

CHELLES

OISE (60)



#mieuxcirculer

#mieuxprotégerlaplanète

#chantier

#lianthydrauliqueroutier



Liant
hydraulique
routier



Recyclage
en place



+4 500 m²



Oise

Dans les Hauts-de-France, l'Oise recourt régulièrement au retraitement en place au liant hydraulique routier pour l'entretien de ses 3 800 km de routes départementales. Exemple récent : le chantier de la RD85 à Chelles.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage

Département de l'Oise

Maîtrise d'œuvre

Département de l'Oise

Entreprise

Colas (agence de Senlis)

Fournisseur du liant hydraulique routier

EQIOM

PHOTO D'OUVERTURE : vue générale de Chelles et de la RD85.

Le 20/05/2020

© **CIMbéton**

**Texte : Charles Desjardins
& Joseph Abdo**

Suivez l'actualité
du magazine *Routes* sur



7, place de la Défense
92974 Paris-la-Défense Cedex
Tél. : 01 55 23 01 00
E-mail : centrinfo@cim beton.net

SITUATION

À l'est du département de l'Oise, Chelles se situe à mi-chemin entre Soissons et Compiègne, à quelques kilomètres de Pierrefonds et de son magnifique château. Proche des forêts de Retz (au sud) et de Compiègne (à l'ouest), le village d'environ 500 habitants et aux maisons typiques (avec ses toits « à pas de moineaux ») a su conserver son caractère. Il est traversé, au nord, par la RD85, qui relie Pierrefonds à Croutoy.

ÉTAT DES LIEUX

La RD85, dont la longueur totalise 40,6 km, est une départementale ancienne, d'une largeur de 4,30 m, qui traverse un paysage verdoyant et vallonné (cf. *schéma 1*). À certains endroits, la route est en mauvais état et en particulier sur un tronçon, totalisant un linéaire de 1 550 m sur une largeur de 4,30 m et comprenant :

- > **Une partie urbaine** : elle se situe dans la zone urbaine, au nord de la petite agglomération de Chelles. D'une longueur de 745 m et de largeur variable, cette voirie souffrait de dégradations superficielles (faïençage, affaissements, nids-de-poule, etc.).
- > **Une partie rurale** : elle se situe en zone agricole, entre la sortie du village de Chelles et Croutoy. Cette route, de longueur de 805 m et de largeur de 4,30 m, était en mauvais état : elle présentait des signes de dégradations structurelles qui se sont aggravées au fil du temps (faïençage, affaissements des rives, etc.). De plus, la chaussée était sujette à des accumulations d'eau de ruissellement pendant les périodes de précipitations et elle souffrait de caractéristiques géométriques (profil en travers, largeur) inadaptées au trafic (classe T5, soit 10 à 15 poids lourds/jour), qui devient important à certaines périodes de l'année (engins agricoles, transport de récoltes, etc.).

PROJET

Dans le cadre de sa politique active d'entretien et d'amélioration du réseau routier – l'entretien des routes représente le deuxième poste budgétaire du département –, le conseil départemental de l'Oise a décidé de rénover en 2019 ce tronçon de la RD85. Le projet de réhabilitation s'est inséré dans un programme annuel de travaux, dont le marché a été remporté, après appel d'offres, par l'entreprise Colas, qui succédait à Eiffage, attributaire en 2018 des travaux routiers

Modeste dans ses dimensions (805 mètres linéaires), le chantier situé en zone agricole avait un enjeu écologique important à cause de la présence de HAP.



Liant hydraulique routier

La chaussée ainsi traitée possède les mêmes qualités qu'une grave-ciment élaborée en centrale : rigidité, résistance au trafic, solidité, entretien quasiment nul sur la période de service...



Recyclage en place

Avec cette technique, tout est optimisé : pas de mise en décharge, pas d'exploitation inutile de carrières ou de ballastières, pas de transport, pas de vapeurs nocives...

Comme l'autorise la réglementation, il est possible de réemployer sur place les matériaux pollués aux HAP. Le fait de ne pas les déplacer permet de ne pas les considérer comme des déchets.



▲ La RD élargie de 1,50 m.

du département. Usuels dans l'Oise, ces marchés annuels à bons de commande pour en « moderniser le réseau » portent en général sur une dizaine d'interventions par an, de dimensions limitées (de 1 à 5 kilomètres chacune).

Dans le cas précis de la RD85, c'est l'agence Colas de Senlis qui a été chargée du chantier.

Dès l'origine, l'appel d'offres de ce marché à bons de commande spécifique autorisait la mise en œuvre du retraitement en place au liant hydraulique routier. Cette technique éprouvée est appréciée dans l'Oise depuis plusieurs années, notamment pour des raisons environnementales (recyclage en place des anciens matériaux, préservation des ressources granulaires, réduction du transport par camion et suppression de la mise en décharge).

UN PROJET ET DEUX SOLUTIONS DE RÉHABILITATION

Les travaux de réhabilitation ont été scindés en deux lots et seront programmés pour être réalisés successivement.

Un lot urbain présentant des dégradations superficielles

Ces travaux de rénovation de la chaussée ont été effectués en premier (745 m), en faisant appel à une technique traditionnelle. Elle consistait à raboter l'ancienne couche de roulement, à réaliser des travaux de purges ponctuelles et à mettre en place une nouvelle couche de roulement en enrobés BBSG 0/10, d'épaisseur 6 cm. Les enrobés rabotés, que l'on appelle « fraisats d'enrobés », ont été stockés afin d'être utilisés, comme granulats, dans le comblement de la poutre d'élargissement du lot rural.

Un lot rural, situé en zone agricole, présentant des dégradations structurelles

Ces travaux ont été planifiés en août et en septembre 2019, pour réaliser une mise à niveau d'ordre structurel de la chaussée, associée à des travaux d'élargissement et de reprofilage afin d'améliorer la sécurité sur l'itinéraire.

Modeste dans ses dimensions (805 m), le chantier avait un enjeu écologique important. Les prélèvements effectués sur place ont en effet révélé que l'ancienne chaussée contenait du goudron de houille. Utilisé anciennement en construction routière comme liant hydrocarboné, le goudron de houille renferme de fortes teneurs en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Certains de ces HAP sont classés officiellement par le Centre international de recherche contre le cancer (CIRC) comme cancérigènes pour l'homme. En général, ce type de découverte change l'équation économique et technique du chantier.

En effet, dans un tel cas, deux solutions sont envisageables :

> L'extraction et la mise en décharge des matériaux pollués.

Les décharges capables de les accueillir – centres d'enfouissement de classe 1 (pour déchets dangereux, réglementée par l'arrêté du 30 décembre 2002, modifié en 2009) – sont peu nombreuses et les coûts de mise en décharge non négligeables (de l'ordre de 400 € la tonne), sans parler des coûts de transport.

> À défaut, comme l'autorise la réglementation, il est possible de réemployer les matériaux sur place.

Le fait de ne pas déplacer les matériaux pollués aux HAP permet de ne pas les considérer comme des déchets. Leur localisation reste connue, ils sont identifiés et traçables. Avantage environnemental : plutôt que de les déplacer en camion, générant ainsi une nouvelle pollution, il est plus simple et plus logique de les « inérer » et les réemployer sur place.

Cette seconde option a conforté le choix originel du retraitement en place au liant hydraulique routier, qui permet d'obtenir un massif semi-rigide, insensible à l'action de l'eau ou du gel et dont la montée en résistance, vérifiable en éprouvette en laboratoire, est rapide. Grâce à cette technique, les HAP sont confinés par liaison cimentaire, avec une réduction drastique des risques de lixiviation ultérieurs.

MISE EN ŒUVRE

Le chantier, d'une longueur totale de 805 m, débute à la mi-août 2019. Il est prévu pour durer un mois, avec fermeture à la circulation de la RD85. La date a été choisie en concertation pour que le chantier commence après la moisson et pour que son impact soit réduit au maximum. Un itinéraire de contournement est mis en place. Il emprunte, depuis le carrefour des RD85/RD335, la RD335 jusqu'au carrefour des RD335/RN31, puis, la RN31 jusqu'au carrefour des RN31/RD16 et se termine par la RD16 jusqu'au carrefour des RD16/RD85 à Chelles. Le chantier se déroule en deux phases.

Élargissement de la chaussée

La RD85 est élargie de 4,30 m à 5,5 m, par la création d'une tranchée latérale de 805 m de longueur par 1,50 m de largeur et 0,30 m de profondeur. Située à gauche, du sud vers le nord, elle a été creusée

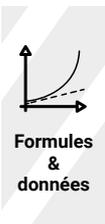


↗ Atelier de retraitement en action.

⊕ Retrouvez tous les schémas en p. 5.

- Épandage du liant.
- Humidification par ajout de l'eau dans le malaxeur.
- Malaxage et réglage.

⊕ Consultez le mémo technique sur le compactage en annexe.



Un compacteur lourd V4 a effectué 8 passes avec un objectif de compactage q1, puis 2 passes avec un objectif q2. La masse volumique sèche de référence est celle de l'optimum Proctor Modifié, déterminée en laboratoire et qui est de 2 160 kg/m³.



↗ Compacteur vibrant.

à l'aide d'une pelle mécanique sur toute la longueur du chantier, en mordant sur une largeur de 0,20 m sur la rive de l'ancienne chaussée (cf. schéma 2). Elle a été comblée, en couches successives et compactées, avec des matériaux d'apport de type GNT (85 %) et des fraisats d'enrobés (15 %) provenant du chantier urbain (cf. schéma 3).

Retraitement en place au liant hydraulique

Le retraitement s'est déroulé de la manière suivante :

> Scarification

La chaussée a d'abord été scarifiée sur 10 cm de profondeur (cf. schéma 4).

> Humidité du sol

Elle a été mesurée par gamma-densimétrie. Les prélèvements réalisés par le laboratoire Colas de l'agence de Senlis ont été recoupés et confirmés par d'autres prélèvements effectués par la société Hydro-géotechnique, contrôle extérieur du maître d'ouvrage mandaté par le conseil départemental. Pour atteindre l'optimum Proctor visé (aux alentours de 6 % de teneur en eau), l'apport d'eau nécessaire a été en moyenne de 3 %.

> Épandage du liant

Le LHR mis en œuvre était du ROC AS produit par EQIOM sur son site de Dannes (Pas-de-Calais). Ce liant, principalement composé de laitier de hauts-fourneaux, permet de garantir un délai de maniabilité suffisamment long en période estivale pour le bon déroulement des opérations de traitement. L'épandeur utilisé était doté d'un système de dosage volumétrique asservi à la vitesse d'avancement. Le dosage a été vérifié « à la bêche » (cf. schéma 5).

> Malaxage

Un pulvimixeur Wirtgen de Colas, précédé d'une tracto-cuve injectant directement l'eau dans la cloche, a été utilisé pour effectuer le malaxage du liant hydraulique routier avec les matériaux de l'ancienne chaussée en vue d'obtenir un matériau homogène sur toute l'épaisseur du traitement. Le retraitement a été effectué sur une largeur de 5,50 m et une profondeur de 30 cm, en plusieurs passes (cf. schéma 6).



> Réglage

Une niveleuse est venue égaliser une première fois l'ensemble de la voirie. Elle a également eu pour tâche de rattraper le dénivelé de la chaussée afin d'améliorer l'évacuation de l'eau et d'éviter sa stagnation dans la partie basse du chantier avant la pose des enrobés.

> Compactage

Un compacteur lourd V4 a été utilisé pour assurer la densification du matériau en fond de couche sur l'ensemble de la chaussée. Il a effectué 8 passes avec un objectif de compactage q1, puis, après un nouveau passage de la niveleuse pour effectuer un réglage fin, 2 passes avec un objectif q2. La masse volumique sèche de référence est celle de l'optimum Proctor modifié, déterminée en laboratoire et qui est de 2 160 kg/m³. L'utilisation d'un compacteur à pneus n'était pas techniquement nécessaire.



↗ Contrôle de compactage au gamma-densimètre.



↗ Mise en œuvre de l'enduit de protection.

> Protection du matériau retraité

Une couche de protection a été ensuite appliquée sur la couche retraitée afin de la protéger des intempéries, de l'évaporation de l'eau et du trafic de chantier. Il s'agissait de l'enduit superficiel armé Colfibre de Colas, comprenant des fibres de verre coupées, destinées à retarder la remontée de la fissuration de retrait, notamment lorsque les fissures sont dues au retrait thermique et de prise. D'épaisseur 1 cm, le liant armé a ensuite été gravillonné pour constituer un enduit superficiel.

> Prise et séchage

Trois semaines de séchage (21 jours) ont été observées.

> Pose des enrobés

À l'issue du délai de 21 jours, la nouvelle assise de chaussée a reçu une couche de surface en BBSG, d'épaisseur 6 cm (cf. schéma 7). Le chantier a été achevé à la mi-septembre 2019.

BILAN

L'Oise et son service des routes ont pris le parti d'utiliser habituellement le retraitement en place au liant hydraulique routier pour la maintenance des routes départementales. Dans le cas particulier de la présence de HAP dans les anciennes chaussées dégradées, ce choix se révèle à la fois économique et très judicieux du point de vue environnemental. La détection de ces polluants HAP dans les anciennes structures routières imposera sans doute le recours fréquent à la technique du retraitement à froid au LHR dans les années à venir. ■

EN QUELQUES CHIFFRES

- > Longueur du chantier : 805 mètres linéaires
- > Superficie : 4 500 m²
- > Largeur du retraitement : 5,50 m
- > Profondeur du retraitement : 30 cm
- > Durée du chantier : 1 mois

LIENS UTILES

> Conseil départemental de l'Oise
<http://www.oise.fr>

> Colas
<https://www.colas.com>

> EQIOM
<https://www.eqiom.com>

> Cerema
<https://www.cerema.fr>

> Magazine Techni.Cités
<http://www.territorial.fr/48-technicites.htm>

> Inrs
<http://www.inrs.fr/risques/bitume/ce-qu-il-faut-retenir.html>

> Infociments LHR
<https://www.infociments.fr/liants-hydrauliques-routiers/>

> Infociments Routes
<https://www.infociments.fr/route>

↘ Technique éprouvée, le retraitement en place au LHR combine intégration écologique et respect du site, en évitant notamment l'extraction et la mise en décharge des matériaux pollués par une noria de camions.



SCHÉMAS TECHNIQUES

Retraitement en place à froid au liant hydraulique routier de la RD85

SCHÉMA 1

COUPE EN TRAVERS-TYPE
DE LA CHAUSSEE ACTUELLE

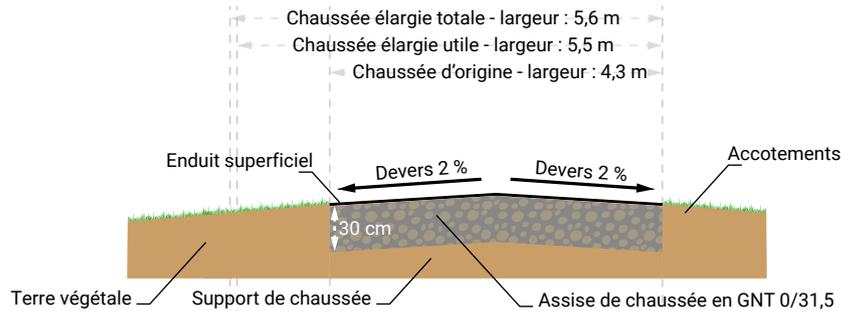


SCHÉMA 2

COUPE EN TRAVERS-TYPE COMPRENANT
LA TRANCHEE LATÉRALE
RÉALISÉE EN MORDANT SUR LA RIVE
DE LA CHAUSSEE EXISTANTE

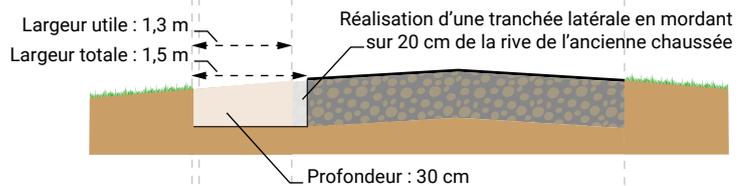


SCHÉMA 3

COUPE EN TRAVERS-TYPE DE LA CHAUSSEE ÉLARGIE
AVEC UNE POUTRE LATÉRALE



SCHÉMA 4

COUPE EN TRAVERS-TYPE DE LA CHAUSSEE ÉLARGIE
APRÈS SCARIFICATION DE L'ANCIENNE CHAUSSEE
ET RECTIFICATION DU PROFIL EN TRAVERS

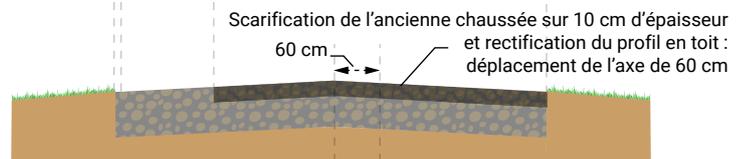


SCHÉMA 5

COUPE EN TRAVERS-TYPE DE LA CHAUSSEE ÉLARGIE
AVEC L'APPORT DU LIANT

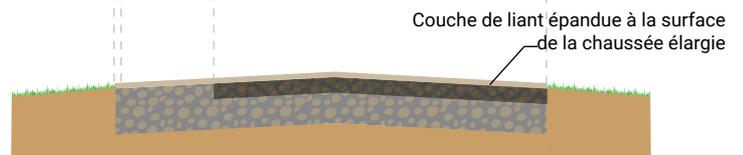


SCHÉMA 6

COUPE EN TRAVERS-TYPE DE LA CHAUSSEE ÉLARGIE
APRÈS MALAXAGE DU LIANT ET D'UNE PARTIE
DE L'ANCIENNE CHAUSSEE

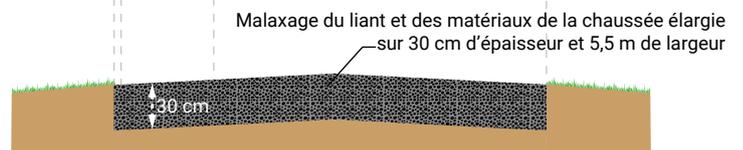
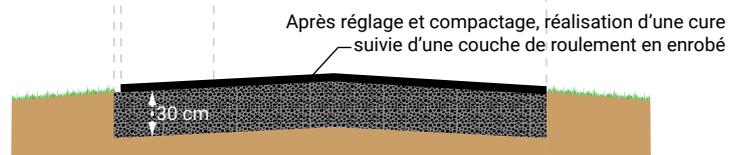


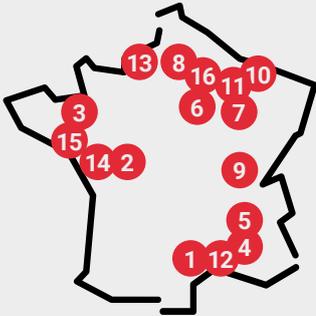
SCHÉMA 7

COUPE EN TRAVERS-TYPE DE LA CHAUSSEE ÉLARGIE
AVEC UNE NOUVELLE COUCHE DE SURFACE



Chaussée d'origine - largeur : 4,3 m
Chaussée élargie utile - largeur : 5,5 m
Chaussée élargie totale - largeur : 5,6 m

Quelques références de chantiers de retraitement



Vidéos et logiciels

À retrouver sur infociments.fr

Journées techniques LHR

À retrouver sur infociments.fr

Ces journées d'information sur la valorisation des matériaux en place aux liants hydrauliques routiers s'adressent à tous les acteurs concernés par la construction et l'entretien des routes : les élus et leurs services techniques, les bureaux d'études et tous les professionnels de la route.

Bibliographie

À retrouver sur infociments.fr

T 71

L'entretien structurel des chaussées souples et semi-rigides
Le retraitement en place à froid aux liants hydrauliques
CIMbéton, 2013.

T 58 et C 58

Retraitement en place à froid des anciennes chaussées aux liants hydrauliques
CCTP-Type, CIMbéton, 2008.

T 31

Étude comparative en technique routière
Retraitement des chaussées en place vs renforcement
Méthode graphique de comparaison économique et environnementale
CIMbéton, 2010.



Guide technique

Retraitement en place à froid des anciennes chaussées
SETRA / LCPC, 2003.

En route vers le développement durable

L'entretien des chaussées en place aux liants hydrauliques
CIMbéton, 2013.

Direction de la publication : François Redron
Direction de la rédaction, coordinateur des reportages : Joseph Abdo
Rédaction en chef : Charles Desjardins

Reportages, rédaction : SCML Médias, Joseph Abdo, Étienne Diemert
Direction de projet & direction artistique : Fenêtre sur cour / Studio L&T
Crédits photos chantier Chelles : CIMbéton 2020.

Pour tout renseignement, contacter CIMbéton. 7, place de la Défense 92974 Paris-la-Défense Cedex. Tél. : 01 55 23 01 00 - E.mail : centrinfo@cimbeton.net

Le compactage des couches d'assise de chaussée

1 • Le compactage



↑ Atelier de compactage.

Le compactage est une opération qui consiste à réduire les vides contenus dans un matériau foisonné afin d'augmenter sa cohésion et par conséquent d'assurer la stabilité de l'ouvrage dans le temps. Il est réalisé soit au moyen de compacteurs statiques (à pneus ou à pieds dameurs) qui agissent uniquement par leur poids, soit à l'aide de compacteurs vibrants (à bille lisse ou à pieds dameurs) qui agissent par leur poids et par la vibration (amplitude et fréquence) qu'ils génèrent, soit au moyen des deux types de compacteurs. En fonction de la nature des matériaux et de l'objectif de compacité recherché, on détermine le type de compacteur (avec sa vitesse et le nombre de passes) et l'épaisseur maximale de la couche à compacter.

Plus concrètement, un compacteur vibrant lourd est utilisé pour assurer la densification du matériau en fond de couche ; un compacteur à cylindre lisse assure la densification du matériau à la partie supérieure de la couche ; et, enfin, un compacteur à pneus permet la bonne fermeture du matériau en surface et garantit ainsi une bonne finition.

Les défauts de compactage peuvent se traduire par des fissures, des flashes, des glissements, des tassements différentiels, dont la rapidité d'apparition dépend de l'importance des anomalies. Par conséquent, l'opération de compactage des matériaux est encadrée par un objectif fixé en termes de taux de compactage à atteindre par rapport à une valeur de référence, déterminée en laboratoire à l'aide de l'essai Proctor.

2 • Les objectifs du compactage

On distingue classiquement 5 objectifs de compactage des matériaux :

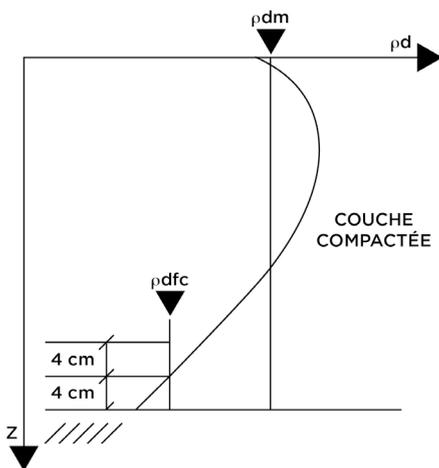
2.1 / Objectifs relatifs aux travaux de compactage dans les terrassements routiers

Ils sont au nombre de trois :

- Objectif q5 : objectif fixé pour un enrobage de canalisation hors emprise de chaussée.
- Objectif q4 : objectif fixé pour un remblai, une purge, une PST (partie supérieure des terrassements).
- Objectif q3 : objectif fixé pour une couche de forme.

Ces trois objectifs sont définis en référence à une valeur cible qui est celle obtenue par l'essai Proctor normal. Cet essai, réalisé en laboratoire sur la fraction 0/20 mm du matériau (en général) et avec une énergie de compactage normale, permet de déterminer le couple de valeurs optimales de teneur en eau W_{OPN} (en %) et de masse volumique sèche ρ_{dOPN} (en t/m^3). L'objectif visé est ensuite vérifié *in situ* par rapport à deux mesures :

- La mesure de la masse volumique moyenne obtenue sur toute la hauteur de la couche compactée dénommée ρ_{dm} ; cette valeur est la plus facile à mesurer sur chantier.
- La mesure de la masse volumique en fond de couche sur les 8 cm constitués par la base de la couche ρ_{dfc} . Cette dernière mesure est considérée comme la principale performance à obtenir pour garantir l'objectif de compactage.



↑ Figure 1 : illustration du gradient de densité ρ_d qui se manifeste dans une couche compactée en fonction de la profondeur Z . ρ_{dm} correspond à la valeur de la masse volumique moyenne sur toute la hauteur de la couche. ρ_{dfc} correspond à la valeur de masse volumique obtenue au niveau des 8 cm correspondant au fond de couche.

⊕ Nota : Il est intéressant de noter que l'objectif de fond de couche est exigé comme objectif de compactage des éprouvettes utilisées pour la caractérisation des matériaux.

OBJECTIFS TERRASSEMENTS	MASSE VOLUMIQUE MOYENNE ρ_{dm}	MASSE VOLUMIQUE FOND DE COUCHE ρ_{dfc}	OBSERVATION
q5	90 % de ρ_{dOPN}	87 % de ρ_{dOPN}	Pour remblayage des tranchées
q4	95 % de ρ_{dOPN}	92 % de ρ_{dOPN}	Pour remblais, purges et PST
q3	98,5 % de ρ_{dOPN}	96 % de ρ_{dOPN}	Pour couches de forme



▲ Compactage au rouleau vibrant.

2.2 / Objectifs relatifs aux travaux de compactage dans les structures de chaussées

Ils sont au nombre de deux :

> **Objectif q2** : le compactage q2 est un compactage plus puissant que le compactage q3. C'est l'objectif fixé pour une couche de fondation, une couche de base (dans le cas d'une route à faible trafic $T \leq 150 \text{ PL/j}$) ou une sous-couche ferroviaire.

> **Objectif q1** : le compactage q1 est caractérisé par la plus forte densification du matériau. C'est l'objectif fixé pour une couche de base (dans le cas d'une route à moyen et fort trafic), ou pour une couche de roulement.

Ces deux objectifs sont définis en référence à une valeur cible qui est celle obtenue par l'essai Proctor modifié. Cet essai, réalisé en laboratoire sur la fraction 0/20 mm du sol (en général) et avec une énergie de compactage modifiée, permet de déterminer le couple de valeurs optimales de teneur en eau W_{OPM} (en %) et de masse volumique sèche ρ_{dOPM} (en t/m^3).

Le niveau de qualité du compactage dépend directement de la classe des compacteurs utilisés (classes V4 et V5 pour le compactage q1 ; classe V3 pour le compactage q2).

OBJECTIFS CHAUSSÉES	MASSE VOLUMIQUE MOYENNE ρ_{dm}	MASSE VOLUMIQUE FOND DE COUCHE ρ_{dfc}	OBSERVATION
q2	97 % de ρ_{dOPM}	95 % de ρ_{dOPM}	Pour couches de fondation et couches de base (si $T \leq 150 \text{ PL/j}$)
q1	100 % de ρ_{dOPM}	98 % de ρ_{dOPM}	Pour couches de base (si $T > 150 \text{ PL/j}$) et couches de roulement

3 • Comment évaluer l'objectif de compactage ?

On commence par définir une valeur de référence (ρ_{dOPN} s'il s'agit de travaux de terrassements et ρ_{dOPM} s'il s'agit de travaux de chaussées).

La valeur choisie va servir à comparer la mesure sur le matériau compacté à la valeur cible qui correspond à 100 % de la performance attendue. C'est ce que l'on exprime lorsque l'on cherche 95 ou 98,5 % de l'OPN.

Sur chantier on peut évaluer la performance du compactage par rapport à l'objectif fixé par des moyens directs ou indirects.

3.1 / Évaluation directe de la qualité de compactage obtenue

Il s'agit, dans ce cas, de mesurer la masse volumique en un point. Les appareils donnent une valeur représentative du matériau au droit de la mesure. En général, il convient d'effectuer plusieurs mesures pour vérifier le niveau et l'homogénéité du compactage. Il existe deux méthodes de mesure :

- > La mesure de masse volumique par gamma-densimètre à transmission directe.
- > La mesure de masse volumique par densitomètre à membrane.

3.2 / Évaluation indirecte de la qualité de compactage obtenue

Le principe de mesure est fondé sur des corrélations de propriétés. Ces méthodes sont en général globales et permettent de valider l'objectif de compactage atteint sur de plus grands volumes, avec une plus faible mobilisation sur site.

> **Vérification de la qualité par la méthode du Q/S.**

Avec Q : volume en m^3 du matériau mis en œuvre pendant un temps déterminé.

Et S : surface en m^2 balayée par le compacteur pendant le même temps.

> **Vérification du compactage par pénétromètre dynamique.** ■



▲ Compacteur à pneus en action.