

**CONCOURS INTERNE ET TROISIÈME CONCOURS
DE TECHNICIEN PRINCIPAL TERRITORIAL DE 2^e CLASSE**

SESSION 2022

ÉPREUVE D'ÉTUDE DE CAS

ÉPREUVE D'ADMISSIBILITÉ :

Étude de cas portant sur la spécialité au titre de laquelle le candidat concourt.

Durée : 4 heures

Coefficient : 1

SPÉCIALITÉ : RÉSEAUX, VOIRIE, INFRASTRUCTURES

À LIRE ATTENTIVEMENT AVANT DE TRAITER LE SUJET :

- ♦ Vous ne devez faire apparaître aucun signe distinctif dans votre copie, ni votre nom ou un nom fictif, ni initiales, ni votre numéro de convocation, ni le nom de votre collectivité employeur, de la commune où vous résidez ou du lieu de la salle d'examen où vous composez, ni nom de collectivité fictif non indiqué dans le sujet, ni signature ou paraphe.
- ♦ Sauf consignes particulières figurant dans le sujet, vous devez impérativement utiliser une seule et même couleur non effaçable pour écrire et/ou souligner. Seule l'encre noire ou l'encre bleue est autorisée. L'utilisation de plus d'une couleur, d'une couleur non autorisée, d'un surligneur pourra être considérée comme un signe distinctif.
- ♦ Le non-respect des règles ci-dessus peut entraîner l'annulation de la copie par le jury.
- ♦ Les feuilles de brouillon ne seront en aucun cas prises en compte.

Ce sujet comprend 27 pages dont 5 plans.

**Il appartient au candidat de vérifier que le document comprend
le nombre de pages indiqué.**

S'il est incomplet, en avertir le surveillant.

- ♦ Vous répondrez aux questions suivantes dans l'ordre qui vous convient, en indiquant impérativement leur numéro.
- ♦ Vous répondrez aux questions à l'aide des documents et de vos connaissances.
- ♦ Des réponses rédigées sont attendues et peuvent être accompagnées si besoin de tableaux, graphiques, schémas...
- ♦ Pour les dessins, schémas, cartes et plans, l'utilisation d'une autre couleur que le bleu ou le noir ainsi que l'utilisation de crayons de couleur, feutres, crayon de papier sont autorisées.

Vous êtes technicien principal territorial de 2^e classe, responsable des travaux d'investissement à la direction des routes du département Technidép.

Les élus ont décidé, dans le cadre d'un programme pluriannuel spécifique, de l'amélioration de la route d'accès unique à la station de ski de Technistation. Un programme de travaux est validé afin d'améliorer la circulation et en particulier le croisement des véhicules avec des cars de tourisme.

Vous assurez la conduite de cette opération pour le département, qui intervient simultanément en tant que maître d'ouvrage et maître d'œuvre.

L'aspect sécurité des usagers sur ces routes de montagne reste l'objectif prioritaire et doit motiver les solutions techniques retenues. L'exploitation de la route départementale (RD) en hiver est également un enjeu fort pour faciliter la circulation pendant les chutes de neige, notamment lors des grands chassés-croisés des week-ends de vacances scolaires.

Question 1 (6 points)

Votre directeur vous demande d'étudier les futurs travaux de calibrage du secteur de route dit du « hameau du Tech », particulièrement préoccupant. Les blocages du trafic hivernal y sont récurrents compte tenu de l'étroitesse de la chaussée, et plusieurs sorties de route, heureusement sans gravité, se sont produites ces dernières années. Le plan 5 présente l'état existant de la section de voie concernée.

- a) Vous décrierez les solutions envisageables pour réaliser un élargissement sur cette section. Pour ce faire, vous pourrez vous aider des plans 1 à 4. (2 points)
- b) Vous proposerez une analyse multicritère de ces solutions et aborderez notamment les aspects techniques, géotechniques, fonciers, phasage/délai, exploitation/circulation et coûts, des différentes techniques de calibrage envisageables en montagne. Vous expliquerez vos choix. (4 points)

Question 2 (5 points)

- a) Sur le plan 5, vous dessinerez la vue en plan projetée de l'aménagement et les emprises des solutions techniques proposées. Vous tiendrez compte en particulier des contraintes de topographie, du bâti et du foncier. (2 points)
- b) Sur votre copie, vous rédigerez une note argumentant vos choix techniques et les améliorations procurées en matière de sécurité routière. (3 points)

Question 3 (3 points)

En tant que chargé du suivi des travaux pour le compte du département, vous préciserez les obligations du maître d'ouvrage en matière d'hygiène, de sécurité et de santé au travail.

Question 4 (6 points)

Le maire de la commune où se situe Technistation est inquiet quant à la circulation hivernale avant le démarrage des travaux de calibrage.

Votre directeur vous demande de proposer un ensemble de mesures d'exploitation permettant, dans l'attente des travaux, d'éviter sur cette route une situation de blocage des usagers, et d'y garantir une certaine fluidité du trafic dans de bonnes conditions de sécurité.

Outre des actions mobilisables sur l'ensemble du linéaire de la RD, vous proposerez une solution concrète transitoire pour gérer les pointes de trafic au niveau du « hameau du Tech ».

Liste des documents :

Document 1 : « La technique de sel humidifié... ou la bouillie de sel - Viabilité hivernale » - *viabilite-hivernale.developpement-durable.gouv.fr* - 19 septembre 2018 - 3 pages

Document 2 : « Neige 15.000 véhicules bloqués en Savoie, 19 départements en vigilance orange » - *tendanceouest.com* - 27 décembre 2014 - 2 pages

Document 3 : « Rapport de synthèse - Fondamentaux de la conception routière - Les souplesses offertes par les règles de conception » (extrait) - *Cerema* - décembre 2016 - 3 pages

Document 4 : « Guide technique. Ouvrage de soutènement » (extrait) - *LCPC* - juillet 2003 - 9 pages

Liste des plans :

Plan 1 : « Profil en travers type - Mur en enrochement bétonné amont » - format A3 - 1 exemplaire

Plan 2 : « Profil en travers type - Mur en enrochement bétonné aval » - format A3 - 1 exemplaire

Plan 3 : « Profil en travers type - Paroi clouée amont » - format A3 - 1 exemplaire

Plan 4 : « Profil en travers type - Section alignement droit - Remblai renforcé » - format A3 - 1 exemplaire

Plan 5 : « RD menant à Technistation. Vue en plan de l'existant dans le secteur du Hameau du Tech » - format A3 - 2 exemplaires dont 1 est à rendre avec la copie

Attention, le plan 5 en format A3 utilisé pour répondre à la question 2 est fourni en deux exemplaires dont un est à rendre avec votre copie, même si vous n'avez rien dessiné.

Veillez à n'y apporter aucun signe distinctif (pas de nom, pas de numéro de convocation...)

Documents reproduits avec l'autorisation du C.F.C.

Certains documents peuvent comporter des renvois à des notes ou à des documents non fournis car non indispensables à la compréhension du sujet.

DOCUMENT 1

viabilite-hivernale.developpement-durable.gouv.fr

La technique de sel humidifié... ou la bouillie de sel

19 septembre 2018

Pour amorcer le processus de fonte, le sel en grains capte l'eau dont il a besoin pour agir. Il s'écoule donc un certain temps après son épandage pour qu'il passe en solution et devienne actif.

Pendant ce temps :

- le verglas ou la neige subsiste sur la chaussée malgré l'apparence de sécurité donnée par le passage de la saleuse,
- une partie du sel répandu est éliminé par la circulation.

Par ailleurs, en dessous de $-7/-8^{\circ}\text{C}$, la teneur en eau libre est trop faible pour amorcer convenablement le processus de fonte. A ces températures, l'action du sel en grains est donc stoppée de ce fait.

Pour éviter ces inconvénients, une solution consiste à dissoudre le sel et à le répandre directement sous forme de saumure. Le sel ainsi dissous agit instantanément. Mais la saumure répandue va se diluer rapidement par l'apport d'eau provenant de la fonte ou de l'humidité de l'air. Son action est donc limitée dans le temps.



La bouillie consiste à répandre simultanément du sel en grains et de la saumure conjuguant ainsi les avantages des deux procédés :

- la saumure attaque directement la couche de glace ou de neige,
- au fur et à mesure de la dilution de la saumure, le sel en grains fond, maintenant une concentration suffisante de la saumure et prolongeant ainsi son efficacité,
- du fait de l'apport d'eau, le mélange reste efficace jusqu'à des températures ambiantes voisines de $-10/-12^{\circ}\text{C}$.

De plus, la présence de la saumure améliore l'adhérence du sel en grains sur la surface de la chaussée et limite son évacuation par le trafic. On pourra donc réduire le dosage de sel en grains et diminuer ainsi le coût du salage à efficacité égale.

Le dosage respectif de la saumure et du sel sec doit correspondre à la nature du phénomène à traiter :

- lorsqu'un traitement est nécessaire, on préférera utiliser le sel en grains sans saumure en cas d'abondance d'eau sur la chaussée (neige mouillée par exemple),
- on ajoutera 30% de saumure, voire plus au sel sec pour assurer une intervention précurative sur une route sèche.

Entre ces deux extrémités, il suffit de limiter à deux valeurs le choix des taux de mouillage en les déterminant préalablement par des essais successifs pour prendre en compte le climat du secteur, sa géographie, la nature des intempéries généralement constatée, le niveau du service attendu....

Choix des taux de mouillage

Définition du taux de mouillage

On appelle taux de mouillage le rapport :

(Quantité de saumure épandue / Quantité de sel en grains répandue).

Par exemple : un épandage de 20 g/m² de sel mouillé par 4 cm³/m² de saumure, soit 4,7 g/m² de saumure correspond à un taux de : $4,7/20=23,5\%$ (densité de la saumure : 1.1722)

Choix des valeurs du taux de mouillage

En pratique, il est inutile de multiplier le nombre de taux de mouillage ; l'utilisation de deux valeurs distinctes s'avère suffisante.

Dans ce qui suit, sont considérés :

- taux 1 : la valeur du taux de mouillage qui permet de vider deux trémies de sel pour un seul remplissage des bacs à saumure,
- taux 2 : la valeur du taux de mouillage qui permet de vider simultanément la trémie de sel et des bacs à saumure sur un même traitement.

La valeur du taux 2 est donc double de celle du taux 1.

La détermination de la valeur pratique des taux 1 et 2 dépend de la situation du matériel :

- Déjà acquis : le rapport des volumes emportés en sel et saumure est fixé. Le taux 2 se rapprochera donc de ces volumes. Le taux 1 sera égal à la moitié du taux 2.
- à acquérir : on visera une valeur du taux 2 voisine de 30% et un taux 1 voisin de 15%

Exemple : usage normal de la bouillie de sel :

Traitement précuratif :

Selon le phénomène annoncé, on visera un dosage de 10 ou 20 g/m² de sel avec un mouillage dont le taux sera fonction de la chaussée (taux 1 et taux 2) ou absence de mouillage (taux 0) :

- route ruisselante : traitement déconseillé
- route mouillée : taux 0
- route humide : taux 1
- route sèche ou quasi-sèche : taux 2

Traitement curatif :

L'apport de saumure accélère la dissolution du sel, voire, en cas d'absence d'eau libre, permet le démarrage de la fusion.

- givre : taux 1
- film de verglas : taux 1 avec de préférence du sel assez fin
- verglas épais : taux 2 en re-salant rapidement si la température de l'air n'a pas remonté (risque de dilution et de reprise en masse)
- neige mouillée : taux 0 attention salage uniquement si le sol est froid
- neige humide : taux 1

- neige froide : taux 2 (attention salage uniquement si collage sur la chaussée et tendance au compactage)

Grammage associé :

Les quantités d'eau mises en jeu sont très importantes en traitement curatif ; il convient donc de ne pas descendre trop bas en dosage, une valeur de 15 ou 20g de sel en grains (+ la saumure) paraissant un base compatible avec les rotations de traitement sur le réseau ordinaire.

Un dosage plus faible (environ 10g/m²) pourra être appliqué sur le givre ou le verglas très fin.

Usage simplifié de la bouillie de sel

Une valeur unique du taux de mouillage (taux 1 ou taux 2).

A titre indicatif, la valeur de ce taux unique pourra être celle :

- du taux 2 : sur les grands axes, dans les régions classées en zones H3 et H4
- du taux 1 : sur les axes secondaires : circuits plus longs avec une plus grande autonomie en taux 1 (traitement plus tardif et donc moins vigoureux), dans les régions classées en zone H1 et H2 (la limitation volontaire de l'usage de la saumure en taux 1 ne nécessite qu'un investissement limité en matériel de fabrication et de stockage).

Modulation le long d'un itinéraire hétérogène

Le long de certains itinéraires, la variation des paramètres micro-climatiques (altitude, exposition au soleil, humidité...) conduit à une manifestation de différents phénomènes.

Pour atténuer ces différences, on peut être amené à moduler le taux de mouillage.

Par exemples :

- route montant en altitude, chute de neige lourde en plaine, froide en montagne (taux 0 en bas, taux1 à mi-pente, taux 2 vers le haut)
- route dont l'exposition varie (taux2 pour les zones à l'ombre, pour les zones exposées : taux 1 la nuit, taux 0 le jour).

Il est évident que cette tactique de salage suppose des personnels d'intervention bien formés, compétents et très motivés.

Lyon (AFP). Neige : 15.000 véhicules bloqués en Savoie, 19 départements en vigilance orange

Publié le 27/12/2014 à 20h42 - Par Agence France Presse



Un véhicule bloqué dans la neige sur la route vers la station des Saisies, en Savoie, le 27 décembre 2014 - AFP

Quelque 15.000 véhicules étaient bloqués samedi en fin d'après-midi en Savoie en raison d'importantes chutes de neige, obligeant la préfecture à lancer un plan d'hébergement d'urgence, la circulation restant par ailleurs difficile dans les 19 départements placés en "vigilance orange" neige et verglas. Dans l'Isère, la neige a déjà provoqué un accident mortel, un homme de 27 ans ayant été tué quand sa voiture a glissé, vers midi, dans un ravin du massif de Belledonne. Vers 17h30, la préfecture de Savoie a invité les automobilistes "à s'arrêter le plus en amont possible" de la région pour "y rechercher un hébergement pour la nuit". "Certains feront demi-tour mais d'autres, qui ne sont qu'à quelques kilomètres des stations, pourront être accueillis dans les centres d'hébergement d'urgence" ouverts dans 12 communes du département, a indiqué à l'AFP un porte-parole de la préfecture.

"On est rodé à ce genre de difficultés", a témoigné auprès de l'AFP, le maire de Bourg Saint-Maurice, Michel Giraudy dont la commune peut offrir près de 1.000 lits. "On a ouvert la cité scolaire et on a près de 500 lits dans les différentes salles de la commune, gymnase ou salle des fêtes", a déclaré l'élu alors que la neige continuait de tomber sur la vallée. Un numéro vert (08 11 00 06 73) devait être activé par la préfecture afin d'informer les automobilistes sur la conduite à tenir et sur la disponibilité des hébergements d'urgence, a annoncé le ministre de l'Intérieur Bernard Cazeneuve. Ces hébergements ont été activés à Albertville, Bourg Saint-Maurice, La Bâthie, La Léchère, Aime, Moûtiers, Macôt La Plagne, Bellentre, Chambéry, Aix-les-Bains, Saint-Jean de Maurienne, Saint-Rémy de Maurienne, communes où les abondantes chutes de neige, conjuguées au chassé-croisé des vacanciers vers ou au départ des stations de ski, provoquent selon la préfecture des "difficultés très importantes et durables".

Bernard Cazeneuve a estimé que la circulation était "plus particulièrement critique en Savoie : alors que 36.000 véhicules étaient attendus dans la vallée de la Tarentaise, 7.000 seulement ont pu, pour l'heure, y accéder". "Seuls les véhicules équipés de chaînes pourront poursuivre leur progression, notamment vers les stations, les autres devant interrompre temporairement leur voyage. La gendarmerie et la police nationales en informent les usagers, notamment aux barrières de péages", a indiqué le ministre. Joint par l'AFP, un automobiliste lyonnais parti de Méribel vers 10 heures samedi matin, n'était toujours pas arrivé à Moutiers vers 19 heures. "On n'a pas vu la queue d'un chasse-neige ou d'un policier. On ne comprend pas ce qui se passe. La quasi-totalité des gens qui descendent sont bloqués. C'est lamentable", a déploré Didier Demuyter. Outre la saturation de la vallée de la Tarentaise (en particulier sur la RN 90 entre Moutiers et Bourg-Saint-Maurice), d'importants bouchons étaient aussi signalés vers 18H00 en Rhône-Alpes, sur l'A40, en direction de Genève et sur l'A43 en direction des stations et dans le sud de Grenoble.

- Fin progressive de la vigilance dimanche - Le froid et la neige devraient perdurer dimanche, Météo France mettant en garde contre un "regel significatif" dans la nuit, qui rendra les routes glissantes. Les 19 départements en vigilance orange - Ain, Aisne, Ardennes, Côte-d'Or, Doubs, Isère, Jura, Haute-Marne, Haute-Saône, Marne, Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Nord, Bas-Rhin, Savoie, Haute-Savoie, Territoire de Belfort, Vosges - le resteront d'ailleurs une partie de la journée de dimanche.

D'ici dimanche matin, "les hauteurs de neige attendues seront généralement comprises entre 3 et 7 cm en plaine, un peu plus près des frontières avec localement 10 voire 15 cm", ont estimé les prévisionnistes. "Ces hauteurs seront plus élevées sur le relief, 10 à 20 cm dans les Ardennes, 15 à 30 cm sur les Vosges et le Jura et jusque 30 à 60 cm au-delà de 2000 mètres d'altitude dans les Alpes". D'autres régions ont connu des difficultés, non en raison de la neige, mais du vent : dans le nord, des rafales de près de 160 km/heure ont entraîné la fermeture du port de Calais et l'interruption de la circulation des car-ferries vers l'Angleterre. Sur l'A16, qui longe le littoral, la chute de 5 cm de neige au nord et au sud de Calais ont provoqué des bouchons et des ralentissements sur une quinzaine de km dans les deux sens, et des opérations de salage étaient en cours, selon Bison Futé.

DOCUMENT 3
Cerema - décembre 2016

Rapport de synthèse - Fondamentaux de la Conception Routière - Les Souplesses offertes par les règles de conception (extrait)

(...)

Disposition de l'ARP	Soup.	Niv. Déc.	Commentaires
4.2.d/ Visibilité pour le dépassement			
Il est raisonnable de chercher à assurer de telles distances de visibilité (> 500 m) sur une proportion d'au moins 25 % de la longueur du projet (...).	S3	1b	L'offre de dépassement peut également provenir de la présence de créneau qui limite le besoin de disposer de telles distances de visibilité.
Sur les projets très courts, on peut examiner les exigences de visibilité de dépassement sur une portion d'itinéraire intégrant de façon symétrique le trace situé de part et d'autre du projet (portion dont la longueur totale peut aller jusqu'à 5 km).	S2	2	La souplesse est apportée par l'élargissement de la zone géographique du projet
4.2.e/ Cas des routes existantes			
Les implications en matière de sécurité des limitations de visibilité sur un obstacle bas et des limitations de la visibilité de dépassement sont moins fortes, et si les aménagements nécessaires sont coûteux (reprise du profil en long, etc.), on peut réexaminer leur opportunité au vu d'un diagnostic de sécurité fondé sur l'étude approfondie des accidents.	S2	2	La condition de cette atténuation est de réaliser un diagnostic de sécurité
6. Routes en relief difficile			
Il s'agit de routes pour lesquelles la topographie oppose des difficultés continues et importantes telles, que le respect des règles attachées aux autres catégories de route induirait des coûts démesurés.	S2	1a	L'atténuation nécessaire est inscrite dans la définition des routes en relief difficile.
Des difficultés ponctuelles ne doivent pas faire considérer une route comme relevant de la catégorie des routes en relief difficile. Ces difficultés ponctuelles peuvent alors éventuellement donner lieu à des dérogations, ou bien à un échelonnement de la mise en conformité (pour les routes existantes), moyennant d'importantes précautions relatives à la sécurité.	S2	1a	La condition à cette atténuation pour les routes existantes est de réaliser un diagnostic de sécurité
Le changement de catégorie doit intervenir si possible au niveau d'une rupture.	S3	2	
6.1. Conception générale			
6.1.d/ Visibilité			
Les contraintes imposées pour les autres types de route ne peuvent pas toujours être respectées. Cependant, certaines des exigences de visibilité formulées au chapitre 4 sont particulièrement importantes pour la sécurité (voir chapitre 4, point 4.2.e), et doivent être prises en compte.	S3	1b	L'assouplissement pourra apparaître assez virtuel, dans la mesure où les principales règles de visibilité sont bien rappelées comme essentielles au § 4.2.e Tout tient dans le niveau de souplesse que l'on donne à la

Disposition de l'ARP	Soup.	Niv. Déc.	Commentaires
			formulation « doivent être prises en compte » mais qu'il est difficile de ne pas assimiler à une recommandation.
6.1.e/ Cas particulier des routes existantes			
Les aménagements de routes existantes en relief difficile (...) sont souvent coûteux ; ils peuvent difficilement être systématiques et doivent reposer sur <u>une démarche de type diagnostic</u> (...). La priorité doit être donnée aux aménagements qui influent le plus sur la sécurité (...)	S2	1b	La condition à cette atténuation est de réaliser un diagnostic de l'itinéraire (niveau de sécurité, niveau de service ...)
6.2. Profil en travers			
Certains dispositifs de surface (type caniveau plat) <u>peuvent être intégrés</u> dans la bande dérasée (si celle-ci permet, d'autre part, de laisser un espace suffisant pour la circulation d'un piéton).	S3	2	
Compte tenu des éléments qui précèdent, on peut proposer à titre <u>indicatif</u> différents profils en travers possibles, pour ce qui est de la largeur roulable (chaussée et bande dérasée).	S3	2	
6.3. Tracé en plan			
6.3.a/ Courbes et conception générale du tracé en plan			
Les rayons minimaux attachés aux autres catégories ne peuvent généralement pas être respectés. En particulier, un lacet peut conduire à utiliser un rayon extrêmement réduit. Les conditions relatives à l'enchaînement des divers éléments du tracé (...), mentionnées au chapitre 3, sont importantes pour la sécurité et <u>doivent être prises en compte au mieux</u> . Mais <u>cela n'est pas toujours possible</u> : cas d'un lacet en extrémité d'un long alignement par exemple. Dans ce cas, on doit chercher à offrir la meilleure perception du <u>point difficile</u> (lacet, virage difficile) : etc.	S2	2	Cette atténuation de la règle nécessite des conditions elles-mêmes atténuées.
6.3.b/ Surlargeur de voie en courbe			
<u>Lorsqu'on ne peut pas offrir</u> cette largeur [permettant à un poids lourd de type semi-remorque de ne pas déborder], <u>on peut admettre dans certains cas</u> que le semi-remorque sorte de sa voie sur la gauche (lacet et autres virages avec bonne visibilité sur les routes à trafic lourd très faible), ou bien qu'il morde sur une bande dérasée, qui dans ce cas doit être revêtue et d'une structure suffisante.	S2	1b	Cette atténuation est attachée à une baisse du niveau de service
6.3.d/ Dévers			
Les valeurs mentionnées ci-dessus <u>peuvent être réduites pour diverses considérations</u> telles que l'existence d'une <u>pente forte en profil en long</u> (...), notamment dans les sites avec enneigement ou verglas fréquent, ou bien la nécessité de limiter la longueur de variation de dévers, sans	S2	2	

Disposition de l'ARP	Soup.	Niv. Déc.	Commentaires
descendre en dessous d'une valeur de 2,5 % (pente orientée vers l'intérieur du virage) pour tout rayon inférieur à 400 m.			
6.3.e/ Raccordements progressifs			
Lorsque leur implantation crée des difficultés, <u>on peut réduire la longueur des clothoïdes</u> (éventuellement de façon forte) par rapport aux indications données au chapitre 3, voire dans certains cas <u>supprimer la clothoïde</u> , la variation de dévers survenant alors dans l'alignement précédant la courbe. La variation de dévers peut sans inconvénient commencer avant le début de la clothoïde éventuelle.	S2	2	
6.4. Profil en long			
Sur les routes neuves, <u>il est déconseillé de dépasser les valeurs de pente suivantes [8 à 10%]</u> .	S2	1b	Assouplissement pour les routes en relief difficile par rapport aux dispositions prévues pour les routes « normales ». La déclivité sur le bord intérieur de chaussée est également limité à 8-10 %, c'est l'ensemble de la chaussée qui est visé par la limitation
Les rayons en angle saillant du profil en long <u>doivent être déterminés en fonction de la visibilité à assurer</u> (voir chapitre 4).	S2	2	Assouplissement pour les routes en relief difficile par rapport aux dispositions prévues pour les routes « normales ».

1.3 - Synthèse

Globalement, les marges de manœuvre que comporte l'ARP semblent nombreuses, et portent sur des aspects diversifiés de la conception (conception générale, tracé en plan, profil en long, profil en travers, visibilité...).

On notera néanmoins que le nombre d'entrées du tableau tend à donner une vision sensiblement surestimée, car certains assouplissements sont redondants ou du moins complémentaires. Par exemple, l'idée qu'il est possible voire nécessaire d'assouplir certaines règles pour les routes existantes et les routes en relief difficile est d'abord énoncé, comme principe général, avant d'être décliné dans plusieurs chapitres (tracé, profil en travers, visibilité...) puis d'être précisé dans un chapitre spécifique (cas des routes en relief difficile).

Nous n'avons pas formulé ci-avant de remarques précises concernant les entrées et traversées d'agglomération (ARP, chap. 7). Les recommandations en la matière sont formulées sous forme de principes généraux. On pourrait considérer que les dispositions du guide sont donc très souples, puisque l'ARP fixe les objectifs mais ne donne pas de règles précises, et que l'aménageur dispose donc de marges de manœuvre importantes.

Nous n'avons pas non plus formulé de remarques sur les aspects équipements-exploitation. L'ARP s'en tient aux principes, mais renvoie explicitement ou non à la réglementation et à la documentation édictées sur le sujet. Si marges de manœuvre il y a, ce n'est pas l'ARP qui les donne, les soustrait ou les réduit.

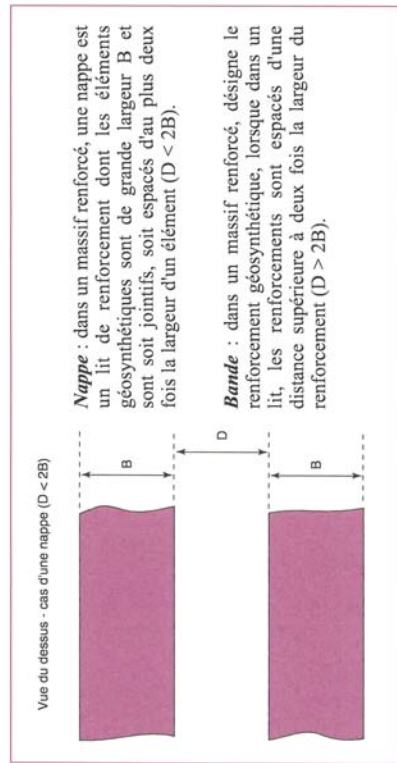
(...)

(...)

2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi

2.1 Principe de fonctionnement

Les ouvrages de soutènement en remblai renforcé par inclusions géosynthétiques sont constitués d'un massif de remblai mis en place par couches successives compactées, entre lesquelles sont disposés des éléments de renforcement géosynthétiques : les nappes de géotextile, de géogrille ou bandes.



Les longueurs des éléments de renforcement (bandes ou nappes) et les espacements verticaux entre lits ne sont pas forcément constants sur toute la hauteur de l'ouvrage.

Les éléments de renforcement sont disposés horizontalement. De plus, la pente longitudinale doit être nulle, ou quasiment nulle.

Comme le montrent les figures 1 et 2, le parement aval peut être vertical ou assez fortement incliné et de nature très variée selon les procédés de construction. Différentes technologies peuvent être utilisées pour constituer le parement. On peut mettre en place, par exemple :

- un parement constitué de panneaux de pleine hauteur, généralement non liés aux éléments de renforcement géosynthétiques et servant uniquement de protection (Fig. 1) ;
- un parement constitué d'écaillés où sont fixés les éléments de renforcement (bandes géosynthétiques) ;
- un parement cellulaire, constitué d'éléments empilés (généralement, des blocs préfabriqués). Les renforcements sont fixés au parement par un dispositif d'accrochage ou simplement pincés entre deux blocs ;
- une protection par végétalisation (Fig. 2).

12

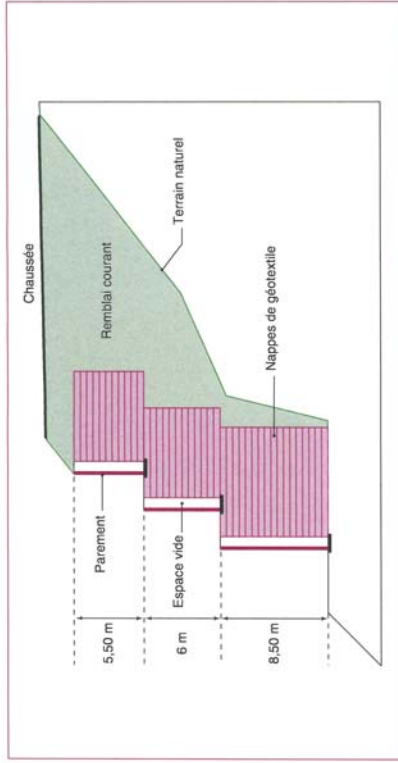


FIGURE 1 - Ouvrage en remblai renforcé par nappes de géotextile à parements verticaux et indépendants.

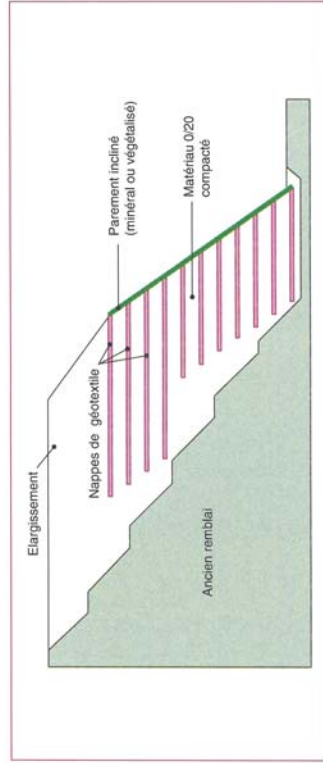


FIGURE 2 - Ouvrage en remblai renforcé par nappes de géotextile à parement incliné.

2.1.1 Fonctionnement interne

La stabilité des ouvrages en remblai renforcé par éléments géosynthétiques est assurée, comme pour les ouvrages en remblai renforcé par armatures peu extensibles (Terre Armée, etc.), par le frottement entre le sol et les éléments de renforcement géosynthétiques, capables de supporter des efforts de traction.

Le remblai transmet par frottement aux inclusions géosynthétiques les efforts qui se développent dans la masse ; ces inclusions se mettent alors en tension et tout se passe comme si le remblai possédait, dans les directions où sont placés les éléments de renforcement, une résistance à la traction dont la valeur est directement proportionnelle aux efforts repris par les nappes ou les bandes.

Celles-ci reportent les efforts de la zone active, à l'aval (zone où le remblai a tendance à entraîner les nappes ou les bandes), vers la zone d'ancrage à l'arrière du massif (zone où le remblai a tendance à retenir ces nappes).

13

La figure 3 schématise les principes de base de ce fonctionnement. Le calcul de stabilité interne consiste à vérifier pour les surfaces potentielles de rupture les plus critiques que, d'une part, les longueurs d'ancrage sont suffisantes pour reprendre les efforts par frottement et, d'autre part, tous les éléments géosynthétiques (nappes ou bandes) ont une résistance suffisante pour reprendre ces efforts.

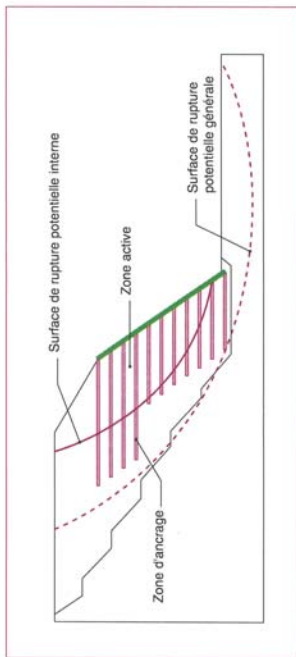


FIGURE 3 - Stabilité interne et externe des ouvrages en remblai renforcé.

La stabilité interne fait aussi intervenir d'autres critères, tels que la résistance au cisaillement du sol et la résistance à l'ancrage des géosynthétiques, fonction du frottement relatif sol - géosynthétique et de leur résistance ultime.

Selon le type de parement, le géosynthétique peut être libre ou accroché au parement, ce qui correspond à un fonctionnement mécanique différent dont il est tenu compte dans les méthodes de calcul.

Dans le cas d'un accrochage au parement, il existe une tension de liaison dont il faudra contrôler la pérennité.

Si la liaison est libre, le parement n'intervient pas directement dans la stabilité générale ; toutefois, il faut vérifier la stabilité propre du parement, dont la dégradation peut avoir des conséquences préjudiciables (érosion régressive, perte de matériau, etc.), difficiles à évaluer, même si, théoriquement, seule l'esthétique de l'ouvrage renforcé est concernée.

On notera que dans tous les cas il existe un parement, dont la fonction est, en particulier, d'assurer la stabilité locale du talus, dont la pente est généralement plus forte que la pente naturelle du matériau de remblai.

2.1.2 Fonctionnement externe

Stabilité externe

En tant qu'ouvrage de soutènement des terres situées à l'arrière, ces ouvrages ont un fonctionnement du type « mur-poids ».

Le fonctionnement externe de ces ouvrages en remblai renforcé ne diffère donc pas de celui des ouvrages de soutènement les plus classiques, de type mur-poids en maçonnerie ou en béton. Il repose sur la portance du sol de fondation et sur la résistance au glissement de l'ouvrage à son interface avec le sol de fondation. S'agissant d'un ouvrage souple et de grande largeur à la base, le problème du renversement ne se pose généralement pas.

Stabilité globale

La stabilité globale est vérifiée vis-à-vis du grand glissement selon une surface enveloppe du massif renforcé (cf. Fig. 3). Les calculs de stabilité globale sont souvent déterminants dans le dimensionnement de ces ouvrages (emprises, longueurs des nappes).

2.2 Domaine d'emploi

Ce type d'ouvrage souple est essentiellement employé pour la réalisation d'ouvrages en remblai, généralement en site terrestre.

Il est bien adapté dans les cas suivants :

- > réduction des emprises par rapport à un remblai courant,
- > élargissement de remblai, avec fondation à mi-talus,
- > alternative à un mur classique lorsque le sol support a des caractéristiques mécaniques insuffisantes (risques de tassements généraux ou différentiels, portance faible qui aurait nécessité des pieux pour un ouvrage en béton, etc.),
- > possibilité d'utiliser des matériaux ayant un pourcentage de fines plus élevé (moyennant certaines précautions), dans le seul cas des remblais renforcés par nappes continues, par rapport aux ouvrages renforcés par des armatures métalliques ou en bandes,
- > intégration au site pour les parements inclinés et végétalisés,
- > insensibilité à la corrosion et neutralité vis-à-vis des courants vagabonds.

Ce type d'ouvrage s'adapte bien, également, à des techniques d'amélioration du sol support, telles que les colonnes ballastées, le pilonnage ou toute autre solution d'amélioration de la portance au moyen d'inclusions.

Des ouvrages de grande hauteur ont déjà été réalisés, généralement sous la forme de gradins, en superposant plusieurs murs élémentaires verticaux de 7 à 8 mètres. Avec des parements inclinés entre 65 et 70 degrés au plus (pour la végétalisation), il existe actuellement des murs de plus de 25 mètres de hauteur.

Une limite d'emploi de cette technique est liée à la déformation relativement importante des éléments de renforcement géosynthétique (nappes et bandes), qui va se traduire, en partie haute, par un déplacement cumulé incompatible avec certaines structures non déformables (proximité d'un ouvrage, chaussée rigide...). A titre indicatif, on a mesuré plus de 8 cm de déplacement horizontal différé, en tête des murs représentés sur la figure 2 (pour une hauteur totale de 20 mètres), sans qu'il y ait eu, toutefois, de fissure sur la chaussée.

Les méthodes de calcul actuelles permettent d'évaluer la stabilité interne et générale et de donner une estimation des déformations pendant la construction.

Le projet de norme XP G 38064 propose également une méthode de détermination des déformations post-construction, sous la forme d'un majorant des déformations à long terme, déterminé à partir des essais de fluage sur le géosynthétique. Ce calcul ne tient pas compte du fluage dû au matériau de remblai, mais il est logique de penser que l'utilisation d'un matériau argileux aura pour conséquence des déformations différées plus importantes qu'avec un matériau purement frottant.

En outre, la mise en œuvre d'un ouvrage en remblai renforcé nécessite de disposer d'un espace suffisant pour mettre en place les nappes (ou les bandes). Les calculs de stabilité générale permettent de définir cette emprise, mais le rapport largeur à la base sur hauteur est rarement inférieur à 0,5 sauf si le parement est incliné.

3. Description de l'ouvrage

3.1 Structure

3.1.1 Description générale

On peut distinguer deux familles types, les ouvrages en remblai renforcé par des nappes (généralement continues) et les systèmes par bandes, comme pour la Terre Armée. La différence entre nappes et bandes a déjà été précisée au chapitre 2.1. (cf. norme NF P 94-210).

♦ A - Remblai renforcé par nappes géosynthétiques

Ce système correspond à l'utilisation de nappes (généralement continues) de géotextiles ou bien de géogrilles. Outre la nature des nappes, la grande variété de ces ouvrages est principalement liée à la conception du parement.

A1 - Nappes retournées en parement

Pour les premières applications, la technologie consistait à empiler des nappes simplement retournées en bord de talus, avec un recouvrement de la nappe supérieure comme le montre le croquis de la figure 4. Le retournement peut être fait sur la couche supérieure ou sur la couche inférieure. Le parement était donc constitué de « boudins » plus ou moins réguliers, sans protection, avec d'inévitables problèmes d'esthétique.

Actuellement, les ouvrages de ce type ne devraient plus être réalisés avec des nappes laissées « en l'état » (à l'exception des ouvrages provisoires). Le projet de norme PG 38064 impose une protection ; une végétalisation est au minimum exigée.

A2 - Parement incliné avec dispositif de retenue de terre végétale

Il s'agit du même type de soutènement que précédemment mais, afin d'obtenir une meilleure intégration dans les sites, des dispositifs de retenue de terre végétale sont prévus et l'inclinaison maximale des parements est limitée entre 65 et 70 degrés, pour permettre l'implantation d'une végétation pérenne.

Pour retenuir la terre végétale, de nombreux procédés ont été développés. On peut les classer en deux catégories.

Dans une première catégorie (Fig. 5), les nappes de géotextiles assurant le renforcement ne sont pas retournées et le parement est constitué d'une géogrille dont la seule fonction est de retenuir la terre végétale et permettre l'ensemencement du talus.

Une deuxième catégorie prévoit un retournement des nappes et l'accrochage d'un parement (généralement de type cellulaire) rempli de terre végétale (Fig. 6).

De tels parements végétalisés sont illustrés page 18 : aspect d'un parement en cours de travaux, avant la végétalisation (Fig. 7) ; détail de la nappe servant à contenir la terre végétale (Fig. 8) ; sur un autre mur, état du parement six années après la végétalisation (Fig. 9).

A3 - Avec parement indépendant

Pour résoudre les problèmes d'esthétique et protéger les nappes des agressions externes, en particulier les rayons ultraviolets, la technique EBAL (brevet EBAL - LCPC) qui consiste à

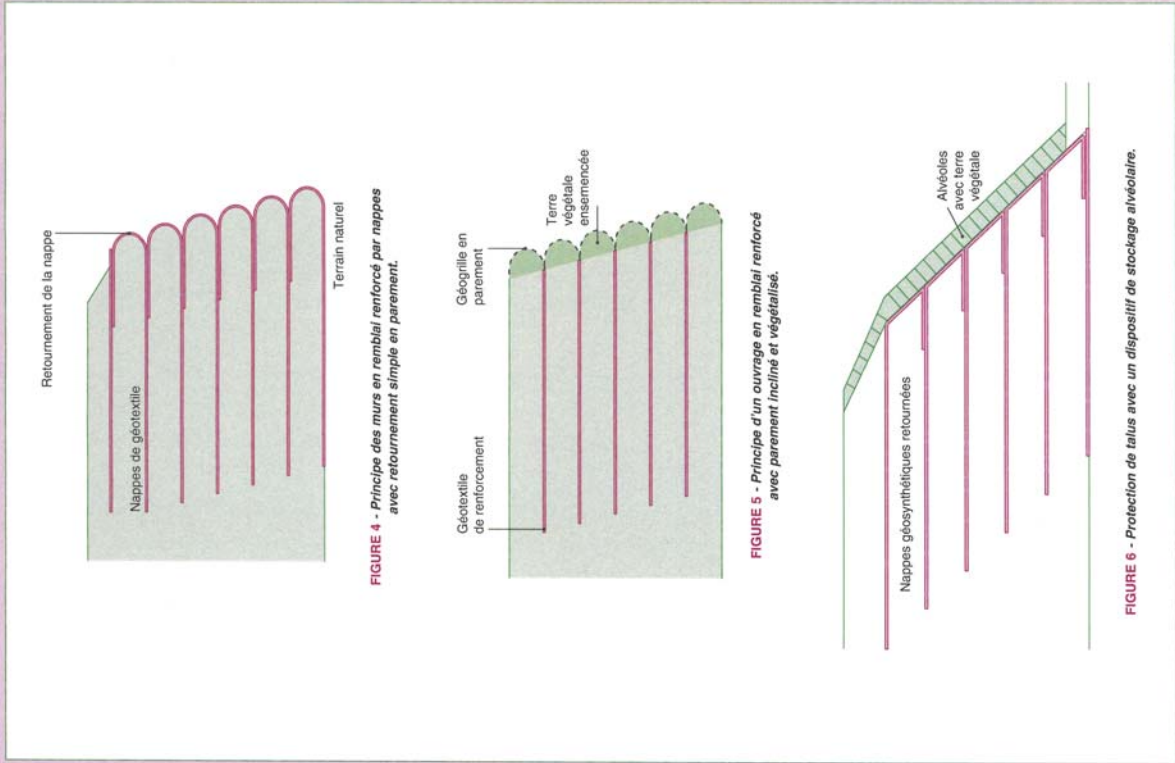


FIGURE 4 - Principe des murs en remblai renforcé par nappes avec retournement simple en parement.

FIGURE 5 - Principe d'un ouvrage en remblai renforcé avec parement incliné et végétalisé.

FIGURE 6 - Protection de talus avec un dispositif de stockage avicôlaire.

mettre en place, à l'avant des nappes géotextiles, des murs préfabriqués en béton armé, a été développée dans les années 1980.

Le premier ouvrage important de ce type a été construit en 1985, sur la route de l'Hospice de France, près de Bagnères-de-Luchon (département de la Haute-Garonne). La figure 10 donne une vue du parement et la figure 11 rappelle le principe de conception de cet ouvrage.

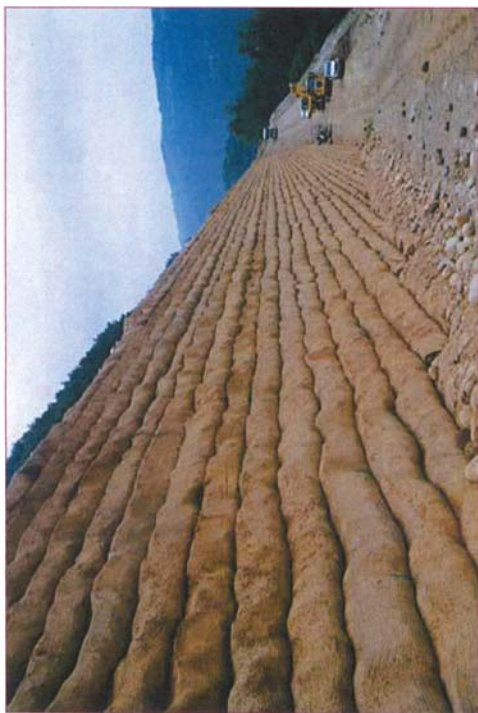


FIGURE 7 - Ouvrage en remblai renforcé du contournement de Foix, avant végétalisation.



FIGURE 8 - Détail du géotextile retenant la terre végétale.



FIGURE 9 - Exemple de parement végétalisé depuis six ans (Foix - Tarascon).



FIGURE 10 - Ouvrage renforcé EBAL - LCPC de l'Hospice de France - Vue du parement. (Ouvrage construit en 1985)

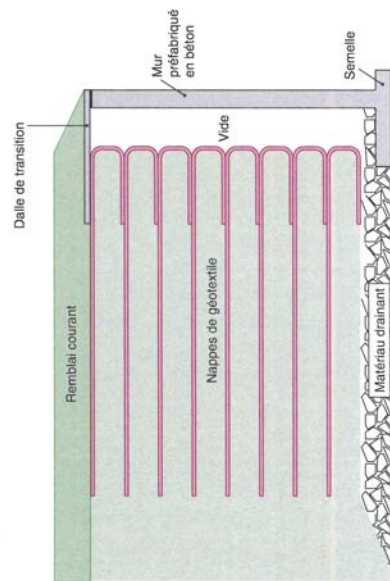


FIGURE 11 - Principe d'un ouvrage EBAL - LCPC avec parement dissocié.

Les illustrations de la figure 12 montrent un autre ouvrage de ce type, pendant et après construction.

Le parement préfabriqué repose généralement sur une semelle indépendante en béton armé. Il constitue un voile qui ménage un vide devant le massif en remblai renforcé, ce qui permet de visiter le parement des nappes géosynthétiques (Fig. 13).

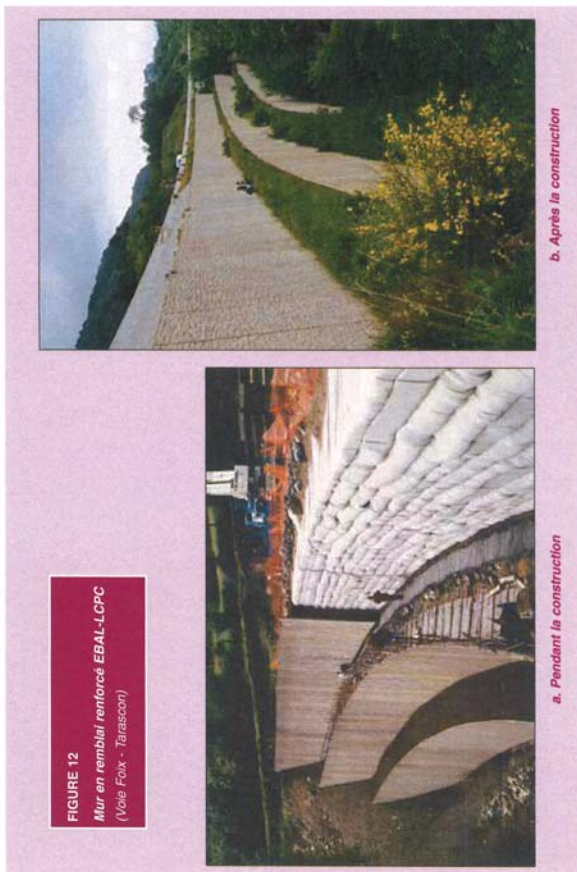


FIGURE 13 - Exemple de trappe de visite.

Ce vide est obtenu en partie supérieure par l'intermédiaire d'une dalle de transition.

Celle-ci doit permettre une légère déformation du massif en remblai renforcé, sans engendrer de déplacement horizontal en tête du mur de parement.

Elle est articulée en tête du voile et simplement appuyée sur la dernière nappe du massif (avec généralement l'intercalation d'un lit de sable).

A4 - Parement minéral

Le parement minéral le plus fréquent est constitué de gabions. La figure 14 rappelle le principe du procédé.

Il existe également d'autres techniques, comme le « Texomur minéral », dont le système de montage permet d'emprisonner de petits blocs rocheux dans une grille métallique galvanisée, disposée en bout des boudins de renforcement.

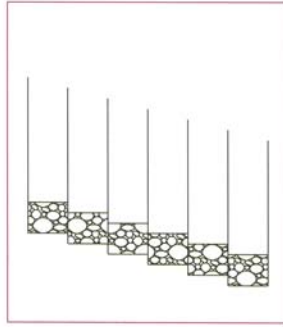


FIGURE 14 - Principe du parement minéral de type « gabions ». (Extrait du projet de norme XP G 38064)

A5 - Parement cellulaire

Le parement est constitué d'un empilement d'éléments préfabriqués en béton. Les nappes sont généralement « pincées » au niveau du parement (Fig. 15). Différents procédés de ce type existent et selon les techniques, le fruit du parement varie de 50 à 85 degrés.

Les éléments préfabriqués peuvent être creux et remplis de terre végétale, pour permettre une végétalisation. Le procédé Loffel est un exemple de cette technique.

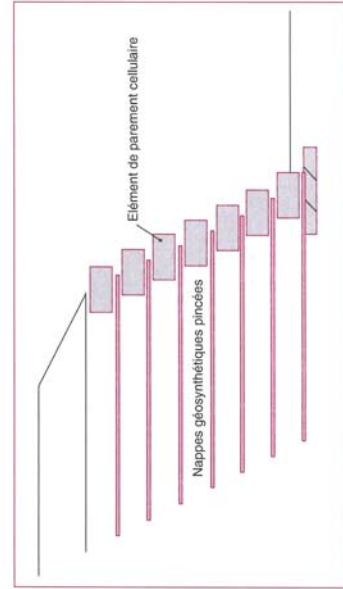


FIGURE 15 - Exemple de parement avec empilement d'éléments cellulaires et de nappes pincées.

A6 - Autres parements

Divers parements peuvent également être associés à ce type d'ouvrage, dans le cas des renforcements par nappes.

Il s'agit, par exemple :

- de treillis métalliques,
- de béton projeté,
- d'écaillles en béton (par exemple, procédé Tensar où des géogrilles en géosynthétiques sont accrochées à des écaillles en béton),
- de panneaux de béton de même hauteur que l'ouvrage renforcé, etc.

♦ B - Remblai renforcé par bandes géosynthétiques

B1 - Parement type écaillles béton

La conception de ce renforcement est assez proche de celle des murs en remblais renforcés par éléments métalliques. Les armatures métalliques sont remplacées par des bandes de polymères constituées de faisceaux de fils de polyester à haute résistance, enrobés dans du polyéthylène qui les protège contre d'éventuels agents agressifs (brevet Freyssisol). Le principal avantage de ce procédé par rapport aux renforcements par éléments métalliques est l'utilisation de matériaux non corrodables.

La figure 16 donne un schéma de principe décrivant la disposition de la bande de renforcement.

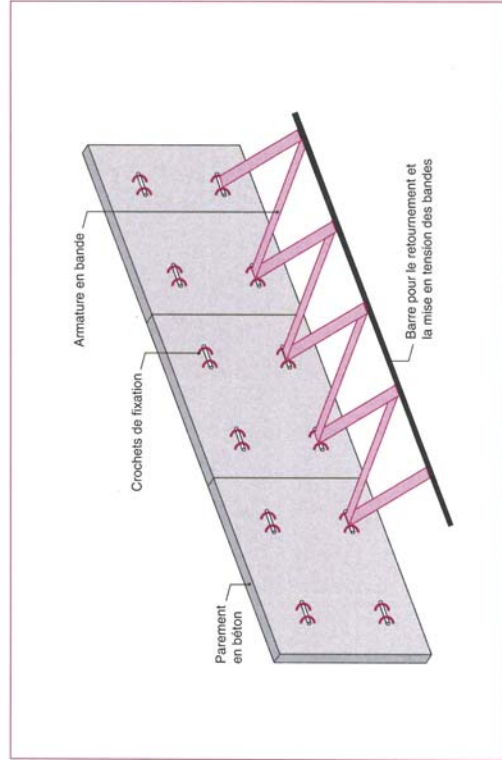


FIGURE 16 - Principe des ouvrages en remblai renforcé par bandes géosynthétiques. (Exemple du Paraweb de Freyssisol)

Le *parement* est constitué d'écaillles préfabriquées en béton armé, généralement en forme de « T », liaisons entre elles à l'aide de goujons (Fig. 17).

La liaison entre les écaillles est assurée par des joints en mousse.

Les *bandes géosynthétiques* sont liées au parement par un système de boucles et de goupilles, galvanisées et protégées également par une couche de polyéthylène (Fig. 18).



FIGURE 17 - Ouvrage renforcé par bandes avec un parement de type écaillles. (Paraweb de Freyssisol - RN21 à Lourdes)

FIGURE 18 - Exemple d'ouvrage renforcé par bandes. (Paraweb de Freyssisol)

B2 - Autres parements

Divers parements peuvent également être associés à ce type d'ouvrage, avec renforcements par bandes.

Il s'agit, par exemple :

- des éléments préfabriqués, végétalisables ou non,
- de panneaux de béton de même hauteur que l'ouvrage renforcé.

3.1.2 Les parements

Les parements les plus courants ont été évoqués au chapitre précédent, les types de murs et certains brevets étant souvent liés à la conception et aux modes de montage des parements. Nous ne rappellerons dans ce paragraphe que les fonctions spécifiques de cette partie importante de l'ouvrage et les points qui doivent attirer l'attention de l'inspecteur de l'ouvrage.

Les principaux types sont les suivants :

- A** - les parements constitués de panneaux de même hauteur que l'ouvrage (généralement non liaisons aux éléments de renforcements géosynthétiques et servant uniquement de protection) ; ceux-ci doivent impérativement être équipés d'une trappe, ou d'un trou d'homme, permettant d'accéder dans l'espace séparant nappe et parement lors des différentes visites ou inspections détaillées ;
- B** - les parements constitués d'écailles où sont fixés les éléments de renforcement, le plus souvent des bandes géosynthétiques ;
- C** - les parements cellulaires, constitués d'éléments empilés (généralement blocs préfabriqués). Les renforcements sont fixés au parement par un dispositif basé sur le pincement entre deux blocs ;
- D** - les parements végétalisés.

Mais d'autres types de parements existent, comme par exemple : les treillis métalliques, les gabions, le béton projeté.

Outre sa fonction esthétique, le parement a un rôle mécanique particulier dont l'importance dépend du mode de fonctionnement choisi, selon que les nappes sont libres, accrochées ou pincées. Il doit assurer le confinement des matériaux du remblai et la protection des géosynthétiques contre la lumière (rayons ultraviolets), les endommagements accidentels ou le vandalisme (déchirures) et l'exposition au feu.

Le parement aval peut être vertical ou assez fortement incliné et de nature très variée selon les procédés de construction.

- *Si la pente de l'ouvrage est inférieure à 45 degrés*, un parement « classique » n'est pas obligatoire ; une végétalisation peut suffire pour protéger les nappes géosynthétiques.
- *Si la pente de l'ouvrage est comprise entre 45 et 70 degrés*, une végétalisation peut suffire à condition d'avoir prévu un dispositif de retenue de la terre végétale, par exemple un géosynthétique ou une géogrille. Sinon, un parement est nécessaire, par exemple, en écailles, en éléments cellulaires, en grillage, en gabions.
- *Si la pente de l'ouvrage est supérieure à 70 degrés*, le parement est indispensable.

3.1.3 Les éléments de renforcement géosynthétiques

Les géosynthétiques, qui ont un rôle essentiel dans la stabilité des ouvrages, sont choisis en fonction de plusieurs critères :

- leur résistance à la traction à long terme (tenant compte des effets du fluage, du vieillissement et de l'endommagement) ;
- le coefficient d'interaction par frottement à l'interface avec le matériau de remblai ;
- la nature du polymère dont ils sont constitués, qui doit être compatible en termes de vieillissement avec le matériau de remblai et, le cas échéant, avec le parement.

La longueur des différents lits de géosynthétiques peut varier à l'intérieur d'un ouvrage.

A - Pour les nappes continues, l'espacement vertical entre lits est compris entre 0,20 et 0,80 m (exceptionnellement 1 m avec des parements minéraux), pour permettre de garder au massif son caractère de matériau composite.

B - S'agissant des bandes, l'espacement vertical entre lits est également compris entre 0,20 et 0,80 m ; l'espacement horizontal entre-axes est inférieur à deux fois l'espacement vertical pour permettre de garder au massif son caractère de matériau composite.

Les caractéristiques, la mise en œuvre et le contrôle des géotextiles font l'objet des normes listées en bibliographie (chapitre 8).

Les principaux processus de vieillissement des éléments de renforcement sont (liste non exhaustive) :

- *la photo-dégradation* (ou photo-oxydation ou vieillissement climatique), phénomène initié par le rayonnement ultraviolet et accéléré par la température, qui n'intéresse que les géosynthétiques en parement ;
- *l'oxydation (ou thermo-oxydation)*, dont la cinétique est influencée par la température et la pression partielle de l'oxygène (dans le cas de géosynthétiques enterrés, l'oxygène provient de l'air et de l'eau d'infiltration ; la vitesse de la réaction est généralement faible) ;
- *la dégradation chimique* (dont l'hydrolyse interne), qui est fortement influencée par la température et le pH. On notera en particulier que les polyesters ne peuvent pas être utilisés à long terme dans un environnement dont le pH est supérieur à 9, ce qui exclut cette fibre dans le cas d'un matériau traité à la chaux ;
- *la dissolution/gonflement* au contact de produits chimiques tels que les hydrocarbures (sols pollués, infiltrations depuis la chaussée, etc.).

3.1.4 Le remblai

Le matériau de remblai participe directement à la résistance des ouvrages en remblai renforcé ; ses caractéristiques revêtent donc une importance toute particulière.

Nous n'allons pas, dans ce chapitre, énumérer l'ensemble des spécifications imposées au choix de ce matériau, qui portent notamment sur leur identification géotechnique, d'une part, et sur leurs caractéristiques mécaniques de résistance au cisaillement, d'autre part.

Il doit satisfaire à la fois :

- aux critères généraux définis par le Guide des Terrassements Routiers, avec en particulier la restriction que les matériaux utilisables appartiennent aux familles de sols pour lesquels il n'y a pas de limite de hauteur pour leur usage en remblai courant, ce qui exclut en particulier les matériaux évolutifs, les sols gonflants, etc. ;
- à des critères relatifs à la situation de l'ouvrage et à son environnement (exposition au gel, aux inondations, etc.) ;
- à des critères spécifiques aux ouvrages en remblais renforcés par géosynthétiques qui, outre l'aspect mécanique (pourcentage de fines, diamètre maximal conforme à la règle d'un $D_{max} < 2/3$ de l'épaisseur de la couche, etc.), doivent inclure la nécessité de ne pas détériorer les éléments géosynthétiques durant la mise en œuvre (matériaux non anguleux, etc.) ;
- aux spécifications relatives au vieillissement des géosynthétiques (compatibilité entre le géosynthétique et le matériau du remblai - risque d'agressions chimiques, alcaline, micro-biologique, etc.).

Le recours au traitement des sols (chaux, ciment, laitier, etc.) devra, pour sa part, faire l'objet d'une attention particulière, vis-à-vis des contraintes de durabilité des géosynthétiques. En effet, le matériau traité constitue un milieu dont le PH est généralement élevé, et peut, de ce fait, provoquer une accélération du vieillissement des éléments de renforcement (cette

utilisation fait l'objet de réserves qui devront être levées selon les modalités décrites dans le projet de norme XP G 38064 - annexe B).

3.2 Zone d'influence

3.2.1 Les terrains associés

La délimitation de la zone d'influence est essentielle pour bien définir le travail d'inspection de l'ouvrage en remblai renforcé.

Comme pour tous les soutènements, le prisme de terrain situé à l'arrière du mur correspond au massif « en équilibre limite », dont la stabilité n'est assurée que grâce à l'ouvrage renforcé.

La figure 19 rappelle la définition du prisme de poussée. La distance D est donc de l'ordre $H/2$ et augmente avec l'angle β du talus et si le sol a de faibles caractéristiques mécaniques.

Par ailleurs, cette notion de distance d'influence suppose que le terrain naturel est stable à l'amont et à l'aval du mur et qu'il n'a pas fait l'objet de renforcement ou traitement particulier (clouage, drains subhorizontaux).

De façon conventionnelle, on définit la zone d'influence d'un mur comme s'étendant de part et d'autre de l'ouvrage sur une distance égale à trois fois sa hauteur libre.

L'examen de la stabilité globale du site constituera un complément obligatoire à l'inspection. Si l'ouvrage est construit en site potentiellement instable, la zone d'influence est étendue à l'ensemble du massif instable.

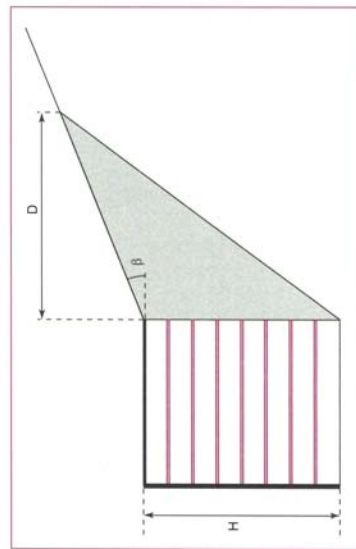


FIGURE 19 - Position du prisme de poussée.

3.2.2 La nappe

La technique des ouvrages en remblai renforcé par des géosynthétiques n'est généralement pas adaptée en présence de nappe phréatique.

Dans le cas où ces ouvrages sont implantés sur un versant et où l'excavation nécessaire à leur exécution a été réalisée sous le niveau de la nappe phréatique, des dispositifs de drainage doivent être prévus.

Il s'agit généralement d'un massif drainant à l'arrière de l'ouvrage, pour rabattre localement la nappe, et de dispositifs de collecte (derrière l'ouvrage) et d'évacuation des eaux (sous l'ouvrage) pour permettre l'écoulement des eaux de la nappe le long de la pente sans que celles-ci ne viennent saturer le remblai constitutif de l'ouvrage (risque de diminution du frottement sol/éléments de renforcement et d'entraînement des matériaux fins du remblai).

Dans le cas des ouvrages construits en bord de rivière ou en site aquatique, l'état et le dimensionnement des protections de pied doivent être examinés. En cas d'immersion, le frottement sol-géosynthétique a été minoré.

Enfin, l'utilisation de matériaux ayant une fraction fine, souvent plus importante que pour les murs en sol renforcé par inclusions rigides, est favorable à la formation d'une nappe, parfois temporaire, pouvant affecter la stabilité interne et générale du massif.

3.3 Équipements

Les équipements de sécurité et de viabilité de la route ne doivent pas interférer avec « le fonctionnement » de l'ouvrage renforcé.

Par exemple, l'ancrage des différents équipements tels que glissières, pylônes, lampadaires, ouvrages antibruit, etc. ne doit pas traverser les nappes continues, qui seraient localement fragilisées.

En règle générale, les dispositifs de retenue sont posés directement sur la plate-forme (par exemple, les GBA sont préférées aux glissières et les fondations des murs anti-bruits sont superficielles, avec une dalle de frottement non fixée sur le parement).

3.4 Drainage et assainissement

Les ouvrages en remblai renforcé sont généralement conçus sans dispositif de drainage interne.

Dans le cas d'un ouvrage implanté sur versant, un dispositif de drainage externe peut être réalisé pour permettre de rabattre localement la nappe (cf. paragraphe 3.2.2).

Lorsque l'ouvrage supporte une route, des dispositifs de collecte et d'évacuation sont nécessaires pour éviter l'infiltration des eaux de surfaces dans le remblai.

Par ailleurs, une géomembrane étanche peut être interposée entre la chaussée et le remblai constitutif de l'ouvrage (Fig. 20).

Les venues d'eau d'une nappe mal captée, qui peuvent circuler de façon privilégiée le long des nappes (ou des bandes géosynthétiques) et les infiltrations à partir de la plate-forme et des ouvrages d'assainissement peuvent modifier les teneurs en eau dans le massif et, en particulier, au contact des éléments de renforcement.

Ces variations de teneur en eau ont pour conséquence, outre l'augmentation de la pression hydrostatique, de modifier les conditions de frottement entre le matériau et les géotextiles. On rappelle que la rupture expérimentale du mur renforcé de Lézat (technique Ebal) a été obtenue en laissant l'eau s'infiltrer par la plate-forme supérieure. La position de la surface de rupture, sensiblement plus haute que la surface critique théorique, s'explique bien par la localisation des variations de teneur en eau.

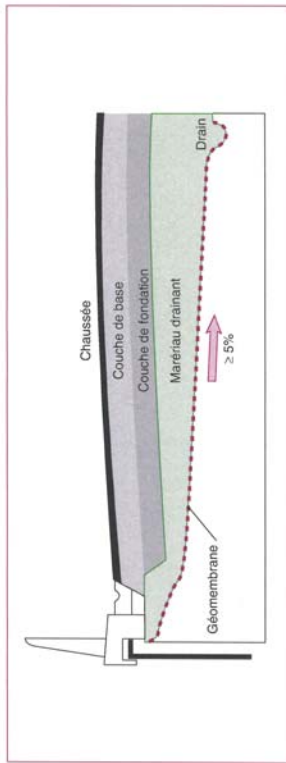


FIGURE 20 - Exemple d'une protection contre les eaux de ruissellement.
(Extrait du guide de conception des ouvrages de soutènement)*

Les infiltrations d'eau peuvent également avoir pour conséquence :

- un entraînement des matériaux fins,
- la pénétration d'agents agressifs pour les éléments géosynthétiques.

Il est donc essentiel de vérifier la conception, l'état et le fonctionnement des systèmes d'assainissement et de drainage.

3.5 Dispositifs de suivi

L'instrumentation sera souvent le seul moyen permettant de faire un diagnostic fiable de l'état d'un ouvrage en remblai renforcé par éléments géosynthétiques (nappes ou bandes) et surtout sur son évolution en fonction du temps. L'instrumentation en place est normalement fonction de l'importance de l'ouvrage (hauteur, risques pour l'utilisateur) et des doutes éventuels que l'on peut avoir sur son comportement.

On peut distinguer l'instrumentation que l'on ne peut mettre en œuvre que pendant la construction, de celle pouvant être rajoutée durant la vie de l'ouvrage, par exemple après une inspection détaillée ou bien après la découverte d'un défaut.

3.5.1 Systèmes de contrôles et de mesures mis en œuvre en cours de construction

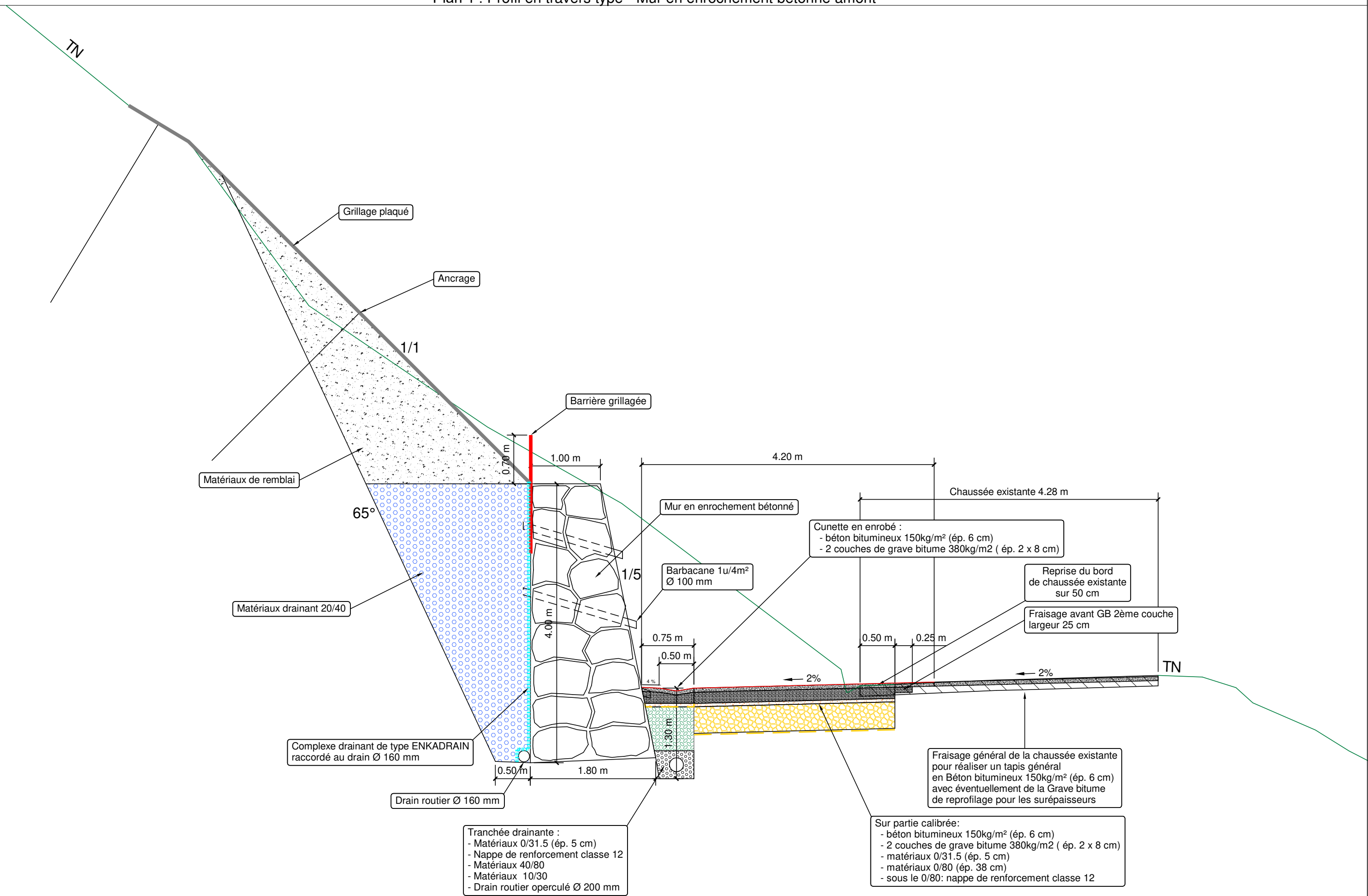
Les capteurs d'allongements ponctuels

Des capteurs de déplacement peuvent être fixés sur les nappes de géotextiles. Mis en place lors de la construction de l'ouvrage, ils permettent de vérifier que la déformation locale du géosynthétique reste inférieure au seuil retenu dans les calculs. Ces mesures donnent des informations sur la mise en tension des nappes pendant la construction et sur les effets des déformations de fluage à long terme.

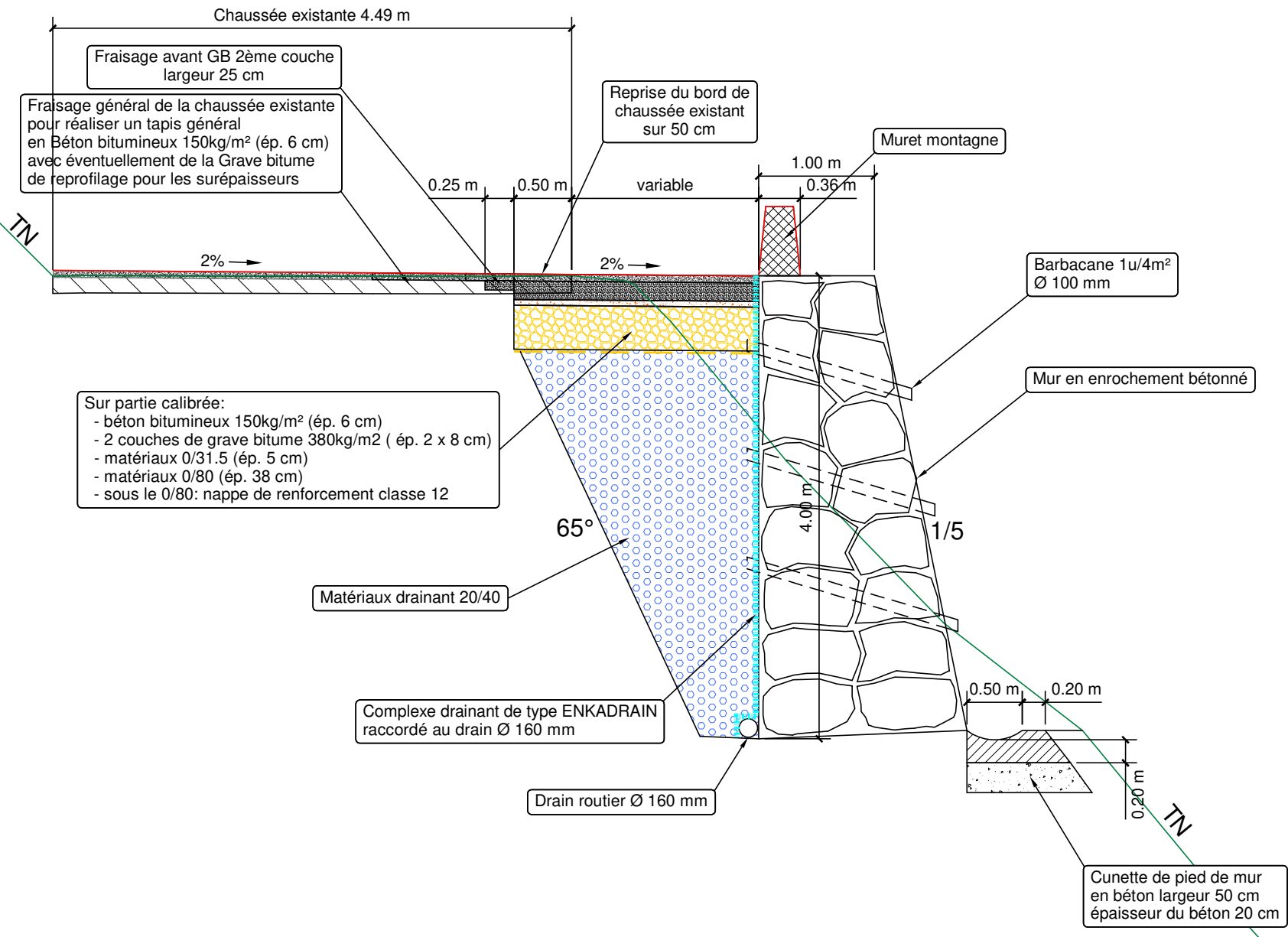
(...)

* Les ouvrages de soutènement - Guide de conception générale - SETRA Bagnoux - 1998, 154 p.

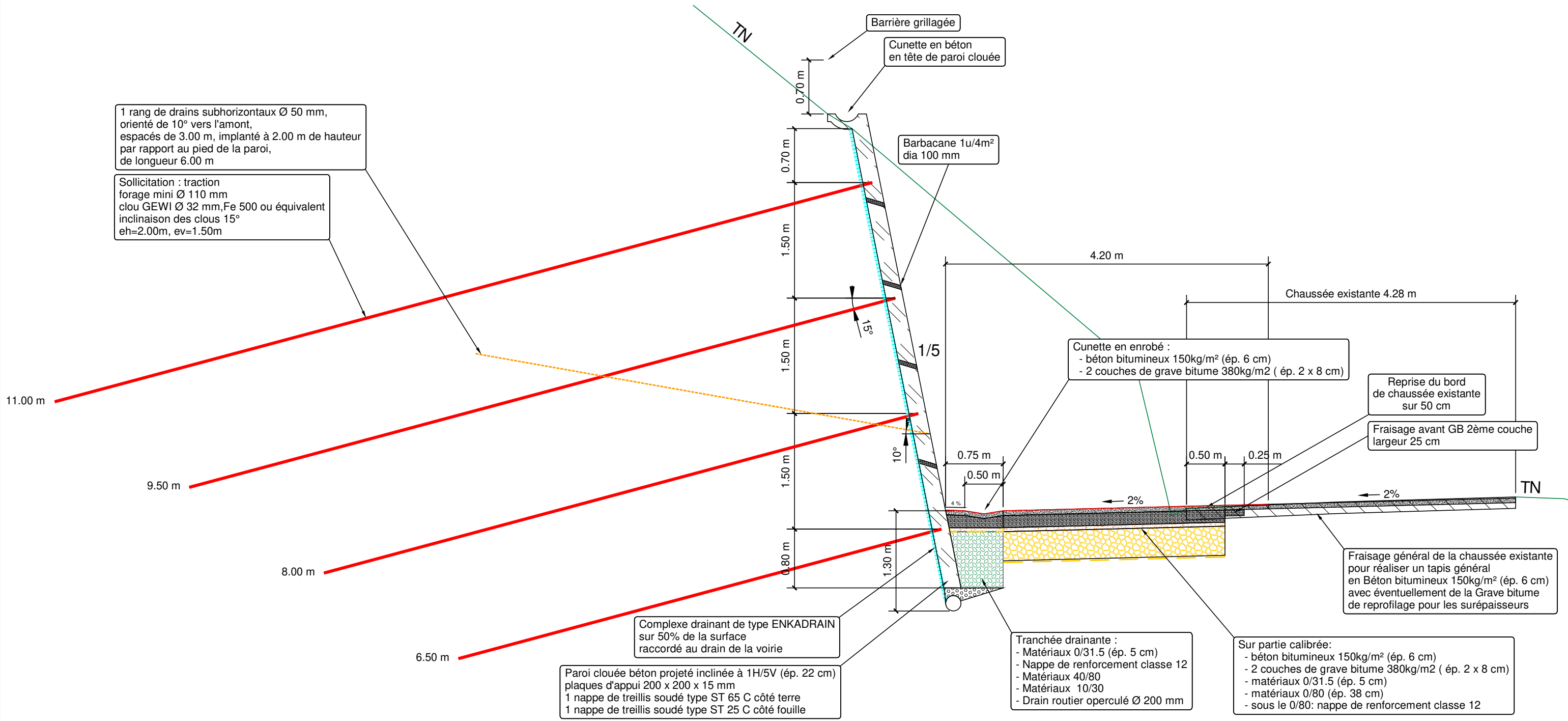
Plan 1 : Profil en travers type - Mur en enrochement bétonné amont



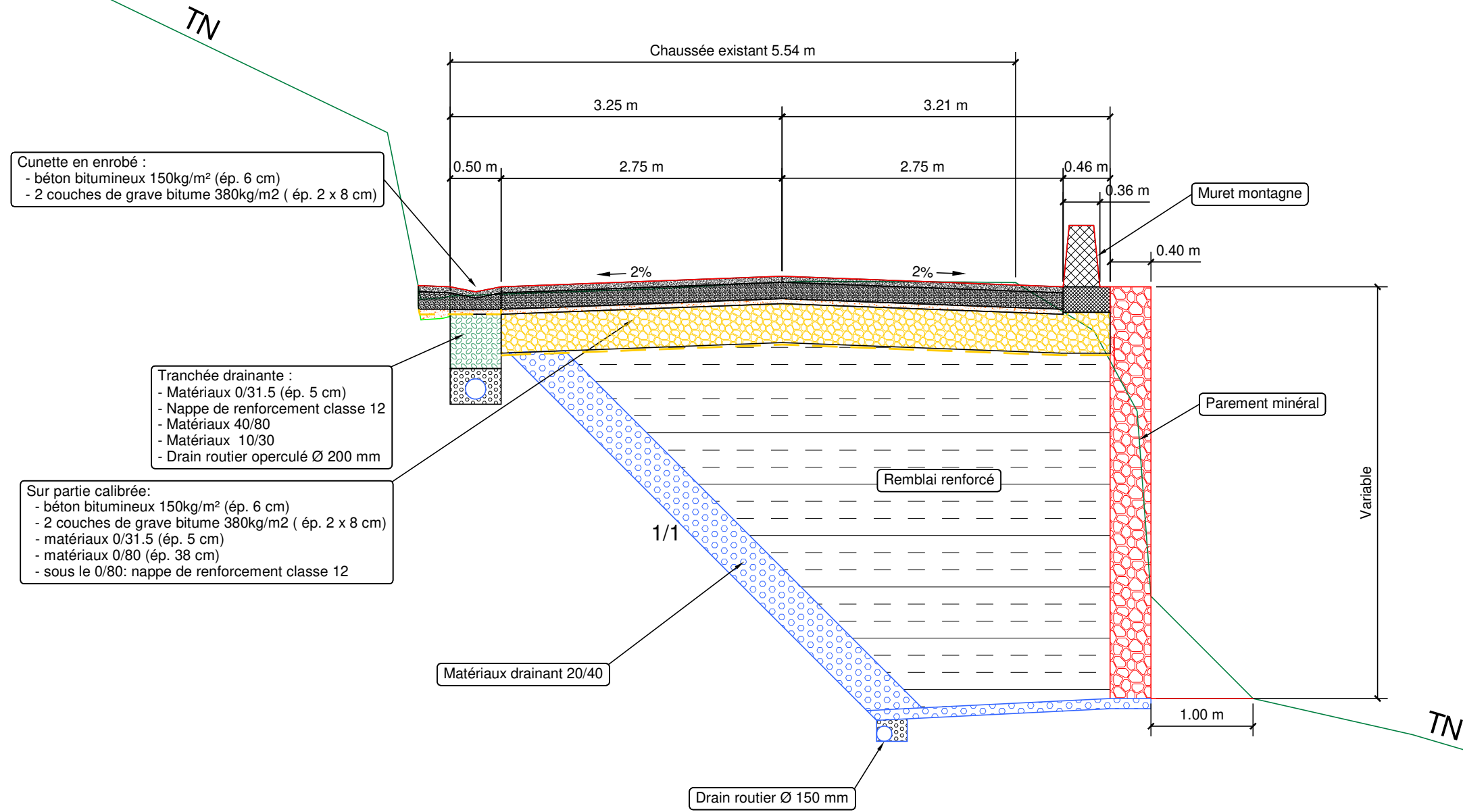
Plan 2 : Profil en travers type - Mur en enrochement bétonné aval

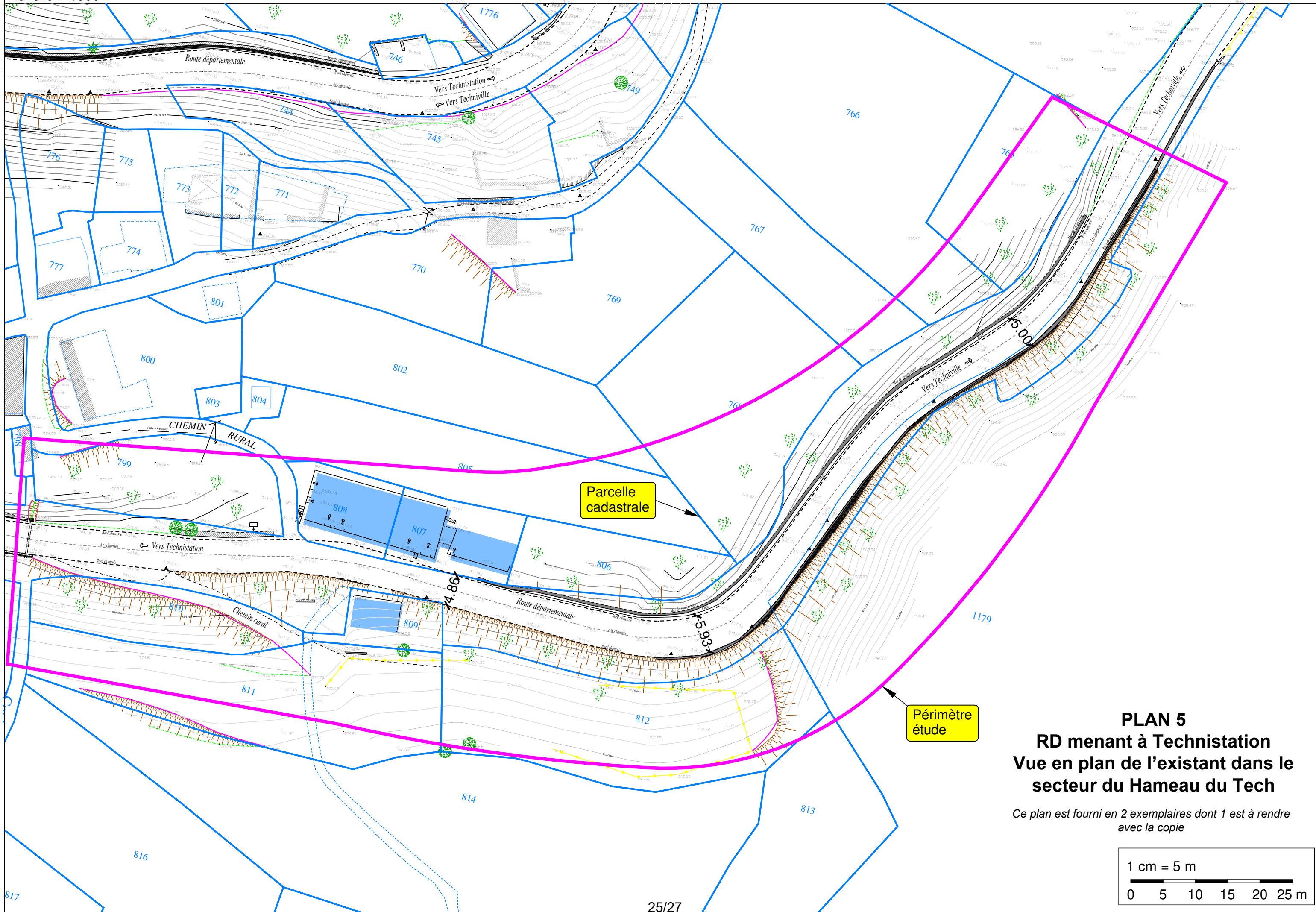


Plan 3 : Profil en travers type - Paroi clouée amont



Plan 4 : Profil en travers type - Section alignement droit - Remblai renforcé



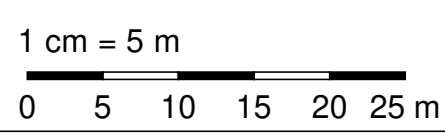


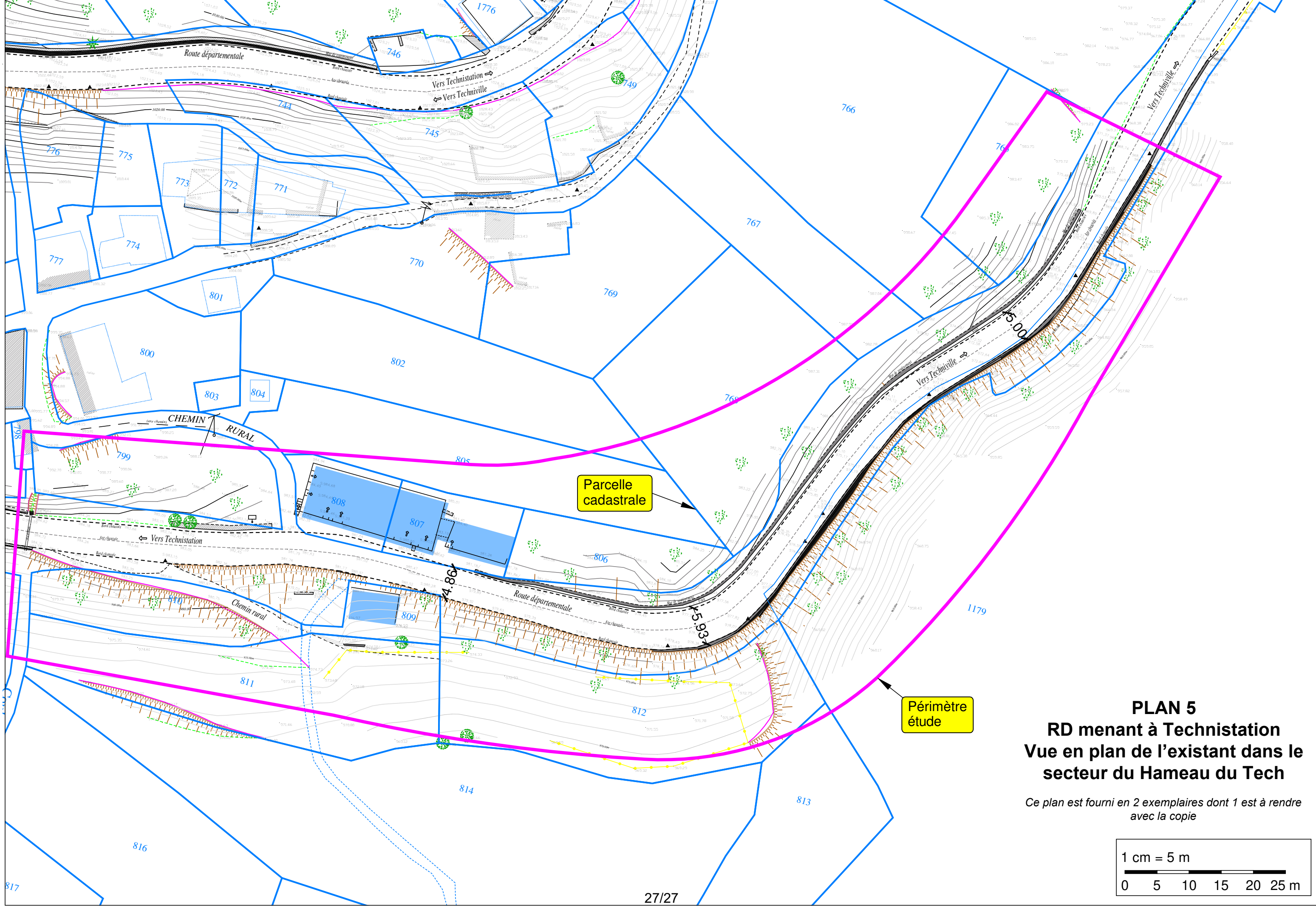
Parcelle cadastrale

Périmètre étude

PLAN 5
RD menant à Technistation
Vue en plan de l'existant dans le
secteur du Hameau du Tech

Ce plan est fourni en 2 exemplaires dont 1 est à rendre avec la copie





Parcelle cadastrale

Périmètre étude

PLAN 5
RD menant à Technistation
Vue en plan de l'existant dans le
secteur du Hameau du Tech

Ce plan est fourni en 2 exemplaires dont 1 est à rendre avec la copie

