

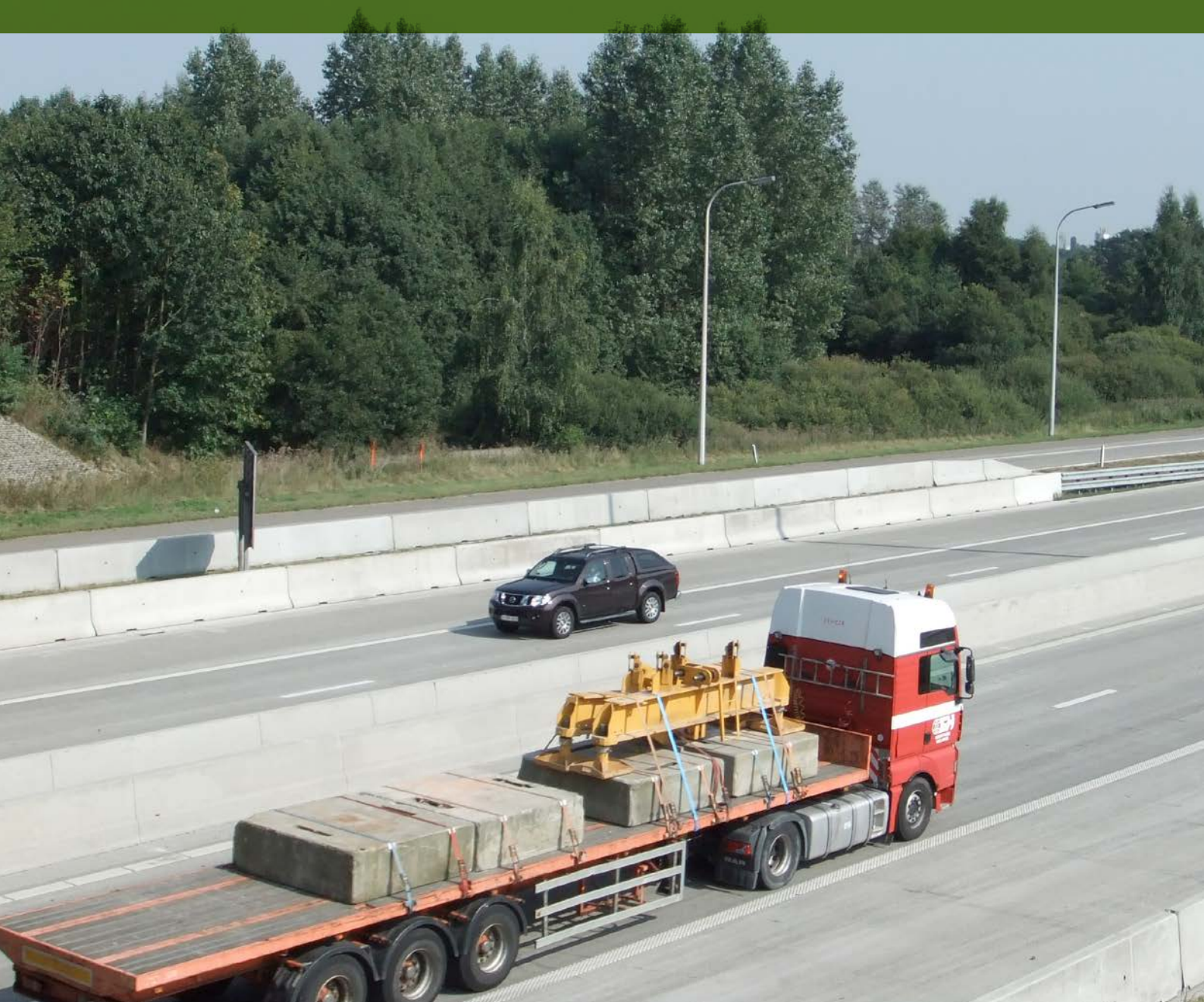
LES DISPOSITIFS DE RETENUE EN BÉTON : SÛRS ET DURABLES

INFRASTRUCTURE | AVRIL 2013

	(94)	Ef2	
--	------	-----	--

BB/SfB

- TYPES
- NORMES ET CONTRÔLE DE QUALITÉ
- CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE





Avantages des dispositifs de retenue en béton.....	3
Histoire des dispositifs de retenue en béton en Europe.....	4
Les normes européennes EN 1317.....	7
Performances et méthodes d'essai pour dispositifs de retenue des véhicules.....	8
Extrémités, raccordements et sections amovibles de dispositifs de retenue routiers.....	15
Contrôle de qualité et marquage CE des dispositifs de retenue en béton.....	16
Protection pour motocyclistes.....	17
Dispositifs de retenue routiers et écrans antibruit.....	19
Durabilité des dispositifs de retenue en béton.....	20
Conception et réalisation.....	22
Conclusions	27
Références	28

Les accidents de la route sont la cause première des décès et hospitalisations des citoyens européens de moins de 45 ans. Avec 39 000 victimes de la route en 2008 et un coût socioéconomique de 180 milliards d'euros, la sécurité routière reste un domaine d'action prioritaire de l'Union européenne. À l'instar de la plupart des pays européens, la Belgique connaît une diminution globale du nombre de morts sur la route, mais ces chiffres restent inacceptablement élevés. L'ambition à l'échelle européenne est de réduire de moitié le nombre de morts en dix ans (au cours de la période 2010-2020). L'un des objectifs stratégiques est de sécuriser l'infrastructure routière. [8]

Les systèmes de sécurité passifs et les dispositifs de retenue routiers contribuent sans nul doute à accroître la sécurité routière. Aussi, on accorde davantage d'attention aux usagers faibles, parmi lesquels les motocyclistes, dont le risque d'accident est de loin supérieur à celui des automobilistes. [7]

AVANTAGES DES DISPOSITIFS DE RETENUE EN BÉTON

Une autre préoccupation de la Commission européenne est le recours à des solutions durables correspondant au concept de « Green Public Procurement » (procédures d'achat vertes). Les dispositifs de retenue en béton constituent la solution à la double problématique de sécurité routière et de durabilité.

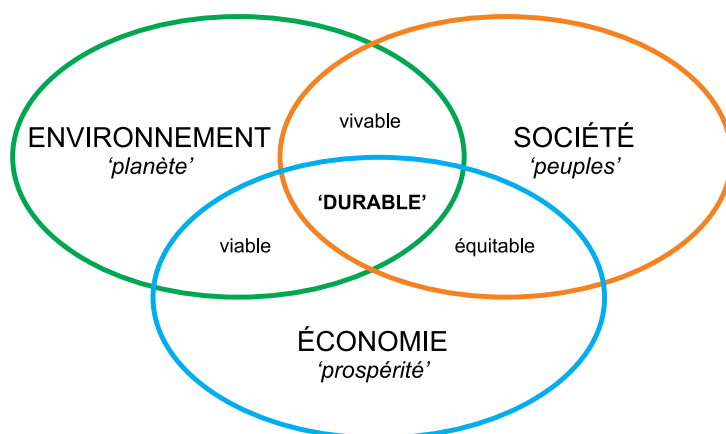
La figure ci-dessous résume certains avantages des dispositifs de retenue en béton dans les trois domaines de la construction durable : l'environnement, l'économie et la société. Ces concepts seront expliqués plus en détail dans la présente publication.

Environnement

- 80 % en moins d'émissions de CO₂ et d'énergie grise
- Aucune pollution du sol par la lixiviation de métaux (lourds)
- 100 % recyclable
- Ne nécessite pratiquement aucun entretien au cours de sa durée de vie
- Limitation des embouteillages, limitation des risques d'accident et réduction des émissions suite aux travaux d'entretien

Société

- Accroissement de la sécurité pour les usagers de la route et ouvriers
- Un véhicule qui percute le dispositif ne l'endommagera que peu, voire pas, ou ne pourra passer par-dessus
- Après la collision, la fonction du dispositif de retenue en béton est conservée, de sorte que peu de réparations doivent être effectuées, ce qui entraîne moins d'embouteillages
- Solution sûre pour les motocyclistes



Économie

- Durée de vie très longue, de plus de 50 ans
- Encombrement minimal
- Entretien limité, voire inexistant
- Possibilité de productions quotidiennes élevées, de 400 à 800 m
- Rapport qualité/prix extrêmement favorable comparé à d'autres systèmes et sur la durée de vie des éléments

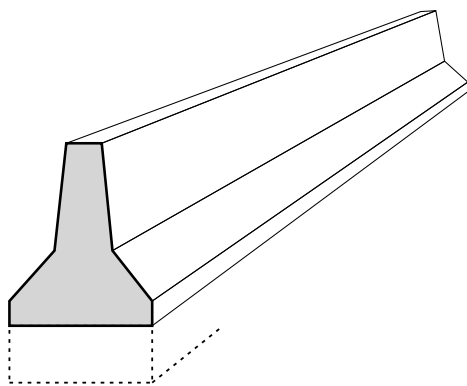
HISTOIRE DES DISPOSITIFS DE RETENUE EN BÉTON EN EUROPE

Depuis les années 1970, les bermes centrales d'autoroutes et souvent aussi les bermes latérales ont été sécurisées par le biais de dispositifs de retenue. Même si la majorité des dispositifs en acier contribuaient à la sécurité du trafic, ils requéraient beaucoup d'entretien ainsi que des réparations en cas d'accident. C'est ainsi qu'est apparue la nécessité d'élaborer des systèmes robustes et durables de dispositifs de retenue qui permettent de ne pas transiger sur la sécurité.

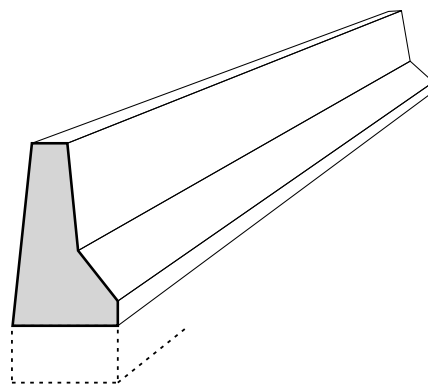
PROFIL NEW JERSEY

Le dispositif de retenue en béton équipé du profil New Jersey répond à ces exigences. À l'origine, ce type de retenue des véhicules provient d'Amérique, où General Motors a pour la première fois appliqué ce concept en 1955 dans l'État du New Jersey. Depuis 1970, le profil New Jersey est fréquemment appliqué dans de nombreux pays, notamment en France, mais également et surtout en Belgique. [4]
Deux modèles plus ou moins standardisés existaient en Europe :

Figure 1 – Variantes de l'ancien dispositif de retenue New Jersey en béton



Une variante "double face", utilisée notamment dans le cas de bermes centrales étroites ;



Une variante "simple face", pouvant être utilisée pour des bermes centrales plus larges et des bermes latérales.



Photo : L. Rens

Dispositif de retenue New Jersey en berme centrale d'une autoroute

DU PROFIL NEW JERSEY À LA BARRIÈRE STEP

Il est ressorti d'une expérience internationale que les collisions à haute vitesse d'un petit véhicule contre un profil New Jersey à haute vitesse risquaient d'entraîner des accidents de type roll-over, où le véhicule se retournait sur le toit.

Ce fut l'occasion pour le *Rijkswaterstaat*, le gestionnaire néerlandais des voiries, de rechercher d'autres types de profil. Dans les années 1990, ils ont mis au point la barrière Step, sur base de la barrière « *single-slope* » ou « à pente unique » anglaise. L'avantage de cette barrière Step par rapport au profil New Jersey était le risque bien moindre d'accident par retournement ainsi qu'une diminution des dégâts au véhicule en cas de collisions légères grâce à la « marche » (step). [4]

La barrière Step en béton constitue aujourd'hui la solution standard pour les dispositifs de retenue en béton coulés sur place en Europe. En Belgique, depuis 2005, des dizaines de kilomètres de barrière Step sont posés chaque année, la majorité dans les bermes centrales d'autoroutes.

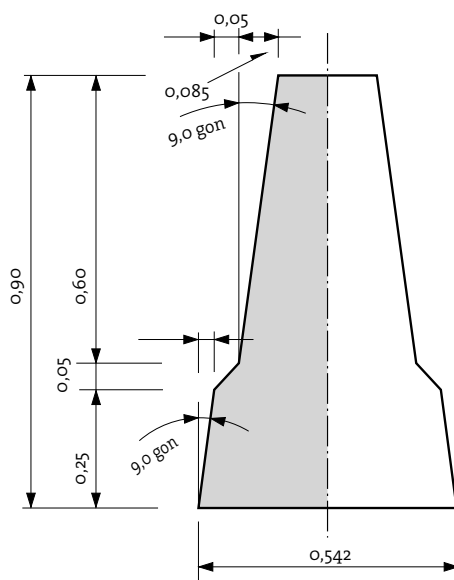


Figure 2 – Dimensions standard de la barrière Step

L'une des premières applications de la barrière Step en béton sur l'autoroute Bruxelles – Tournai (1999)



Photo : P. Van Audenhove

DISPOSITIFS DE RETENUE EN BÉTON PRÉFABRIQUÉS ET COULÉS EN PLACE

Un dispositif de retenue en béton peut soit être coulé en place, soit être composé d'éléments préfabriqués, qui sont ensuite assemblés sur chantier.

Le coulage en place s'effectue au moyen d'une machine à coffrages glissants (« slipform paver ») qui compacte le béton prêt à couler et le transforme en produit fini à l'aide d'une

matrice adaptée. Cette méthode de pose permet d'atteindre des productions journalières très élevées à des prix compétitifs. Le dispositif peut être ancré à la sous-couche (fondation en béton maigre, couche intermédiaire en asphalte, etc.) ou peut être posé sans ancrage.



Pose d'une barrière Step en béton

Photo : AWV

Les éléments préfabriqués sont produits en usine à l'intérieur, présentant ainsi des conditions de prise favorables au béton. Ils sont ensuite assemblés sur chantier, ce qui limite la dépendance des travaux aux

conditions météorologiques. Étant donné qu'ils sont plus facilement déplaçables, ils sont fréquemment employés dans la sécurisation de zones de chantier de travaux routiers.



Photo : Omnibeton – Deltabloc



Photo : L. Rens

Dispositifs de retenue préfabriqués dans une structure permanente et temporaire

LES NORMES EUROPÉENNES EN 1317

Depuis le début des années 1990, il existe au sein du CEN (le Comité européen de normalisation) un Comité technique lié à l'aménagement des routes (CEN TC 226) ainsi qu'un Groupe de travail (WG1), consacrés à la rédaction de règles normalisées pour

différents types de dispositifs de retenue routiers. Les versions originales et révisées des séries de normes européennes EN 1317, y compris leurs amendements, sont les suivantes (situation en août 2012) :

EN 1317-1:1998 EN 1317-1:2010 (révision)	Dispositifs de retenue routiers – Partie 1 : Terminologie et dispositions générales pour les méthodes d'essai
EN 1317-2:1998 + A1:2006 EN 1317-2:2010 (révision)	Dispositifs de retenue routiers – Partie 2 : Classes de performance, critères d'acceptation des essais de choc et méthodes d'essai pour les barrières de sécurité incluant les barrières de bord d'ouvrage d'art
EN 1317-3:2000 EN 1317-3:2010 (révision)	Dispositifs de retenue routiers – Partie 3 : Classes de performance, critères d'acceptation des essais de choc et méthodes d'essai pour les atténuateurs de choc
ENV 1317-4:2002	Dispositifs de retenue routiers – Partie 4 : Classes de performance, critères d'acceptation des essais de choc et méthodes d'essai des extrémités et raccordements des barrières de sécurité
EN 1317-5:2007 + A2/AC:2012	Dispositifs de retenue routiers – Partie 5 : Exigences relatives aux produits et évaluation de la conformité des dispositifs de retenue pour véhicules
CEN/TR 1317-6:2012	Dispositifs de retenue routiers – Partie 6 : Dispositifs de retenue pour piétons - Garde-corps
CEN/TS 1317-8:2012	Dispositifs de retenue routiers – Partie 8 : Dispositifs de retenue routiers pour motos réduisant la sévérité de choc en cas de collision de motocyclistes avec les barrières de sécurité
CEN/TR 16303-1 to 4:2012	Dispositifs de retenue routiers – Recommandations pour la simulation numérique d'essais de choc sur des dispositifs de retenue des véhicules

Les documents normatifs suivants sont en phase préparatoire (situation en août 2012) :

prEN 1317-4	Dispositifs de retenue routiers – Partie 4 : Classes de performance, critères d'acceptation des essais de choc et méthodes d'essai pour les extrémités et les sections de barrière amovibles
prEN 1317-5	Dispositifs de retenue routiers – Partie 5 : Exigences relatives aux produits, méthodes d'essais et d'évaluation et critères d'acceptation des dispositifs de retenue pour véhicules
prEN 1317-7	Dispositifs de retenue routiers – Partie 7 : Classes de performance et critères d'acceptation des extrémités des barrières de sécurité

Remarques :

- Les atténuateurs de choc et les dispositifs de retenue pour piétons ne sont pas traités dans cette publication.

- EN = norme européenne approuvée

- A = amendement

- ENV = prénorme

- TS = spécifications techniques

- TR = rapport technique

- pr = projet, en phase de rédaction, pas encore approuvé

PERFORMANCES ET MÉTHODES D'ESSAI POUR DISPOSITIFS DE RETENUE DES VÉHICULES

CLASSES DE PERFORMANCES – NIVEAUX DE RETENUE

Tableau 1 – Essais de choc normalisés

La première version de la norme européenne EN 1317-2 est apparue en 1998. Une version révisée a été publiée en 2010. La version originale définissait 10 classes de performances. Plus la classe de performances est élevée, plus le dispositif doit être solide pour résister aux charges de choc plus élevées. Chaque classe de performance renvoie à une série d'essais

de choc. Un dispositif de retenue possédant une classe de performances donnée doit être capable de résister à des véhicules spécifiques à une vitesse donnée et sous un angle d'impact donné. C'est ce qu'on appelle la « retenue ». Le *tableau 1* donne un aperçu des différents essais de choc normalisés.

Essai	Type de véhicule	Masse [kg]	Vitesse [km/h]	Angle d'impact [°]
TB11	véhicule de tourisme	900	100	20
TB21	véhicule de tourisme	1300	80	8
TB22	véhicule de tourisme	1300	80	15
TB31	véhicule de tourisme	1500	80	20
TB32	véhicule de tourisme	1500	110	20
TB41	camion (1 ensemble)	10000	70	8
TB42	camion (1 ensemble)	10000	70	15
TB51	autobus	13000	70	20
TB61	camion (1 ensemble)	16000	80	20
TB71	camion (1 ensemble)	30000	65	20
TB81	camion (tracteur + remorque)	38000	65	20

Les niveaux de retenue suivants ont été définis (EN 1317-2:1998) :

Retenue avec angle d'impact faible	niveaux T1, T2 et T3
Retenue normale	niveaux N1 et N2
Retenue élevée	niveaux H1, H2 et H3
Retenue très élevée	niveaux H4a et H4b

La retenue avec angle d'impact faible sert exclusivement aux dispositifs de sécurité temporaires. Toutefois, ce type de dispositifs peut également faire l'objet d'un essai et d'une acceptation pour des niveaux de retenue plus élevés. Lorsqu'un dispositif a passé le test à un niveau de retenue donné, il est également accepté pour les niveaux inférieurs de retenue, à l'exception des niveaux N1 et N2, qui ne sont pas acceptés pour T3. Cette exclusion se justifie par la mise en place d'un essai de choc (TB41) dans le cas

d'un niveau T3, tandis que seuls des essais de choc avec des véhicules de tourisme sont réalisés dans le cas des niveaux N1 et N2. Les niveaux de retenue très élevée H4a et H4b ne sont pas équivalents, mais il n'existe aucune hiérarchie entre les deux. La différence entre les essais TB71 avec un camion d'un seul tenant et TB81 avec un tracteur et une remorque trouve son origine dans l'utilisation de types clairement différents de véhicules lourds existants dans divers pays.

Le *tableau 2* fournit un aperçu des différents niveaux de retenue. La révision des normes EN 1317, parties 1, 2 et 3 en 2010 a ajouté les nouveaux niveaux « L » de retenue aux niveaux existants de retenue élevée et très élevée. Les

performances des niveaux « L » se voient améliorées par rapport aux niveaux « H », grâce à l'ajout d'un essai de choc supplémentaire TB32 avec une voiture de 1 500 kg.

Niveaux de retenue				Essais d'acceptation
Retenue avec angle d'impact faible	T1			TB 21
	T2			TB 22
	T3			TB 41 et TB 21
Retenue normale	N1			TB 31
	N2			TB 32 et TB 11
Retenue élevée	H1			TB 42 et TB 11
	L1			TB 42 et TB 32 et TB 11
	H2			TB 51 et TB 11
	L2			TB 51 et TB 32 et TB 11
	H3			TB 61 et TB 11
	L3			TB 61 et TB 32 et TB 11
Retenue très élevée	H4a H4b			TB 71 et TB 11 TB 81 et TB 11
	L4a L4b			TB 71 et TB 32 et TB 11 TB 81 et TB 32 et TB 11

Tableau 2 – Niveaux de retenue dans la norme EN 1317-2:2010 (version révisée)



Exemple de dispositif de retenue en béton préfabriqué avec retenue très élevée (H4b) sur un viaduc

Photo : Deltabloc

ASI (ACCELERATION SEVERITY INDEX) – INDICE DE SÉVÉRITÉ D'ACCÉLÉRATION

La valeur ASI, ou indice de sévérité d'accélération, donne une idée de la sévérité du mouvement auquel est soumise une personne dans un véhicule lors d'un choc contre un dispositif de retenue. Ce choc est mesuré et

calculé comme la résultante des ralentissements dans différentes directions d'un point fixe du véhicule à proximité du centre de masse de ce véhicule. Les détails à ce sujet se retrouvent dans la norme EN 1317-1:2010.

THIV (THEORETICAL HEAD IMPACT VELOCITY) – VITESSE THEORIQUE D'IMPACT

Le THIV a été mis au point pour évaluer la sévérité du choc d'un occupant du véhicule concerné par une collision contre un système de retenue des véhicules. L'occupant est considéré comme un objet en déplacement libre (tête de la personne) qui, lorsque la vitesse du véhicule change au

contact du dispositif de retenue des véhicules, poursuit son mouvement jusqu'à heurter l'intérieur du véhicule. L'ampleur de la vitesse de ce choc théorique de la tête est considérée comme une mesure de la sévérité du choc du véhicule contre le dispositif.

NIVEAUX DE SÉVÉRITÉ DU CHOC

Tableau 3 – Classes de sévérité du choc selon la norme EN 1317-2:2010 (version révisée)

L'évaluation de la sévérité du choc pour les occupants du véhicule s'effectue par le biais d'essais impliquant uniquement des véhicules de tourisme (pour les niveaux de retenue élevée et très élevée, l'essai de choc TB11 est réalisé avec un véhicule de tourisme de 900 kg à une vitesse de 100 km/h ; dans le cas des classes L, l'essai de choc complémentaire TB32 est réalisé avec un véhicule de tourisme de 1 500 kg à une vitesse de 110 km/h). Le niveau de sévérité du choc est déterminé par la valeur la plus élevée

obtenue durant les essais. Le *tableau 3* fournit une subdivision en trois classes de la sévérité du choc : A, B et C. Pour chacune de ces classes, une valeur maximale de l'ASI est spécifiée ainsi qu'une valeur maximale du THIV, qui est la même pour les trois classes (33 km/h). Le niveau A offre un niveau de sécurité supérieur à l'occupant d'un véhicule en collision par rapport au niveau B, qui à son tour offre une sécurité accrue par rapport au niveau C.

Classe de sévérité du choc	ASI		THIV
A	≤ 1,0	et	≤ 33 km/h
B	≤ 1,4	et	≤ 33 km/h
C	≤ 1,9	et	≤ 33 km/h

La classe C a été introduite par un amendement à la version originale de la norme EN 1317-2. Une controverse est apparue à ce moment-là, étant donné que certaines parties considéraient qu'une valeur ASI supérieure à 1,4 ne serait plus sûre. Toutefois, cela n'a jamais été prouvé par

un quelconque essai sur le rapport entre ASI ou THIV et le risque de blessure d'occupants d'un véhicule. En revanche, ce rapport a fait l'objet d'une étude en 2008 par le bureau d'ingénierie Ove Arup & Partners Ltd. [10]

HIC CONTRE ASI

L'étude se composait de trois essais de choc réellement effectués et de 50 simulations sur ordinateur. Les blessures encourues par les dispositifs anthropomorphiques d'essai spéciaux ont été mesurées et comparées aux valeurs limites provenant de programmes d'essai avec des volontaires et des cadavres humains. Ces valeurs mesurées ont ensuite été étendues en fonction des valeurs d'ASI et de THIV, les deux grandeurs principales permettant d'évaluer la sévérité du choc. Les résultats ont démontré qu'il existe non seulement une relation manifeste entre l'ASI et le risque de blessures, mais également que le niveau choisi dans la norme EN 1317 pour distinguer les classes B et C ne présente aucune différence significative entre le risque élevé ou faible de blessures.

La figure ci-dessous présente le HIC, qui signifie Head Injury Criterion ou « Critère de blessure à la tête », en fonction de la sévérité du choc, déterminé par l'indice de sévérité d'accélération, ASI. La limite acceptable pour le HIC a

été fixée à 325. Il s'agit de la moitié de la valeur relative à la protection de la tête autorisée dans la procédure EuroNCAP (European New Car Assessment Programme) pour les collisions latérales. Cette approche très conservatrice (et donc sûre) correspond à un risque de blessure moyenne de moins de 10 %. Il ressort des graphiques que les blessures restent très limitées pour un ASI jusqu'à 1,6. Malgré le niveau prudent de blessures acceptables adopté, même les valeurs ASI jusqu'à 1,8 se trouvent encore dans la zone de sécurité.

On a pu tirer des conclusions similaires pour les blessures à la nuque : pour les collisions avec un ASI jusqu'à 1,7, les blessures restaient très peu probables.

Nous pouvons dès lors en conclure que la frontière entre les classes ASI a été fixée de manière plutôt arbitraire. En revanche, l'exigence de la norme EN 1317, qui stipule que la valeur THIV doit rester en deçà de 33 km/h, s'est avérée correcte. En deçà de cette valeur, la probabilité de blessure grave devenait en effet très faible.

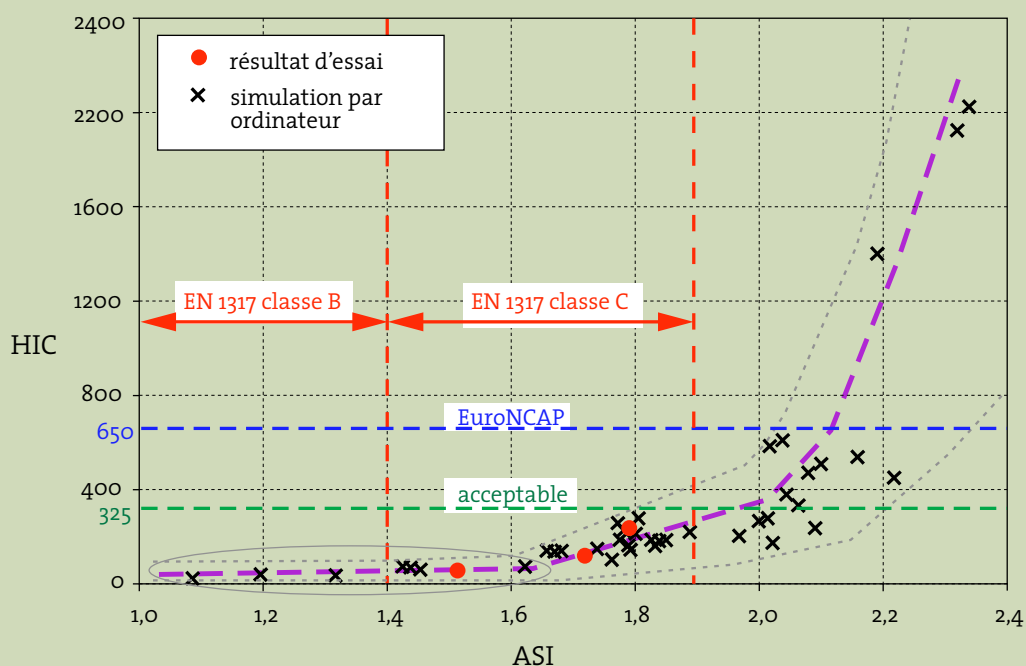


Figure 3 – Lien entre le HIC (head injury criterion) et l'ASI (acceleration severity index) [Réf. 10]

DÉFORMATION DES DISPOSITIFS DE RETENUE

La déformation des dispositifs de retenue lors d'essais de choc se caractérise par les grandeurs suivantes : la déflexion dynamique, la largeur de fonctionnement et l'intrusion du véhicule. La déflexion dynamique (D_m) est définie par le déplacement dynamique latéral maximal d'un point à la surface du dispositif de retenue, côté trafic (voir *figure 4*).

La largeur de fonctionnement (W_m) est la distance latérale maximale entre toute partie du dispositif sur la surface non déformée, côté trafic, et la position dynamique maximale de toute partie du dispositif. Si le véhicule se déforme autour du dispositif de retenue, ce qui fait que ce dernier ne peut être utilisé pour déterminer la largeur de fonctionnement, la position latérale maximale de toute partie du véhicule sera prise comme méthode de mesure alternative (voir *figure 4*).

L'intrusion du véhicule (VI_m) pour un camion représente sa position latérale dynamique maximale par rapport à la surface non déformée du dispositif, côté trafic (voir *figure 4*). Son évaluation s'effectue à l'aide de prises photographiques ou cinématiques à vitesse élevée.

La déflexion dynamique, la largeur de fonctionnement et l'intrusion du véhicule permettent de définir les conditions d'installation de tout dispositif de retenue, en particulier la distance à prévoir entre le dispositif et un obstacle en vue de performances adéquates.

La norme EN 1317-2:2010 prévoit des formules pour transformer les valeurs D_m , W_m et VI_m mesurées en valeurs normalisées D_N , W_N et VI_N . Pour W_N et VI_N , la norme EN 1317-2:2010 définit des classes à l'aide de différents niveaux (voir *tableaux 4 et 5*).

Tableau 4 – Classes avec niveaux de largeur de fonctionnement normalisée (EN 1317-2:2010)

Classes	Niveaux de largeur de fonctionnement normalisée
W1	$W_N \leq 0,6 \text{ m}$
W2	$W_N \leq 0,8 \text{ m}$
W3	$W_N \leq 1,0 \text{ m}$
W4	$W_N \leq 1,3 \text{ m}$
W5	$W_N \leq 1,7 \text{ m}$
W6	$W_N \leq 2,1 \text{ m}$
W7	$W_N \leq 2,5 \text{ m}$
W8	$W_N \leq 3,5 \text{ m}$

Dans certains cas, une classe avec une largeur de fonctionnement inférieure à W1 peut être définie.

Tableau 5 – Classes avec niveaux d'intrusion du véhicule normalisée (EN 1317-2:2010)

Classes	Niveaux d'intrusion du véhicule normalisée
VI1	$VI_N \leq 0,6 \text{ m}$
VI2	$VI_N \leq 0,8 \text{ m}$
VI3	$VI_N \leq 1,0 \text{ m}$
VI4	$VI_N \leq 1,3 \text{ m}$
VI5	$VI_N \leq 1,7 \text{ m}$
VI6	$VI_N \leq 2,1 \text{ m}$
VI7	$VI_N \leq 2,5 \text{ m}$
VI8	$VI_N \leq 3,5 \text{ m}$

Dans certains cas, une classe avec une intrusion de véhicule inférieure à VI1 peut être définie.

Figure 4 – Déflexion dynamique (D_m), largeur de fonctionnement (W_m) et intrusion du véhicule (VI_m) – valeurs mesurées

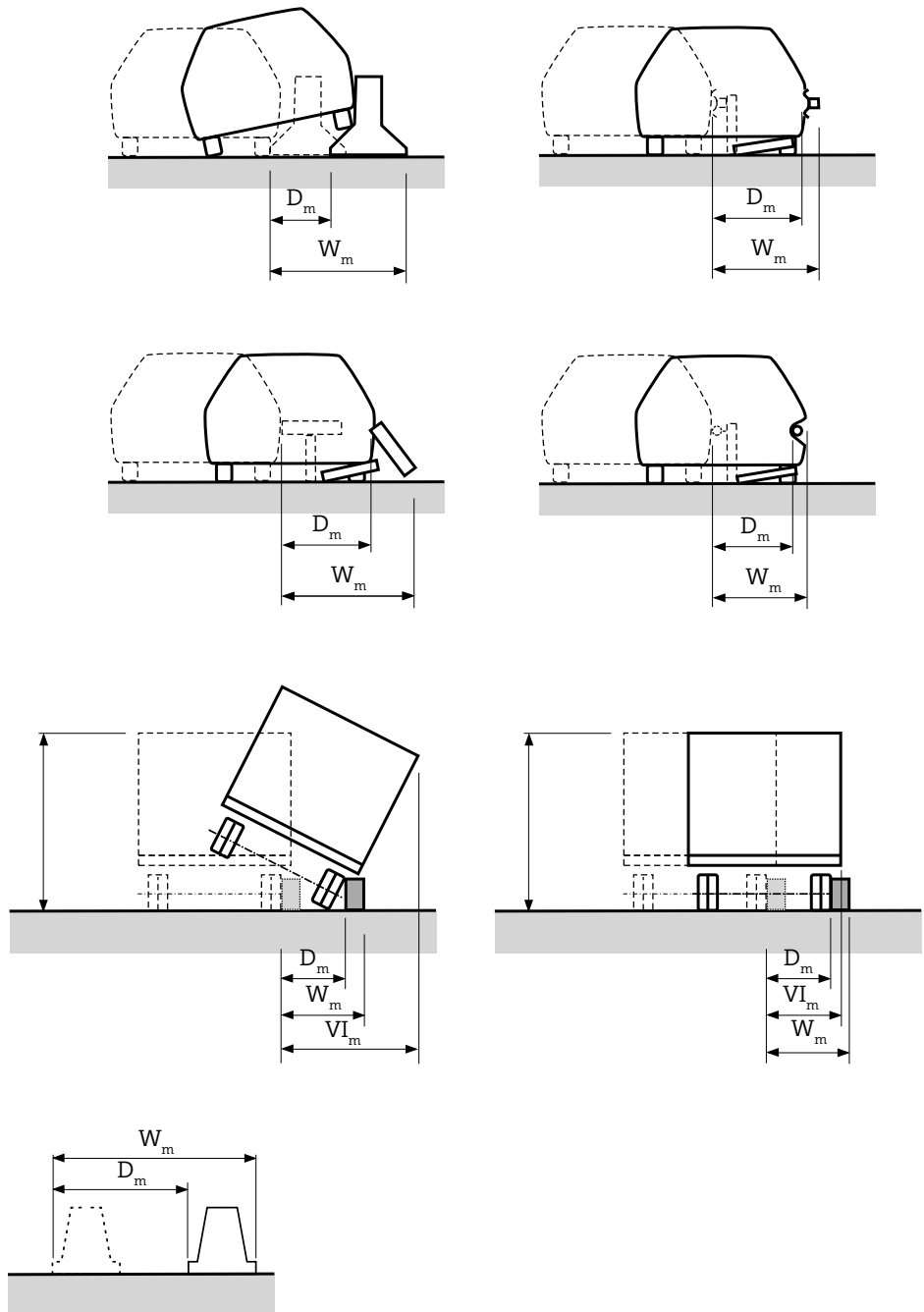


Photo : www.gva.be

La déflexion dynamique, la largeur de fonctionnement et l'intrusion du véhicule constituent des paramètres essentiels pour établir la distance nécessaire entre un dispositif de retenue et un obstacle tel qu'un poteau d'éclairage routier.



Photo : L. Rens

Protection sûre d'une pile de pont à l'aide d'un dispositif de retenue en béton préfabriqué

CRITÈRES D'ACCEPTATION POUR ESSAIS DE CHOC

Le *tableau 6* fournit un aperçu des paramètres d'essai qui seront évalués selon certains critères d'acceptation en fonction du niveau de retenue.

Niveau de retenue	PARAMÈTRES			
	Comportement de la barrière de sécurité (y compris les barrières de bord d'ouvrage d'art et du véhicule)	Niveau de sévérité du choc	Déformation du véhicule	Déformation de la barrière de sécurité (y compris les barrières de bord d'ouvrage d'art)
T ₁ T ₂ T ₃	TB 21 TB 22 TB 41 + TB 21	TB 21 TB 22 TB 21	TB 21 TB 22 TB 21	TB 21 TB 22 TB 41 + TB 21
N ₁ N ₂	TB 31 TB 32 + TB 11	TB 31 TB 32 + TB 11 ^a	TB 31 TB 32 + TB 11	TB 31 TB 32 + TB 11
H ₁ H ₂ H ₃	TB 42 + TB 11 TB 51 + TB 11 TB 61 + TB 11	TB 11 TB 11 TB 11	TB 11 TB 11 TB 11	TB 42 + TB 11 TB 51 + TB 11 TB 61 + TB 11
H _{4a} H _{4b}	TB 71 + TB 11 TB 81 + TB 11	TB 11 TB 11	TB 11 TB 11	TB 71 + TB 11 TB 81 + TB 11
L ₁ L ₂ L ₃	TB 42 + TB 32 + TB 11 TB 51 + TB 32 + TB 11 TB 61 + TB 32 + TB 11	TB 32 + TB 11a TB 32 + TB 11a TB 32 + TB 11a	TB 32 + TB 11 TB 32 + TB 11 TB 32 + TB 11	TB 42 + TB 32 + TB 11 TB 51 + TB 32 + TB 11 TB 61 + TB 32 + TB 11
L _{4a} L _{4b}	TB 71 + TB 32 + TB 11 TB 81 + TB 32 + TB 11	TB 32 + TB 11a TB 32 + TB 11a	TB 32 + TB 11 TB 32 + TB 11	TB 71 + TB 32 + TB 11 TB 81 + TB 32 + TB 11
NOTE : VCDI n'est pas un critère d'acceptation				
^a : Le niveau de sévérité du choc est déterminé par la valeur la plus élevée obtenue lors des essais, tous les résultats devant être inclus dans le rapport d'essai.				

Tableau 6 - Paramètres d'essai en fonction du niveau de retenue

LE DISPOSITIF DE RETENUE EN BÉTON « BARRIÈRE STEP »

Comme indiqué précédemment, la barrière Step en béton est considérée comme la solution standard pour les dispositifs de retenue en béton coulé en place en Europe. Les essais originaux, effectués en 1995, ont produit les performances suivantes :

Niveau de retenue H₂
 Classe de largeur de fonctionnement W₁ (*)
 Classe de sévérité du choc B

Entre-temps, différentes variantes de cette solution de base ont déjà été mises au point, testées et installées, essentiellement en Allemagne et au Royaume-Uni (version indépendante au lieu d'encastree, différentes hauteurs et/ou largeurs, etc.).



Photo : Agentschap Wegen en Verkeer

(*) Selon la dernière version de la EN 1317-2, la classe de largeur de fonctionnement serait toujours W₁ et la classe de niveau d'intrusion VI_{N2}.

EXTRÉMITÉS, RACCORDEMENTS ET SECTIONS AMOVIBLES DE DISPOSITIFS DE RETENUE ROUTIERS

Les extrémités sont définies comme étant le début ou la fin d'un dispositif de retenue. Elles doivent fournir certaines performances requises par rapport au choc et ne peuvent représenter de danger pour les véhicules de tourisme.

Des problèmes peuvent également survenir dans la transition entre deux types de dispositifs différents avec une différence réelle en matière de conception et/ou de rigidité. Les raccords sont nécessaires pour opérer une transition sûre et progressive d'un dispositif de retenue à l'autre.

Une section amovible de dispositif de retenue est définie comme une section reliée à ses deux extrémités au dispositif de retenue et qui peut être retirée et remplacée pour pratiquer des ouvertures temporaires.

Ces sections servent principalement dans des cas d'urgence ou pour garantir l'accès en cas d'entretien de la voirie. Dans une structure fermée, elles doivent fournir les performances attendues en matière de retenue.

La norme actuelle ENV 1317-4 comporte une série de classes de performances et de méthodes d'essai pour les extrémités et raccords. Différents systèmes ont déjà été testés et approuvés conformément à cette norme, dont les raccords entre différents types de dispositifs de retenue en béton (préfabriqué – préfabriqué, sur place – sur place, préfabriqué – sur place), ainsi qu'entre des dispositifs de retenue en béton et en acier.

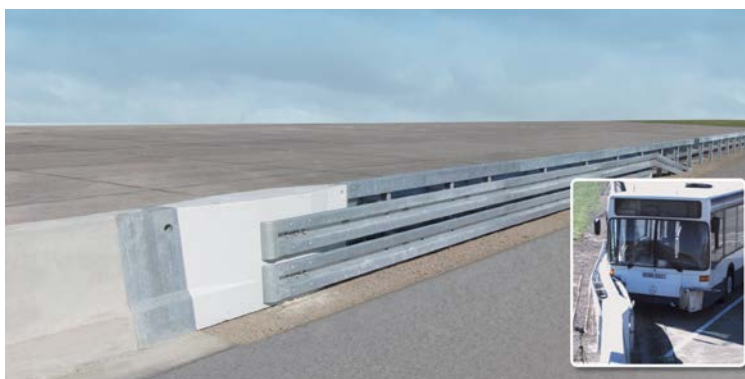
Exemples de raccords entre différents systèmes de retenue des véhicules en béton



Photo : Deltabloc



Photo : L. Rens



Raccordement entre une barrière Step en béton et un dispositif de retenue en acier

Photo : Linetech

Actuellement, la subdivision de la prénorme ENV 1317-4 en deux nouvelles normes est à l'étude :

EN 1317-4, qui traitera des raccords et des sections amovibles. La nouvelle norme décrit différentes manières d'évaluer les performances.

EN 1317-7, qui traitera des extrémités. Généralement, les extrémités sont conçues dans le but de fixer le dispositif de retenue. Les extrémités peuvent être équipées pour absorber l'énergie de la collision ou non.

CONTRÔLE DE QUALITÉ ET MARQUAGE « CE » DES DISPOSITIFS DE RETENUE EN BÉTON

Le marquage CE est une déclaration du fabricant établissant que le produit satisfait à toutes les exigences des normes et de la législation européennes concernées. L'objectif du marquage CE est de supprimer toutes les barrières commerciales au sein de l'Union européenne en fournissant aux entreprises un accès plus aisé au marché européen afin de vendre leurs produits sans adaptation ou contrôles complémentaires.

La EN 1317 est la série de normes pour les systèmes de retenue des véhicules. La partie 5 comporte l'annexe ZA, la partie « harmonisée » de la norme, qui forme la base de la certification CE et du marquage CE. Les dispositifs de retenue temporaires sont exclus du champ d'application de cette partie 5.

À partir de juillet 2013, le marquage CE sera obligatoire pour tous les dispositifs de retenue routiers permanents en Europe, sur la base du nouveau Règlement Produits de Construction (anglais : *Construction Products Regulation – CPR*) qui remplacera l'ancienne Directive Produits de Construction (anglais : *Construction Products Directive – CPD*). La CPR prévoit certaines exceptions à l'obligation en marquage CE, notamment pour les travaux de construction réalisés en place.

Pour le respect des aspects « exigences de durabilité » et « tolérances », qui ne sont décrits que de manière vague, voire pas du tout, dans la norme EN 1317-5, se référer aux documents suivants :

- Cahier des charges type Qualiroutes, version 2012 du Service public de Wallonie, chapitre H; voir également plus loin dans cette publication-ci sous "Conception et Mise en œuvre";
- Prescription Technique PTV 124 "Elements préfabriqués en béton pour dispositifs de retenue routiers", publiées par PROBETON (organisme de gestion pour le contrôle des produits en béton).

Contrôle qualité lors de
la pose d'une barrière
Step en béton



Photo : Britpave

PROTECTION POUR MOTOCYCLISTES

Les systèmes de retenue des véhicules sont en premier lieu conçus pour retenir et diriger les voitures, autobus et camions. Cela signifie donc qu'ils ne sont pas nécessairement sûrs pour d'autres utilisateurs de la route, en particulier les motocyclistes.

Parfois, au contraire, l'équipement routier représente un réel danger pour les deux-roues. C'est notamment le cas pour les dispositifs de retenue à base de câbles en acier et pour les poteaux en acier auxquels sont fixées les habituelles glissières.

Par contre, vu l'absence de poteaux, les dispositifs de retenue en béton avec surface égale continue ne sont pas considérés comme dangereux pour les motocyclistes. [7]

Dans différents pays, des équipements de protection ont été conçus pour prémunir les motocyclistes de tout choc contre les bords coupants des profilés métalliques s'ils viennent à tomber de leur moto et à glisser au sol. Dans de nombreux pays européens, dont la Belgique, ces aménagements appelés « lisses de sécurité » ont également été posés aux endroits dangereux, principalement dans les virages avec rayon de courbure réduit.



Exemple de lisse de protection pour motocyclistes posée sur une glissière de sécurité existante

Photo : L. Rens

Certains pays (Allemagne, Espagne, Portugal) ont étudié des méthodes pour tester ces lisses de protection.

La méthode d'essai espagnole formait la base de l'essai de référence qui a fait l'objet d'un débat au niveau européen et est repris dans la partie 8 de la série de normes EN 1317. Cependant, cette partie a été approuvée à titre provisoire sous la forme d'une Spécification technique CEN/TS 1317-8 « Dispositifs de retenue routiers pour motos réduisant la sévérité de choc en cas de collision de motocyclistes avec les barrières de sécurité ». Cette Spécification technique (TS) deviendra peut-être une véritable norme européenne (EN) à un stade ultérieur.

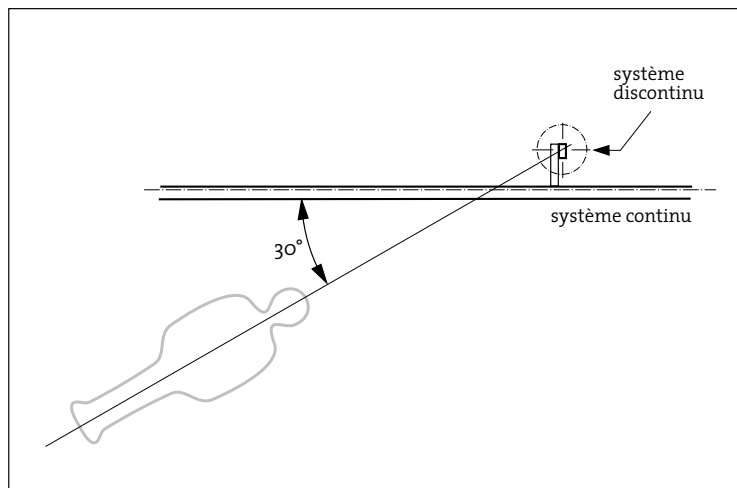
Dans les essais prévus par cette TS, seul est pris en compte le cas d'un motocycliste glissant au sol (la méthode allemande prévoit

également une évaluation du risque de franchissement du dispositif). Les paramètres de choc sont l'angle d'impact (30°), la vitesse (60 et 70 km/h) et le choix de l'endroit du choc (trois possibilités). De plus, la position du dispositif anthropomorphique d'essai (DAE) est telle que la lisse de protection (ou le dispositif de retenue même) entre d'abord en contact avec la tête, ce qui peut être considéré comme la situation la plus dangereuse, mais aussi une situation très improbable.

Lors de l'essai, les forces appliquées sur la tête et la nuque du DAE ont été mesurées. Elles sont liées aux lésions potentielles à la tête, pour lesquelles sont prévus deux niveaux : HIC 650 ou HIC 1000 (*HIC = Head Injury Criterion*).

Remarque : la valeur la plus faible pour le HIC représente le double de ce qui est considéré comme acceptable lors du débat sur la valeur ASI dans l'encart en page 11.

Figure 5 – L'une des trois configurations de choc prévues pour les essais de dispositifs de retenue pour motocyclistes



La surface lisse et continue et l'absence de poteaux de fixation près des dispositifs de retenue en béton, prefabriqués ou coulés en place, limitent le risque de blessure en cas de choc par les motocyclistes.



Exemple de barrière Step en béton coulée sur place

Photo : L. Rens

DISPOSITIFS DE RETENUE ROUTIERS ET ÉCRANS ANTIBRUIT

Les normes s'appliquant aux dispositifs de retenue (série EN 1317) et aux dispositifs antibruit (séries EN 1793 et 1794) sont totalement différentes. Toutefois, les deux fonctions peuvent se combiner en un seul système, qui peut ensuite être testé et approuvé selon les différentes normes.

Une autre possibilité consiste à installer des dispositifs de retenue testés et approuvés tels que la barrière Step comme protection pour tout type d'écran antibruit.



Photo : Deltabloc

Exemple d'ensemble combinant un dispositif de retenue des véhicules et un écran antibruit



Exemple de barrière Step en béton installée comme protection d'un écran antibruit

Photo : L. Rens

DURABILITÉ DES DISPOSITIFS DE RETENUE EN BÉTON [11]

La *page 3* présente déjà brièvement les avantages des dispositifs de retenue en béton, répartis selon les trois piliers de la construction durable : l'environnement, l'économique et le social.

DURABILITÉ DU MATÉRIAU BÉTON

Le béton est l'un des matériaux de construction les plus durables et les plus polyvalents et constitue du reste le matériau de construction le plus employé au monde. Les secteurs du ciment et du béton fournissent des efforts continus pour limiter leur impact sur l'environnement. Quelques points importants :

- limitation des émissions de gaz à effet de serre au cours de la production ;
- gestion efficace des ressources naturelles par l'utilisation de produits recyclés et de produits auxiliaires issus d'autres procédés industriels tels que les combustibles de substitution et les matières secondaires dans la production du ciment, l'eau et les granulats dans la préparation du béton ;
- réhabilitation des sites écologiques une fois terminée l'extraction de matières premières dans des carrières ;
- élaboration de solutions pour les bâtiments et infrastructures mettant l'accent sur la faible consommation d'énergie, une durée de vie longue et un entretien minimal.

Dans la construction de routes et la pose de dispositifs de retenue en béton, on recourt principalement en Belgique au ciment de haut-fourneau CEM III/A 42,5 N LA. La quantité de gaz à effet de serre libérés lors de la fabrication de ce type de ciment ne représente que la moitié par rapport à la préparation du ciment Portland classique CEM I.

De même, il est techniquement possible d'utiliser du béton concassé recyclé de haute qualité dans la composition du béton, dans un rapport de 20 % de la fraction.

Contrairement à la couche de protection en zinc des glissières en acier, le béton n'est pas sujet à la lixiviation et ne constitue donc pas une source de pollution du sol. Des études sur le comportement de la lixiviation du béton démontrent que le béton reste un produit très respectueux de l'environnement. La lixiviation est un terme scientifique qui désigne la libération de substances chimiques par un matériau donné au contact de l'eau (eau potable, eau de pluie, eau de mer, etc.).

Il ressort d'une étude commandée par *Britpave* (l'organisation professionnelle britannique pour les revêtements et dispositifs de retenue coulés sur place) que les dispositifs de retenue en béton remportent un meilleur score en matière d'énergie grise et d'émissions de CO₂ des matériaux utilisés (production des matériaux, fabrication, construction, livraison sur le chantier) que les glissières en acier présentant la même retenue. L'avantage des dispositifs de retenue en béton se basait sur leur longue durée de vie utile de 50 ans, dont il a été tenu compte dans l'analyse.

CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES

Le béton permet de réaliser des dispositifs de retenue en béton, préfabriqués ou coulés en place, à des prix très compétitifs, simplement basés sur le coût initial. Avec une durée de vie utile de 50 ans ne nécessitant pratiquement pas d'entretien, les coûts sur la durée de vie (déterminés par un LCCA – *Life-Cycle Cost Analysis* – ou analyse des coûts sur la durée de la vie) sont très réduits. En outre, les dispositifs de retenue en béton nécessitent rarement une réparation ou un remplacement après un choc avec un véhicule. Même

après une collision grave, seules les traces des pneus ou de la carrosserie restent visibles sur le dispositif. Moins de travaux de réparation signifie aussi moins d'ouvriers exposés aux situations dangereuses que représentent les chantiers à hauteur de la berme centrale. En outre, on évite les bouchons liés à ces travaux. De cette manière, les dispositifs de retenue en béton contribuent encore davantage à la sécurité et à l'environnement.



Photo : L. Rens

Traces de pneus sur un dispositif de retenue en béton après une ou plusieurs collisions

CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE

GÉNÉRALITÉS

Les dispositifs de retenue en béton peuvent être installés à différents endroits. Lorsqu'aucun aménagement routier ne doit être placé en berme centrale, un profil à double face constitue la solution indiquée. Lorsque la berme centrale doit recevoir des ouvrages tels que des poteaux d'éclairage ou des colonnes de portiques, deux barrières à simple face peuvent être prévues.

Remarque : la barrière Step n'a pas été testée en profil simple face, de sorte qu'il n'en existe aucune version approuvée. On recourt alors généralement à deux profils posés côte à côte. Il est également possible d'utiliser un modèle élargi dans lequel s'intègrent des mâts d'éclairage.

Mât d'éclairage intégré à une barrière Step avec élargissement local



Photo : P. Van Audenhove



Photo : FEBELCEM

Lorsque l'eau de surface s'écoule en direction du dispositif de retenue en raison du profil en travers de la route, il y a lieu de prévoir l'évacuation de cette eau. Souvent, des orifices de drainage sont prévus en dessous du dispositif ou un élément de drainage linéaire est placé devant le dispositif de retenue. Un caniveau à fente représente la meilleure solution, notamment car il n'influence pas le comportement du véhicule juste avant la collision avec le dispositif.



Photo : Britpave

Combinaison d'un dispositif de retenue en béton et d'un caniveau à fente

DISPOSITIF DE RETENUE EN BÉTON PRÉFABRIQUÉ

Les éléments d'un dispositif de retenue en béton préfabriqué sont conçus au sein d'une unité de production. Le béton est généralement armé de barres classiques ou de fibres d'acier. À l'extrémité des éléments, des systèmes de liaison sont coulés dans le béton. Il s'agit essentiellement de systèmes brevetés propres à ce type de dispositif de retenue. Ils assurent la liaison des différents éléments en une chaîne possédant des charnières communes, ce qui limite les déplacements en cas de collision.

La longueur standard maximale est généralement de 6 m, étant donné que cette longueur correspond à une masse qui doit pouvoir être manipulée aisément à l'aide d'une grue.

Avec des éléments de 6 m de long, il est possible de réaliser des virages dont le rayon de courbure est supérieur à $R = 250$ m. Pour des rayons inférieurs, il faudra utiliser des éléments plus courts.



*Détail du raccord
entre deux éléments
préfabriqués*

Photo : L. Rens



Photo : L. Rens

Les fournisseurs d'éléments pour dispositifs de retenue préfabriqués disposent souvent d'une gamme de différents types de profils et systèmes caractérisés par différentes classes de performance, pour des installations tant temporaires que permanentes.

Éléments préfabriqués courts installés dans un rayon de courbure réduit

Barrière Step préfabriquée fermant un passage de déviation sur une autoroute



Photo : L. Rens

Installation d'un dispositif de retenue en béton préfabriqué



Photo : L. Rens

L'installation de dispositifs de retenue préfabriqués est assurée soit par le fournisseur, soit par l'entrepreneur des travaux de voirie ou par une entreprise spécialisée dans la signalisation du trafic. Le maître d'œuvre ou l'entrepreneur ont la responsabilité de préparer une surface plane, généralement du béton ou de l'asphalte, sur laquelle seront correctement placés les éléments. Ces éléments sont habituellement déchargés du camion et directement posés à leur place. Dans le cas de grandes quantités, il est possible de prévoir à proximité du chantier un lieu de stockage d'où les éléments seront transportés vers le chantier.

DISPOSITIF DE RETENUE EN BÉTON COULÉ EN PLACE

Un dispositif de retenue en béton coulé en place est posé sur un revêtement existant (asphalte, béton) ou sur des fondations, souvent en béton maigre.

La pose s'effectue à l'aide d'un modèle réduit de machine à coffrages glissants avec une matrice adaptée au profil souhaité. Cette méthode permet d'atteindre facilement des rendements de 400 à 800 m par jour. Le profil extrudé en béton frais coulant de la matrice ne peut se déformer sous le poids du béton. C'est pourquoi il est indiqué de travailler avec un béton plutôt sec à base de granulats concassés afin d'obtenir un mélange stable. On recourt le plus souvent à un mélange de sable fin et plus grossier pour obtenir une surface bien fermée.

Les cahiers des charges type en Belgique prévoient des spécifications adéquates pour la pose de dispositifs de retenue.

Sauf mention contraire dans les documents d'adjudication, on utilise du béton prêt à l'emploi de classe d'environnement EE4 selon les normes NBN B15-001 et NBN-EN 206-1, qui porte la marque de conformité BENOR ou équivalent.

Les clauses suivantes sont reprises dans le Cahier des charges types Qualiroutes, version 2012 :

Les bétons sont obtenus par mélange de gravillons, sable, ciment, eau et adjuvants:

- granularité: la dimension maximale des gravillons est ≤ 32 mm

- type de ciment: CEM I 42,5 N LA ou CEM III/A 42,5 N LA
- quantité de ciment: ≥ 375 kg par m^3 de béton en place
- eau: rapport E/C $\leq 0,50$
- la teneur en air est comprise entre 3 et 6 % (v/v).

Lorsque le béton est fourni à performance spécifiée suivant les NBN EN 206-1 et NBN B 15-001, les exigences minimales sont:

- classe de résistance: C 30/37
- domaine d'utilisation:
 - BNA (Béton non armé) ou
 - BA (béton armé)
- classe d'environnement: EE4
- classe de consistance S1 avec exigence supplémentaire:
 - slump < 30 mm
 - VÉBé compris entre 5 et 7 s
- $D_{\max} = 32$ mm
- teneur en ciment LA ≥ 375 kg par m^3 de béton en place
- béton à air entraîné.

Absorption d'eau:

- absorption d'eau individuelle maximum $W_{ai' \max} \leq 6,8 \%$;
- absorption d'eau moyenne maximum $W_{am' \max} \leq 6,3 \%$;

Résistance à la compression : la résistance minimale $r'_{bi, \min}$, mesurées sur carottes de 100 cm² à au moins 90 jours d'âge est ≥ 40 MPa.

Photo : Wirtgen



Photo : Wirtgen



Photo : Gomaco



Mise en œuvre d'un dispositif de retenue en béton à l'aide d'une machine à coffrages glissants



Photo : Gomaco

En fonction du type de dispositif, celui-ci est également pourvu d'une série de barres ou de torons d'acier disposés dans le sens longitudinal. En cas de choc supérieur à celui simulé au cours des essais de choc normalisés, le béton risque d'être broyé et l'armature longitudinale contribue alors à la cohésion du béton brisé. Afin d'absorber le mouvement de retrait du dispositif, une fissuration contrôlée est prévue par la pratique d'un trait de scie à un intervalle de 4 à 6 m (selon le Cahier des charges type Qualiroutes, version 2012 : « Des joints de retrait sont sciés dans le béton durci. Leur entre-distance est de 4 m maximum. L'amorce de fissuration est réalisée par sciage dans le béton durci. La profondeur de l'amorce est d'au moins 40 mm et sa largeur est d'au moins 3 mm »). En fonction des conditions météorologiques, le sciage a lieu entre 6 et 24 heures après la pose du dispositif de retenue.

Traits de scie pratiqués tous les 4 m

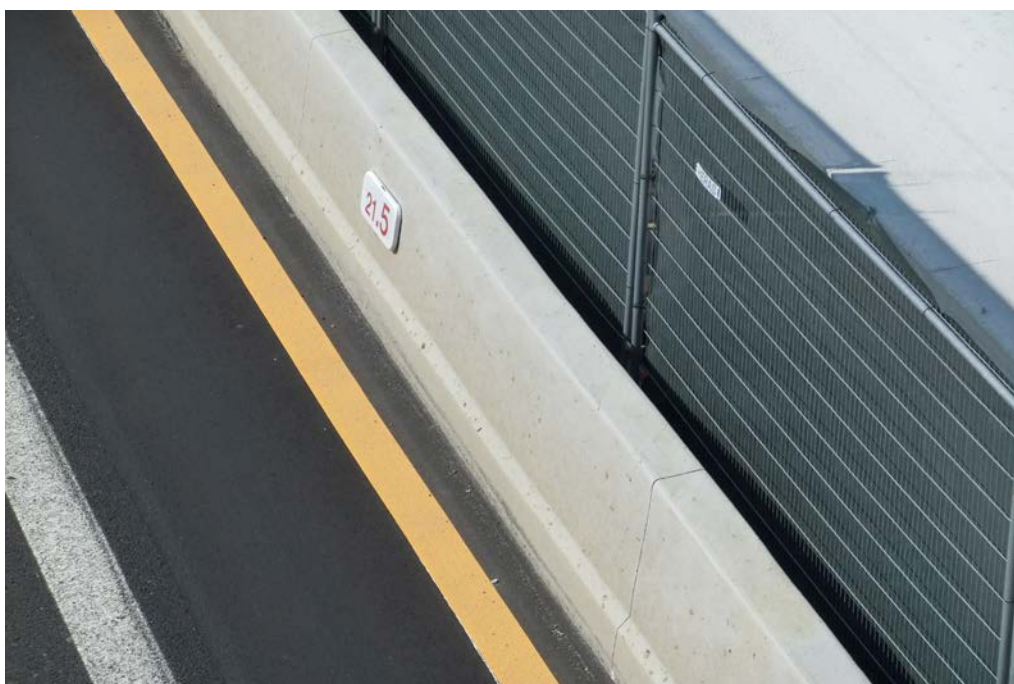


Photo : L. Rens

CONCLUSIONS

Les dispositifs de retenue en béton sont soit préfabriqués en tant qu'éléments individuels et ensuite assemblés sur chantier, soit conçus comme ensemble en béton coulé en place. Voilà plus de 40 ans qu'ils sont utilisés comme dispositifs de protection. Leur conception et leur réalisation ont été adaptées et améliorées afin de satisfaire aux exigences de la série de normes européennes EN 1317. Aujourd'hui, ils constituent une solution présentant des qualités en matière de durabilité, de sécurité, de coût et d'environnement.

Le béton est connu pour sa durabilité et sa résistance. C'est également le cas pour les dispositifs de retenue en béton, qui disposent d'une durée de vie utile de 50 ans et résistent à tous types de conditions météorologiques. Ils sont indéformables et restent même intacts après des collisions graves avec des camions.

Dans le domaine de la sécurité, un dispositif de retenue en béton offre généralement une retenue élevée et réduit le risque d'accidents avec franchissement, cas qui peut généralement entraîner le plus de victimes. Ils sont conçus pour diriger les véhicules vers la route sans causer de risque inacceptable pour les occupants, d'autres usagers de la route ou des passants. Leur surface lisse et continue ainsi que l'absence de piquets réduisent drastiquement le risque de blessures pour les motocyclistes.

Les avantages économiques sont liés à leur coût d'investissement relativement bas pour la pose, l'installation rapide et simple et, avant tout, le fait que ces dispositifs ne requièrent pratiquement aucun entretien au cours de leur durée de vie.

Les points forts d'un point de vue environnemental sont liés de manière inhérente à l'utilisation du béton, qui est un matériau durable en soi avec une teneur faible en énergie grise, une empreinte carbone limitée sur l'ensemble de sa durée de vie et la possibilité d'utiliser des granulats recyclés. La faible largeur de fonctionnement de ces dispositifs leur fait occuper moins d'espace de stockage et, si nécessaire, un simple dispositif de retenue à deux faces sur une berme centrale permet de remplir la fonction voulue pour les deux sens de circulation. De plus, ils ne sont pas polluants et sont pratiquement entièrement recyclables à la fin de leur durée de vie. Parce que ces dispositifs ne requièrent pratiquement aucun entretien ou remplacement, les usagers de la route profitent d'une disponibilité maximale de la route et de l'absence de bouchons dus aux travaux.

Enfin, les dispositifs de retenue en béton, préfabriqués ou coulés en place, existent dans une large gamme de solutions éprouvées. Les dispositifs de retenue en béton constituent un choix sûr et durable !



Photo : Omnibeton – Deltabloc



I-6

Ce bulletin est publié par :

FEBELCEM

Fédération de l'industrie cimentière belge

Boulevard du Souverain 68 - 1170 Bruxelles

tél. 02 645 52 11 - fax 02 640 06 70

www.febelcem.be

info@febelcem.be

Auteur : Ir L. Rens

Dépôt légal :

D/2013/0280/02

Ed. resp. : A. Jasienski

infobeton.be

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Barrier cost comparison - Study 1 of 3 (ref. BP37). ISBN: 978-0-9556962-2-0, Britpave, 2008.
- [2] Barrier cost comparison - Study 2 of 3 (ref. BP38). ISBN: 978-0-9556962-3-7, Britpave, 2008.
- [3] Barrier cost comparison - Study 3 of 3 (ref. BP39). ISBN: 978-0-9556962-4-4, Britpave, 2008.
- [4] Beton - Goed op weg - De betonnen Step Barrier, Cement&BetonCentrum, 2010
- [5] Britpave CSB - The guarantee of safety and quality, Britpave Barrier Systems, 2012.
- [6] Concrete barriers and roadside noise, DS/CSB/515, Britpave, November 2006.
- [7] HAMPTON C. G.
The risk of fatality in motorcycle crashes with roadside barriers, Paper number 07-0474, Virginia Tech, United States.
- [8] <http://ec.europa.eu>
- [9] Moderne betonschutzwände, Gütegemeinschaft Betonschutzwand & Gleitformbau e.V. 2010
- [10] STURT, R. & FELL, C.
The relationship of injury risk to accident severity in impacts with roadside barriers, International Journal of Crashworthiness, Vol. 14, N°. 2, April 2009, 165-172.
- [11] Sustainability Benefits of Concrete Step Barrier - delivering a safe, reliable future, BP/42, Britpave, 2008.