ces cas, le dommage lié au sous-sol est présent, et représente à son tour 19 millions d'euros par an. De plus, la restauration de l'uni de la chaussée aux transitions vers les ponts, fait souvent partie de petits projets de maintenance qui ne sont pas compris dans le système d'information IVON. Pour ces projets, les coûts de maintenance liés au sous-sol sont estimés à 6 millions d'euros par an. Par conséquent, le montant total dépensé sur la maintenance du réseau autoroutier néerlandais en raison de facteurs liés au sous-sol, est estimé être de l'ordre de 35 millions d'euros par an.

L'estimation des coûts de maintenance liés au sous-sol est relativement imprécise pour certaines raisons. Premièrement, le système d'information IVON stocke les mesures de l'indice de rugosité international (IRI) de l'uni de la chaussée comme étant des moyennes sur 100 m de sections de route. Comme les tassements différentiels aux transitions vers les ponts apparaissent sur des distances bien plus courtes, il arrive souvent que même les cas sévères ne sont pas détectés dans la moyenne de 100 m. Deuxièmement, le système IVON est conçu essentiellement pour la planification de la maintenance, et non pas pour le contrôle des travaux actuels de maintenance. Cela ne facilite pas l'extraction de l'information souhaitée. Et enfin, la nature des petits travaux de maintenance n'est pas enregistrée systématiquement, ce qui fait que toute estimation ne peut être qu'un jugement d'expert.

1.3.3 *Analyse rétrograde des échecs*

Puisque les causes de la maintenance qui est liée au sous-sol sont connues, il semblerait qu'en associant un examen adéquat du site à une conception et des méthodes modernes de construction et à une maintenance appropriée, on devrait réussir à minimiser les coûts et la perte de disponibilité de l'infrastructure routière. Pourtant, un inventaire restreint de l'expérience des auteurs montre qu'il a encore beaucoup à faire pour améliorer l'état des choses.

L'analyse rétrograde indique les causes suivantes des tassements différentiels excessifs aux transitions vers les ponts :

- Le retrait inopportun de surcharge et d'une partie du remblai aux futurs endroits de transition vers des ponts, effectué pour permettre aux engins de chantier dont ceux de fonçage d'y accéder, provoque d'excessifs tassements différentiels après l'achèvement des travaux.
- La sous-estimation de l'ampleur des tassements différentiels après l'achèvement des travaux, résultant de l'application de modèles pour le comportement du sol qui n'ont pas été validés adéquatement ou de la supposition de valeurs trop optimistes quant aux paramètres critiques.
- Le manque de temps pour la construction.

- Le fait de ne pas communiquer aux concepteurs les changements constatés en cours de construction.
- L'adoption d'une solution standard sans considérer les conditions spécifiques du site, comme le fait de restaurer le profil longitudinal en remplissant d'asphalte ; le poids supplémentaire entraînera davantage de tassement.
- L'ignorance des données historiques concernant le tassement et l'affaissement dans la zone.
- L'ignorance des conséquences des actions prises pour résoudre d'autres problèmes, par exemple le drainage pour maintenir au sec les conduits électriques. L'augmentation du poids entraînera les tassements.
- La mauvaise exécution des travaux d'amélioration du sol (par exemple drains de sable) ou de renforcement du sol (méthodes de deep soil mixing dans le sol organique).
- La réticence à réaliser la maintenance appropriée pour éviter la redevance d'occupation de voie ou recevoir des primes de « non-réclamation ».

Quelques causes enregistrées pour les fissures de la chaussée :

- L'adoption d'une solution standard sans pour autant considérer les conditions spécifiques du site, comme le fait de remblayer les talus existants ; étant donné le manque de support latéral, le remblai continuera à s'affaisser.
- Manquer de considérer l'historique de construction, comme le vibrofonneur qui enfonce les parois de palplanches dans le sable plus ou moins compacté d'un remblai routier, construit par déplacement du sol tendre par le sable.
- Manquer de reconnaître l'impact des activités, comme le fait de supprimer les accotements de la route, et de porter atteinte à la stabilité, pour y aménager des fossés.

L'inventaire restreint des échecs présentés dans le rapport ne permet pas de procéder à une estimation fiable des éventuelles économies de coûts. La plupart de ces échecs auraient bien pu être contrôlés et maîtrisés moyennant un coût raisonnable si une gestion adéquate des risques avait été appliquée. Par conséquent, une grande partie des frais de maintenance liée au sous-sol pourrait être attribuée à des raisons procédurales et organisationnelles plutôt qu'à des raisons techniques. La réduction des coûts de maintenance fera habituellement monter les coûts de construction. Selon les auteurs, il y aura une nette réduction de l'ensemble des coûts. Cependant, le principal bénéfice d'un meilleur contrôle de la performance liée au sous-sol serait l'accroissement de la disponibilité et de la fiabilité de l'infrastructure pour le public.

2. ÉLÉMENTS CRITIQUES DANS LE CONTRÔLE DE LA PERFORMANCE LIÉE AU SOUS-SOL

L'analyse rétrograde des échecs passés permet d'identifier les éléments critiques pendant le contrôle de la performance liée au sous-sol, des autoroutes construites sur un sol tendre. La conception, la construction et la maintenance du réseau autoroutier néerlandais peuvent être représentées comme un processus circulaire (Figure 3).

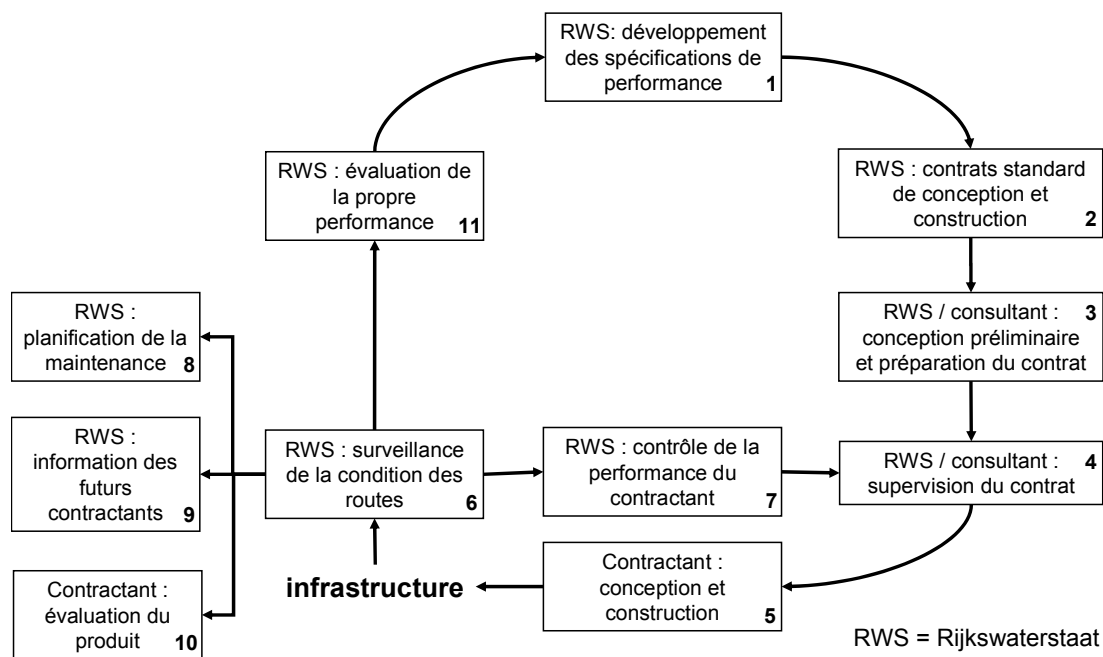


Figure 3 - Diagramme des processus de conception, de construction et de maintenance des autoroutes néerlandaises

Les éléments critiques sont développés ci-dessous, les numéros correspondant à ceux de la figure 3.

1. L'actuel ensemble des spécifications de performance pour les projets de construction affirme que l'uni longitudinal, le talus transversal, les fissures, l'adhérence de la chaussée, le désenrobage et l'orniérage ne devraient pas excéder les valeurs d'intervention pour la maintenance. Les futurs contrats sur le niveau de service contiendront également les spécifications de l'utilisateur final en termes de la disponibilité et de la capacité de l'infrastructure. Les exigences supplémentaires concernent le drainage, la disponibilité de l'infrastructure future et existante, les délais de construction, l'impact sur les structures et la stabilité du talus. Les spécifications actuelles pour le drainage et la stabilité du talus sont considérées conservatrices. Comme déjà expliqué, le critère de l'indice de rugosité international, IRI (moyenne 100 m) est insensible aux tassements différentiels aux transitions des structures sur pieux.
2. Rijkswaterstaat a établi un contrat standard de Conception et Construction, qu'il faut utiliser dans tout le pays. Il est nécessaire dans la pratique d'apporter des modifications sur mesure à certains contrats. Il faudrait vérifier que les modifications soient toujours compatibles à la politique générale.
3. La conception préliminaire devrait contenir une vérification de la cohérence des spécifications de performance, du délai de construction et du budget. La construction d'une infrastructure, à maintenance réduite, sur un sol tendre prend d'habitude beaucoup de temps ou beaucoup d'argent. Si la disponibilité de l'infrastructure est primordiale, un ensemble cohérent de spécifications devrait stimuler les contractants à présenter des solutions innovantes pour une construction rapide, au lieu d'appliquer les méthodes habituelles au plus bas prix.
L'inventaire des risques et leur répartition entre le mandant et le contractant constitue la base de la gestion des risques. Cela est particulièrement important lorsque des solutions innovatrices doivent être encouragées. Il pourrait être nécessaire de disposer de techniques de pointe pour évaluer et gérer les risques des innovations au stade préliminaire d'attribution du contrat.

4. Rijkswaterstaat devrait mettre en œuvre son plan de gestion des risques, basé sur la gestion des risques par le contractant, en utilisant pour cela un mélange équilibré d'audits de produit, de processus et de système.
5. Les contractants devraient pouvoir accéder aux données et aux expériences des projets précédents réalisés dans la zone et disposer de suffisamment de temps pour procéder à un examen adéquat du site.

Les contractants devraient savoir comment traduire les spécifications de performance définies dans le contrat en spécifications pour la conception et le contrôle de qualité. À présent, on ne connaît pas de règle explicite de conception qui se rapporte à l'hétérogénéité du sous-sol, aux tassements différentiels au niveau de la surface de roulement et à la valeur de l'indice de rugosité international. Les méthodes modernes de conception, de construction et de surveillance devraient assurer le respect des spécifications visant la conception et le contrôle de qualité.

Les spécifications concernant la disponibilité et la capacité de l'infrastructure routière qui seront appliquées dans les prochains contrats sur le niveau de service, exigeront l'utilisation de nouveaux outils pour évaluer l'impact de la construction et de la maintenance sur la disponibilité.

Les contractants devraient savoir comment prévoir le dommage que subira la chaussée des routes existantes lors des projets d'élargissement (Figure 2), et l'impact sur la capacité routière. Les méthodes actuelles de conception sont inexactes et incomplètes.
6. La surveillance de la condition des routes devrait intégrer toutes les informations utiles à la vérification des spécifications de performance (7), de planification de maintenance (8), d'évaluation des risques dans les futurs contrats (9), et de l'évaluation de la performance des solutions innovantes (10). L'association actuelle des mesures effectuées avec le véhicule ARAN et le chariot de mesure de l'adhérence de la chaussée, complétées par une inspection visuelle, devrait contenir également les données sur le drainage afin de réaliser la planification de la maintenance.
7. La réduction des données de surveillance devrait viser à vérifier la performance des travaux exécutés par les contractants. Les contrats actuels de Conception et Construction spécifient trois mesures différentes pour l'uni longitudinal, mais une seule mesure est comprise dans la procédure standard de surveillance.
8. Se basant sur les données de surveillance, le système de planification de maintenance IVON prévoit le développement du dommage, étalé sur le temps, et permet de prendre des décisions en connaissance de cause sur la planification de la maintenance au niveau du réseau. Le modèle *ROOS* de calcul pour les stratégies de maintenance optimale associe la planification de maintenance de la chaussée, obtenue par le système d'information IVON, à une planification similaire pour la maintenance des ponts, des systèmes de signalisation et des autres objets présents le long de la route. L'objectif final vise à mettre en œuvre toute la maintenance en une seule action sur une large partie du réseau, minimisant à la fois les coûts et l'impact sur la capacité du réseau (de Temmerman [2]). À l'avenir, les contractants qui auront obtenu des contrats sur le niveau de service seront responsables de cette tâche.
9. La connaissance des conditions actuelles de l'infrastructure constituera un facteur critique lors de l'introduction des contrats sur le niveau de service. Il est nécessaire que les contractants qui répondent à ces appels d'offre puissent accéder à toutes les données utiles sur les constructions et matériaux existants et sur leurs anciennes performances, afin d'optimiser leurs activités et d'évaluer leurs risques financiers. Les données existantes sur la surveillance de la chaussée permettront de bien mieux comprendre les futurs besoins de maintenance, mais ne suffisent pas à prévoir le comportement des remblais nouvellement construits. Les données actuellement acquises de façon routinière pour la surveillance de la construction des remblais

permettront de procéder à la calibration des paramètres relatifs à la conception des futurs travaux. Combiner les données de construction et de surveillance de la chaussée implique la réduction des données, et la disponibilité de formats et de systèmes qui soient adaptés aux besoins des contractants.

10. Rijkswaterstaat prévoit que les contractants investiront dans des produits innovants qui pourront être rapidement appliqués dans toutes circonstances, et présenteront de plus longues durées de vie sous une charge de circulation toujours croissante. L'évaluation de la performance de ces produits est une condition préalable à leur amélioration continue. La surveillance de la condition de la route devrait fournir toutes les données nécessaires à cette évaluation et pourrait exiger la réduction des données de surveillance et leur présentation dans de nouveaux formats.
11. Rijkswaterstaat, ainsi que des organismes gouvernementaux externes, procéderont aux évaluations périodiques de l'efficacité et de l'efficacité de l'organisation pour atteindre ses objectifs élevés. Citons parmi ces objectifs, la réponse aux besoins des utilisateurs finaux, la satisfaction publique, la disponibilité et la capacité du réseau, les progrès en innovation, le retour sur investissement du développement de la connaissance, la responsabilisation et la transparence, et le degré d'implication du secteur du Bâtiment. Rijkswaterstaat procède, à un niveau moins élevé, à des audits et à des évaluations de procédures internes standard, de la gestion des risques et du développement et de la diffusion des connaissances. Toutefois, la question finale se pose : est-ce que les spécifications de performance sont efficaces pour réussir à produire les résultats souhaités ? Pour répondre à cette question, il faudra développer les indicateurs appropriés à la performance liée au sous-sol, et collecter les données associées. La méthode du cadre de référence (van Koningsveld [4]) s'avérerait utile pour tirer de tels indicateurs des objectifs élevés. Rijkswaterstaat avait auparavant appliqué la méthode avec succès en ce qui concerne la gestion de zones côtières.

3. ACTIONS ACTUELLES POUR AUGMENTER LE CONTRÔLE DE LA PERFORMANCE LIÉE AU SOUS-SOL

Le tableau 1 présente une vue d'ensemble des éléments critiques du contrôle de la performance liée au sous-sol, basée sur l'analyse présentée au chapitre précédent. Le tableau met en relief également les actions en cours de Rijkswaterstaat, de Delft Cluster et de GeoDelft pour améliorer le contrôle sur ces éléments. Delft Cluster est un réseau d'instituts de recherche, situés à Delft, auquel participe GeoDelft. Delft Cluster gère plusieurs projets de recherche qui ciblent le développement durable des zones deltaïques. Le projet *Blijvend Vlakke Wegen* pour assurer l'uni durable des chaussées, se rapporte à l'infrastructure des autoroutes et reçoit une aide financière de Rijkswaterstaat et du secteur du Bâtiment.

Le tableau 1 répartit les actions selon une classification technique (se rapportant aux méthodes d'investigation du site, à la conception, à la construction et surveillance, et aux données), procédurale (se rapportant au processus de travail par contrat, de conception, de construction et de maintenance) et organisationnelle (se rapportant à la formation et l'éducation, à la prise de décisions, à l'évaluation et à la communication).

Sous-processus (cf. Figure 3)	Amélioration technique	Amélioration procédurale	Amélioration organisationnelle
1. Développement de spécifications	Développement de mesures unifiées pour l'uni longitudinal des chaussées		
2. Standardisation des contrats			(Audits des spécifications utilisées dans les contrats dans tout le pays)
3. Conception préliminaire / préparation du contrat		Développement de directives pour les investigations de site	(Formation des mandants et des consultants)
	Développement d'un outil pour vérifier la cohérence des spécifications, des délais et des budgets		Formation des mandants et des consultants
3. Conception préliminaire / préparation du contrat		Évaluation des inventaires de risques, du partage des risques, des plans de gestion des risques	(Organisation de communauté de pratiques)
	Développement de spécifications pour la mise à l'épreuve des produits innovateurs	Développement de procédures pour la gestion des risques des innovations	(Organisation de communauté de pratiques)
4. Supervision des contrats		Évaluation de la gestion des risques	(Organisation de communauté de pratiques)
5. Conception finale et construction	Développement d'un outil pour la sélection rapide de méthodes de construction, à partir des coûts et de la disponibilité tout au long du cycle de vie		
	Développement d'outils de conception pour la prévision de l'uni longitudinal des chaussées et la déformation latérale du sol		

Table 1 - Actions en cours pour améliorer les éléments critiques

Sous-processus (cf. Figure 3)	Amélioration technique	Amélioration procédurale	Amélioration organisationnelle
5. Conception finale et construction	Développement de réglementations et d'outils de conception pour les remblais à piliers, l'interaction entre la chaussée et le remblai, les transitions aux ponts		
		Évaluation de la gestion des risques	(Organisation de communauté de pratiques)
6. Surveillance de la condition des routes	(Inclure la surveillance des systèmes de drainage)		
7. Contrôle du travail du contractant	Modifier la réduction des données pour correspondre aux spécifications du contrat		
8. Planification de la maintenance	Pas d'action nécessaire		
9. Information pour les futurs contrats	Analyse du besoin de données, acquisition des données de surveillance de la construction de remblais, développement de la réduction des données, des formats et du stockage		
10. Évaluation des innovations	(Analyse du besoin de données, y compris la surveillance des données pertinentes)	(Adapter la procédure de gestion des risques pour le produit spécifique)	(Organisation de communauté de pratiques)
11. Évaluation de la performance	Collecter les informations pour mieux estimer l'impact du sous-sol sur les coûts, la disponibilité et les éventuelles améliorations	Développement de procédures et d'indicateurs pour l'évaluation de la performance liée au sous-sol	Mise en œuvre d'audits et d'évaluation des objectifs de niveau élevé et moins élevé

Table 1 (suite) - Actions en cours pour améliorer les éléments critiques

Les actions citées entre parenthèses n'ont pas encore démarré. La formation et le partage des connaissances et expériences sont indispensables pour réaliser de véritables progrès. L'analyse de l'état actuel de l'infrastructure de la connaissance aux Pays-Bas, par PSI Bouw [3], montre que la connaissance au niveau du secteur du bâtiment, des mandants, des instituts de recherche et des universités est largement fractionnée, chaque partie concernée ne s'occupant que de ses propres besoins. L'étude considère que le partage des connaissances et des expériences entre tous les participants au processus est indispensable pour changer cette situation. L'étude suggère en outre d'adopter de grands projets comme terrain d'apprentissage et d'essai pour les nouveaux outils ou méthodes. Cela créera des opportunités pour les chercheurs de rencontrer des praticiens, et de concentrer le développement de savoir spécialisé sur les besoins de l'utilisateur final. D'autre part, les contractants et les consultants ont directement accès à la connaissance de pointe. Un exemple de cette approche est le projet de Delft Cluster sur l'uni durable des chaussées, qui a adopté l'élargissement de l'autoroute A2 entre Amsterdam et Utrecht comme terrain d'apprentissage.

Selon les auteurs, le facteur clé du succès de la mise en œuvre réussie des améliorations suggérées est bien la coopération de toutes les parties impliquées dans le processus de construction et de maintenance.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'article identifie les contrôles de la performance liée au sous-sol du réseau autoroutier néerlandais. Les estimations initiales des coûts annuels de la maintenance liée au sous-sol et l'analyse rétrograde montrent un potentiel pour les économies de coûts et un accroissement de la disponibilité et de la fiabilité de l'infrastructure. Une décomposition du processus actuel de construction et de maintenance identifie les audits techniques, la formation des mandants et des consultants et l'organisation de communauté de pratiques comme actions les plus importantes à prendre. Un effort commun de Rijkswaterstaat, les instituts de recherche et le secteur du Bâtiment sera un facteur principal dans la mise en œuvre de ces actions. Une évaluation de l'efficacité de ces actions impliquera le développement d'indicateurs, à dériver des objectifs organisationnels.

RÉFÉRENCES

1. Grashuis, A.J. (2005). Towards innovative specifications for longitudinal evenness. Presentation for Delft Cluster research program Low-maintenance infrastructure, Avril 27, Delft, Pays-Bas.
2. Temmerman, L.M.J. de (2007) On the dynamic interaction between congruent iterative non-Galerkin decision support systems. Applied rocket science, vol. 23, no. 1, pp. 347-353.
3. PSI Bouw (2005) Building the knowledge infrastructure, PSI Bouw rapport K502A, Gouda, Pays-Bas.
4. Koningsveld, M. van e.a. (2003) Usefulness and effectiveness of coastal research: a matter of perception? Journal of Coastal Research, vol. 19, no.2, pp. 441-461.