

**AUTOROUTE A29 AMIENS / SAINT-QUENTIN
OPTIMISATION DES TERRASSEMENTS
DANS UNE PERSPECTIVE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE**

**D. DEMEILLIERS
SANEF Senlis, France
dominique.demeilliers@sanef.com**

RÉSUMÉ

L'autoroute A29 entre Amiens et Saint-Quentin, longue de 63 km et mise en service en juin 2001, traverse de riches terres agricoles du nord de la France (plateaux du Santerre, du Vermandois) recoupées par la vallée de la Somme. Géologiquement, le substratum crayeux (craie sénonienne, crétacé supérieur) affleure localement dans certains vallons secs avec une couverture limoneuse d'épaisseur très variable. Les formations superficielles sont principalement constituées de limons des plateaux (quaternaires), colluvions limoneuses et crayeuses, sables du thanétien et argiles du sparnacien constituant quelques buttes témoins.

Au stade de la conception, le projet a été optimisé en valorisant au maximum les matériaux du site (traitement des limons et craies) pour des réemplois en couche de forme, plate-forme supérieure de terrassement (PST), blocs techniques des ouvrages d'art.

Plusieurs scénarios de mouvement des terres ont été étudiés afin de maîtriser parfaitement les aléas de ce type de chantier (géotechnique, météorologie, coefficient de rendement des matériaux, ...) conduisant ainsi à un équilibre. Cet équilibre est obtenu pour chaque scénario, par adaptation du projet (modification du profil en long, sur-largeur de certains déblais), et non par recours au dépôt ou à l'emprunt qui aurait été d'un coût plus élevé et mal accepté compte tenu de la richesse des terres agricoles.

Pendant le chantier, l'optimisation a été poursuivie et le profil en long a été modifié sur 10 km pour tenir compte d'un coefficient de rendement de matériaux des limons, différent de l'hypothèse de base.

La PST, constituée soit de limons (90 % du tracé), soit de craie, a été systématiquement traitée.

Sur la moitié du linéaire, une couche de forme de 0,35 m d'épaisseur en limons traités en centrale, à la chaux et au ciment, a permis d'obtenir une plate-forme PF4. Sur cette plate-forme, la structure de chaussée est constituée d'une couche de roulement en béton bitumineux (BB) (7 cm) et d'une couche de fondation en grave bitume (GB) (10 cm).

Sur l'autre moitié du linéaire, 40 cm de sable traité en centrale constitue la couche de forme/fondation, qui surmontée d'un anti-fissures de 2 cm de sable bitume et 8 cm de BB, forme la chaussée de l'autoroute.

L'exploitation maximum des matériaux du site pour les couches de forme ou forme/fondation a non seulement permis de minimiser l'apport de matériaux extérieurs pour réaliser les chaussées mais également d'éviter tout recours à l'emprunt ou dépôt pour une autoroute longue de 63 km et de plus de 4,5 millions de m³ terrassés.

1. L'AUTOROUTE A29, NECESSITE D'ADAPTER LES CARACTERISTIQUES AU TRAFIC ATTENDU

Les autoroutes de liaison à moyen et fort trafic sont presque toutes réalisées en France.

En complément des axes autoroutiers à fort trafic, il est prévu la réalisation d'autoroutes d'aménagement du territoire à péage et sur lesquelles, le trafic attendu est modéré.

Ces autoroutes à trafic modéré, le plus souvent financées en concession par le péage, nécessitent une conception et une exploitation adaptées afin de réduire l'investissement initial et les coûts d'exploitation, tout en offrant le niveau de service normalement attendu sur une section autoroutière.

Une nouvelle adéquation entre la conception de l'infrastructure et les besoins à satisfaire (trafic, rapidité, sécurité, confort et économie des déplacements) doit ainsi être trouvée.

Cette adéquation passe par la recherche d'économies ne remettant pas en cause les grands principes d'une autoroute, notamment en matière de sécurité, à savoir : la séparation des trafics, des carrefours dénivelés, des caractéristiques géométriques permettant des vitesses élevées et sur de grandes distances, une facilité de dépassement.

Sur la section Amiens / Saint-Quentin de l'autoroute A29, cette adéquation a été recherchée par SANEF, société concessionnaire de l'ouvrage, tout en respectant les caractéristiques essentielles du projet.

1.1- Pour une autoroute d'aménagement du territoire,

D'une longueur de 63 km, la section Amiens / Saint-Quentin de l'autoroute A29 est divisée en deux tronçons au trafic différencié :

- entre Amiens et l'autoroute A1 qui assure une continuité du maillage interrégional et international en direction de la Belgique par l'autoroute A1, puis l'autoroute A2 et dont le trafic (trafic journalier en moyenne annuelle) devrait être, à l'horizon 2010, de l'ordre de 9 000 véhicules par jour dont 15% de poids lourds (PL) ;
- entre l'autoroute A1 et Saint-Quentin au trafic de 5 000 véhicules par jour dont 8% de PL, dont les perspectives d'évolution resteront à l'échelle d'un trafic régional et de l'activité économique du bassin saint-quentinois.

1.2- Par une adéquation des caractéristiques géométriques,

En réduisant la largeur du bloc de gauche à 4 m formée d'une voie rapide de 3,25 m et d'une bande dérasée de gauche (BDG) de 0,75 m, alors que les caractéristiques normales sont respectivement de 3,50 m et 1,00 m.

En terre plein central (TPC), le dispositif de retenue est un séparateur double en béton adhérent (DBA), de largeur 0,60 m en pied, ce qui conduit, avec les largeurs de BDG retenues à une largeur de TPC de 2,10 m (au lieu de 2,60 m minimum).

En réduisant les caractéristiques des bandes d'arrêt d'urgence (BAU) revêtues en remplaçant par une surlargeur de chaussée de 0,50 m et un accotement stabilisé portant la largeur totale occasionnellement roulable à 2,50 m sur le tronçon Amiens / A1 le plus chargé, notamment pour ce qui est du trafic poids lourds, et à 2,00 m sur le tronçon A1 / Saint-Quentin.

1.3- Par des ouvrages d'art économiques,

Pour les ouvrages courants, les économies de surface de tabliers résultent directement du profil en travers réduit de l'autoroute comme cela a été indiqué ci-dessus.

Pour le viaduc de la Somme, cet ouvrage de 460m de long, a été construit à 2 x 1 voie avec un séparateur central DBA, compte tenu du faible trafic attendu sur la section A1/Saint-Quentin (avec un ralentissement de la vitesse autorisée de 130 à 90 km/h).

1.4- Par des équipements d'exploitation adaptés,

Les aires de repos et de services ont été jumelées avec les diffuseurs. Ce jumelage réduit :

- les emprises : les plans masses étant plus compacts ;
- les bretelles de raccordement à l'autoroute et l'ensemble des voiries ;
- les frais de raccordement aux réseaux ;
- les frais de signalisation.

Par ailleurs, les gares de péages sur diffuseur ayant un faible trafic attendu, le coût d'exploitation d'une gare classique avec du personnel présent en continu aurait été démesuré en comparaison des recettes du péage. SANEF a donc développé un système entièrement automatique acceptant, outre le télépéage et les cartes magnétiques, le paiement en espèces ou par chèque sur une borne de pré-paiement. Une supervision à distance permet toutes les opérations d'exploitation courante depuis une gare principale.

1.5- Mais surtout par une optimisation des terrassements et des structures de chaussées innovantes liées aux matériaux du site.

2. OPTIMISATION DES CHAUSSEES

Dans une région mal pourvue en matériaux nobles pour chaussées (roches massives en général), la recherche d'économie dans la construction des chaussées d'une autoroute passe par l'utilisation des matériaux locaux.

Dans cette optique, les études préliminaires ont identifié deux sources potentielles de matériaux :

- des sables du Thanétien,
- les limons des plateaux.

Les performances de ces matériaux ont pu être évaluées sur des planches d'essai réalisées en 1996 sur l'autoroute A16 entre Amiens et Abbeville.

Deux grands types de structures de chaussées ont été étudiés :

- les structures dites "classiques", il s'agit des structures dimensionnées conformément au Manuel de Conception des Chaussées d'Autoroutes, révisé par SCETAUROUTE en 1997,
- les structures dites "réduites", en raison de leur dimensionnement minimisé (couche de roulement sur couches d'assises en limons ou sables traités). Ces structures présentent un coût d'investissement initial plus faible que celui des structures "classiques" mais un risque d'endommagement plus élevé. Par ailleurs, leur mise en œuvre est plus délicate : l'épaisseur importante des couches d'assise en matériaux traités peut nécessiter des adaptations des méthodes de mise en œuvre (pour l'obtention de compacités de fond de couche acceptables par exemple).

Les hypothèses de réemploi des matériaux en couche de forme ont été définies conformément au guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme, Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports, septembre 1992 (GTR).

La détermination des classes de plates-formes, la vérification au gel / dégel et l'établissement de scénarios d'entretien ont été effectués conformément au Manuel de Conception des Chaussées d'Autoroutes, révisé par SCETAUROUTE en 1997.

Pour chacun des deux tronçons de la section Amiens/Saint-Quentin, différentes structures de chaussées ont été proposées au dossier de consultation des entreprises correspondant à des stratégies de dimensionnement et d'entretien différentes :

- Structures classiques sur plate-forme PF4 obtenue avec une couche de forme de 0,35 m d'épaisseur en limons traités en centrale à la chaux et au ciment, réalisée dans le cadre des travaux de TERRASSEMENT - ASSAINISSEMENT.
- Structure innovante (chaussée réduite) sur plate-forme PF2 obtenue par le traitement de la Partie Supérieure des Terrassements (PST) réalisée dans le cadre des travaux de TERRASSEMENT - ASSAINISSEMENT. Cette solution ne comporte pas de couche de forme, la structure de chaussée étant mise en œuvre directement sur la PST. Pour cette solution, le profil en long du projet est différent de celui des structures classiques, afin de rééquilibrer l'écart de 300 000 m³ de matériaux de couche de forme.

2.1- Pour le tronçon Amiens / A1

Le choix entre structures classiques et structures réduites (matériaux du site valorisés) a tenu compte de coûts des différents scénarios d'entretien et de l'investissement initial. Cinq scénarios ont été mis en concurrence en prenant en compte le couple TERRASSEMENT - CHAUSSEES : trois structures classiques et deux structures réduites. Pour ne pas fausser le jugement des offres, le coût des scénarios d'entretien des structures réduites a été inclus dans la comparaison financière des offres.

La structure finalement retenue a été la structure réduite suivante : 8 cm Béton Bitumineux (BB) / 2 cm anti-fissures / 40 cm de sable traité aux liants hydrauliques (SH).

2.2- Pour le tronçon A1 / Saint-Quentin

L'appel d'offres «CHAUSSEES» prévoyait trois solutions :

- Deux solutions avec des structures classiques sur plate-forme PF4, selon le GTR :
 - 1 - BB 0/14 (ép. 7 cm) / grave bitume GB 0/14 (ép. 10 cm) ;
 - 2 - BB 0/14 (ép. 7 cm) / GB 0/14 (ép. 8 cm) / grave non traitée de classe B GNTB 0/14 (ép. 10 cm).
- Une solution avec une structure innovante sur plate-forme PF2 :
BB 0/10 (ép. 4 cm) / BB 0/14 (ép. 6 cm) / sable traité (SH) en centrale (ép. 40 cm).

La solution retenue, à l'issue de ces consultations, a finalement été la structure classique suivante : 7 cm Béton Bitumineux (BB) / 10 cm Grave Bitume (GB) sur plate forme PF4.

En raison des contraintes météorologiques et pour respecter les délais d'exécution, il a été décidé de réaliser, sur certaines zones, la couche de forme par traitement en place (au lieu d'un traitement en centrale) ce qui n'a permis d'obtenir qu'une plate forme de classe PF3 au lieu de PF4.

Le traitement en place porte sur une couche de limons traités de 33 cm d'épaisseur après compactage, traitée à la chaux et au liant routier.

En conséquence, la structure de chaussée a été adaptée en portant de 10 à 12 cm la couche de fondation en GB 0/14.

3. OPTIMISATION DES TERRASSEMENTS

3.1- Contexte du projet

Les formations géologiques rencontrées sur le tracé, sont les limons, les limons à silex, les formations résiduelles à silex observées au toit de la craie et la craie.

L'épaisseur de la couverture limoneuse est quasiment inexistante à certains endroits, pour atteindre 5 à 6 mètres à d'autres endroits.

Les plateaux du Santerre et du Vermandois concernés par l'autoroute A29 sont des régions agricoles riches, car la présence de limons très fertiles est favorable à la production de céréales, de betteraves sucrières, de pommes de terre. Les cultures légumières sont localement importantes.

3.2- Objectifs

Dans ce contexte géologique et géotechnique, et compte tenu du contexte agricole, les objectifs principaux suivants ont été fixés pour l'étude de ce projet autoroutier :

- Valorisation maximum des matériaux du site aussi bien pour la réalisation des terrassements que des chaussées. En effet, cette région est mal pourvue en matériaux nobles pour chaussées (pas de roches massives à moins de 100 km du tracé) et la recherche d'économies, dans une logique de développement durable, passe pour la construction des chaussées d'une autoroute par la réutilisation maximale de matériaux locaux.
- Minimiser les impacts à l'environnement agricole par une consommation minimale d'emprises, en évitant les occupations temporaires, en limitant les transports externes au chantier en phase construction et en interdisant tout dépôt ou emprunt.

3.3- Etudes

Au stade de la conception, la réutilisation en remblai des matériaux extraits ne pose pas de problème particulier. En revanche, ces limons classés A1-A2 et ces craies classées R12-R13 (classification du GTR) sont des formations sensibles à l'eau. Il est donc particulièrement intéressant d'effectuer les terrassements dans des conditions météorologiques favorables afin d'optimiser la réutilisation des matériaux et de limiter l'utilisation de la chaux pour traiter les sols mis en remblai.

Avec des dosages optimisés en liants, ces limons et craies sont utilisables en PST, couche de forme et blocs techniques pour les ouvrages d'art.

Des limons et des sables présents à moins d'un kilomètre du tracé ont été évalués à l'occasion de planches d'essai réalisées sur l'autoroute A16. Les résultats obtenus ont permis de retenir des hypothèses de dimensionnement pour le calcul de la structure de la chaussée.

3.4- Hypothèses du mouvement des terres

Pour le tronçon Amiens / A1, deux hypothèses d'épaisseur de couche de chaussée / couche de forme ont été étudiées pour caler les terrassements :

- 50 cm d'épaisseur avec une couche de forme/fondation de 40 cm de sables traités, 2 cm d'anti-fissures et 8 cm de couche de roulement, reposant sur une arase AR2 (classement de l'arase suivant GTR).
- 62 cm d'épaisseur avec une couche de forme de 35 cm de limons traités, couche de fondation en GNTB de 10 cm, couche de base en GB de 10 cm, et couche de roulement en BB de 7cm.

Afin de rechercher un équilibre du mouvement des terres pour ces deux hypothèses, deux projets ont été calés.

3.4-1. *Décapage de la terre végétale*

Les hypothèses pour le décapage de la terre végétale ont été précisément étudiées en fonction des besoins, ce qui a conduit à ne pas décapier dès que la hauteur du remblai était supérieure à 1 mètre.

3.4-2. *Dépôts et emprunts*

Les seuls dépôts tolérés étaient dans les emprises elles-mêmes (c'est à dire à l'intérieur des boucles des accès de service, des échangeurs ou constituant des modelés pour les protections acoustiques).

3.4-3. *Coefficients de rendement*

Les coefficients de rendement (Cr : rapport des mètres cubes compactés au remblai/ mètres cubes en place au déblai) affectés aux mètres cubes de déblai en place, permettent d'évaluer les mètres cubes de remblai compacté. Ces coefficients de rendement prennent en compte le foisonnement, le contre foisonnement et également les pertes diverses sur chantier (transport, reprise des matériaux, piste, ...). Pour les sols rencontrés, le coefficient présente une incertitude liée au chantier conduisant à prévoir une valeur réelle située entre 0,90 et 1,00.

3.4-4. *Conditions météorologiques*

Les hypothèses de conditions météorologiques prises sont les suivantes :

- Conditions météorologiques favorables : baisse de 1 à 2 % de teneur en eau dans les sols proches du terrain naturel par rapport aux conditions météorologiques moyennes.
- Conditions météorologiques défavorables : les sols de surface les plus sensibles voient leur teneur en eau augmenter de quelques points par rapport aux conditions météorologiques moyennes.

Suivant ces deux conditions, les pourcentages de réutilisation, avec ou sans traitement de matériaux de déblais, ont été estimés.

3.5- *Mouvement des terres*

Pour la section Amiens / A1, longue de 30 km et un profil en long donné (correspondant à une structure de chaussée), quatre scénarios ont été étudiés avec les hypothèses suivantes pour chaque scénario :

Scénario A : Cr de 0,95 pour les limons et Cr de 1,00 pour les craies (hypothèse météorologique favorable),

Scénario B : Cr de 0,95 pour les limons et Cr de 1,00 pour les craies (hypothèse météorologique défavorable),

Scénario C : Cr de 0,90 pour les limons et Cr de 0,95 pour les craies (hypothèse météorologique favorable),

Scénario D : Cr de 0,90 pour les limons et Cr de 0,95 pour les craies (hypothèse météorologique défavorable),

Pour des volumes géométriques, respectivement de 1 992 000 m³ de déblais et 1 680 000 m³ de remblais, les résultats suivants sont obtenus, en appliquant strictement le GTR, c'est à dire, que pour des matériaux trop humides, ils sont mis en dépôt, notamment en conditions météorologiques défavorables :

Pour le scénario A : excédent de plus 180 000 m³ de matériaux de déblais,

Pour le scénario B : il manquerait près de 104 000 m³ après une mise en dépôt de plus de 300 000 m³,

Pour le scénario C : excédent de 85 000 m³,

Pour le scénario D : il faudrait près de 204 000 m³ d'emprunt et une mise en dépôt de plus de 300 000 m³ de matériaux de déblais.

En conditions météorologiques favorables, c'est donc un volume de matériaux compris entre 85 000 m³ et 180 000 m³ qu'il faudra mettre en dépôt.

Par contre, en conditions météorologiques défavorables, les volumes à mettre en dépôt sont de l'ordre de 300 000 m³, mais il faudrait dans ce cas des volumes d'emprunt compris entre 104 000 m³ et 204 000 m³.

A l'issue de ces études de scénarios, et compte tenu de la planification des travaux, la recherche d'optimisation du projet a été effectuée en prenant comme hypothèse le scénario C (conditions météorologiques favorables et coefficient de rendement des sols de 0,90 pour les limons et 0,95 pour les craies). Le projet dans ces conditions est équilibré à 85 000 m³ près.

On notera l'importance du coefficient de rendement des sols, paramètre difficile à évaluer en phase projet, car si les coefficients s'avèrent être de 0,95 dans les sols fins et 1,00 dans la craie, on aura environ 100 000 m³ de matériaux supplémentaires à mettre en dépôt. Une variation de 5 % des coefficients de rendement des sols se traduit par une différence d'environ 100 000 m³ dans le bilan du mouvement des terres.

Cependant, afin de maîtriser les aléas, plusieurs "parades" étaient prévues pour conduire le chantier :

- si excédent : possibilité de modifier le profil en long dans des zones significatives de déblais et de remblais où les ouvrages d'art n'étaient pas affectés ;
- si emprunt : en conditions météorologiques défavorables, possibilité d'élargir certains déblais, permettant de gagner près de 100 000 m³ et de mettre en dépôt une quantité équivalente dans les boucles d'échangeurs et accès de service.

3.6- Travaux

3.6-1. Sur le tronçon Amiens / A1

On a veillé dans le déroulement des travaux à maîtriser le début du chantier en fonction de la météorologie pour éviter les scénarios les moins favorables.

Rapidement, les vérifications sur le terrain ont montré que les coefficients de rendement étaient supérieurs à 0,90 pour les limons.

Dans ces conditions, le scénario réel rencontré était plus proche du scénario A étudié. Il a donc fallu modifier le profil en long sur quatre zones bien distinctes (non affectées par la présence d'ouvrages d'art) représentant près de 10 km, soit plus de 30 % du linéaire de travaux. Ces modifications ont porté sur près de 10 % du volume des déblais.

A noter, que la météo n'a pas été favorable, ce qui a entraîné des traitements de matériaux nettement plus importants que scénario le A (en volume et en quantité de liants).

3.6-2. *Sur le tronçon A1 / Saint-Quentin*

Principalement terrassé dans des conditions météorologiques défavorables, l'équilibre du mouvement des terres a pu être trouvé en élargissant certains déblais, malgré des traitements plus importants que prévus. Pris par hypothèse à 0,95 pour les sols fins pour ce tronçon, le Cr s'est révélé inférieur à 0,90, c'est donc un écart de plus de 5 % dû au coefficient de rendement qui a été comblé par cet élargissement de déblais.

4. CONCLUSION

Malgré une météorologie peu favorable, les objectifs pour la construction de cette autoroute ont été atteints, en particulier par une maîtrise des travaux de terrassement et une optimisation maximum de réemploi des matériaux du site.

- Maîtrise des travaux de terrassement par des études amont très détaillées sur la réutilisation des matériaux et par l'élaboration de scénarios de mouvements des terres permettant de décider des options à retenir en fonction de la réalité des hypothèses rencontrées (en particulier l'influence de la météorologie et du coefficient de rendement des matériaux) durant le chantier.
Une modification du profil en long sur 10 km, représentant près de 10 % du volume des déblais, a ainsi été réalisée.
- Optimisation des matériaux du site par la mise en concurrence de deux catégories de structures de chaussée (réduites ou classiques). La différence d'épaisseur des chaussées (et de réutilisation des matériaux du site) conduisait à un écart de volume de matériaux de déblais de près de 300 000 m³, entièrement compensé par un profil en long pour chacune des catégories de chaussée.

Globalement, la démonstration a été faite sur cette section autoroutière, que la recherche d'un équilibre du mouvement des terres était possible sans emprunt, ni dépôt, à la condition d'avoir la possibilité d'optimiser le projet dans toutes ses phases de réalisation : études, stratégie d'appel d'offres et surtout conduite des travaux.