

Comprendre les principaux paramètres de conception géométrique des routes

Sommaire

Avertissement.....	3
La visibilité	5
Le profil en travers.....	14
Le tracé en plan	16
Le profil en long.....	20
Coordination tracé en plan – profil en long	22
Bibliographie.....	23
Annexes.....	24
Annexe 1 : aspect réglementaire.....	25
Annexe 2 : distance d'arrêt.....	26
Annexe 3 : accélération verticale en rayon rentrant.....	27

L'objectif de cette note est d'exposer le fondement des principales caractéristiques géométriques des routes pour en rappeler le sens.

Elle ne se veut pas exhaustive et ne saurait remplacer les guides de conception géométrique adoptés par la maîtrise d'ouvrage et donc applicable sur son réseau (notamment l'ARP[1] et l'ICTAAL[2] pour le réseau national).

Comprendre les principaux paramètres de conception géométrique des routes



Collection les fondamentaux



Avertissement

La vocation du présent document est d'exposer quelques éléments de base sur les caractéristiques géométriques des routes. Il fait état des connaissances actuelles dans les domaines concernés mais ne se substitue pas aux guides de conception existants.

Certaines exigences contenues dans des guides de conception routière sont mentionnées à titre d'exemple, mais ne peuvent être comprises comme des caractéristiques minimales à atteindre sur toutes les routes existantes ouvertes à la circulation publique. Par exemple, l'approche géométrique de la visibilité ne peut évidemment pas conduire à l'obligation de rendre tout visible sur une route existante. La vocation de ce document est simplement d'apporter des éléments permettant d'apprécier les conséquences éventuelles des caractéristiques géométriques prévues pour une route neuve ou constatées pour une route existante et permettre d'effectuer des choix d'aménagement en toute connaissance de cause.

Il est également nécessaire de rappeler que le code de la route[3] et celui de la voirie routière[4] expriment des exigences réglementaires dans le domaine de la conception routière tant du point de vue du conducteur que du véhicule et de la route. Si ces seules règles suffisent généralement pour les routes de desserte locale, il s'est avéré nécessaire, sur les voiries principales, de prendre en charge l'usager en lui offrant un aménagement routier garantissant un niveau de sécurité et de confort adapté aux fonctions de ces voies.

Ceci renvoie à la notion de typologie : le conducteur adapte sa conduite à la perception qu'il a de la route et de son environnement, ce qui comprend notamment :

- le trafic
- les caractéristiques géométriques de la route : largeur de chaussée, nombre de voies, sinuosité ...
- le niveau d'équipement de la route
- l'environnement de la route, milieu urbain, milieu interurbain, plaine, montagne
- la signalétique spécifique (bornes kilométriques, panneaux à message variables, signalétique des sorties)

Des enquêtes récentes auprès des usagers ont montré que les principaux critères discriminants étaient la séparation ou non des flux de sens opposés et la zone d'implantation de la voie (zone urbaine, péri urbaine et interurbaine). Ils identifient les types de route suivant :

- Les autoroutes : 2x2 ou 2x3 , limitation 130 km/h,
- Les 2x2 interurbaines : un peu plus étroites que des autoroutes, limitation 110 km/h
- Les 2x2 en zone urbaine et péri urbaine : caractéristiques très hétérogènes, limitations 110,90,80,70 km/h
- Les routes à grande circulation : 3 voies ou alternance 2voies/3voies, limitées à 90km/h
- Les petites routes : deux voies souvent étroites, limitées à 90 km/h

Le réseau routier traité dans cette note relève de l'interurbain. Selon la définition du code de la route, il s'agit du réseau situé hors panneau d'agglomération. Les secteurs bâtis situés hors agglomération devront faire l'objet d'une attention particulière.

La visibilité

1 - Objectif et méthode

Le conducteur conduit en fonction de ce qu'il voit.

Le code de la route[3] fixe les règles de comportement du conducteur dans les cas où les conditions de visibilité ne sont pas satisfaisantes. Il peut s'agir soit de conditions météorologiques défavorables (pluie, brouillard) soit de configurations physiques particulières (sommets de côte, intersections, virages).

Dans un souci de sécurité mais également de confort, la conception géométrique des routes doit permettre d'assurer des conditions de visibilité satisfaisantes tant au droit des points singuliers qu'en section courante.

Une des tâches du concepteur routier est de rechercher un juste équilibre entre les besoins en visibilité et les contraintes spécifiques au projet.

Ces exigences dépendent de la vitesse pratiquée, du temps de réaction et de la distance nécessaire à la manœuvre visée.

2 - Estimation des vitesses pratiquées [5]

A côté de la vitesse maximale autorisée, il est nécessaire de connaître la vitesse réellement pratiquée. On utilise la notion de V85: vitesse au dessous de laquelle roulent 85% des usagers (ce qui permet d'exclure les vitesses considérées comme atypiques et extrêmes). Si cette valeur peut être mesurée sur les itinéraires existants, elle ne peut être qu'estimée pour les projets neufs. Au droit des points singuliers, elle est déterminée en fonction du nombre et des caractéristiques des voies ainsi que du minimum obtenu par le calcul avec le rayon ou la pente de la route.

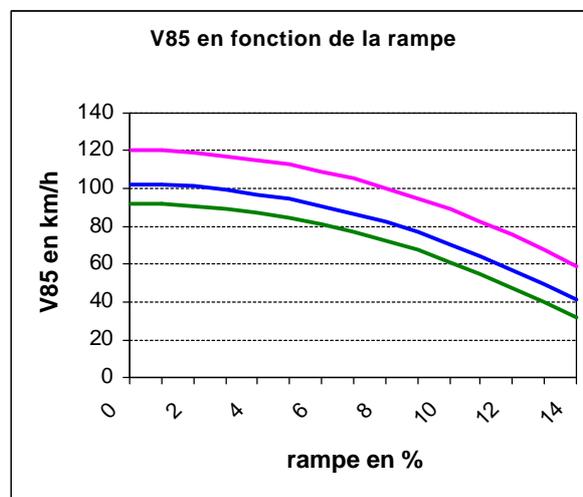
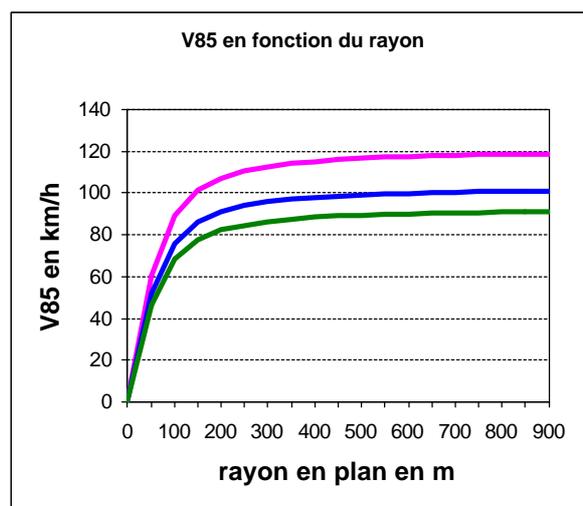
Sauf pour les autoroutes, la vitesse V85 en fonction du nombre de voies et du rayon R en m

2v (5m) :	$V85 = 92 / (1 + 346 / R^{1.5})$
3v et 2v (6 et 7 m) :	$V85 = 102 / (1 + 346 / R^{1.5})$
2x2 v :	$V85 = 120 / (1 + 346 / R^{1.5})$

Sauf pour les autoroutes, la vitesse V85 est également fonction du nombre de voies et de la rampe p en % (> 250m)

2v (5m) :	$V85 = 92 - 0,31p^2$
3v et 2v (6 et 7 m) :	$V85 = 102 - 0,31p^2$
2x2 v :	$V85 = 120 - 0,31p^2$

Quelques valeurs de base en alignement droit et à plat :



Type de voie	V85	V réglementaire
Autoroute (étude spécifique ICTAAL 2000)[7]	150Km/h	130Km/h
2x2 voies (note info n°10)[5]	120 Km/h	110 Km/h
3 ou 2 voies (6 et 7 m) (note info n°10)[5]	102 Km/h	90 Km/h
2 voies (5m) (note info n°10)[5]	92 Km/h	90 Km/h

Cependant, **aujourd'hui, le principe retenu est d'écarter la V85 à la vitesse maximum réglementaire.** On ne conçoit plus de dimensionner des infrastructures pour des vitesses pratiquées supérieures aux vitesses réglementaires. Donc, sauf dans les cas de mesure où il s'avèrerait que la V85 pratiquée soit inférieure à la vitesse réglementaire, c'est cette dernière qui doit être retenue. La seule exception concerne la visibilité en carrefour où dans tous les cas, pour des impératifs de sécurité, on prend en compte la V85.

Cette vitesse sert notamment aux calculs

- de la distances d'arrêt
- de la distance d'évitement

A. La distance d'arrêt

C'est la distance conventionnelle théorique nécessaire à un véhicule pour s'arrêter compte tenu de sa vitesse, calculée comme la somme de la distance de freinage et de la distance parcourue pendant le temps de perception réaction.

La distance de perception réaction : c'est la distance parcourue à vitesse constante v pendant le temps de perception réaction. Ce temps est constitué du temps physiologique de perception-réaction (1,3 à 1,5 s) et le temps mort mécanique d'entrée en action des freins (0,5s). Pour le calcul, on adopte généralement la valeur de **2 s** pour ce temps de perception réaction quelle que soit la vitesse même s'il est admis qu'en situation d'attention soutenue (vitesse supérieure à 100 km/h ou trafic soutenu à vitesse importante) ce temps peut être réduit à 1,8s. Toutefois, une modification de 0,2 s joue peu sur la distance d'arrêt (par ex 5m à 90km/h) et les différentes études étrangères tendent à situer cette valeur entre 2 et 2,5 s .

La distance de freinage : c'est la distance conventionnelle nécessaire à un véhicule pour passer de sa vitesse initiale à 0. Elle ne correspond pas aux données des constructeurs automobiles et est fonction de la vitesse initiale, de la déclivité et du coefficient de frottement longitudinal (valeur comprise entre 0 et 1). Ce dernier, de part ses hypothèses de calcul, offre des marges de sécurité importantes pour la majeure partie des situations. [6]

v = vitesse en mètres par seconde $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (accélération de la pesanteur) cfl = coefficient de frottement longitudinal p = déclivité du profil en long (en m/m)
--

$Df = v^2 / 2g(cfl \pm p)$

La distance d'arrêt :

$$Da = 2v + df$$

v en m/s

En courbe, il convient de prendre en compte l'accroissement de la distance d'arrêt. En effet, le freinage doit être moins énergique en courbe et il est donc admis de majorer de 25% la distance de freinage pour les virages de rayon inférieur à 5V (Km/h) (ARP[1]).

B. La distance d'évitement :

C'est la distance nécessaire pour effectuer une manœuvre d'évitement par déport latéral en cas d'obstacle fixe imprévu sur la chaussée. Cette distance peut être utilisée lorsqu'il n'est pas possible d'assurer une distance de visibilité supérieure ou égale à la distance d'arrêt. Pour assurer l'évitement de véhicules, il convient d'assurer un dégagement latéral revêtu de largeur compatible. Elle a pu être estimée à partir de divers travaux et simulations et correspond à la **distance parcourue à vitesse constante pendant une durée estimée entre 3,5 (ARP[1]) et 4,5 secondes** (Rapport "visibilité" [7]) qui intègre :

- le temps nécessaire pour effectuer la manœuvre d'évitement proprement dite (entre 2,5 et 3 secondes)
- le temps de perception réaction (1,5 secondes sur autoroute et 1s sur route principale) les valeurs inférieures à celles retenues pour l'arrêt s'expliquent par une réaction plus rapide pour une manœuvre au volant qu'à la pédale).

Sur la base de ces notions et du niveau de service souhaité, le concepteur devra déterminer si les conditions de visibilité offertes par le tracé sont compatibles avec la réalisation des manœuvres citées ci-dessus et notamment au droit des points singuliers.

3 - Exigences en matière de visibilité

L'œil du conducteur est réputé situé à 1 m de haut, à 2 m du bord droit de la chaussée (cf largeur des véhicules légers), à 4 m en retrait du bord de la chaussée de la voie principale pour les carrefours équipés de STOP. Ceci donne des conditions plus défavorables que pour les piétons et les cyclistes en général plus hauts et plus proches de la rive en carrefour

La visibilité se décline selon les enjeux

a. pour voir la route : la visibilité sur virage

La distance nécessaire peut être estimée à la **distance parcourue en 3 secondes à la vitesse V85** (n m/s) et mesurée entre le point d'observation : l'œil du conducteur (hauteur 1m, 2 m du bord droit de la chaussée) et le point observé (hauteur 0 m sur l'axe de la chaussée au début de la partie circulaire du virage).

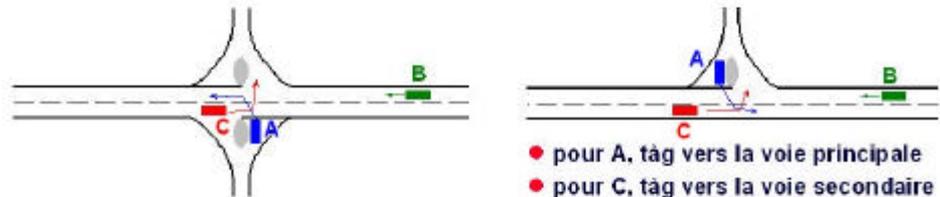
b. pour s'arrêter : la visibilité sur obstacle

C'est la visibilité nécessaire au conducteur (hauteur 1m, 2m du bord de la chaussée) pour percevoir et s'arrêter avant un obstacle fixe sur la chaussée. En fonction du type de route, il appartient au concepteur de déterminer la hauteur de l'obstacle à prendre en compte. Généralement c'est la hauteur du feu arrière le plus favorable d'un véhicule arrêté sur la chaussée qui est prise en compte (minimum réglementaire : 0,35m) mais pour des cas spécifiques tels que les zones à chute de pierres, cette hauteur peut être ramenée à 0,15m. Sur routes à deux fois deux voies dénivelées, dans la mesure où le risque principal porte sur la présence d'un véhicule arrêté sur la chaussée, l'ICTAAL[2] a retenu la hauteur des feux arrières des véhicules, et, à partir d'une étude spécifique [7] sur les véhicules circulant sur ce type de réseau a retenu une hauteur de 0,60m au lieu des 0,35m habituels.

c. pour redémarrer à un carrefour ou d'un accès riverain : exemple d'un carrefour plan (avec "STOP")

L'objectif est de donner au conducteur de la route non prioritaire le temps nécessaire pour effectuer sa manœuvre avant l'arrivée d'un véhicule sur la route principale. Pour ce faire, **une distance correspondant à 8 s à la vitesse V85 sur la route principale est nécessaire** (6 s est un minimum impératif). Le point d'observation est l'œil du conducteur à l'arrêt sur la voie secondaire (h = 1 m et à 4 m en retrait par rapport au bord de la chaussée principale) et le point observé un véhicule circulant sur la voie de gauche par rapport au sens de circulation (h = 1 m et sur l'axe de la voie concernée)

Visibilité dans un carrefour plan



Visibilité sur B, véhicule prioritaire, correspondant au moins à la distance que celui-ci parcourt pendant 8 s (V_{85} non écrêtée) ; 6 s est le minimum absolu.

- d .pour réaliser une manœuvre de sortie d'une voie à chaussée séparée avec échangeur:

Pour les routes à chaussée séparées avec échanges dénivelés, l'usager qui désire quitter la voie principale doit pouvoir disposer d'une distance qui lui permette de percevoir et identifier la sortie, de décider de sa manœuvre, éventuellement se rabattre sur la file de droite et enfin déboîter à droite vers le biseau de sortie. Cette distance de manœuvre de sortie est définie comme la distance parcourue à vitesse constante V_{85} (en m/s) pendant le temps nécessaire pour opérer, soit 6 secondes.

e. pour dépasser en toute sécurité : la visibilité pour un dépassement

Pour les routes bidirectionnelles, quel que soit le niveau de vitesse, une **distance de 500m de visibilité** permet généralement d'assurer des dépassements sûrs dans la majorité des cas (ARP [1]). Le point d'observation est situé à 1 m de hauteur sur l'axe de la chaussée et le point observé est situé à 1m situé sur l'axe de la chaussée pour une 3 voies ou sur l'axe de la voie de sens inverse pour une 2 voies.

Des dépassements peuvent être toutefois réalisés sur des tracés plus contraints avec des distances de visibilité inférieures mais ne peuvent être garantis en toute circonstance. Une manœuvre courante de dépassement dure de 11 à 12 secondes, et dans ce cas, la distance de visibilité nécessaire pour le dépassement peut être évaluée à $dD \text{ (m)} = 6 V \text{ (km/h)}$. Pour les véhicules disposant d'une réserve de puissance plus importante,, la durée du dépassement peut être ramenée à 7 à 8 secondes et donne une distance de visibilité minimale de $dd \text{ (m)} = 4 V \text{ (km/h)}$.

4 - Distances de visibilité offertes par le tracé

Les distances sont évaluées en fonction des caractéristiques géométriques du tracé tant en profil en long, tracé en plan et profil en travers en tenant compte des masques latéraux (construction, boisements,..etc...).

Tracé en plan

Exemple : la distance de visibilité en virage :

$$(R + e_1)^2 = d_1^2 + R^2$$

$$(R + e_2)^2 = d_2^2 + R^2$$

distance de visibilité $d = d_1 + d_2$

si $d_1 = d_2 = d/2$ et $e_1 = e_2 = e$

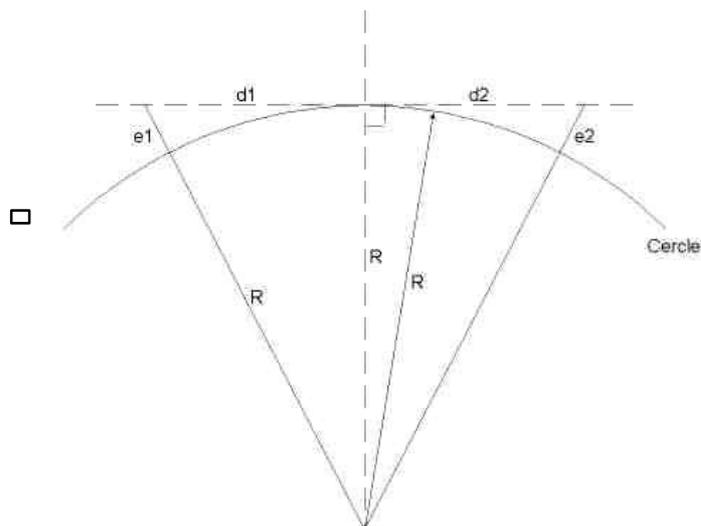
$$(d/2)^2 + R^2 = (R+e)^2$$

$$\frac{d^2}{4} + R^2 = R^2 + 2Re + e^2 \quad \Rightarrow$$

$$\frac{d^2}{4} = 2Re + e^2$$

e^2 est négligeable devant Re ,

$$d^2 = 8Re$$



Le calcul est le même pour une courbe à gauche dans le cas des voies à chaussées séparées en intégrant l'éventuel masque que pourrait constituer le dispositif de retenue.

Application de la formule au conducteur

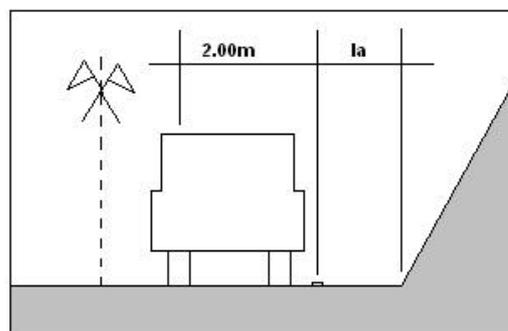
Cette formule est un moyen de vérification rapide . L'œil du conducteur est réputé à une hauteur de 1m et à 2m du bord de la chaussée (voir largeur des VL). La hauteur n'intervient pas ici.

$e = 2 \text{ m} + la$ (largeur de libre entre le bord de chaussée et le masque latéral)

Le calcul théorique suppose un profil en U : par exemple, un dégagement latéral de deux mètres suppose un masque vertical à 2 m du bord droit de la chaussée et de ce fait, la visibilité réelle est généralement supérieure.

En négligeant les cas où la développée des virages est si conséquente que la route est hors champ, on peut donc calculer la distance de visibilité en fonction du dégagement latéral et constater que chaque mètre supplémentaire de dégagement latéral dégage une dizaine de mètres de visibilité.

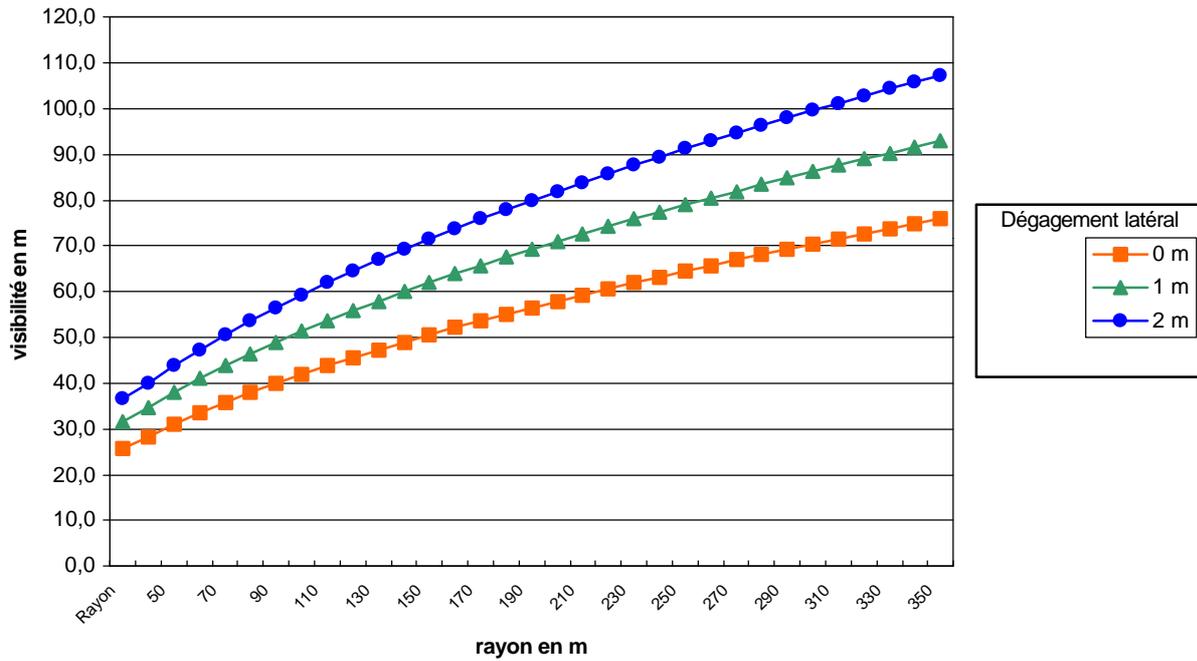
Position de l'œil du conducteur et calcul théorique du dégagement latéral



la : largeur de l'accotement

Par exemple pour $R = 200 \text{ m}$, on a :

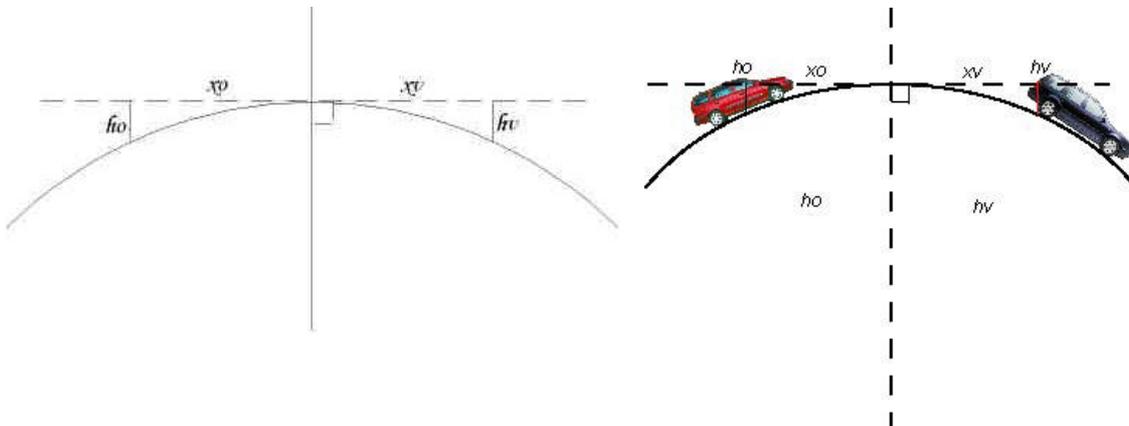
dégagement latéral	distance e	visibilité
0 m	2 m	57 m
1 m	3 m	69 m
2 m	4 m	80 m



Profil en long

Exemple : La distance de visibilité en angle saillant :

La visibilité dépend de la hauteur de l'œil h_o et de la hauteur visée h_v .

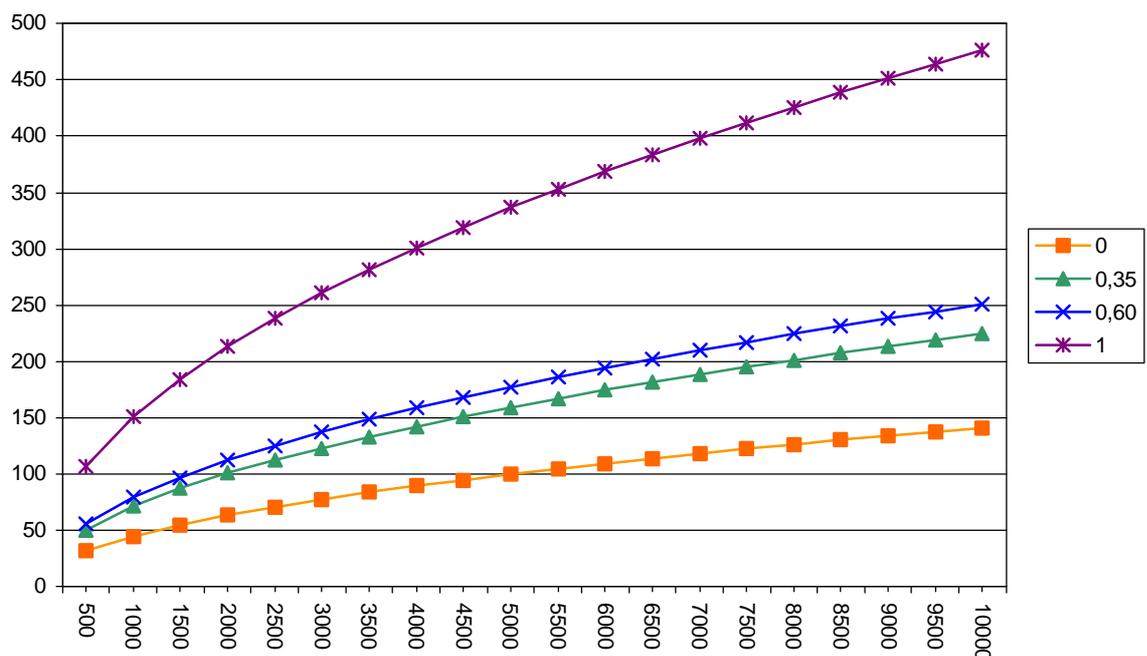


La formule employée est dérivée de celle de la parabole :

$$h_o = x_o^2/2R \quad h_v = x_v^2/2R \quad x_o = \sqrt{2Rh_o} \quad x_v = \sqrt{2Rh_v}$$

$$\text{distance de visibilité} = x_o + x_v = \sqrt{2R} (\sqrt{h_o} + \sqrt{h_v})$$

visibilité	Hauteur visée	description
sur virage	0,00 m	sur l'axe : marquage au sol
sur obstacle ¹	0,35 m	sur l'axe de la chaussée concernée : feux arrières de véhicules
	0,60 m	feux arrières de la plupart des véhicules (étude spécifique réalisée sur autoroute [7])
de dépassement	1,00 m	hauteur conventionnelle prise pour véhicule en sens opposé



graphe 2 : distance de visibilité selon le rayon angle saillant (profil en long)

5 - Comparaison et choix du concepteur

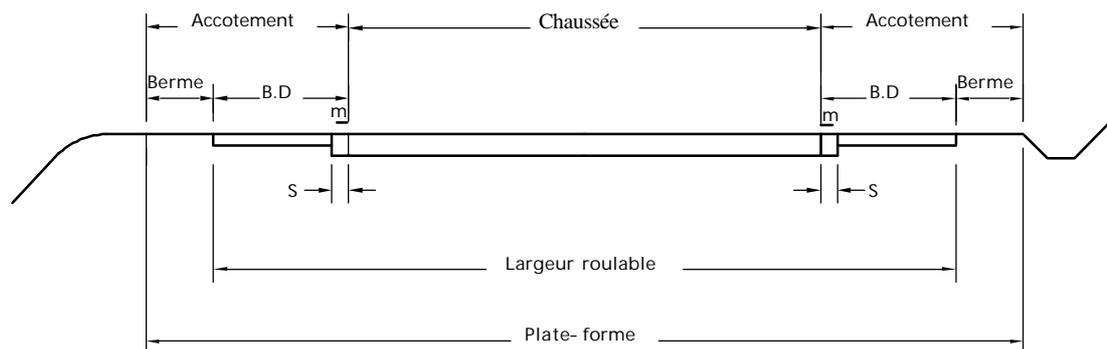
A partir de ces éléments, il appartient au concepteur, dans le cadre général de la commande du maître d'ouvrage et des contraintes du projet (topographie, environnement, géotechnique, ouvrage d'art, coût), de chercher à satisfaire au mieux les exigences de visibilité. Il va de soi que les points singuliers de l'itinéraire susceptibles de surprendre l'utilisateur (carrefours, virages à faible rayon, zone de chute de pierres) devront bénéficier d'un examen rigoureux.

¹ on peut aussi prendre 0,15 m pour les routes avec chute fréquente de pierres

Le profil en travers

1 - éléments constitutifs

Eléments du profil en travers



Pour les routes à chaussées séparées, on intègre un terre plein central (TPC) entre les deux chaussées.

2 - la largeur de chaussée

Il n'y a pas de largeur minimale réglementaire pour une chaussée. Cette valeur doit être retenue en fonction du type de véhicules circulant ou attendus sur l'itinéraire et des vitesses prévues. En ce qui concerne le véhicule, le code de la route[3] a fixé les dimensions maximales des véhicules à 2,60 m hors rétroviseur : ces derniers peuvent faire une saillie de 20 cm au-dessus de 1,90 m.

En pratique la plupart des véhicules légers n'excèdent pas les largeurs suivantes :

- Véhicules légers : 1,70 mètre
- Véhicule types « monospace » : 1,90 mètre
- Véhicules « 4X4 » : 2,20 mètres
- Camping-car : 2,30 mètres

Les marges de sécurité latérales doivent tenir compte des vitesses pratiquées sur l'itinéraire et de ce fait, des valeurs de 3,00 à 3,50 m sont usuellement retenues pour les routes principales. Le standard international se situe à 3,50m. En fonction des contraintes de topographie et de l'importance du trafic poids lourd, des largeurs inférieures peuvent être adoptées. Toutefois l'instruction interministérielle sur la signalisation routière[9] déconseille de marquer systématiquement l'axe d'une chaussée inférieure à 5,20m (voies compatibles avec la largeur maximale d'un véhicule motorisé autorisée par le code de la route[3])

Pour les voiries existantes de largeur de chaussée comprise entre 4 et 6 m, il est important de noter que les niveaux de vitesse pratiquée sont très sensibles aux largeurs de route et en conséquence, toute intervention en matière d'élargissement de chaussée devra tenir compte de l'impact en matière d'augmentation des vitesses.

3 – Zone de récupération et zone de dégagement de sécurité

Les abords de la chaussée contribuent à la sécurité et à la maintenance du patrimoine.

Sur les routes marquées en rive, l'effet bénéfique sur l'accidentologie de la création d'accotements revêtus permettant à un conducteur de rétablir son véhicule suite à un écart fortuit est démontré. Le dimensionnement de cette zone de récupération est fortement dépendant des vitesses pratiquées et sa largeur dépend du type de voies et des possibilités : de 0,25m (surlargeur structurelle de marquage) à 2,50 à 3,00 sur autoroute. Compte tenu de l'impact économique de tels aménagements, une étude d'enjeux est nécessaire.

Cette zone de récupération est de fait multi fonctionnelle : les piétons peuvent y marcher et les vélos y circuler. Elle comprend la sur-largeur technique qui porte le marquage de rive. Dans tous les cas, il conviendra de rechercher :

- la meilleure tenue dans le temps des qualités de sécurité de l'accotement (éviter accotements enherbés et proscrire toute différence de niveau avec la chaussée).
- un contraste avec la surface de la chaussée, il faut éviter de donner à l'usager le sentiment d'une chaussée trop large favorisant les vitesses excessives. Sur des sections de tracé monotone, l'implantation d'une bande sonore entre la chaussée et la bande dérasée peut également s'avérer intéressante.

Sur les itinéraires principaux circulés à vitesse importante, il est également nécessaire au titre de la sécurité secondaire de limiter l'impact des éventuelles sorties de chaussée. Pour ce faire, il est souhaitable sur ce type de voirie de mettre en place des zones de sécurité qui correspondent à des zones où les obstacles fixes[10] seront supprimés ou isolés afin de limiter la gravité des accidents.

4. - Les dévers :

Le dévers ou pente transversale permet de favoriser l'évacuation des eaux de surface[4].

Dans les rayons de courbure faible, il contribue à l'équilibre dynamique des véhicules. Toutefois, cette contribution reste limitée et sa valeur est donc plafonnée (généralement à 7%). Au-delà de cette valeur plafond, d'autres problèmes surviennent et notamment des difficultés constructives.

Ce maximum doit être réduit dans certains cas comme par exemple les zones enneigées ou soumises à verglas fréquent ainsi que les zones où la pente en profil en long est déjà forte.

Le tracé en plan

Le tracé en plan d'une route est constitué d'une succession de courbes et d'alignements droits séparés ou pas par des raccords progressifs. Il vise à assurer de bonnes conditions de sécurité et de confort tout en s'intégrant au mieux dans la topographie du site.

1 - Les virages

Le dimensionnement des rayons du tracé en plan et des dévers correspondant est lié:

- à la dynamique des véhicules
- aux conditions de contact pneu/chaussée
- au confort de l'utilisateur.

Les paramètres purement dynamiques permettent de définir une valeur minimale de rayon en fonction de la vitesse pratiquée et du dévers et la définition d'un seuil de sécurité. L'étude du comportement des usagers en virage a permis d'identifier une marge supplémentaire " de confort".

Ces calculs permettent de déterminer deux valeurs fondamentales en matière de virages :

- **le rayon minimal** qui assure la stabilité des véhicules à la vitesse de référence lorsqu'il est associé au dévers maximal (généralement 7%).
- **le rayon non déversé** qui assure cette même stabilité en l'absence de dévers (profil en toit).

Ainsi un seuil de stabilité physique peut être déterminé à partir des contraintes dynamiques. Il s'avère cependant que pour des raisons psychologiques, ce seuil n'est jamais atteint par les conducteurs qui conservent instinctivement une marge de sécurité. Des essais ont permis de démontrer que ce seuil de sécurité peut être fixé à 2/3 du seuil de stabilité. De même, pour le dimensionnement, il est tenu compte généralement d'une marge de confort correspondant à l'accélération transversale admise par le conducteur, ce seuil de confort peut être fixé à 1/2 du seuil de stabilité.

Ceci nous donne les valeurs de rayon suivantes par couple vitesse-dévers

V \ Dévers	50 Km/h	70Km/h	90Km/h	110 Km/h	130 Km/h
-2.5%	112 72	286 181	580 362	1024 631	1662 1007
0%	98 66	242 162	473 318	808 541	1267 848
2.5 %	87 61	209 146	399 282	666 474	1023 731
5%	78 57	184 134	345 254	567 421	858 642
7%	73 54	168 125	311 235	507 387	760 586

En gras Valeurs du rayon au seuil de confort, En dessous Valeur du rayon au seuil de sécurité

Les divers guides de conception routière ont retenu des valeurs généralement supérieures à ces valeurs minimales. Pour autant, le concepteur aura une marge de manœuvre importante pour adapter les rayons à la configuration des lieux et au type de circulation attendue tout en veillant au respect des principes généraux d'enchaînement et des conditions de perception des points difficiles.

Cas des virages de faible rayon (lacets, îlots de carrefours):

Lorsque le trafic des poids lourds atteint une certaine importance, il est nécessaire de prévoir des surlargeurs de virage pour les rayons inférieurs à 200 m et permettant à des poids lourds de type semi-remorque de ne pas déborder de leur voie. La valeur de cette surlargeur est généralement de $50/R$.

Des études de giration plus précises méritent d'être réalisées lorsque le concepteur est contraint de projeter des rayons très faibles, bien que les normes sur les véhicules imposent à ces derniers de pouvoir tourner entre deux cercles concentriques de rayons 5,30m et 12,50m.

L'exemple qui suit montre une manière de déterminer les caractéristiques minimales d'un virage permettant la giration du véhicule à l'empattement maximum.

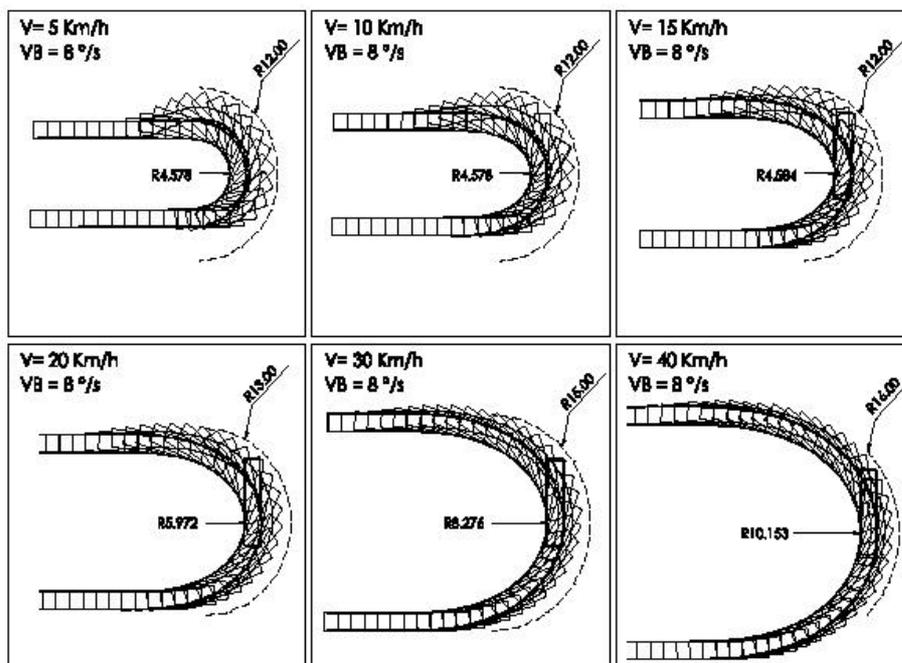
La démarche adoptée a consisté à exploiter les logiciels existants avec l'autocar TRACER dont les dimensions sont :

Porte à faux avant	Empattement	Porte à faux arrière	Largueur	LE avant	LE arrière	R Int trottoir
2,700 m	6,120 m	3,170 m	2,500 m	2,301 m	2,408 m	4,577 m

Divers logiciels de calcul sont disponibles.

On note que le rayon "enveloppe" de l'épure varie de 12 à 14 m suivant la vitesse pratiquée alors que le rayon intérieur varie de 5 mètres à 10 mètres

Les calculs ont été effectués dans des conditions optimales de giration. Pour les projets, il faut tenir compte de la marge de sécurité du conducteur, des conditions de non-arrachement de la chaussée, de la pente interne qui devra rester limitée et de la surlargeur nécessaire.



2 - raccordements progressifs

L'utilisation de raccordements progressifs pour introduire les courbes répond à deux objectifs :

- faciliter la manœuvre de virage en permettant au conducteur d'exercer une force constante sur son volant sans à-coups
- permettre d'introduire progressivement le dévers et la courbure.

La longueur de ces raccordements est limitée afin de faciliter l'appréciation de la courbe finale par l'utilisateur notamment en cas de faible rayon. Par exemple, voir ci-contre les valeurs admises dans l'ARP [1] et l'ICTAAL [2]

Profil en travers	Longueur de la clothoïde
Route à 2 voies	Inf ($6R^{0.4}$, 67m)
Route à trois voies	Inf ($9R^{0.4}$, 100 m)
2x2 voies à niveau	Inf ($12R^{0.4}$, 133m)
2 x 2 voies dénivelées ($R < 1.5 R_{nd}$)	Sup($14\Delta\delta$, $R/9$) $\Delta\delta$ différence des dévers en %

Cet élément permet également la transition entre deux dévers transversaux différents (condition de gauchissement) et permet d'intégrer dans le temps les variations d'accélération transversale (condition de confort dynamique). Le respect des longueurs ci-dessus permet un respect de ces deux conditions.

Dans le cas de routes en relief difficile, la réduction de longueur voire la suppression des raccordements progressifs peut être envisagée. Dans ce cas, la variation du dévers débutera dans l'alignement droit en évitant d'empiéter sur la courbe.

3 - principes d'enchaînements

Le code de la voirie routière[4] a imposé le principe de l'homogénéité des caractéristiques en matière de déclivité et de rayon des courbes.

L'expérience acquise a permis d'édicter quelques principes à retenir par les concepteurs routiers en ce qui concerne les enchaînements des éléments géométriques du tracé en plan :

Pour les routes interurbaines bi-directionnelles :

- les faibles rayons sont néfastes au confort de l'utilisateur et à la sécurité à l'extrémité d'un alignement droit
- trop de grands rayons nuisent à la sécurité des dépassements tout en favorisant les vitesses élevées. Il est préférable de recourir à des alignements droits (50 % du linéaire pour dépassement ou implantation de carrefours) et des courbes moyennes.
- une courbe à faible rayon après une succession de grands rayons pose des problèmes de sécurité dans la mesure où l'utilisateur s'attend à une certaine homogénéité sur l'itinéraire. L'ARP[1] préconise par exemple de respecter entre deux courbes successives de rayon R_1 et R_2 , l'équation suivante : $0,67 < R_1/R_2 < 1,5$ sauf en cas de rayons $> 500m$.
- deux courbes de même sens doivent être séparées par une longueur d'alignement droit.

De même, certains raccordements antérieurement utilisés sont aujourd'hui proscrits dans la mesure où, en introduisant des variations de courbure, ils sont susceptibles de surprendre l'utilisateur, altérer sa perception de la courbure et de ce fait dégrader les conditions de sécurité. En effet, dans ces configurations, l'utilisateur a souvent une perception tant visuelle que dynamique erronée, ne lui permettant pas d'apprécier correctement la difficulté du virage final [11], il s'agit :

- des courbes constituées d'arc de cercle de rayons différents
- des courbes en "OVE" ou en "C"
- des courbes "à sommet"

Les courbes circulaires de rayon inférieurs à $1.5R_{\text{non déversé}}$ doivent respecter les règles ci-après :

- Etre introduites sur des longueurs de 500 à 1000 m par des courbes de plus grands rayon.
- Deux courbes successives doivent satisfaire à la condition : $R1 < 1.5 R2$
- Etre séparées par un alignement droit d'au moins 200mètres sauf pour les courbes de sens contraire introduites par des raccordement progressifs.

Le profil en long

Caractéristiques

Le profil en long se caractérise par une succession de déclivités liées par des raccordements circulaires.

Pentes et rampes

Le code de la voirie routière[4] a imposé que les profils en long et en travers des routes soient établis de manière à permettre l'écoulement des eaux pluviales et l'assainissement de la plate-forme. En conséquence, s'il n'existe généralement pas de valeur minimale pour les déclivités, on s'attachera à assurer un minimum de :

- 0,5 à 1% pour les zones où le dévers est nul afin d'assurer l'évacuation des eaux de surface.
- 0,2 % dans les longues sections en déblai afin d'éviter des sur-profondeurs pour le dispositif longitudinal d'évacuation des eaux pluviales.

Et de manière générale, il convient d'éviter les zones en déblai profond délicates à assainir ainsi que les points bas en déblai.

En ce qui concerne la valeur maximale, il est communément admis de respecter la fourchette 8 à 10% en fonction notamment de la sensibilité aux phénomènes hivernaux.

Les fortes pentes peuvent en effet engendrer des problèmes de freinage des poids lourds et donc compromettre la sécurité des usagers. On évitera en particulier d'intercaler une pente de valeur moyenne entre deux zones de forte pente (problème de remise en vitesse des véhicules) mais également de positionner des points singuliers dans ou immédiatement après ces zones de forte pente.

De même, en rampe, elles entraînent des problèmes d'écoulement du trafic (qui peuvent nécessiter de créer des voies spéciales pour véhicules lents) et de surconsommation (au-delà de 2,5% de pente, chaque pourcentage supplémentaire entraîne une surconsommation de 12% par rapport à la valeur enregistrée à plat).

Raccordements circulaires

Angles saillants :

Les rayons correspondants doivent être dimensionnés au regard des contraintes de sécurité et de visibilité (cf chapitre visibilité). En fonction des caractéristiques du tracé en plan, on s'attachera à garantir la visibilité sur obstacle ou pour dépassement.

Angles rentrants :

Ces rayons ne posent pas de problèmes de sécurité majeurs mais leur dimensionnement est essentiellement conditionné par des contraintes de confort dynamiques, les conditions de visibilité nocturnes et l'évacuation des eaux de ruissellement. La présence d'un passage supérieur au droit d'un angle rentrant mérite un examen particulier.

En pratique,

- jusqu'à 70 km/h, c'est la contrainte de visibilité nocturne sur obstacle qui est dimensionnante

Sur la base d'un faisceau de phares, d'axe horizontal situé à 0,75m et de 1 degré d'ouverture, et pour une distance d'arrêt en courbe d (en m) , le rayon est donné par la formule :

$$R = d^2 / (1,5 + 0,035d)$$

- pour 80 Km/h, c'est la distance d'arrêt en ligne droite qui est retenue.
- Au delà, la contrainte principale relève du confort et concerne l'accélération verticale subie par les usagers.

Bien que le confort ne puisse être mesuré précisément car fortement dépendant du système de suspension du véhicule, de la flexibilité des pneumatiques et de la charge transportée entre autres, les normes internationales admettent une accélération verticale centrifuge maximale de $0,3 \text{ m/s}^2$ soit environ $g/33$. La condition résultante est :

$$R = V^2 / 3,9 \text{ avec } V \text{ exprimée en km/h}$$

Cette condition est le maximum recommandé. Cependant, pour les routes à faible caractéristiques (relief difficile notamment), la sécurité n'étant pas mise en jeu, des valeurs d'accélération supérieures peuvent être admises mais au détriment du confort des usagers. La valeur maximale envisageable peut être portée à $0,5 \text{ m/s}^2$.

Coordination tracé en plan – profil en long

Le respect de bonnes conditions de visibilité et la garantie d'une bonne lisibilité de l'itinéraire par l'utilisateur imposent de veiller à une bonne coordination des éléments du tracé en plan et du profil en long. C'est la combinaison des deux éléments qui conditionne l'image offerte réellement à l'utilisateur et de ce fait est le paramètre déterminant vis à vis de son comportement

Outre les objectifs d'intégration dans le site, cette coordination vise également en terme de sécurité à assurer pour l'utilisateur :

- la perception des points singuliers de l'itinéraire.
- la prévision anticipée des évolutions du tracé
- l'appréciation de l'adaptation au terrain sans être abusé par des trompe-l'œil ou gêné par des brisures ou des discontinuités.

Les pertes de tracé, si elles ne sont pas gênantes pour l'utilisateur, peuvent parfois engendrer une perception erronée du tracé routier de jour comme de nuit. En conséquence, il est nécessaire d'assurer la visibilité d'une longueur de route compatible avec la distance d'accommodation moyenne pour la vitesse pratiquée (distance conducteur – point sur lequel il fixe son attention). En cas d'impossibilité, on évitera la réapparition de la route à une distance inférieure à cette longueur.

Cette longueur est fonction de la vitesse et est de l'ordre de 180 m à 40Km/h et 500 m à 90Km/h.

Pour cette approche, il est nécessaire d'utiliser des perspectives qui permettent une synthèse entre les deux éléments en deux dimensions. Les outils informatiques actuels incluent généralement cette fonctionnalité.

L'expérience acquise dans ce domaine permet d'édicter quelques règles simples à respecter :

- essayer de faire coïncider les courbes de tracé en plan avec les courbes de profil en long en essayant de respecter une proportion entre le rayon en plan et le rayon en profil en long (l'ICTAAL[2] par exemple retient $R_{vertical} > 6 R_{horizontal}$)
- éviter qu'un début de courbe faible (< 300m) se situe en point haut de profil en long car cela entraîne une dégradation de la perception du virage
- éviter de positionner des carrefours ou accès en point haut, courbes ou zone de visibilité réduite (éventuellement côté externe des courbes non déversées après vérification des conditions de visibilité).

Bibliographie

- [1] Recommandations techniques pour la conception générale et la géométrie de la route. Aménagement des routes principales (sauf les autoroutes et routes express à deux chaussées). *guide technique*. SETRA, août 1994 – Réf. B9413
- [2] ICTAAL. Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison. *Circulaire du 12 décembre 2000*. SETRA, décembre 2000 – Réf. B0103
- [3] Code de la route. A consulter sur le site internet de Légifrance <http://www.legifrance.gouv.fr/>
- [4] code de la voirie routière. A consulter sur le site internet de Légifrance <http://www.legifrance.gouv.fr/>
- [5] Vitesses pratiquées et géométrie de la route. *Note d'information n° 10, série circulation sécurité exploitation*. SETRA, avril 1986 – Réf. E8616
- [6] Relations vitesse, courbure, dévers. *Note technique*. BRENAC, T - SETRA
- [7] Explication du chapitre 2 " visibilité" de l'ICTAAL. *Rapport*. PATTE, L – SETRA, 2000
- [8] Instruction sur les Conditions Technique d'Aménagement des Routes Nationales. DSCR, avril 1970
- [9] Instruction interministérielle sur la signalisation routière. *Arrêté du 24 novembre 1967 modifié relatif à la signalisation des routes et autoroutes*
- [10] Traitement des obstacles latéraux sur les routes principales hors agglomération. *Guide technique*. SETRA, novembre 2002 – Réf. E0233
- [11] Sécurité des routes et des rues. SETRA/CETUR, 1992 – Réf. E9228

Annexes

Annexe 1 : aspect réglementaire

Le code de la voirie routière[4] liste seulement 3 exigences pour les routes départementales et communales, exigences fondamentales :

- le premier contraint le profil en long pour la maintenance
- le second aborde le profil en travers par le gabarit sous ouvrage
- le dernier rend compte de l'homogénéité nécessaire pour ne pas surprendre le conducteur

- *les profils en long et en travers des routes départementales doivent être établis de manière à permettre l'écoulement des eaux pluviales et l'assainissement de la plate-forme.*
 - *sous les ouvrages d'art qui franchissent une route départementale un tirant d'air d'au moins 4,30 mètres doit être réservé sur toute la largeur de la chaussée.*
 - *les caractéristiques techniques de la chaussée doivent, sur une même voie, être homogènes en matière de déclivité et de rayon des courbes.*
- code de la voirie routière (R 131-1 et 141-2)**

Le code de la route[3] légifère sur la largeur et la longueur des véhicules mais non sur la hauteur qui est laissée libre. La largeur maximale des véhicules est décrite dans l'article R 312-10 :

1 - Sauf pour les machines agricoles automotrices et les machines et instruments agricoles remorqués, la largeur totale des véhicules ou parties de véhicules, y compris les superstructures amovibles et les pièces de cargaison normalisées telles que les conteneurs et caisses mobiles, mesurée toutes saillies comprises dans une section transversale quelconque ne doit pas dépasser les valeurs suivantes, sauf dans les cas et conditions où des saillies excédant ce gabarit sont explicitement autorisées par arrêté du ministre chargé des transports :

1. 2,60 mètres pour les superstructures à parois épaisses conçues pour le transport de marchandises sous température dirigée
2. 2,55 mètres pour les autres véhicules ou parties de véhicules ;
3. 2,95 mètres pour les véhicules à traction animale dont la carrosserie ou les garde-boue ne surplombent pas les roues ;
4. 2 mètres pour les motocyclettes, les tricycles et les quadricycles à moteur et les cyclomoteurs à trois roues.
5. 1 mètre pour les cyclomoteurs à deux roues (...) »

Le code de la route[3] indique l'obligation pour le conducteur de rester constamment maître de sa vitesse et régler cette dernière en fonction de l'état de la chaussée, des difficultés de la circulation et des obstacles prévisibles (R 413-17). Cette obligation se décline par une série de règles sur le comportement à adopter en cas de croisement, de dépassement.

pour le croisement

R 413-17 : réduction de vitesse nécessaire lorsque la visibilité n'est pas suffisante, dans les virages, sur les routes étroites,

R 414-2 : ralentissement, arrêt des véhicules larges de plus de 2 m et longs de plus de 7 m (à l'exception des transports en commun) qui doivent se garer pour laisser passer

R 414-3 : arrêt du véhicule descendant sur les routes de montagne étroites, ...

pour le dépassement

R 414-4 : vérification de l'absence de danger et la distance minimale (1 m en agglomération, 1,50 m hors agglomération) par rapport au "véhicule à traction animale, d'un engin à deux ou à trois roues, d'un piéton, d'un cavalier ou d'un animal"

R 414-9 : ralentissement, l'arrêt des véhicules larges de plus de 2 m et longs de plus de 7 m (à l'exception des transports en commun) qui doivent se garer pour laisser passer

R 414-11 : interdiction de dépasser, lorsque la visibilité n'est pas suffisante, ce qui peut être notamment le cas dans un virage ou au sommet d'une côte

Annexe 2 : distance d'arrêt

La **distance d'arrêt** est un calcul conventionnel qui rend compte de l'ensemble des véhicules : elle est donc significativement différente des valeurs annoncées dans les revues automobiles pour un véhicule donné.

Les conventions sont les suivantes :

- 1. la distance d'arrêt **d** est composée de
 - la distance parcourue pendant le temps de réaction du conducteur
 - la distance de freinage : distance parcourue pendant l'action de freinage qui fait passer la vitesse de V_{85} à 0.
- 2. le temps de réaction du conducteur est égal
 - à 2 s pour $V < 100$ km/h
 - à 1.8 s si $V > 100$ km/h
- 3. la distance de freinage dépend
 - de l'hypothèse sur la décélération
 - des conditions de surface : la convention indique une chaussée mouillée
 - une majoration de 25 % pour un virage dont le rayon $< 5V$ (km/h)

V₈₅	km/h	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
d (alignement)	m	15	25	35	50	65	85	105	130	160	195	230	280
D (en courbe < 5V)	m	15,5	26,5	40	55	72	95	121	151	187			

Sources : ARP de 20 à 100 km/h, ICTAAL pour 110 et 130 km/h, calculé pour 120 Km/h

Annexe 3 : accélération verticale en rayon rentrant

Rappel de la formule mathématique

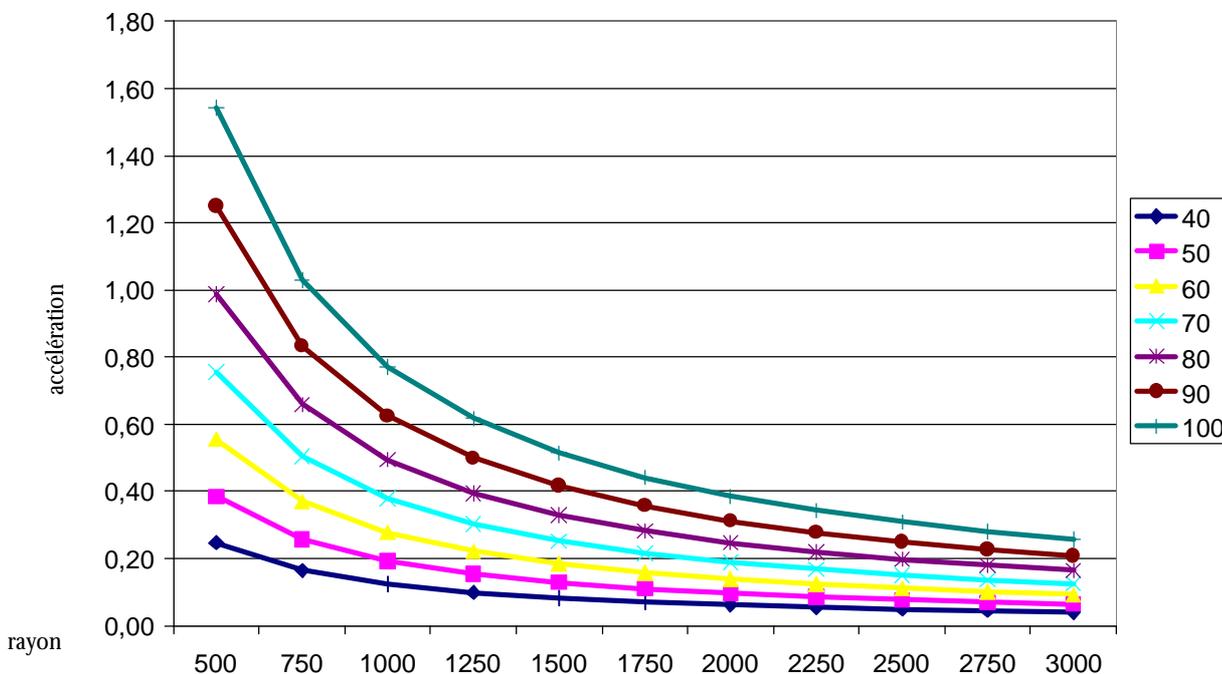
Au point bas, l'accélération subie par le conducteur correspond à la force centrifuge

soit f : force exercée ;
 $F = m\gamma$ γ : accélération
 $\gamma = v^2/R$ v : vitesse du véhicule
 R : rayon rentrant

Le calcul suivant néglige l'effet d'amortissement du véhicule.

Le tableau ci-après présente l'accélération verticale (en m/s^2) en fonction de la vitesse pratiquée et du rayon rentrant.

V km/h \ R m	500	600	750	1000	1250	1500	1750	2000	2500	3000
40	0,25	0,21	0,16	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04
50	0,39	0,32	0,26	0,19	0,15	0,13	0,11	0,10	0,08	0,06
60	0,56	0,46	0,37	0,28	0,22	0,19	0,16	0,14	0,11	0,09
70	0,76	0,63	0,50	0,38	0,30	0,25	0,22	0,19	0,15	0,13
80	0,99	0,82	0,66	0,49	0,40	0,33	0,28	0,25	0,20	0,16
90	1,25	1,04	0,83	0,63	0,50	0,42	0,36	0,31	0,25	0,21
100	1,54	1,29	1,03	0,77	0,62	0,51	0,44	0,39	0,31	0,26



On peut faire la comparaison avec les ascenseurs :

- la norme NF EN81.1 de nov 98 ne parle que de décélération pour les ascenseurs en chute libre qui doit être comprise entre 0,2 et 1g ($9,81m/s^2$)
- habituellement les accélérations dans les ascenseurs sont de $1m/s^2$, le maximum étant de 1,2

46 avenue
Aristide Briand
BP 100
92225 Bagneux cedex
France
téléphone :
33 (0)1 46 11 31 31
télécopie :
33 (0)1 46 11 31 69
internet : [www.setra.
equipement.gouv.fr](http://www.setra.equipement.gouv.fr)

Ce document a été rédigé par le Sétra et soumis au groupe de travail constitué pour l'élaboration d'un document traitant des routes territoriales.

Rédacteurs

Martine Vertet et Sylvain Giausserand – Sétra/CSTR

Ce rapport est consultable et téléchargeable sur les sites web du Sétra :

- internet : <http://www.setra.equipement.gouv.fr>
- I2 (réseau intranet du ministère de l'Équipement) : <http://intra.setra.i2>

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
de l'Équipement

