

ENTPE 2016/2017
CONCEPTION TECHNIQUE DES
INFRASTRUCTURES ROUTIERES ET FERROVIAIRES
TEST N° 1 du 6 décembre 2016
Partie « Ferroviaire » (8 pts)

Nom :

Prénom :

Groupe :

Nota important :

On arrondira dans le résultat final les vitesses (km/h) à la dizaine inférieure et la longueur (m) des éléments géométriques à la dizaine supérieure.

Il sera tenu compte dans la note finale de la présentation des copies (clarté des explications, unités précisées, arrondis correctement effectués, orthographe et grammaire).

Questions (10 pts) (répondre succinctement mais avec précision)

*

Q1 - Pourquoi introduit-on un dévers dans les tracés ferroviaires? Pourquoi faut-il limiter la valeur du dévers ?.Quelle est cette limite ?

Q2 -A quoi correspond physiquement l'insuffisance de dévers ?

Q3 - Y a t il un devers sur les voies de service ? Pourquoi ?

Q4 - Citer les éléments géométriques utilisés :

a) en tracé en plan

b) en profil en long.

Pour élaborer un tracé ferroviaire .

Q5 - Décrire la corrélation entre la mise en dévers d'une voie ferrée et son tracé en plan.(Faire un graphique)

Q6 – Quelle est la déclivité maximale utilisée sur LGV (ligne à grande vitesse) ? Pourquoi cette déclivité est supérieure à celle utilisée sur lignes classiques ?

Q7 - Quel est le record du monde de vitesse sur rails ? Quelle est la vitesse commerciale maximale des TGV ? Pourquoi ne fait on pas rouler les TGV à des vitesses supérieures à celles actuellement pratiquées ?

Q8 – Quelles sont dans les profils en long les contraintes qui limitent les rampes (= déclivité sens montant) et les pentes (= déclivité sens descendant) ?

Q9 - Quelle est la part approximative du mode ferroviaire en France en volume de trafic voyageurs et fret par rapport à tous les modes de transport .? Comment expliquez vous cette situation ?

Q10- Décrire en quelques lignes quand et comment a été constitué le réseau ferré français.

Exercice 1 (5 pts)

On examine une courbe de rayon 740 m avec un dévers réel de 145 mm.

Déterminer la longueur minimale des raccordements progressifs nécessaires pour une vitesse de 140 km/h, avec les valeurs maximales normales.

Le calcul doit porter d'une part sur la variation de dévers et d'autre part sur la variation d'insuffisance de dévers.

Exercice 2 (5 pts)

On étudie le tracé d'une courbe de rayon $R = 650$ m dont le dévers réel (ou dévers pratique) est de 120 mm .

Elle est parcourue par des trains de voyageurs et des trains de fret .

a) calculer l'insuffisance de dévers pour une vitesse de 120 km/h.

Cette insuffisance est-elle acceptable pour des trains de fret (catégorie 1) en valeur normale ?

b) déterminer la vitesse maximale admissible dans cette courbe avec les paramètres suivants :

- dévers pratique fixé à 150 mm
- insuffisance de dévers nominale pour les trains de catégorie I.

COURBES - FORMULES ET NORMES

Dévers d'équilibre ou dévers théorique
$$dv = 11.8 \times \frac{V^2}{R}$$

Normes d'insuffisance de dévers

(Insuffisance de dévers = dévers théorique – dévers pratique si valeur positive)

Catégories de circulations	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Catégorie I	110	130
Catégorie II	150	160
Catégorie III	160	180

Normes d'excès de dévers

(Insuffisance de dévers = – (dévers théorique – dévers pratique) si valeur positive)

L'excès de dévers est limité à **110 mm** pour tout type de train à sa vitesse commerciale.
Il peut être exceptionnellement de 130 mm.

Limitation de la valeur du dévers

Dévers maximum nominal : 160 mm

Pente relative des rails (gauche g)	Dévers maximum	Rayon maximum d'application
$g \leq 2 \text{ mm/m}$	$\frac{R - 100}{2}$	420 m
$2 < g \leq 3 \text{ mm/m}$	$\frac{R - 150}{2}$	470 m
$3 < g \leq 4 \text{ mm/m}$	$\frac{R - 250}{3}$	730 m

RACCORDEMENTS - FORMULES ET NORMES

Les raccords entre alignements et courbes

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V}{L_{RP} \times 3.6}$$

$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ est la variation d'insuffisance de dévers (en mm/s)

I est l'insuffisance de dévers en pleine courbe

V est la vitesse du train (en km/h)

L_{RP} est la longueur d'application de la variation d'insuffisance (en m)

	Variation de dévers (mm/m)	Variation d'insuffisance de dévers (mm/s)
Maximum conseillé	-	55 mm/s
Maximum normal	180/V	75 mm/s
Maximum exceptionnel	216/V	90 mm/s

ENTPE 2016 /2017

CONCEPTION TECHNIQUE DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES ET FERROVIAIRES

TEST N° 1 – Énoncé

Partie « Route » (12 pts)

NOM :	Prénom :	Groupe :
-------	----------	----------

- Toutes les questions sont indépendantes.
- Les notes prises en cours sont autorisées ainsi que les corrigés des TD.

Note test /10	Note TD / 2	Total / 12
---------------	-------------	------------

Note	Barème	Questions
	0,25	1. Quelle est la longueur du réseau routier national non concédé en France ? ☐ 3 000 km ☐ 10 000 km ☐ 20 000 km ☐ 50 000 km
	0,25	2. Dans le cadre d'une opération de construction d'une infrastructure routière, pour pouvoir acquérir un terrain par voie d'expropriation, le projet doit être déclaré d'utilité publique : ☐ Oui, toujours ☐ Non, jamais ☐ Oui, mais seulement si le projet est d'un montant supérieur à 5 millions d'euros TTC ☐ Oui, sauf si le terrain est en zone agricole <i>Note : 1 seule réponse possible</i>
	0,25	3. Vous êtes responsable d'un bureau d'études routier et vous devez étudier un projet routier sur le réseau routier national. S'agissant de la typologie, le futur gestionnaire de la voie hésite entre une route « Express » et une route 2 × 1 voie. Que lui répondez-vous ? Expliciter votre réponse.

0,50	4. Distance d'arrêt
0,25	a) De quoi se compose la distance d'arrêt ?
0,25	b) Calculez la longueur de la 1ère partie de cette distance pour un usager ayant une vitesse initiale de 90 km/h.
0,25	5. Dans l'hypothèse où les contraintes du site ne permettent pas d'introduire une clothoïde en amont d'un virage déversé, la variation du dévers s'effectue dans le virage : ☐ Oui ☐ Non

2,00	6. Tracé en plan et profil en long Vous êtes responsable d'un bureau d'études et dans le cadre de vos missions, vous devez assurer le contrôle d'un projet routier. Ce contrôle concerne, entre autres, le tracé en plan d'un premier tronçon joint en annexe 1 et le profil en long d'un deuxième tronçon joint en annexe 2. En vous aidant des pages 63 à 68 ci-jointes extraites de l'ARP, lister les écarts aux règles de conception. La route est de type 4 « Route ordinaire » de catégorie R80.
1,00	a) Écarts aux règles de conception du tracé en plan <i>Nota : Ne pas s'attarder sur les aspects calculatoires (longueur des AD et des clothoïdes), mais rechercher les écarts au niveau de l'enchaînement des éléments géométriques.</i>
1,00	b) Écarts aux règles de conception du profil en long

1,00	7. Visibilité en carrefour
0,50	a) Sur le plan ci-dessous du carrefour en T avec Cédez le Passage sur la voie secondaire, tracer les conditions de visibilité à respecter pour les usagers de la route secondaire. Préciser où se situent l'observateur et le point observé en considérant que la vitesse V_{85} sur la voie principale est de 90 km/h.
0,50	b) Cette signalisation vous paraît-elle adaptée ? Expliciter votre réponse.
1,00	8. Visibilité sur obstacle en profil en long
0,50	a) En vous aidant des pages 76, 77 et 128 ci-jointes extraites de l'ARP, expliquer pourquoi les conditions de visibilité sur obstacle en profil en long dans les conditions désignées ci-après ne sont pas respectées ? • $V_{85} = 90$ km/h • Rayon en angle saillant $R = 3\,000$ m • Tracé en plan en courbe avec $R < 5V$

	0,50	b) Que proposez-vous pour remédier à cette situation ?
	0,25	9. Vous êtes responsable d'un bureau d'études routier et vous devez étudier une route de type 3 « Artère interurbaine ». Un de vos collaborateurs qui travaille sur la problématique des échanges, vous propose de réaliser un carrefour dénivelé au droit de l'intersection avec une voie de type 4 « Route ». Que lui répondez-vous ? Expliciter votre réponse.

0,25	10. L'essai VBS permet de déterminer : ☐ la fraction argileuse d'un sol ☐ la fraction sableuse d'un sol ☐ la teneur en eau d'un sol
0,25	11. Un essai Proctor permet de déterminer : ☐ la classe de la plate-forme des terrassements ☐ la teneur en eau à laquelle le sol se compacte le mieux ☐ la plasticité du sol ☐ la compressibilité du sol
0,75	12. Couche de forme 0,50 a) Quels sont les rôles de la couche de forme, à court terme et à long terme (en citer au moins 2 pour chacun des cas) ? 0,25 b) Cette couche est-elle systématique ? Expliciter votre réponse.

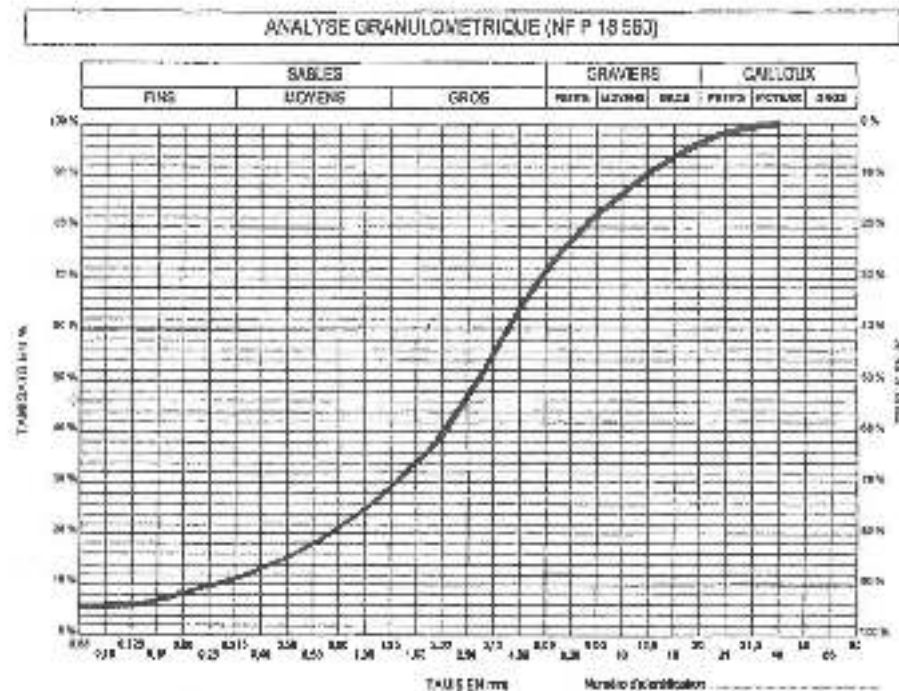
1.00 13. Identification des sols (GTR)

Un projet de déviation d'agglomération nécessite la réalisation de terrassements en déblais. Les terrains rencontrés ont fait l'objet d'essais de laboratoire.

2 sols ont été identifiés.

Les résultats des essais sont les suivants :

Sol 1



- Valeur au bleu VBS : 6
- Los Angeles : 50
- Micro Deval humide MDE : 55
- W_{nat} (%) : 7.7
- W_{OPN} (%) : 11

Sol 2

- $D_{max} \leq 50$ mm
- Passant à 80 microns = 60 %
- VBS = 0,50
- $IP_l = 5$
- W_{-4} (%) : 18
- W_{OPN} (%) : 20

Donnez la classification GTR complète de ces 2 sols en fonction des résultats.

2,00	14. Compactage Dans le cadre d'un chantier, vous devez vérifier la qualité du compactage obtenu sur le remblai constitué de matériaux A2h. Le compacteur utilisé est un compacteur statique à pied dameur de type SP1 d'une largeur de 1,94 m. L'énergie de compactage demandée est « moyenne ». Les relevés que vous avez récupérés pour les deux derniers jours de chantier sont les suivants : <table> <tr> <th></th><th>Jour 1</th><th>Jour 2</th></tr> <tr> <td>• Distance parcourue par le compacteur (km)</td><td>30</td><td>50</td></tr> <tr> <td>• Volume de remblais mis en œuvre (m³)</td><td>3 000</td><td>3 200</td></tr> <tr> <td>• Vitesse du compacteur (km/h)</td><td>8,00</td><td>8,00</td></tr> <tr> <td>• Épaisseur moyenne des couches compactées (m)</td><td>0,20</td><td>0,30</td></tr> </table>		Jour 1	Jour 2	• Distance parcourue par le compacteur (km)	30	50	• Volume de remblais mis en œuvre (m ³)	3 000	3 200	• Vitesse du compacteur (km/h)	8,00	8,00	• Épaisseur moyenne des couches compactées (m)	0,20	0,30	
	Jour 1	Jour 2															
• Distance parcourue par le compacteur (km)	30	50															
• Volume de remblais mis en œuvre (m ³)	3 000	3 200															
• Vitesse du compacteur (km/h)	8,00	8,00															
• Épaisseur moyenne des couches compactées (m)	0,20	0,30															
1,00	a. En tenant compte de tous les éléments précités et en vous aidant des fiches ci-jointes extraites du G.T.R., démontrer que le compactage a été mal réalisé le jour 1. Expliciter votre réponse en précisant la (ou les) donnée(s) qui n'est (ne sont) pas correcte(s).																

1,00	b. Qu'en est-il pour le jour 2 ?
------	----------------------------------

3.1. Tracé en plan

Le tracé en plan d'une route doit permettre d'assurer de bonnes conditions de sécurité et de confort.

L'accentuel de passage est d'autant plus important que le rayon des courbes est plus faible, que l'on suppose la courbe partante à la vitesse maximale réglementaire ou à la vitesse d'adéquation adaptée par les usagers (plus faible pour les petits rayons). Cela conduit, en fonction de la catégorie de route, à fixer des rayons minimaux.

Cependant, l'utilisation fréquente de géométries de grands rayons de courbes peut se révéler néfaste (jumelle les cas des routes à deux chaussées avec courbes déviées et sans accès directs) en aboutissant à une limitation des possibilités de dépassement sûr, et en encourageant les usagers à pratiquer une vitesse continuellement élevée, déconseillée à la sécurité et notamment à la sécurité dans les carrefours et les quelques points dangereux (accidents) à la vitesse, diminution de la vigilance).

De plus, dans certaines situations (travaux notamment ou tracé situé en tunnel), les courbes de faible rayon peuvent créer des problèmes de visibilité, ce qui conduit à ne les utiliser qu'en respectant certaines contraintes relatives à l'enchaînement des éléments du tracé en plan.

La mise des routes en relief difficile se situe dans le chapitre 6 ; par ailleurs, les éléments qui suivent ne concernent pas les routes à 2 chaussées avec chaussées déviées et sans accès directs, qui font l'objet de documents spécifiques (cf. bibliographie interne "Routes à deux chaussées avec chaussées déviées et sans accès directs").

a) Valeur des rayons, conception générale du tracé

Pour chaque catégorie, les valeurs limites des rayons, qui traduisent principalement des objectifs de confort et de sécurité, sont les suivantes :

CATÉGORIE de ROUTE	R 50	T 50 ou R 50	T 150
Rayon minimal : R _{min} (en m)	120	240	420
Rayon maximal déconseillé : R _{max} (en m) (1)	500	500	1200

(1) R_{max} : rayon ci-dessus duquel la visibilité de nuit est assurée en l'absence de tout obstacle en vis-à-vis.

« Pour les routes neuves :

1. garantir en tout, pour les projets de routes neuves :

1. d'éviter les points en courbure ou grandes courbes (tracé de type autoroute),

2. de recourir de préférence à des alignements droits (au moins 50 % du linéaire pour permettre l'implantation de crénelaux et de zones de visibilité de dévirement dans de bonnes conditions) alternant avec des courbes moyennes (le rayon maximal de rayon minimal, et ne dépassant guère le rayon son tracé),

3. d'éviter, en cas d'alignement droits engendrés (plus de 1 km) et quelle que soit la catégorie, les courbes de rayon inférieur à 200 m, de même qu'en cas de longues courbes rapides ; en cas d'alignement d'alignement plus courts (0,5 à 1 km) éviter les courbes de rayon inférieur à 200 m.

4. de respecter, lorsque deux courbes se succèdent (même séparées par un alignement droit, quelle que soit sa longueur) la condition suivante : R_1 et R_2 : $0,67 \leq R_1/R_2 \leq 1,5$ sauf si R_1 et R_2 sont supérieurs à 500 m.

5. d'enchaîner les courbes en « v », en « C », et à sens (voir point c).

Ces particularités :

• *cas de très long alignement droit* (5 à 10 km et plus) : déconseillé en tout cas, il est parfois difficilement évitable (tunnel, etc.). Il est souhaitable de rechercher un rayon d'au moins 400 à 500 m, voire davantage selon les cas, pour un virage qui succède à un alignement d'alignement,

• *cas de faibles rayons* (inférieurs à 120 m) : dans ce cas, où l'on se tient pas exemple des valeurs minimales de rayon du tableau ci-dessus, les conditions d'ordonnement 3 et 4 s'appliquent, mais doivent être complétées par une indication : si un virage de faible rayon ($R < 120$ m) fait suite à un alignement droit de moins de 500 m de longueur L, il est recommandé dans la mesure du possible de vérifier que $R > L/4$ (m).

« Pour l'aménagement des routes existantes :

Sous certaines conditions, des valeurs inférieures aux valeurs minimales du tableau ci-dessus peuvent être adoptées (2). Les recommandations 1 et 2 sont généralement sans objet mais les recommandations 3, 4 et 5, qui concernent directement la sécurité, sont à prendre en considération. Elles doivent être appliquées en tenant compte des résultats du diagnostic de sécurité (analyse des accidents notamment).

Ces particularités :

Les principes de dimensionnement et de vérification des cas particuliers (tracé long alignement droit, faibles rayons) sont décrits dans la discussion ci-après.

(1) R_{max} : rayon ci-dessus duquel la visibilité de nuit est assurée en l'absence de tout obstacle en vis-à-vis.

(2) Ces effets de réduction de rayon sont justifiés principalement pour des raisons de confort et non seulement de sécurité : un faible rayon pour les virages est en principe à la vitesse de rayon comparable à la norme de l'ordonnement des courbes (le rayon ci-dessus duquel la visibilité de nuit est assurée en l'absence de tout obstacle en vis-à-vis).

Un aménagement de ce type vise avant à améliorer la sécurité d'un tracé existant devant les nouvelles conditions.

- l'augmentation du rayon des courbes de moins de 250 m de rayon situées en section oblique (pour des courbes de plus de 500 m ; le rayon peut être porté à 150 m, 200 m ou plus selon les cas (pour les courbes existantes en relief difficile, de telles courbes peuvent éventuellement être traitées autrement, notamment par le moyen du balisage, ou de pas de modification de l'alignement horizontal) ;
- la vérification des courbes de moins de 250 m de rayon (rayon : élimination des variations brusquées de la courbure dans le virage devant être supprimées ; la régularisation de la courbure s'applique pas nécessairement aux rayonnements, au rayon moyen ;
- la vérification de la visibilité en approche des virages de rayons inférieurs à 250 m (cf. chapitre 4) ;
- la correction d'erreurs dûes au tracé (ou autres) mis en évidence par l'analyse des accidents (difficultés de sécurité) ;

Deux autres remarques peuvent être mentionnées concernant l'aménagement de tracé des routes existantes :

- lors de l'aménagement ponctuel d'un virage, il n'est pas toujours souhaitable d'augmenter considérablement le rayon (pour augmenter le rayon minimal de la plateforme par exemple), ce qui peut entraîner un autre virage difficile en amont ou en aval, car les conditions issues alors de ce premier virage la note en de la page précédente) ;
- les très grands alignements droits (de l'ordre de 3 à 10 km et plus) qui l'on peut rencontrer sur des routes existantes peuvent poser des problèmes de sécurité en provoquant l'assoupissement des conducteurs s'il existe un trafic de longue durée (en particulier) ; ces problèmes ne posent pas une solution modification de tracé et peuvent être évités par l'aménagement des abords de la route : par exemple dispositifs séparés sur des accotements suffisamment larges et bien traités, pour favoriser le "réveil" de l'usager lorsqu'il sera retour sur la courbe ;

b) Tracé et possibilités de dépassement (routes à 2 voies, ou 3 voies sans affectation de la voie centrale)

Les remarques concernant la visibilité de dépassement sont à prendre en compte sur la base des indications du chapitre 4.

En pratique, pour atteindre les objectifs fixés dans le chapitre 4, il est souhaitable de prévoir des zones de tracé possédant des qualités pour répondre aux exigences relatives à la visibilité de dépassement. Plus vite il est nécessaire de combiner tracé en plan rectiligne, profil et long rectiligne ou écarté (ou courbe traitée avec rayon et angle minimaux supérieurs à 20 000 mètres environ), et possible sur une longueur de l'ordre de 300 mètres au moins (pour que la visibilité de dépassement de 500 mètres soit assurée pendant quelques secondes de minimum relatif).

c) Succession des courbes et des raccourcissements

Pour les routes nouvelles, le tracé en plan est constitué d'alignements droits, de courbes circulaires et de courbes de raccordement pour les courbes dont le rayon est inférieur à l'indiqué au point 3.1 du chapitre 4, dont la courbure varie linéairement le long de la développée, pour le dimensionnement des chaussées, voir point 3.2 qui concerne les raccourcissements (cours 3.5).

Les courbes de raccordement ne peuvent être utilisées qu'en tant que raccordement entre un alignement droit et une courbe circulaire, ou entre deux courbes circulaires de sens opposés.

Deux courbes de même sens doivent être séparées par une longueur d'alignement droit (non compris les raccourcissements progressifs) au moins égale à la distance L parcourue pendant 3 secondes à la vitesse V_{85} correspondant au plus grand des rayons des deux courbes.

Cette longueur L vaut $3 \times V_{85}$ avec V_{85} exprimé en mètres/seconde, ou L exprimé en mètres. La vitesse V_{85} peut être obtenue par le calcul (formules et abaque données au chapitre 4), ou par une simulation automatique faite par le logiciel "LIVAT" (voir l'annexe 10ème "Vitesse, visibilité"). Pour simplifier, dans les cas courants on peut prendre $L = 25$ m, ce qui correspond à 3 secondes à 90 km/h.

Sont à proscrire notamment :

- les courbes constituées d'arcs de cercles consécutifs de rayons différents ;
- les courbes constituées de courbes circulaires de même sens accolées par un ou plusieurs arcs de cercles (courbes dites "en OVE" ou "en C"), ou autres courbes de raccordement ;
- les courbes constituées de deux arcs de cercles accolés dans deux alignements droits (courbes dites "à contact") ;

Ces dispositions limitent en effet des variations de courbure susceptibles de surprendre l'usager ou de rendre difficile l'appréhension de la courbure et de dégrader la sécurité.

On remarque, les courbes dites "en S" (raccordement de deux courbes circulaires de sens opposés par deux arcs de cercles) peuvent être utilisées. Lorsque ces deux courbes circulaires ne sont pas raccordées par des raccourcissements progressifs (cas de courbes non déversées), il faut prévoir un alignement droit d'une cinquantaine de mètres avant dans le raccordement des deux courbes.

d) Valeur des dévers

CATÉGORIE DE ROUTE	80	100 à 130	150
Rayon minimum (mètres) (voir 3.1)	400	500	600

(1) Valeur de rayon ou distance depuis la courbe au début ou au fin d'un virage (voir les points 3.1 et 3.2 du chapitre 4, annexe 10ème "Vitesse, visibilité").



TRACÉ EN PLAN ET PROFIL EN LONG

Les courbes de rayon supérieur au type 3 Rdn ne sont généralement pas déversées vers l'intérieur du virage et conservent un profil initial.

Les courbes de rayon compris entre Rdn et Rdn (rayon au dévers minimal) sont déversées vers l'intérieur du virage avec une pente de 2,5 %.

Les courbes de rayon R inférieur à Rdn sont déversées vers l'intérieur du virage avec une pente inversement d'autant la valeur du Rdn par interpolation linéaire en fonction de R/Rdn avec 2,5 % pour Rdn et 7 % pour le rayon minimal Rm (voir l'annexe 1 : "Dévers").

Un cas de courbure particulière le dévers peut être limité à 5 %, même au rayon initial (voir également le chapitre 6 sur ce sujet).

e) Raccordements progressifs

Les courbes de rayon R initial à Rdn sont limitées par des raccordements progressifs : ceux-ci sont caractérisés par des arcs de cercle.

La longueur de l'arc de cercle est donnée par le tableau suivant. Les déviations et les explications relatives aux raccordements progressifs sont reportés en annexe 2 : "Raccordements progressifs".

Il s'agit de longueurs minimales, mais il n'est pas recommandé de recourir à des valeurs supérieures, qui risquent de rendre l'appréhension de la courbe finale plus difficile pour l'usager.

Par ailleurs, dans certains cas difficiles, il est possible de recourir à des longueurs plus faibles (voir de supprimer le raccordement progressif dans certaines situations, notamment sur les routes en relief difficile, voir chapitre 6).

Profil de rayon	Longueur de l'arc de cercle
voies à 2 voies	$L = \inf(1600^{0,4}, 600)$
voies à 3 voies	$L = \inf(1500^{0,4}, 600)$
voies à 2 et 3 voies (de type B)	$L = \inf(1200^{0,4}, 350)$

f) Variation du dévers

Pour une route bidirectionnelle, le basculement de la chaussée détermine celui de l'axe de celle-ci ; pour une route à chaussées séparées, il se fait, d'un côté du bord intérieur de chaque chaussée.

TRACÉ EN PLAN ET PROFIL EN LONG

La variation du dévers se fait dans le long du raccordement progressif.

Cependant, la nécessité d'un basculement des axes de surface peut être rendue conditionnelle (pente longitudinale positive de 0 %, et déviations de longueur supérieure à $14 \times (R_d - R_m)$ mètre) à limiter l'ouverture de la zone de variation de dévers à $14 \times (R_d - R_m)$; cette ouverture n'intervient alors que sur la partie terminale de la courbe lorsque celle-ci est dans la longueur supérieure (R_d) et si, également, en % et en valeur algébrique, la pente maximale initiale et le dévers de la courbe.

3.2.Profil en long

a) Caractéristiques géométriques

Le profil en long est composé d'éléments géométriques caractérisés par leur déclivité (pente ou rampes) et des raccordements circulaires (ou paraboliques) caractérisés par leur rayon.

Pour des raisons de confort dynamique et de confort visuel notamment, les paramètres géométriques du profil en long doivent respecter les caractéristiques limites données dans le tableau ci-après :

CATÉGORIE DE ROUTE	R 40	T 100 à R 100	T 100
Déclivité maximale	7,9 %	6,9 %	7,9 %
Rayon minimal en angle saillant (en m)	1200	2000	2000
Rayon maximal en angle creux (en m)	1200	2200	2500

En angle saillant, ces valeurs minimales se valent par ailleurs 0 pour les conditions de visibilité de sécurité, qui dépendent des classes pratiques, et doivent être prises en compte conformément aux indications du chapitre 4 ; ces conditions peuvent conduire à adopter, en angle saillant, des rayons supérieurs à ceux qui sont présentés ci-dessus.

Par exemple, sur une route appartenant à la catégorie R40, où la vitesse pratique V_{85} sera souvent de l'ordre de 50 km/h, les exigences de visibilité pour le point 4.2.2 et l'annexe 3 : "Visibilité" conduisent à utiliser un rayon en angle saillant d'environ 3 000 m.

(1) Des valeurs de pente supérieures à 5 % sont susceptibles de poser problème de sécurité, notamment si la longueur de la pente est importante.

4.2. Exigences de visibilité

La distance de visibilité nécessaire dépend généralement de la vitesse pratiquée, du temps de réaction, variable selon le type d'équipement (pneus ou même garde-robabilité, etc.) et selon le type de situation (au virage, sur pétales, etc.), et de la distance nécessaire à la manœuvre (freinage, modification de trajectoire, écartement, etc.).

La vitesse V_{95} à prendre en compte doit être légèrement inférieure au niveau de la limite de vitesse (90 km/h dans le cas général) sauf pour ce qui est du calcul de la visibilité au niveau des points de conflits.

a) Visibilité sur un virage

Le conducteur doit disposer à l'approche du virage d'une visibilité telle qu'il puisse percevoir le virage et modifier ses comportements (trajectoire, écartement, vitesse) à temps.

La distance nécessaire peut être estimée dans les cas suivants à une distance correspondant à 3 secondes précédées à la vitesse V_{95} pratiquée au moment du virage (au point d'entrée), soit $3 \times V_{95}$ si V_{95} est exprimée en m/s et :

Préconisations : hauteur 1 m, situé à 3 m du bord droit de la chaussée.

Préconisation : hauteur 0 m, situé sur l'axe de la chaussée, au début de la partie circulaire du virage.

b) Visibilité sur un obstacle situé sur la chaussée

La probabilité de présence sur la chaussée d'un obstacle fixe de faible épaisseur susceptible de poser un problème de sécurité est très réduite.

Un événement un peu plus probable est la présence d'un véhicule arrêté (accident, panne de moteur, etc.), en cas de déviation, la présence d'un piéton.

Il est donc nécessaire d'assurer la visibilité à une distance permettant au conducteur de s'arrêter avant le véhicule de cet objet, en chaque point de l'axe ; dans ce cas, la distance de visibilité doit être supérieure à la distance d'arrêt.

Préconisations : hauteur 1 m, situé à 2 m du bord droit de la chaussée.

Préconisations : hauteur 0,30 m (pour un objet d'arrêt), situé sur l'axe de la voie de circulation concernée (au point d'entrée) ; les obstacles situés à 2 m du bord droit de la chaussée. Toutefois pour les routes nationales à double file de circulation, on peut envisager de réduire cette hauteur à 0,15 m.

(1) Pour les cas de points de conflits (R+120 m), ou au-delà de 120 m, les points de conflits doivent être situés à une distance de visibilité au minimum de $1,5 \times V_{95} + 1 \times V_{95}^2 / 2$ s. La vitesse V_{95} exprimée en km/h et la distance de visibilité en mètres (soit V_{95}^2 la distance de virage en mètres).

La distance d'arrêt est composée de la distance de freinage (distance parcourue pendant l'action de freinage qui fait passer la vitesse de V_{95} à 0 dans des conditions conventionnelles de chaussée mouillée) augmentée de la distance parcourue pendant le temps de réaction (pris égal à 2 secondes dans le cas d'une réaction de freinage devant un obstacle inattendu).

En outre, si $R < 50$ m (ou km/h), la distance de freinage est majorée de 25 %.

La distance d'arrêt en fonction des vitesses V_{95} est donnée par le tableau suivant :

V_{95} (en km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100
d (en m/s)	15	25	35	52	68	92	108	120	142
d (en mètres) (en m)	15,5	26,5	40	55	72	95	121	151	181

Dans l'absence des données, si les déviements latéraux susceptibles pour assurer la visibilité à la distance d'arrêt conduisent à des coûts élevés, on cherche à obtenir une distance de visibilité correspondant à la distance d'arrêt en type droit.

Par ailleurs, si les déviements latéraux susceptibles pour assurer la visibilité à la distance d'arrêt conduisent à des coûts élevés, on peut envisager de réduire ces déviements à une valeur en aucun cas inférieure à 3 m, compte tenu du fait de la chaussée, et assurer une visibilité permettant une manœuvre d'arrêt avant l'obstacle (la distance de visibilité correspondant alors à $3,5 \times V_{95}$, la vitesse V_{95} étant exprimée en m/s).

Dans le cas contraire, il est indispensable de prévoir un aménagement visant à améliorer la visibilité des chaussées des usagers non motorisés et offrant aux autres une possibilité d'arrêt, de façon à limiter la probabilité de présence de piétons ou de véhicules arrêtés (ou très lents) sur la chaussée.

Dans tous les cas, lorsque la visibilité correspondante à la distance d'arrêt en route n'est pas obtenue, il convient de prévoir une réduction locale de la vitesse limite autorisée.

c) Visibilité dans un carrefour plan ordinaire ou dans un accès

L'usage de la route non prioritaire ou de l'accès doit disposer du temps nécessaire pour s'informer de la présence d'un autre usager sur la route prioritaire, décider de sa manœuvre, décider et réaliser sa manœuvre de traversée, avant qu'un véhicule prioritaire initialement marqué ne survienne.

Il est nécessaire pour cela qu'il soit à une distance correspondant à 3 secondes (de préférence, sinon 6 s) précédées de la vitesse V_{95} pratiquée sur la route prioritaire. Soit $3 \times V_{95}$ ou $6 \times V_{95}$, la vitesse V_{95} étant exprimée en m/s.

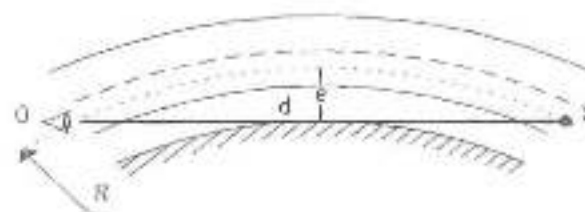
Sur une route à 3 voies, ou à deux fois deux voies comprenant un aménagement central (d'une largeur standard pas 5 m à 6 m), ces vitesses sont à porter respectivement à 9 et 7 secondes.

Préconisations : hauteur 1 m, situé sur la route secondaire en sens de 4 m par rapport au bord de la chaussée principale.

Préconisations : hauteur 1 m, situé sur la route prioritaire au bord de la voie secondaire (voies de gauche par rapport au sens de circulation) et la route prioritaire ou bidirectionnelle pour une distance de 3 secondes.

c) Distance de visibilité en fonction des masques latéraux et des masques du profil en long (dans les cas simples)

• Masques latéraux



O, e, et OX = d sont liés par la relation : $e = d^2 / 4R$

R : rayon de la trajectoire

e : décalage latéral

d : distance de visibilité

• Masques du profil en long



R, h, x et OX = d sont liés par la relation : $R = 0,5 d^2 / (h^{0,5} + x^{0,5})^2$

R : rayon du profil en long

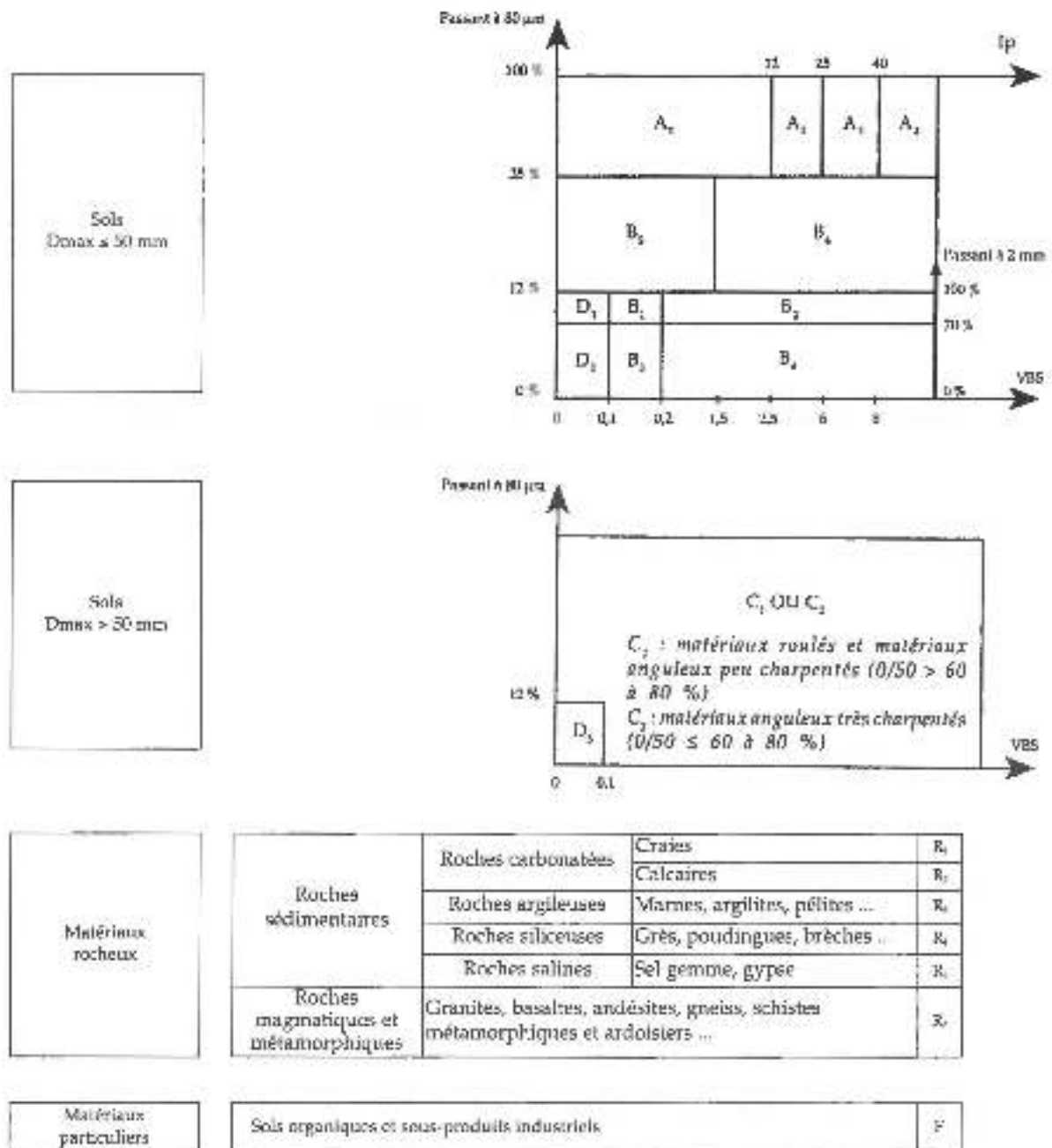
h : hauteur du point d'observation

x : hauteur du point observé

d : distance de visibilité

Extrait GTR

Tableau synoptique de la classification des matériaux selon leur nature



Classe A

SOLS FINS

Classement selon la nature					Classement selon l'état hydrique	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Caractères principaux	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe
D _{max} ≤ 50mm et tamisat à 80µm ≤ 25 %	A sols fins	VBS ≤ 2,5 ou I _p ≤ 12	A	Ces sols changent brusquement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau, en particulier lorsque leur w _L est proche de w _{cr} . Le temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est relativement court, mais la perméabilité pouvant varier dans de larges limites selon la granulométrie, la plasticité et la compacité, le temps de réaction peut tout de même varier assez largement. Dans le cas de ces sols fins peu plastiques, il est souvent préférable de les identifier par la valeur du biseau de méthyène VBS, compte tenu de l'imprécision attachée à la mesure de l'Ip.	$IPI \leq 2$ ou $w_L \leq 1,25 w_{cr}$ $5 \leq IPI \leq 8$ ou $1,10 w_{cr} \leq w_L \leq 1,25 w_{cr}$ $8 \leq IPI \leq 15$ ou $0,9 w_{cr} \leq w_L \leq 1,10 w_{cr}$	A ₁ ll A ₁ l A ₁ m A ₁ s
			A ₂	Le caractère moyen des sols de cette sous-classe fait qu'ils se prêtent à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement (si la teneur en eau n'est pas trop élevée). Dès que l'Ip atteint des valeurs ≥ 12, il convient de construire le critère d'identification le mieux adapté.	$IPI \leq 2$ ou $I_p \leq 0,9$ ou $w_L \leq 1,3 w_{cr}$ $2 \leq IPI \leq 5$ ou $0,9 \leq I_p \leq 1,05$ ou $1,1 w_{cr} \leq w_L \leq 1,3 w_{cr}$ $5 \leq IPI \leq 10$ ou $1,05 \leq I_p \leq 1,2$ ou $0,9 w_{cr} \leq w_L \leq 1,1 w_{cr}$ $1,2 \leq I_p \leq 1,4$ ou $0,7 w_{cr} \leq w_L \leq 0,9 w_{cr}$	A ₂ llh A ₂ h A ₂ ll A ₂ s A ₂ ls
			A ₃		$IPI \leq 10$ et $I_p \leq 0,9$ ou $w_L \leq 1,4 w_{cr}$ $1 \leq IPI \leq 5$ ou $0,8 \leq I_p \leq 1$ ou $1,2 w_{cr} \leq w_L \leq 1,4 w_{cr}$ $5 \leq IPI \leq 10$ ou $1 \leq I_p \leq 1,15$ ou $0,9 w_{cr} \leq w_L \leq 1,2 w_{cr}$ $1,15 \leq I_p \leq 1,3$ ou $0,7 w_{cr} \leq w_L \leq 0,9 w_{cr}$ $I_p \geq 1,3$ ou $w_L \leq 0,7 w_{cr}$	A ₃ llh A ₃ h A ₃ ll A ₃ s A ₃ ls
			A ₄		Valeurs seuils des paramètres d'état, à définir à l'appui d'une étude spécifique.	A ₄ llh A ₄ h A ₄ ll A ₄ s
		12 < I _p ≤ 25 ou 2,5 < VBS ≤ 6	A ₂	Les caractères moyens des sols de cette sous-classe font qu'ils se prêtent à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement (si la teneur en eau n'est pas trop élevée). Dès que l'Ip atteint des valeurs ≥ 12, il convient de construire le critère d'identification le mieux adapté.	$IPI \leq 2$ ou $I_p \leq 0,9$ ou $w_L \leq 1,3 w_{cr}$ $2 \leq IPI \leq 5$ ou $0,9 \leq I_p \leq 1,05$ ou $1,1 w_{cr} \leq w_L \leq 1,3 w_{cr}$ $5 \leq IPI \leq 10$ ou $1,05 \leq I_p \leq 1,2$ ou $0,9 w_{cr} \leq w_L \leq 1,1 w_{cr}$ $1,2 \leq I_p \leq 1,4$ ou $0,7 w_{cr} \leq w_L \leq 0,9 w_{cr}$	A ₂ llh A ₂ h A ₂ ll A ₂ s A ₂ ls
			A ₃			
			A ₄			
			A ₅			
		25 < I _p ≤ 40 ou 6 < VBS ≤ 8	A ₂	Ces sols sont très cohérents à teneur en eau moyenne et faible, et collants ou glissants à l'état humide, d'où difficulté de mise en œuvre sur chantier (et de manipulation en laboratoire). Leur perméabilité très réduite rend leurs variations de teneur en eau très lentes, en place. Une augmentation de teneur en eau assez importante est nécessaire pour changer notablement leur consistance.	$IPI \leq 2$ ou $I_p \leq 0,9$ ou $w_L \leq 1,3 w_{cr}$ $2 \leq IPI \leq 5$ ou $0,9 \leq I_p \leq 1,05$ ou $1,1 w_{cr} \leq w_L \leq 1,3 w_{cr}$ $5 \leq IPI \leq 10$ ou $1,05 \leq I_p \leq 1,2$ ou $0,9 w_{cr} \leq w_L \leq 1,1 w_{cr}$ $1,2 \leq I_p \leq 1,4$ ou $0,7 w_{cr} \leq w_L \leq 0,9 w_{cr}$	A ₂ llh A ₂ h A ₂ ll A ₂ s A ₂ ls
			A ₃			
			A ₄			
			A ₅			
		I _p > 40 ou VBS > 8	A ₂	Ces sols sont très cohérents et presque imperméables : ils changent de teneur en eau, c'est-à-dire extrêmement lentement et avec d'importants retraitements gonflements. Leur emploi en remblai ou en couche de forme n'est normalement pas envisagé mais il peut éventuellement être décidé à l'appui d'une étude spécifique s'appuyant notamment sur des essais en vraie grandeur.	$IPI \leq 2$ ou $I_p \leq 0,9$ ou $w_L \leq 1,3 w_{cr}$ $2 \leq IPI \leq 5$ ou $0,9 \leq I_p \leq 1,05$ ou $1,1 w_{cr} \leq w_L \leq 1,3 w_{cr}$ $5 \leq IPI \leq 10$ ou $1,05 \leq I_p \leq 1,2$ ou $0,9 w_{cr} \leq w_L \leq 1,1 w_{cr}$ $1,2 \leq I_p \leq 1,4$ ou $0,7 w_{cr} \leq w_L \leq 0,9 w_{cr}$	A ₂ llh A ₂ h A ₂ ll A ₂ s A ₂ ls
			A ₃			
			A ₄			
			A ₅			

Les paramètres inscrits en **caractères gras** sont ceux dont le choix est à privilégier.

Classe B

SOLS SABLEUX ET GRAVELEUX AVEC FINES

← NIVEAU DE CLASSIFICATION NECESSAIRE POUR L'EMPLOI EN REMBLAI →

← NIVEAU DE CLASSIFICATION NECESSAIRE POUR L'EMPLOI EN COUCHE DE FORME →

Classement selon la nature					Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous-classe fonction de la nature	Caractères principaux	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe
D _{max} ≤ 50 mm et tamisat à 60 µm ≤ 35%	B Sols sableux et graveleux avec fines	- tamisat à 60 µm ≥ 12% - tamisat à 2 mm ≥ 70% - 0,1 < VBS < 0,2 ou FS ≥ 35	B ₁ Sables siliceux...	Matériaux sableux généralement insensibles à l'eau. Mais, dans certains cas (extraction dans la nappe...), cette insensibilité devra être confirmée (étude complémentaire, planche d'essais,...). Leur emploi en couche de forme nécessite, par ailleurs, la mesure de leur résistance mécanique (friabilité des sables FS).			FS ≤ 60	B ₁₁
							FS > 60	B ₁₂
		- tamisat à 60 µm ≥ 12% - tamisat à 2 mm ≥ 70% - VBS > 0,2 ou CS < 35	B ₂ Sables argileux (peu argileux)...	La plasticité de leurs fines rend ces sols sensibles à l'eau. Leur temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est court, tout en pouvant varier assez largement (fonction de perméabilité). Lorsqu'ils sont extraits dans la nappe et mis en dépôt provisoire, ils conservent un état hydrique "humide" à "très humide" ; il est assez peu probable, en climat océanique, que leur état hydrique puisse s'améliorer jusqu'à devenir "moyen". Leur emploi en couche de forme sans traitement avec des LH nécessite, par ailleurs, la mesure de leur résistance mécanique (friabilité des sables FS).	IPI ≤ 4 ou w _p ≤ 1,25 w _{lim}	B _{21h}	FS ≤ 60	B _{21h}
					4 < IPI ≤ 8 ou 1,10 w _{lim} ≤ w _p < 1,25 w _{lim}	B _{21v}	FS > 60	B _{21v}
					0,9 w _{lim} ≤ w _p < 1,10 w _{lim}	B _{21m}	FS ≤ 60	B _{21m}
					0,5 w _{lim} ≤ w _p < 0,9 w _{lim}	B _{21s}	FS > 60	B _{21s}
					w _p < 0,5 w _{lim}	B _{21ts}	FS ≤ 60	B _{21ts}
							FS > 60	B _{21ts}
		- tamisat à 60 µm ≤ 12% - tamisat à 2 mm ≥ 70% - 0,1 < VBS ≤ 0,2 ou ES ≥ 25	B ₃ Graves siliceuses...	Matériaux graveleux généralement insensibles à l'eau. Mais, dans certains cas (extraction dans la nappe...), cette insensibilité devra être confirmée (étude complémentaire, planche d'essais,...). Leur emploi en couche de forme sans traitement avec des LH nécessite, par ailleurs, la mesure de leur résistance mécanique (Los Angeles, LA, et Micro Deval en présence d'eau, MDE).			LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₃₁
							LA > 45 ou MDE > 45	B ₃₂

Les paramètres inscrits en **caractères gras** sont ceux dont le choix est à privilégier.

Classe B (suite)

SOLS SABLEUX ET GRAVELEUX AVEC FINES (suite)

← NIVEAU DE CLASSIFICATION NECESSAIRE POUR L'EMPLOI EN REMBLAI →								
← NIVEAU DE CLASSIFICATION NECESSAIRE POUR L'EMPLOI EN LIXICHE DE FORME →								
Classement selon la nature					Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Caractères principaux	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe
D ₁₅₀ ≤ 50 mm et tamis à 80 µm ≤ 35%	B Sols sableux et graveleux avec fines	tamis à 60 µm < 12% tamis à 2 mm ≤ 70% VBS > 0,2 ou IS ≤ 25	B ₁ Graves argileuses (peu argileuses)...	La plasticité de leurs fines rend ces sols sensibles à l'eau. Ils sont plus graveleux que les sols B ₂ et leur fraction sableuse est plus faible. Pour cette raison, ils sont en général perméables. Ils réagissent assez rapidement aux variations de l'environnement hydrique et climatique (humidification - séchage). Lorsqu'ils sont extraits dans la nappe, il est assez peu probable, en climat océanique, que leur état hydrique puisse s'améliorer jusqu'à devenir "moyen". Leur emploi en couche de forme sans traitement avec des LH nécessite, par ailleurs, la mesure de leur résistance mécanique (Los Angeles, LA, et/ou Micro Deval en présence d'eau, MDE).	IPI ≤ 7 ou w _L ≥ 1,25 w _{opt}	B ₁ th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₁ th
					7 < IPI ≤ 15 ou 1,10 w _{opt} ≤ w _L < 1,25 w _{opt}	B ₁ h	LA > 45 ou MDE > 45	B ₁ th
					0,9 w _{opt} ≤ w _L < 1,10 w _{opt}	B ₁ m	LA > 45 et MDE ≤ 45	B ₁ h
					0,6 w _{opt} ≤ w _L < 0,9 w _{opt}	B ₁ s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₁ m
					w _L < 0,6 w _{opt}	B ₁ ts	LA > 45 ou MDE > 45	B ₁ s
							LA > 45 ou MDE > 45	B ₁ ts
		tamis à 60 µm compris entre 12 et 35% VBS ≤ 1,5 ou Ip ≤ 12	B ₂ Sables et grèves très sileux...	La proportion de fines et la faible plasticité de ces dernières rapprochent beaucoup le comportement de ces sols de celui des sols A ₁ . Pour la même raison qu'indiquée à propos des sols A ₁ , il y a lieu de préférer le critère VBS au critère Ip, pour l'identification des sols B ₂ . Leur emploi en couche de forme sans traitement avec des LH nécessite de connaître leur résistance mécanique (Los Angeles, LA, et/ou Micro Deval en présence d'eau, MDE).	IPI ≤ 5 ou w _L ≥ 1,25 w _{opt}	B ₂ th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₂ th
					5 < IPI ≤ 12 ou 1,10 w _{opt} ≤ w _L < 1,25 w _{opt}	B ₂ h	LA > 45 et MDE > 45	B ₂ h
					12 < IPI ≤ 30 ou 0,9 w _{opt} ≤ w _L < 1,10 w _{opt}	B ₂ m	LA > 45 et MDE ≤ 45	B ₂ h
					0,6 w _{opt} ≤ w _L < 0,9 w _{opt}	B ₂ s	LA > 45 ou MDE > 45	B ₂ m
					w _L < 0,6 w _{opt}	B ₂ ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₂ s
							LA > 45 ou MDE > 45	B ₂ ts
		tamis à 50 µm compris entre 12 et 35% VBS > 1,5 ou Ip > 12	B ₃ Sables et grèves argileux à très argileux	L'influence des fines est prépondérante : le comportement du sol se rapproche de celui du sol fin ayant même plasticité que les fines du sol avec toutefois une plus grande sensibilité à l'eau due à la présence de la fraction sableuse en plus grande quantité.	IPI ≤ 4 ou w _L ≥ 1,3 w _{opt} ou lc ≤ 0,8	B ₃ th		
					4 < IPI ≤ 10 ou 0,8 < lc ≤ 1 ou 1,1 w _{opt} ≤ w _L < 1,3 w _{opt}	B ₃ h		
					10 < IPI ≤ 25 ou 1 < lc ≤ 1,2 ou 0,9 w _{opt} ≤ w _L < 1,1 w _{opt}	B ₃ m		
					0,7 w _{opt} ≤ w _L < 0,9 w _{opt} ou 1,2 < lc ≤ 1,3	B ₃ s		
					w _L < 0,7 w _{opt} ou lc > 1,3	B ₃ ts		

Les paramètres inscrits en **caractères gras** sont ceux dont le choix est à privilégier.

Classe C

SOLS COMPORTANT DES FINES ET DES GROS ELEMENTS

Classement selon la nature					Classement selon l'état hydrique et le comportement									
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous-classe fonction de la nature	Caractères principaux										
$d_{max} > 50\text{ mm}$ et tensat à 80 mm $> 12\%$ ou le tensat à 80 mm $< 12\%$ la w_{LS} est $> 0,1$	C Sols comportant des fines et des gros éléments	Matériaux anguleux dont la proportion de la fraction 0/50 mm dépasse 60 à 80% et Matériaux roulés La fraction 0/50 mm est un sol de la classe A	C₁A₁ Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, moraines, alluvions grossières...	Le comportement des sols de cette classe peut être assez justement apprécié par celui de leur fraction 0/50 mm. L'évaluation de la proportion de la fraction 0/50 mm est cependant nécessaire dans le cas des sols constitués d'éléments anguleux. Cela-ci peut se faire visuellement par un géotaché ou expérimenté dès que le d_{max} du sol dépasse 200 mm. L'identification des sols de cette classe doit être précisée à l'aide d'un double symbole de type C ₁ (A ₁) ou C ₁ (B ₁), A ₁ ou B ₁ étant respectivement la classe de la fraction 0/50 mm du matériau considéré.										
		Matériaux anguleux dont la proportion de la fraction 0/50 mm dépasse 60 à 80% et Matériaux roulés La fraction 0/50 mm est un sol de la classe B	C₁B₁ Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, moraines, alluvions grossières...	On peut encore très utilement compléter cette détermination en indiquant la valeur du d_{max} présent dans le sol. Ainsi, par exemple, un sol classé : C ₁ * ²⁰ (A ₁) correspond à un sol roulé ou anguleux ayant plus de 60 à 80% d'éléments $< 50\text{ mm}$, dont les plus gros éléments ont une dimension de 400 mm et dont la fraction 0/50 mm est de type A ₁ .										
		Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm < 60 à 80%. La fraction 0/50 mm est un sol de la classe A.	C₂A₁ Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, biefs à silex...	Le comportement des sols de cette classe dépend aussi de la fraction 0/50 présente et ne peut plus être assimilé à celui de la seule fraction 0/50 mm. L'importance de cette influence est toujours difficile à évaluer (fonction de la continuité granulométrique et de l'angularité des éléments grossiers) en raison des difficultés pratiques qu'il y a à réaliser des essais de laboratoire sur ces matériaux.										
		Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm < 60 à 80%. La fraction 0/50 mm est un sol de la classe B.	C₂B₁ Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, biefs à silex.	Ils est néanmoins utile, comme pour les C ₁ , de préciser l'identification des sols de cette classe à l'aide d'un double symbole de type C ₂ (A ₁) ou C ₂ (B ₁), A ₁ ou B ₁ étant respectivement la classe de la fraction 0/50 mm du matériau considéré. De même cette identification pourra être très utilement complétée par l'indication du d_{max} présent dans le sol (Cl. classe C ₂). Des essais en semi ou vraie grandeur seront souvent nécessaires pour valider l'interprétation des mesures réalisées sur la fraction 0/50 mm.										
					Le sous-classement, en fonction de l'état hydrique des sols de cette classe, est établi en considérant celui de leur fraction 0/50 mm qui peut être un sol de la classe A ou de la classe B. Les différentes sous-classes composant la classe C sont : <table><tr><td>C₁A₁ C₁A₂ C₁A₃ C₁A₄</td><td>C₁A₁ C₁A₂ C₁A₃ C₁A₄</td><td>état th, h, m, s ou ts</td></tr><tr><td>C₁B₁ C₁B₂ C₁B₃ C₁B₄</td><td>C₁B₁ C₁B₂ C₁B₃ C₁B₄</td><td>Matériaux généralement insensibles à l'état hydrique</td></tr><tr><td>C₂A₁ C₂A₂ C₂A₃ C₂A₄ C₂A₅ C₂A₆ C₂A₇</td><td>C₂A₁ C₂A₂ C₂A₃ C₂A₄ C₂A₅ C₂A₆ C₂A₇</td><td>état th, h, m, s ou ts</td></tr></table>	C ₁ A ₁ C ₁ A ₂ C ₁ A ₃ C ₁ A ₄	C ₁ A ₁ C ₁ A ₂ C ₁ A ₃ C ₁ A ₄	état th, h, m, s ou ts	C ₁ B ₁ C ₁ B ₂ C ₁ B ₃ C ₁ B ₄	C ₁ B ₁ C ₁ B ₂ C ₁ B ₃ C ₁ B ₄	Matériaux généralement insensibles à l'état hydrique	C ₂ A ₁ C ₂ A ₂ C ₂ A ₃ C ₂ A ₄ C ₂ A ₅ C ₂ A ₆ C ₂ A ₇	C ₂ A ₁ C ₂ A ₂ C ₂ A ₃ C ₂ A ₄ C ₂ A ₅ C ₂ A ₆ C ₂ A ₇	état th, h, m, s ou ts
C ₁ A ₁ C ₁ A ₂ C ₁ A ₃ C ₁ A ₄	C ₁ A ₁ C ₁ A ₂ C ₁ A ₃ C ₁ A ₄	état th, h, m, s ou ts												
C ₁ B ₁ C ₁ B ₂ C ₁ B ₃ C ₁ B ₄	C ₁ B ₁ C ₁ B ₂ C ₁ B ₃ C ₁ B ₄	Matériaux généralement insensibles à l'état hydrique												
C ₂ A ₁ C ₂ A ₂ C ₂ A ₃ C ₂ A ₄ C ₂ A ₅ C ₂ A ₆ C ₂ A ₇	C ₂ A ₁ C ₂ A ₂ C ₂ A ₃ C ₂ A ₄ C ₂ A ₅ C ₂ A ₆ C ₂ A ₇	état th, h, m, s ou ts												

Classe D

SOLS INSENSIBLES A L'EAU

← NIVEAU DE CLASSIFICATION NECESSAIRE POUR L'EMPLOI EN REMBLAI →

← NIVEAU DE CLASSIFICATION NECESSAIRE POUR L'EMPLOI EN COUCHE DE FORME →

Classement selon nature					Classement selon le comportement		
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous-classe fonction de la nature	Caractères principaux	Valeurs seuils retenues		Sous-classe
$W_{LS} \leq 0,1$ et Teneur en argile à 20 $\mu m \leq 12\%$	D Sols insensibles à l'eau	$D_{\max} \leq 50 \text{ mm}$ et teneur à 2 mm $\geq 70\%$	D_1	Ces sols sont sans cohésion et perméables. Leur granulométrie, souvent mal graduée et de petit calibre, les rend très érodables et d'une "tracabilité" difficile.	Leur emploi en couche de forme sans traitement aux LI est possible, par ailleurs, la mesure de leur résistance mécanique (Los Angeles, LA, et/ou micro Deval en présence d'eau, MDE) ou l'ajout de sable (FS)	$FS \geq 60$	D_1
						$FS > 60$	D_{12}
		$D_{\max} \leq 50 \text{ mm}$ et teneur à 2 mm $\geq 70\%$	D_2	Ces sols sont sans cohésion et perméables. Après compactage ils sont d'autant moins érodables et d'autant plus aptes à supporter le trafic qu'ils sont bien gradués.		$LA \leq 45$ et $MDE \leq 45$	D_{21}
						$LA > 45$ ou $MDE > 45$	D_{22}
		$D_{\max} > 50 \text{ mm}$	D_3	Matériaux sans cohésion et perméables, inadaptés au mélange en vue d'un traitement reposant à une qualité "couche de forme". En partie supérieures des compactements ils peuvent poser des problèmes de réglage, de tracabilité et d'entretien de tranchées diverses.		$LA \leq 45$ et $MDE \leq 45$	D_{31}
						$LA > 45$ ou $MDE > 45$	D_{32}

16

TABLEAUX DE COMPACTAGE POUR L'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

A₂, C, A₂ (*)

Compacteur		P1	P2	P3	V1	V2	V3	V4	V5	VP1	VP2	VP3	VP4	VP5	SP1	SP2	PQ3	PQ4
Modalité																		
Energie de compactage faible	Q/S	0.050	0.060	0.120	0.040	0.050	0.090	0.120	0.145	0.040	0.030	0.120	0.140	0.190	0.085	0.100		
	e	0.25	0.35	0.45	0.20	0.30	0.30	0.35	0.30	0.45	0.30	0.60	0.70	0.30	0.30	0.25	0.40	
	V	5.0	5.0	5.0	2.0	2.0	3.0	2.5	4.0	2.5	5.0	2.5	2.0	2.0	2.0	4.0	5.0	8.0
	Code 3	N	5	5	4	5	4	4	3	4	3	5	5	5	3	3	2	4
	Q/L	250	400	600	80	120	270	275	480	300	725	365	60	120	360	590	350	520
Energie de compactage moyenne	Q/S	0.030	0.050	0.070		0.035	0.050	0.035	0.030		0.035	0.065	0.080	0.105	0.035	0.060		
	e	0.20	0.25	0.35		0.20		0.30	0.40	0.30	0.45		0.20	0.30	0.30	0.30	0.20	0.30
	V	5.0	5.0	5.0		2.0		2.0	2.5	2.0	3.0	2.0		2.0	2.0	2.5	3.0	8.0
	Code 2	N	7	5	5		6		5	7	4	6		6	5	4	3	6
	Q/L	150	250	350		70		100	155	130	240	160		70	130	200	315	280
Energie de compactage intense	Q/S		0.030	0.040			0.035	0.045	0.055			0.045	0.055	0.070		0.030		
	e		0.20	0.30			0.25		0.35	0.30	0.40			0.25	0.30	0.30		0.20
	V		5.0	5.0			2.0		2.0	2.5	2.0			2.0	2.0	2.5		8.0
	Code 1	N		7	8		6		8	6	8			6	6	5		7
	Q/L		150	200			70		90	140	110			90	110	175		240

Q/S (t)

e (m)

V (cm/h)

N -

Q/L (m³/t.m)

0 compacteur ne correspondant pas

(*) Imposer que D_{max} < 2/3 de l'épaisseur de la couche compactée.

(?) Prévoir une opération annexée pour effacer les empreintes lorsqu'il y a risque de pluie en fin de journée (raffinage des centimètres supérieurs, ou emploi d'un autre type de compacteur si celui-ci apporte l'état souhaité).

TABLEAUX DE COMPACTAGE POUR L'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

A_p, C, A_p (*)

Compacteur Modalités		P1	P2	P3	V1	V2	V3	V4	V5	VP1	VP2	VP3	VP4	VP5	SP1	SP2	PQ3	PQ4
Energie de compactage faible	Q/S	0.020	0.040	0.060		0.040	0.055	0.070	0.085		0.040	0.070	0.085	0.110	0.040	0.070		
	e	0.20	0.25	0.35	0	0.20	0.25	0.30	0.35	0.30	0.45	0	0.20	0.25	0.30	0.30	0.25	0.35
	V	5.0	5.0	5.0		2.0	2.0	2.5	2.0	3.0	2.0		2.0	2.0	2.5	3.0	8.0	8.0
Code 3	N	10	7	6		6	5	5	5	4	5		5	4	4	4	7	5
	Q/L	100	200	300		80	110	125	140	255	170		80	140	215	330	320	550
Energie de compactage moyenne	Q/S		0.030	0.050			0.035	0.045	0.055			0.045	0.055	0.070	0.025	0.045		
	e		0.20	0.30			0.20	0.25	0.30			0.20	0.25	0.30	0.20	0.25		
	V		5.0	5.0			2.0	2.0	2.0			2.0	2.0	2.0	3.0	6.0		
Code 2	N		7	6			6	5	5			5	5	5	6	6		
	Q/L		150	250			70	90	110			90	110	140	200	380		
Energie de compactage intense	Q/S			0.030				0.030	0.035				0.035	0.045		0.025		
	e			0.20				0.20	0.25				0.20	0.25		0.20		
	V			5.0				2.0	2.0				2.0	2.0		6.0		
Code 1	N			7				7	8				6	6		0		
	Q/L			150				80	70				70	30		200		

Q/S (m)
e (m)
V (cm/h)
N -
Q/L (m³/m.m)

(*) Imposer que $D_{max} < 2/3$ de l'épaisseur de la couche compactée.

(?) Prévoir une opération annex pour aligner les empreintes lorsqu'il y a risque de pluie en fin de journée (abaissage des cantonniers supérieurs, ou emploi d'un autre type de compacteur si celui-ci supporte l'alignement souhaité).

0 compacteur non convenant pas

Annexe 1

B

$$770.0 \quad \frac{R = 450.000}{A = 173.638}$$

$$703.0 \quad \frac{A = 173.638}{A.D.}$$

$$631.5 \quad \frac{A.D.}{A} = 117.260$$

$$576.5 \quad \frac{R = 250.000}{A = 117.260}$$

$$398.5 \quad \frac{R = 250.000}{A.D.}$$

$$340.8 \quad \frac{A.D.}{A} = 92.952$$

$$292.8 \quad \frac{R = 180.000}{A = 92.952}$$

$$104.7 \quad \frac{R = 180.000}{A = 92.952}$$

$$56.7 \quad \frac{A = 92.952}{A.D.}$$

$$0.0 \quad \frac{A.D.}{Origine = 0.00}$$

A

C

$$1955.6 \quad \frac{A.D.}{A} = 101.242$$

$$1914.6 \quad \frac{A = 101.242}{A = 101.242}$$

$$1873.6 \quad \frac{A = 101.242}{A.D.}$$

$$1787.9 \quad \frac{A.D.}{A} = 148.492$$

$$1724.9 \quad \frac{A = 148.492}{R = 350.000}$$

$$1600.5 \quad \frac{R = 350.000}{A = 148.492}$$

$$1537.5 \quad \frac{A = 148.492}{A = 162.481}$$

$$1471.5 \quad \frac{A = 162.481}{R = 400.000}$$

$$1197.1 \quad \frac{R = 400.000}{A = 162.481}$$

$$1131.1 \quad \frac{A = 162.481}{A = 173.638}$$

$$1064.1 \quad \frac{R = 450.000}{A = 173.638}$$

B

