



Centre de recherches routières
Votre partenaire pour des routes durables

Code de bonne pratique

*pour la gestion et la maîtrise
des mauvaises herbes sur les
revêtements modulaires
par voie non chimique*



Recommandations

R 84 / 12

Le présent code de bonne pratique a été mis au point dans le contexte du projet VISCO 070670 *Onkruidbeheer: preventieve en curatieve methodes voor een optimaal straatbeeld*, qui a été réalisé par le CRR, en collaboration avec l'unité *Plantaardige productie* de l'UGent, avec le soutien de l'IWT-Vlaanderen. Il a été rédigé par les auteurs ci-dessous, en tenant compte du feed-back du comité des utilisateurs du projet.

Auteurs

Elia BOONEN (CRR)
Benny DE CAUWER (UGent)
Maureen FAGOT (UGent)
Anne BEELDENS (CRR)
Dirk REHEUL (UGent)

Membres de la commission d'utilisateurs

Emmanuel AMPE (Vereniging voor Openbaar Groen, WVOG)
Patrick AMPE (Hogeschool Gent)
Bart BEECKAERT (Spekking sprl)
David CLAES (Krinkels sa)
Anne CLEIREN (FEBE, et ex-membre Liesbeth Donné)
Hans COOLS (Wienerberger sa)
Dirk DE BAETS (Stad Gent)
Jeroen DE CORTE (Hogeschool Gent)
Joop DE GEEST (JGS Europe sprl)
Yves DEHONDT (KATHO Roeselare)
Marc DELAERE (Terrazza MC sa)
José DE MEESTER (Sidem Service sprl)
Eli DEVRIENDT (Stad Oostende)
Stéphane FAIGNET (Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie – IWT)
Frank GENDERA (Ebema sa)
Gert GILLIS (Vande Moortel sa)
Jan HOREMANS (Holcim België)
Marcel HEYLENS (Heylens sprl)
Jef MARTENS (Stradus Infra sa)
Peter MARTENS (Gemeente Zingem)
Anne MEEUSEN (Gemeente Brasschaat)
Philippe MELANGE (Défense, Division CIS & Infra)
Benoît MORELLE (Cecotec sa)
Rob PEERAER (Stad Gent)
Philippe PIETERS (Pivabo sprl)
Marc PINTE (Stad Gent)
Hilde POOTEMANS (Stad Hasselt)
Gert POST (H4a Groen sprl)
Patricia POTUMS (Kärcher sa)
Peter PUTSEYS (Erfgoed Vlaanderen)
Luc RENS (FEBELCEM)
Bart ROOMS (Ivago)
Greet STEEMAN (Stad Gent)
Jan VANCAYZEELE (Algemeen Verbond van Belgische Siertelers en Groenvoorzieners – AVBS)
Geert VANDE KERKHOF (Stad Hasselt)
John VAN DEN BULCKE (Stradus Infra sa)
Ronny VANDEVELDE (Kempeneer W. Machines sa)
Marcel VAN DYCK (Van Dyck Marcel Belgium sa)
Walter VAN EYCK (Van Eyck R. sa)
Thomas VAN GENECHTEN (Agentschap Wegen en Verkeer – AWW)
Adelheid VANHILLE (Vlaamse Milieumaatschappij – VMM)
Alvarez VANHOVE (Agentschap Wegen en Verkeer – AWW)
Lieve VIJVERMAN (FEBESTRAL)
Jan VILAIN (Steunpunt Straten)

Centre de recherches routières

Bruxelles

Code de bonne pratique pour
la gestion et la maîtrise des
mauvaises herbes sur les
revêtements modulaires
par voie non chimique

Recommandations R 84/12

Edité par le Centre de recherches routières
Etablissement reconnu par application de l'Arrêté-loi du 30 janvier 1947

Boulevard de la Woluwe 42 – 1200 Bruxelles

Tous droits de reproduction réservés

■ Table des matières

	Liste des abréviations	v
	Avant-propos	1
1	Introduction	3
1.1	Contexte de la gestion des mauvaises herbes	3
1.2	Conception de base des revêtements en pavés	3
2	Les alentours et les mauvaises herbes	7
2.1	Principaux facteurs influençant l'apparition des mauvaises herbes sur les revêtements	8
2.1.1	Inventaire de la flore présente sur les revêtements	8
2.1.2	Le score esthétique, une mesure de la quantité de mauvaises herbes	9
2.1.3	Influence des facteurs environnementaux	11
2.1.4	Influence de l'intensité d'utilisation et de la fonction	13
2.1.5	Influence de la conception et/ou de l'exécution du revêtement	13
2.2	Estimation du risque d'apparition de mauvaises herbes	17
3	Mesures préventives	21
3.1	Points importants lors de la conception et de l'exécution du revêtement	22
3.1.1	Zones vertes adjacentes et/ou environnement boisé	22
3.1.2	Finition des bords et courbes	22
3.1.3	Affaissements et inégalités	24
3.1.4	Présence d'obstacles	24
3.1.5	Présence d'une bordure ou d'un contrebutage	26
3.1.6	Filet d'eau adjacent en éléments modulaires	27
3.1.7	Autres aspects importants	28
3.1.7.1	Largeur de joint	28
3.1.7.2	Evacuation des eaux et drainage	29
3.1.7.3	Prise en compte de la future gestion curative des mauvaises herbes	30
3.1.7.4	Combattre la pollution	31
3.2	Choix des matériaux de la structure du revêtement	32
3.2.1	Type de pavé	32
3.2.2	Couche de pose	34
3.2.3	Matériau de jointoiment	37
3.2.3.1	Matériaux classiques non liés	37
3.2.3.2	Matériaux innovants	41
3.2.3.3	Matériaux classiques liés	44
3.3	Exigences spécifiques pour les pavages drainants	45
3.3.1	Conception et dimensionnement des pavages drainants	46
3.3.2	Choix des matériaux	48
3.3.2.1	Types de pavé drainant	48
3.3.2.2	Exigences par rapport à la couche de pose et au matériau de jointoiment	50

4	Mesures curatives	53
4.1	Techniques de désherbage non chimiques disponibles	53
4.1.1	Techniques thermiques	54
4.1.2	Techniques mécaniques	58
4.2	Facteurs influençant l'efficacité	59
4.3	Applicabilité des techniques de désherbage curatives non chimiques	60
4.4	Systèmes de désherbage curatif intégré	62
4.4.1	Le traitement intégré, une nécessité!	62
4.4.2	Règles générales pour une approche intégrée	65
4.5	Impacts environnementaux et analyse des coûts du désherbage par voie non chimique	66
4.5.1	Impacts environnementaux	66
4.5.1.1	Impact environnemental des techniques de traitement (par intervention)	66
4.5.1.2	Impact environnemental global d'une saison de croissance	68
4.5.2	Analyse des coûts	70
4.6	Autres aspects	72
4.6.1	Considérations esthétiques	72
4.6.2	Perméabilité et traitement des mauvaises herbes dans le temps	73
4.6.3	Perte du matériau de jointoiement	74
5	Arbre de décision pour la gestion et la maîtrise des mauvaises herbes sur les revêtements modulaires	75
5.1	Paramètres caractéristiques	75
5.1.1	Type de pavé	75
5.1.2	Score de conception	75
5.1.3	Score esthétique	77
5.1.3.1	Méthode de mesure	78
5.1.4	Risque d'apparition de mauvaises herbes	79
5.2	Structure principale de l'arbre de décision	81
5.3	Clé 1 – Revêtement existant	83
5.4	Clé 2 – Revêtement neuf	85
5.4.1	Clé 2.1 – Choix des matériaux	89
5.4.1.1	Pavage drainant	92
5.4.1.2	Pavages classiques, non drainants	92
5.4.2	Points d'attention lors de la conception et de l'exécution	95
5.5	Clé 3 – Désherbage curatif	97
5.5.1	Introduction à la clé 3	97
5.5.2	Interprétation de la clé 3	98
	Bibliographie	114
	Liste des figures	116
	Liste des tableaux	120

Liste des abréviations

CI	Couche inférieure (par exemple fondation)
CS	Couche supérieure (par exemple couche de pose)
d/D	Granularité des granulats où d (mm) est le plus petit calibre et D (mm) le plus gros calibre
DE _x	Lors du désherbage curatif, dose d'Énergie (kJ/m ²) pour éliminer x % des parties aériennes de la végétation (par rapport à une zone de référence non traitée)
D _x	Calibre correspondant à x % passant au tamis
f _x	Classe du sable et/ou des gravillons selon la PTV 411 avec une teneur en particules fines (< 0,063 mm) inférieure ou égale à x %
f _m	Module de finesse du sable selon la PTV 411 sur base de laquelle une répartition en trois classes est réalisée: <i>FF (fin)</i> , <i>MF (moyen)</i> et <i>CF (gros)</i>
k	Drainabilité des matériaux ou d'un pavage en m/s
LA	Coefficient de Los Angeles, mesure de résistance à la fragmentation selon la NBN EN 1097-2
LdJ	Largeur de joint
M _{DE}	Valeur micro-Deval, résistance à l'usure selon la NBN EN 1097-1
MO	Matière organique
S _F	Stabilité du filtre entre des couches successives (par exemple couche de pose et fondation) dans le revêtement; cette valeur doit être inférieure ou égale à 5
Vol.-%	Pourcentage volumique
μ	Calibre moyen (mm)
σ	Dispersion statistique sur le calibre (mm)



Avant-propos

La prévention et la maîtrise des mauvaises herbes sur les revêtements reste un thème actuel, aussi bien pour les particuliers que pour les pouvoirs publics. La présence excessive de mauvaises herbes sur des surfaces revêtues est non seulement souvent inesthétique, mais entraîne aussi des problèmes sur le plan de la sécurité et de la santé et met en péril la fonctionnalité et la durée de vie technique des revêtements. De plus, les effets secondaires de la gestion chimique des mauvaises herbes – depuis longtemps la pratique standard de désherbage sur les revêtements – engendrent une pression environnementale croissante sur les eaux de surface et les eaux souterraines, suite à une utilisation inadaptée, inappropriée et/ou excessive d'herbicides et à l'augmentation, depuis une décennie, des revêtements modulaires (semi-ouverts).

L'émission d'herbicides sur des surfaces revêtues est démesurément élevée comparativement aux surfaces non revêtues. Les surfaces revêtues sont en effet particulièrement sujettes au lessivage des herbicides, surtout en cas d'usage inadapté ou inapproprié. Limiter ce type d'émission sur les revêtements entraîne aussi une réduction considérable de la teneur en résidus de pesticides dans la chaîne de l'eau. En 2003 a été donné le coup d'envoi de l'arrêt progressif de l'utilisation des pesticides dans les espaces publics en Flandre. En fait, depuis le 1^{er} janvier 2004, il n'est plus permis en Flandre d'utiliser des herbicides dans le domaine public, sauf si un programme de réduction a été introduit. Dans ce cas, moyennant motivation, il est possible de déroger à cette interdiction jusqu'à 2015 [1, 2].

Entre-temps, diverses méthodes alternatives sont connues et appliquées à petite ou plus grande échelle dans les villes et communes. De nombreuses administrations ont ainsi diminué drastiquement – en moyenne de 42 % dans la période 2003-2009 [3] – l'utilisation de pesticides dans les espaces publics. Les personnes privées et les entreprises n'ont quant à elles pris que peu d'initiatives. Des mesures préventives (méthode de conception, choix du matériau de revêtement, choix des plantations) combinées à une application optimale de scénarios de lutte dans le cadre d'un plan de gestion intégrée des mauvaises herbes peuvent ici apporter une solution. Des directives et des recommandations claires à ce sujet font toutefois toujours défaut et une conscientisation plus poussée de tous les groupes cibles est indispensable.

C'est la raison pour laquelle le CRR a entamé en 2008, en collaboration avec l'unité d'enseignement et de recherche *Plantaardige productie* de l'UGent, et avec le soutien de l'*IWT-Vlaanderen*, une étude d'une durée de quatre ans (septembre 2008 – août 2012) portant sur une gestion «optimale» des mauvaises herbes sur les revêtements [4, 5]. Cette étude avait pour objectif d'établir un inventaire des différentes méthodes *préventives* (conception, revêtement, matériau de jointoiement, etc.) et *curatives* non chimiques (balayage intensif, brossage, brûlage, traitement à l'air chaud, aux infrarouges ou à la vapeur, etc.) en examinant leur efficacité, leur coût et leur impact écologique.

Le présent code de bonne pratique repose sur les résultats du projet de recherche et rassemble des directives importantes en vue d'une gestion écologique et économique des mauvaises herbes sur les revêtements dans le cadre de l'aspect esthétique général de la rue. Le document s'adresse aux concepteurs, architectes, gestionnaires publics et privés, fabricants de pavés, fournisseurs et réalisateurs de techniques alternatives de lutte contre les mauvaises herbes et aux simples citoyens.

Pour le *processus* de gestion des mauvaises herbes sur les revêtements, un arbre de décision a été établi et est décrit en détail au chapitre 5. Il suit le mieux possible la problématique in situ. De cette manière, celui qui utilise ce code de bonne pratique peut faire ses choix à l'aide de l'arbre de décision et retrouver des informations plus approfondies dans le texte proprement dit (chapitres 1 à 4).

Le chapitre 1 du code de bonne pratique consiste en un texte introductif qui dépeint le contexte de la gestion des mauvaises herbes sur les revêtements. Il rappelle brièvement les règles de base pour la conception d'un revêtement. La bonne gestion et l'entretien efficace d'un revêtement modulaire commencent en effet dès la mise en œuvre.

Au chapitre 2, les facteurs influençant l'apparition des mauvaises herbes sur les revêtements sont abordés. Des paramètres environnementaux et d'autres facteurs déterminent en effet le risque d'apparition de mauvaises herbes et souvent aussi la tolérance à la présence des mauvaises herbes sur le revêtement.

Le chapitre 3 décrit les mesures possibles de traitement *préventif* contre les mauvaises herbes lors de la conception et de l'exécution des revêtements. Outre des points importants d'ordre général, on peut aussi procéder à des choix spécifiques au niveau des matériaux du revêtement en vue de prévenir les mauvaises herbes.

Le chapitre 4 se penche sur le désherbage curatif non chimique. Pour parvenir à une gestion intégrée et durable des mauvaises herbes sur les revêtements, il faut mettre au point un système de désherbage adapté, tenant compte d'un certain nombre de facteurs technologiques, biologiques et environnementaux.

Enfin, au chapitre 5, l'arbre de décision susmentionné est approfondi. Il est destiné, sur base de toutes les informations antérieures, à aider l'utilisateur à faire une sélection parmi les mesures préventives et curatives nécessaires pour la maîtrise des mauvaises herbes sur les revêtements modulaires.

En outre, les informations du chapitre 5 sont reprises de manière synthétique et schématique dans une annexe plastifiée que les praticiens pourront emporter sur le terrain comme mémento pratique.

Nous espérons que ce code de bonne pratique apportera à l'utilisateur final – qu'il soit concepteur, gestionnaire, exécutant, ou autre partie prenante – un point de repère solide dans l'élaboration d'un système durable, intégré et non chimique de gestion des mauvaises herbes sur les revêtements.

Note importante

Bien que les recommandations du présent code de bonne pratique aient été rédigées avec le plus grand soin, des imperfections ne sont pas à exclure. Ni le CRR, ni ceux qui ont contribué à la présente publication ne peuvent être tenus pour responsables des informations fournies, qui le sont à titre purement documentaire et non contractuel.

Chapitre 1

Introduction

1.1 Contexte de la gestion des mauvaises herbes

Prévenir et combattre l'apparition des mauvaises herbes sur les revêtements constituent depuis longtemps déjà une tâche importante pour les villes et communes. Ce thème reste toutefois d'actualité. Afin de protéger les eaux de surface et les eaux souterraines, ainsi que la santé publique, l'usage d'herbicides dans le domaine public est interdit par la loi en Flandre depuis le 1^{er} janvier 2004. La période de transition au cours de laquelle il est possible de déroger à cette interdiction moyennant motivation, s'étend jusqu'à 2015 [1, 2]. Les organismes publics flamands ne pourront alors plus du tout utiliser d'herbicides sauf circonstances exceptionnelles ⁽¹⁾. En Région de Bruxelles-Capitale et en Wallonie aussi, la législation suit cette tendance ou bien s'apprête à prendre le même chemin [6,7].

De nombreuses villes et communes ont déjà fourni de gros efforts pour respecter cette législation, mais quelques gros points noirs subsistent [8]. La connaissance de l'efficacité, de la fréquence d'application et des impacts environnementaux des techniques de désherbage non chimiques alternatives, est encore trop limitée. En outre, une conception appropriée et une exécution correcte peuvent réduire préventivement l'apparition des mauvaises herbes, voire l'éviter. Des directives et recommandations claires à ce sujet font toutefois encore défaut. Le présent code de bonne pratique veut combler cette lacune.

Les joints sont les endroits les plus sensibles à l'accumulation de saletés et à l'apparition des mauvaises herbes. Le présent code de bonne pratique se concentre dès lors surtout sur les revêtements modulaires (semi-ouverts) tels que les pavés de béton. Ce type de revêtement est fréquemment appliqué en environnement urbain, où la gestion des mauvaises herbes est souvent très importante. En outre, les applications privées offrent de nombreux débouchés car on y utilise encore souvent des herbicides. Une extrapolation des directives décrites ici à d'autres revêtements (ouverts, fermés) est toutefois possible.



1.2 Conception de base des revêtements en pavés

Les règles de conception pour les revêtements en pavés de béton (pavages) sont décrites en détail dans la publication CRR *Code de bonne pratique pour la conception et l'exécution des revêtements en pavés de béton* – R 80/09 [9]. Les éléments principaux en sont rappelés ici. Des points importants spécifiques à la maîtrise des mauvaises herbes sont abordés au chapitre 3.

(1) Les services publics peuvent aussi déroger à cette interdiction après le 1^{er} janvier 2015:

- 1) en vertu de l'article 3, alinéa 3 du «*pesticidenreductiedecreet*» [1]:
 - a. en cas de calamités urgentes et raisonnables, imprévisibles, comportant un danger pour l'homme et/ou l'environnement;
 - b. dans des situations constituant ou pouvant constituer une menace pour la sécurité de l'homme et pour lesquelles parallèlement il n'y a pas de moyens de lutte alternatifs satisfaisants disponibles;
- 2) en vertu de l'article 5, § 3, alinéa 2 du «*pesticidenreductiedecreet*» [2] sur base de frais démesurément élevés. Ceci s'applique uniquement au type de lieu 3 du troisième programme d'action.

La figure 1.1 reproduit la structure type d'un pavage. La conception de base ou le dimensionnement consiste à déterminer l'épaisseur des pavés et de la couche de pose, la nature et l'épaisseur d'une éventuelle sous-fondation, en fonction de la charge de trafic escomptée et de la portance du sous-sol. Les charges de trafic sont réparties en un certain nombre de catégories (voir tableau 1.1), selon le nombre maximal autorisé de véhicules légers (< 3,5 tonnes) et lourds (> 3,5 tonnes).

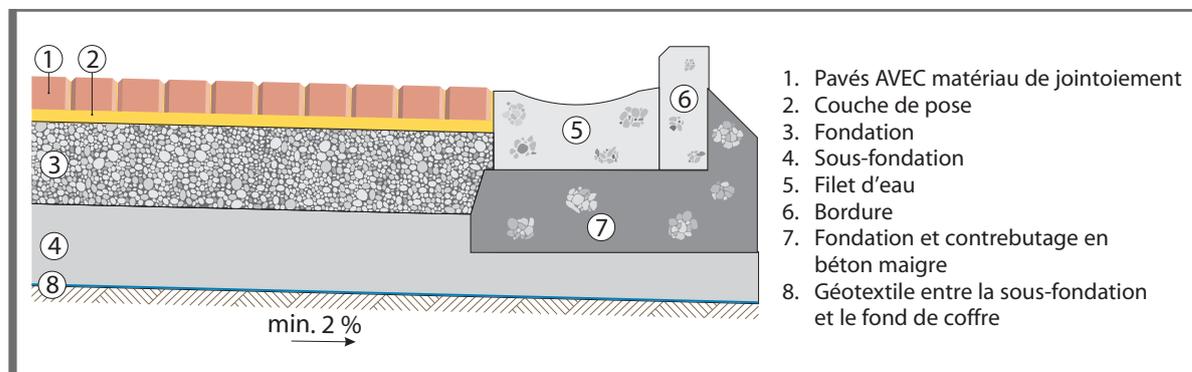


Figure 1.1 Structure type d'un pavage

Catégorie de trafic	Type de trafic			Indication de la classe de construction selon les "Standaard Wegstructuren" des autorités flamandes
	Piétons, cyclistes, motocyclistes	Véhicules légers (< 3,5 t)	Véhicules lourds (> 3,5 t)	
I	Illimités	Limités à 5 000 par jour	Limités à 400 par jour	B6 - B7
II	Illimités	Limités à 5 000 par jour	Limités à 100 par jour	B8 - B9
III	Illimités	Limités à 500 par jour	Limités à 20 par jour	B10
IV	Illimités	Occasionnels	Aucun	BF

Tableau 1.1 Catégories de trafic

Pour pouvoir fonctionner comme revêtement, les joints entre les pavés doivent être remplis. En effet, les pierres meubles ne sont pas résistantes au déplacement et/ou aux rotations sous l'effet du trafic. Les forces jointives font du pavage une «plaque» (de pavés et couche de pose) cohésive qui contribue à la portance de la structure.

Afin de venir en aide aux développeurs, un certain nombre de structures types ont été développées pour une durée de vie de conception de vingt ans (voir tableau 1.2) pour chaque catégorie de trafic.

Catégorie de trafic		I	II	III	IV
Épaisseur des pavés		10 cm ou 12 cm	8 cm ou 10 cm	8 cm ou 10 cm	6 cm ou 7 cm ou 8 cm
Épaisseur de la couche de pose		3 cm	3 cm	3 cm	3 cm
Nature et épaisseur de la fondation	Béton sec compacté	20 cm	15 cm	-	3 cm
	Béton maigre	25 cm	20 cm	15 cm	-
	Béton maigre drainant	-	20 cm	15 cm	-
	Empierrement lié hydrauliquement	-	25 cm	15 cm	-
	Sable-ciment	-	-	20 cm	15 cm
	Empierrement	-	35 cm	25 cm	15 cm

Tableau 1.2 Structures types pour les différentes catégories de trafic

La figure 1.2 illustre schématiquement ces structures types. De plus, il est clairement visible que la nature (non liée, liée) et l'épaisseur de la fondation sont déterminées en fonction de la charge de trafic. L'épaisseur de la sous-fondation est déterminée en fonction de la mise hors gel. Il va de soi que la sous-fondation et le fond de coffre doivent présenter une portance suffisante.

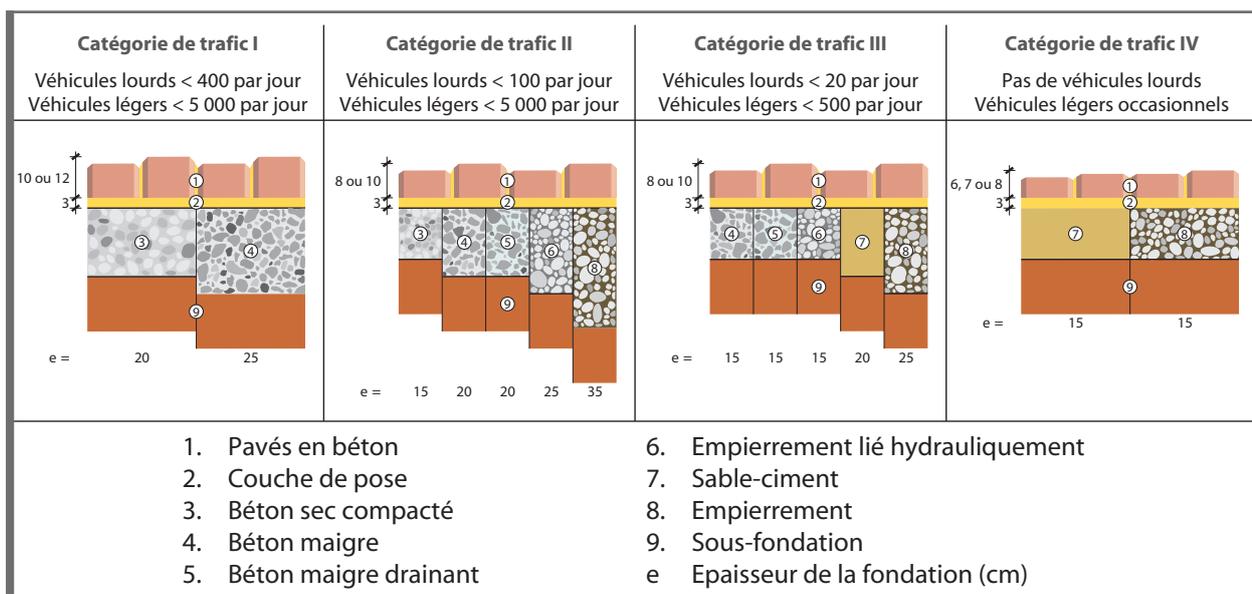


Figure 1.2 Structures types en fonction de la charge de trafic

Les **pavages drainants** constituent une application particulière. Ils exigent une autre structure type et des mesures spécifiques de conception et d'exécution. Nous renvoyons à ce sujet au code de bonne pratique CRR R 80/09 précité et au Dossier 5 *Revêtements drainants en pavés de béton* en annexe au Bulletin CRR 77 [10].

Les pavages drainants forment une application particulière en ce sens qu'ils permettent à de grandes quantités d'eau de pluie de s'infiltrer et/ou d'être stockées dans la structure et de s'évacuer au ralenti vers le sous-sol. Ils peuvent diminuer le risque d'inondations dues aux pluies abondantes et/ou aider à maintenir le niveau de la nappe phréatique.

Lors de la conception de ce genre de pavages, il faut toujours vérifier s'ils peuvent être appliqués dans le cas considéré.

Etant donné le risque de saturation en eau et la perte de portance de la fondation qui en découle, les pavages drainants ne conviennent en effet que pour les catégories de trafic II, III et IV (voir tableau 1.1). Il s'agit par exemple:

- de zonings industriels, de zones de PME, de centres commerciaux faiblement sollicités par le trafic;
- de parkings pour voitures particulières;
- de places et rues piétonnes;
- de trottoirs et pistes cyclables;
- d'accès et terrasses.

Ils NE conviennent PAS pour application:

- sous la catégorie de trafic I (voir tableau 1.1);
- dans les lieux de captage d'eau (zones protégées 1 et 2), où une réglementation spécifique interdit l'infiltration dans le sous-sol (pour un complément d'information et des cartes, consultez le site web <http://dov.vlaanderen.be/dovweb/html/3waterwingebieden.html>);
- dans les zones où du sel de déverglaçage est utilisé fréquemment, (risque de pollution des eaux souterraines);
- le long d'habitations, en cas de danger réel d'infiltration d'eau dans les parcelles adjacentes.

Quand d'application (par exemple sous le § 3.3), les points importants particuliers pour les pavages drainants sont toujours mentionnés dans ce code de bonne pratique. Pour autant que techniquement faisable, l'application des pavages drainants est en effet recommandée.

Outre la conception de base, qui repose principalement sur la fonctionnalité du revêtement, le concepteur doit également prendre en compte des considérations esthétiques, économiques ou autres du donneur d'ordre lors du choix des matériaux, de la forme, de la couleur, des dimensions, de la finition de la surface, etc. Il importe dans ce cadre de tenir compte de l'apparition des mauvaises herbes et, à un stade ultérieur, de la gestion des mauvaises herbes. Un choix judicieux des matériaux et un respect des règles de bonne pratique peuvent permettre d'éviter des problèmes futurs en matière de mauvaises herbes [9].



Figure 1.3 *Parking en pavage drainant*

Chapitre 2

Les alentours et les mauvaises herbes

Les alentours immédiats ou la localisation d'un revêtement influencent grandement l'apparition (future) des mauvaises herbes. Les alentours du revêtement déterminent en effet la nature et l'ampleur des mauvaises herbes. Des zones vertes adjacentes, des alentours boisés, une humidité importante, un piétinement (ir)régulier, etc. sont autant de facteurs qui peuvent favoriser la croissance des mauvaises herbes. La mesure dans laquelle ces mauvaises herbes peuvent être considérées comme une nuisance dépend du degré de tolérance. D'un point de vue esthétique, la tolérance par rapport aux mauvaises herbes est grandement déterminée par l'implantation (centre-ville ou campagne) et/ou la fonction du revêtement (piste cyclable, trottoir ou parking).

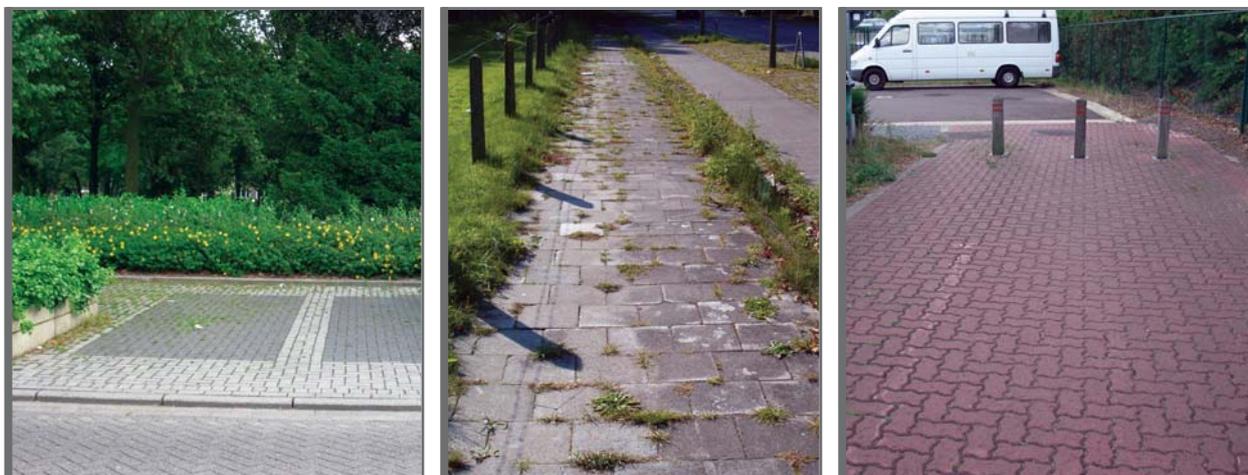


Figure 2.1 Les facteurs circonstanciels (zones vertes adjacentes, piétinement, fonction) déterminent le risque d'apparition des mauvaises herbes ainsi que le degré de tolérance

Il est préférable de prévenir l'apparition de mauvaises herbes plutôt que de devoir lutter contre elles une fois qu'elles sont apparues... C'est pourquoi il est important d'évaluer avec précision les facteurs circonstanciels lors de la conception (dans le cas d'un revêtement neuf) ou du contrôle d'un revêtement existant, afin de déterminer le risque *in situ* d'apparition de mauvaises herbes et de le prendre en compte comme critère de décision. Plus simplement, nous pouvons distinguer trois niveaux de risque:

ELEVE, MODERE et FAIBLE.

Ces niveaux sont abordés au § 2.2.

En fonction du niveau de risque, des mesures préventives plus ou moins sévères seront nécessaires (voir chapitre 3). Les scénarios curatifs doivent eux aussi correspondre au niveau de risque, en fonction de l'aspect souhaité et possible à obtenir (voir chapitre 4). Dans le cas d'un revêtement existant, les alentours sont bien entendu déjà fixes, mais dans le cas d'un revêtement neuf, il est possible de les inclure dans le projet en tant que mesure préventive, par exemple en évitant la végétation adjacente.

Dans les lignes qui suivent, une description détaillée est donnée du lien entre les alentours et la présence de mauvaises herbes sur les revêtements, qui est un facteur à prendre en compte lors de l'évaluation du niveau de risque.

2.1 Principaux facteurs influençant l'apparition des mauvaises herbes sur les revêtements

2.1.1 Inventaire de la flore présente sur les revêtements

En intervenant dès la conception (et dans le choix des matériaux), on peut diminuer fortement les mauvaises herbes, à condition bien sûr de connaître les espèces qu'il faut combattre. Afin de déterminer la végétation présente (plantes vasculaires, mousses, lichens), l'unité *Plantaardige productie* de l'UGent a effectué des prélèvements de végétaux sur cent soixante-trois sites en Flandre dans et sur des revêtements semi-ouverts [5].

Au total, quatre-vingt-huit espèces ont été identifiées, dont les plus courantes sont données à la figure 2.2. Il s'agit principalement de plantes pluriannuelles et/ou de plantes difficiles à éliminer tant avec une méthode thermique que mécanique. Outre les bryophytes (*Musci*), les cinq espèces les plus fréquemment rencontrées dans les joints sont les suivantes: le pâturin annuel (*Poa annua*), la sagine couchée (*Sagina procumbens*), l'érigéon du Canada (*Conyza canadensis*), le pissenlit (*Taraxacum officinale*) et le grand plantain (*Plantago major*).

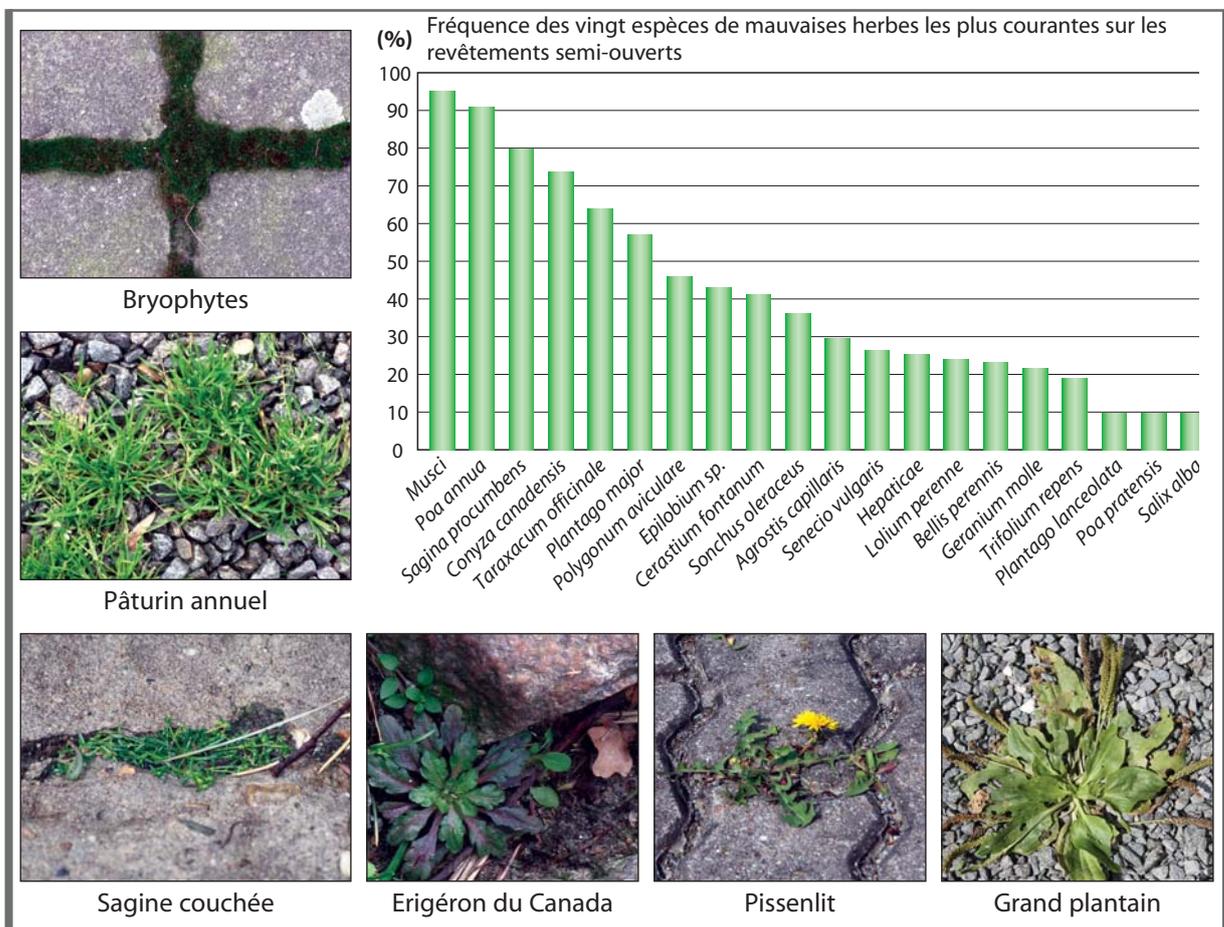


Figure 2.2 Fréquence (%) des vingt espèces de mauvaises herbes les plus courantes sur les revêtements semi-ouverts

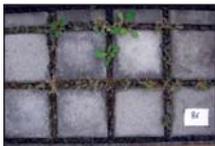
Les mauvaises herbes sur les revêtements sont difficiles à combattre. Le plus souvent, il s'agit de plantes avec des organes de réserve souterrains, tels que des racines pivotantes charnues (par exemple le pissenlit), des rhizomes (prêles, chiendents, etc.), des propagules (certaines espèces de la famille des oxalidacées), etc. Une fois qu'elles se sont installées, ces plantes restent des années et sont capables de survivre dans des conditions défavorables telles que la chaleur, la sécheresse, l'écrasement, les sels, etc. De plus, de nombreuses espèces (herbes et plantes en rosette telles que les plantaginacées) sont typiquement des plantes qui résistent au piétinement.

Parmi les mauvaises herbes annuelles présentes, on trouve d'une part des espèces tolérantes à la chaleur et à la sécheresse telles que les millets (sub)tropicaux (panic érigé, sétaria) et les espèces aux racines profondes (par exemple renouée des oiseaux), et d'autre part des espèces qui germent rapidement, qui produisent rapidement et toute l'année des semences (par exemple le pâturin annuel, le séneçon commun) ou qui répandent leurs graines sur une grande distance (par exemple l'érigéron du Canada).

2.1.2 Le score esthétique, une mesure de la quantité de mauvaises herbes

Pour permettre une évaluation objective et quantitative des mauvaises herbes sur les revêtements, un certain concept de qualité visuelle peut être défini. Le taux de présence de mauvaises herbes peut dans ce cadre être exprimé de différentes façons. La plupart des systèmes reposent sur une classe esthétique comme la codification par lettres du CROW aux Pays-Bas [11] et/ou un score esthétique chiffré. Ils sont décrits en détail ci-après. De telles classes ou scores sont utilisés pour fixer l'aspect esthétique visé et/ou possible dans le cadre du désherbage curatif (voir chapitre 5).

Le CROW (voir tableau 2.1) distingue cinq classes esthétiques – allant de *pas de mauvaises herbes* à *de très nombreuses mauvaises herbes*.

Revêtement / Revêtement ouvert / Revêtement modulaire / Pavés / Mauvaises herbes (Codes principaux RAW 70.74.12 / 70.74.62)				
A+	A	B	C	D
				
Pas de mauvaises herbes	Peu de mauvaises herbes	Assez bien de mauvaises herbes	Beaucoup de mauvaises herbes	De très nombreuses mauvaises herbes
Recouvrement	Recouvrement	Recouvrement	Recouvrement	Recouvrement
0 % par 100 m ²	≤ 5 % par 100 m ²	≤ 15 % par 100 m ²	≤ 25 % par 100 m ²	> 25 % par 100 m ²
Longueur	Longueur	Longueur	Longueur	Longueur
0 m par 100 m ²	≤ 0,25 m par 100 m ²	≤ 0,50 m par 100 m ²	≤ 1,00 m par 100 m ²	> 1,00 m par 100 m ²
Nombre de touffes	Nombre de touffes	Nombre de touffes	Nombre de touffes	Nombre de touffes
0 par 100 m ²	0 par 100 m ²	≤ 100 par 100 m ²	≤ 200 par 100 m ²	> 200 par 100 m ²

Photos: UGent

Tableau 2.1 Classification esthétique du CROW par rapport à la présence de mauvaises herbes

Un *score esthétique* est exprimé sur une échelle. Dans le présent code de bonne pratique, une échelle de 2 à 10 est utilisée, où 10 représente la situation où il y a le moins de mauvaises herbes (voir tableau 2.2 et figure 2.3). En principe, il est possible d'ajouter un score esthétique supplémentaire, 10+ = *pas de mauvaises herbes*. Le score esthétique est un reflet précis de la perception visuelle du citoyen par rapport à la propreté du revêtement. Le recouvrement du joint par les mauvaises herbes est pris en compte ainsi que la hauteur de la végétation étant donné que pour un recouvrement de joint égal, la végétation qui pousse haut (par exemple l'érigéron du Canada) est considérée comme plus gênante que la végétation plus basse (la mousse par exemple). Pour chaque lieu répertorié (voir § 2.1.1), un score esthétique a été attribué sur base du tableau 2.2.

Pour indiquer à quelles classes du CROW correspondent ces scores esthétiques, ils ont été répartis en cinq catégories de score: 2-4, 5-6, 7-8, 9-10 et 10+, qui coïncident avec les classes du CROW D, C, B, A et A+ (voir tableau 2.3). Dans le tableau 2.3, il est également indiqué à quel recouvrement de surface (c'est-à-dire le pourcentage de mauvaises herbes sur la surface revêtue) et hauteur de végétation les catégories précitées

Recouvrement des joints	Hauteur de la végétation				
	< 1 cm	1 - 3 cm	4 - 6 cm	7 - 10 cm	> 10 cm
1 - 6 %	10	9	8	7	6
6 - 16 %	10	8	7	6	5
16 - 26 %	10	7	6	5	4
26 - 51 %	10	6	5	4	3
51 - 100 %	10	5	4	3	2

Tableau 2.2 Détermination du score esthétique lié à la présence de mauvaises herbes sur les revêtements

Score esthétique	Recouvrement de la surface (%) + hauteur de végétation (cm)	Classe esthétique du CROW	Degré de tolérance
10+	0 %	A+	Tolérance zéro
9-10	< 1 % pour une hauteur \geq 3 cm	A	Tolérance faible
	< 1,5 % pour une hauteur = 1 à 3 cm		
	< 3 % pour une hauteur < 1 cm		
7-8	< 2 % pour une hauteur \geq 3 cm	B	Tolérance modérée
	< 3 % pour une hauteur = 1 à 3 cm		
	< 6 % pour une hauteur < 1 cm		
5-6	< 4 % pour une hauteur \geq 3 cm	C	Tolérance élevée
	< 6 % pour une hauteur = 1 à 3 cm		
2-4	> 4 % pour une hauteur \geq 3 cm	D	100 % tolérance
	> 6 % pour une hauteur = 1 à 3 cm		

Note: pour les scores esthétiques 5-6 et 2-4 on part du principe que la hauteur < 1 cm n'existe pas

Tableau 2.3 Correspondance entre les catégories de score esthétique et les classes du CROW (Pays-Bas)



Score esthétique = 10



Score esthétique = 6



Score esthétique = 2

Figure 2.3 Score esthétique et aspects correspondants

correspondent. Le score esthétique 2-4 indique une négligence extrême et/ou une absence totale de gestion adaptée et/ou une moindre qualité technique du revêtement.

Il n'est pas toujours nécessaire ou possible d'aspirer à un score esthétique de 10 ou une qualité de classe A. En concertation avec l'utilisateur de préférence, il est possible d'opter pour un niveau esthétique moindre, en tenant compte de la fonction du revêtement et/ou des moyens disponibles pour la gestion des mauvaises herbes. Ceci arrive souvent pour des raisons pratiques ou politiques et peut par exemple aussi être défini dans les plans politiques. Le tableau 2.3 présente des catégories de score esthétique (avec un degré de tolérance déterminé) pouvant aider pour la détermination, le suivi et l'évaluation des scénarios de désherbage dans la pratique. Des catégories de score 10+ (classe esthétique A+) et 2-4 (classe esthétique D) sont deux cas extrêmes que l'on ne rencontrera probablement pas très souvent dans la pratique. Dans des circonstances spéciales (festivités, événements, etc.) ou temporaires (négligence d'entretien, manque de moyens financiers et personnels, etc.), elles peuvent éventuellement s'appliquer.

2.1.3 Influence des facteurs environnementaux

Outre la végétation présente et le score esthétique du revêtement, des facteurs environnementaux (connexes) ont aussi été mesurés lors de l'inventaire tels que l'intensité lumineuse, la situation, la fonction et l'intensité d'utilisation. Ceux-ci influencent en effet, dans une plus ou moins grande mesure, les mauvaises herbes présentes et/ou le score esthétique des revêtements. Enfin, le rapport avec un certain nombre de caractéristiques techniques de la conception ou de l'exécution a été étudié.

L'intensité lumineuse (soleil, mi-ombre ou ombre) n'a pas d'impact significatif sur l'aspect esthétique, le pourcentage de mauvaises herbes dans les joints ou le nombre d'espèces rencontrées, mais bien sur la composition des espèces en présence. Aux endroits ensoleillés, ce sont surtout des plantes pluriannuelles qui apparaissent, tandis que les pavages situés plus à l'ombre sont plutôt envahis par des plantes annuelles et bisannuelles. Par conséquent, le traitement des mauvaises herbes sera plus simple sur des revêtements ombragés. Les mauvaises herbes annuelles sont en effet plus faciles à combattre mécaniquement ou thermiquement que les pluriannuelles.

Les alentours immédiats du revêtement ont également une influence claire sur l'apparition des mauvaises herbes. Un facteur important est la présence d'une zone verte (en ce compris les rangées d'arbres, bois ou parcs) juste à côté du revêtement considéré (voir chapitre 3), à partir de laquelle les mauvaises herbes peuvent apparaître par expansion, enracinement ou indirectement par ensemencement. Une zone de végétation juste à côté d'un revêtement comporte donc un risque accru de mauvaises herbes (voir figure 2.4).

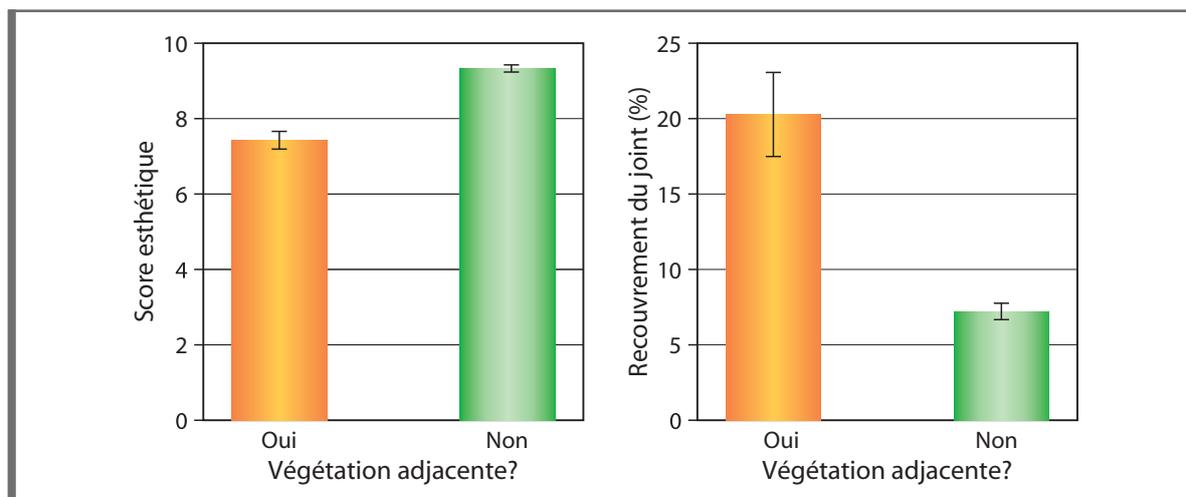


Figure 2.4 Impact d'une zone verte adjacente sur les mauvaises herbes dans un revêtement (les barres d'erreur correspondent à l'erreur type sur la moyenne de l'échantillon de chaque classe)

En outre, l'environnement (par exemple zone verte, domaine boisé, parc), exercera également un influence sur le degré de pollution du revêtement sous la forme de *matière organique* (feuilles, matière organique dans le sol ou collée aux pneus, sable très fin, etc.). Parce qu'ils sont utilisés pendant plusieurs années dans un environnement extérieur, les revêtements deviennent en effet pollués. La teneur en matière organique (MO) dans les joints est une mesure de la pollution et semble très déterminante pour l'apparition des mauvaises herbes sur le revêtement (voir figure 2.5).

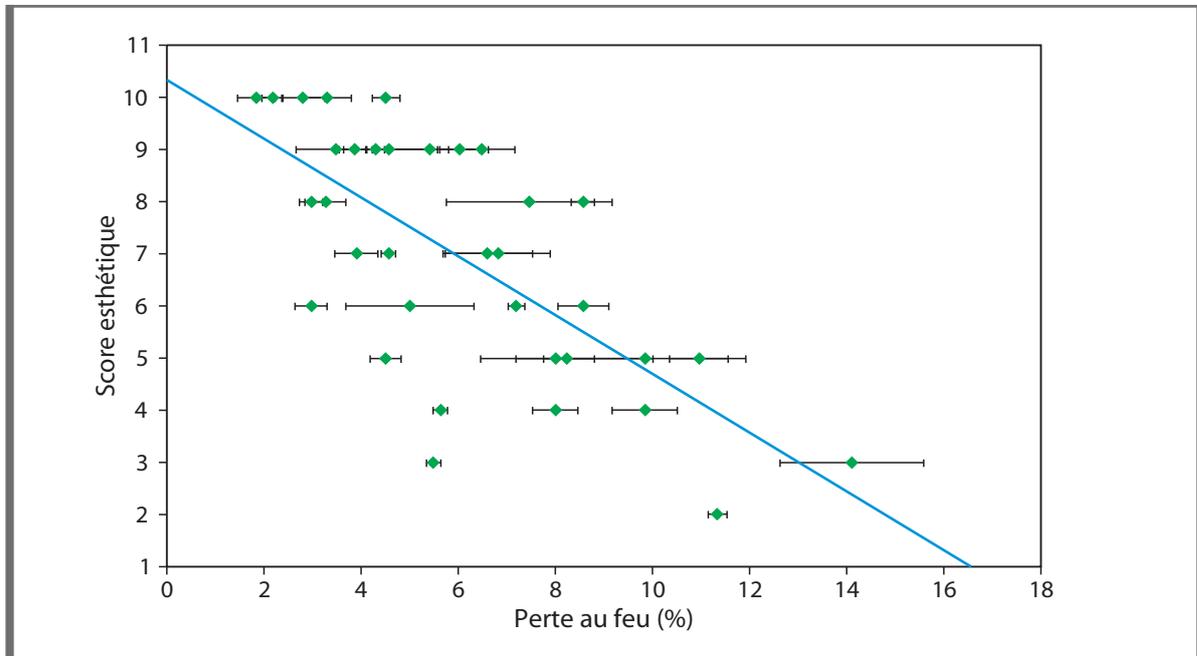


Figure 2.5 Lien entre la perte au feu (mesure indirecte de la teneur en MO) après incinération dans un four et le score esthétique lié à la présence de mauvaises herbes sur un revêtement (les points sont des moyennes avec leur écart type)

Le score esthétique diminue clairement à mesure que la perte au feu (%) augmente. Plus de matériau organique signifie bien sûr plus d'endroits où les plantes peuvent s'installer, mais aussi plus d'humidité et de nutriments. Mettre en œuvre des revêtements à des endroits où le risque de pollution organique est élevé (bois, parcs, zones vertes) comporte donc aussi un risque élevé d'apparition de mauvaises herbes. La terre laissée par le trafic n'augmente pas seulement la teneur en matière organique dans les joints, mais modifie aussi la granularité. La granularité du matériau de jointoiment influence indirectement la quantité disponible d'eau et par conséquent la prolifération des mauvaises herbes (voir § 3.2.3).



Figure 2.6 Davantage de pollution (matière organique) signifie un risque accru de mauvaises herbes



2.1.4 Influence de l'intensité d'utilisation et de la fonction

Les endroits où l'intensité d'utilisation est moindre affichent un moins bon score que les revêtements plus fréquentés. Ils présentent un plus grand nombre d'espèces et davantage de plantes pluriannuelles (voir figure 2.7). Un usage intensif des revêtements est surtout caractérisé par des mauvaises herbes très petites (mousse, sagine couchée) capables de survivre totalement dans les joints. L'adéquation du revêtement (largeur de la route) vis-à-vis de l'intensité d'utilisation est donc très importante. Les endroits peu circulés constitueront rapidement des endroits problématiques dans le revêtement. En revenant à la conception de base (voir tableau 1.1), le risque de mauvaises herbes augmente à mesure que la charge de trafic diminue (de la catégorie de trafic I à la catégorie de trafic IV).

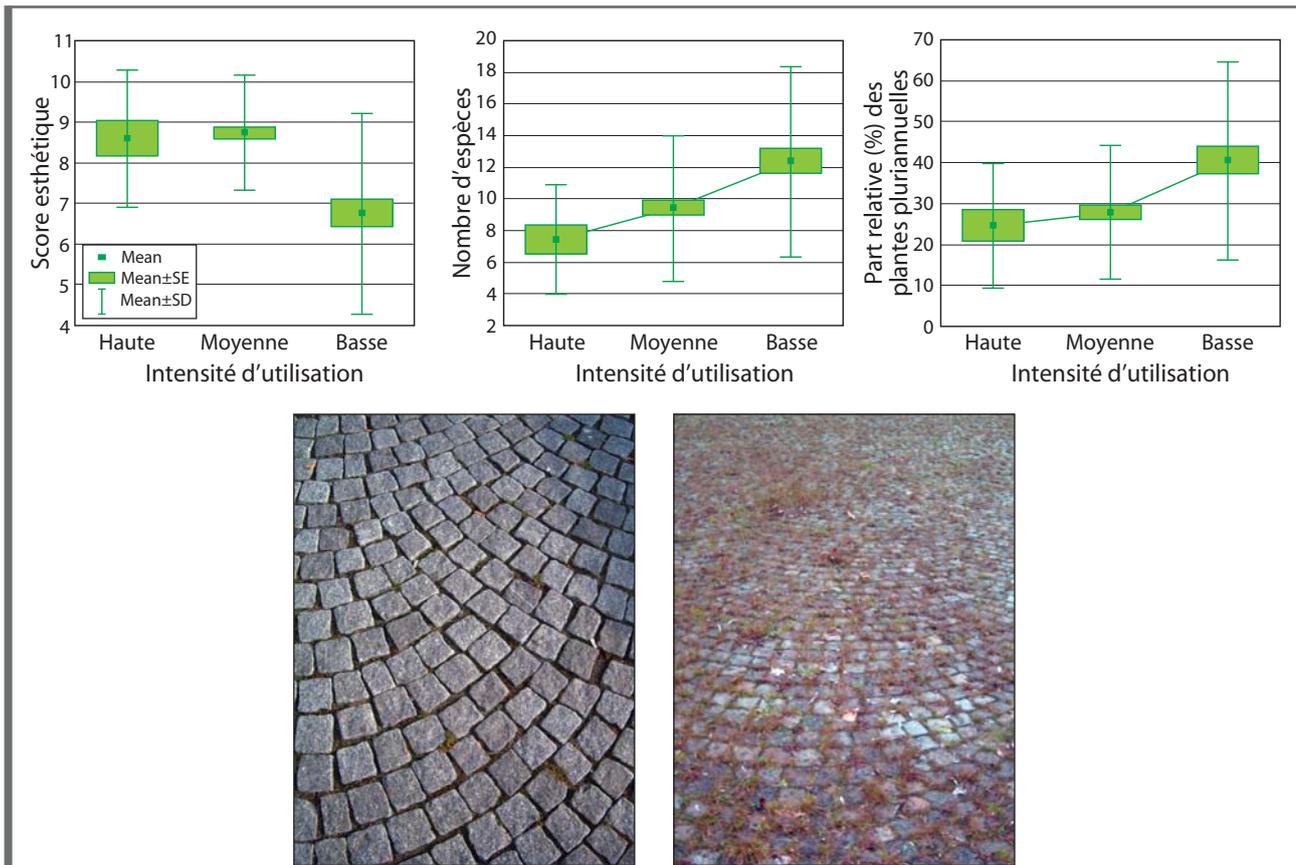


Figure 2.7 Influence de l'intensité d'utilisation sur les mauvaises herbes

La fonction (parking, piste cyclable, trottoir) ou la situation au sens plus large (milieu rural, urbain, préurbain) du revêtement semblent avoir peu d'impact sur les mauvaises herbes. Ces aspects auront pourtant leur importance lors de l'établissement d'un aspect esthétique acceptable.

2.1.5 Influence de la conception et/ou de l'exécution du revêtement

Le rapport entre la qualité de la conception et/ou de l'exécution et les mauvaises herbes en présence peut être démontré de manière indirecte. Par conception et exécution, il faut comprendre le concept global, l'implantation du (ou des) revêtement(s) dans le projet, la définition de l'épaisseur des différentes couches de la structure et la mise en œuvre finale. Les choix de matériaux particuliers sont considérés séparément et discutés au chapitre 3.

La qualité de la conception et/ou de l'exécution est évaluée à l'aide d'une série de caractéristiques de conception distinctes ayant une incidence sur l'apparition des mauvaises herbes. Sur base d'une propre étude et d'un certain nombre d'exemples de conception connus [12, 13], six caractéristiques de conception influençant le plus l'apparition des mauvaises herbes ont pu être distinguées. Elles concernent un certain

	<p>Catégorie A Végétation adjacente</p>		<p>Catégorie D Obstacles</p>	
				
	<p>Catégorie B Finition des bords</p>		<p>Catégorie E Contrebutage</p>	
				
	<p>Catégorie C Affaissements / Inégalités</p>		<p>Catégorie F Filet d'eau en éléments modulaires</p>	
				

Tableau 2.4 Lien entre les caractéristiques de conception et l'apparition des mauvaises herbes

nombre de caractéristiques d'exécution clairement établies, souvent liées à des aspects tels que la finition autour d'obstacles, autour de bords et bordures, la finition et la pose de filets d'eau, le nombre et la taille des joints, l'adéquation vis-à-vis de l'intensité d'utilisation (voir tableau 2.4):

- A) **présence de végétation adjacente;**
- B) **finition des bords et bordures** (demi-pavés, assise de panneresses (voir figure 3.2), largeur de joint, etc.);
- C) **affaissements et inégalités;**
- D) **présence d'obstacles** (mobiliers urbains, poteaux, abribus, etc.);
- E) **présence d'un contrebutage ou d'une bordure;**
- F) **filet d'eau adjacent en éléments modulaires.**

Les endroits considérés peuvent être évalués par rapport à chacune de ces caractéristiques de conception (un score 0 ou 1, sur base d'une simple question *oui/non*). De plus, chaque catégorie a un poids différent en fonction de l'importance pour l'apparition des mauvaises herbes. Les tableaux 2.5 et 2.8 donnent respectivement la méthode de calcul du score de conception et un exemple.

Question		Réponse (OUI = 0; NON = 1) (I)	Pondération (II)	Score partiel pondéré (I)x(II)
A	Y a-t-il de la végétation adjacente?	_____	x 0,21 =	_____
B	La finition des bords montre-t-elle des défauts (éléments plus petits que des demi-pavés, pas d'assise de panneresses, largeur de joint excessive)?	_____	x 0,19 =	_____
C	Le revêtement montre-t-il des affaissements ou des inégalités?	_____	x 0,17 =	_____
D	Présence d'obstacles dans le revêtement?	_____	x 0,17 =	_____
E	Absence de contrebutage efficace?	_____	x 0,14 =	_____
F	Y a-t-il un filet d'eau adjacent en éléments modulaires?	_____	x 0,12 =	_____
Score global de conception				_____

Tableau 2.5 Méthode de calcul du score de conception global sur base des scores partiels pondérés pour les critères de conception A à F du tableau 2.4

L'addition des scores partiels pondérés des six catégories donne le score global de conception (entre 0 et 1), sur base duquel les endroits sont répartis en différentes classes de conception ou d'exécution – allant de *très mauvais* (C1) à *très bon* (C4) – et le lien avec les mauvaises herbes présentes peut être établi (voir figure 2.8).

Les résultats ainsi obtenus indiquent un lien évident entre la classe de conception ou d'exécution et l'apparition des mauvaises herbes (score esthétique moyen et recouvrement de joint moyen). Les scores de conception plus élevés permettent clairement d'obtenir un score esthétique nettement meilleur et un recouvrement des joints moindre. Que ce soit pour des revêtements existants ou pour des revêtements neufs, ce score de conception peut être utilisé lors de l'estimation du risque d'apparition de mauvaises herbes (voir § 2.2).

Au bout du compte, dans la pratique, la largeur de joint s'avère également être un paramètre (de conception) technique important pour l'apparition des mauvaises herbes sur les revêtements (voir figure 2.9). Les joints fins (0 à 2 mm) sont nettement meilleurs que les joints moyens (2 à 5 mm) ou larges (> 5 mm),

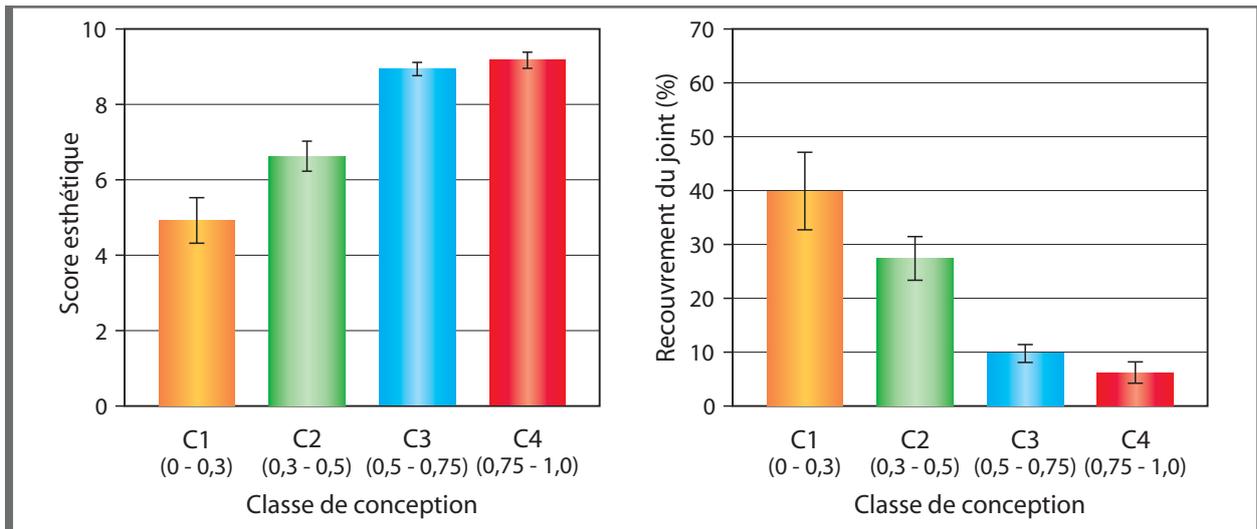


Figure 2.8 Relation entre la conception/l'exécution et l'apparition des mauvaises herbes (score esthétique, recouvrement des joints) (les barres d'erreur correspondent à l'erreur type sur la moyenne de l'échantillon de chaque classe)

tant pour ce qui est de l'aspect esthétique que du pourcentage de mauvaises herbes dans les joints ou encore du nombre d'espèces de mauvaises herbes rencontrées. Un joint plus étroit laisse en effet moins de place aux mauvaises herbes, et contient moins d'eau et de nutriments. Parallèlement aux facteurs environnementaux et de conception discutés précédemment, la largeur de joint définie préalablement (dans la phase de conception) ou actuelle (dans le pavage existant) va donc aussi déterminer le risque de mauvaises herbes futur. La largeur de joint est donc aussi prise comme un paramètre crucial pour l'évaluation du risque de mauvaises herbes (voir § 2.2).

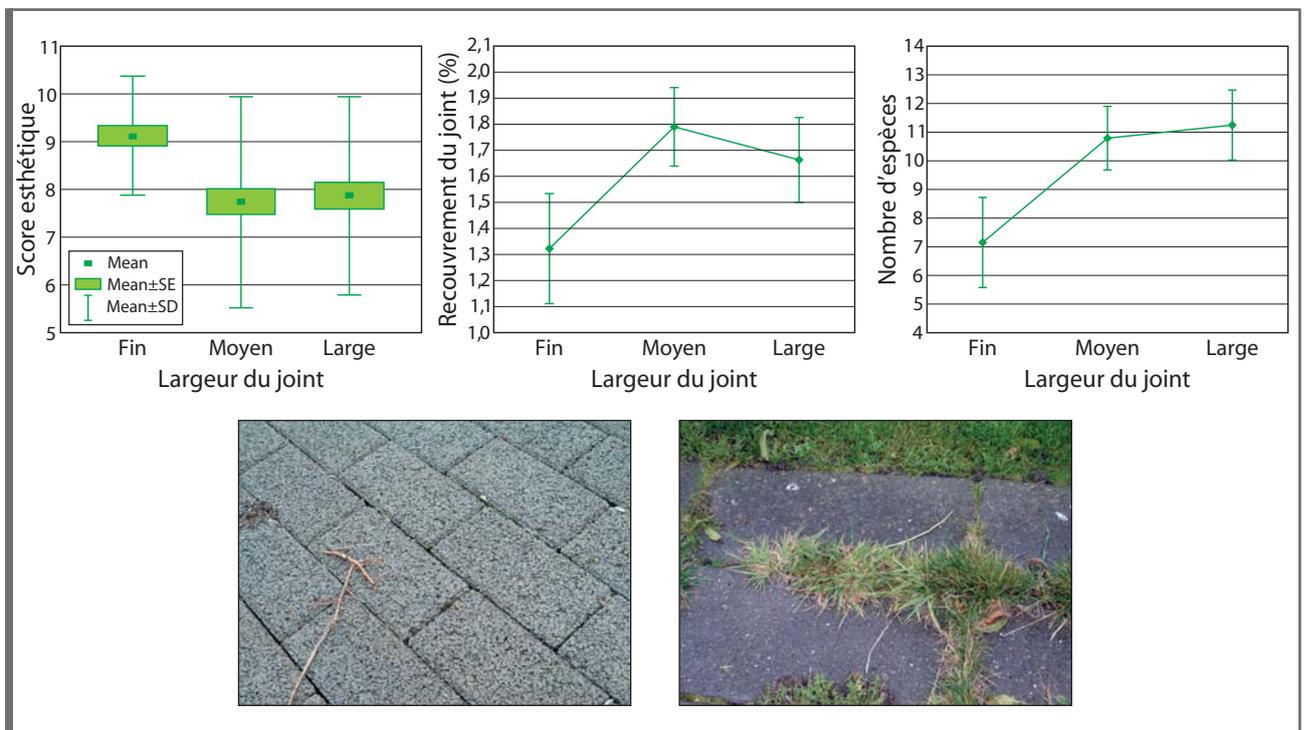


Figure 2.9 Influence de la largeur du joint sur le score esthétique, le recouvrement du joint par des mauvaises herbes et le nombre d'espèces végétales rencontrées

Lors de la conception d'un revêtement, il faut donc tenir compte des facteurs environnementaux principaux (intensité lumineuse, intensité d'utilisation, zones vertes adjacentes, degré de pollution) et de quelques caractéristiques de conception cruciales, pour pouvoir y adapter la gestion future des mauvaises herbes.

2.2 Estimation du risque d'apparition de mauvaises herbes

En se basant sur les informations précitées, le risque d'apparition de mauvaises herbes peut être estimé, aussi bien pour les revêtements neufs, à concevoir, que pour des revêtements existants, en fonction de trois paramètres clés: score de conception, largeur de joint et intensité d'utilisation.

■ Score de conception

Le score de conception est exprimé par un chiffre entre 0 et 1 (voir tableau 2.5). C'est une mesure de la qualité de la conception (y compris par exemple les zones vertes adjacentes) et de l'exécution du revêtement sur base des six caractéristiques de conception définies (voir tableau 2.4). Des *scores plus élevés* correspondent à un meilleur état du revêtement et donc un *risque moindre* de mauvaises herbes. Pour un revêtement neuf, à concevoir, le score de conception est généralement très élevé. Pour des revêtements existants, il faut une évaluation annuelle du score en fonction de l'état actuel du revêtement.

■ Largeur de joint

Il s'agit de la largeur de joint *moyenne* (mesurée sous le chanfrein) pour un revêtement existant, déterminée selon le tableau 2.6, ou de la *valeur de conception* pour un revêtement neuf. Dans tous les cas, plus la largeur de joint augmente, plus le risque de mauvaises herbes augmente (surtout entre 0 et 5 mm – voir figure 2.9). A ce sujet, un *score partiel* peut être exprimé, égal à *l'inverse de la largeur de joint* (1/mm), pour les largeurs de joint entre 1 et 15 mm. Ceci correspond environ à un chiffre entre 0 et 1. Le risque d'apparition de mauvaises herbes diminue donc (score plus élevé) proportionnellement à l'inverse de la largeur de joint (voir figure 2.10). Plus le score de risque est élevé, plus le risque d'apparition de mauvaises herbes est faible.

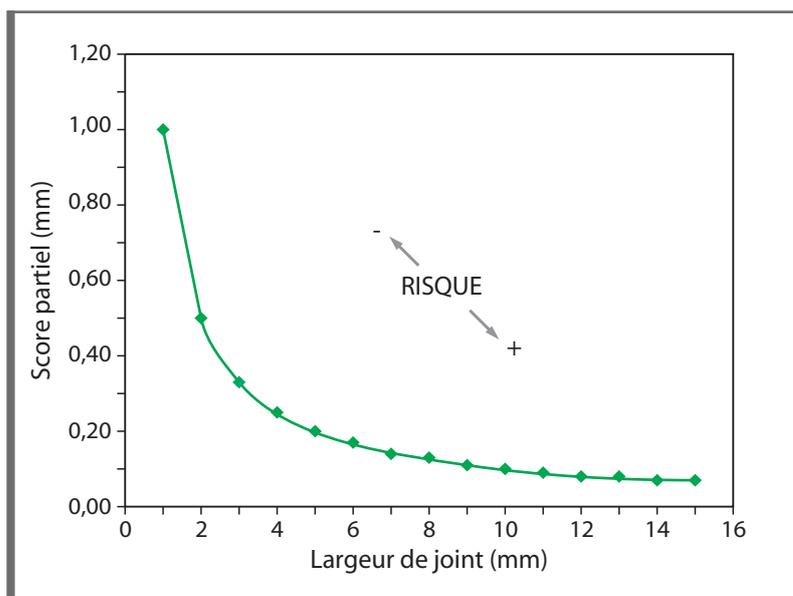


Figure 2.10 Score partiel (= 1/largeur de joint (mm)) en fonction de la largeur de joint. Le risque d'apparition de mauvaises herbes diminue proportionnellement à l'inverse de la largeur de joint.

Pour les revêtements modulaires à ouvertures de drainage (à angles droits ou arrondies), le score partiel est l'inverse de la largeur maximale (mm) de l'ouverture (par exemple, le diamètre pour des ouvertures circulaires). Ceci donne généralement un score partiel égal à zéro (gros risque d'apparition de mauvaises herbes).

	Point de mesure 1	Point de mesure 2	Point de mesure 3
Surface zone S	Nombre de points de mesure	Nombre de pavés par point de mesure	Nombre de mesures de joint longitudinal/joint transversal par pavé
$S < 250 \text{ m}^2$	3 par 10 m de longueur	3 par m de largeur	4/2
$250 < S < 750 \text{ m}^2$	5 par 30 m de longueur	3 par m de largeur	4/2
$S > 750 \text{ m}^2$	9 par 50 m de longueur	3 par m de largeur	4/2

Tableau 2.6 Méthode de détermination de la largeur de joint moyenne d'un revêtement existant. Les pavés verts représentent par exemple les points de mesure. Il s'agit de seuils recommandés pour une estimation correcte de la largeur de joint. Pour des surfaces supérieures à 750 m^2 , cette méthode de calcul ne doit pas être appliquée à l'infini, mais le nombre maximal de pavés à mesurer peut être déterminé en fonction du bon sens, donnant une idée représentative de la largeur de joint.

■ Intensité d'utilisation

L'intensité d'utilisation est un troisième paramètre important exerçant une grande influence sur les mauvaises herbes (voir figure 2.7). Sur base du nombre de passages journaliers et de la fonction principale du revêtement, on distingue trois classes d'intensité d'utilisation: *élevée*, *modérée* et *faible*.

Cette répartition ne s'applique qu'aux revêtements des catégories de trafic III et IV (voir tableau 1.1), où un score partiel $1 - 0,5 - 0$ est attribué, en fonction de la classe d'intensité d'utilisation (voir tableau 2.7). Des scores plus élevés (= intensité d'utilisation supérieure) correspondent donc à un risque plus faible de mauvaises herbes.

Pour les revêtements des catégories de trafic I et II (par exemple *chaussée*), il est admis que l'intensité d'utilisation est tellement élevée que le risque de mauvaises herbes reste très bas. Ceci s'applique aussi à la plupart des accès de parkings.

Classe d'intensité d'utilisation	Trottoir (passages/ m largeur/jour)	Piste cyclable (passages/ m largeur/jour)	Parking (véhicules entrants et sortants/200m ² /jour)	Score partiel pour l'intensité d'utilisation
ELEVÉE	> 1 200	> 2 000	> 20	1
MODÉRÉE	600 à 1 200	1 000 à 2 000	10 à 20	0,5
FAIBLE	< 600	< 1 000	< 10	0

Tableau 2.7 Classes d'intensité d'utilisation sur base du nombre de passages journaliers et de la fonction principale du revêtement, et score partiel correspondant du risque d'apparition de mauvaises herbes. Uniquement valable pour les revêtements des catégories de trafic III et IV.

Comme illustré au tableau 2.8, une addition pondérée peut être établie sur base des scores partiels pour les paramètres clés *conception*, *largeur de joint* et *intensité d'utilisation* afin d'obtenir le score global de risque (uniquement pour les catégories de trafic III et IV), le score maximum étant de 1. A cet effet, les facteurs de pondération suivants sont appliqués: 0,4 (*conception*), 0,4 (*largeur de joint*) et 0,2 (*intensité d'utilisation*). Ces poids sont fixés sur base des résultats de recherche et reflètent l'importance relative des trois paramètres clés pour le risque global d'apparition de mauvaises herbes.

Plus le score global est élevé, plus le risque d'apparition de mauvaises herbes est faible pour le revêtement considéré. En outre, un certain nombre de valeurs pivots sont fixées pour l'estimation du niveau global de risque:

Score global de risque	Niveau de risque
< 0,3	ELEVE
0,3 à 0,6	MODERE
> 0,6	FAIBLE

Sur base du niveau global de risque ainsi défini, il est possible d'opter pour des mesures préventives plus strictes, de rectifier la qualité visuelle souhaitée et/ou d'adapter les scénarios de désherbage curatif (voir chapitre 5 relatif à l'*arbre de décision*).

<i>Conception (voir tableau 2.5)</i>				
	Pondération		Poids	Score partiel pondéré
A	1 x 0,21 =		0,21	
B	0 x 0,19 =		0	
C	1 x 0,17 =		0,17	
D	0 x 0,17 =		0	
E	1 x 0,14 =		0,14	
F	0 x 0,12 =		0	
Total pour la conception		0,52	0,4	0,21
<i>Largeur de joint (voir tableau 2.6)</i>				
	Joint (mm)	Score = 1/joint	Poids	Score partiel pondéré
	1	1,00	0,4	0,40
	2	0,50	0,4	0,20
	3	0,33	0,4	0,13
	4	0,25	0,4	0,10
	5	0,20	0,4	0,08
	6	0,17	0,4	0,07
	7	0,14	0,4	0,06
	8	0,13	0,4	0,05
	9	0,11	0,4	0,04
	10	0,10	0,4	0,04
	11	0,09	0,4	0,04
	12	0,08	0,4	0,03
	13	0,08	0,4	0,03
	14	0,07	0,4	0,03
	15	0,07	0,4	0,03
<i>Intensité d'utilisation (voir tableau 2.7)</i>				
			Poids	Score partiel pondéré
	ELEVEE	1	0,2	0,20
	MODEREE	0,5	0,2	0,10
	FAIBLE	0	0,2	0,00
Score global de risque d'apparition de mauvaises herbes				0,39

Tableau 2.8 Exemple de calcul du score global de risque sur base des scores de risque partiels pour la conception, la largeur de joint et l'intensité d'utilisation (uniquement d'application pour les catégories de trafic III et IV)

Chapitre 3

Mesures préventives

Pour combattre au moyen de mesures préventives l'apparition des mauvaises herbes dès la conception, l'exécution et le choix des matériaux de la structure du revêtement, il convient de tenir compte des facteurs influençant l'apparition des mauvaises herbes sur les revêtements, tels que décrits au chapitre 2.

Avant de s'attaquer à la conception de base, il faut se demander si un revêtement est *absolument indispensable*. Il faut adapter le revêtement à l'intensité d'utilisation escomptée, aux exigences fonctionnelles (piste cyclable, trottoir, parking) et à l'aspect visuel ou à l'environnement présent. Ces considérations permettront parfois de conclure qu'une surface revêtue n'est en fait pas nécessaire ou qu'il est préférable d'opter pour un autre type de revêtement (par exemple fermé: enrobé, béton). Pour les revêtements existants aussi, il est recommandé de procéder à une telle évaluation. Le choix du matériau de revêtement doit donc être bien pesé et il est inutile de prévoir des revêtements là où ce n'est pas nécessaire. Les chemins les moins empruntés ou les revêtements difficiles à entretenir peuvent par exemple être remplacés par des voies engazonnées. On peut aussi opter pour des revêtements ouverts ou semi-ouverts (dalles-gazon en béton, herbe empierrée, ou chemins à deux bandes de roulement) où une certaine croissance de verdure est tolérée.

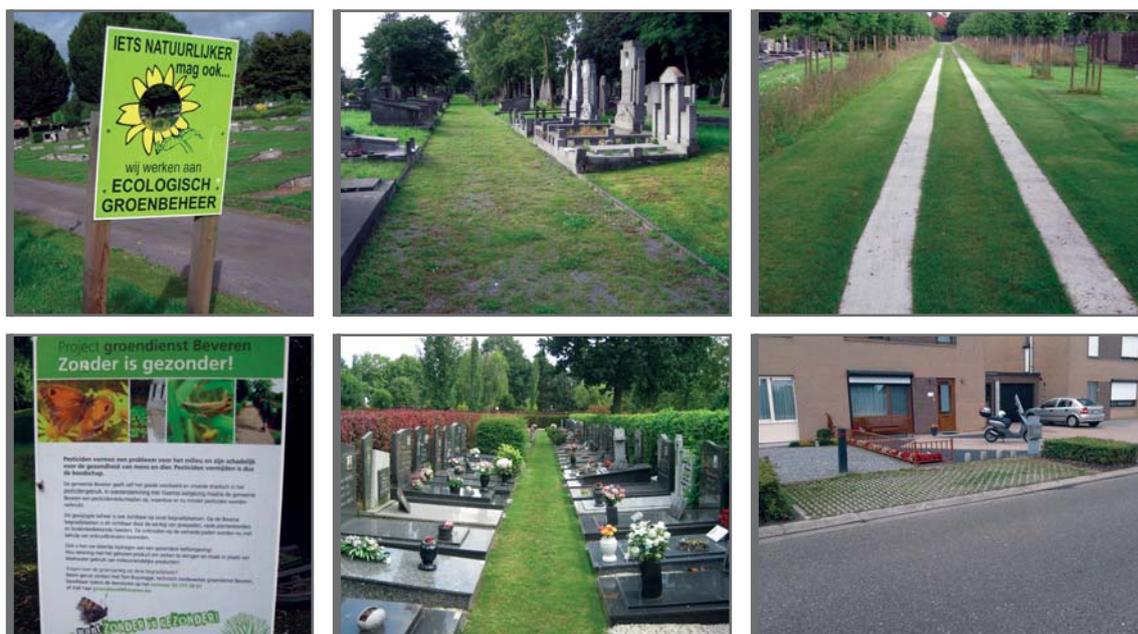


Figure 3.1 Conversion de chemins revêtus en chemins couverts de végétation pour une gestion des mauvaises herbes sans pesticides

Si un revêtement s'avère nécessaire d'un point de vue fonctionnel, pour le confort, l'esthétisme ou pour toute autre raison (voir chapitre 1), il est possible de prendre des mesures préventives dès la conception et lors de l'exécution afin de combattre l'apparition des mauvaises herbes (voir [14]).

3.1 Points importants lors de la conception et de l'exécution du revêtement

Les conclusions au chapitre 2 démontrent qu'il est possible d'intervenir sur la prévention et l'apparition des mauvaises herbes dès la phase de conception et d'exécution en prenant en compte quelques critères de conception importants (voir tableau 2.4). Ci-après, ces critères sont approfondis, ainsi que les moyens de lutte préventive contre l'apparition des mauvaises herbes avant, pendant et après la mise en œuvre. Certains autres choix de conception importants, susceptibles d'influencer l'apparition des mauvaises herbes, sont également abordés (entre autres la largeur de joint, le drainage). Ceux-ci vont de pair avec le choix des matériaux (voir § 3.2) et/ou influencent les caractéristiques de conception du § 2.1.5.

3.1.1 Zones vertes adjacentes et/ou environnement boisé

Comme mentionné au chapitre 2, une zone verte adjacente (paramètre environnemental dans la conception) constitue une première caractéristique importante d'un revêtement neuf à concevoir qui comporte un risque accru de voir apparaître des mauvaises herbes. Pour un revêtement existant, c'est en réalité une donnée fixe qui détermine le risque. Le risque accru d'apparition des mauvaises herbes (voir figure 2.4) n'est pas seulement la conséquence de la dissémination ou de la prolifération de la végétation avoisinante, mais aussi de l'accumulation potentielle de matière organique et de la pollution des joints du revêtement. C'est un substrat idéal pour l'apparition des mauvaises herbes sur les revêtements.

Si une surface revêtue est tout de même construite dans ou à côté d'une zone verte ou d'un environnement boisé, il faut tenir compte des points suivants, pour éviter tout problème futur de traitement des mauvaises herbes:

- choisir un matériau de jointoiment adapté (voir § 3.2.3);
- opter pour un revêtement approprié (fermé plutôt qu'ouvert ou semi-ouvert et/ou type de pavé) (voir § 3.2.1);
- prendre une largeur de joint aussi petite que possible (voir § 3.1.7.1);
- balayer régulièrement afin d'enlever la pollution;
- vérifier l'usage régulier et intensif;
- remplir les joints régulièrement;
- prévoir une séparation solide entre la zone verte et le revêtement (voir § 3.1.5).

3.1.2 Finition des bords et courbes

La finition des bords et l'exécution des courbes revêtent également une importance capitale pour la prévention des mauvaises herbes. Une exécution peu soignée crée rapidement des endroits problématiques pour les mauvaises herbes qui se propagent au reste du revêtement (voir photo de gauche à la figure 3.2).



Figure 3.2 Finition des bords
A gauche: finition des bords peu soignée avec pièces de réglage trop petites
Au milieu: finition des bords peu soignée autour et aux abords d'un point singulier
A droite: finition correcte avec une assise de panneresses en pavés

Une finition correcte consiste entre autres:

- à ne pas mettre en œuvre des pièces de réglage plus petites qu'un demi-pavé sur les bords;
- pour des pavés sciés, à toujours travailler avec des angles biseautés (chanfrein poli, c'est le biseautage en haut du pavé);
- contre des éléments linéaires ou des revêtements adjacents, à toujours mettre en œuvre une assise de panneresses ou une assise de chant (il s'agit d'une seule rangée de pavés entiers (voir figure 3.2 à droite));
- pour la finition des bords et des courbes, à utiliser des pièces spéciales adaptées et à tenir compte de l'appareillage (voir figures 3.3 et 3.4);
- à appliquer une bordure ou un contrebutage afin de garantir la largeur de joint (voir § 3.1.5);
- à soigner la finition du revêtement aux points singuliers (plaques d'égout, grilles, etc.) (voir figure 3.5).

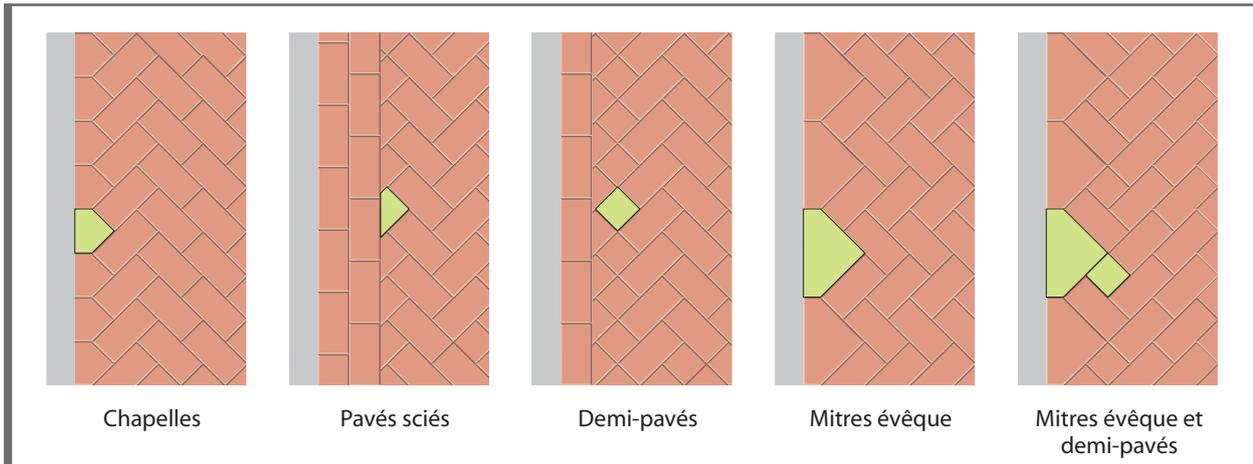


Figure 3.3 Pièces complémentaires disponibles pour une finition soignée des bords et bordures

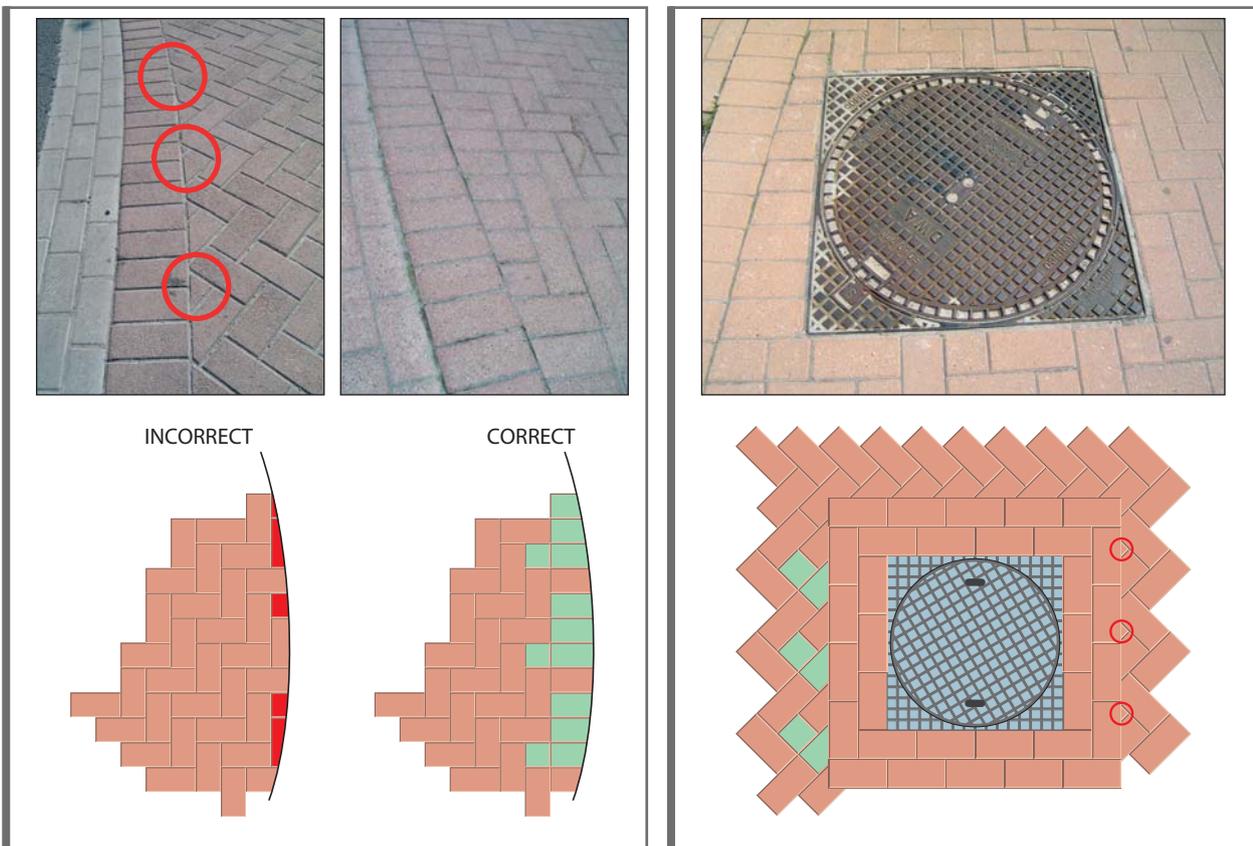


Figure 3.4 Finition de bords erronée et bonne finition en courbe

Figure 3.5 Finition des bords aux points singuliers

Une finition soignée aux bords, dans les courbes et autour des points singuliers peut permettre de lutter contre les problèmes de stabilité et par conséquent contre l'apparition des mauvaises herbes. Pour un complément d'informations sur ces points importants, référez-vous au code de bonne pratique CRR R 80/09 [9].

3.1.3 Affaissements et inégalités

Les affaissements et inégalités dans un revêtement ont des effets néfastes tant sur l'apparition des mauvaises herbes que sur la stabilité générale de la structure. Des zones problématiques se créent en effet où de l'humidité, des matières organiques et de la terre s'accumulent, et des circonstances de croissance idéales sont mises en place pour l'apparition des mauvaises herbes. Une conception appropriée, un dimensionnement correct (voir chapitre 1) et une exécution soignée peuvent éviter de tels problèmes. Il faut alors aussi tenir compte de l'usage occasionnel, après la mise en œuvre, par exemple par le trafic lourd destiné au transport de marchandises et éventuellement les machines lourdes pour la gestion alternative des mauvaises herbes (voir chapitre 4).



Figure 3.6 Les affaissements sont un milieu idéal pour l'apparition des mauvaises herbes

Si des dégradations apparaissent malgré tout, il s'agit de réparer le revêtement endommagé dans les plus brefs délais et/ou de résoudre les causes des dégradations afin d'éviter d'autres gros problèmes.

Pour les raisons précitées, il convient de consacrer l'attention et le soin nécessaires à la remise en place des pavés dans un revêtement qui a été démonté localement, par exemple pour des travaux aux impétrants (voir chapitre 6 du code de bonne pratique CRR R 80/09 [9]).

3.1.4 Présence d'obstacles

La présence d'obstacles dans un revêtement (poteaux, panneaux, mobilier urbain, barrières de parkings, etc.) constitue une quatrième caractéristique importante de conception sur le plan de la maîtrise des mauvaises herbes. Il est un fait que les mauvaises herbes se logeront plus facilement autour de tels obstacles (voir photo de gauche de la figure 3.7) et se propageront alors au reste du revêtement. C'est à cause de l'intensité d'utilisation moins élevée du revêtement autour des obstacles, de la finition moins soignée des joints entre l'obstacle et le revêtement (pourcentages de joints élevés) et de l'accessibilité plus difficile pour les machines de désherbage alternatif. C'est pourquoi il est recommandé de placer les obstacles à d'autres endroits (par exemple, dans une zone verte adjacente, car la croissance de la verdure autour d'un obstacle dans une bande de verdure adjacente sera perçue comme moins dérangeante) ou de les limiter à un minimum (par exemple, rassembler plusieurs panneaux routiers sur un même poteau).

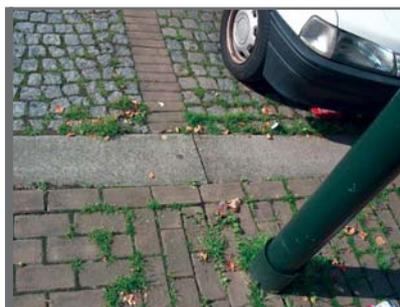


Figure 3.7 Présence d'obstacles
A gauche: zone problématique pour l'apparition des mauvaises herbes autour d'un obstacle
Au milieu: placement d'un support de panneau routier dans une zone verte adjacente
A droite: placement de poteaux avec plusieurs panneaux dans une zone verte adjacente

D'autres solutions peuvent consister à appliquer des éléments préfabriqués d'un seul bloc sous le mobilier urbain ou à d'autres endroits difficiles d'accès tels que garages à vélos et des abribus ou de recourir à un revêtement fermé ou encore, lors du choix du mobilier urbain, de penser à l'entretien futur (par exemple, des obstacles amovibles, des bancs à deux pieds au lieu de quatre ou du mobilier urbain déplaçable).

INCORRECT



CORRECT



Figure 3.8 Éviter un revêtement semi-ouvert sous le mobilier urbain et/ou choisir le mobilier en fonction de l'entretien futur (obstacles amovibles, mobilier déplaçable)



Figure 3.9 Une bonne finition du revêtement routier autour des obstacles combat l'apparition des mauvaises herbes

Afin d'éviter des ouvertures trop nombreuses/trop grandes (et donc laissant de l'espace à l'apparition des mauvaises herbes), la finition du revêtement autour des obstacles doit être très soignée (voir § 3.1.2) et les trous des poteaux doivent être comblés avec des mortiers de jointoiment, du microbéton ou des pièces de réglage (voir figure 3.9). Des grilles autour des arbres et un guide-racines peuvent aider à lutter contre les dégradations engendrées par les racines (d'arbres).

Des aménagements routiers particuliers tels que des îlots directionnels ou des refuges sont souvent difficiles à entretenir et sont donc problématiques pour l'apparition des mauvaises herbes. C'est surtout le cas quand ils sont réalisés en éléments modulaires, l'apparition des mauvaises herbes sur de telles structures peu circulées est rapidement inévitable. Dans de tels cas, il est préférable d'utiliser des revêtements monolithiques en béton (imprimé) ou en asphalte coulé. Si l'on opte malgré tout pour un revêtement modulaire, il est mieux de mettre un jointoiment de nature à repousser les mauvaises herbes (mortier de jointoiment ou autre) (voir § 3.2).



Figure 3.10 Sur certains aménagements routiers avec un revêtement modulaire ou un design spécial pour lesquels on n'a pas utilisé de matériau de jointoiment approprié, la maîtrise des mauvaises herbes pose souvent problème.

3.1.5 Présence d'une bordure ou d'un contrebutage

La présence d'une bordure ou d'un contrebutage aux bords d'un revêtement est toujours nécessaire pour que les pavés soient bien contrebutés et pour lutter contre le lessivage de la couche de pose. Un contrebutage évite le mouvement latéral et la rotation des pavés sous l'effet du trafic et influence fortement la largeur des joints – surtout aux bords du revêtement (voir figure 3.11) – et par conséquent aussi indirectement l'apparition des mauvaises herbes sur la partie centrale du revêtement.

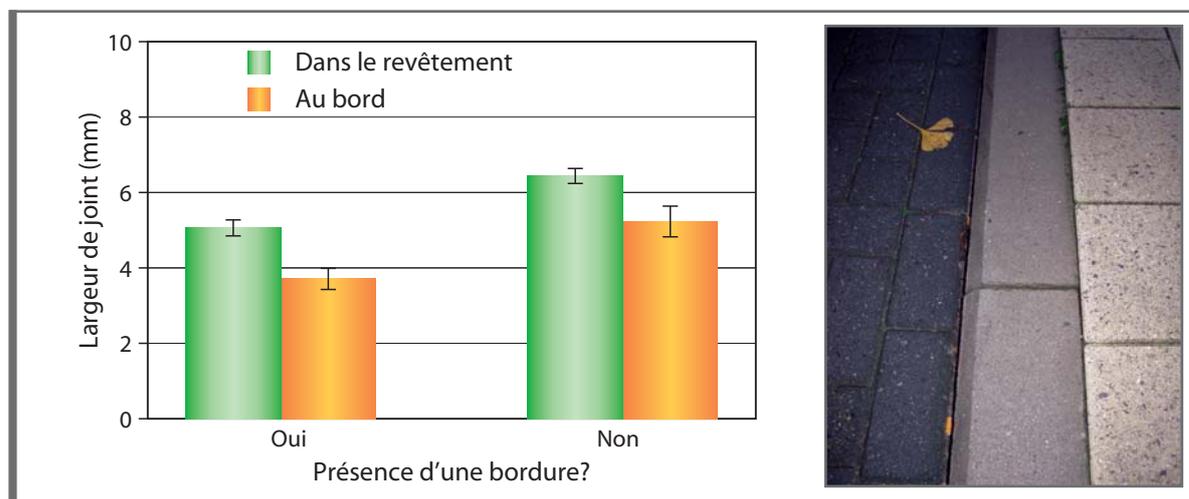


Figure 3.11 Influence d'une bordure sur la largeur de joint d'un revêtement, mesurée au bord et dans la partie centrale. Les données concernent des endroits de la campagne d'inventaire de l'UGent (voir chapitre 2). Les barres d'erreur correspondent à l'erreur type sur la moyenne de l'échantillon de chaque classe.

Un contrebutage (voir figure 3.12) empêche les pavés de glisser, de pivoter ou de se repousser lors de la mise en œuvre (contrebutage provisoire ou bande de trottoir définitive quand une bande de circulation est mise en œuvre) et après la mise en service de la route. Il doit être mis au début, à la fin et sur les côtés du revêtement, et doit être suffisamment consolidé latéralement (fondation et contrebutage en béton maigre). Le type et les dimensions du contrebutage dépendent de la charge de trafic escomptée [9].

Comme déjà mentionné au § 3.1.2, la finition et le raccordement du revêtement modulaire à la bordure ou au contrebutage sont très importants pour une maîtrise préventive des mauvaises herbes.

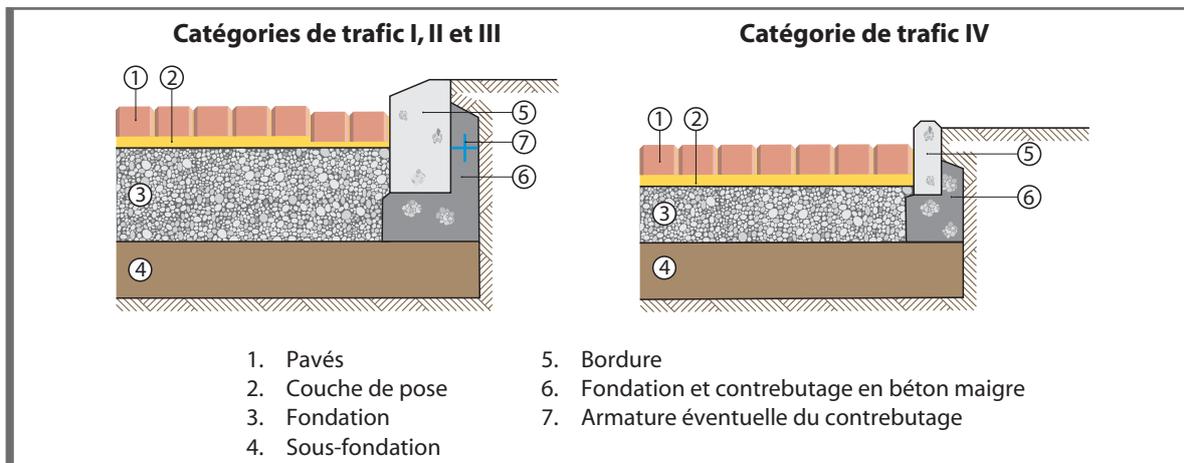


Figure 3.12 Contrebutage en fonction de la catégorie de trafic

3.1.6 Filet d'eau adjacent en éléments modulaires

Une dernière caractéristique importante pour l'apparition des mauvaises herbes est la présence d'un filet d'eau en éléments modulaires à côté du revêtement considéré. En raison de l'accumulation de saletés, d'eau et de matières organiques, ainsi que du pourcentage élevé de joints, de telles constructions sont plus sensibles à l'apparition des mauvaises herbes, qui y est souvent inévitable dans les joints.

Dans de tels cas avec un risque d'apparition de mauvaises herbes élevé (voir chapitre 2), il est recommandé de placer un filet d'eau en éléments de béton préfabriqués plus grands ou en béton coulé sur place et/ou de très bien imperméabiliser les joints avec un produit de jointoiment approprié (étanche et sans retrait) (mortier, mélange hydraulique, résine époxy, etc. – voir § 3.2).



Figure 3.13 En raison de l'eau, de la terre et des matières organiques qui peuvent s'y accumuler, les filets d'eau adjacents en éléments modulaires constituent un milieu idéal pour les mauvaises herbes

Les filets d'eau arrondis sont plus faciles à entretenir alors que quand ils sont verticaux, la saleté s'y accumule plus facilement et cela favorise l'apparition des mauvaises herbes. Là où la chaussée se raccorde au parking adjacent, il est indiqué de placer le filet d'eau entre ladite chaussée et le parking afin de ne pas devoir



Figure 3.14 Filets d'eau préfabriqués en béton et/ou matériau de jointoiment approprié, étanche, pour combattre les mauvaises herbes

déplacer les voitures lors du passage des machines de brossage et de nettoyage et que le filet d'eau soit utilisé de façon plus intensive. Il convient ici de souligner que la mise en place d'avaloirs et de caniveaux doit aussi être considérée dans l'ensemble du régime hydraulique des revêtements (voir § 3.1.7.2). Des pavages drainants peuvent dans de telles situations apporter une solution (voir § 3.3).

3.1.7 Autres aspects importants

Parallèlement aux six caractéristiques de conception précitées, un certain nombre d'autres paramètres peuvent aussi influencer directement ou non l'apparition des mauvaises herbes (de par leur impact sur les aspects de conception ou d'exécution susmentionnés). Ci-après suit une description de la manière dont ils peuvent jouer un rôle préventif.

3.1.7.1 Largeur de joint

La largeur de joint (et le pourcentage de joints y afférent) a en tant que paramètre de conception une influence importante sur l'apparition potentielle des mauvaises herbes sur un revêtement (voir figures 2.9 et 3.22).

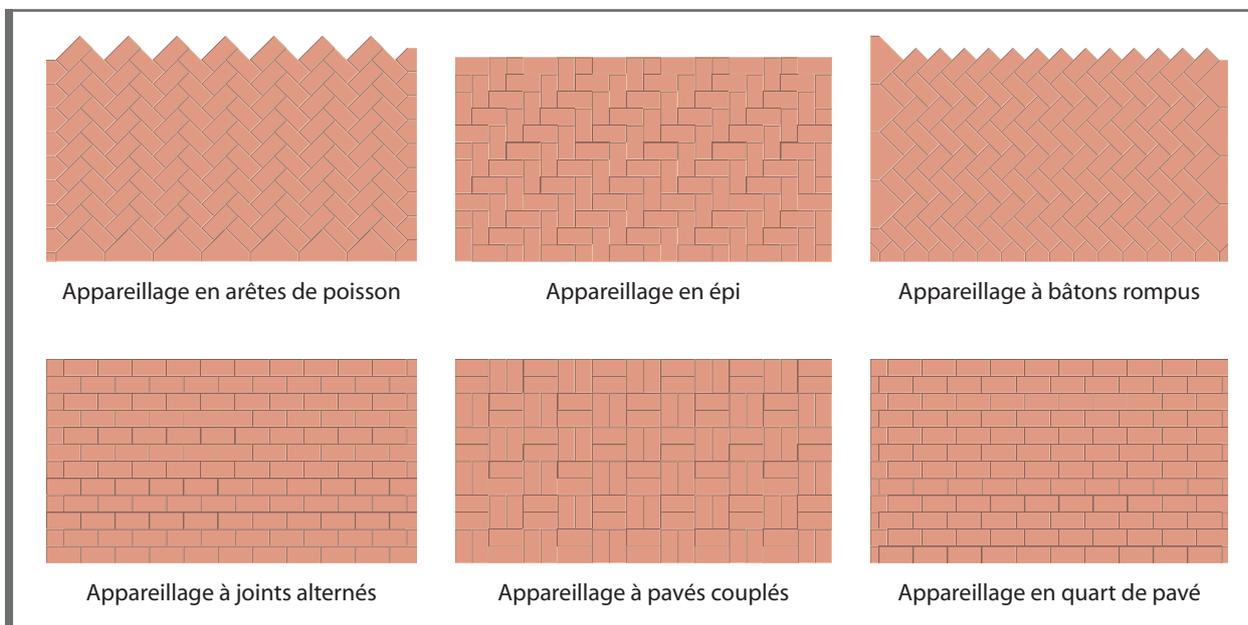


Figure 3.15 Appareillages possibles

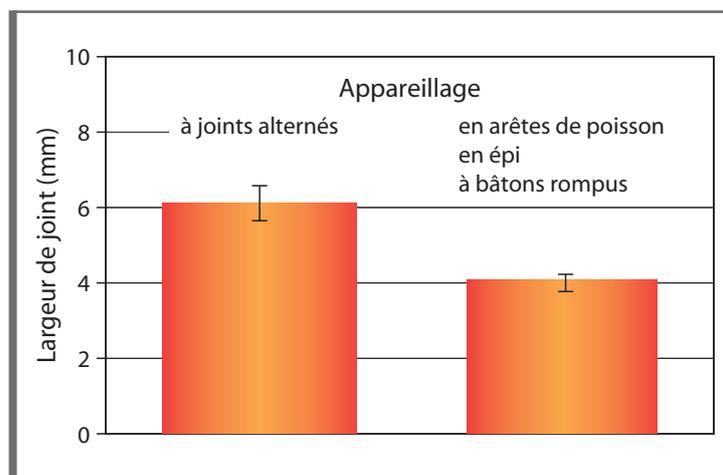


Figure 3.16

Influence de l'appareillage sur la largeur de joint des revêtements dans la pratique. Les données sont relatives à des lieux de la campagne d'inventaire de l'UGent (voir chapitre 2). Les barres d'erreur correspondent à l'erreur type sur la moyenne de l'échantillon de chaque catégorie.

Bien entendu, la spécification de la largeur de joint (et la forme de l'espace ouvert) est étroitement liée au choix du type de pavé (pavé en pierre naturelle, pavé de béton, pavé à joints élargis – voir § 3.2). Il arrive que des aspects esthétiques ou autres (acoustiques, confort pour l'utilisateur) entrent en ligne de compte. En outre, de nombreux autres paramètres de conception et d'exécution, décrits précédemment (contrebutage, stabilité, dimensionnement, finition aux bords et dans les courbes) et l'appareillage ont une influence sur la largeur de joint finale dans le revêtement livré.

Les appareillages en arêtes de poisson, en épi et à bâtons rompus (voir rangée supérieure de la figure 3.15) constituent des revêtements plus solidaires et sont recommandés pour les catégories de trafic I à III avec des charges de trafic plus élevées. L'appareillage à joints alternés, plus simple, est plutôt adapté aux trottoirs et pistes cyclables. Cela s'exprime aussi dans l'influence de l'appareillage sur la largeur de joint d'un revêtement dans la pratique (voir figure 3.16).

Lors de la pose, il est recommandé de vérifier la largeur et la linéarité des joints. La génération actuelle de pavés (de béton) a généralement des faces latérales avec de petits profilages qui dépassent, les écarteurs, pour atteindre et conserver la largeur de joint optimale (2 à 3 mm pour des pavés de béton classiques). Après la mise en service, les joints doivent en outre être contrôlés, remplis ou brossés régulièrement. Le revêtement doit être réparé avec le plus grand soin, certainement aux endroits où des affaissements se sont produits, ou bien où des travaux ont été réalisés (voir § 3.1.3), dans le respect de la largeur de joint d'origine.

3.1.7.2 Evacuation des eaux et drainage

Pour un revêtement (imperméable) classique en pavés, l'eau qui s'infiltre est un ennemi juré en matière de durabilité et de stabilité de la structure. L'accumulation d'eau dans la structure engendre des effets négatifs tels que la perte de portance en cas de saturation de la fondation ou ce que l'on appelle l'effet de pompage dans la couche de pose. En cas de charge de trafic continue, de fines particules de la couche de pose sont éjectées par les joints en même temps que l'eau (voir figure 3.17).

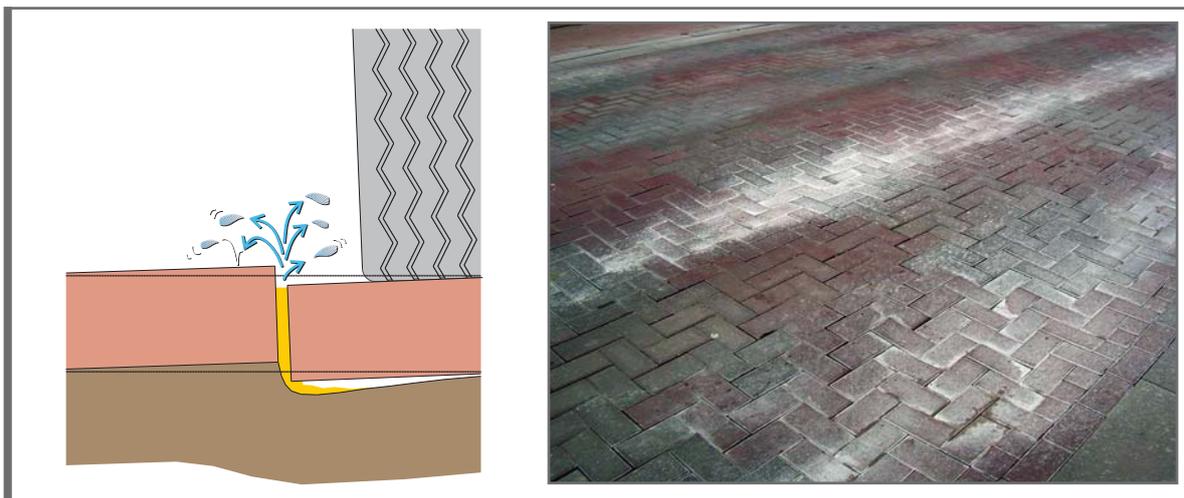


Figure 3.17 Effet de pompage en cas d'accumulation d'eau dans la couche de pose et dégradations qui en découlent

En outre, le matériau de jointoiment fin disparaît des joints. Ce problème se pose d'ailleurs aussi si un mélange de sable-ciment est utilisé comme couche de pose et qu'aucune mesure n'est prise pour évacuer l'eau.

La perte de matériau de la couche de pose et des joints nuit à moyen terme à la stabilité du revêtement, entraînant l'affaissement local de pavés, ainsi que des dégradations à la surface et aux bords en raison du mouvement des pavés. Cela a des conséquences sur le risque d'apparition de mauvaises herbes (voir caractéristique de conception C dans § 3.1.3).

Pour éviter ces impacts négatifs, l'eau doit être évacuée au plus vite (voir figure 3.18):

- en surface (= eau de ruissellement). Il faut prévoir un bon matériau de jointoiment (pour prévenir autant que possible l'infiltration d'eau dans les joints), une pente transversale suffisante (2 à 3 %), et des avaloirs et caniveaux en nombre suffisant et bien implantés;
- dans la structure (= eau d'infiltration). C'est possible en mettant en œuvre une fondation drainante ou en perçant des ouvertures de drainage aux points les plus bas d'une fondation imperméable (en béton

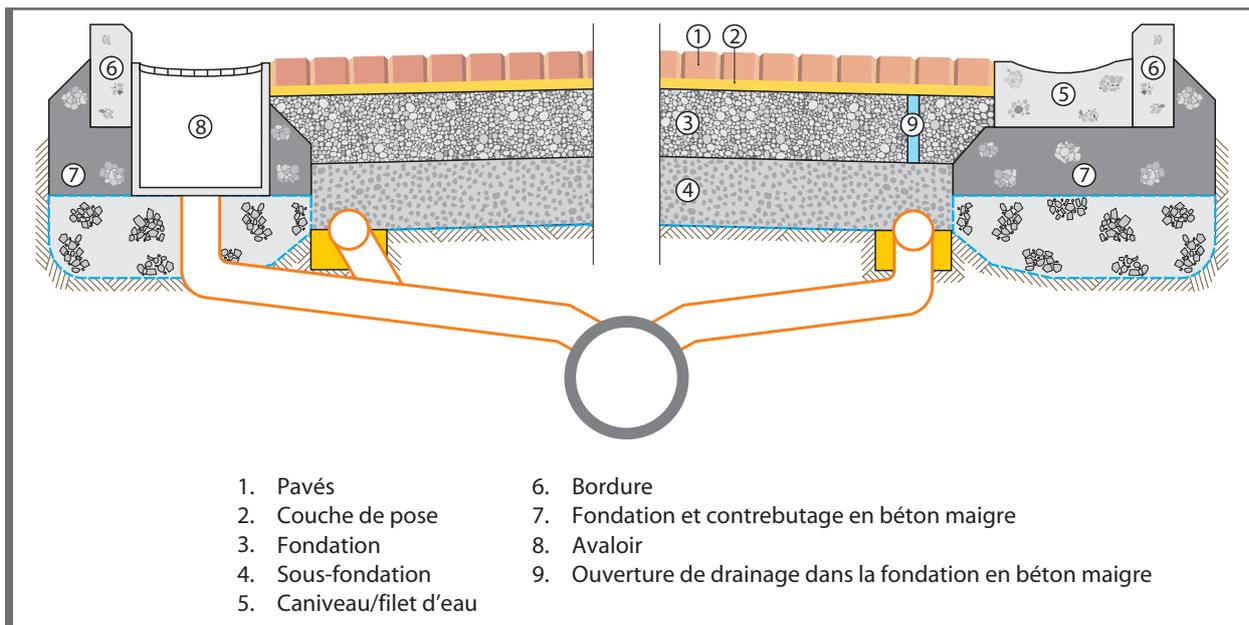


Figure 3.18 Evacuation de l'eau de ruissellement via des avaloirs et caniveaux et de l'eau d'infiltration dans la fondation via des ouvertures de drainage percées et un tuyau

maigre ou en gravillons liés hydrauliquement). Si le sous-sol est peu perméable, un dispositif de drainage supplémentaire peut être prévu.

La sous-fondation fait dans ce cas toujours office de couche de drainage.

Le type de filet d'eau pour l'évacuation de l'eau de ruissellement n'a pas d'importance, mais peut influencer le risque d'apparition de mauvaises herbes sur le revêtement (voir § 3.1.6).

L'application d'une structure tout à fait drainante peut être une autre solution pour la gestion de l'eau. Le § 3.3 approfondit cette application particulière.

3.1.7.3 Prise en compte de la future gestion curative des mauvaises herbes

Cet aspect est étroitement lié à l'implantation d'obstacles (voir § 3.1.4), de bordures (voir § 3.1.5) et de filets d'eau (voir § 3.1.6). Il est déterminant pour un entretien mécanique fluide dans le cadre du désherbage futur. Peu ou pas d'attention à de tels détails structurels dès la phase de conception peut engendrer l'émergence de zones problématiques avec des mauvaises herbes difficiles à gérer (maîtriser) (voir figure 3.19).

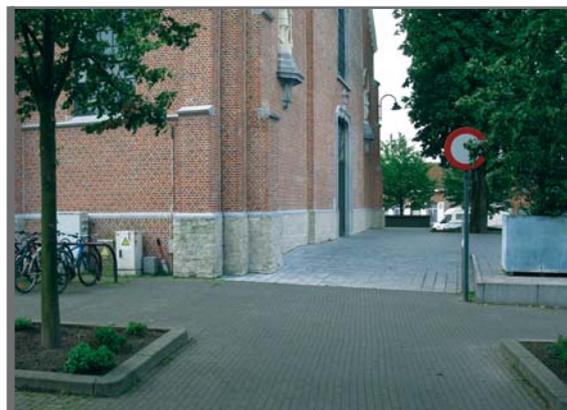


Figure 3.19 Exemple de prise en compte insuffisante de la future gestion (alternative) des mauvaises herbes: zone problématique entre les emplacements de parking et le mur, zone peu utilisée (circulée) et qui, en raison des nombreux obstacles (parking à vélos, armoires électriques, poteaux), sont difficiles à entretenir mécaniquement

Ceci peut être évité en veillant dès la conception au passage aisé des machines pour la gestion curative future des mauvaises herbes (voir chapitre 4). C'est en particulier possible en :

- tenant compte de la largeur de travail des machines. A cet effet, une distance minimale entre les obstacles peut être maintenue, des bandes résiduelles étroites entre des bordures parallèles sont autant que possible évitées, on peut opter pour des obstacles amovibles, etc.;
- créant le moins possible de différences de niveau. Dans cette optique, des transitions fluides entre la chaussée et le trottoir ou la piste cyclable sont prévues, et des caniveaux arrondis et bordures avec angles biseautés (plutôt que droits) sont utilisés. De plus, les filets d'eau sont placés entre la chaussée et le parking. Dans un souci de faciliter l'entretien, le revêtement et la zone verte adjacente sont séparés physiquement l'un de l'autre par une bordure.



Figure 3.20 Attention dans la conception à l'entretien mécanique lors de la gestion future des mauvaises herbes: distance suffisante entre les obstacles, obstacles amovibles, transitions fluides entre la chaussée et le trottoir ou la piste cyclable, bordures aux angles biseautés, filet d'eau entre la chaussée et le parking

3.1.7.4 Combattre la pollution

Comme mentionné au chapitre 2, il existe une forte corrélation entre la pollution organique du revêtement (dans les joints – voir figure 2.5) et l'apparition de mauvaises herbes. Prévenir la contamination du matériau de jointoiment dès la phase de conception peut donc être considéré comme une mesure préventive importante. Il faut notamment éviter les endroits où le vent ne souffle pas (bords et coins surélevés), créer le moins possible de différences de niveau, étancher correctement les espaces ouverts dans les revêtements (par exemple par une finition soignée autour des obstacles et aux bords), choisir les bons filets d'eau, etc. Ces mesures correspondent en grande partie aux caractéristiques de conception susmentionnées.

En outre, un entretien préventif peut y contribuer largement par la suite (ce qui tombe partiellement aussi sous la gestion curative – voir chapitre 4). Il peut alors s'agir d'un balayage régulier, de la coordination d'un balayage ou d'un broissage par rapport à un désherbage curatif pour supprimer la fraction verte, de la coordination de l'entretien vert et l'entretien du revêtement, du rejointoiment du revêtement avec du matériau de jointoiment «propre», etc.

Il s'agit donc de limiter au maximum la pollution du matériau de jointoiment grâce à une conception appropriée et/ou, après la mise en œuvre, d'enlever la pollution le plus vite et le plus régulièrement possible afin de supprimer le substrat propice à l'apparition des mauvaises herbes.

3.2 Choix des matériaux de la structure du revêtement

Après avoir abordé la conception de base, qui est surtout axée sur les exigences fonctionnelles (voir figure 1.2), et les points d'attention dans la conception et l'exécution (voir § 3.1), ce sont ici les choix spécifiques des matériaux pour la structure du revêtement qui sont décrits. Du point de vue de la prévention des mauvaises herbes, un certain nombre de paramètres revêtent une importance capitale pour le choix des éléments suivants:

- le type de pavé;
- la couche de pose;
- le matériau de jointoiment.

Le choix des matériaux de ces trois composants de la structure du revêtement (voir figure 1.1) est aussi étroitement lié. Le choix d'un type de pavé précis influencera par exemple le choix du matériau de jointoiment (largeur de joint). En outre, l'intégralité du concept – *type de pavé, couche de pose et matériau de jointoiment* – sera déterminante pour l'apparition des mauvaises herbes sur le revêtement et il y aura également une interaction avec la pollution environnante. Ci-après, pour chacun de ces trois composants, un certain nombre de caractéristiques et de points importants relatifs à la prévention des mauvaises herbes sont déclinés.

3.2.1 Type de pavé

Le choix des pavés (matériau, format, forme, dimensions) repose surtout sur des considérations esthétiques, les prescriptions des cahiers des charges types et l'expérience du concepteur et/ou du donneur d'ordre. Dans ce cadre, il faut aussi tenir compte des conditions structurelles connexes du projet. Pour un complément d'informations, nous renvoyons au code de bonne pratique CRR R 80/09 sur les pavés de béton et aux normes et prescriptions techniques en vigueur pour d'autres revêtements modulaires (NBN EN 1339 pour les dalles de béton, NBN EN 1344 et la PTV 910 pour les pavés en terre cuite, NBN EN 1341-1342 et PTV 841-842 pour les pavés en pierre naturelle et les dalles de pierre naturelle).

Sur base du **type de matériau** (par exemple béton ou terre cuite), il y a en général peu de différence visible au niveau de l'apparition des mauvaises herbes entre les différents types de pavés avec une largeur de joint comparable (joints fins ou moyens) (voir figure 3.21). Le taux de recouvrement du joint par les mauvaises

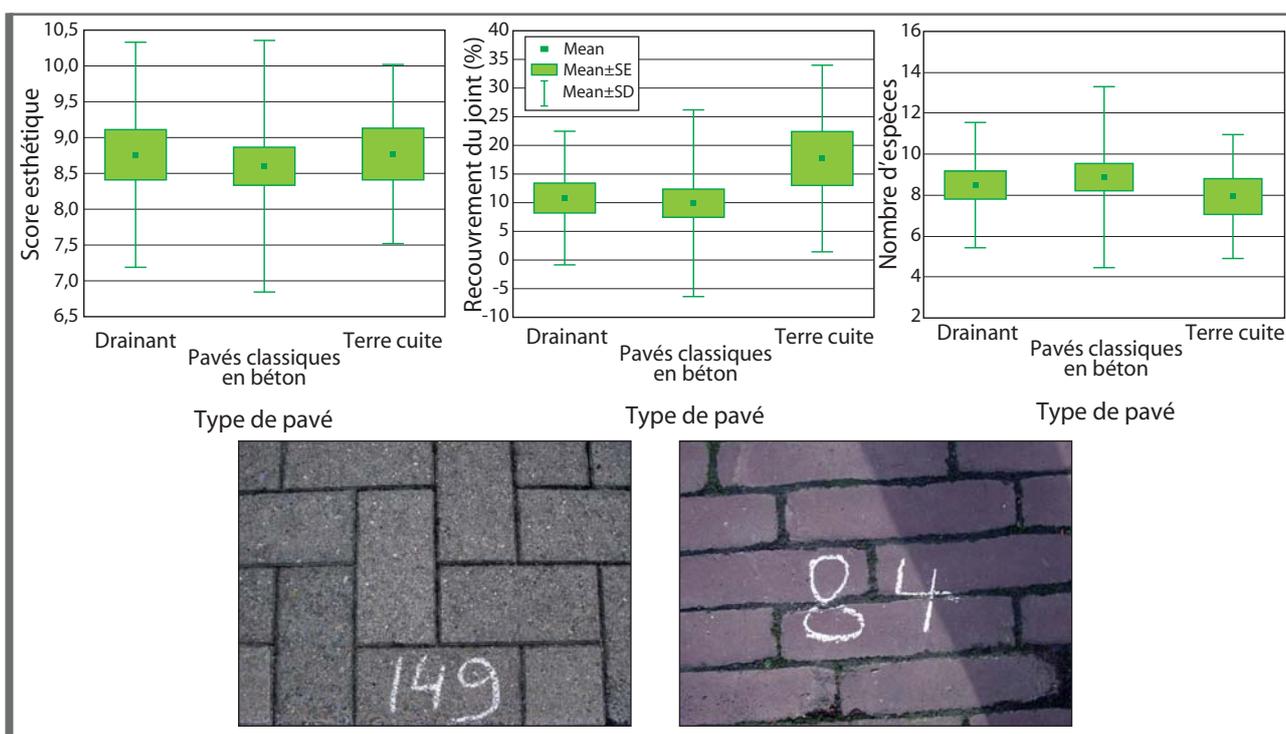


Figure 3.21 Influence du type de matériau (béton, terre cuite) sur l'apparition des mauvaises herbes à largeur de joint comparable (jusqu'à 5 mm)

herbes et le nombre d'espèces de mauvaises herbes pluriannuelles sont un peu plus importants pour les pavés en terre cuite que pour les pavés de béton classiques ou drainants, mais le score esthétique est comparable.

Le **type de pavé** (format, forme, dimensions) détermine toutefois bien la largeur de joint et le pourcentage de joints dans la surface du revêtement. De cette façon, le type de pavé (ainsi que le matériau de jointolement utilisé) peut exercer une influence certaine sur l'apparition des mauvaises herbes (voir figure 3.22).

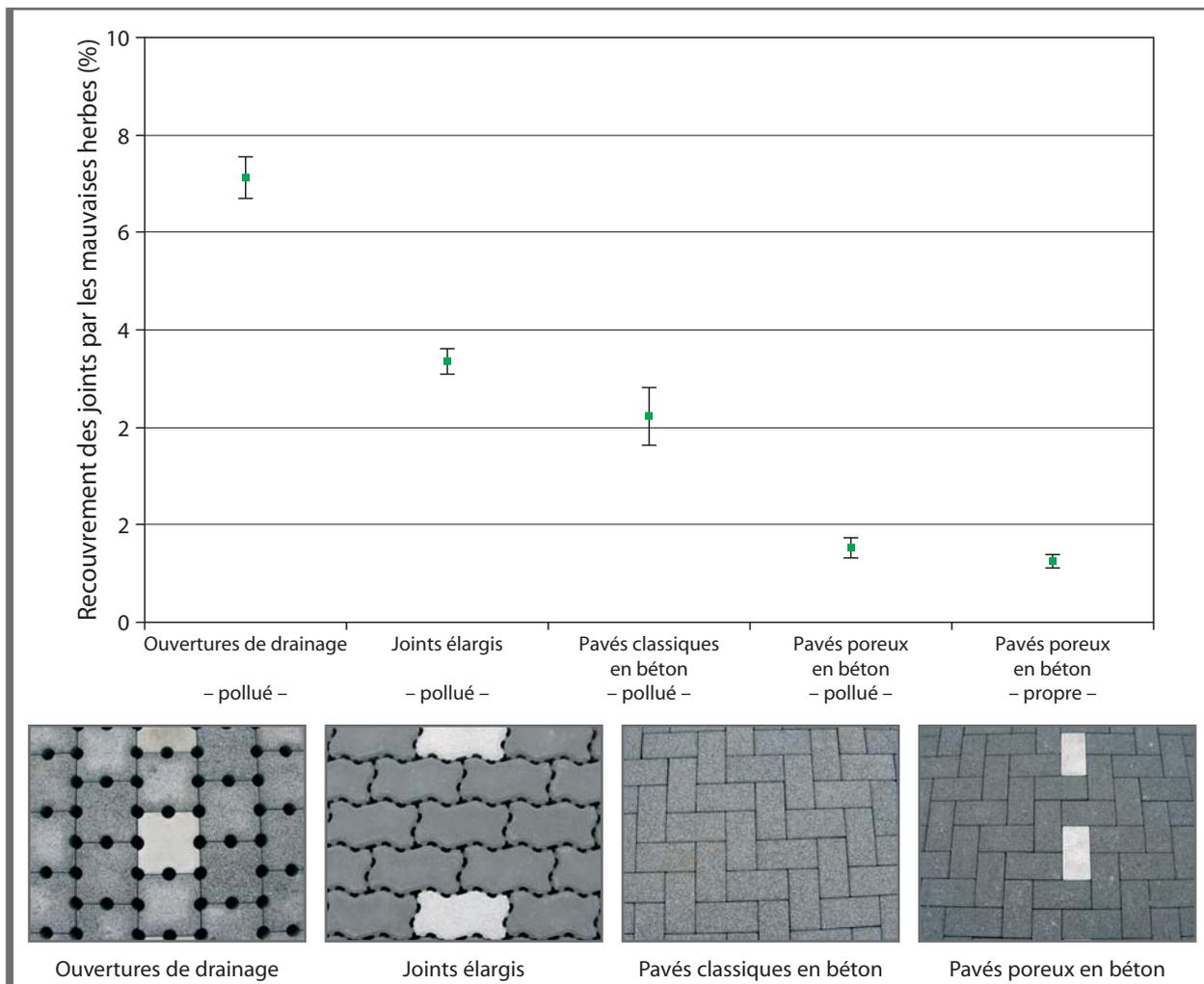


Figure 3.22 Recouvrement des joints par les mauvaises herbes (\pm erreur type) sur le parking expérimental du CRR en fonction du type de pavé (mai 2010)

La figure 3.22 illustre les résultats des mesures effectuées sur les sections expérimentales avec quatre types de pavés (pavés à ouvertures de drainage, pavés à joints élargis, pavés classiques et pavés poreux – voir photos en bas de la figure 3.22) et deux types de matériaux de jointolement appropriés (porphyre 2/6,3 pour les joints larges et grès 0/2 pour les joints étroits) sur le parking du CRR à Sterrebeek. Il convient de noter ici qu'il s'agit d'un scénario catastrophe. Sur le parking, une sélection de mauvaises herbes constituée des plantes les plus fréquentes sur les revêtements modulaires a été semée (voir chapitre 2), avec une partie de pollution organique (10 % en volume de terreau de bouturage séché). Parce qu'il y avait deux fois plus de surface de pavés poreux disponible, deux bandes de ces pavés n'ont pas été polluées. Ainsi, l'influence de la pollution a pu être comparée avec les deux bandes «pures». La figure 3.22 présente la quantité de mauvaises herbes par rapport au type de pavé et/ou au degré de pollution sept mois après l'ensemencement.

Il s'avère que les revêtements avec des pourcentages de joints élevés (pavés à joints élargis avec 15 % de joints et pavés à ouvertures de drainage avec 12,5 % de joints) montrent une quantité de mauvaises herbes plus importante que ceux avec un pourcentage de joints plus faible (pavés classiques avec 7 % de joints et

pavés poreux avec 6 % de joints). Comme pour la largeur de joint, il y a probablement un lien avec l'espace plus important et l'offre plus grande en nutriments et en humidité dont disposent les plantes pour leur croissance. La quantité de mauvaises herbes la plus élevée a été mesurée sur des revêtements à ouvertures de drainage; la plus basse, sur des revêtements avec pavés de béton poreux (environ cinq fois inférieure).

En ce qui concerne les revêtements à faible pourcentage de joints, la quantité de mauvaises herbes pour les pavés poreux était à peine deux fois moins élevée que pour des pavés de béton classiques. Comme démontré au chapitre 2, dans le cas de revêtements avec pavés poreux, la *pollution organique* du joint (avec du terreau de bouturage séché) a engendré deux fois plus de mauvaises herbes. Cela confirme l'importance de la suppression préventive de la matière organique (voir § 3.1.7).

Les pavés poreux présentent un pourcentage élevé de mousses (40 % contre moins d'1,5 % sur d'autres revêtements), ce qui est certainement dû à la porosité importante de la surface. La comparaison de types spécifiques de pavés drainants et d'un pavé classique démontre clairement que l'apparition des mauvaises herbes est en partie déterminée par le type de pavé – avec l'influence cumulative du matériau de jointolement – et peut-être aussi du matériau de la couche de pose. Le choix du type de pavé détermine en effet la largeur et le pourcentage de joints dans la surface du revêtement, et donc aussi le risque d'apparition de mauvaises herbes. Du point de vue de la prévention des mauvaises herbes, cet aspect mérite donc aussi une attention particulière, avec adaptation du type de pavé en fonction du risque de mauvaises herbes in situ et du choix des autres composants (matériau de jointolement et couche de pose).

3.2.2 Couche de pose

La couche de pose est l'un des éléments principaux de la structure routière. Parce que les dégradations apparaissent souvent en premier lieu dans la couche de pose (voir figure 3.17) et du point de vue de la prévention des mauvaises herbes, le choix des matériaux et l'exécution méritent une attention et un soin particuliers.

La couche de pose remplit un rôle double:

- compenser les petites différences dans l'épaisseur de pavés et les petites inégalités dans la fondation;
- bien fixer les pavés (après vibration) et les maintenir en place.



Figure 3.23 Mise en œuvre de la couche de pose

Points d'intérêt et exigences importants pour une exécution correcte de la couche de pose:

- la fondation sur laquelle la couche de pose est mise en œuvre est bien plane;
- après compactage, la couche de pose est épaisse de 30 ± 5 mm;
- le compactage a lieu après la pose des pavés;
- la couche de pose est perméable (sauf en cas d'application de sable-ciment), pour lutter contre une accumulation d'eau dans cette couche;
- une fondation fermée est mise en œuvre, afin d'éviter que les particules fines de la couche de pose ne disparaissent dans la fondation (= stabilité du filtre – voir par exemple figure 3.25).

En outre, des exigences sont posées à la qualité du matériau de la couche de pose, pour lutter contre l'écrasement des grains sous l'influence des charges. Le choix du matériau de la couche de pose dépend de la catégorie de trafic (voir tableau 3.1). La résistance à l'écrasement ou à la fragmentation des granulats (surtout pour les catégories de trafic I et II) et la teneur (très limitée) en particules fines ($< 0,063$ mm) sont des caractéristiques très importantes. En Belgique, on utilise en général des matériaux durs tels que du porphyre, du grès ou du quartz. Pour la classe III, le sable de mer entre aussi en ligne de compte; pour la classe IV tous les types de sables naturels, le sable de calcaire concassé et le sable-ciment. En raison de la perméabilité (très) faible et du risque de «pompage» qui en découle, le sable-ciment n'est autorisé que pour la classe IV.

Catégorie de trafic	Passant au tamis de 0,063 mm	Passant au tamis de 0,500 mm	Granulats	Granulométrie
I	< 4,0 %	< 60 %	Gravillons catégorie Ab ou 3 selon la PTV 411	0/2 + 2/6,3
II	< 4,0 %	< 60 %	Gravillons catégorie Ab ou 3 selon la PTV 411	0/2 + 2/6,3
III	< 4,0 %	< 70 %	Gravillons catégorie Bc ou 4 selon la PTV 411	0/2 + 2/6,3 0/5
IV	< 7,0 %	< 70 %	Tous sables naturels/ empierrement/sable-ciment	

Tableau 3.1 Choix du matériau de la couche de pose en fonction de la catégorie de trafic

En plus des caractéristiques classiques précitées, le matériau de couche de pose peut aussi avoir une influence sur la capacité d'un revêtement à contrecarrer l'apparition des mauvaises herbes. Cette caractéristique concerne principalement l'*ouverture* de la couche de pose en termes de gradation du matériau (2/D = ouvert vs. 0/D = fermé – voir Liste des abréviations, page v). L'étude a démontré que les revêtements avec une couche de pose *ouverte* (par exemple porphyre 2/6,3) avaient en général après un certain laps de temps moins de mauvaises herbes que ceux avec une couche de pose fermée (par exemple calcaire 0/6,3) (voir figure 3.24). C'est plus évident pour des revêtements avec un matériau de jointoiement pollué et des joints plus larges.

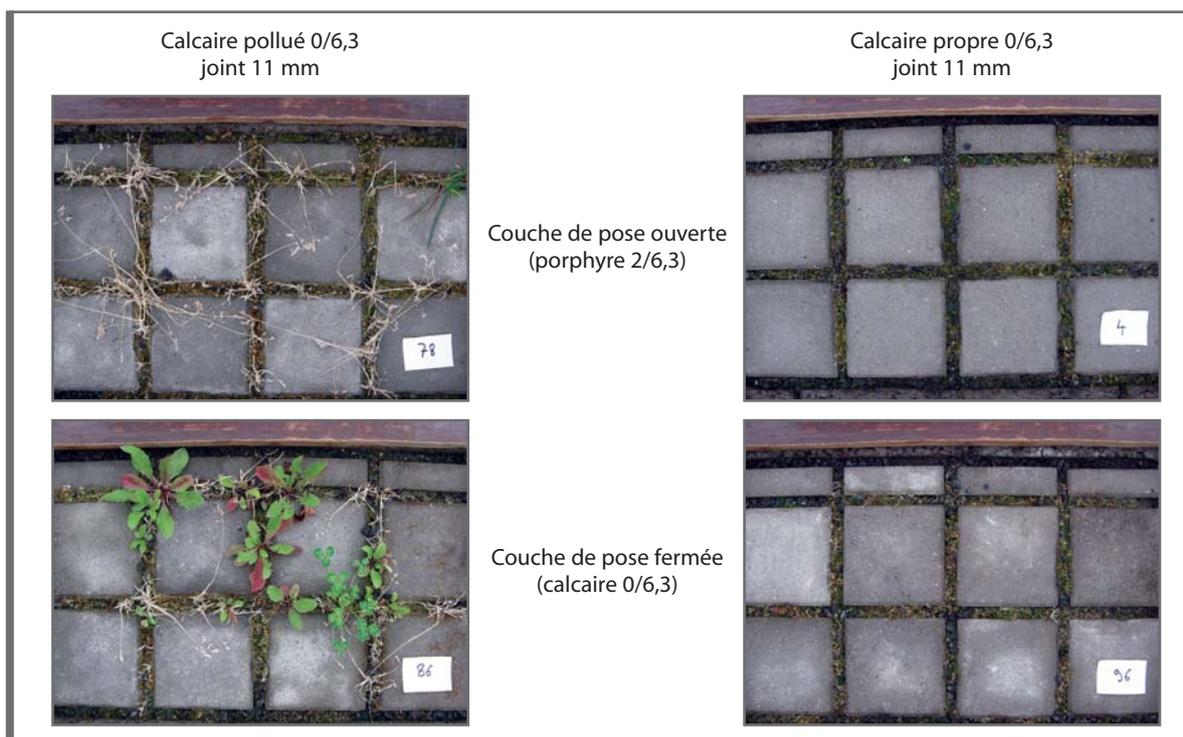


Figure 3.24 Influence du matériau de la couche de pose sur l'apparition des mauvaises herbes

Cela signifie qu'il y a une interaction entre le matériau de la couche de pose et le matériau de jointoiement (voir § 3.2.3) et le degré de pollution. Une **couche de pose ouverte** offre dans tous les cas la meilleure garantie d'une quantité inférieure de mauvaises herbes, alors qu'une couche de pose fermée entraîne souvent une quantité plus importante de mauvaises herbes. Probablement est-ce lié à la quantité plus importante d'eau disponible pour la plante suite à la teneur plus élevée en particules fines (granularité < 0,063 mm) dans une couche de pose fermée.

Si possible, il est préférable d'appliquer une couche de pose plus ouverte et/ou une teneur en particules fines inférieure (par exemple f_3 selon la PTV 411 [15]), afin d'empêcher préventivement l'apparition des mauvaises herbes. Bien sûr, il faut que la *stabilité du filtre* entre les couches successives (fondation, couche de pose, matériau de jointoiment) soit garantie, afin d'empêcher que la couche supérieure plus fine ne disparaisse dans la couche sous-jacente. Les distributions granulométriques doivent être harmonisées pour satisfaire à l'équation suivante (voir figure 3.25):

$$D_{15} \text{ couche inférieure} / D_{85} \text{ couche supérieure} = S_F \leq 5$$

D_{15} = dimension des mailles correspondant à 15 % de passant;
 D_{85} = dimension des mailles correspondant à 85 % de passant.

Eventuellement, un géotextile non tissé peut être placé entre la couche de pose et la fondation comme filtre.

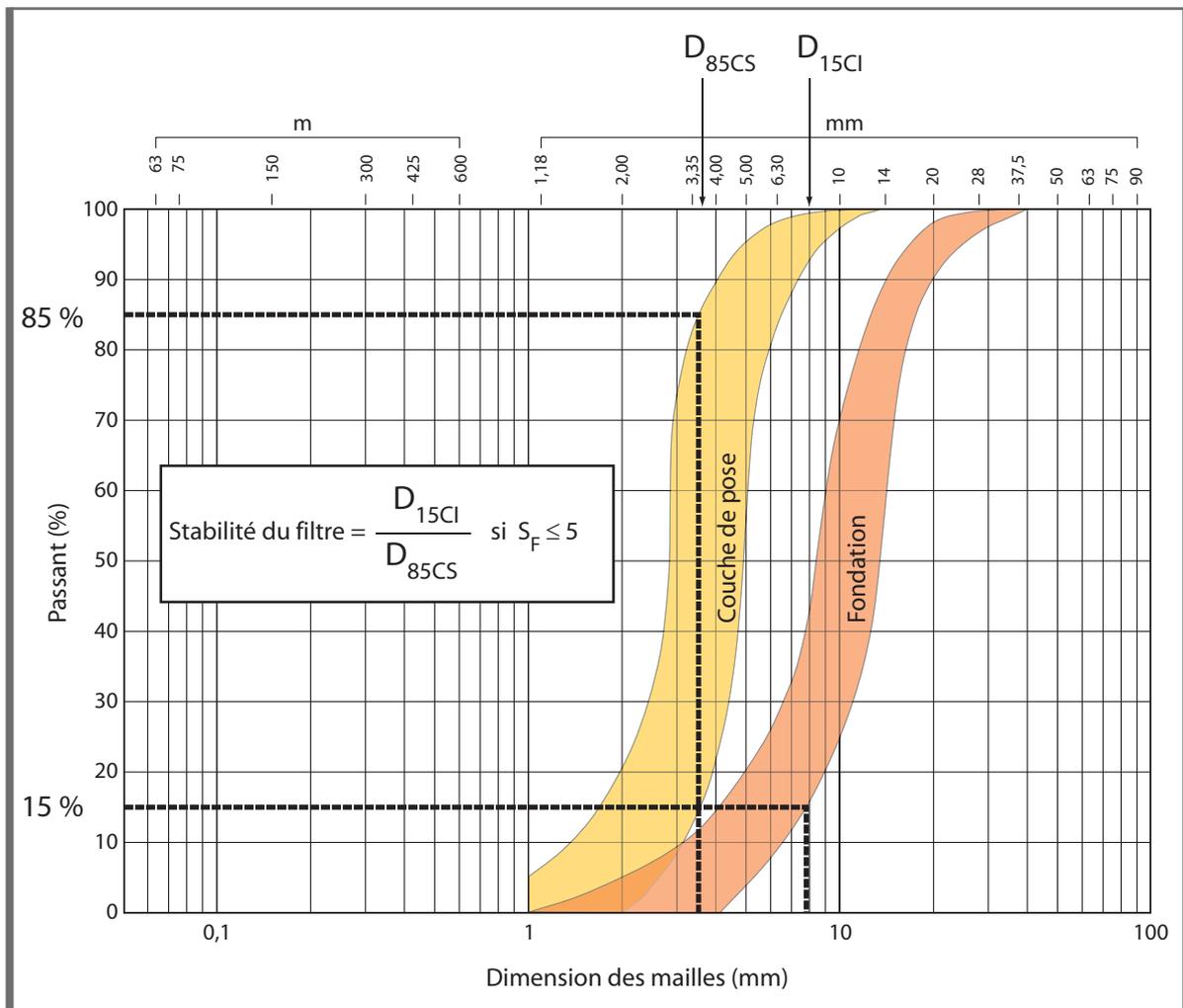


Figure 3.25 Exemple de stabilité du filtre entre la couche de pose (CS - couche supérieure) et la fondation sous-jacente (CI - couche inférieure)

3.2.3 Matériau de jointoiment

Pour pouvoir remplir efficacement le rôle de revêtement, les joints doivent toujours être remplis avec du matériau de jointoiment approprié (voir chapitre 1 et figure 3.26). Comme déjà mentionné précédemment, le choix de ce matériau dépend en grande partie du type de pavé (via la largeur et le pourcentage de joints) et de la couche de pose (compatibilité du filtre – voir figure 3.25). Le matériau doit avant tout satisfaire aux exigences du cahier des charges type en vigueur. Le calibre maximal est de 1 mm pour les joints étroits (< 2 mm) ou de 0,8 fois la largeur de joint, avec un maximum de 8 mm. Pour un matériau de jointoiment non lié (sable, gravillons), on utilise de préférence des granulats anguleux, pour obtenir une meilleure cohésion.

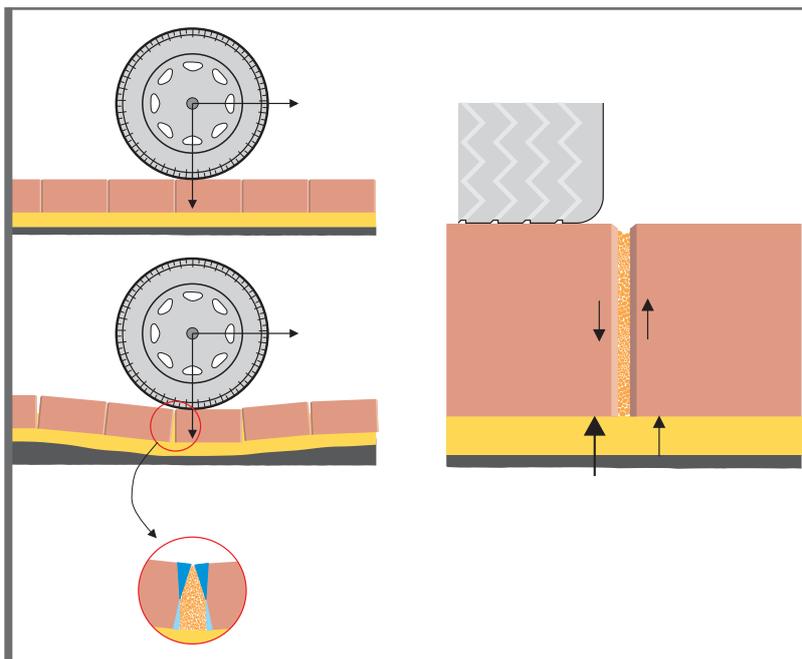


Figure 3.26 Transfert de charge entre les pavés d'un revêtement au moyen de joints totalement remplis. La force qui intervient dans un pavé sous l'action du trafic est partiellement transférée aux pavés adjacents par le biais du matériau de jointoiment.

En outre, l'étude a démontré que la capacité à contrecarrer l'apparition des mauvaises herbes diffère fortement en fonction du type de matériau de jointoiment. On distingue les types de matériaux suivants:

- matériaux classiques non liés (sable et gravillons);
- matériaux innovants, développés spécialement pour combattre l'apparition des mauvaises herbes;
- matériaux liés classiques, en principe imperméables.

3.2.3.1 Matériaux classiques non liés

Par matériaux classiques non liés, on entend les matériaux de jointoiment habituels tels que les sables naturels ou artificiels (sable blanc, sable de mer, sable calcaire concassé ou grès de calibre 0/1 ou 0/2) et les gravillons fins (par exemple porphyre, gravillons calcaires de calibre 0/4-6,3 ou 2/4-6,3).

Pour ces matériaux, les mauvaises herbes poussent davantage quand les joints sont *plus larges et pollués* (voir figure 3.28). On peut rencontrer des joints larges pour des applications spécifiques (pavés à joints élargis ou à ouvertures de drainage) ou suite à des défauts de conception.



Figure 3.27 Matériau de jointoiment classique non lié

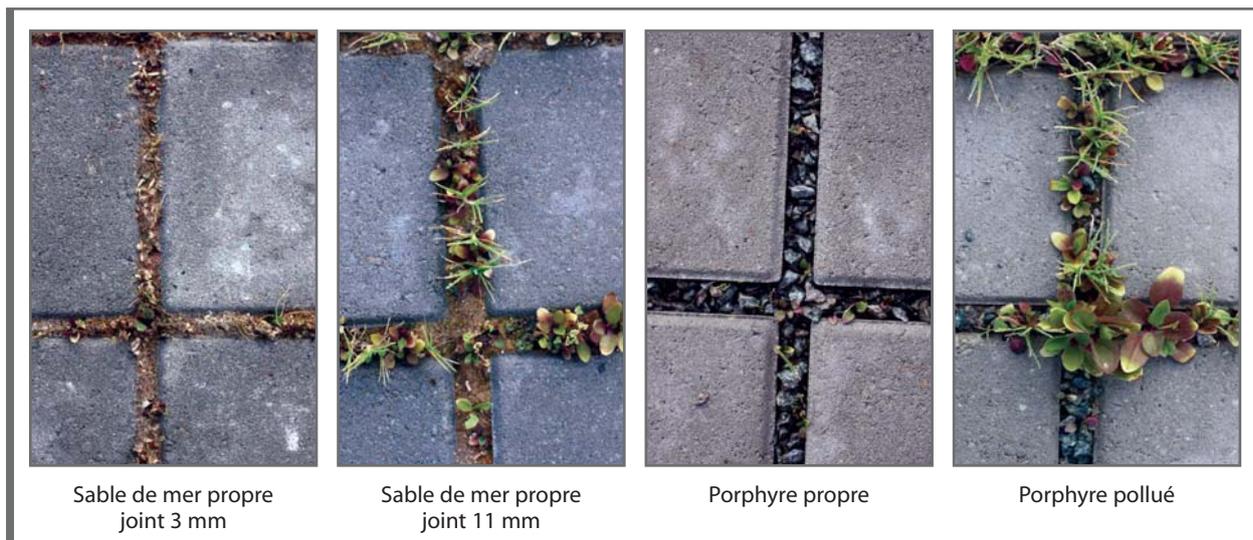


Figure 3.28 Influence de la largeur des joints et de la pollution organique sur la capacité du matériau de jointoiment à contrecarrer l'apparition des mauvaises herbes

Avec des joints larges et des matériaux plus *grossiers* (pollués) (par exemple 0/6,3 et 2/6,3), l'apparition des mauvaises herbes est moins importante qu'avec des matériaux plus fins (0/1 et 0/2), quel que soit le type de matériau. Plus le matériau de jointoiment est grossier, plus la capacité à contrecarrer les mauvaises herbes est grande, en général. C'est probablement lié à la quantité d'eau disponible dans le matériau de jointoiment. Les gravillons grossiers étaient à l'origine uniquement utilisés comme matériau de jointoiment pour des joints plus larges (> 5 mm, par exemple chaussée en pavés de pierre naturelle), où le risque d'apparition de mauvaises herbes augmente fortement. Ils servent maintenant aussi de matériau de jointoiment pour les pavages drainants (voir § 3.3).

Il s'avère que pour le sable aussi (0/2 à 0/4), le plus souvent utilisé pour des joints plus fins (< 5 mm), avec une concentration de grains majoritairement plus grossiers (de 0,2 à 2 mm) et une teneur en particules fines restreinte (< 0,063 mm), une croissance des mauvaises herbes moindre se produit dans la pratique (voir figure 3.29). Le tableau 3.2 donne des directives pour la distribution de la granularité du sable de jointoiment.

Paramètre de granulométrie	Minimum	Recommandation	Code selon PTV 411
Fraction <i>fine</i> (< 0,063 mm)	< 10 %	< 5 %	f_{10} / f_5
Fraction <i>grosse</i> (0,2 à D mm)	> 60 %	> 70 %	–
Module de finesse f_m	> 1,5	> 2,1	MF

Note:

f_{10} et f_5 = fraction particules fines (< 0,063 mm) inférieure à 10 ou 5 %;

MF = Medium Fine = classe spécifique pour module de finesse f_m de sable.

Tableau 3.2 Directives pour les paramètres de granularité du sable de jointoiment dans le cadre de la prévention des mauvaises herbes

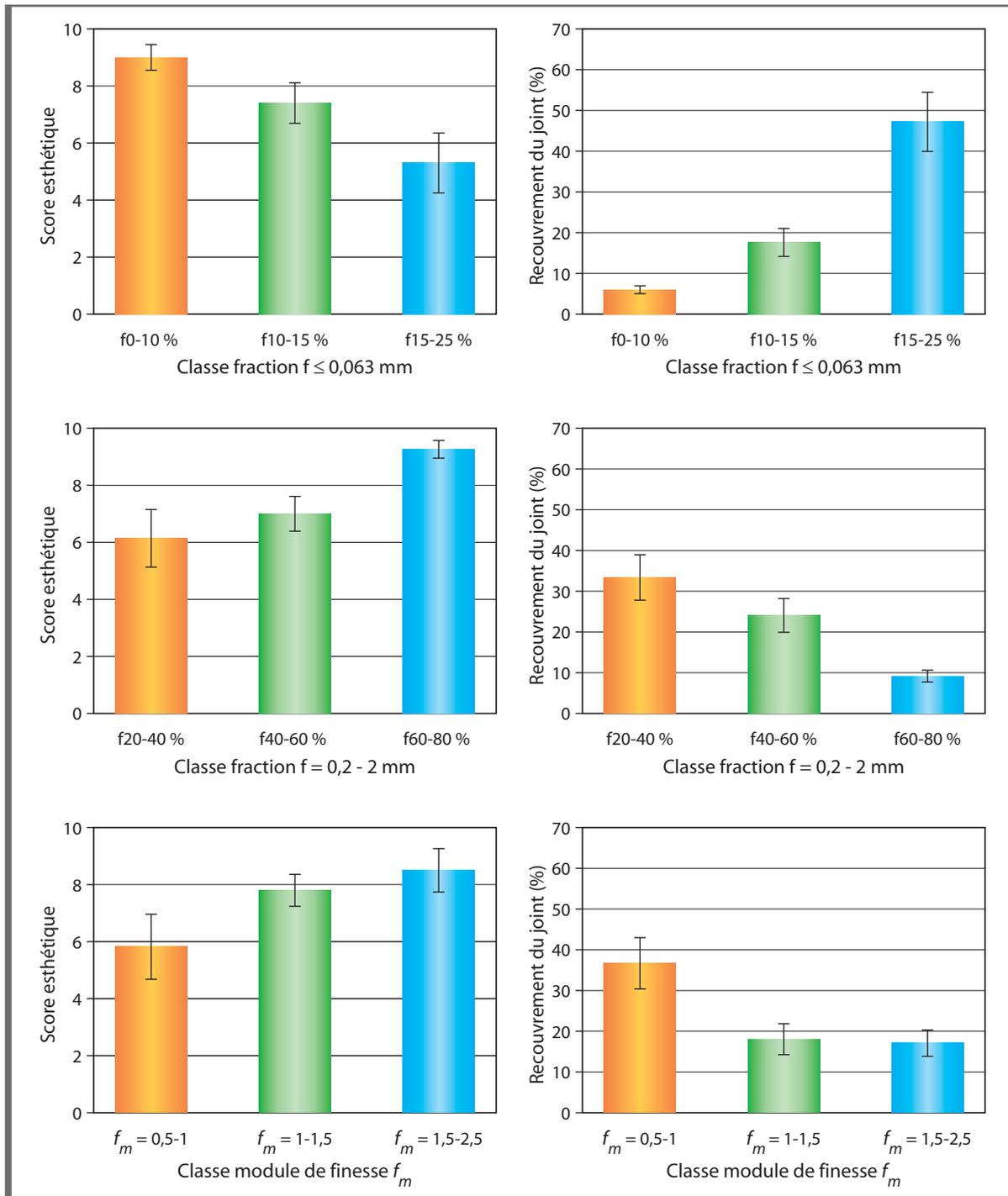


Figure 3.29 Lien entre la distribution granulométrique du matériau de jointoiment in situ et l'apparition des mauvaises herbes.

Les données concernent des lieux de la campagne d'inventaire de l'UGent (voir chapitre 2) dont la largeur de joint > 5 mm. Les barres d'erreur correspondent à l'erreur type sur la moyenne de l'échantillon de chaque classe.

Une répartition plus poussée en classes de granularité peut être opérée sur base de la granularité moyenne μ et de la distribution correspondante σ de la courbe granulométrique:

- classe 1: petites μ et σ ;
- classe 2: petite μ et grande σ ;
- classe 3: grandes μ et σ ;
- classe 4: grande μ et petite σ .

Note:

Les paramètres μ et σ sont calculés avec les formules:

$$\mu = \sum d_i \times r_i \quad \text{et} \quad \sigma^2 = \sum (d_i - \mu)^2 \times r_i$$

$r_i = \text{le refus pour } d_i \text{ (mm)}$

Une répartition arbitraire peut être réalisée sur base des valeurs pour ces paramètres: par exemple $\mu = 0,25$ et $\sigma = 0,98 \times \mu$.

La figure 3.30 donne un exemple des courbes granulométriques caractéristiques pour ces classes. Les matériaux de la classe 4 ($\mu >$ et $\sigma <$) donnent en général de meilleurs résultats en ce qui concerne la prévention de l'apparition des mauvaises herbes.

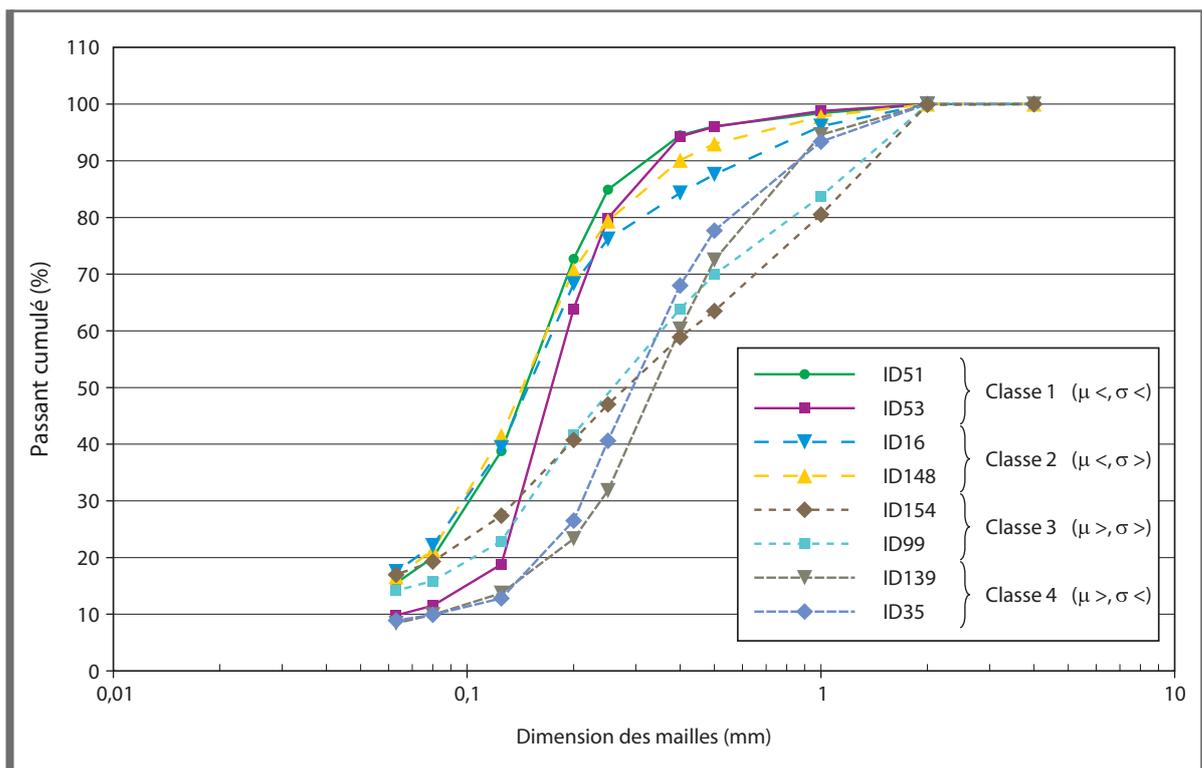


Figure 3.30 Courbes granulométriques caractéristiques pour les classes de jointoiement sur base des paramètres μ et σ . Il s'agit de sable de jointoiement des lieux de la campagne d'inventaire.

La granularité et la forme des grains du matériau de jointoiement sont donc très importants dans la prévention des mauvaises herbes, pour un même type de matériau aussi (porphyre, calcaire). Parmi les types de matériaux, il existe de grandes différences interspécifiques (entre les types de plantes) en réponse de croissance. En outre, la réponse de croissance d'une espèce végétale diffère en fonction du type de matériau de jointoiement (voir figure 3.31). Ainsi, le céraïste commun (*Cerastium vulgare*), l'une des espèces de mauvaises herbes prédominantes sur les revêtements (voir chapitre 2), pousse plutôt bien dans un environnement alcalin tel que le porphyre.

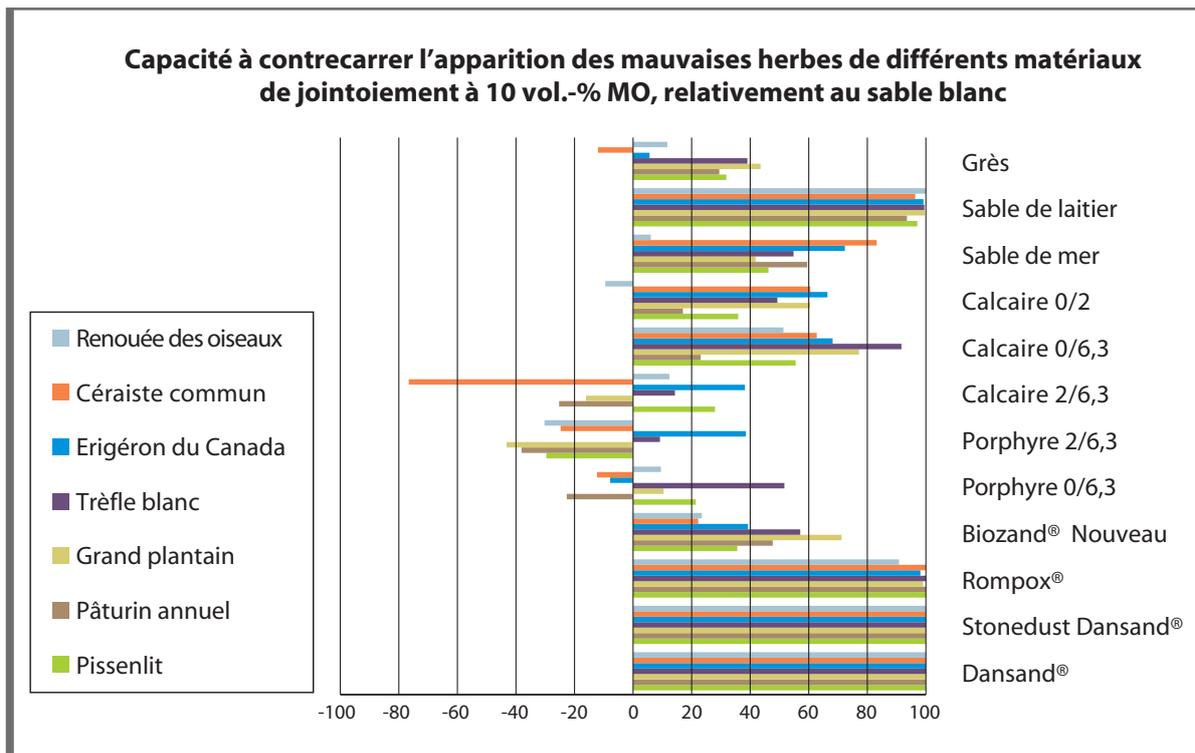


Figure 3.31 Différences intra- et interspécifiques en réponse de croissance en fonction du matériau de jointoiment. La capacité à contrecarrer l'apparition des mauvaises herbes a été déterminée à l'aide d'essais de laboratoire en pot où des matériaux de jointoiment ont été testés à des degrés de pollution croissants (en mélangeant 0, 5, 10, 20, 40, 80 vol.-% de matière organique). La capacité à empêcher l'apparition des mauvaises herbes à 10 vol.-% MO est exprimée comme la diminution de la quantité de biomasse (en %) par rapport au matériau de référence sable blanc (= valeur nulle). Cela signifie qu'à 100 %, aucune mauvaise herbe n'apparaît, en cas de valeur négative, il y a plus de mauvaises herbes qu'avec du sable blanc!

A l'état pur, tous les matériaux de jointoiment (classiques) ont une certaine capacité à freiner l'apparition des mauvaises herbes. Contrairement aux matériaux innovants (voir § 3.2.3.2) cette tendance s'estompe toutefois rapidement à mesure que le degré de pollution augmente (comme cela peut arriver dans la pratique) (voir figure 3.33). L'application de matériaux de jointoiment classiques exige aussi parfois des mesures préventives contre la pollution (voir § 3.1.7.4) et est moins indiquée pour des revêtements où le risque d'apparition de mauvaises herbes est élevé.

3.2.3.2 Matériaux innovants

Les matériaux innovants sont spécialement conçus pour combattre l'apparition des mauvaises herbes. Il peut s'agir de:

- sable spécifique:
 - enrichi en sel (par exemple avec du silicate de sodium): Dansand®, Biozand®, etc.;
 - lié aux polymères (la plupart du temps résine époxy mono ou bicomposant): Rompox®, Jointex®, Nevergreen®, etc.;
 - lié avec matériaux alternatifs (dispersion aqueuse, colles organiques): Seal-all Joint®, Envirobond®, Eco-Fugensand®, etc.;

et/ou

- matériaux expérimentaux comme le sable de laitier.



Figure 3.32 Exemples de matériaux de jointoiment innovants freinant l'apparition des mauvaises herbes

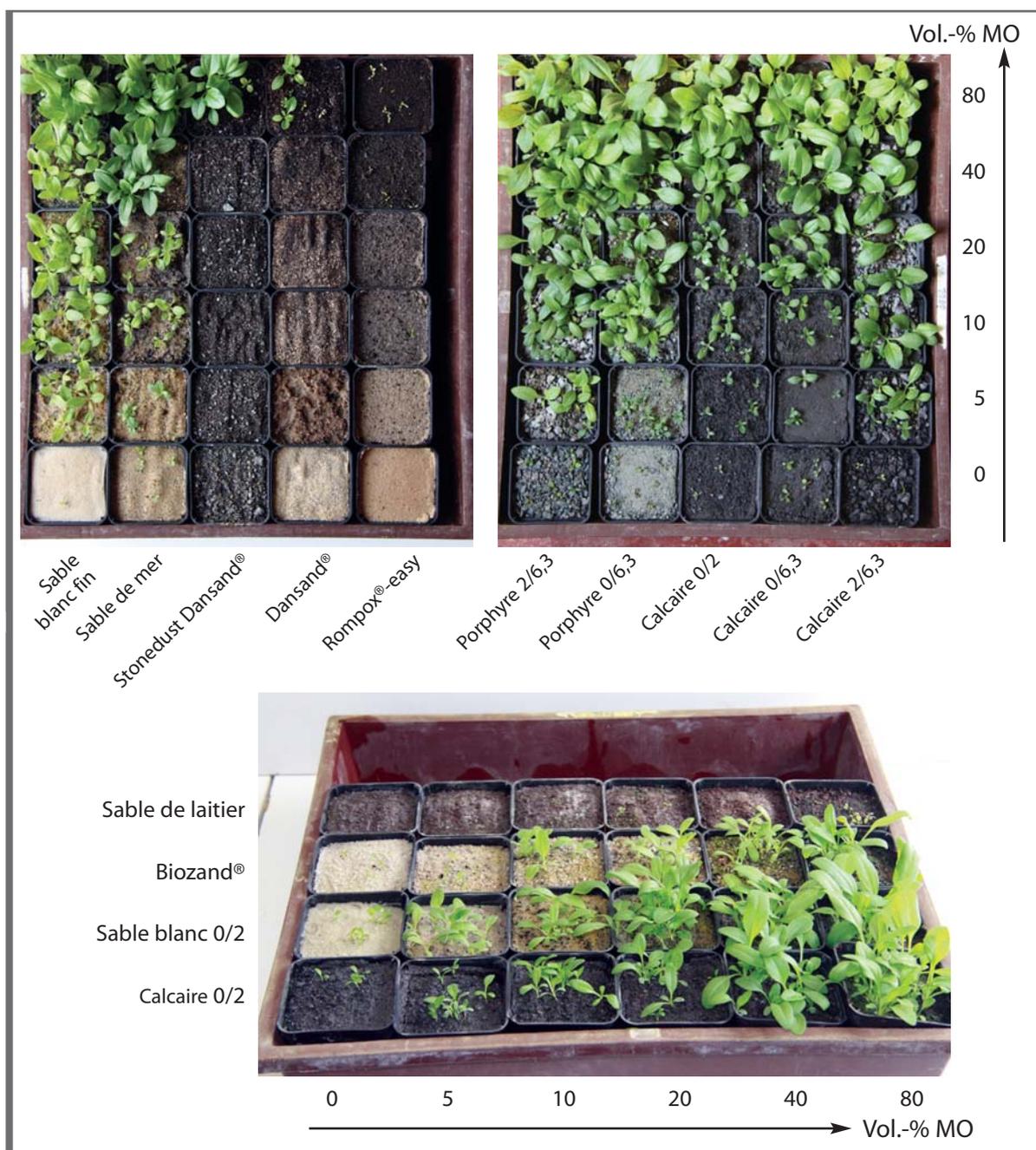


Figure 3.33 Réponse de croissance en fonction du degré de pollution (vol.-% MO) pour le grand plantain (*Plantago major*) dans différents matériaux de jointoiment, testée à l'essai en pots. Les matériaux classiques sont le sable blanc fin, le sable de mer, le porphyre et le calcaire. Les matériaux innovants sont Dansand®, Rompox-Easy®, le sable de laitier et Biozand®.

Le fonctionnement de ces matériaux repose souvent sur la composition chimique (valeur pH extrêmement élevée ou basse, teneur élevée en sel, teneur ultrabasse en macroéléments, déséquilibre minéral, etc.) et/ou sur les caractéristiques granulaires (déterminantes pour la quantité d'humidité disponible) du matériau de jointoiment et/ou la perméabilité à l'eau et à l'air. Toutefois, des détails précis sur la composition et les substances actives font en général défaut.

En général, ces matériaux fonctionnent très bien et sont capables de réduire considérablement l'apparition des mauvaises herbes, quel que soit le degré de pollution (voir figure 3.33). Lors du choix, il ne faut pas perdre de vue que tous les matériaux n'ont pas les mêmes performances (voir comparaison entre Dansand® et Biozand® à la figure 3.33). La capacité à contrecarrer l'apparition des mauvaises herbes peut en outre diminuer avec le temps en raison de fissures de pression, de fissures de gel (en fonction de la résistance gel-dégel des matériaux liés au polymère), de la lixiviation des composants «actifs» chargés d'empêcher l'apparition des mauvaises herbes, etc. En outre, la lixiviation des sels (par exemple les silicates de sodium)

Matériau	CE éluat ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH eau	Ca ($\mu\text{g}/\text{l}$)	K ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Mg ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Na ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Si ($\mu\text{g}/\text{l}$)
Dansand®	2 700	11,4	440	390	< 100	480 000	130 000
Stonedust Dansand®	1 400	10,4	1 700	2 600	< 100	280 000	58 000
Sable blanc	12	7,8	1 250	230	< 100	360	2 150
Calcaire 0/2	205	7,8	26 000	2 250	3 900	2 900	920
Biozand® nouveau 0/2	120	8,1	390	160	< 100	26 000	15 000
Grès 0/2	160	7,8	20 000	4 600	3 400	140	770
Sable de laitier 0/2	7 100	12,5	620 000	5 600	< 10	18 000	< 100
Conc. Eaux souterraines (VLAREM II, 2010)	1 600	5-8,5	270 000	12 000	50 000	150 000	
Conc. Eau potable (Normes Rég. fl. 2002)	2 100	6,5-9,2	270 000	–	50 000	200 000	–

CE = conductivité électrique

Tableau 3.3 Valeurs caractéristiques pour la lixiviation des sels de quelques matériaux de jointolement selon le CMA/2/II/A.9.5 (16) du Compendium pour l'échantillonnage, la mesure et l'analyse dans le cadre de la protection du sol du Gouvernement flamand

et/ou des métaux lourds (par exemple sable de laitier) doit être étudiée, pour éviter les impacts néfastes sur la végétation voisine ou l'environnement.

Il convient ici de souligner qu'aucune norme (par exemple valeurs maximales) pour la lixiviation des sels (sels contenant du Na, Ca, K, Mg ou Si) n'existe pour l'utilisation en tant que matériau de construction. A titre indicatif, les concentrations dans le lixiviat sont comparées aux valeurs de consigne (voir tableau 3.3) pour les eaux souterraines (VLAREM II, 2010) et/ou l'eau potable (Normes Région flamande, 2002). Pour les métaux lourds, un certain nombre de normes pour l'utilisation des déchets (par exemple, le sable de laitier) en tant que matériaux de construction non encapsulés (par exemple comme matériau de jointolement)⁽²⁾ ont été fixées à l'annexe 4.2.2 A et B du *Vlaams Reglement concernant l'Afvalvoorkoming en -beheer* (VLAREA). De tels produits doivent toujours être utilisés avec toute l'expertise et les précautions nécessaires (notamment en raison du risque d'exposition pour celui qui les utilise). En outre, certains matériaux peuvent engendrer des effets secondaires indésirables tels que l'efflorescence et la formation de croûtes.

Contrairement aux mortiers de jointolement liés classiques (voir § 3.2.3.3), qui créent un joint étanche (à l'eau et à l'air) et fixe, les matériaux liés à la résine sont dans une plus ou moins grande mesure perméables (à l'eau et à l'air). Ces derniers matériaux peuvent donc aussi être utilisés pour certains types de pavages drainants (voir § 3.3). Toutefois, la limite est parfois très vague, parce que la perméabilité va de pair avec l'étanchéité du mortier. Plus l'étanchéité est élevée, plus la perméabilité est faible, mais plus la charge de trafic autorisée est élevée et la résistance aux balayeuses-brosseuses aussi par exemple. Pour les matériaux avec une densité supérieure, la capacité à empêcher les mauvaises herbes est (plutôt) une conséquence du joint scellé.

Le coût des matériaux de jointolement (liés ou non) innovants, empêchant ou freinant l'apparition des mauvaises herbes est en général relativement élevé (voir figure 3.34). Leur utilisation reste provisoirement réservée aux endroits où le risque d'apparition de mauvaises herbes est élevé (joints larges > 5 mm, environnement pollué, endroits inaccessibles) et/ou avec une faible tolérance esthétique aux mauvaises herbes (qualité visuelle élevée – voir chapitre 2). Souvent, les résines époxy ne sont pas utilisées sur toute la

(2) En général, le sable de laitier testé au cours de l'étude satisfait à toutes les exigences de lixiviation des métaux lourds et possède les qualités environnementales nécessaires pour être utilisé comme matériau de jointolement.

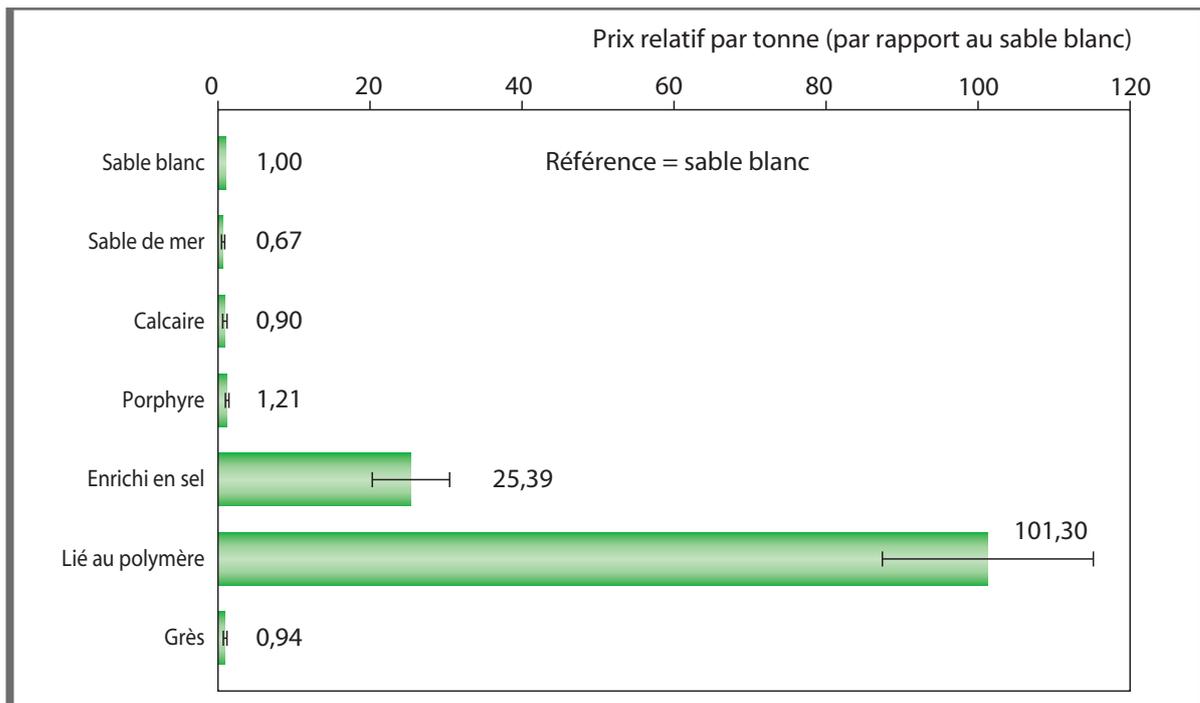


Figure 3.34

Comparaison de prix à titre indicatif (prix relatif par rapport au prix par tonne pour le sable blanc en 2010) de différents matériaux de jointoiment, sur base de demandes effectuées auprès de fournisseurs.

Attention: les prix par tonne ne sont pas des prix au m² et sont fortement influencés par des circonstances locales et sujets à des fluctuations! Pour une largeur de joint de 3 mm, une profondeur de joint de 5 cm et des pavés de 20 x 10 cm, les valeurs caractéristiques de consommation sont estimées à par exemple 2,8 à 3,8 kg/m² pour des matériaux liés à la résine époxy, 3 à 4 kg/m² pour du sable fin (sable blanc, sable de mer, grès), 4 kg/m² pour du porphyre et du calcaire et 3,9 kg/m² pour Dansand®.

profondeur du pavé. Lors de l'application pratique de ces matériaux, il convient aussi de tenir compte du comportement en service.

3.2.3.3 Matériaux classiques liés

Les matériaux classiques liés (au ciment ou à la chaux) sont les mortiers de jointoiment et les mortiers modifiés (avec polymères ajoutés pour une meilleure adhésivité et adhérence) permettant de créer un joint étanche à l'eau et à l'air. Les mauvaises herbes germinantes ne peuvent donc pas, ou très difficilement en tout cas, se nicher dans les joints durcis.

Ces matériaux de jointoiment «fermés» sont (la plupart du temps) uniquement appliqués pour des joints plus larges (8 à 10 mm), par exemple de pavages en pierres naturelles et/ou pour l'étanchéisation de plus grandes ouvertures autour d'obstacles et de filets d'eau, sur des îlots directionnels, etc. (voir § 3.1). Des points d'attention importants pour ces matériaux sont la déformation due au retrait et la résistance gel-dégel. Le liant rend ces matériaux plus chers que les matériaux non liés. C'est pourquoi leur application est réservée aux endroits où le risque d'apparition de mauvaises herbes est élevé et/ou aux cas où aucune perméabilité n'est exigée ou, justement, où une étanchéité à l'eau est exigée.



Figure 3.35 Exemple de revêtement rejointoyé avec du mortier modifié

En règle générale, il ne faut jamais perdre de vue l'interaction entre la couche de pose, le matériau de jointoiment et/ou la pollution et l'ensemble de la structure (en ce compris le type de pavé) lors du choix du matériau de jointoiment (qu'il s'agisse de matériaux classiques, innovants ou de matériaux liés). Le risque

d'apparition de mauvaises herbes ne peut pas être prédit sur la seule base de l'aptitude du matériau de jointolement utilisé à contrecarrer l'apparition des mauvaises herbes.

Parallèlement, il faut aussi prendre en compte les facteurs ci-après:

- la charge de trafic autorisée (par exemple, à quelle catégorie de trafic le matériau convient-il?);
- la perméabilité du matériau (par exemple, application pour pavages drainants?);
- la largeur et la profondeur de joint pour l'application considérée (en fonction du type de pavé);
- la consommation caractéristique en kg/m^2 (détermine entre autres le prix de revient);
- la résistance gel-dégel (en fonction du domaine d'application);
- les possibilités d'entretien (par exemple, résistance aux balayeuses-brosseuses) en gardant à l'esprit le désherbage futur (voir chapitre 4).

3.3 Exigences spécifiques pour les pavages drainants

En comparaison avec un revêtement classique, le choix de pavages drainants n'aboutit pas nécessairement à plus ou moins de mauvaises herbes. Des mesures de score esthétique et de recouvrement de joint tant sur des revêtements classiques que sur des pavés drainants (principalement poreux) montrent qu'il n'y a pas de lien évident entre la perméabilité de la surface et l'apparition des mauvaises herbes sur le revêtement.

Même à un score esthétique inférieur, la perméabilité est maintenue dans le temps (cinq à dix ans). Il n'y a donc aucune raison d'exclure les pavages drainants, à condition de tenir compte dès le début d'un certain nombre d'exigences de conception et d'exécution spécifiques. Les principaux points d'attention et en particulier les composants susceptibles d'influencer l'apparition des mauvaises herbes (voir §§ 3.1 et 3.2), sont décrits ci-après. Pour un complément d'informations, nous renvoyons au *Dossier 5* en annexe au Bulletin CRR 77 (2008) [10] et aux Prescriptions techniques PTV 827 pour l'ensemble du système des pavages drainants [17].

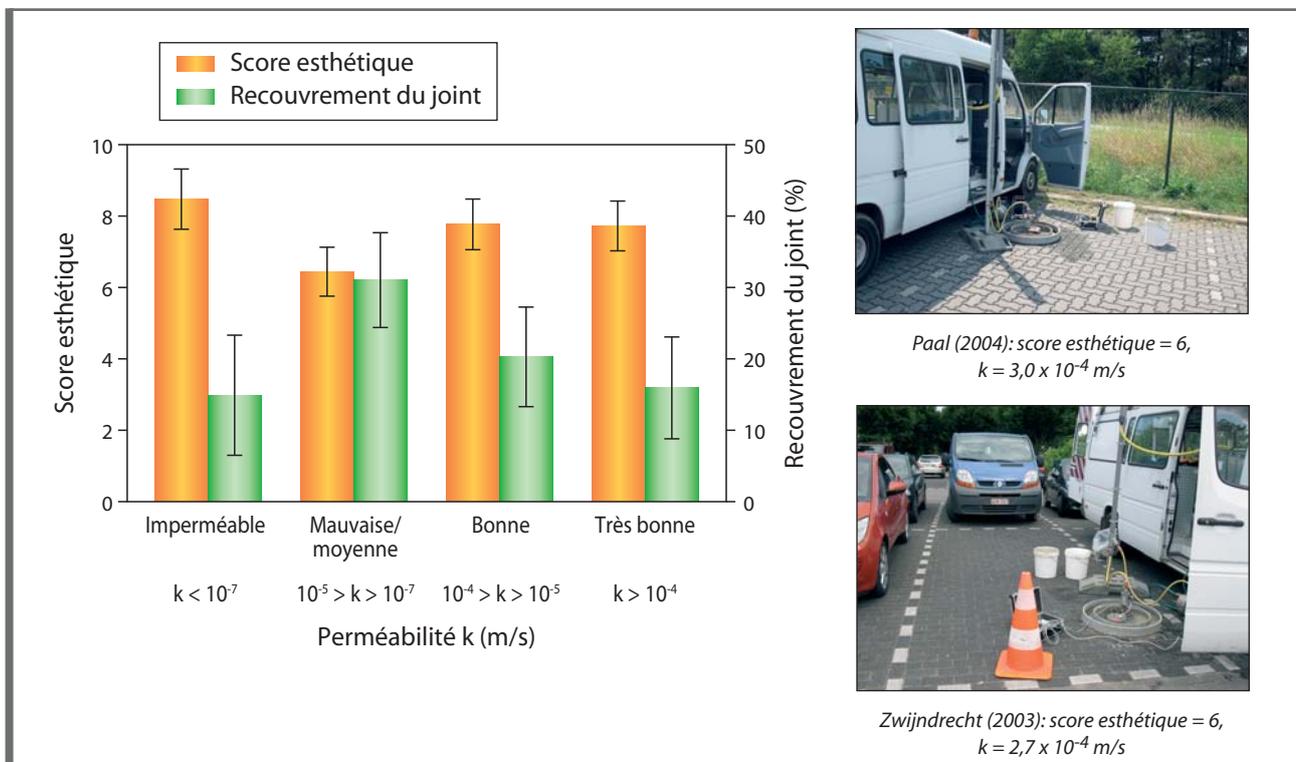


Figure 3.36 Perméabilité (k) et apparition des mauvaises herbes (mesures de 2009)

3.3.1 Conception et dimensionnement des pavages drainants

La figure 3.37 illustre le principe de fonctionnement des pavages drainants.

- Le *pavage* (1) (pavés ou joints) et la *couche de pose* (2) sont suffisamment perméables pour capter l'eau de ruissellement et l'évacuer aussi vite que possible vers les couches inférieures.
- Outre la portance en service comme pour les revêtements classiques, la *fondation* (3) est aussi responsable de l'évacuation des eaux dans la sous-fondation ou le sous-sol. Lors du stockage de l'eau, il convient d'éviter autant que possible la saturation en eau pour lutter contre la perte de portance.
- Le stockage des eaux de pluie en soi se fait en dessous, dans la structure, en réalité dans la *sous-fondation* (4) (surtout pour un sol peu perméable).
- Les eaux de pluie sont de préférence évacuées par infiltration dans le *sous-sol* (5) (en fonction de la perméabilité), ou par évacuation différée via un dispositif de drainage vers un bassin d'infiltration ou un fossé proche. Ce qui importe ici, c'est de stocker l'eau dans la structure et d'en ralentir suffisamment l'évacuation à l'aide d'un *réducteur de débit* (7) pour éviter une surcharge en aval.

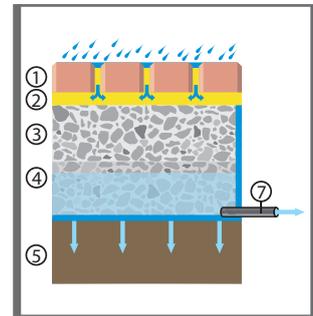


Figure 3.37
Principe de fonctionnement des pavages drainants

Lors de la conception et du dimensionnement, il faut prendre en compte les mêmes aspects que pour les revêtements classiques comme un bon compactage des matériaux et une bonne qualité des granulats. En raison de l'éventuelle perte de portance pendant le stockage de l'eau dans la structure, les pavages drainants conviennent uniquement pour les catégories de trafic II, III et IV (voir tableau 1.1 et figure 3.39), c'est-à-dire pour des applications avec passage de maximum une centaine de véhicules lourds par jour.

Le critère pour la perméabilité est le stockage et l'infiltration (et/ou l'évacuation ralentie) d'une averse statistique intense de dix minutes avec une quantité de précipitations de 16 mm qui se produit une fois en trente ans en Belgique [17], ce qui donne un coefficient de perméabilité de 270 l/s/ha et, compte tenu d'un facteur de sécurité 2 (en raison de l'air potentiellement occlus et d'une diminution dans le temps) une perméabilité minimale k de $5,4 \times 10^{-5}$ m/s. A la réception, la perméabilité de l'ensemble (pavés, couche de pose, fondation et sous-fondation) doit au moins être égale à cette exigence de conception.

En fonction de la perméabilité du sous-sol, il faut éventuellement prévoir un dispositif de drainage supplémentaire dans le bas de la structure (voir figure 3.38).

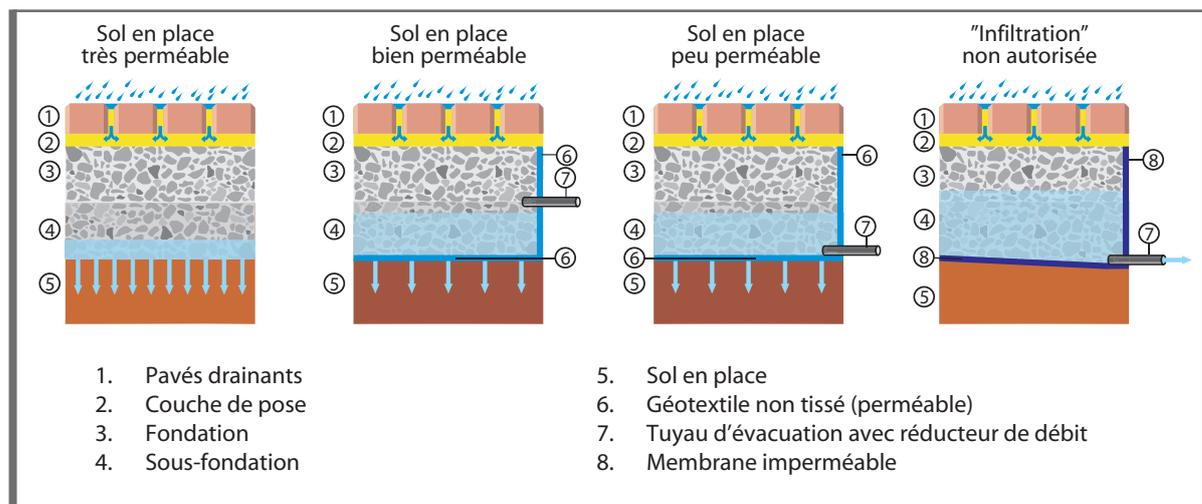


Figure 3.38 Pose d'un système de drainage pour des revêtements drainants en fonction du type de sous-sol ou si aucune infiltration n'est autorisée

Comme pour des revêtements classiques, lors du dimensionnement de la fondation, on part de la charge de trafic escomptée. En raison de l'éventuelle saturation en eau lors du stockage, l'application de pavages drainants pour la catégorie de trafic I (avec les charges de trafic les plus lourdes) est toutefois exclue (voir figure 3.39). De plus, la perméabilité du matériau de fondation doit atteindre au moins $5,4 \times 10^{-5}$ m/s.

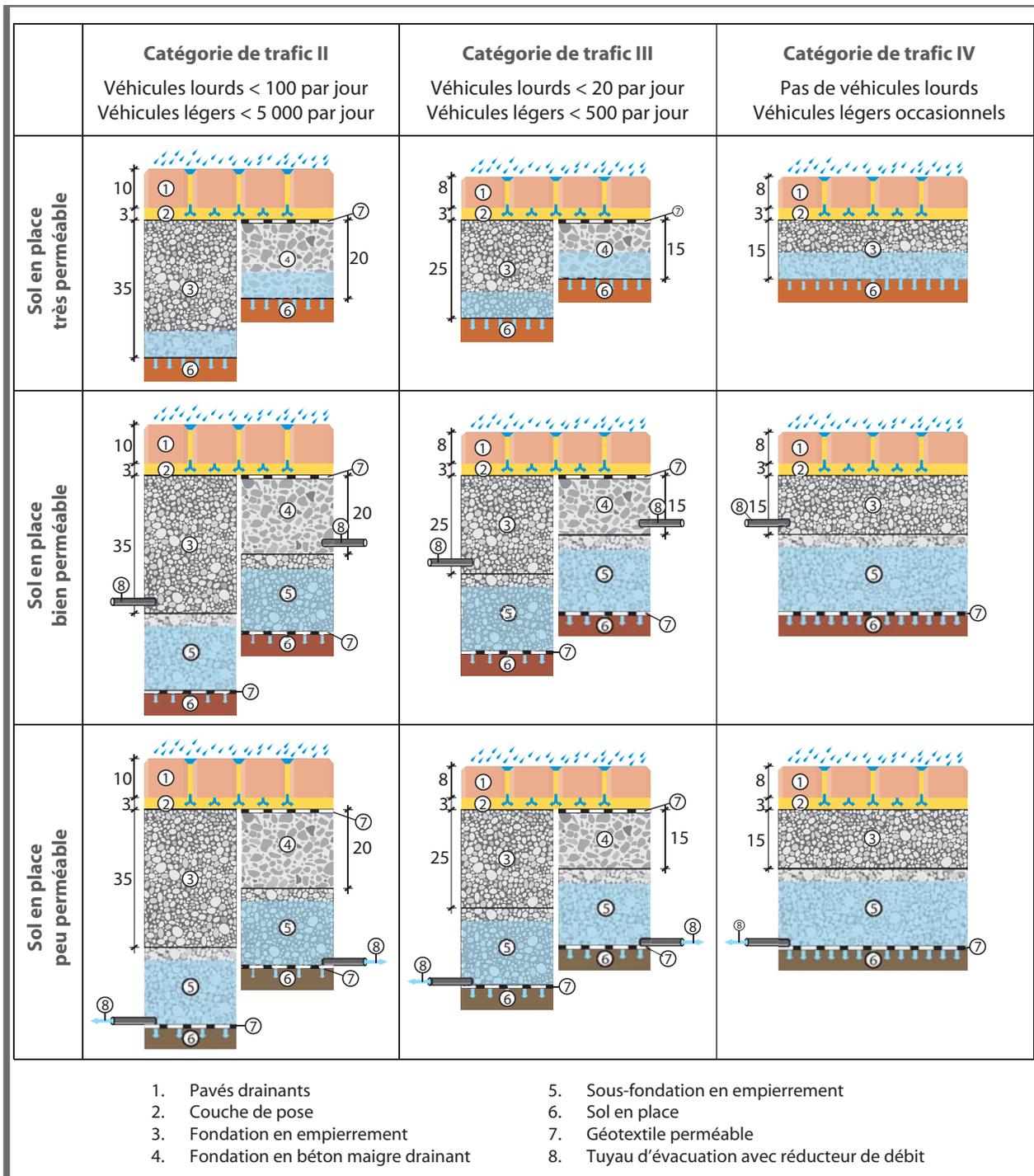


Figure 3.39 Structures types de pavages drainants en fonction de la charge de trafic escomptée et de la perméabilité du sous-sol

Pour le dimensionnement de la sous-fondation des pavages drainants, on peut partir de la capacité de stockage requise, en fonction de la vitesse d'infiltration possible et de la porosité du matériau. A cet effet, il y a deux possibilités:

- partir d'une pluie statistique de dix minutes avec une période de récurrence de trente ans;
- tenir compte de précipitations successives en fonction du débit d'évacuation souhaité et de la période de retour du trop-plein (= moment auquel l'eau arrive dans la fondation).

La plupart du temps, l'épaisseur de la sous-fondation est toutefois déterminée par l'épaisseur nécessaire pour protéger le sol du gel. Pour un complément d'informations, nous renvoyons au *Dossier 5* en annexe au Bulletin CRR 77 (2008) [10].

3.3.2 Choix des matériaux

3.3.2.1 Types de pavé drainant

En règle générale, on distingue quatre types de pavé drainant (généralement en béton).

■ Pavés à joints élargis

Les pavés à joints élargis ont des faces latérales pourvues d'arêtes ou d'écarteurs, ce qui crée un joint plus large. L'eau s'écoule ensuite au travers du joint vers les fondations et le sol. A cet effet, les arêtes d'un pavé classique sont élargies jusqu'à ce que le **pourcentage de joints requis (au moins 10 % de la surface du revêtement)** selon la PTV 122 [18]) soit atteint. Pour obtenir une perméabilité de surface suffisante, le coefficient de perméabilité du matériau de jointolement (voir § 3.3.2.2) doit être au moins égal à $5,4 \times 10^{-4}$ m/s.



Figure 3.40 Pavés de béton à joints élargis

■ Pavés à ouvertures de drainage

Les pavés à ouvertures de drainage sont conçus de manière telle que le revêtement comporte des ouvertures et que de l'eau de pluie peut s'infiltrer dans la structure. A cet effet, une ouverture est pratiquée sur un ou plusieurs côtés du pavé, ou au milieu. La **part du drainage** doit selon la PTV 122 atteindre **au moins 10 %** de la surface. Le coefficient de perméabilité du matériau de jointolement est au moins égal à $5,4 \times 10^{-4}$ m/s.

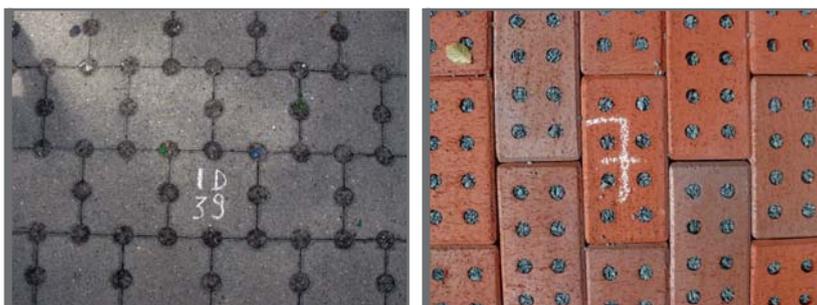


Figure 3.41 Pavés de béton (à gauche) et pavés en terre cuite (à droite) à ouvertures de drainage

■ Pavés poreux

Les pavés poreux sont perméables sur toute leur surface. En lieu et place de la composition classique du béton, on applique une composition poreuse afin d'obtenir la capacité d'infiltration exigée.

Selon la PTV 122, la **capacité d'infiltration** des pavés poreux doit s'élever en moyenne à $5,4 \times 10^{-5}$ m/s au minimum. En raison de leur structure ouverte, les pavés de béton poreux possèdent une résistance à la rupture en traction par fendage plus faible ($>2,5$ MPa) que les pavés de béton classiques ($>3,6$ MPa), mais forment une surface continue, ce qui améliore la praticabilité.



Figure 3.42 Pavés poreux en béton

■ Dalles-gazon en béton

Les dalles-gazon en béton aussi peuvent être utilisées comme pavages drainants, à condition d'être mises en œuvre sur une sous-structure drainante et que les ouvertures soient comblées avec des gravillons. Les exigences posées aux dalles-gazon en béton sont fixées dans la PTV 121 [19]. Les dalles-gazon en béton ne sont toutefois pas prises en considération dans le présent code de bonne pratique.



Figure 3.43 Dalles-gazon en béton avec remplissage de gravillons

Du point de vue de la perméabilité, le choix du type de pavé drainant est libre. Une étude précédente [20] a démontré que la perméabilité superficielle des revêtements en pavés à joints élargis ou à ouvertures de drainage était à l'origine un peu plus élevée, mais diminuait graduellement pour revenir au niveau des pavés poreux.

Lors du choix du type de pavé, il convient donc surtout de tenir compte du type d'application (voir tableau 3.4), du confort d'utilisation et de considérations esthétiques ou autres. Ainsi, les pavés de béton poreux légèrement biseautés, avec des joints étroits sont plus adaptés aux pistes cyclables et aux trottoirs que les pavés à joints élargis et à ouvertures de drainage. Ces derniers offrent par contre une meilleure résistance au trafic lourd et sont disponibles en plus grosse épaisseur. En outre, les pavés poreux sont moins résistants aux cycles gel-dégel en présence de sels de déverglaçage, et sont donc à déconseiller aux endroits où il faut souvent procéder à un épandage de sel routier. En raison de leur forme spécifique, les dalles-gazon ne se prêtent qu'aux parkings.

Type de pavé	Rue (max. 50 km/h)	Zone 30 km/h	Parking	Chemin piéton	Piste cyclable	Rue d'un lotissement
Pavés à joints élargis	(✓)	✓	✓	(✓)		✓
Pavés à ouvertures de drainage	(✓)	✓	✓	(✓)		✓
Pavés poreux	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dalles-gazon en béton			✓			

Tableau 3.4 Choix du type de pavé drainant en fonction de l'application

Comme mentionné précédemment, certains types de pavé drainant sont plus sensibles que d'autres à l'apparition des mauvaises herbes (voir figure 3.22). En raison du pourcentage de joints plus important, les pavés à joints élargis, et surtout les pavés à ouvertures de drainage, sont plus sensibles à l'apparition des mauvaises herbes que les pavés poreux. A leur tour, les pavés poreux sont plus sensibles à la mousse (surtout en automne), probablement en raison de la porosité élevée de la surface.

En cas d'application dans des lieux à haut risque d'apparition de mauvaises herbes, il faut en tenir compte, par exemple dans le choix du matériau de jointoiment (voir § 3.2 et chapitre 5), en prenant des mesures de conception pour limiter le risque d'apparition des mauvaises herbes (voir § 3.1) et/ou dans le traitement futur des mauvaises herbes (voir § 3.1.7 et chapitre 4). Il arrive qu'une structure totalement perméable (y compris le matériau de jointoiment et la couche de pose) offre des avantages clairs relatifs à l'apparition des mauvaises herbes comparativement à un pavage classique (voir figure 3.22). C'est donc un argument supplémentaire pour appliquer un pavage drainant.

3.3.2.2 Exigences par rapport à la couche de pose et au matériau de jointoiement

Afin de garantir une perméabilité permanente, les matériaux de (sous-)fondation doivent satisfaire à des exigences spécifiques en matière de teneur maximale en particules fines et de résistance à la fragmentation. Dans le cadre de la gestion des mauvaises herbes, ces composants de la structure sont moins directement pertinents et ils ne sont pas approfondis davantage ici.

Le choix du matériau pour la couche de pose et pour le jointoiement a un impact direct sur l'apparition des mauvaises herbes dans le revêtement (voir § 3.2). Pour les pavages drainants, des exigences supplémentaires sont posées au *matériau de la couche de pose*:

- la perméabilité est au moins égale à $5,4 \times 10^{-5}$ m/s;
- la teneur en particules fines ($< 0,063$ mm) est inférieure à 3 % (f_3 selon la PTV 411);
- le matériau est suffisamment résistant à la fragmentation, pour réduire le risque de formation de particules fines: $LA < 20$ et $M_{DE} < 15$ (catégorie Ab ou 3 selon la PTV 411);
- stabilité du filtre: la couche de pose ne peut pas passer dans la fondation sous-jacente (voir figure 3.25).

Une couche de pose **ouverte** (granulats d/D avec $d > 0$, par exemple, gravillons concassés 1/3, 2/4 ou 2/6,3) est généralement meilleure du point de vue de la prévention des mauvaises herbes (voir figure 3.24). Ceci exige par contre une compatibilité de filtre avec la fondation et le matériau de jointoiement (déterminant pour des joints élargis ou des ouvertures de drainage avec remplissage de gravillons plus grossiers – voir infra). Si ce n'est pas le cas, une grave (par exemple, sable concassé 0/4 ou 0/6,3) peut être appliquée avec une très faible teneur en particules fines. Entre une fondation en béton maigre drainant et la couche de pose, on place toujours un géotextile non tissé (voir figure 3.39).

Le *matériau de jointoiement* est un dernier facteur déterminant dans la structure d'un pavage drainant qui dépend du type de pavé.

Les joints fins (1 à 2 mm) des revêtements à *pavés poreux en béton* doivent être remplis avec des matériaux **0,5/1** ou **0,5/2** (G_{F85} selon la NBN EN 13242 [17]), avec un passant au tamis de 0,5 mm plus petit que 50 %. L'absence de la fraction 0/0,5 évite que la surface des pavés de béton ne se bouche pendant l'opération de jointoiement, ce qui ne manquerait pas de se produire en cas d'utilisation d'un matériau de jointoiement classique de 0/2 mm. La teneur en particules fines est aussi limitée dans ce cas à 3 % maximum (f_3). L'impact positif se fait aussi ressentir sur le risque d'apparition des mauvaises herbes (voir figure 3.29).



Figure 3.44 Exemple de matériau de jointoiement 0,5/2 pour un revêtement à pavés poreux en béton

Pour les pavés drainants à *joints élargis* et à *ouvertures de drainage*, le pourcentage de joints s'élève au moins à 10 % de la surface totale du pavage (voir PTV 122). Ceci conduit en général à des joints larges de l'ordre de 10 mm. Comme matériau de jointoiement, on peut appliquer le même matériau que pour la couche de pose, par exemple des gravillons concassés 1/3 ou 2/4 mm. Ici aussi, la stabilité du filtre du matériau de jointoiement par rapport au matériau de la couche de pose sous-jacente est exigée. C'est le cas si la même granularité est appliquée pour les deux couches.

Un matériau de jointoiement dur comme le porphyre, le basalte, le grès, etc. est privilégié par rapport aux matériaux plus tendres comme le calcaire, la dolomie, le marbre, etc. En effet, les matériaux trop tendres se dégradent au fil du temps pour atteindre un calibre plus fin et une teneur plus élevée en particules fines, ce qui peut réduire la perméabilité.

Pour les pavés à joints élargis et à ouvertures de drainage, le matériau de jointoiment doit présenter une perméabilité d'au moins $5,4 \times 10^{-4}$ m/s, afin de garantir une perméabilité de $5,4 \times 10^{-5}$ m/s de la surface totale, étant donné que les joints représentent seulement 10 % de la surface. Un calibre de 1/3 ou 2/4 mm suffit largement.

Pour un risque d'apparition de mauvaises herbes modéré à élevé (surtout pour des joints plus larges), l'application de matériaux de jointoiment innovants, mais suffisamment drainants (par exemple sable grossier 0/4, enrichi en sel ou sable lié avec résine époxy – voir § 3.2) peut être indiquée pour prévenir l'apparition des mauvaises herbes dans les joints larges, perméables.



Figure 3.45 *Matériau de jointoiment perméable lié aux polymères utilisé avec des pavés à ouvertures de drainage pour contrecarrer l'apparition des mauvaises herbes (2008)*

Chapitre 4

Mesures curatives

Malgré le large éventail de mesures préventives disponibles (voir chapitre 3), l'apparition des mauvaises herbes à long terme semble *inévitable*. Les mousses et les algues sont typiquement des plantes pionnières sur les revêtements nouvellement mis en œuvre. La pollution organique correspondante offre bon nombre d'opportunités d'enracinement aux plantes plus hautes, de sorte que tôt ou tard, des mesures curatives sont nécessaires. Les espèces de mauvaises herbes couramment rencontrées (voir chapitre 2 et figure 2.2) sont la plupart du temps difficiles à combattre. Il s'agit en effet souvent de plantes qui tolèrent assez bien d'être piétinées, qui résistent bien à la chaleur ou à la sécheresse et/ou qui disposent d'organes souterrains leur permettant de survivre dans les joints.

L'utilisation excessive et/ou inappropriée de pesticides par le passé a souvent abouti à la transgression des normes européennes relatives à l'eau. Pour cette raison, de nombreux pays, parmi lesquels la Belgique (voir chapitre 1), ont fixé des restrictions drastiques pour l'utilisation d'herbicides sur les revêtements dans les espaces publics. A partir de 2015, le désherbage des revêtements dans les espaces publics en Flandre devra se faire à l'aide de méthodes non chimiques.

Dans ce chapitre sont décrites les techniques de désherbage alternatives courantes, *non chimiques*. Dans le même temps, on approfondira l'applicabilité, l'efficacité et l'utilisation intégrée de ces techniques.



Figure 4.1 Désherbage curatif sur un revêtement en pavés de béton

4.1 Techniques de désherbage non chimiques disponibles

Les techniques de désherbage curatif disponibles (voir figure 4.2) sont les *méthodes chimiques* (principalement l'application de glyphosate, un herbicide foliaire systémique (total) à large spectre), le *traitement manuel* (coupe, arrachage), les *techniques mécaniques* (brossage, tonte, coupe au jet d'eau, circulation piétonne, cyclable ou motorisée, etc.) et les *techniques thermiques* (choc thermique, air chaud, eau chaude, vapeur, brûlage par rayonnement infrarouge, etc.).

Vu le contexte légal actuel (décret de réduction des pesticides [1, 2], Directive européenne Cadre de l'Eau [21]), la lutte chimique n'est pas approfondie davantage.

Les techniques curatives suivantes ne sont pas abordées non plus: sel routier, traitement manuel, circulation piétonne, cyclable ou motorisée.

L'utilisation de sel routier pour l'entretien hivernal a des impacts positifs sur les mauvaises herbes. En effet, le sel engendre une sécheresse physiologique et une toxicité Na, freinant ainsi la croissance de la végétation à court et à long terme. D'un point de vue écologique, l'utilisation de sel routier uniquement comme mode de traitement des mauvaises herbes n'est pas conseillée, d'autant plus qu'il ne s'agit pas d'un moyen d'action reconnu à cet effet.

Le traitement manuel constitue une technique mécanique particulière (coupe des parties aériennes, arrachage de la plante) à utilisation intensive de main-d'œuvre. Il est toutefois trop peu productif pour être appliqué à grande échelle.

La circulation piétonne, cyclable ou motorisée sont aussi des formes particulières de traitement mécanique dont l'efficacité dépend de l'intensité d'utilisation du revêtement (par exemple, le nombre de passages par mètre de revêtement par jour – voir chapitre 2). Du point de vue de la prévention des mauvaises herbes, un revêtement doit être conçu de manière telle que l'intensité d'utilisation soit suffisamment élevée pour que sa simple circulation freine l'apparition des mauvaises herbes. L'intensité d'utilisation est donc déjà prise en compte dans le calcul du risque d'apparition des mauvaises herbes (voir § 2.2). Pour cette raison, cette forme de gestion mécanique n'est plus traitée dans ce chapitre.

Les principaux inconvénients des techniques non chimiques (par rapport aux méthodes chimiques) sont les suivants:

- une faible efficacité (voir § 4.2). Seules les parties aériennes de la plante sont attaquées, ce qui signifie que des traitements de suivi sont souvent nécessaires pour venir à bout des mauvaises herbes en épuisant les réserves souterraines;
- une faible capacité ou productivité (consécutivement à la faible rapidité de travail) qui est exigée pour chauffer ou broser les mauvaises herbes suffisamment longtemps;
- une consommation d'énergie élevée. Une intensité d'énergie élevée et une durée de contact suffisamment longue sont un must pour tuer les tissus végétaux (voir § 4.2).

L'efficacité, la productivité et la consommation d'énergie influencent dans une large mesure le prix de revient final du traitement (voir § 4.5).

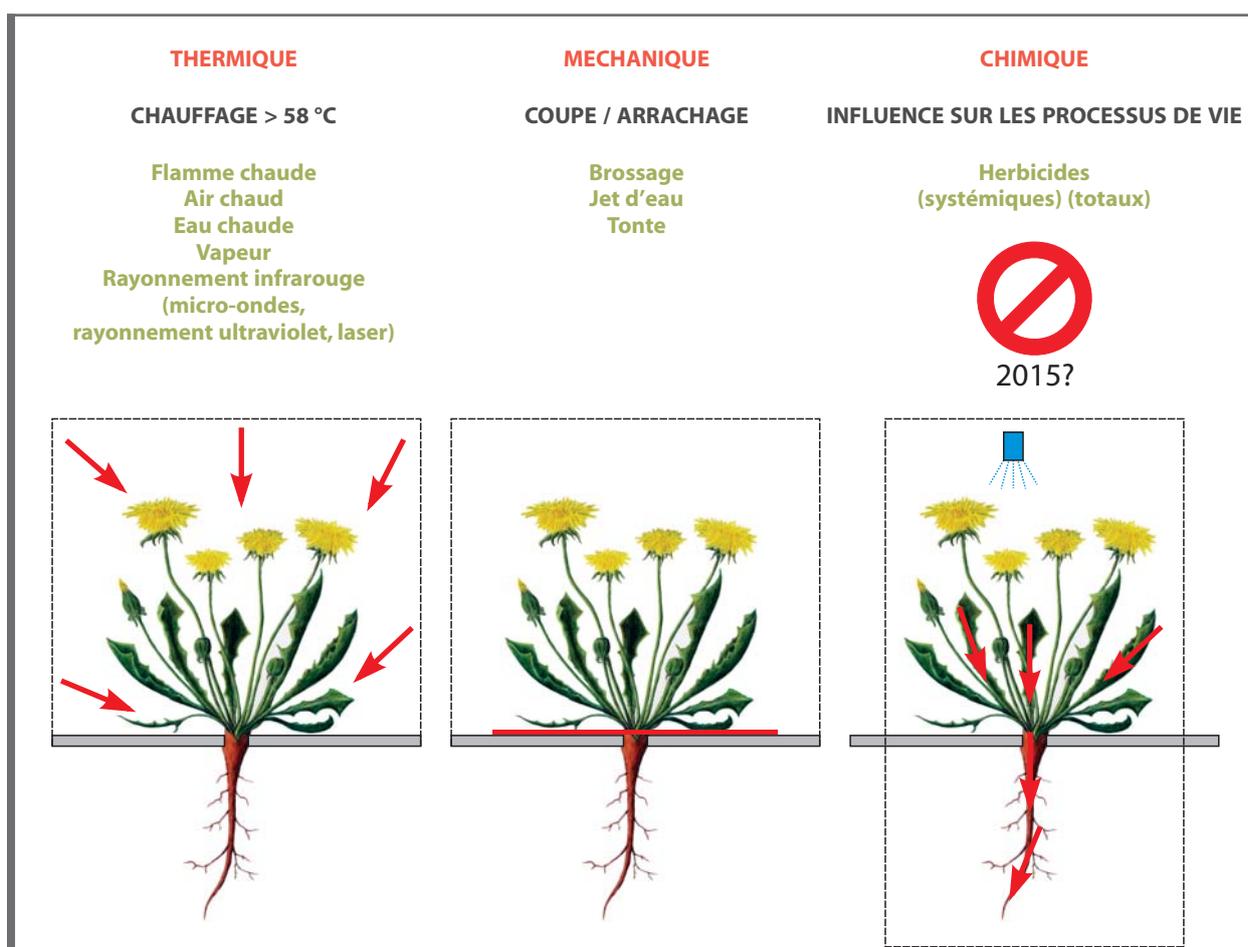


Figure 4.2 Récapitulatif et principe de fonctionnement des techniques de désherbage

4.1.1 Techniques thermiques

Les techniques thermiques sont des méthodes qui chauffent les tissus végétaux *directement* (à la flamme chaude ou par un flux de gaz de combustion chauds, à l'air chaud, à l'eau chaude ou à la vapeur) ou *indirectement* (par rayonnement infrarouge ou ultraviolet, par micro-ondes, ou encore par électrocution) (voir figure 4.2). En chauffant au-delà de la température létale des tissus (environ 58 °C), les protéines de la membrane cellulaire coagulent, provoquant ainsi l'évaporation et l'assèchement des cellules. Le tissu est clairement endommagé: il présente visuellement des taches sous forme de nécrose (voir figure 4.3). Des températures sublétales (< 58 °C) résultent uniquement en un ralentissement de la croissance par une perturbation de la fonctionnalité des cellules de la plante. Cet impact n'est toutefois pas directement visible.

Le mode de transmission de la chaleur vers la surface de la feuille diffère largement selon la technique thermique employée (voir figure 4.4). La chaleur est en fait une forme d'énergie transférée entre deux corps suite à une différence de température. Le transfert thermique se fait par *convection* (flamme chaude, air chaud), *rayonnement* (brûleur infrarouge), *condensation* (vapeur) ou *conduction* (eau chaude). Il existe aussi des appareils combinés qui intègrent plusieurs modes de transmission de chaleur.



Figure 4.3 Dégradation observable visuellement à la rosette d'un pissenlit (*Taraxacum officinale*) après application d'une technique thermique. Les nervures les plus épaisses et le point de croissance central restent intacts.

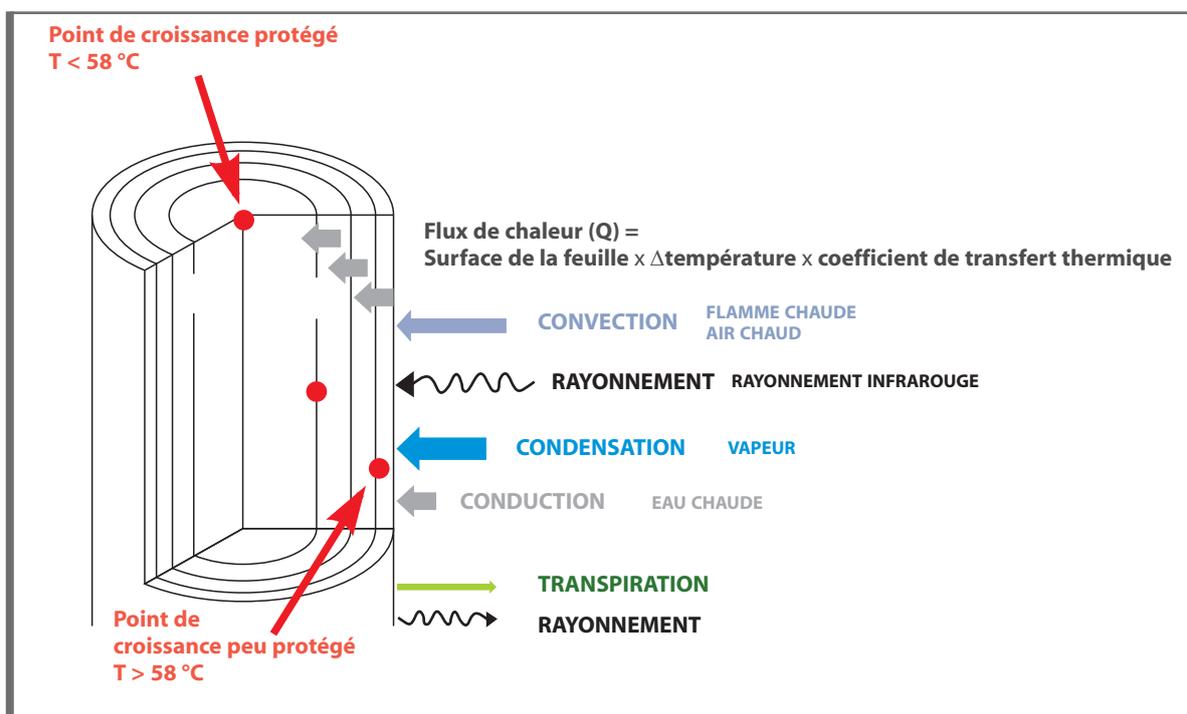


Figure 4.4 Différents modes de transfert thermique vers la plante en fonction de la technique thermique appliquée. Dans la plante, la transmission de chaleur se fait par conduction. Les boules rouges sont des points de croissance à partir desquels la repousse est impossible si l'on chauffe au-delà de 58 °C. Une plante se refroidit par la transpiration et le rayonnement.

Dans le cas de la convection, le transfert thermique se fait par flux: la chaleur est transférée au sein d'un milieu mobile (gaz, air) vers la surface de la feuille. Dans le cas du rayonnement, aucun agent de transfert n'est nécessaire. Un corps chaud (grille rayonnante ou plaque céramique) diffuse des rayons infrarouges qui

sont absorbés par la plante et la chauffent (indirectement). La conduction est la transmission de chaleur par un agent à l'arrêt ou une substance à l'état solide (par exemple, tissu végétal). L'agent de transfert thermique ne change pas de place.

L'eau chaude possède un *coefficient de conduction de chaleur* supérieur à celui de l'air chaud ou de la vapeur (voir tableau 4.1) et peut transmettre la chaleur vingt à vingt-cinq fois plus vite par conduction. En outre, l'eau chaude retient par °C quatre fois plus de chaleur que l'air chaud (voir *capacité thermique massique* dans le tableau 4.1). A son tour, la vapeur contient la plus haute teneur thermique en raison de l'énorme quantité de chaleur d'évaporation latente qui se libère à la condensation sur la feuille.

	Capacité thermique massique (kJ/kg.K)	Coefficient de conduction thermique (W/m.K)	Teneur thermique (kJ/kg)
AIR CHAUD (100 °C, 1 bar)	1,01	0,030	101
EAU (100 °C, 1 bar)	4,18	0,682	418
VAPEUR (100 °C, 1 bar)	2,08	0,025	2 674

Tableau 4.1 Capacité thermique massique, coefficient de conduction thermique et teneur thermique des milieux pour les techniques thermiques

Le transfert thermique vers la surface de la feuille est supérieur à mesure que la surface de contact augmente (par exemple grandes feuilles fines), que la différence de température entre l'agent de transfert thermique (air chaud, eau chaude, vapeur) et la surface de la feuille est supérieure, et que le *coefficient de transfert thermique* (par convection) ou le coefficient de conduction thermique (par conduction) est supérieur. Le coefficient de transfert thermique (en W/m².K) exprime la quantité d'énergie par °C et par unité de temps (s) transférée sur une superficie de 1 m². Le coefficient de conduction thermique (en W/m.K) donne la quantité de chaleur par °C par m (et par seconde) transportée par conduction. Le coefficient de transfert thermique dépend du flux d'air à hauteur de la plante et est déterminé par l'épaisseur de la couche limite laminaire à hauteur de la surface de la feuille. Aux alentours de la surface de la feuille (dormante), un milieu en mouvement (par exemple, air chaud) peut en effet être freiné de telle sorte qu'une couche d'air dormante appelée «couche limite laminaire» se forme. Cette couche limite laminaire fonctionne comme une sorte d'isolation et empêche le transfert thermique. Des turbulences près de la surface de la feuille empêchent dans une large mesure ces couches d'air dormantes d'intervenir, et peuvent donc améliorer fortement le transfert thermique.

Ci-après sont décrites brièvement les techniques thermiques courantes.

■ *Brûleur à choc thermique*

Avec la technique à la flamme chaude (brûleur à choc thermique avec apport d'air forcé), on obtient un bon transfert thermique grâce d'une part à la *différence élevée de température* entre les gaz de combustion et la surface de la feuille et d'autre part au coefficient de transfert thermique plus élevé avec une flamme turbulente.

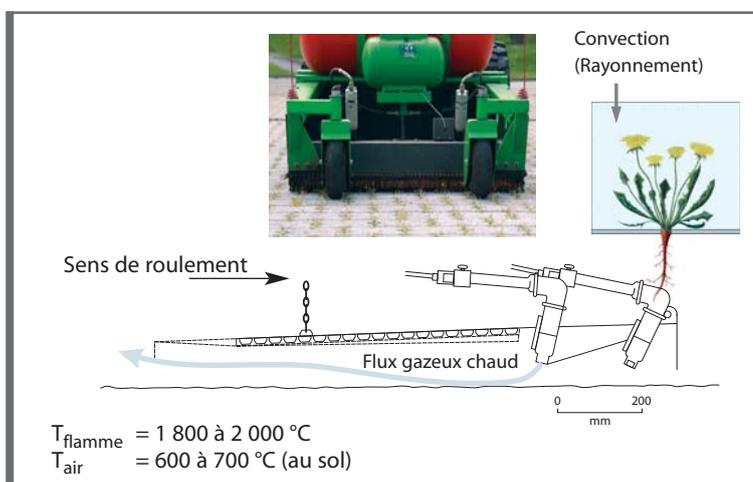


Figure 4.5 Principe de fonctionnement d'un brûleur à choc thermique (flamme nue). Le flux gazeux chaud est maintenu le plus longtemps et le plus près possible des mauvaises herbes. Il est indispensable de bien isoler le capot du brûleur.

■ Technique à l'air chaud

Pour la technique à l'air chaud, la différence de température est plutôt limitée (environ 90 °C), mais le flux d'air chaud est très *turbulent* du fait qu'un ventilateur puissant envoie l'air chauffé à travers une plaque à jet hélicoïdal. Ce flux d'air turbulent est indispensable à un bon transfert thermique.



Figure 4.6 Principe de fonctionnement d'un brûleur à air chaud.
A gauche: plaque à jet hélicoïdal. Au milieu: brûleur avec ventilateur puissant intégré.

■ Rayonnement infrarouge

Dans le cas d'un brûleur infrarouge, le transfert thermique se fait au moyen d'un corps radiant (chauffé). Les ondes hautement énergétiques émises sont absorbées au maximum par les plantes et transformées en chaleur.

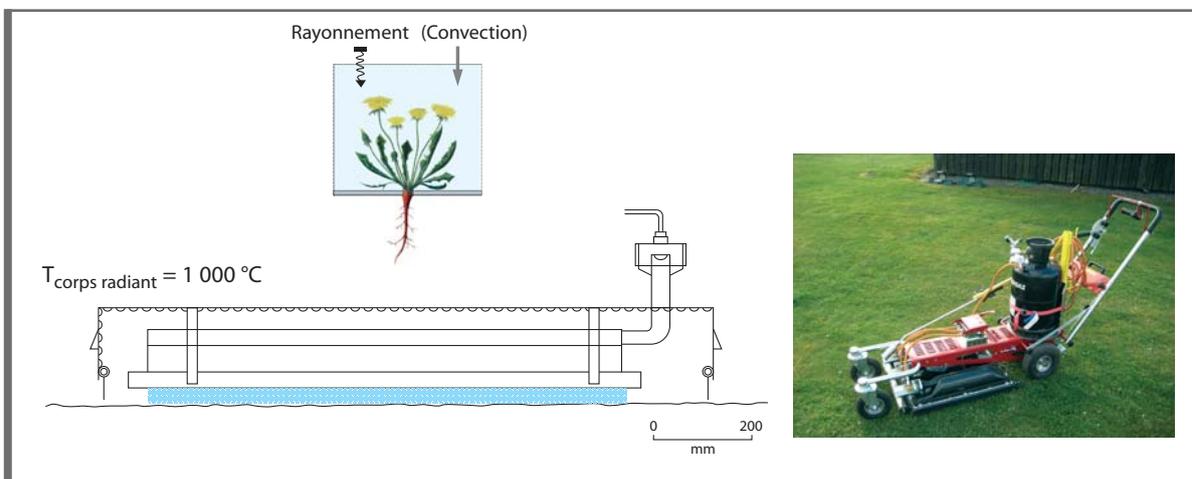


Figure 4.7 Principe de fonctionnement d'un brûleur infrarouge

■ Technique à l'eau chaude

Pour la technique à l'eau chaude (et à la vapeur – voir p. 58), la différence de température est minime; la température d'écoulement de l'eau chaude atteint environ 98 °C. La teneur thermique intrinsèque a un effet prolongateur sur le transfert thermique. De plus, l'eau est un bon conducteur de chaleur. De ce fait, les tissus végétaux sont en général touchés plus en profondeur. Il existe des systèmes dirigés par capteurs, qui permettent un traitement ciblé et aident ainsi à économiser énormément sur la consommation d'énergie et d'eau. Les mauvaises herbes sont en effet souvent disséminées sur un revêtement. Des capteurs de détection de mauvaises herbes permettent de ne traiter que les endroits où poussent des mauvaises herbes.

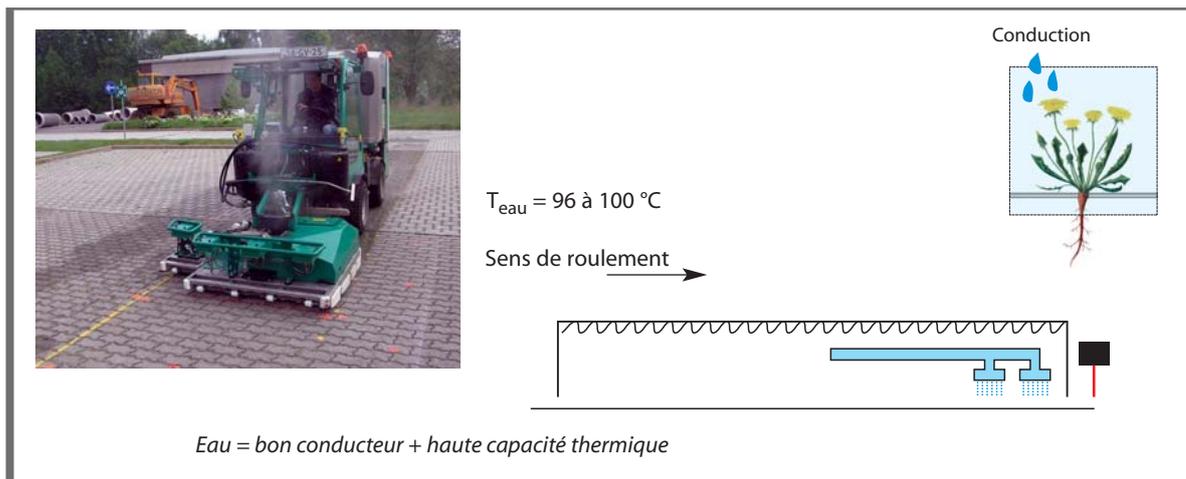


Figure 4.8 Principe de fonctionnement d'une machine à eau chaude dirigée par capteurs. La transmission de chaleur se fait par conduction.

■ **Vapeur**

Avec la vapeur, le transfert thermique se fait par condensation, puis par conduction. Comparativement à l'air chaud et à l'eau chaude, la vapeur a la teneur thermique la plus élevée (voir tableau 4.1). Lors de la condensation de la vapeur sur la feuille, en plus de la chaleur contenue dans l'eau condensée, une quantité supplémentaire de chaleur de condensation latente est libérée. En raison de cette teneur en énergie élevée, les tissus végétaux sont en général touchés plus profondément.

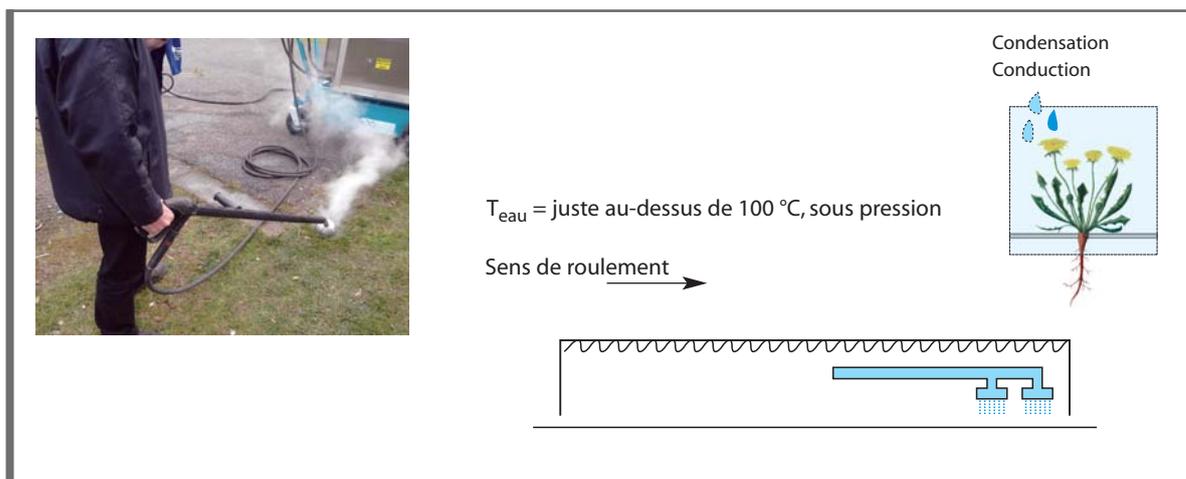


Figure 4.9 Principe de fonctionnement d'un appareil à vapeur. La chaleur est transmise par condensation et conduction.

■ **4.1.2 Techniques mécaniques**

Les techniques de traitement mécanique sont des méthodes où les parties aériennes des plantes sont arrachées, coupées ou percutées à l'aide de découpeurs à jet d'eau, de débroussailleuses et de brosses de désherbage. Les brosses de désherbage sont les plus connues et aussi les plus utilisées. Leurs variantes sont nombreuses: fils d'acier, lamelles d'acier, faisceaux de fils torsadés ou combinaisons de ces solutions. L'agressivité du traitement dépend du type de brosse, de la pression exercée, de la vitesse de rotation et de l'angle d'attaque. Les bras de la brosse peuvent être équipés d'un système de jet d'eau, pour lutter contre la formation de poussière. Les combinaisons de balayage et d'aspiration ou de brossage et d'aspiration permettent d'éliminer les déchets de brossage en un seul passage. Bien que le balayage avec une brosse douce soit en fait une technique préventive, son usage intensif peut être envisagé comme technique curative.

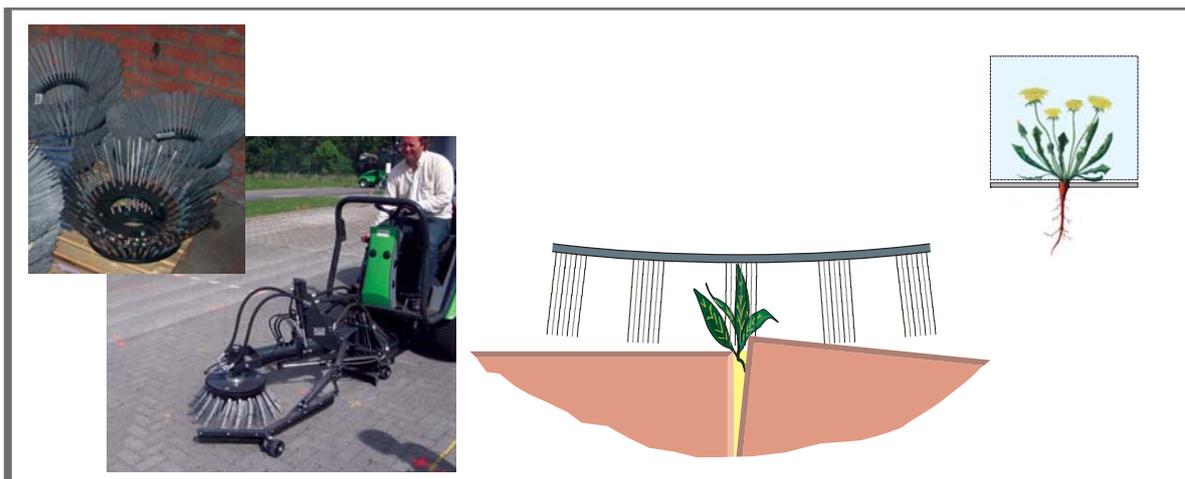


Figure 4.10 Principe de fonctionnement des brosses de désherbage. Elles coupent les mauvaises herbes dans le joint ou les arrachent.

4.2 Facteurs influençant l'efficacité

La chaleur transmise à la surface de la feuille par convection, conduction, condensation ou rayonnement (voir figure 4.4) est transportée dans la plante par conduction. Ce transport est beaucoup plus lent que le transfert thermique à la surface de la feuille. Les différences de température entre la surface de la feuille et les tissus situés plus profondément sont en effet plus petites que celles entre l'agent de transfert thermique et la surface de la feuille. Cela signifie que les plantes doivent être chauffées suffisamment longtemps, afin que les tissus ou les points de croissance plus profonds puissent aussi être tués. Généralement, la durée de contact est toutefois insuffisante pour atteindre les points de croissance profonds, bien protégés. Ceci explique pourquoi des espèces avec des points de croissance non protégés (par exemple le séneçon commun ou *Senecio vulgaris*) sont éliminées thermiquement, alors que des espèces avec des points de croissance profonds ou souterrains (formant des rhizomes comme des prêles ou Equisétacées) ou des points de croissance protégés (à rosette comme le pissenlit (*Taraxacum officinale*)), ou des herbes comme le pâturin annuel (*Poa annua*), montrent des repousses provenant de méristèmes plus profonds, protégés ⁽³⁾. C'est également le cas avec le traitement mécanique.

L'efficacité des techniques de désherbage thermiques laisse souvent à désirer. L'efficacité (c.-à-d. la mesure dans laquelle les mauvaises herbes sont éliminées) dépend de facteurs environnementaux, technologiques et biologiques.

■ Facteurs environnementaux

Le désherbage est moins efficace quand il est appliqué sur un sous-sol brut (perturbation du flux de chaleur turbulent), par grand vent (perturbation du schéma de diffusion de la chaleur), par temps de pluie et en cas de rosée. Une surface de feuille humide protège le tissu de la feuille de la chaleur, et il faut donc plus d'énergie pour chauffer l'eau propre à la feuille.

■ Facteurs technologiques

En plus du bon réglage de l'appareil (par exemple le bon angle et la bonne hauteur des brûleurs), c'est surtout la dose d'énergie utilisée qui est déterminante. La dose d'énergie dépend de l'intensité d'énergie (la température de l'agent de transfert thermique ou du corps radiant) et de la durée d'exposition (ou la vitesse de progression). Plus l'intensité



Figure 4.11 Nécrose des bords des feuilles d'un séneçon de Jacob (*Jacobaea vulgaris*) après application d'une dose d'énergie trop faible avec la technique thermique

(3) Les méristèmes sont des zones de croissance pouvant se composer de très nombreuses cellules dans lesquelles des petits groupes de cellules méristématiques à fort pouvoir de division apparaissent. Les méristèmes se composent de cellules indifférenciées qui ont la capacité de se diviser puis de se différencier (en différents organes). A partir de tels méristèmes, de nouvelles pousses d'herbe ou de rosettes de dicotylédones peuvent par exemple naître.

d'énergie est élevée, plus la durée d'exposition peut être plus courte pour un résultat de traitement identique (vitesse de progression supérieure). La dose est en général réglée en adaptant la vitesse de progression, vu que l'augmentation d'intensité d'énergie d'un appareil est limitée. La vitesse de progression doit être réglée de telle sorte qu'on arrive à un impact de traitement acceptable (c'est-à-dire au moins 80 à 90 % d'élimination des parties aériennes des plantes). Un dosage suboptimal entraîne uniquement une nécrose des bords ou des parties les plus fines des feuilles (voir figure 4.11).

■ *Facteurs biologiques*

Les facteurs biologiques tels que l'espèce, le stade de croissance et la densité de mauvaises herbes sont d'une importance primordiale pour le choix de la dose d'énergie appropriée. Les espèces diffèrent considérablement sur le plan de la tolérance à la chaleur. Celles recouvertes d'une épaisse couche de cire et/ou aux feuilles duvetées réclament (lors d'un transfert thermique par convection) une dose d'énergie supérieure que les espèces avec une couche de cire fine et/ou des feuilles non velues. Les poils épaississent la couche laminaire, ce qui réduit le transfert thermique par convection. Le stade phénologique (phase dans le développement de la plante) est lui aussi important: plus la mauvaise herbe est âgée, plus la dose d'énergie nécessaire pour atteindre le même impact sera élevée. Les mauvaises herbes vieillissantes présentent en effet un dépôt de cire plus important ou se lignifient. Avec la technique à l'eau chaude, la largeur de la feuille et son état ont aussi leur importance. Une disposition verticillée et de petites feuilles réduisent la rétention d'eau sur la feuille. Les espèces végétales riches en eau sont souvent plus difficiles à réchauffer en raison de la capacité calorifique élevée de l'eau. Le moment de la journée joue aussi un rôle important. Les tissus végétaux sont probablement le plus sensible à la chaleur quand ils contiennent le moins d'eau, c'est-à-dire, juste après midi. Les espèces avec points de croissance protégés (plantes à rosette, herbes) ou souterrains (par exemple formant des rhizomes) repoussent après traitement. Quand la densité de mauvaises herbes est élevée, certaines (parties de) plantes échappent au flux thermique (turbulent) en étant protégées par les autres herbes. Les conditions de croissance jouent aussi un rôle. Les espèces qui poussent sous stress de sécheresse forment une couche de cire plus épaisse et sont plus velues, ce qui rend le transfert thermique par convection plus difficile.



Figure 4.12

Plante en rosette velue avec dégradation limitée après traitement avec technique convective

■ 4.3 Applicabilité des techniques de désherbage curatives non chimiques

Les techniques de désherbage susmentionnées ne peuvent pas être appliquées toujours et partout. Le recours à certaines techniques dépend des conditions météorologiques ambiantes, du type de flore présent, du type de revêtement et des obstacles sur ce revêtement (voir tableau 4.2).

■ *Conditions météorologiques*

Les techniques thermiques sont très dépendantes des conditions météorologiques. Elles sont peu efficaces (voir 4.2) par temps humide et à très basse température, car le tissu végétal est alors plus difficile à réchauffer. Les techniques à la vapeur et à l'air chaud sont des techniques sensibles à la dérive, utilisées de préférence lorsqu'il n'y a pas de vent (sauf si des mesures contre la dérive sont prises telles que la pose d'un écran antidérive). Une bonne répartition de chaleur sur la surface du revêtement exige un temps calme (valable pour les techniques convectives). Les techniques mécaniques sont indépendantes des conditions météorologiques. L'arrachage ou la coupe des mauvaises herbes se déroule même mieux ou avec moins de poussière par temps humide.

■ *Type de flore présent*

Avec les techniques thermiques, le transfert et la pénétration de chaleur à travers la couverture végétale sont rendus difficiles par une végétation haute et dense. Dans de telles circonstances, le broissage est préférable aux techniques thermiques. Les techniques avec transfert thermique par convection ou rayonnement ne

sont pas sans risque d'incendie en cas d'application sur des mauvaises herbes sèches. Le traitement de la flore velue est plus facile si l'on utilise des techniques non convectives que des techniques convectives.

■ Type de revêtement

Le brossage n'est pas recommandé sur des revêtements à joints larges non liés vu le risque d'enlever le matériau de jointolement non lié en brossant. Cette technique est d'autant moins applicable sur des revêtements sensibles aux rayures. En raison du risque de changement de couleur, l'utilisation du brûleur à choc thermique sur des revêtements en pierre naturelle polis est à déconseiller. La sensibilité aux chocs de la grille radiante avec la technique à infrarouge exige un support plan. Les techniques thermiques non conductives ne conviennent pas non plus pour le désherbage sur les revêtements bitumineux.

	Mécanique		Thermique				
	Découpage ou arrachage		Conduction	Condensation	Convection		Rayonnement
	BA	BR	EC	VA	CT	AC	IR
<i>Conditions météorologiques</i>							
Temps humide (précipitations, rosée)							
Basses températures							
Temps très venteux							
<i>Type de flore présent</i>							
Végétation haute et dense							
Flore velue							
Recouvrement important de mauvaises herbes							
Végétation desséchée							
<i>Type de revêtement</i>							
Revêtement avec joints larges et non liés (part importante de joints)							
Revêtements sensibles aux rayures (pavés en terre cuite, en pierre naturelle)							
Pierre naturelle polie							
Revêtement irrégulier							
<i>Obstacles inamovibles (sur le revêtement ou les surfaces adjacentes)</i>							
Végétation adjacente							
Zones présentant un risque d'incendie et d'explosion							
Eléments inflammables ou susceptibles de fondre							

BA: balayage avec aspiration

BR: brossage avec aspiration

EC: traitement sélectif à l'eau chaude

VA: traitement à la vapeur

CT: traitement par choc thermique

AC: traitement à l'air chaud

IR: brûlage par rayonnement infrarouge

	Parfaitement possible
	Pas sans risque
	Pas conseillé

Tableau 4.2 Applicabilité des différentes techniques de désherbage

■ *Obstacles inamovibles (dans le sens large du terme) sur le revêtement ou les surfaces adjacentes*

Les techniques thermiques (à l'exception de la vapeur et du traitement à l'eau chaude) ne peuvent pas être mises en œuvre sur des terrains ou à proximité de terrains où il existe un danger d'incendie ou d'explosion. L'application à proximité de zones vertes adjacentes et sur des revêtements avec des obstacles inflammables ou susceptibles de fondre est d'autant plus risquée. En outre, l'utilisation de vapeur à proximité d'une bande de verdure adjacente est déconseillée afin d'éviter des dégradations par dérive.

Pour les techniques de désherbage courantes, il existe un large éventail de machines, allant des appareils portables ou manuels, aux machines autotractées en passant par les machines tractées. L'**applicabilité** de ces appareils dépend non seulement des facteurs précités, mais aussi de la portance du revêtement et de la maniabilité de ces machines (ce dernier point étant en relation avec la présence d'obstacles). Pour les appareils autotractés, le poids de la machine joue un rôle déterminant. Ainsi, les machines à eau chaude autotractées (en raison de la quantité d'eau à porter) et les balayeuses (en raison des exigences de stabilité) sont relativement lourdes. Ceci exige un revêtement à la portance suffisante.

4.4 Systèmes de désherbage curatif intégré

Les stratégies de désherbage curatif doivent être intégrées et durables. *Intégré* signifie la mise en œuvre de mesures préventives et curatives suivant les mauvaises herbes (quantité et composition), le type de revêtement et l'aspect esthétique souhaité. A cet effet, il convient de mettre en place des systèmes de désherbage qui combinent au mieux (action différente) et alternent les méthodes. De tels systèmes établis judicieusement sont aussi *durables* car ils tendent vers une gestion et une maîtrise des mauvaises herbes à coût réduit (surtout fonction de la fréquence de traitement exigée), faible impact environnemental défavorable et dégradation minimale de la fonctionnalité du revêtement. Le § 4.5 se penche sur les impacts environnementaux et les frais engendrés par le désherbage.

4.4.1 Le traitement intégré, une nécessité!

La nécessité d'une approche intégrée dans la lutte contre les mauvaises herbes est démontrée ci-après à l'aide de questions concrètes.

■ *Quelle technique?*

L'efficacité des techniques curatives dépend du bon dosage (voir § 4.2). Cela signifie qu'en fait, une bonne lutte contre les mauvaises herbes est possible avec chaque technique.

Pour éviter une adaptation dans la composition des mauvaises herbes en présence, chaque technique curative ne peut pas être utilisée seule. En cas d'utilisation exclusive d'une technique donnée, les espèces les moins sensibles à cette technique vont se développer d'une application à l'autre, ce qui rend le désherbage de plus en plus fastidieux et onéreux.

L'inventaire étendu réalisé par l'UGent (voir chapitre 2) des mauvaises herbes présentes et des stratégies de lutte appliquées sur les revêtements en Flandre a démontré que l'application exclusive ou répétée de la même technique curative (mécanique, thermique, chimique) engendrait d'importants changements dans la composition des mauvaises herbes (ce que l'on appelle les changements de flore). La présence des plantes annuelles et bisannuelles (surtout le pâturin annuel ou *Poa annua*) et la sagine couchée (*Sagina procumbens*) était par exemple bien plus significative sur des revêtements qui ont été exclusivement soumis à une gestion thermique. Le pâturin annuel est une plante à fort pouvoir de tallage, annuelle ou bisannuelle, aux points de croissance protégés. La sagine couchée est une espèce annuelle basse. Cette espèce a de petites feuilles épaisses et pousse dissimulée dans les joints, ce qui la rend difficile à chauffer. Lors d'une gestion exclusivement mécanique, la majeure partie des mauvaises herbes était



Figure 4.13

La renouée des oiseaux (Polygonum aviculare) est un exemple de plante difficile à effeuiller ou à déraciner

constituée de grand plantain (*Plantago major*), de pissenlit (*Taraxacum officinale*) et de renouée des oiseaux (*Polygonum aviculare*) (voir figure 4.13). La résistance (par exemple, de la renouée des oiseaux) rend cette espèce difficile à désherber. Cette espèce dispose en sous-sol de grands organes de réserve ou est solidement enracinée dans les joints, de sorte qu'il est difficile de l'enlever complètement.

Pour l'étude de la fréquence de traitement (c'est-à-dire le nombre d'interventions par an), du prix de revient et des impacts environnementaux, différents scénarios de traitement ont été comparés. Pour ce faire, quatre applications exclusives (brossage, air chaud, eau chaude sélective, flamme nue) et deux scénarios alternant brossage et air chaud ont été comparés sur le parking expérimental du CRR à Sterrebeek (voir § 3.2) [22, 23]. Il en ressort que les applications exclusives causent des changements de flore, avec une augmentation de la fréquence de traitement à la clé. En cas d'application exclusive d'eau chaude, le pissenlit (*Taraxacum officinale*) va dominer, alors qu'avec une application continue de techniques convectives (air chaud, brûleur à choc thermique), on va obtenir une prédominance du céraïste commun (*Cerastium fontanum*) (voir figure 4.14). Le tableau 4.3 indique la fréquence de traitement nécessaire pour conserver pendant deux années consécutives un score esthétique 7-8 (classe esthétique B – voir tableau 2.3) sur un revêtement à joints élargis.



Figure 4.14

En cas d'application exclusive de techniques thermiques convectives, la part de plantes velues augmente (ici: céraïste commun ou *Cerastium fontanum*)

Scénario de traitement	2010	2011	2010-2011
Uniquement brossage	4	6	10
Uniquement air chaud	4	5	9
Uniquement traitement sélectif à l'eau chaude	2	5	7
Brossage/ air chaud en alternance	4	5	9

Tableau 4.3

Fréquence de traitement exigée (nombre de traitements/période) pour quatre scénarios de traitement pour conserver sur un revêtement en pavés de béton à joints élargis (avec matériau de jointoiement classique, non lié) un score esthétique 7-8 (classe esthétique B – voir tableau 2.3)

Pour les méthodes de traitement thermiques testées, appliquées exclusivement, la fréquence exigée dans la première année de test (2010) était la plus faible pour la technique à l'eau chaude. Au cours de la deuxième année d'essai, les différences entre les techniques se sont toutefois estompées et, pour une application exclusive, le même nombre de traitements a été nécessaire pour maintenir les mauvaises herbes à un niveau acceptable. La forte augmentation de la fréquence de traitement pour la technique à l'eau chaude comparativement à d'autres techniques peut en grande partie s'expliquer par l'augmentation de la part du pissenlit dans le temps. C'est une conséquence de la fréquence de traitement suboptimale pour le pissenlit en 2010.

Le tableau 4.3 illustre aussi que l'utilisation en alternance de la brosse de désherbage et de la technique à l'air chaud a déjà fait baisser le nombre d'interventions par rapport au brossage exclusif. L'utilisation alternée de la brosse de désherbage et de la technique à l'air chaud pendant deux années consécutives a abouti à une diminution du nombre de plantes hautes dans l'ensemble des mauvaises herbes comparativement au recours au brossage exclusif ou à l'application exclusive de l'air chaud. Tout ceci semble donc indiquer que les scénarios aux techniques alternantes combatteraient mieux les espèces à problème que les scénarios à application exclusive d'une technique déterminée. Ils présenteraient aussi moins de changement de flore. Vu la plus petite part de plantes hautes dans les mauvaises herbes, l'aspect de la rue sera beaucoup plus joli et moins de traitements seront nécessaires pour obtenir un aspect visuel acceptable. En comparaison au brossage continu, l'alternance avec l'air chaud a donc abouti à l'économie d'une intervention sur les deux années d'essai. Les écarts dans la fréquence de traitement peuvent augmenter à plus long terme. Avec le brossage continu, le matériau de jointoiement est évacué progressivement (certes de manière décroissante,

voir § 4.6.3), ce qui rend les plantes enracinées dans les joints de plus en plus difficiles à déraciner ou à arracher.

■ *Quelle dose d'énergie?*

La dose d'énergie (ou vitesse de progression) doit être choisie judicieusement! L'objectif n'est pas de «brûler» les mauvaises herbes, ni de les «griller», mais bien de les «blanchir». Un surdosage ne permet pas du tout de mieux lutter contre les mauvaises herbes, mais a par contre des impacts négatifs sur l'environnement et engendre des frais plus élevés. A son tour, un dosage trop faible implique des fréquences de traitement plus élevées. Vu la part importante des frais de main-d'œuvre dans les coûts de traitement globaux (voir § 4.5), la préférence va à des doses d'énergie plus optimales, plus élevées (vitesses de travail plus basses) et donc à des fréquences de traitement inférieures.

Il est possible d'augmenter la vitesse de progression des machines pour en augmenter la capacité. Toutefois, de cette manière, la quantité d'énergie diffusée à la plante diminue, réduisant ainsi la lutte contre les mauvaises herbes (et surtout contre les espèces les moins sensibles). A plus long terme, cela aboutit à des fréquences de traitement et à des frais plus élevés. Les espèces résistant à la chaleur survivent en effet dans une large mesure et sont sélectivement avantagées.

Dans le projet expérimental, il a été constaté que le brûleur à choc thermique avec une dose d'énergie faible (ED60, c'est-à-dire une dose d'énergie qui supprime 60 % de la biomasse aérienne par rapport à des bandes de contrôle non traitées) a bien mené à une fréquence d'intervention plus élevée pendant deux années successives que le brûlage exclusif avec une dose supérieure (ED80) (une intervention supplémentaire). En comparaison avec la flore traitée avec la dose ED80 (vitesse de progression plus basse), la flore a montré une proportion plus importante de plantes hautes, plus difficiles à combattre que les mauvaises herbes basses (comme les mousses). A plus long terme, les différences dans la fréquence de traitement augmenteront probablement encore davantage.

■ *Quel timing pour le traitement curatif? Quelle limite de prolifération?*

En raison de la repousse des mauvaises herbes après chaque traitement, plusieurs interventions sont nécessaires pour combattre de manière ciblée les espèces pluriannuelles, voire les espèces annuelles à l'aide de techniques mécaniques et thermiques. Dans ce cadre, il importe que le traitement suivant se fasse avant que les sucres nouvellement formés ne soient stockés sous la surface du sol afin d'épuiser la végétation au maximum.

L'étude menée sur le parking expérimental à Sterrebeek a démontré que la recherche d'un score esthétique plus strict ne conduit généralement pas à une augmentation de la fréquence de traitement. Pour une limite de mauvaises herbes plus stricte (score esthétique 9-10, classe esthétique A – voir tableau 2.3), un traitement thermique supplémentaire était nécessaire dans la première année d'évaluation comparativement à un niveau de mauvaises herbes modéré (score esthétique 7-8 ou classe esthétique B). Au cours de la deuxième année du projet, aucun effort supplémentaire n'a dû être fourni pour combattre les mauvaises herbes et les exigences plus strictes ont permis d'obtenir un aspect beaucoup plus propre du revêtement tout au long de l'année. Cela semble indiquer que des exigences plus strictes portent leurs fruits. A court terme, avec une fréquence de traitement identique, on obtient un plus bel aspect visuel qu'à une limite de mauvaises herbes moins stricte. Les mauvaises herbes qui poussent moins longtemps avant qu'on ne les combatte sont en effet plus sensibles à la chaleur. Les tissus végétaux très jeunes (jeunes repousses) sont plus faciles à combattre thermiquement que les tissus végétaux plus âgés.

■ *Quelle est la part de la prévention dans le traitement?*

L'étude sur le parking expérimental à Sterrebeek indique également que l'influence du type de pavé ou de revêtement (y compris la couche de pose et le jointoiment) est souvent plus importante que le choix du scénario de traitement.

Pour les pavés de béton classiques, les pavés de béton à joints élargis et les pavés de béton à ouvertures de drainage, en deux ans d'essai, sept à onze interventions de plus ont été nécessaires que pour les pavés en béton poreux pour conserver un score esthétique de 7-8 (classe esthétique B – voir tableau 4.4). C'est surtout la différence entre un pavé de béton poreux et un pavé de béton classique qui saute aux yeux, parce que ces revêtements présentent une proportion de joints comparable (environ 6 %). Les différences dans les

Scénario de traitement	Type de pavé			
	poreux	à joints élargis	à ouvertures de drainage	classique
Uniquement brossage	1	10		9
Uniquement air chaud	1	9	11	9
Uniquement traitement sélectif à l'eau chaude	1	7	9	
Brossage/ air chaud en alternance	1	9		

Note:

Les cases grises indiquent des combinaisons, qui n'ont pas été étudiées

Tableau 4.4 Fréquence de traitement exigée (nombre d'interventions/deux saisons de croissance) pour les différents types de pavés et scénarios de traitement pour conserver un score esthétique de 7-8 (classe esthétique B – voir tableau 2.3)

fréquences de traitement entre les scénarios sont généralement moindres que les différences dans les fréquences de traitement entre les types de pavé!

L'exemple précité démontre qu'un plan de traitement intégré offre de nombreuses possibilités pour une application fructueuse de stratégies préventives. Le choix d'une conception exigeant moins de traitements curatifs (pour un aspect de la rue précis), peut réduire les impacts environnementaux désavantageux liés aux traitements (voir chapitre 3 et § 4.5).

4.4.2 Règles générales pour une approche intégrée

Ci-après sont données quelques règles d'or pour des systèmes de désherbage curatif durables.

- **Changez régulièrement de technique de désherbage (air chaud, brûleur à choc thermique, vapeur, infrarouge, eau chaude, brossage, etc.) et en particulier de méthode (coupe/arrachage, transfert de chaleur par convection, par conduction, par rayonnement).**

L'application exclusive de la même technique curative entraîne en effet des changements de flore. D'une fois à l'autre, les espèces moins sensibles à la technique en question prolifèrent, ce qui rend le traitement au final plus fastidieux et plus cher. Les espèces très velues sont sélectivement favorisées par des techniques thermiques avec transfert de chaleur convectif (air chaud, brûleur à choc thermique ou flamme chaude). L'application exclusive de la technique à l'eau chaude va voir le pissenlit prédominer. Le brossage exclusif creuse les joints toujours plus profondément et les espèces basses à croissance horizontale échappent au traitement. Seul le balayage intensif ne semble pas avoir d'impact négatif lorsqu'il est appliqué de manière exclusive.

- **Evacuez régulièrement (entre les traitements thermiques aussi) la matière organique et la terre.**

Des balayages ou des brossages fréquents avec aspiration rendent les techniques de traitement thermiques plus efficaces et préviennent la formation d'un substrat idéal (humidité suffisante, nutriments).

- **Ne laissez jamais les mauvaises herbes devenir trop âgées ni grandir trop.**

Le traitement thermique des mauvaises herbes fonctionne en effet mieux sur des tissus végétaux jeunes et secs. Plus les mauvaises herbes sont âgées, plus la dose d'énergie nécessaire pour obtenir le même effet sera élevée. Les mauvaises herbes plus âgées présentent des dépôts de cire plus importants ou se lignifient. De plus, la végétation qui a poussé ou les tapis denses de mauvaises herbes peuvent causer un effet parapluie. L'énergie appliquée ne peut pas atteindre tous les tissus dans une mesure suffisante pour les chauffer au-delà de la température létale. Cela signifie aussi qu'un critère esthétique strict (pour autant qu'il soit réalisable par rapport au risque d'apparition des mauvaises herbes – voir l'arbre de décision au chapitre 5) n'aboutit pas nécessairement à un prix de revient plus élevé ou n'a pas un impact environnemental plus néfaste qu'un critère esthétique moins strict. Les revêtements envahis par les mauvaises herbes (score esthétique 2-6) exigent un brossage préalable avec aspiration.

■ **Travaillez sur base de limites de tolérance des mauvaises herbes (score esthétique).**

Il ne faut pas que les séquences de traitement soient déterminées par l'agenda du gestionnaire ou de l'exécutant, mais plutôt par la limite de mauvaises herbes fixée préalablement. Le non-respect des seuils de mauvaises herbes peut entraîner des coûts de traitement et environnementaux plus élevés.

■ **Visez toujours un impact de traitement optimal.**

Cela signifie traitement des parties aériennes de la plante > 80 %. Chaque technique doit toujours être réalisée dans des conditions d'utilisation optimales (voir tableau 4.2) et à une vitesse de progression adaptée.

4.5 Impacts environnementaux et analyse des coûts du désherbage par voie non chimique

4.5.1 Impacts environnementaux

Toutes les méthodes et tous les scénarios de traitement sont une charge pour l'environnement. Pour estimer les impacts sur l'environnement, on peut procéder à une analyse du cycle de vie (ACV). Ainsi, les impacts environnementaux des méthodes de traitement au cours de l'ensemble de la durée de vie (du début à la fin, c'est-à-dire de la production des matières premières au traitement des déchets) sont étudiés. L'impact environnemental global est exprimé par un score ACV (par exemple sur base de la méthode ReCiPe⁽⁴⁾). Le score global est la somme des dix-sept impacts environnementaux qui sont convertis et pondérés en catégories de dégradation. Plus le score ACV est élevé, plus l'impact environnemental est négatif. L'unité fonctionnelle (unité de comparaison) est décrite comme «*désherbage sur 1 ha de revêtement pendant un an pour conserver un aspect esthétique acceptable (score esthétique 7-8)*». Un score ACV indique clairement quels impacts environnementaux contribuent de manière significative à l'impact négatif global. En intervenant à ce niveau, c'est l'impact environnemental global qui peut être amélioré (c'est-à-dire diminué).

Pour les méthodes de traitement curatif non chimique, le *changement climatique*, l'*épuiement fossile* et la *formation de particules fines* ont la plus grande part dans le score global. En premier lieu, il convient donc de diminuer la consommation d'énergie fossile. D'autres facteurs tels que la *destruction de la couche d'ozone*, l'*acidification du sol*, l'*eutrophisation*, la *toxicité pour l'homme* et la *formation de smog* contribuent dans une moindre mesure à l'impact environnemental global. Le changement climatique, la formation de particules fines et l'épuisement fossile vont de pair avec la consommation d'énergie fossile (production et consommation de diesel et LPG pour le fonctionnement de la machine et la propulsion du porte-outils). La production des brosses, de la machine et du porte-outils et le traitement des déchets de balayage et de broissage n'y sont pas pour grand-chose dans le score global.

Le changement climatique (l'effet de serre renforcé) agit sur un certain nombre de mécanismes environnementaux influençant la santé de l'homme et les écosystèmes. Le dioxyde de carbone (CO₂) est le plus connu des gaz à effet de serre, mais le méthane et le protoxyde d'azote (N₂O) contribuent aussi à cet impact environnemental. Par particules fines, on entend les particules plus petites que 10 micromètres flottant dans l'air. Une particule fine se compose de petites particules de taille, origine et composition chimique différentes. En cas d'inhalation, elles sont nocives pour la santé. Chez l'homme, une exposition chronique aux particules fines aggrave les symptômes d'affections respiratoires et de maladies cardiovasculaires, et empêche le développement des poumons chez les jeunes enfants. L'épuisement fossile est relatif à l'utilisation de carburants fossiles et est pondéré avec un facteur supérieur selon qu'il y en a moins sur terre et que leur concentration est inférieure.

4.5.1.1 Impact environnemental des techniques de traitement (par intervention)

Par intervention, la technique à la brosse avec aspiration est celle qui a l'impact environnemental le plus faible, suivie de l'air chaud et du brûlage (qui ont un impact comparable). Le traitement sélectif à l'eau chaude est celui qui a l'impact environnemental le plus élevé (voir figure 4.15). Le score plus élevé pour la technique à l'eau chaude dirigée par capteurs⁽⁵⁾ est lié à la consommation relativement élevée de diesel (pour chauffer l'eau) et aux valeurs d'émission plutôt élevées en particules fines lors de la combustion de

(4) La méthode ReCiPe (version 1.6) est l'une des méthodes de calcul existante avec laquelle des interventions dans l'environnement (comme l'utilisation des terres ou l'émission de substances nocives) sont converties en impacts environnementaux. Des bases et modes de calcul scientifiques pour chacun des impacts environnementaux sont décrits dans le rapport ReCiPe du «Nederlandse Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM)» [24].

(5) Machine WAVE® avec les séries de capteurs 1.0 sans update logiciel 2011.

diesel. Des améliorations technologiques au système de détection des mauvaises herbes et une application encore plus ciblée de l'eau chaude à proximité de la plante peut réduire considérablement l'impact environnemental. Cette technique demande surtout beaucoup d'énergie pour chauffer l'eau. Une diminution de cette consommation engendre aussi un plus faible impact environnemental négatif: une diminution de 50 % de la consommation d'eau, fait diminuer le score de plus de 40 % (42 à 44 %). En outre, le score a une évolution relativement linéaire par rapport à la consommation d'eau. Des améliorations technologiques peuvent également réduire l'impact environnemental négatif pour des techniques convectivo-thermiques ou mécaniques. Des analyses ACV pour le parking expérimental à Sterrebeek ont démontré que l'action du porte-outils dans le score environnemental global pouvait varier énormément (de 10 % à 70 %) en fonction de la méthode utilisée. Il est donc utile de connaître la contribution de ce porte-outils au score global, aussi parce que le type de porte-outils est dans certains cas interchangeable. L'impact environnemental de la consommation de carburant du porte-outils est bien plus important que la production du porte-outils.

Le type de revêtement a très peu d'influence sur l'impact environnemental par intervention, sauf pour la technique à l'eau chaude dirigée par capteur. Cette dernière réalise pour les pavés de béton avec un pourcentage de joints élevé (pavés à joints élargis [15 % joints] et pavés à ouvertures de drainage [12,5 % joints]) un score environnemental sensiblement plus élevé que pour les pavés avec un pourcentage de joints faible (par exemple pavés de béton poreux avec un pourcentage de joints de 6 % – voir figure 4.15). Sur des revêtements de ce type, une croissance végétale plus forte et plus conséquente se produit, ce qui engendre une consommation supérieure d'eau chaude par unité de surface.

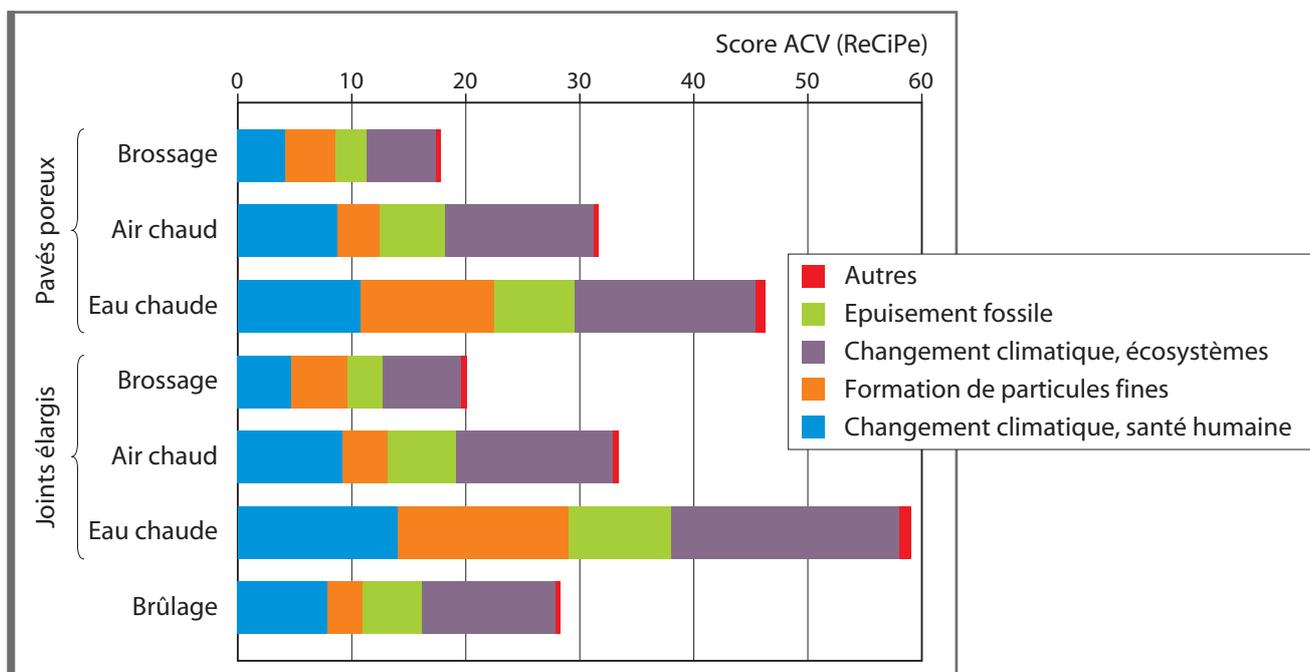


Figure 4.15 Impact environnemental (score ACV sur base de la méthode ReCiPe) par intervention de quatre techniques sur deux types de revêtement en pavés de béton. (En général, dans un Quickscan ACV, les différences inférieures à 25 % entre les scores sont considérées comme non significatives).

Pour réduire l'impact environnemental par intervention, il faut surtout investir dans les développements technologiques réduisant la consommation d'énergie fossile, ce qui implique une augmentation du rendement du transfert d'énergie (pour l'instant à peine 5 à 10 %) du carburant vers la plante. Le *rendement du transfert d'énergie* est le produit du *rendement de conversion d'énergie* (rendement de la conversion du carburant en énergie utilisable pour le traitement des mauvaises herbes) et du *rendement du transfert thermique* (part de chaleur effectivement absorbée par les mauvaises herbes):

$$\text{rendement de transfert d'énergie} = \text{rendement de conversion d'énergie} \times \text{rendement de transfert thermique.}$$

Le rendement de conversion d'énergie atteint entre 9 et 85 %. Il est le plus élevé pour des techniques qui convertissent l'énergie directement à partir d'un carburant fossile en chaleur (par exemple la technique à l'air chaud). Il diminue à mesure que des étapes de conversion supplémentaires sont nécessaires (par exemple le rayonnement infrarouge nécessite la conversion de carburant en chaleur et de chaleur en rayonnement). L'énergie sous forme utilisable (chaleur, rayonnement, etc.) n'est pas complètement absorbée par les mauvaises herbes, mais se perd dans le sol (par exemple par absorption) et dans l'air. De telles déperditions de chaleur peuvent être réduites par une *meilleure isolation* de la source de chaleur (par exemple application d'une couverture de mousse, isolation du capot du brûleur), *réutilisation de l'énergie* (par (re)circulation d'air, mise en place de grilles de rayonnement, etc.) et *traitement ciblé*. Un traitement ciblé peut consister à traiter uniquement les joints ou les mauvaises herbes (par détection visuelle ou dirigée par capteurs). En cas de système de détection de la densité, la flamme ou la vitesse de progression par exemple sont adaptées à la densité de mauvaises herbes.

4.5.1.2 Impact environnemental global d'une saison de croissance

L'impact environnemental global d'une saison de croissance (score annuel) dépend du nombre d'interventions nécessaires pour maintenir un certain aspect esthétique. Dans le cas d'un désherbage curatif, ce sont surtout le scénario de traitement, le type et la composition de la flore, ainsi que les mesures préventives (importance d'une bonne conception, d'une exécution soignée et d'un entretien approprié) qui seront déterminants pour le score global.

■ Influence de la conception

Un plus grand nombre d'obstacles sur le revêtement renforcera l'impact environnemental négatif. A l'inverse, une bonne finition autour des obstacles et/ou une implantation adaptée dans le revêtement (voir chapitre 3) réduira l'influence négative sur l'environnement.

Il s'avère que le score annuel dépend davantage du type de pavé utilisé que du scénario de traitement (voir figure 4.16). Pour obtenir un aspect esthétique acceptable, les pavés de béton poreux exigent beaucoup moins d'interventions que les pavés de béton à joints élargis ou à ouvertures de drainage ou encore que les pavés de béton classiques (voir tableau 4.4).

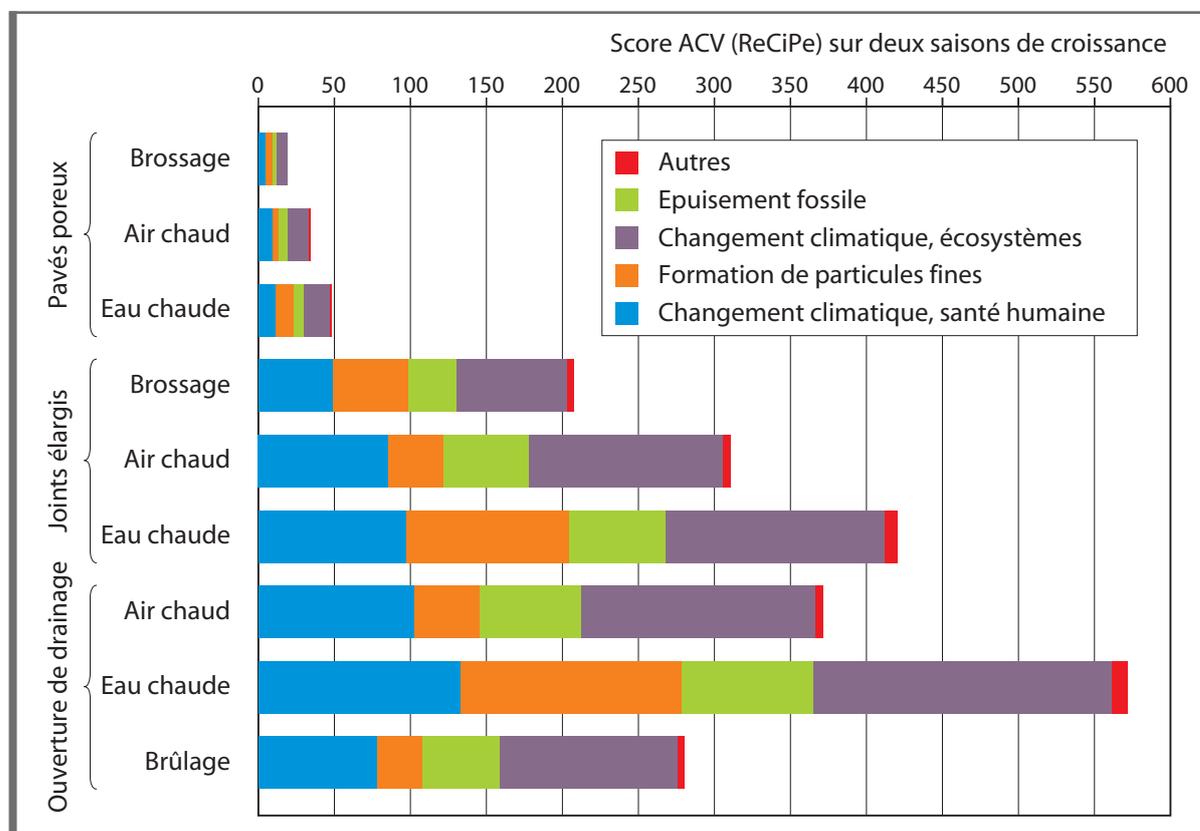


Figure 4.16 Impact environnemental (score ACV sur base de la méthode ReCiPe) sur deux saisons de croissance de plusieurs scénarios de traitement sur trois types de revêtements en pavés de béton (score esthétique = 7-8)

■ Influence des variations saisonnières

L'impact environnemental global peut aussi changer d'une année à l'autre (voir figure 4.17). Ceci s'explique en partie par les conditions météorologiques changeantes et en partie par les changements de flore qui surviennent (voir ci-dessous). La figure 4.17 indique le score annuel pour les différents scénarios de traitement sur les pavés de béton à joints élargis. En 2011, l'impact environnemental était supérieur pour tous les scénarios par rapport à 2010. Une année aux précipitations généreuses, chaude (2011) favorise la croissance de la végétation, contrairement à une année froide et sèche (2010).

■ Influence du système de traitement

Les scores environnementaux à la figure 4.17 subissent aussi l'influence des changements de flore suite à l'utilisation exclusive d'une technique de traitement. Ceci se manifeste clairement lors de l'application exclusive de la technique à l'eau chaude, où la proportion de pissenlit dans la flore totale a augmenté avec le nombre d'interventions. En 2010, l'impact environnemental de la technique sélective à l'eau chaude était, comparativement à d'autres méthodes thermiques, le plus bas sur les pavés de béton à joints élargis. Un an plus tard toutefois, l'impact est le plus élevé. Ceci démontre à nouveau que l'application d'une technique unique de traitement a finalement un impact environnemental plus négatif qu'une alternance de différentes techniques de traitement. Ce n'est pas tant la technique de traitement que son utilisation qui est déterminante pour l'impact environnemental final.

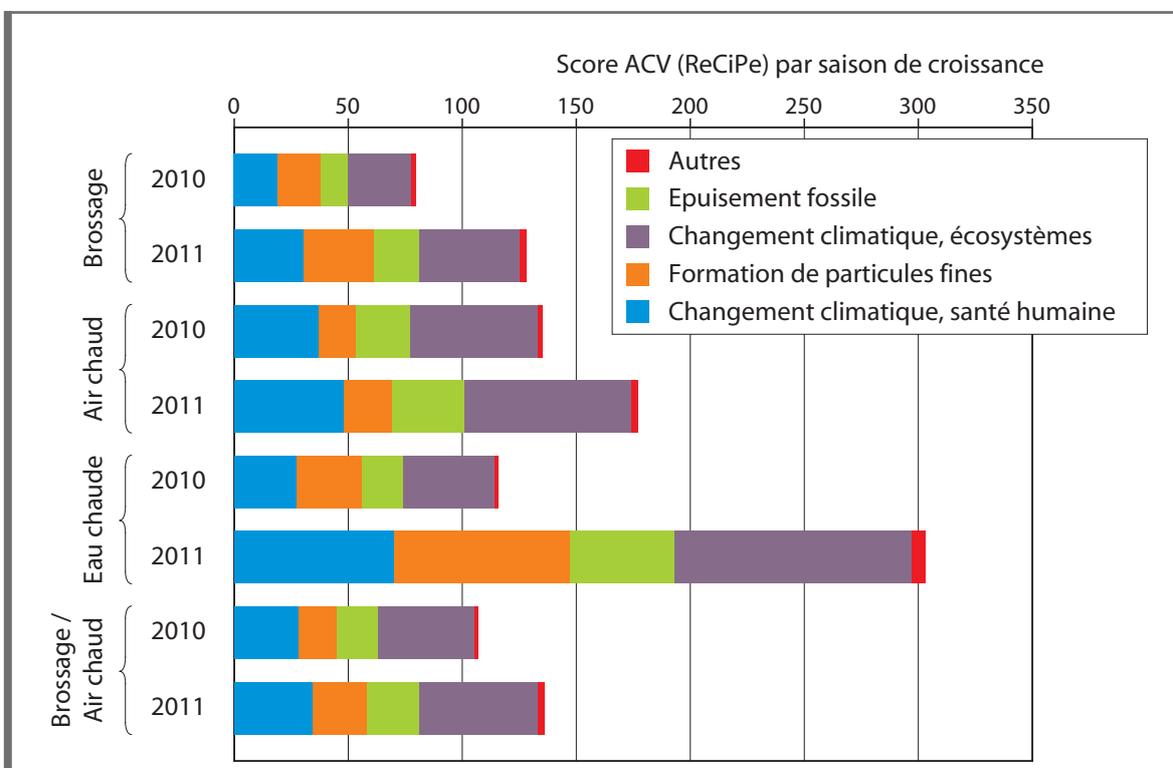


Figure 4.17 Impact environnemental annuel (score ACV sur base de la méthode ReCiPe) de différents scénarios de traitement (trois scénarios avec application exclusive du brossage, de l'air chaud et de l'eau chaude, et un scénario avec application alternée du brossage et de l'air chaud) sur des pavés de béton à joints élargis (score esthétique 7-8)

■ Influence de la dose d'énergie administrée

En cas d'application d'une dose d'énergie plus faible, suboptimale (ou vitesse de travail plus élevée) l'impact environnemental par intervention est plus faible que pour une dose d'énergie plus élevée, optimale. Pour une saison de croissance complète, l'impact environnemental n'en est toutefois pas plus faible. Si le traitement contre les mauvaises herbes n'est pas suffisant, un nouveau traitement s'avère vite nécessaire, ce qui augmente la fréquence de traitement. Lorsqu'on détermine la dose d'énergie optimale, le type de mauvaise herbe doit occuper une place centrale. Toutes les espèces de plantes n'ont en effet pas la même sensibilité aux techniques thermiques ou mécaniques (voir § 4.4.1).

■ Influence du score esthétique

A terme, viser un score esthétique plus faible n'a pas un impact environnemental plus faible (voir figure 4.18). Comme déjà mentionné sous le § 4.4.1, un score esthétique plus strict n'exige pas une fréquence de traitement supérieure par rapport à un score esthétique plus souple parce que le traitement de tissus végétaux jeunes est plus efficace.

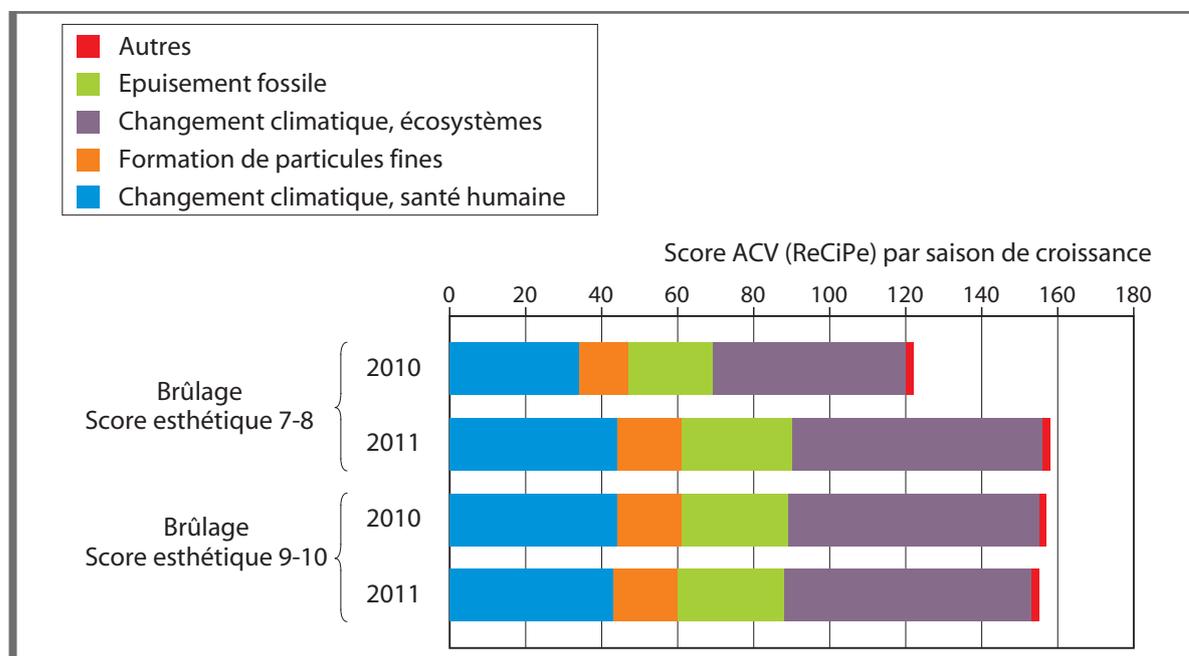


Figure 4.18 Influence du score esthétique visé sur l'impact environnemental annuel du traitement exclusif par brûlage pour les scores esthétiques 9-10 (classe esthétique A) et 7-8 (classe esthétique B)

■ 4.5.2 Analyse des coûts

Une analyse des coûts du traitement alternatif, non chimique des mauvaises herbes a été réalisée pour les scénarios de traitement mis en œuvre sur le parking expérimental à Sterrebeek [22, 23]. A cet effet, les coûts de *main-d'œuvre* (salaire horaire fixe), de *consommation d'énergie* (diesel et/ou LPG), d'*amortissement* de la machine (c'est-à-dire la valeur de remplacement sans le porte-outils), d'*entretien* et d'*assurance* (comme pourcentage fixe de la valeur de remplacement), et de *traitement des déchets de balayage et/ou de broissage* sur base des mesures effectuées ou des informations collectées ont été portés en compte. La consommation du porte-outils est reprise dans ce calcul mais pas l'investissement de celui-ci. Le porte-outils est en effet interchangeable et peut en général aussi être utilisé à d'autres fins. Pour les scénarios et les types de pavé où on n'a pas procédé à un broissage intensif (avec aspiration), les frais de main-d'œuvre ont été pris en compte tout comme la consommation d'énergie pour le balayage annuel (à la fin de la saison de croissance pour aborder l'hiver «proprement»), afin de conserver une comparaison honnête.

Il s'agit ici de frais pour l'exécutant qui dispose des machines. La valeur n'est donnée ici qu'à titre *indicatif* car, dans la pratique, le prix de revient du désherbage est aussi influencé par d'autres facteurs (présence d'obstacles, frais administratifs, sous-traitance, etc.). Cette analyse dresse une comparaison relative des scénarios de traitement potentiels et indique où il est possible de réaliser la plus grande économie.

La figure 4.19 montre que le prix de revient moyen par intervention, de l'ordre de 4 eurocents par mètre carré, est très comparable pour le broissage avec aspiration, le traitement à l'air chaud ⁽⁶⁾ (avec balayage) et le traitement alterné broissage/air chaud, et qu'il est dominé par les coûts de la main-d'œuvre et la consommation d'énergie, quel que soit le type de pavé. Le prix de revient de la technique à l'eau chaude (avec un balayage) est environ 25 % plus élevé avec un ordre de grandeur de cinq eurocents par mètre carré. Ce prix de revient supérieur s'explique principalement par la consommation de carburant plus élevée et la valeur d'investissement supérieure. Vu la différence en consommation d'eau, le type de pavé joue ici un rôle (tout comme pour l'impact environnemental – voir § 4.5.1).

⁽⁶⁾ Le coût moyen par traitement pour le brûlage à choc thermique était également comparable à celui de l'air chaud dans le cas des pavés à ouvertures de drainage et à une dose d'énergie comparable (ED80).

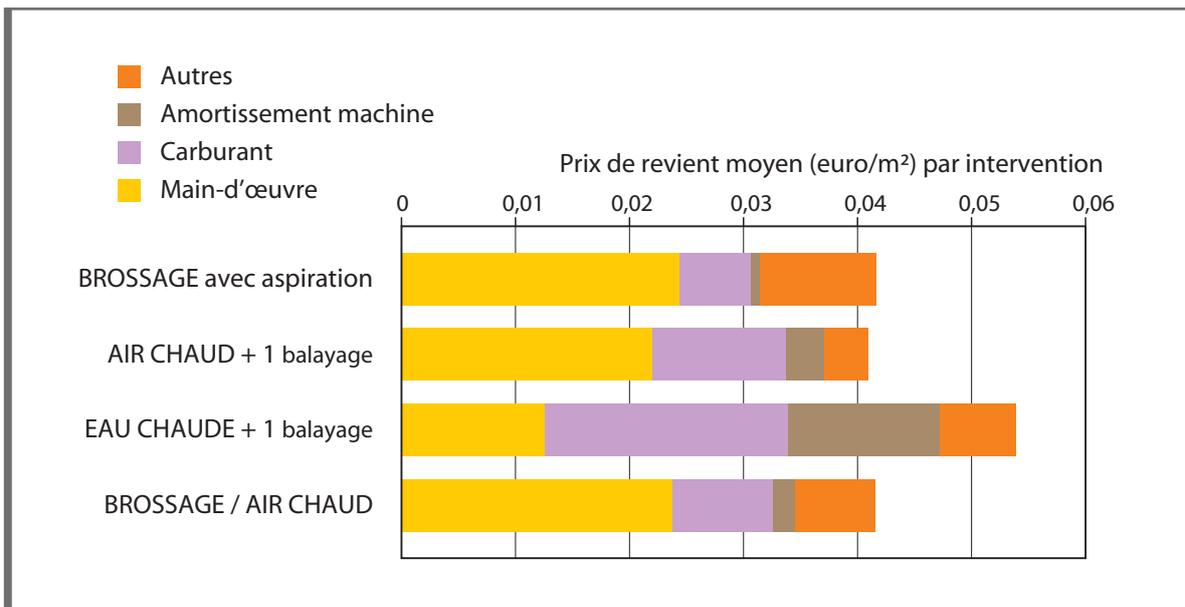


Figure 4.19 Prix de revient moyen (euro/m²) par intervention pour différents scénarios de traitement sur un revêtement en pavés de béton à joints élargis, subdivisé en différents types de frais (main-d'œuvre, carburant, amortissement de la machine et autres). Les techniques ont été appliquées à une dose d'énergie comparable (ED80).

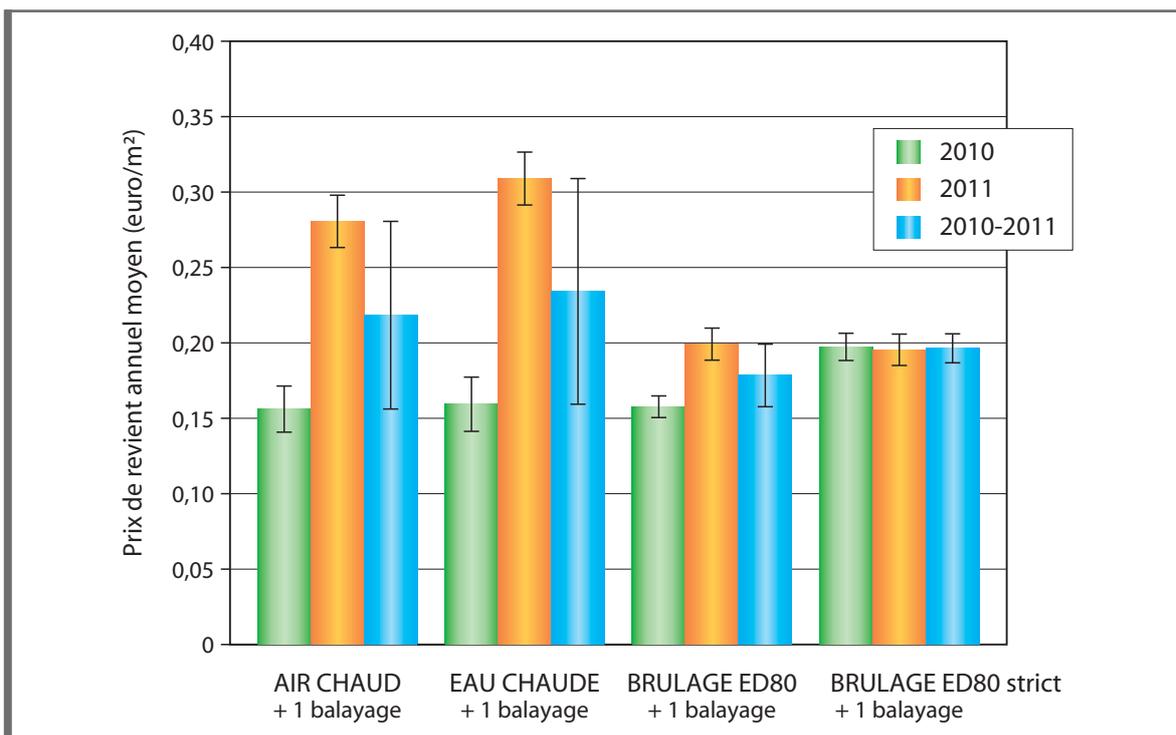


Figure 4.20 Prix de revient global annuel moyen (euro/m²) pour différents scénarios de traitement sur un revêtement en pavés de béton à ouvertures de drainage (strict = score esthétique 9-10, autres = score esthétique 7-8)

La figure 4.20 montre que le prix de revient global par an dépend de la fréquence de traitement. Elle est très différente pour 2010 et 2011, en raison des impacts saisonniers et des changements de flore (voir § 4.5.1). Pour les deux années expérimentales ensemble (2010 et 2011), le prix de revient total moyen par an est comparable pour tous les scénarios où les techniques ont été appliquées à une dose d'énergie acceptable (ED80). Le prix de revient comparable pour la méthode à l'eau chaude s'explique par une fréquence de traitement globale inférieure sur les deux années expérimentales (environ 20 %). Les frais annuels les plus

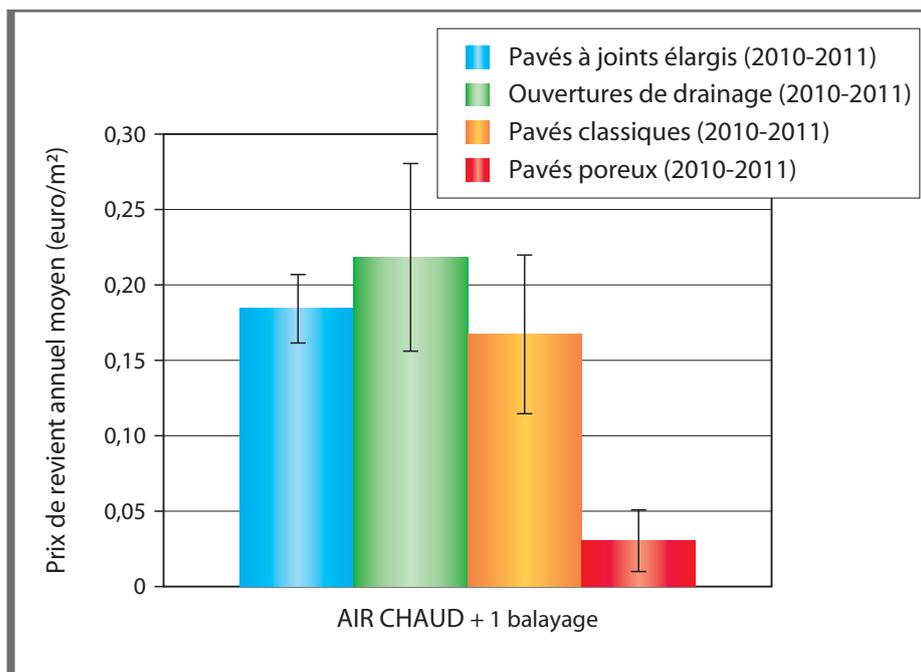


Figure 4.21 Comparaison du prix de revient annuel moyen (euro/m².an) pour différents types de pavés avec traitement unilatéral à l'air chaud

faibles sont atteints par le brûlage avec une dose d'énergie inférieure, aussi grâce à la fréquence de traitement qui n'a pas (fortement) augmenté. A plus long terme, les coûts dans ce cas vont peut-être augmenter de manière drastique (voir évolution 2010-2011), parce que l'efficacité du traitement va diminuer et que la fréquence va devoir augmenter si l'on veut conserver le même aspect (voir § 4.4.1). En appliquant une limite de mauvaises herbes (score esthétique) plus stricte (9-10 ou catégorie esthétique A), le prix de revient annuel moyen est le plus constant sur les deux années expérimentales parce que la fréquence de traitement ne change que très légèrement. Ces constatations confirment la conclusion lors de la discussion de l'impact environnemental: pour un désherbage curatif qui soit *durable et rentable* à long terme, il est conseillé d'alterner les techniques et de viser un score esthétique élevé, pour autant que le risque d'apparition des mauvaises herbes le permette.

Les plus grandes différences dans les coûts annuels se présentent lors de la comparaison du même scénario de traitement pour différents types de pavé (voir par exemple pour l'air chaud à la figure 4.21). Ceci s'explique par la fréquence de traitement plus élevée pour les pavés à ouvertures de drainage ou à joints élargis et les pavés classiques (avec matériau de jointoiement classique, non lié – voir tableau 4.4). Les économies les plus importantes peuvent donc être réalisées en combinant judicieusement des mesures *préventives* (par exemple le choix du type de pavé, de la couche de pose et/ou du matériau de jointoiement) et des scénarios de désherbage *curatif* afin de réduire la fréquence de traitement exigée pour obtenir un aspect esthétique acceptable.

4.6 Autres aspects

Outre l'efficacité, l'impact environnemental et le prix de revient, d'autres aspects entrent également en ligne de compte dans le choix des techniques de désherbage au sein d'un système de traitement bien défini. Ces aspects sont décrits brièvement dans les points qui suivent.

4.6.1 Considérations esthétiques

L'application de techniques de traitement (par exemple brosse et brûlage) ne peut bien entendu pas endommager le revêtement (par exemple changements de couleur ou rayures sur les revêtements sensibles en pierre naturelle). Pour cette raison, l'applicabilité des techniques est parfois limitée (voir tableau 4.2).

L'étude sur le parking expérimental en *pavés de béton* à Sterrebeek a démontré que deux ans de traitement des mauvaises herbes à l'aide de différents scénarios de traitement [23] n'ont pas engendré une usure

significative. Après nonante brossages intensifs et continus, la perte d'épaisseur mesurée n'était que de 0,2 mm par pavé. Si l'on part d'une durée de vie standard de vingt ans, l'usure est insignifiante.

Des mesures de couleur indiquent cependant un certain nombre de changements intéressants. Ainsi, les zones traitées à l'eau chaude montrent une tendance légèrement à la hausse pour la clarté des pavés. Ceci met l'accent sur l'effet «nettoyant» lors de l'utilisation continue de la technique à l'eau chaude, différence qui est aussi clairement visible (voir figure 4.22). Autre fait remarquable: la verdurisation à l'automne des zones à pavés poreux, probablement due à la croissance accrue de la mousse sur la surface de ces pavés à cette période de l'année.



Figure 4.22 Impact des traitements à l'eau chaude sur la clarté des pavés. Comparaison visuelle avec photo, prise le 4 août 2011.

4.6.2 Perméabilité et traitement des mauvaises herbes dans le temps

Pour étudier l'influence potentielle de l'apparition de mauvaises herbes et du désherbage correspondant sur la drainabilité, l'évolution de ce paramètre (k , en m/s) dans le temps a également été suivie sur le parking expérimental à Sterrebeek. La figure 4.23 donne les résultats pour la drainabilité des différentes zones d'essai. Les valeurs pour 2012 semblent s'être stabilisées au même niveau que juste avant le début du traitement des mauvaises herbes sur le parking expérimental (mai 2010).

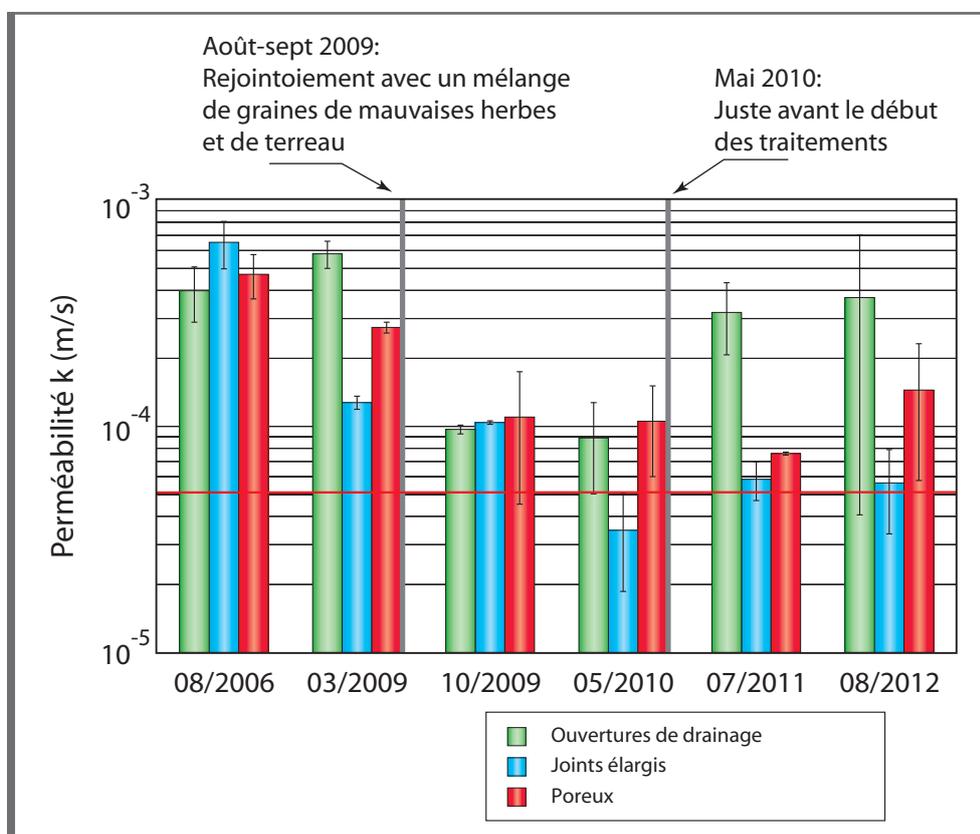


Figure 4.23 Mesures de perméabilité sur le parking expérimental du CRR à Sterrebeek

Comparativement aux mesures réalisées avant rejointoiement du parking (octobre 2009) avec un mélange de matériau de jointoiement, de matière organique et d'une sélection de semences de mauvaises herbes, une tendance à la baisse est perceptible (malgré une dispersion parfois très grande des mesures pour le même type de pavé). Cette diminution peut être en partie causée par la *pollution* (voir mesures d'octobre 2009), ce qui arrivera aussi généralement dans la pratique, et en partie par les mauvaises herbes qui se développent (voir mesures de mai 2010). Après un peu plus de deux ans de traitement des mauvaises herbes (2010-2012), la drainabilité semble s'être plus ou moins stabilisée. Certaines valeurs individuelles tombent il est vrai en deçà de la valeur de conception pour les pavages drainants ($5,4 \times 10^{-5}$ m/s [10]), mais en règle générale, la perméabilité reste, malgré la prolifération des mauvaises herbes, à un niveau tout à fait acceptable ($> 3 \times 10^{-5}$ m/s).

4.6.3 Perte du matériau de jointoiement

Comme déjà mentionné au § 4.3, le broissage n'est pas indiqué sur des revêtements avec des joints très larges, non liés, parce que dans ce cas le matériau de jointoiement peut alors être expulsé du joint. Même pour d'autres types de revêtement, un simple broissage continu peut vider les joints, lentement, mais sûrement. Pour contrôler cet effet, après les deux années d'essai, la profondeur de joint a été mesurée sur le parking expérimental à Sterrebeek pour toutes les zones à joints élargis (voir figure 4.24).

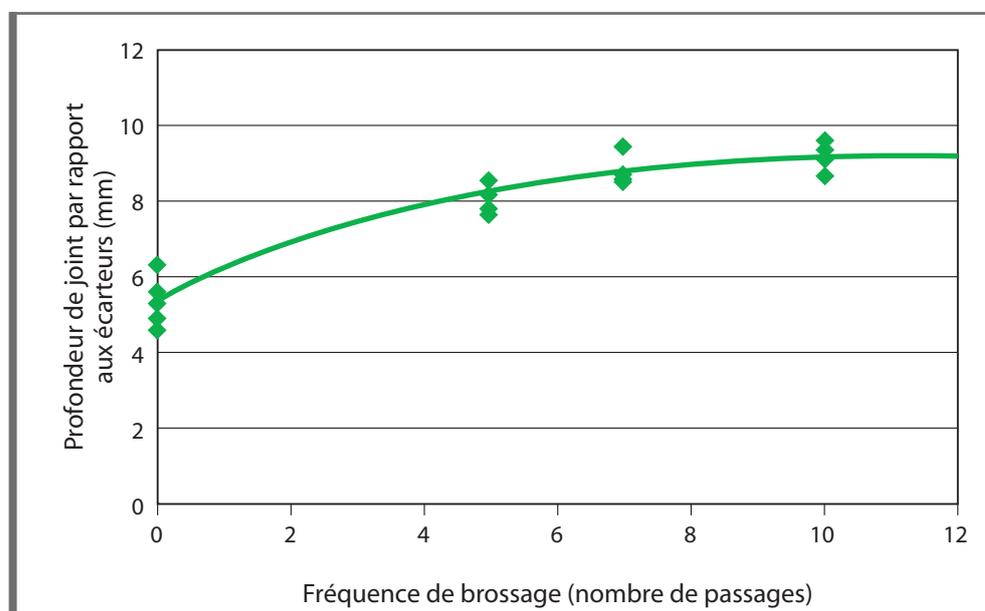


Figure 4.24 Influence de la fréquence du broissage sur la profondeur de joint mesurée sur des pavés à joints élargis

Les profondeurs de joint mesurées (par rapport à l'écarteur) sont une mesure de la quantité de matériau de jointoiement expulsé des pavés à joints élargis par broissage. Il s'avère que le broissage exclusif enlève énormément de matériau de jointoiement: 2 à 3 mm en plus après neuf à dix broissages. Cette tendance s'estompe avec le temps, à mesure que la quantité de matériau de jointoiement déjà expulsée augmente. Le matériau de jointoiement situé plus en profondeur devient alors plus inaccessible pour les poils de la brosse. Ceci signifie toutefois aussi que l'impact du broissage exclusif sur le désherbage diminue probablement dans le temps. Ceci plaide à nouveau en faveur d'une application combinée de différentes techniques curatives pour garantir à long terme une gestion durable des mauvaises herbes.

Chapitre 5

Arbre de décision pour la gestion et la maîtrise des mauvaises herbes sur les revêtements modulaires

Ce chapitre explique l'arbre de décision établi pour le processus de gestion et de maîtrise des mauvaises herbes sur les revêtements semi-ouverts. Son contenu repose sur les informations des chapitres précédents ainsi que sur les résultats du projet de recherche VISCO 070670 *Onkruidbeheer: preventieve en curatieve methodes voor een optimaal straatbeeld* réalisé pendant quatre ans par le CRR et l'unité *Plantaardige productie* de l'UGent, avec le soutien de l'IWT-Vlaanderen. Cet arbre de décision suit aussi bien que possible la problématique telle qu'elle se présente in situ, afin que l'utilisateur puisse opérer ses choix en matière de mesures préventives et curatives, rapidement et simplement, sans devoir lire l'ensemble du code de bonne pratique. Le chapitre 5 peut être lu et utilisé indépendamment des autres chapitres plus détaillées.

5.1 Paramètres caractéristiques

Les étapes pour les choix à faire dans l'arbre de décision reposent sur un certain nombre de paramètres caractéristiques: *type de pavé*, *score de conception*, *score esthétique* et *risque d'apparition de mauvaises herbes*.

5.1.1 Type de pavé

Le type de pavé est principalement caractérisé par la largeur et le pourcentage de joints et/ou par la drainabilité (voir plus loin au § 5.4.1) et constitue un paramètre important dans la lutte contre les mauvaises herbes aussi bien au niveau des revêtements existants que neufs.

5.1.2 Score de conception

Le score de conception traduit la qualité de la conception et/ou de l'exécution d'un revêtement (voir § 2.1.5). Pour son calcul, on s'appuie sur l'évaluation de six caractéristiques de conception par l'attribution d'un score 0 ou 1 en réponse à de simples questions oui/non (OUI = 0; NON = 1).

	<p>Catégorie A Végétation adjacente</p>		<p>Catégorie D Obstacles</p>	
				
	<p>Catégorie B Finition des bords</p>		<p>Catégorie E Contrebutage</p>	
				
	<p>Catégorie C Affaissements / Inégalités</p>		<p>Catégorie F Filet d'eau en éléments modulaires</p>	
				

Question		Réponse (OUI = 0; NON = 1) (I)	Pondération (II)	Score partiel pondéré (I)x(II)
A	Y a-t-il de la végétation adjacente?	_____	x 0,21 =	_____
B	La finition des bords montre-t-elle des défauts (éléments plus petits que des demi-pavés, pas d'assise de panneresses, largeur de joint excessive)?	_____	x 0,19 =	_____
C	Le revêtement montre-t-il des affaissements ou des inégalités?	_____	x 0,17 =	_____
D	Présence d'obstacles dans le revêtement?	_____	x 0,17 =	_____
E	Absence de contrebutage efficace?	_____	x 0,14 =	_____
F	Y a-t-il un filet d'eau adjacent en éléments modulaires?	_____	x 0,12 =	_____
Score global de conception				_____

Tableau 5.1 Méthode de calcul du score global de conception sur base des scores partiels pondérés pour les critères de conception A à F

L'addition des scores partiels pondérés pour les six caractéristiques de conception donne le score global de conception (entre 0 et 1). Un score global plus élevé correspond à une meilleure conception et/ou une meilleure exécution. Pour un revêtement neuf, à concevoir, le score de conception est généralement très élevé. Pour des revêtements existants, il faut une évaluation annuelle du score en fonction de l'état actuel du revêtement.

5.1.3 Score esthétique

Le score esthétique (voir § 2.1.2) traduit l'aspect visuel du revêtement en fonction du taux de présence de mauvaises herbes. Il est déterminé en se basant sur la hauteur de la végétation et le pourcentage de recouvrement des joints. Un score esthétique ne peut être calculé que pour un revêtement existant et doit être évalué chaque année au printemps en fonction de l'état actuel du revêtement.

Recouvrement des joints	Hauteur de la végétation				
	< 1 cm	1 - 3 cm	4 - 6 cm	7 - 10 cm	> 10 cm
1 - 6 %	10	9	8	7	6
6 - 16 %	10	8	7	6	5
16 - 26 %	10	7	6	5	4
26 - 51 %	10	6	5	4	3
51 - 100 %	10	5	4	3	2

Tableau 5.2 Détermination du score esthétique lié à la présence de mauvaises herbes sur les revêtements

5.1.3.1 Méthode de mesure

Partant de la hauteur de végétation moyenne et du recouvrement moyen du joint (pourcentage de la surface du joint recouverte de mauvaises herbes) au tableau 5.2, on peut déterminer le score esthétique d'un revêtement. Comme valeurs pour la hauteur de végétation et le recouvrement du joint, on prend la moyenne arithmétique des hauteurs de végétation et des pourcentages de recouvrement déterminés dans quinze quadrants de mesure de 1 m x 1 m déposés au hasard dans une zone de mesure de 100 m² d'un seul tenant ou dans cinq sections de mesure distinctes de 20 m² chacune. Il convient d'échantillonner le revêtement de manière représentative, en largeur et en longueur:

1. trottoir ou piste cyclable: déposer un nombre proportionnel de quadrants des deux côtés (y compris la végétation linéaire) et au milieu du revêtement;
2. parking: échantillonner la surface de manière représentative dans la zone de mesure (donc aussi déposer un nombre proportionnel de quadrants près des bords et au milieu).

La zone de mesure est de préférence la zone du revêtement qui compte le plus de mauvaises herbes. Des déterminations successives du score esthétique pendant la même saison de croissance doivent être réalisées dans la même zone de mesure.

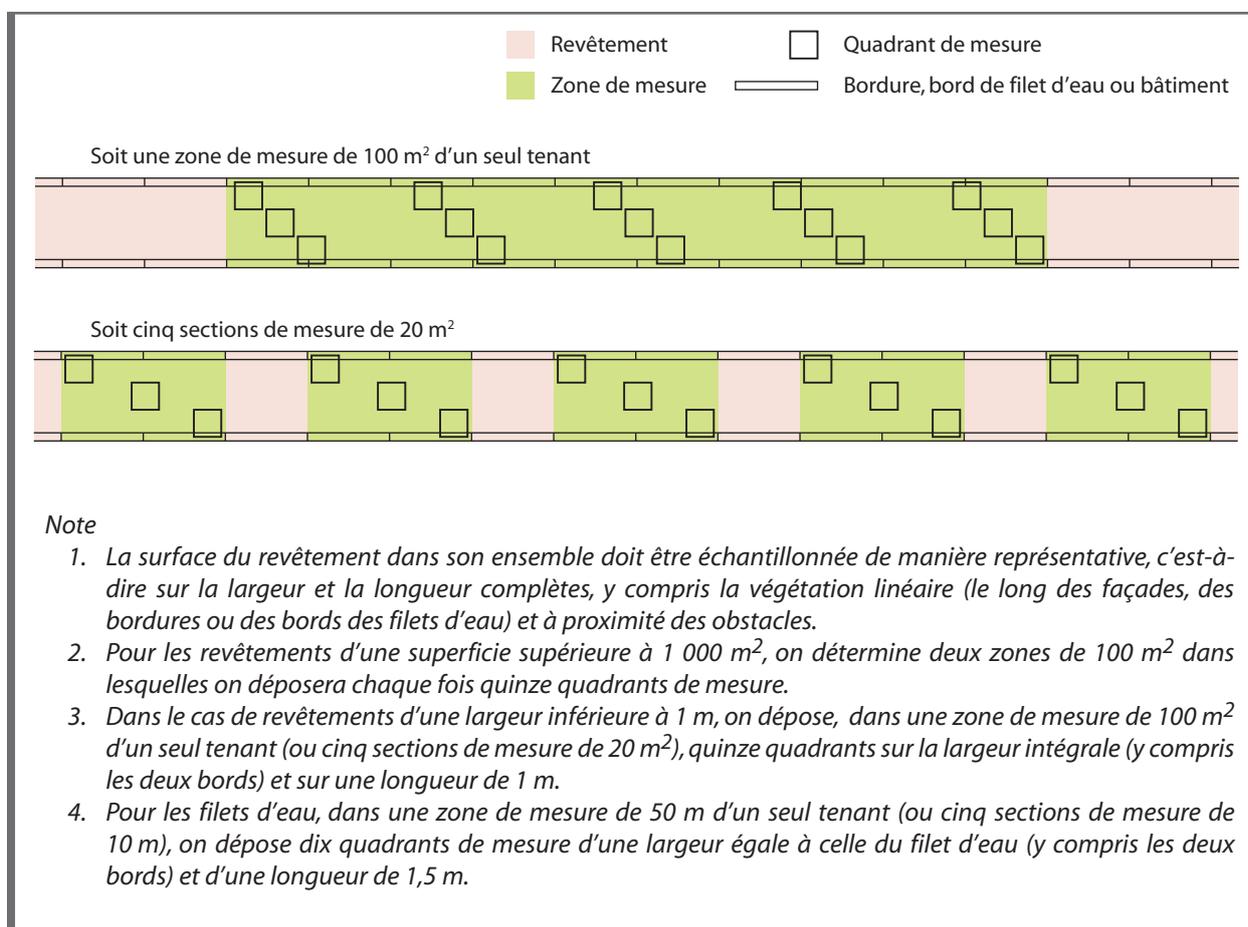


Figure 5.1 Méthode de mesure pour la détermination du score esthétique

Le score esthétique est exprimé sur une échelle de 2 à 10, où 10 est la situation où il y a le moins de mauvaises herbes. En principe, il est toujours possible d'ajouter un score esthétique, notamment 10+ = pas de mauvaises herbes. Des scores esthétiques supérieurs correspondent donc à une meilleure qualité de l'aspect visuel.

5.1.4 Risque d'apparition de mauvaises herbes

Le risque d'apparition de mauvaises herbes dépend de plusieurs facteurs (voir chapitre 2). Il peut être estimé pour un revêtement existant ou neuf (voir § 2.2) sur base de trois paramètres clés (score de conception, largeur de joint et intensité d'utilisation).

■ **Score de conception** (voir § 5.1.2)

Le score de conception est calculé sur base des scores de six caractéristiques de conception (voir tableau 5.1) et est exprimé par un score global compris entre **0 et 1**.

Ce score reflète la qualité de la conception technique (entre autres la présence d'obstacles, d'un contre-butage, etc.) et tient compte de la présence de végétation adjacente comme une bande de verdure, de gazon, des bernes, un bois ou une rangée d'arbres. Les aménagements verts adjacents peuvent entraîner la pollution du revêtement par des mauvaises herbes ou de la matière organique. La pollution organique peut survenir *directement* en raison de la croissance de mauvaises herbes à rhizomes (réseau de racines souterraines) ou du débordement de la végétation adjacente (par exemple, renouée des oiseaux et trèfle blanc), ou indirectement suite à la chute des feuilles, aux déchets de fauche qui s'envolent, etc.

Un *score plus élevé* correspond à un meilleur état du revêtement et donc à un *risque plus faible* d'apparition de mauvaises herbes. Pour un revêtement neuf, à concevoir, le score de conception est a priori généralement très élevé. Pour des revêtements existants, le score doit être évalué annuellement sur base de l'état actuel du revêtement.

■ **Largeur de joint** (pour des revêtements existants et des revêtements neufs à concevoir)

Le risque d'apparition de mauvaises herbes est plus ou moins inversement proportionnel à la largeur des joints. Le score de risque peut être exprimé comme **1/largeur de joint** (1/mm), ce qui pour des largeurs de joint entre 1 et 15 mm correspond à un score entre **1 et 0**. Pour les revêtements modulaires

	Point de mesure 1	Point de mesure 2	Point de mesure 3
Pavé 1			
Pavé 2			
Pavé 3			

Surface zone S	Nombre de points de mesure	Nombre de pavés par point de mesure	Nombre de mesures de joint longitudinal/joint transversal par pavé
$S < 250 \text{ m}^2$	3 par 10 m de longueur	3 par m de largeur	4/2
$250 < S < 750 \text{ m}^2$	5 par 30 m de longueur	3 par m de largeur	4/2
$S > 750 \text{ m}^2$	9 par 50 m de longueur	3 par m de largeur	4/2

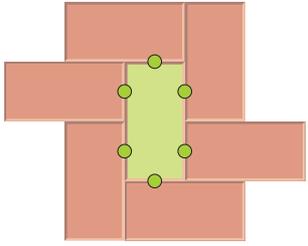


Tableau 5.3 Méthode de détermination de la largeur de joint moyenne d'un revêtement existant. Les pavés verts représentent par exemple les points de mesure. Il s'agit de seuils recommandés pour une estimation correcte de la largeur de joint. Pour des surfaces supérieures à 750 m^2 , cette méthode de calcul ne doit pas être appliquée à l'infini, mais le nombre maximal de pavés à mesurer peut être déterminé en fonction du bon sens, donnant une idée représentative de la largeur de joint.

avec ouvertures de drainage (à angle droit ou arrondies), le score de risque est calculé comme l'inverse de la largeur maximale (mm) de l'ouverture (par exemple, le diamètre pour les ouvertures arrondies). Pour les pavés à joints élargis ou les pavés à ouvertures de drainage rondes ou à angle droit d'une largeur maximale supérieure à 15 mm, on prend un score = 0. Pour les revêtements neufs à concevoir, on prend la valeur de conception. Pour un revêtement existant, la largeur de joint moyenne est calculée à l'aide du tableau 5.3.

■ **Intensité d'utilisation**

Sur base du nombre de passages journaliers et de la fonction principale du revêtement, on distingue trois classes d'intensité d'utilisation: *élevée, modérée et faible*.

Classe d'intensité d'utilisation	Trottoir (passages/ m largeur/jour)	Piste cyclable (passages/ m largeur/jour)	Parking (véhicules entrants et sortants/200m ² /jour)	Score partiel pour l'intensité d'utilisation
ELEVEE	> 1 200	> 2 000	> 20	1
MODEREE	600 à 1 200	1 000 à 2 000	10 à 20	0,5
FAIBLE	< 600	< 1 000	< 10	0

■ **Tableau 5.4** Classes d'intensité d'utilisation sur base du passage et de la fonction principale du revêtement, et score partiel correspondant du risque d'apparition de mauvaises herbes. Uniquement valable pour les revêtements des catégories de trafic III et IV.

Cette répartition ne s'applique qu'aux revêtements des catégories de trafic III et IV (voir tableau 1.1), où un score partiel 1 - 0,5 - 0 est attribué, en fonction de la classe d'intensité d'utilisation (voir tableau 5.4). Un score plus élevé (= intensité d'utilisation supérieure) correspond donc à un risque moins important d'apparition de mauvaises herbes.

Pour la détermination de l'intensité d'utilisation, on part de l'intensité d'utilisation escomptée (revêtements neufs) ou actuelle (revêtements existants).

Un score de conception bas, des joints (plus) larges et une intensité d'utilisation faible augmentent donc fortement le risque d'apparition de mauvaises herbes. Sur base des scores partiels pour les paramètres clés, que sont la *conception*, la *largeur des joints* et l'*intensité d'utilisation*, une addition pondérée peut être faite pour obtenir un **score global de risque** (voir figure 5.2). Les poids (0,4 pour la conception, 0,4 pour la largeur de joint et 0,2 pour l'intensité d'utilisation) expriment l'importance des trois paramètres clés pour le risque global d'apparition de mauvaises herbes. Ceci s'applique toutefois **uniquement** aux revêtements des **catégories de trafic III et IV**. Pour les revêtements des catégories de trafic I et II (par exemple *chaussée*), on part du principe que l'intensité de trafic est tellement élevée que le risque d'apparition de mauvaises herbes reste très faible.

Plus le score global de risque est élevé, plus le risque d'apparition de mauvaises herbes est faible pour le revêtement considéré. En outre, un certain nombre de valeurs pivots sont fixées pour l'estimation du niveau global de risque:

Score global de risque	Niveau de risque
< 0,3	ELEVE
0,3 à 0,6	MODERE
> 0,6	FAIBLE

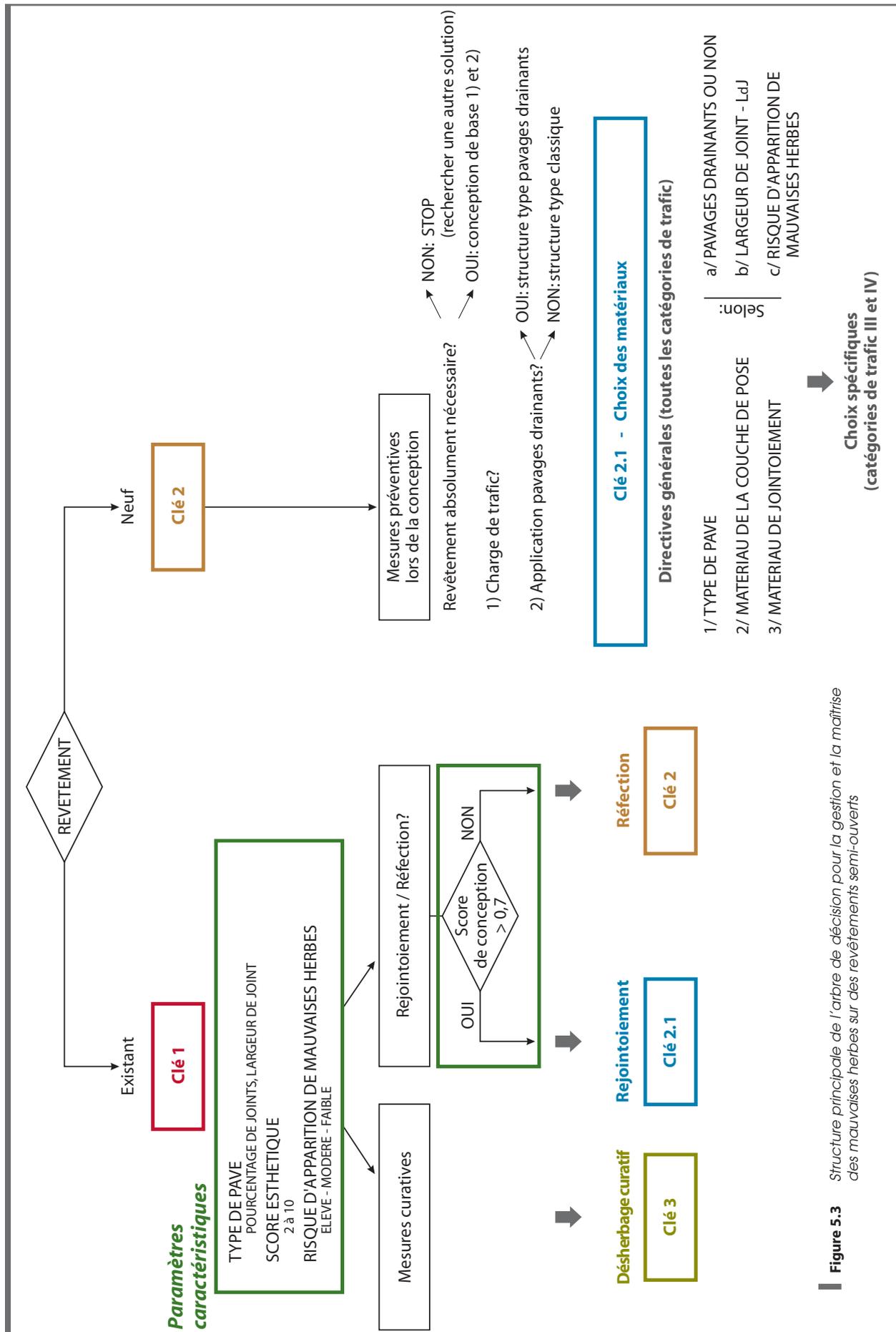


Figure 5.3 Structure principale de l'arbre de décision pour la gestion et la maîtrise des mauvaises herbes sur des revêtements semi-ouverts

5.3 Clé 1 – Revêtement existant

Pour un revêtement existant, une nouvelle conception n'est pas nécessaire, mais il faut poser la question suivante (voir figure 5.4): *désherbage curatif ou rejointoiement/réfection?*

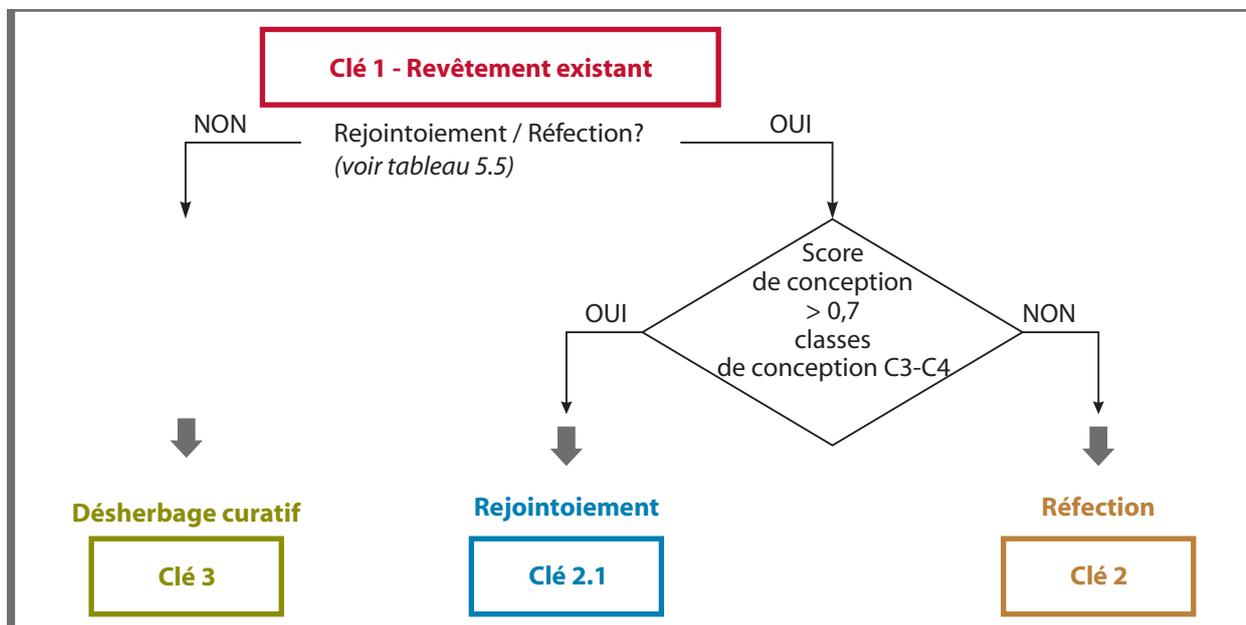


Figure 5.4 La clé 1 dans l'arbre de décision est d'application pour un revêtement existant

A cet effet, les aspects suivants doivent être analysés:

- le(s) revêtement(s) montre(nt)-il(s) des affaissements et des inégalités? De tels défauts mettent non seulement le confort des usagers et la stabilité du revêtement en péril, mais stimulent également l'apparition des mauvaises herbes. D'autres facteurs de risque peuvent être la perte de fonctionnalité, des joints trop ouverts, trop peu de passage, etc.
 - *risque élevé d'apparition de mauvaises herbes (par exemple score de risque < 0,3?)*
- de nombreux problèmes de présence de mauvaises herbes se posent-ils ou l'aspect esthétique désiré est-il difficile à maintenir?
 - *mauvaise qualité visuelle (par exemple score esthétique < 5?)*
- le type de pavé (pavés classiques, pavés poreux, pavés à joints élargis ou à ouvertures de drainage);
- les frais de désherbage sont-ils déraisonnablement élevés? Il est peut-être utile de les comparer aux frais de rejointoiement ou de réfection.

Le choix du rejointoiement ou de la réfection (voir aussi tableau 5.5) dépend du risque actuel d'apparition de mauvaises herbes (niveau de risque: *élevé, modéré* ou *faible* – voir figure 5.2), du taux de présence de mauvaises herbes (score esthétique: 2-10 – voir tableau 5.2), et partiellement aussi du type de pavé, du pourcentage de joints correspondant, de la largeur de joint correspondante (pour les matériaux de jointoiement classiques, non liés!) et du type de flore présent.

Type de pavé	Risque d'apparition de mauvaises herbes	Score esthétique initial	Type de flore présent
Pavés classiques ou poreux Largeur de joint à la conception < 6 mm Pourcentage de joints < 10 %	ELEVE	< 5	Pas de flore annuelle
	MODERE	< 5	Flore extrêmement tenace
Pavés à joints élargis ou larges ou à ouvertures de drainage Largeur de joint à la conception > 6 mm Pourcentage de joints > 10 %	ELEVE	< 7	Pas de flore annuelle en cas de joints élargis ou larges Tous les types de flore en cas d' ouvertures de drainage
		< 5	Tous les types de flore
	MODERE	< 5	Pas de flore annuelle

Tableau 5.5 Détermination de la nécessité de rejointoiement/réfection d'un revêtement existant (pour des matériaux de rejointoiement classiques non liés!)

Si les quatre conditions (type de pavé, risque d'apparition de mauvaises herbes, score esthétique et type de flore présent) du tableau ci-dessus sont remplies, le rejointoiement/la réfection est recommandé(e).

La réponse est **NON**? Allez à la **clé 3 DESHERBAGE CURATIF**.

La réponse est **OUI**? Le **score de conception** actuel (voir tableau 5.1), qui traduit la qualité de la conception et de l'exécution, détermine le choix entre le *rejointoiement* et la *réfection*.

- Score de conception < 0,7: du point de vue de la prévention des mauvaises herbes, la conception peut être structurellement améliorée. Une REFECTION est recommandée. Allez vers la **clé 2 REVETEMENT NEUF**;
- Score de conception > 0,7: lors de la conception, des mesures préventives ont déjà été prises, mais un rejointoiement adapté peut en renforcer l'effet. Le REJOINTOIEMENT est recommandé. Pour le choix d'un rejointoiement approprié, allez vers la **clé 2.1 CHOIX DES MATERIAUX**.

Au tableau 5.15 de la clé 3, toutes les situations possibles où le rejointoiement ou la réfection du revêtement existant sont recommandés sont en orange. Ce sont alors les facteurs économiques (prix de revient de la réfection comparativement aux frais de désherbage – voir § 4.5.2) ou d'autres (organisationnels, politiques, etc.) qui déterminent si le gestionnaire va effectivement suivre cette recommandation.

5.4 Clé 2 – Revêtement neuf

Pour un revêtement neuf, il faut suivre les étapes de la clé 2 (voir figure 5.3) pour une *conception qui inhibe préventivement l'apparition des mauvaises herbes*. Avant tout, la **conception de base** doit être confrontée à un certain nombre de questions clés.

0) **Un revêtement (semi-ouvert) est-il absolument nécessaire?**

Il faut étudier ici les possibilités d'utilisation d'autres solutions ou d'un autre type de revêtement (revêtements ouverts, dalles-gazon en béton, revêtements fermés, herbe empierrée, etc.) (voir figure 3.1). Il peut parfois s'avérer utile de mener cette réflexion.

La réponse est **NON? STOP et recherchez une autre solution** (voir par exemple [13] et [25]).

La réponse est **OUI?** Passez à la **question suivante**.

1) **Quelle charge de trafic?**

Déterminez à l'aide du tableau 5.6 la catégorie de trafic du revêtement considéré.

Catégorie de trafic	Type de trafic			Indication de la classe de construction selon les "Standaard Wegstructuren" des autorités flamandes
	Piétons, cyclistes, motocyclistes	Véhicules légers (< 3,5 t)	Véhicules lourds (> 3,5 t)	
I	Illimités	Limités à 5 000 par jour	Limités à 400 par jour	B6 - B7
II	Illimités	Limités à 5 000 par jour	Limités à 100 par jour	B8 - B9
III	Illimités	Limités à 500 par jour	Limités à 20 par jour	B10
IV	Illimités	Occasionnels	Aucun	BF

Tableau 5.6 Détermination des catégories de trafic

2) **Application de pavage(s) drainant(s)?**

Lorsqu'on opte pour les pavages drainants, il faut prendre en compte que ces derniers:

- conviennent uniquement pour les catégories de trafic II, III ou IV;
- ne conviennent pas dans les zones de captage d'eau (zones de protection 1 et 2);
- ne conviennent pas aux endroits où l'on répand régulièrement du sel de déverglaçage;
- ne conviennent pas à proximité des habitations (par exemple sentier le long d'habitations).

La réponse est **OUI?** Déterminez la configuration de la structure à l'aide des **structures types de pavages drainants** présentées à la figure 5.5 [10], compte tenu de la catégorie de trafic et de la perméabilité du sous-sol.

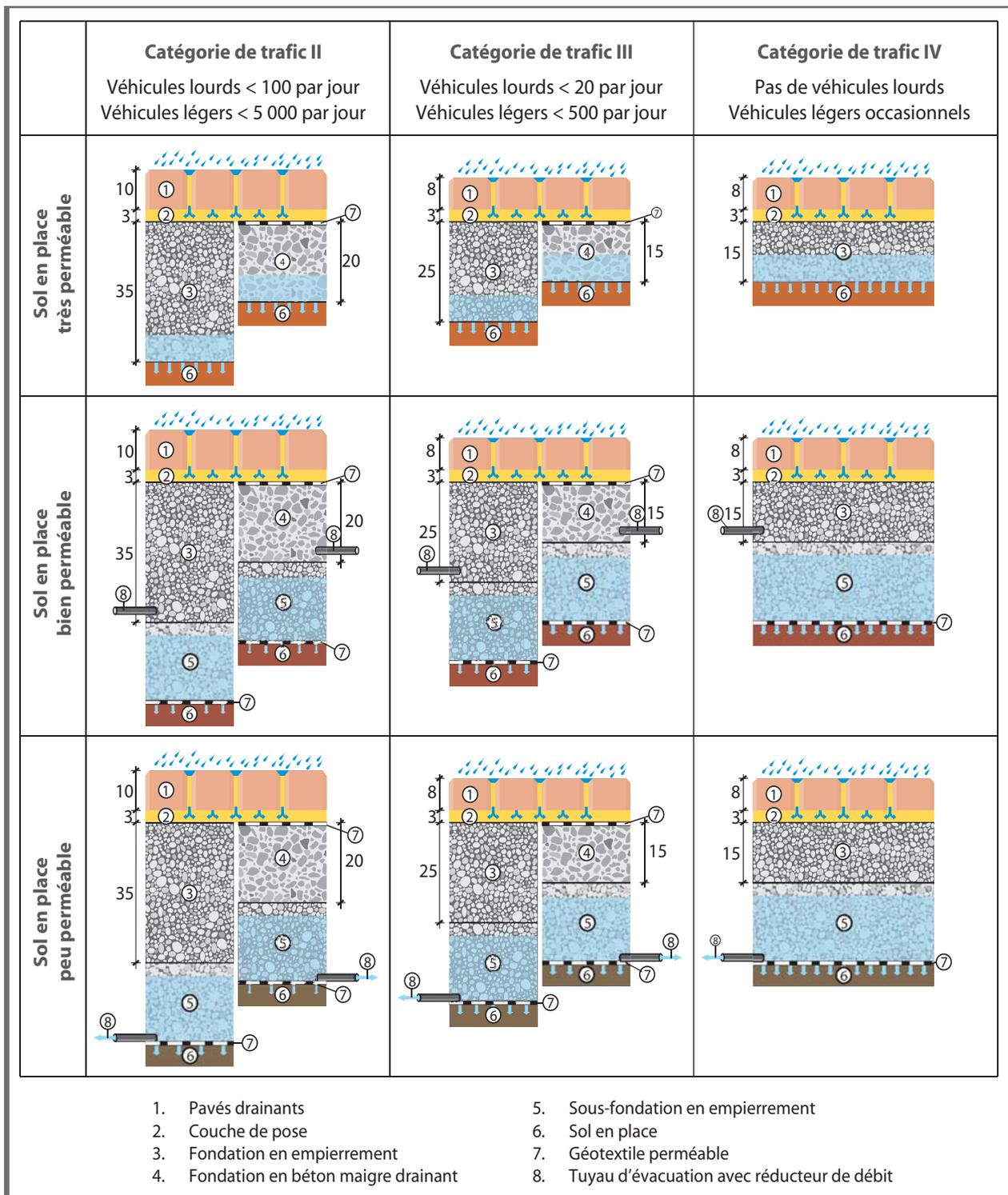


Figure 5.5 Structures types de pavages drainants en fonction de la charge de trafic escomptée et de la perméabilité du sous-sol

La réponse est **NON**? Déterminez la configuration de la structure à l'aide des **structures types de pavages classiques en béton (non drainants)** au tableau 5.7 et à la figure 5.6 [9].

Catégorie de trafic		I	II	III	IV
Épaisseur des pavés		10 cm ou 12 cm	8 cm ou 10 cm	8 cm ou 10 cm	6 cm ou 7 cm ou 8 cm
Épaisseur de la couche de pose		3 cm	3 cm	3 cm	3 cm
Nature et épaisseur de la fondation	Béton sec compacté	20 cm	15 cm	-	3 cm
	Béton maigre	25 cm	20 cm	15 cm	-
	Béton maigre drainant	-	20 cm	15 cm	-
	Empierrement lié hydrauliquement	-	25 cm	15 cm	-
	Sable-ciment	-	-	20 cm	15 cm
	Empierrement	-	35 cm	25 cm	15 cm

Tableau 5.7 Structures types de pavages classiques en béton (non drainants) pour les différentes catégories de trafic

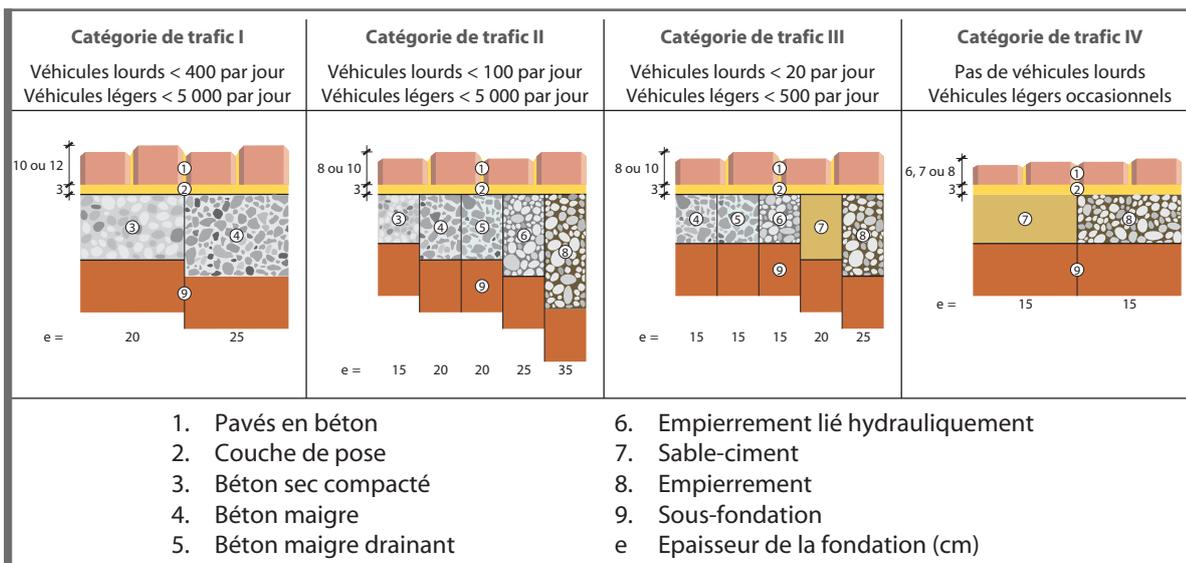


Figure 5.6 Structures types de pavages classiques en béton (non drainants) en fonction de la charge de trafic

Après contrôle des données précitées pour la CONCEPTION DE BASE (voir figure 5.7), l'ensemble de la sous-structure (fond de coffre, sous-fondation, fondation et dispositif de drainage éventuel en cas de pavages drainants) et l'épaisseur des pavés sont déterminés.

Clé 2 - Revêtement neuf

Revêtement absolument nécessaire?

NON

OUI

STOP

Rechercher une autre solution
(voir par exemple [13] et [25])

Suivre les étapes 1) et 2)
de la conception de base

1) Charge de trafic?

2) Application pavages drainants

Catégorie de trafic I, II, III ou IV
(voir tableau 5.6)

Par exemple (voir chapitre 1):

- uniquement pour les catégories de trafic II, III ou IV;
- pas dans les zones de captage d'eau (zones de protection 1 et 2);
- pas aux endroits où l'on répand régulièrement du sel de déverglacage;
- pas à proximité des habitations.

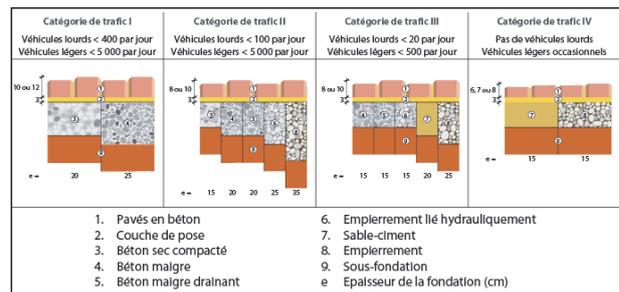
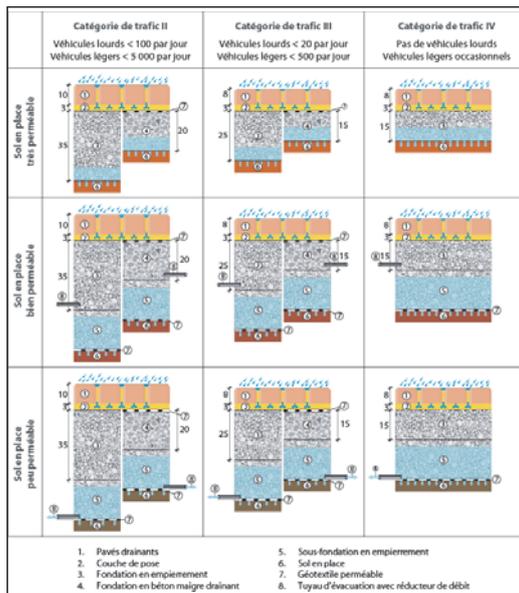
Catégorie de trafic	Type de trafic			Indication de la classe de construction selon les "Standaard Wegstructuren" des autorités flamandes
	Pétons, cyclistes, motocyclistes	Véhicules légers (< 3,5 t)	Véhicules lourds (> 3,5 t)	
I	Illimités	Limités à 5 000 par jour	Limités à 400 par jour	B6 - B7
II	Illimités	Limités à 5 000 par jour	Limités à 100 par jour	B8 - B9
III	Illimités	Limités à 500 par jour	Limités à 20 par jour	B10
IV	Illimités	Occasionnels	Aucun	B1

OUI

Structures types pavages drainants
(voir figure 5.5 et logiciel Pavages drainants)

NON

Structures types classiques
(voir figure 5.6 et tableau 5.7)



Le fond de coffre, la sous-fondation, la fondation, l'épaisseur des pavés (et les dispositifs de drainage éventuels pour pavages drainants) sont déterminés!

Figure 5.7 Conception de base pour la clé 2 Revêtement neuf

Ensuite sont examinées les mesures de conception préventives visant à freiner l'apparition de mauvaises herbes, telles que le choix des matériaux (voir figure 5.3), et un certain nombre d'exemples de structures sont donnés.

5.4.1 Clé 2.1 – Choix des matériaux

Pour une conception de base donnée, certains choix de matériaux peuvent être opérés aux niveaux du type de pavé, de la couche de pose et du matériau de jointolement en guise de mesures de conception préventives visant à freiner l'apparition de mauvaises herbes. On part alors de quatre caractéristiques importantes du revêtement:

- 1) PAVAGES DRAINANTS ou PAVAGES NON DRAINANTS (voir conception de base);
- 2) TYPE DE PAVÉ. Dans le cas des pavages drainants, choix entre pavés poreux et pavés à joints élargis ou à ouvertures de drainage;
- 3) LARGEUR DE JOINT. Dans le cas des pavages non drainants, choix entre 0-5 mm, 6-10 mm et > 10 mm;
- 4) RISQUE D'APPARITION DE MAUVAISES HERBES (à déterminer à l'aide de la figure 5.2). Choix entre ELEVE, MODERE et FAIBLE. *Plus le risque est élevé, plus les mesures préventives sont strictes.* Par exemple:
 - matériau de jointolement innovant, qui inhibe l'apparition des mauvaises herbes, et/ou lié;
 - teneur limitée en particules fines (< 0,063 mm, classe f selon la PTV 411 [13] pour matériau de jointolement et/ou couche de pose);
 - spécification de la granularité pour le matériau de jointolement et/ou la couche de pose: ouverte (2/D) ou fermée (0/D), module de finesse f_m (classe MF selon la PTV 411), teneur entre 0,2-2 ou 0,2-4 mm.

La figure 5.8 donne des directives générales pour le choix des matériaux (pour toutes les catégories de trafic). Les figures 5.9 et 5.10 présentent des schémas spécifiques pour les pavages drainants et non drainants (uniquement pour les catégories de trafic III et IV!).

Du point de vue de la maîtrise des mauvaises herbes, le choix du type de pavé, de la couche de pose et du matériau de jointolement doit être fait en tenant compte des facteurs suivants (pour toutes les catégories de trafic).

- 1) **Le type de pavé (pavé de béton, pavé en terre cuite, pavé en pierre naturelle, etc.):**
 - dépend du choix de réaliser ou non un pavage drainant;
 - détermine la largeur de joint et le pourcentage de joints;
 - l'épaisseur du pavé dépend de la catégorie de trafic (voir tableau 5.6);
 - dépend des desiderata du maître d'ouvrage (considérations esthétiques, confort d'utilisation).
- 2) **La couche de pose (ouverte, fermée, caractéristiques):**
 - dépend du choix de réaliser ou non un pavage drainant. En cas de pavage drainant, il faut tenir compte d'exigences supplémentaires sur le plan de la drainabilité, de la teneur en particules fines (< 0,063 mm) et de la résistance à la désagrégation sous la charge de trafic (valeurs LA et M_{DE} maximales) (voir figure 5.8);
 - la qualité dépend de la catégorie de trafic (voir tableau 5.8);
 - le choix pour un matériau ouvert (2/D) ou fermé (0/D) dépend du risque d'apparition de mauvaises herbes (voir plus loin);
 - garantir la stabilité du filtre à la fois avec le matériau de fondation et le matériau de jointolement (voir figure 3.25):

$$D_{15} \text{ couche inférieure} / D_{85} \text{ couche supérieure} = S_F \leq 5$$

D_{15} = dimension des mailles correspondant à 15 % de passant;
 D_{85} = dimension des mailles correspondant à 85 % de passant.

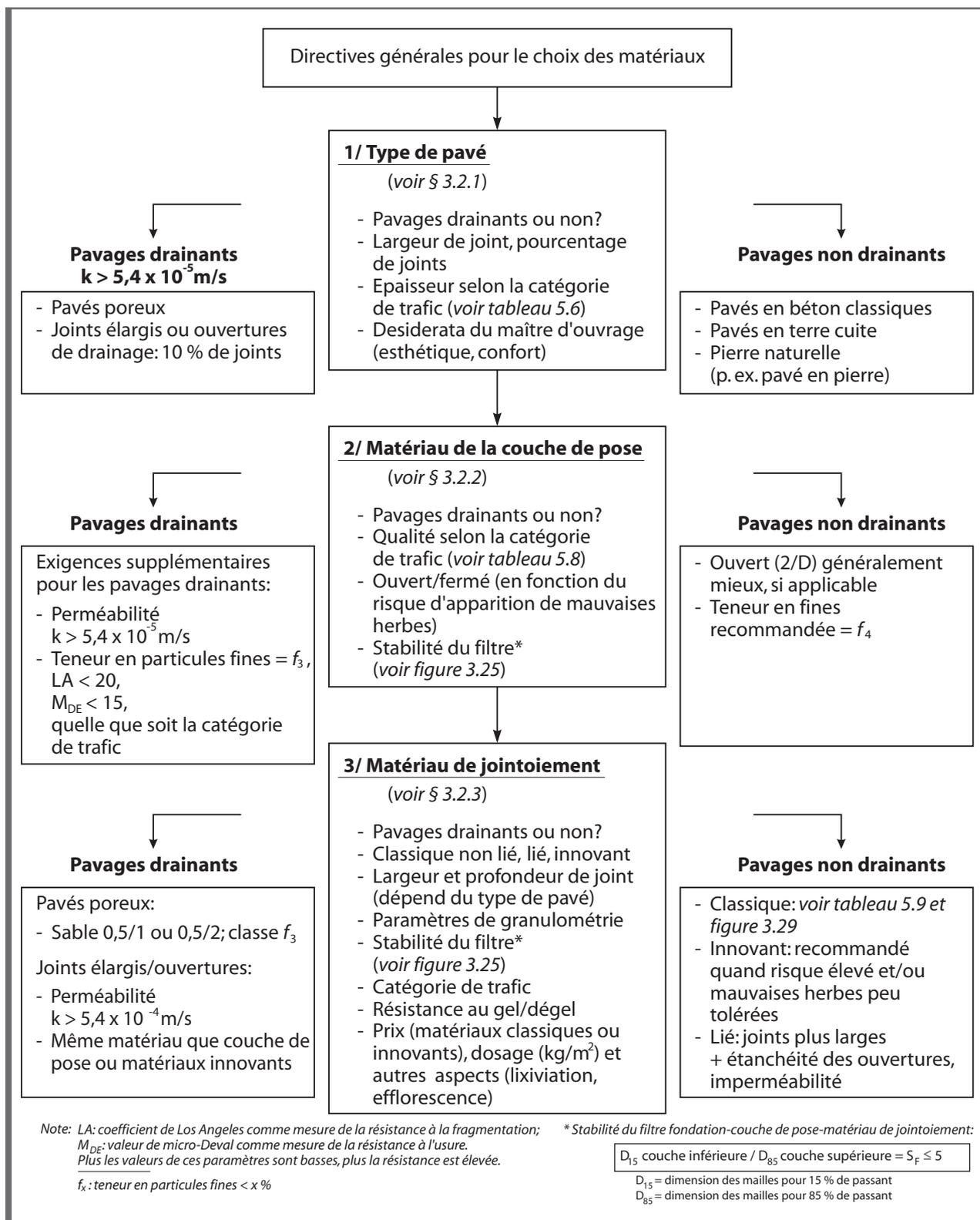


Figure 5.8 Directives générales pour le choix des matériaux pour la clé 2 Revêtement neuf

Catégorie de trafic	Passant au tamis de 0,063 mm	Passant au tamis de 0,500 mm	Granulats	Granulométrie
I	< 4,0 %	< 60 %	Gravillons catégorie Ab ou 3 selon la PTV 411	0/2 + 2/6,3
II	< 4,0 %	< 60 %	Gravillons catégorie Ab ou 3 selon la PTV 411	0/2 + 2/6,3
III	< 4,0 %	< 70 %	Gravillons catégorie Bc ou 4 selon la PTV 411	0/2 + 2/6,3 0/5
IV	< 7,0 %	< 70 %	Tous sables naturels/ empierrement/sable-ciment	

Tableau 5.8 Choix du matériau de la couche de pose en fonction de la catégorie de trafic

3) Matériau de jointoiement (type, caractéristiques, etc.):

- dépend du choix de réaliser ou non un pavage drainant. Eventuellement des exigences supplémentaires en fonction du type de pavé (voir figure 5.9);
- choix entre des matériaux *classiques non liés* (sable, gravillons), *liés* (mortiers) et *innovants* qui inhibent l'apparition des mauvaises herbes (sable enrichi en sel, sable lié au polymère, dispersion, colles organiques, etc.);
- dépend de la largeur et de la profondeur du joint (type de pavé);
- les paramètres granulométriques (fraction *fine*, fraction *grossière*, *module de finesse*) sont importants pour la prolifération des mauvaises herbes, surtout pour les matériaux (sableux) classiques (voir tableau 5.9);

Paramètre granulométrique	Minimum	Recommandation	Code selon PTV 411
Fraction <i>fine</i> (< 0,063 mm)	< 10 %	< 5 %	f_{10} / f_5
Fraction <i>grosse</i> (0,2 à D mm)	> 60 %	> 70 %	-
Module de finesse f_m	> 1,5	> 2,1	MF

Note:

f_{10} et f_5 = fraction particules fines (< 0,063 mm) inférieure à 10 ou 5 %;

MF = Medium Fine = classe spécifique pour module de finesse f_m de sable.

Tableau 5.9 Directives pour les paramètres granulométriques du sable de jointoiement dans le cadre de la prévention des mauvaises herbes

- garantir la stabilité du filtre;
- dépend de la charge de trafic autorisée (catégorie de trafic);
- dépend de la résistance au gel/dégel;
- dépend du prix de revient (matériaux classiques ou innovants), du dosage (kg/m²) et d'autres aspects tels que lixiviation, efflorescence, etc.

Sur base des informations collectées et des résultats de recherche, quelques suggestions sont formulées ci-après à l'attention du concepteur/gestionnaire pour les choix dans la structure compte tenu des éléments suivants:

- a) **PAVAGES DRAINANTS OU NON;**
- b) **LARGEUR DE JOINT** (0 à 5 mm, 6 à 10 mm ou supérieur à 10 mm);
- c) **RISQUE D'APPARITION DE MAUVAISES HERBES** (ELEVÉ, MODÉRÉ ou FAIBLE).

Ces exemples s'appliquent aussi bien à un revêtement existant (en cas de REJOINTOIEMENT, uniquement le matériau de jointoiment – voir **clé 1**) qu'à un revêtement neuf (superstructure complète), mais exclusivement pour les catégories de trafic III et IV.

5.4.1.1 Pavage drainant

La figure 5.9 montre un exemple de structure de pavage drainant. Aucune répartition selon la largeur de joint n'est faite parce que pour l'action drainante, il faut justement souvent des joints plus larges (sauf avec des pavés poreux). *La perméabilité du système complet doit toujours être supérieure à $5,4 \times 10^{-5}$ m/s!*

En cas d'utilisation de pavés à joints élargis ou à ouvertures de drainage et de **risque élevé d'apparition de mauvaises herbes**, l'application de mortiers de jointoiment liés au polymère (par exemple résines époxy) avec une perméabilité suffisante ($5,4 \times 10^{-4}$ m/s, à un pourcentage de joints de 10 %) ou de sable grossier (0/4) enrichi en sel est recommandée comme matériau de jointoiment. Quand le risque d'apparition de mauvaises herbes est élevé, il convient d'utiliser une couche de pose ouverte (2/4 ou 2/6,3), éventuellement avec une restriction plus importante de la teneur en particules fines (par exemple classe f_2 selon la PTV 411).

En raison du pourcentage élevé d'ouvertures, le *risque faible* d'apparition de mauvaises herbes n'existe en principe pas sur les revêtements en pavés à joints élargis ou à ouvertures de drainage combinés à des matériaux de jointoiment classiques non liés. Seuls les pavés poreux tombent donc dans cette catégorie. Pour ceux-ci, il faut toujours utiliser un jointoiment en *sable grossier* (par exemple grès) 0,5/1 ou 0,5/2 avec un passant à 0,5 mm inférieur à 50 % et une faible teneur en particules fines ($< 0,063$ mm), pour empêcher le colmatage de la surface. En fonction du risque d'apparition de mauvaises herbes on peut opter pour une couche de pose ouverte (risque élevé) ou fermée (risque modéré ou faible). Dans ce dernier cas, la teneur en particules fines doit être limitée (classe f_3).

5.4.1.2 Pavages classiques, non drainants

A la figure 5.10, sont illustrés des exemples de choix de matériaux dans la structure de revêtements classiques, non drainants, compte tenu de la largeur de joint et du risque d'apparition de mauvaises herbes.

Quand le *risque* d'apparition de mauvaises herbes est *plus élevé*, il est recommandé d'appliquer des mesures préventives plus strictes comme des matériaux de jointoiment résistant aux mauvaises herbes (par exemple du sable enrichi en sel) ou liés (mortiers) et/ou une couche de pose ouverte (surtout en cas de jointoiments non liés). Pour des largeurs de joints supérieures à 10 mm (par exemple, autour d'obstacles dans le revêtement) le risque d'apparition de mauvaises herbes est tellement élevé, qu'il est préférable de toujours utiliser du matériau de jointoiment lié.

Pour des *largeurs de joint inférieures* (< 5 mm, par exemple pavés de béton classiques) et un risque d'apparition de mauvaises herbes modéré ou faible, on peut aussi utiliser des matériaux classiques (sable, gravillons), en tenant compte de certaines restrictions pour les paramètres de granularité (teneur en particules fines, module de finesse f_m , teneur entre 0,2 et 2 mm) selon les directives du tableau 5.9.

Pour des *largeurs de joint supérieures* (6 à 10 mm, par exemple pavés en pierre naturelle), des mesures un peu plus strictes sont recommandées car des problèmes peuvent survenir plus rapidement. Il est conseillé de n'appliquer des matériaux de jointoiment classiques et une couche de pose fermée qu'en cas de risque faible d'apparition de mauvaises herbes.

En outre, la *largeur de joint* et le *calibre maximal* des matériaux pour la couche de pose et le jointoiment *doivent être adaptés les uns aux autres*. Ainsi, pour le jointoiment, un calibre maximal de 0,8 fois la largeur de joint est recommandé (c'est-à-dire 4 mm pour des joints de 5 mm de large) et des mortiers liés ne sont souvent applicables que pour des largeurs de joint à partir de 5 ou 6 mm. La granularité de la couche de pose doit être adaptée à celle du matériau de jointoiment, afin de garantir la stabilité du filtre et d'empêcher que le matériau de jointoiment plus fin ne soit emporté dans la couche de pose sous-jacente plus grossière (voir figure 3.25).

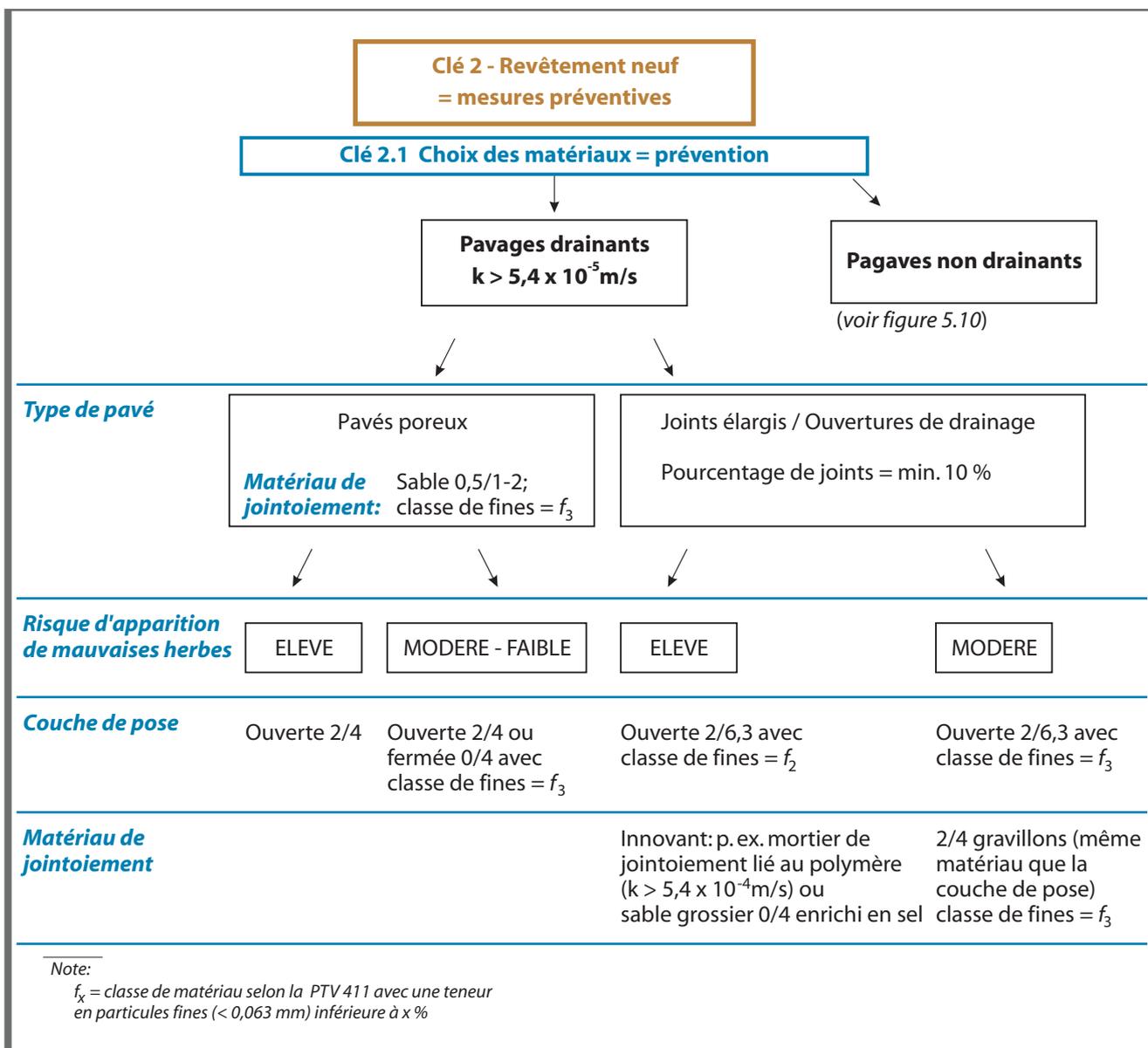


Figure 5.9 Clé 2.1 – Choix des matériaux de la structure des pavages drainants pour les catégories de trafic III et IV, en fonction du type de pavé et du risque d'apparition de mauvaises herbes

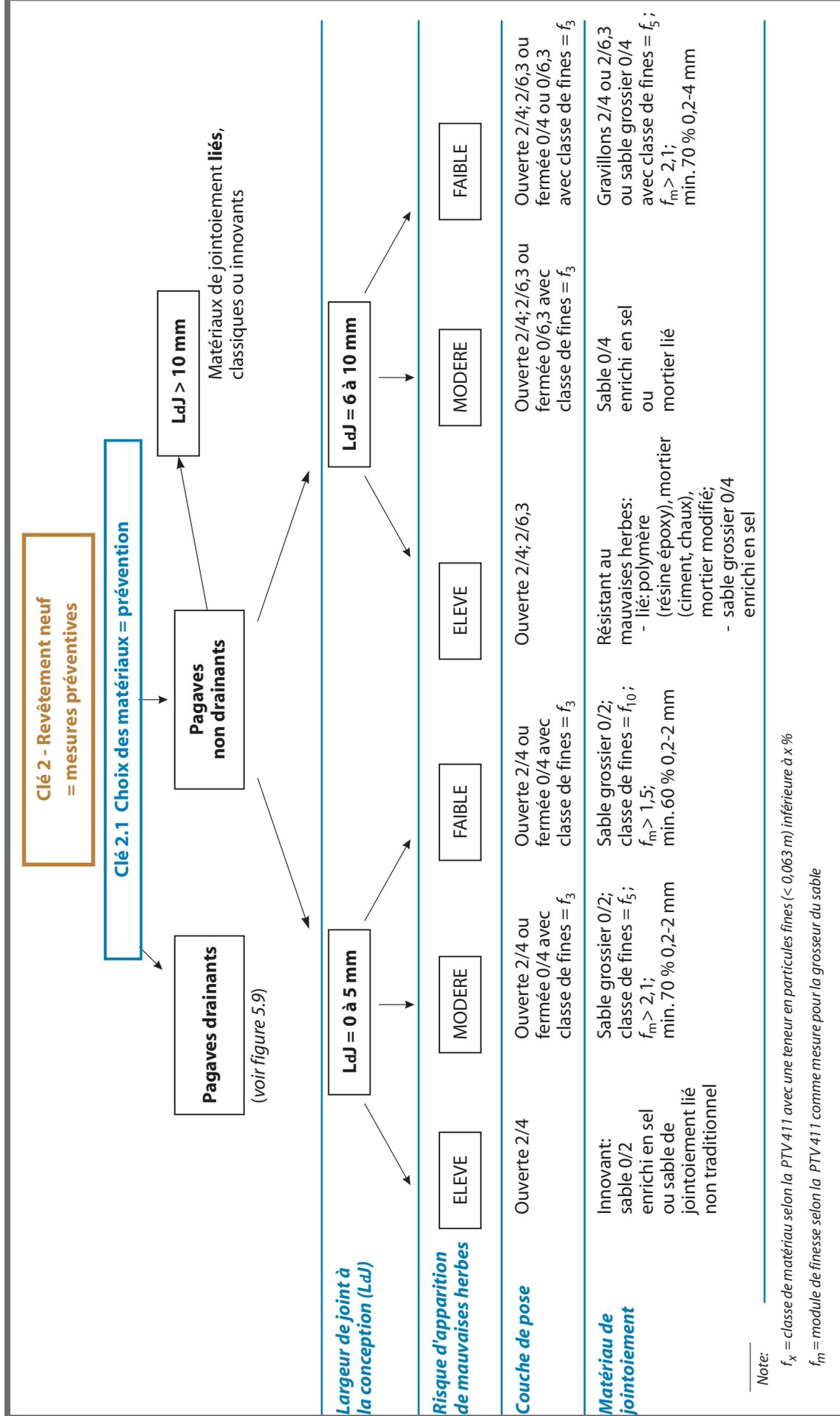
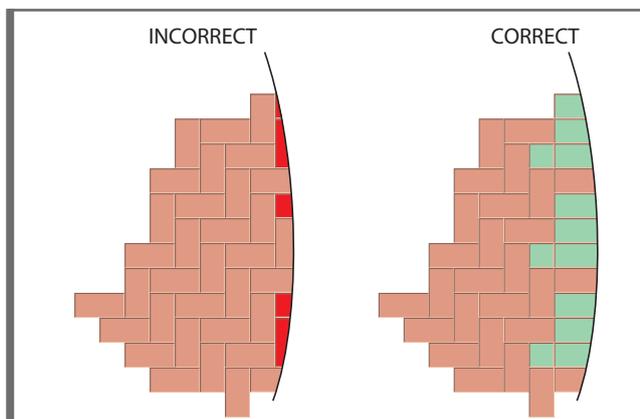


Figure 5.10 Clé 2.1 – Choix des matériaux de la structure des pavages non drainants pour les catégories de trafic III et IV, en fonction du risque d'apparition de mauvaises herbes et de la largeur des joints

5.4.2 Points d'attention lors de la conception et de l'exécution

Pour un revêtement neuf, il faut tenir compte de **points d'attention généraux lors de la conception et de l'exécution du revêtement** (voir § 3.1). Un certain nombre d'entre eux sont aussi abordés lors du calcul du score de conception (six caractéristiques de conception – voir tableau 5.1) et de l'évaluation du risque d'apparition de mauvaises herbes (voir figure 5.2), ou vont de pair avec la conception de base (par exemple affaissements et inégalités suite à un mauvais dimensionnement). Les points principaux sont à nouveau pointés ci-après, avec référence aux paragraphes correspondants du chapitre 3.

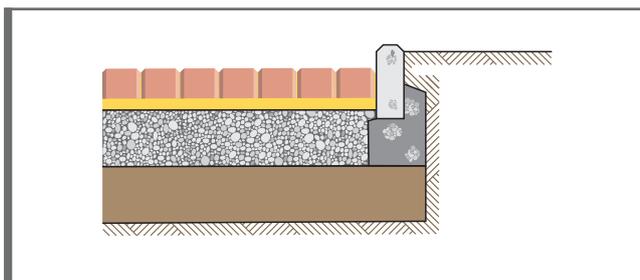
- Finition correcte et soignée du revêtement aux **bords et bordures**, dans les courbes et aux points singuliers (voir figures 3.3, 3.4 et 3.5 sous § 3.1.2).



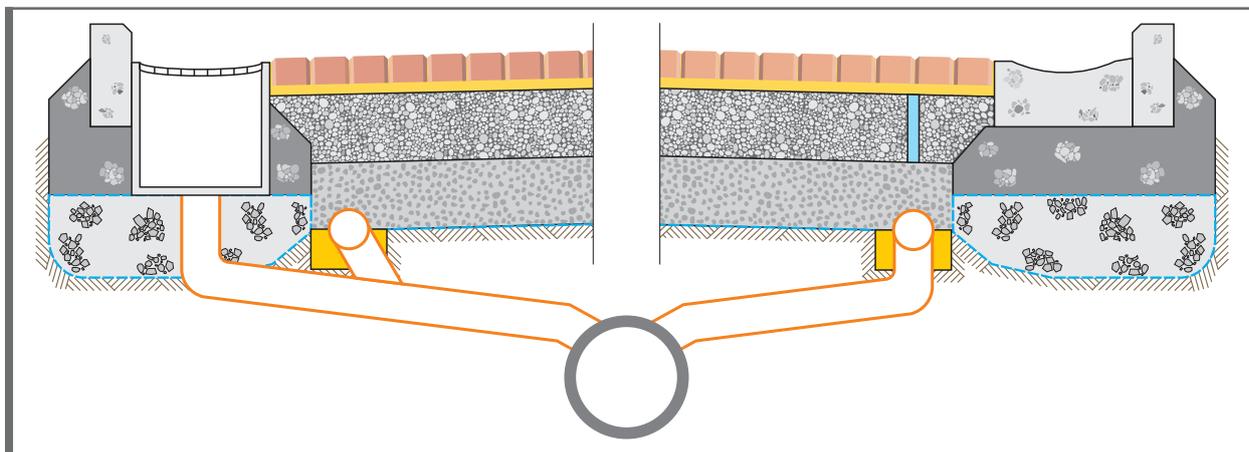
- Limiter au maximum les **obstacles** (combiner les fonctions) et les placer dans une zone verte adjacente. Bien étanchéiser les ouvertures dans le revêtement autour d'obstacles (voir § 3.1.4).



- Bien contrebuter le revêtement avec une **bordure** ou un **contrebutage** adapté(e) (voir figure 3.12 sous § 3.1.5).



- Pour les pavages non drainants, veiller à avoir une bonne **évacuation des eaux** et un bon **drainage** (voir figure 3.18 sous § 3.1.7.2 et § 3.1.6 pour le choix du filet d'eau).
 - risque d'apparition de mauvaises herbes ELEVÉ: filet d'eau en béton préfabriqué.
 - risque d'apparition de mauvaises herbes FAIBLE ou MODÉRÉ: libre choix, mais appliquer un mortier de jointoiement étanche et sans retrait.



- La **largeur de joint** (voir § 3.1.7.1) dépend de la conception (par exemple pavages drainants ou non) et du type de pavé (voir supra), mais les aspects suivants sont également importants:
 - a/ un appareillage adapté selon la catégorie de trafic (voir figure 3.16);
 - b/ un bon contrôle pendant et après l'exécution.
- **Adapter la conception à la gestion future des mauvaises herbes** (voir § 3.1.7.3), c'est-à-dire tenir compte de la largeur de travail des machines, garantir un passage aisé, éviter les différences de niveau, etc.
- Prendre des **mesures préventives contre la pollution** (voir § 3.1.7.4)
 - a/ dans la phase de conception: voir supra (endroits abrités du vent, différences de niveau, etc.);
 - b/ après l'exécution: remplir les joints régulièrement, gestion du balayage intensif (voir clé 3).

5.5 Clé 3 – Désherbage curatif

Si le rejointoiement ou la réfection d'un revêtement existant (voir clé 1 et tableau 5.5) ne s'avère pas indispensable ou possible, les mesures nécessaires de désherbage curatif doivent être prises. Il s'agit d'une **maîtrise durable, curative, non chimique des mauvaises herbes sur des revêtements semi-ouverts avec des matériaux de jointoiement non liés** (voir tableau 5.15, pp. 108 à 111, pour la clé 3). Pour les matériaux de jointoiement liés, il suffit de procéder à un balayage régulier du revêtement

5.5.1 Introduction à la clé 3

Sur base des résultats de recherche, on présume qu'un désherbage durable des revêtements exige une **approche intégrée**. Il faut ici partir d'un système de désherbage où des techniques curatives non chimiques sont autant que possible mises en œuvre en alternance, et où la saleté (feuilles tombées, terre, etc.) et la biomasse aérienne morte sont évacuées régulièrement (balayage avec aspiration, brossage avec aspiration) pour prévenir l'apparition des mauvaises herbes. Dans un système de ce type, les méthodes de traitement sont combinées de manière adaptée entre elles. De tels systèmes de désherbage établis judicieusement sont aussi durables. Les mauvaises herbes sont maîtrisées à moindre coût (surtout en fonction de la fréquence de traitement exigée), avec une charge environnementale aussi basse que possible et sans nuire à la fonctionnalité du revêtement, aujourd'hui et dans les années à venir.

Quelques **règles d'or** sont données ci-après pour des **systèmes de désherbage durables**.

- Alternez régulièrement les techniques de désherbage (air chaud, choc thermique, rayonnement infrarouge, eau chaude, vapeur, brossage, etc.) et en particulier les méthodes (découpage/arrachage, transfert de chaleur par convection, par conduction et par rayonnement). En cas d'application exclusive de la même technique curative, des changements de flore surviennent. Ce sont d'une fois à l'autre les espèces les moins sensibles à cette technique qui se développent, ce qui rend le désherbage de plus en plus fastidieux et onéreux. Les espèces très velues sont sélectivement favorisées par des techniques thermiques avec transfert de chaleur convectif (air chaud, brûleur à choc thermique ou flamme chaude). L'application exclusive de la technique à l'eau chaude va voir le pissenlit prédominer. Le brossage exclusif creuse les joints toujours plus profondément et les espèces basses à croissance horizontale échappent au traitement (par exemple, renouée des oiseaux ou *Polygonum aviculare*). Seul un balayage intensif ne semble pas avoir d'impact négatif lorsqu'il est appliqué de manière exclusive.
- Enlevez régulièrement la matière organique morte. Un balayage avec aspiration augmente l'efficacité des techniques thermiques et prévient la formation d'un substrat idéal (humidité et nutriments en suffisance).
- Les revêtements très envahis par les mauvaises herbes (par exemple score esthétique < 5) demandent d'abord un brossage avec aspiration. Il est un fait qu'un traitement thermique fonctionne mieux sur des tissus végétaux jeunes et secs.
- Répétez les traitements curatifs à temps! Le traitement d'annuelles plus âgées (thermiquement) et d'espèces vivaces (mécaniquement, thermiquement) exige la répétition des traitements thermiques et mécaniques pour lutter contre la repousse. Il est ici important que la suite du traitement ait lieu avant que des assimilats (sucres) nouvellement formés ne soient stockés en sous-sol, afin d'épuiser les plantes au maximum.
- Traitez les tissus jeunes (repousses)! Ne laissez jamais pousser les mauvaises herbes trop longtemps ni trop haut. Plus les mauvaises herbes sont âgées, plus la dose d'énergie nécessaire pour obtenir le même effet sera élevée. Les mauvaises herbes plus âgées présentent des dépôts de cire plus importants ou se lignifient. De plus, la végétation haute ou les tapis denses de mauvaises herbes peuvent causer un effet parapluie. L'énergie appliquée ne peut pas atteindre tous les tissus dans une mesure suffisante pour les chauffer au-delà de la température létale. Cela signifie aussi qu'un critère de score esthétique strict (pour autant qu'il soit faisable pour le risque d'apparition des mauvaises herbes – voir plus loin) et un intervalle de traitement (par conséquent) plus petit n'aboutit pas nécessairement à un prix de revient plus élevé ou n'a pas un impact environnemental plus néfaste qu'un critère de score esthétique moins strict.

5.5.2 Interprétation de la clé 3

En prenant pour point de départ les paramètres d'entrée: **type de pavé, risque d'apparition de mauvaises herbes, présence réelle des mauvaises herbes** (score esthétique au début du traitement) et **type de flore**, le gestionnaire peut voir quel score esthétique est réalisable du point de vue de la durabilité (score esthétique visé) et quels systèmes et fréquences de désherbage y correspondent.

La clé 3 ne s'applique qu'aux revêtements des catégories de trafic III et IV. Pour les revêtements des catégories de trafic I et II, l'intensité de trafic est tellement élevée que les mauvaises herbes ne posent pratiquement pas de problème. Dans de pareilles situations, deux balayages par an suffisent, quel que soit le type de pavé.

L'apparition de mauvaises herbes s'inscrit dans un processus dynamique influencé par un grand nombre de facteurs (conditions météorologiques, environnement, mauvais réglage des machines, mauvais moment de traitement, etc.). Aussi, les revêtements doivent être inspectés chaque année et de préférence tôt au printemps pour contrôler le taux de mauvaises herbes. A l'aide de la clé 3, le gestionnaire peut ajuster le système de désherbage en fonction de l'état actuel.

Lors de la mise au point de la clé 3, on s'est basé sur les connaissances acquises dans le cadre du projet de recherche.

Ci-après, la clé 3 est expliquée **pas à pas** (dans l'ordre d'exécution).

■ 1) Type de pavé

Sur base de la vitesse spécifique de l'apparition de mauvaises herbes et des techniques de désherbage applicables, on distingue les types d'éléments modulaires suivants:

- pavés avec une largeur de joint *recommandée* inférieure à 6 mm et un pourcentage de joints inférieur à 10 %:
 - éléments modulaires classiques (pavés en béton, pavés en terre cuite, dalles en béton pour trottoirs et pistes cyclables, etc.);
 - pavés de béton poreux (drainants);
- pavés avec une largeur de joint *recommandée* supérieure à 6 mm et un pourcentage de joints supérieur à 10 %:
 - pavés à joints larges ou élargis (pavés de béton, pavés en pierre naturelle, etc.);
 - pavés à ouvertures de drainage.

Bien que la température à proximité des pavés (naturels) foncés puisse monter haut, la couleur de la pierre a peu d'influence sur le taux de présence de mauvaises herbes. Intrinsèquement, les espèces végétales que l'on retrouve sur les revêtements tolèrent en effet la chaleur et la sécheresse.

■ 2) Risque d'apparition de mauvaises herbes

Le risque d'apparition de mauvaises herbes est une mesure précise de la quantité de mauvaises herbes attendue à court et long termes (voir § 5.1.4). Cette mesure est exprimée sous la forme d'un chiffre entre 0 et 1, où 1 correspond au risque le plus faible possible. Le risque est déterminé comme illustré à la figure 5.2.

Il est préférable de subdiviser en zones les grands parkings avec végétation adjacente. Le risque d'apparition de mauvaises herbes sera en effet accru près de la végétation. Une approche zonale permet, d'une part, une détermination «sur mesure» de la fréquence de désherbage, en fonction du risque d'apparition réel des mauvaises herbes dans les différentes zones et d'autre part, une économie d'énergie.

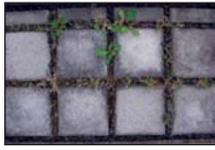
Dans la clé 3, on distingue trois niveaux de risque d'apparition de mauvaises herbes: *élevé* (score 0-0,3), *modéré* (score 0,3-0,6) et *faible* (score 0,6-1) (voir figure 5.2). Pour des revêtements à risque élevé d'apparition

de mauvaises herbes (=score faible) et avec un score esthétique initial bas (score esthétique 2-4), le rejointoiment ou la réfection sont généralement conseillés en raison des coûts de désherbage élevés, de l'impact environnemental négatif plus important et de la perte de fonctionnalité à plus long terme (voir tableau 5.5 à la clé 1).

A priori, il n'est pas possible d'atteindre un niveau de risque faible avec des pavés à joints larges, élargis ou à ouvertures de drainage *et un matériau de jointoiment classique, non lié (!)*. En raison de leur surface ouverte importante (> 10 % joints), ils peuvent en effet rapidement être envahis par les mauvaises herbes. En cas de risque élevé d'apparition de mauvaises herbes, le rejointoiment ou la réfection (par exemple, avec mortier de jointoiment lié, drainant) est déjà recommandé(e) dès un score esthétique initial modéré (score 5-6).

■ 3) Score esthétique initial

Au début de l'année (avril-mai), le gestionnaire quantifie les mauvaises herbes présentes sur le revêtement à l'aide du tableau 5.2 (voir § 5.1.3). Le score esthétique est un reflet précis de la perception visuelle du citoyen par rapport à la propreté du revêtement. Pour la clé, on distingue quatre catégories de scores esthétiques: 2-4, 5-6, 7-8 et 9-10. Ces catégories correspondent aux classes D, C, B et A du CROW (voir tableau 5.10). La classification du CROW est un système utilisé aux Pays-Bas pour caractériser l'aspect visuel. Dans le tableau 5.10, il est également indiqué à quel recouvrement de la surface (c'est-à-dire le pourcentage de recouvrement du revêtement par les mauvaises herbes) et à quelle hauteur de végétation les catégories précitées correspondent. Un score esthétique 2-4 indique une négligence extrême et/ou un manque total de gestion appropriée et/ou une qualité technique inférieure du revêtement.

Score esthétique	Recouvrement de la surface (%) + hauteur de végétation (cm)	Classe esthétique du CROW	Degré de tolérance	
10+	0 %	A+	Tolérance zéro	
9-10	< 1 % pour une hauteur ≥ 3 cm	A		Tolérance faible
	< 1,5 % pour une hauteur = 1 à 3 cm			
	< 3 % pour une hauteur < 1 cm			
7-8	< 2 % pour une hauteur ≥ 3 cm	B		Tolérance modérée
	< 3 % pour une hauteur = 1 à 3 cm			
	< 6 % pour une hauteur < 1 cm			
5-6	< 4 % pour une hauteur ≥ 3 cm	C		Tolérance élevée
	< 6 % pour une hauteur = 1 à 3 cm			
2-4	> 4 % pour une hauteur ≥ 3 cm	D		100 % tolérance
	> 6 % pour une hauteur = 1 à 3 cm			

Note: pour les scores esthétiques 5-6 et 2-4 on part du principe que la hauteur < 1 cm n'existe pas

Tableau 5.10 Correspondance entre les catégories de score esthétique et les classes du CROW (Pays-Bas)

Un score esthétique initial bas ne doit pas nécessairement aller de pair avec un risque d'apparition de mauvaises herbes élevé et inversement. Sans gestion des mauvaises herbes, un revêtement avec un bon score de conception affichera rapidement un mauvais score esthétique. A l'inverse, une approche chimique intensive peut «cacher» des défauts dans la conception. Un score esthétique élevé (9-10) combiné à un risque faible d'apparition de mauvaises herbes (score 0,6-1) est généralement escompté sur des

revêtements mis en œuvre récemment (lorsque la conception est appropriée et l'exécution correcte). Des scores esthétiques faibles trahissent un manque de balayage préventif (surtout visible sur des revêtements plus anciens), une conception inadaptée ou une exécution technique non soignée de la conception. Ces deux derniers facteurs jouent aussi un rôle sur des revêtements récents.

■ 4) *Type de flore présent*

La réponse des mauvaises herbes aux techniques de désherbage mécaniques et thermiques dépend de la sensibilité des espèces présentes. C'est pourquoi il est indiqué d'adapter le système de désherbage à la flore présente. Sur base des espèces les plus fréquemment rencontrées ou des groupes d'espèces les plus fréquents (en termes de recouvrement) on distingue au tableau 5.11 cinq catégories de flore:

- mousse et sagine couchée;
- flore annuelle;
- flore pluriannuelle non velue;
- flore pluriannuelle velue;
- flore diverse et équilibrée.

Pour des scores esthétiques bas (2-4), on distingue encore une catégorie supplémentaire, notamment la flore pluriannuelle extrêmement tenace. Dans ce dernier cas, on recommande souvent la réfection. Les espèces à rhizomes profonds et les pousses d'arbres sont en effet difficiles, voire impossibles à traiter. Leur prédominance est la plus importante quand les scores esthétiques sont faibles. Aucune connaissance particulière n'est requise de la part du gestionnaire pour distinguer la flore présente selon les catégories précitées.

Les espèces annuelles sont plus faciles à traiter que les pluriannuelles et avec un système de désherbage moins agressif (entre autres balayage intensif – mais pas sur des pavés à ouvertures de drainage ou à joints élargis – ou une combinaison de balayage et de techniques thermiques). Pour les espèces essentiellement velues, il est recommandé de ne pas faire usage temporairement de techniques à transfert thermique convectif, ou à tout le moins, de le limiter (voir point 7, p. 103).

Catégories de flore ⁽¹⁾	Groupe d'espèces
Mousses et sagine couchée	Bryophytes (<i>Musci</i>), hépatiques (<i>Hepaticae</i>), Sagine couchée (<i>Sagina procumbens</i>)
	
Flore annuelle	Pâturin annuel (<i>Poa annua</i>), petit séneçon (<i>Senecio vulgaris</i>), Erigéron du Canada (<i>Conyza canadensis</i>), millets (<i>Panicum</i> , <i>Digitaria</i> , <i>Setaria</i> sp.), etc.
	

⁽¹⁾ Déterminées en fonction de la prédominance de certaines espèces (groupes): le groupe d'espèces spécifique doit être responsable de plus de 80 % du recouvrement des joints.

(suite)

Catégories de flore ⁽¹⁾	Groupe d'espèces
<p>Flore pluriannuelle non velue ⁽²⁾</p> 	<p>Pissenlit (<i>Taraxacum officinale</i>), grand plantain (<i>Plantago major</i>), Ray-gras anglais (<i>Lolium perenne</i>), fétuques (<i>Festuca</i> sp.), trèfle blanc (<i>Trifolium repens</i>), etc.</p>
<p>Flore pluriannuelle velue</p> 	<p>Céraiste commun (<i>Cerastium fontanum</i>), pâquerette (<i>Bellis perennis</i>), millefeuille (<i>Achillea millefolium</i>), tussilage (<i>Tussilago farfara</i>), géranium à feuilles molles (<i>Geranium molle</i>), etc.</p>
<p>Flore diverse et équilibrée</p> 	<p>Aucune des espèces présentes ou groupe d'espèces (velue vs non velue, annuelle vs pluriannuelle) ne domine</p>
<p>Flore pluriannuelle extrêmement tenace</p> 	<p>Espèces formant des rhizomes profonds, entre autres prêles, (<i>Equisetum</i> sp.), tussilage (<i>Tussilago farfara</i>), etc. Saule, entre autres bois de saule (<i>Salix</i> sp.)</p>

(1) Déterminées en fonction de la prédominance de certaines espèces (groupes): le groupe d'espèces spécifique doit être responsable de plus de 80 % du recouvrement des joints;

(2) Y compris les bisannuelles.

Tableau 5.11 Catégories de flore selon les espèces présentes et exemples illustratifs correspondants

■ 5) Score esthétique visé

On part du principe que la tolérance zéro (score esthétique 10+, classe esthétique CROW A+, 0 % de mauvaises herbes) n'est ni défendable, ni faisable du point de vue de la durabilité. L'utilisateur doit toujours tolérer un minimum de mauvaises herbes.

Le score esthétique visé est le score esthétique maximum faisable dans le cadre de la maîtrise durable des mauvaises herbes. La faisabilité dépend dans une large mesure du risque d'apparition de mauvaises herbes. Le gestionnaire tendra bien entendu à tout le moins à maintenir une bonne situation initiale en status quo. Il ne souhaitera en aucun cas une détérioration de la situation car à terme, cela influencera négativement aussi bien la fonctionnalité et la durée de vie du revêtement que les frais de désherbage. Une végétation haute et dense est souvent plus difficile à désherber et son traitement a un prix de revient plus élevé que celui d'une végétation clairsemée, qui a peu poussé. Si le gestionnaire opte quand même pour un score esthétique visé inférieur, pour chaque abaissement de catégorie du score esthétique à la clé 3, on abaisse aussi la fréquence de désherbage d'une catégorie (par exemple, si on opte pour un score esthétique 5-6 au lieu d'un score esthétique 7-8, on passera de la catégorie de fréquence II vers la catégorie de fréquence III – voir tableau 5.12).

Pour des pavés à joints étroits (pavés classiques à joints étroits et pavés poreux) et un risque faible d'apparition de mauvaises herbes, une situation de départ idéale (score esthétique initial > 5) peut être maintenue, voire améliorée (augmentation du score esthétique d'un degré). Toutefois, un score esthétique initial 2-4 peut encore être adapté en un score esthétique 5-6 pour certaines espèces de mauvaises herbes. A long terme, une approche par étapes peut faire évoluer des revêtements assez envahis par les mauvaises herbes (score esthétique initial 2-6) – en cas de risque faible – vers un plus bel aspect (score esthétique > 6). Ainsi, un revêtement classique avec des joints étroits et un score esthétique 5-6 peut en un an évoluer vers un score esthétique 7-8. Dans l'année qui suit, on peut viser un score esthétique 9, moyennant adaptation du système de désherbage (voir clé 3).

Pour un score esthétique initial > 4 et un risque d'apparition de mauvaises herbes modéré à élevé, le maintien de la situation de départ est le maximum faisable, quel que soit le type de pavé. Ceci ne s'applique pas aux pavés à joints larges et à ouvertures de drainage avec un score esthétique initial 9 (par exemple dans le cas d'une nouvelle mise en œuvre), quel que soit le risque d'apparition de mauvaises herbes. Dans de tels cas, pour des raisons de faisabilité et de durabilité, on fixe un score esthétique visé maximal de 7-8.

Le score esthétique 2-4 (classe D du CROW) n'est pas repris dans la clé 3 comme objectif visé. De telles situations ne supposent pas de gestion et ne demandent pas de recommandations du point de vue de la fonctionnalité.

Quand il y a une telle quantité de mauvaises herbes (score esthétique faible 2-4) et un risque d'apparition de mauvaises herbes élevé, généralement (à l'exception de la flore avec une prédominance d'annuelles) aucun système de traitement n'est proposé. Du point de vue de la fonctionnalité, de l'impact environnemental et du prix de revient (ou une combinaison de ces facteurs), le rejointoiement ou la réfection sont les seules solutions durables.

■ 6) Fréquence de désherbage ⁽⁷⁾

On part du principe qu'à chaque dépassement du score esthétique visé, on procédera à un désherbage. Le nombre total d'interventions (de quelque nature que ce soit) par an est appelé fréquence. Les deux balayages standard avec aspiration de déchets qui apparaissent dans chaque système de désherbage (voir point 7, p. 103), ne sont pas comptés dans ces interventions. On distingue quatre catégories de fréquence (indiquées avec un chiffre romain) (voir tableau 5.12):

Catégorie	Fréquence ⁽¹⁾
I	> 8
II	6 à 8
III	3 à 5
IV	1 à 2

(1) Nombre d'interventions annuelles à l'exclusion des balayages standard

Tableau 5.12

Catégories de fréquence de désherbage avec le nombre d'interventions correspondant par an

(7) Les mauvaises herbes dans les alentours immédiats d'un obstacle exigent généralement une approche curative plus stricte (par rapport à la fréquence de traitement nécessaire) ou une approche préventive via reconception

- catégorie I, plus de 8 interventions par an;
- catégorie II, 6 à 8 interventions par an;
- catégorie III, 3 à 5 interventions par an;
- catégorie IV, moins de 3 interventions par an.

Pour les fréquences fixées, les conditions d'application suivantes sont en vigueur:

- à chaque traitement, une dose d'énergie est appliquée, entraînant une suppression d'au moins 80 % des parties aériennes de la biomasse. Des doses d'énergie inférieures exigent une fréquence de traitement plus élevée qu'à la clé 3;
- pour les méthodes individuelles, il faut tenir compte de l'applicabilité spécifique, par exemple en ce qui concerne les conditions météorologiques (voir tableau 5.13).

Pour atteindre le même score esthétique visé, il faut une fréquence de désherbage supérieure pour les revêtements à risque élevé d'apparition de mauvaises herbes que pour les revêtements à faible risque d'apparition de mauvaises herbes en partant du même score esthétique initial. Quand le risque d'apparition de mauvaises herbes est faible (pavés à joints étroits et pavés poreux), on peut, sans adapter la fréquence de désherbage (sauf pour les pavés poreux avec un score esthétique visé de 10), tendre vers un score esthétique plus élevé que quand le risque d'apparition de mauvaises herbes est élevé.

La fréquence de désherbage dépend en grande partie du type de pavé. A score esthétique initial égal et risque d'apparition de mauvaises herbes égal, davantage d'interventions sont nécessaires sur les revêtements à pavés classiques et à joints étroits que sur les revêtements à pavés poreux et à joints étroits. A valeurs de départ identiques, les revêtements à ouvertures de drainage devront être traités plus fréquemment que les revêtements à joints larges (ou élargis).

Pour des scores esthétiques plus bas que ceux fixés dans la clé 3, les fréquences doivent être adaptées comme indiqué au point 5, p. 102.

En cas de concentration hétérogène de mauvaises herbes, un traitement ciblé est recommandé. Un traitement ciblé peut consister à ne traiter que les joints ou que les mauvaises herbes (par détection visuelle ou par capteurs). En cas de système de détection de la densité, la flamme ou la vitesse de progression sont adaptées à la densité des mauvaises herbes. Il est supposé que de tels traitements ciblés n'influencent nullement les fréquences fixées dans la clé 3. Cependant, ils réduiront considérablement la consommation d'énergie et l'impact environnemental négatif.

■ 7) *Systèmes de désherbage*

Les systèmes de désherbage indiqués dans la clé 3 (voir tableau 5.15, pp. 108 à 111) avec un chiffre de 1 à 7 sont recommandés avec la durabilité comme objectif. Il est évident que de nombreuses autres stratégies de traitement sont possibles. Un système de désherbage est davantage considéré comme une succession de procédés plutôt que de techniques. Cela a en effet peu de sens de combiner des techniques ayant un procédé identique. Pour combattre le changement de flore, une alternance des procédés est recommandée.

A la clé 3, les procédés suivants sont repris:

- arrachage/découpage (techniques mécaniques);
- transfert thermique par conduction (eau chaude),
- transfert thermique par condensation (vapeur);
- transfert thermique par convection (air chaud, choc thermique);
- transfert thermique par rayonnement (rayonnement infrarouge).

Les méthodes suivantes entrent en ligne de compte:

- balayage avec aspiration;
- brossage avec aspiration;
- traitement sélectif à l'eau chaude (application sur l'ensemble de la surface à déconseiller étant donné la consommation d'énergie importante);

- traitement à la vapeur;
- traitement par choc thermique;
- traitement à l'air chaud;
- brûlage par rayonnement infrarouge.

La circulation piétonne ou autre peut aussi être considérée comme une méthode de traitement mécanique. Ces méthodes sont déjà prises en considération lors de la détermination du risque d'apparition de mauvaises herbes (intensité d'utilisation – voir tableau 5.4) et ne sont donc plus reprises dans le système de désherbage.

Le choix final d'une méthode au sein d'un procédé dépend de nombreux facteurs tels que:

- les facteurs météorologiques et environnementaux (voir tableau 5.13);
- le prix de revient;
- la disponibilité;
- la maniabilité des machines (par exemple sur des revêtements avec de nombreux obstacles);
- l'impact environnemental;
- l'accessibilité (par exemple refuges) et la portance du revêtement,
- la sécurité de l'opérateur (sur ou à proximité des refuges, îlots directionnels, etc.).

Dans la clé 3 sont repris sept systèmes de désherbage (voir tableau 5.14). Chaque système commence et se termine par un balayage standard avec aspiration des déchets. Pour autant que cela s'avère nécessaire, la succession imprimée en rouge est répétée. A l'exception du balayage, aucune application exclusive n'est recommandée.

Le **système de désherbage 1** (balayage exclusif = balayage intensif) est surtout recommandé pour des scores esthétiques initiaux élevés sur des revêtements à joints étroits. Un balayage intensif de pavés à joints étroits et de pavés poreux avec uniquement de la mousse, entrelacée de sagine couchée peut entraîner des scores esthétiques élevés. Un tel système est toutefois insuffisant sur des revêtements avec une flore rigide, aux racines profondes.

Le **système de désherbage 2** (alternance de balayages avec aspiration et d'applications thermiques au choix) est recommandé pour des scores esthétiques initiaux élevés sur des revêtements à joints étroits.

Le **système de désherbage 3** (alternance de brossages avec aspiration et de techniques thermiques non convectives au choix telles que la technique sélective à l'eau chaude, la vapeur, le rayonnement infrarouge) est par excellence approprié pour les revêtements où prédomine une flore pluriannuelle velue. Les poils augmentent la couche laminaire limite à la surface de la feuille, réduisant ainsi le transfert thermique convectif. Une fois que cette flore déséquilibrée évolue vers une flore plus équilibrée, un système moins spécifique, plus classique peut être appliqué.

Le **système de désherbage 4** (alternance de brossages avec aspiration et de techniques thermiques convectives au choix) convient extrêmement bien pour la flore comprenant peu d'espèces velues.

Le **système de désherbage 5** (alternance de toutes les techniques thermiques possibles) est surtout approprié pour les revêtements où le brossage est impossible, en particulier sur des pavés à ouvertures de drainage et sur la pierre naturelle sensible aux rayures.

Tous les procédés possibles sont utilisés en alternance dans les **systèmes de désherbage 6 et 7**. Dans le système 6, le brossage (avec aspiration) est moins souvent utilisé que dans le système 7. Ce sont des systèmes passe-partout idéaux. Le système 7 est particulièrement approprié aux scores esthétiques initiaux bas (2-6), vu les nombreux brossages avec évacuation des déchets. Si la fréquence de traitement exigée est inférieure à trois interventions par an, les systèmes 6 et 7 ne sont pas repris dans la clé 3 (un cycle de désherbage complet se compose en effet de trois ou quatre interventions).

Certains appareils modernes combinent plusieurs méthodes. De tels appareils peuvent être utilisés de manière répétitive sans engendrer un changement de flore.

	Mécanique		Thermique				
	Découpage ou arrachage		Conduction	Condensation	Convection		Rayonnement
	BA	BR	EC	VA	CT	AC	IR
<i>Conditions météorologiques</i>							
Temps humide (précipitations, rosée)							
Basses températures							
Temps très venteux							
<i>Type de flore présent</i>							
Végétation haute et dense							
Flore velue							
Recouvrement important de mauvaises herbes							
Végétation desséchée							
<i>Type de revêtement</i>							
Revêtement avec joints larges et non liés (part importante de joints)							
Revêtements sensibles aux rayures (pavés en terre cuite, en pierre naturelle)							
Pierre naturelle polie							
Revêtement irrégulier							
<i>Obstacles inamovibles (sur le revêtement ou les surfaces adjacentes)</i>							
Végétation adjacente							
Zones présentant un risque d'incendie et d'explosion							
Éléments inflammables ou susceptibles de fondre							

BA: balayage avec aspiration
 BR: brossage avec aspiration
 EC: traitement sélectif à l'eau chaude
 VA: traitement à la vapeur
 CT: traitement par choc thermique
 AC: traitement à l'air chaud
 IR: brûlage par rayonnement infrarouge

 Parfaitement possible
 Pas sans risque
 Pas conseillé

Tableau 5.13 Applicabilité des différentes techniques de désherbage

Système	Séquence d'exécution ¹	Traitement préventif ²		Traitement curatif			
		Mécanique doux ^{2,3}	Mécanique doux ^{2,3}	Mécanique dur ⁴	Thermique convectif ⁵	Thermique non convectif ⁵	
1	BA-BA-...-BA	BA extensif	BA intensif	BR	AC CT	EC VA IR	
2	BA-AC/CT/EC/VA/IR-BA-...-BA	✓	✓			✓	
3	BA-BR-EC/VA/IR-...-BA	✓		✓		✓	
4	BA-BR-AC/CT-...-BA	✓		✓	✓		
5	BA-AC/CT-EC/VA/IR-...-BA ou BA-EC/VA/IR-AC/CT-...-BA	✓			✓	✓	
6	BA-BR-AC/CT-EC/VA/IR-...-BA ou BA-BR-EC/VA/IR-AC/CT-...-BA	✓		✓	✓	✓	
7	BA-BR-AC/CT-BR-EC/VA/IR-...-BA ou BA-BR-EC/VA/IR-BR-AC/CT-...-BA	✓		✓	✓	✓	

¹ Séquence d'exécution: le traitement commence et se termine par un balayage standard. Le texte en rouge indique le cycle à répéter. Le tiret (-) précède le traitement suivant, une barre oblique (/) laisse le choix parmi les méthodes mentionnées.

² Deux balayages standard avec aspiration: un à l'automne après la chute des feuilles et un au printemps avant le début du désherbage curatif.

³ Balayage toujours avec aspiration des déchets.

⁴ Brossage toujours avec aspiration des déchets.

⁵ Alterner avec les techniques mécaniques (dans la mesure du possible). Toujours recourir aux techniques thermiques sur un tissu jeune, une végétation clairsemée, qui a peu poussé, sinon traiter préalablement avec une brosse de désherbage.

BA: balayage avec aspiration
BR: brossage avec aspiration
AC: traitement à l'air chaud
CT: traitement par choc thermique
EC: traitement sélectif à l'eau chaude
VA: traitement à la vapeur
IR: brûlage par rayonnement infrarouge

Tableau 5.14 Systèmes de désherbage recommandés

Les pages 108 à 111 présentent les arbres de décision pour la gestion curative des mauvaises herbes sur les revêtements modulaires (pavés classiques, poreux, à joints larges ou élargis et à ouvertures de drainage).

Pavés classiques			Score (chiffre) ou classe (lettre) esthétique visé(e)															
			10 A				9 A				7 - 8 B				5 - 6 C			
Risque d'apparition de mauvaises herbes	Score esthétique initial	Type de flore présent	Fréquence de désherbage															
			I	II	III	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
ELEVÉ	10	mousses et sagine couchée				1	2											
	9	flore annuelle				1	2-7											
		flore pluriannuelle non velue					3,4,7											
		flore pluriannuelle velue					3											
		flore diverse et équilibrée					6											
	7 - 8	flore annuelle								1	2-7							
		flore pluriannuelle non velue									3,4,7							
		flore pluriannuelle velue									3							
		flore diverse et équilibrée									6,7							
	5 - 6	flore annuelle														3-7		
		flore pluriannuelle non velue													3,4,7			
		flore pluriannuelle velue													3			
		flore diverse et équilibrée													6,7			
	2 - 4	flore annuelle													3,4,6,7			
		flore pluriannuelle non velue																
		flore pluriannuelle velue																
flore diverse et équilibrée																		
flore pluriannuelle extrêm. tenace																		
MODÈRE	10	mousses et sagine couchée				1	2											
	9	flore annuelle				1	2-7											
		flore pluriannuelle non velue					3,4,7											
		flore pluriannuelle velue					3											
		flore diverse et équilibrée					6											
	7 - 8	flore annuelle								1	2-7							
		flore pluriannuelle non velue									3,4,7							
		flore pluriannuelle velue									3							
		flore diverse et équilibrée									6,7							
	5 - 6	flore annuelle														3,4		
		flore pluriannuelle non velue													3,4,7			
		flore pluriannuelle velue													3			
		flore diverse et équilibrée													6,7			
	2 - 4	flore annuelle													3,4,6,7			
		flore pluriannuelle non velue													3,4,7			
		flore pluriannuelle velue													3			
flore diverse et équilibrée														6,7				
flore pluriannuelle extrêm. tenace																		
FAIBLE	10	mousses et sagine couchée	1	2		1	2											
	9	flore annuelle	1	2-7		1	2-7											
		flore pluriannuelle non velue		3,4,7			3,4,7											
		flore pluriannuelle velue		3			3											
		flore diverse et équilibrée		6			6											
	7 - 8	flore annuelle				1	2-7				1	2-7						
		flore pluriannuelle non velue					3,4,7					3,4,7						
		flore pluriannuelle velue					3					3						
		flore diverse et équilibrée					6					6						
	5 - 6	flore annuelle									3-7					3,4		
		flore pluriannuelle non velue									3,4,7				3,4,7			
		flore pluriannuelle velue									3				3			
		flore diverse et équilibrée									6,7				6,7			
	2 - 4	flore annuelle													3,4,6,7			
		flore pluriannuelle non velue													3,4,7			
		flore pluriannuelle velue													3			
flore diverse et équilibrée														6,7				
flore pluriannuelle extrêm. tenace																		

2-7 Signifie les systèmes 2 à 7 inclus.
Codes couleur: voir page 113

Tableau 5.15

Clé 3

Gestion curative durable non chimique des mauvaises herbes sur les revêtements modulaires semi-ouverts avec jointoiement non lié

Pavés poreux Largeur de joint à la conception < 6 mm Pourcentage de joints < 10 %			Score (chiffre) ou classe (lettre) esthétique visé(e)															
			10 A				9 A				7 - 8 B				5 - 6 C			
Risque d'apparition de mauvaises herbes	Score esthétique initial	Type de flore présent	Fréquence de désherbage															
			I	II	III	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
ELEVE	10	mousses et sagine couchée				1	2											
	9	flore annuelle				1		2-7										
		flore pluriannuelle non velue						3,4,7										
		flore pluriannuelle velue						3										
		flore diverse et équilibrée						6										
	7 - 8	flore annuelle								1		2-7						
		flore pluriannuelle non velue										3,4,7						
		flore pluriannuelle velue										3						
		flore diverse et équilibrée										6,7						
	5 - 6	flore annuelle															3,4	
		flore pluriannuelle non velue														3,4,7		
		flore pluriannuelle velue														3		
		flore diverse et équilibrée														6,7		
	2 - 4	flore annuelle														3,4,6,7		
		flore pluriannuelle non velue																
		flore pluriannuelle velue																
flore diverse et équilibrée																		
flore pluriannuelle extrêm. tenace																		
MODERE	10	mousses et sagine couchée					1	2										
	9	flore annuelle					1		2-5									
		flore pluriannuelle non velue							3,4									
		flore pluriannuelle velue							3									
		flore diverse et équilibrée							3,4									
	7 - 8	flore annuelle									1		2-5					
		flore pluriannuelle non velue											3,4					
		flore pluriannuelle velue											3					
		flore diverse et équilibrée											3,4					
	5 - 6	flore annuelle															2-4	
		flore pluriannuelle non velue														3,4		
		flore pluriannuelle velue														3		
		flore diverse et équilibrée															3,4	
	2 - 4	flore annuelle														3,4,6,7		
		flore pluriannuelle non velue														3,4,7		
		flore pluriannuelle velue														3		
flore diverse et équilibrée															6,7			
flore pluriannuelle extrêm. tenace																		
FAIBLE	10	mousses et sagine couchée		1	2			1	2									
	9	flore annuelle		1	2-7			1	2-5									
		flore pluriannuelle non velue			3,4,7				3,4									
		flore pluriannuelle velue			3				3									
		flore diverse et équilibrée			6				3,4									
	7 - 8	flore annuelle					1	2-7				1	2-5					
		flore pluriannuelle non velue							3,4,7				3,4					
		flore pluriannuelle velue							3				3					
		flore diverse et équilibrée							6				3,4					
	5 - 6	flore annuelle											3-7				2-4	
		flore pluriannuelle non velue											3,4,7				3,4	
		flore pluriannuelle velue											3				3	
		flore diverse et équilibrée											6				3,4	
	2 - 4	flore annuelle															3,4	
		flore pluriannuelle non velue														3,4,7		
		flore pluriannuelle velue														3		
flore diverse et équilibrée															6,7			
flore pluriannuelle extrêm. tenace															7			

2-7 Signifie les systèmes 2 à 7 inclus.
Codes couleur: voir page 113

Tableau 5.15

Clé 3

Gestion curative durable non chimique des mauvaises herbes sur les revêtements modulaires semi-ouverts avec jointolement non lié

(suite)

Pavés à joints larges ou élargis Largeur de joint à la conception > 6 mm Pourcentage de joints > 10 %			Score (chiffre) ou classe (lettre) esthétique visé(e)															
			10 A				9 A				7 - 8 B				5 - 6 C			
Risque d'apparition de mauvaises herbes	Score esthétique initial	Type de flore présent	Fréquence de désherbage															
			I	II	III	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
ELEVE	10	mousses et sagine couchée															3, 4, 7	
	9	flore annuelle																3-7
		flore pluriannuelle non velue																3, 4, 7
		flore pluriannuelle velue																3
		flore diverse et équilibrée																6
	7 - 8	flore annuelle																3-7
		flore pluriannuelle non velue																3, 4, 7
		flore pluriannuelle velue																3
		flore diverse et équilibrée																6, 7
	5 - 6	flore annuelle																3-7
		flore pluriannuelle non velue																
		flore pluriannuelle velue																
		flore diverse et équilibrée																
	2 - 4	flore annuelle																
		flore pluriannuelle non velue																
		flore pluriannuelle velue																
flore diverse et équilibrée																		
flore pluriannuelle extrêm. tenace																		
MODERE	10	mousses et sagine couchée															3, 4	
	9	flore annuelle																3-5
		flore pluriannuelle non velue																3, 4
		flore pluriannuelle velue																3
		flore diverse et équilibrée																3, 4
	7 - 8	flore annuelle																3-7
		flore pluriannuelle non velue																3, 4, 7
		flore pluriannuelle velue																3
		flore diverse et équilibrée																6, 7
	5 - 6	flore annuelle																
		flore pluriannuelle non velue																3-7
		flore pluriannuelle velue																3, 4, 7
		flore diverse et équilibrée																3
	2 - 4	flore annuelle																6, 7
		flore pluriannuelle non velue																3, 4, 6, 7
		flore pluriannuelle velue																
flore diverse et équilibrée																		
flore pluriannuelle extrêm. tenace																		

2-7 Signifie les systèmes 2 à 7 inclus.
Codes couleur: voir page 113

Tableau 5.15

Clé 3

Gestion curative durable non chimique des mauvaises herbes sur les revêtements modulaires semi-ouverts avec jointoiement non lié

Récapitulatif (voir plus haut pour un complément d'informations)

Risque d'apparition de mauvaises herbes

Niveau	Score
ELEVE	< 0,3
MODERE	0,3 à 0,6
FAIBLE	> 0,6

Score esthétique initial

Score esthétique visé

Recouvrement des joints	Hauteur de la végétation				
	< 1 cm	1 - 3 cm	4 - 6 cm	7 - 10 cm	> 10 cm
1 - 6 %	10	9	8	7	6
6 - 16 %	10	8	7	6	5
16 - 26 %	10	7	6	5	4
26 - 51 %	10	6	5	4	3
51 - 100 %	10	5	4	3	2

Type de flore présent

Catégories de flore ⁽¹⁾	Groupe d'espèces
Mousses et sagine couchée	Bryophytes (<i>Musci</i>), hépatiques (<i>Hepaticae</i>), Sagine couchée (<i>Sagina procumbens</i>)
Flore annuelle	Pâturin annuel (<i>Poa annua</i>), petit séneçon (<i>Senecio vulgaris</i>), Erigéron du Canada (<i>Conyza canadensis</i>), millets (<i>Panicum</i> , <i>Digitaria</i> , <i>Setaria</i> sp.), etc.
Flore pluriannuelle non velue ⁽²⁾	Pissenlit (<i>Taraxacum officinale</i>), grand plantain (<i>Plantago major</i>), Ray-gras anglais (<i>Lolium perenne</i>), fétuques (<i>Festuca</i> sp.), trèfle blanc (<i>Trifolium repens</i>), etc.
Flore pluriannuelle velue	Céraiste commun (<i>Cerastium fontanum</i>), pâquerette (<i>Bellis perennis</i>), millefeuille (<i>Achillea millefolium</i>), tussilage (<i>Tussilago farfara</i>), géranium à feuilles molles (<i>Geranium molle</i>), etc.
Flore diverse et équilibrée	Aucune des espèces présentes ou groupe d'espèces (velue vs non velue, annuelle vs pluriannuelle) ne domine
Flore pluriannuelle extrêmement tenace	Espèces formant des rhizomes profonds, entre autres prêles, (<i>Equisetum</i> sp.), tussilage (<i>Tussilago farfara</i>), etc. Saule, entre autres bois de saule (<i>Salix</i> sp.)

(1) Déterminées en fonction de la prédominance de certaines espèces (groupes): le groupe d'espèces spécifique doit être responsable de plus de 80 % du recouvrement des joints;

(2) Y compris les bisannuelles.

Fréquence de désherbage (excepté les balayages standard)

Catégorie	Fréquence
I	> 8
II	6 à 8
III	3 à 5
IV	1 à 2

Systèmes de désherbage

Système	Séquence d'exécution (choix libre)
1	BA-BA-...-BA
2	BA-AC/CT/EC/VA/IR-BA-...-BA
3	BA-BR-EC/VA/IR-...-BA
4	BA-BR-AC/CT-...-BA
5	BA-AC/CT-EC/VA/IR-...-BA ou BA-EC/VA/IR-AC/CT-...-BA
6	BA-BR-AC/CT-EC/VA/IR-...-BA ou BA-BR-EC/VA/IR-AC/CT-...-BA
7	BA-BR-AC/CT-BR-EC/VA/IR-...-BA ou BA-BR-EC/VA/IR-BR-AC/CT-...-BA

BA: balayage avec aspiration
 BR: brossage avec aspiration
 AC: traitement à l'air chaud
 CT: traitement par choc thermique
 EC: traitement sélectif à l'eau chaude
 VA: traitement à la vapeur
 IR: brûlage par rayonnement infrarouge

En rouge = les cycles à répéter

Codes couleur

chiffre(s)

Facilement réalisable, mais pas conseillé. Pour chaque abaissement d'une catégorie du score esthétique visé, la fréquence de traitement baisse aussi d'une catégorie.
 Des mesures préventives lors de la conception et de l'exécution sont nécessaires: réfection ou rejointoiement avec un matériau qui inhibe l'apparition des mauvaises herbes.
 Systèmes de traitement recommandés.



Bibliographie

1. *Décret portant réduction de l'usage des pesticides par les services publics en Région flamande (21 décembre 2001).*
Moniteur belge 171 (2), pp. 3391-3393, 31 janvier 2002.
2. *Arrêté du Gouvernement flamand établissant les modalités des programmes visant à réduire l'usage de pesticides par les services publics en Région flamande (14 juillet 2004 et adaptation du 19 décembre 2008).*
Moniteur belge 179 (3), pp. 4140-4144, 23 janvier 2009.
3. **Vlaamse Milieumaatschappij (VMM),**
Evolutie van het pesticidengebruik bij Vlaamse gemeenten 2003-2009.
2011, D/2011/6871/002.
4. **Centre de recherches routières,**
Gestion des mauvaises herbes – Méthodes préventives et curatives pour un aspect esthétique optimal de la rue.
Bulletin CRR 81, pp. 3-9, 2009.
5. **Fagot, M., De Cauwer, B., Beeldens, A., Boonen, E., Bulcke, R., Reheul, D.,**
Weed flora in paved areas in relation to environment, pavement characteristics and weed control.
Weed Research 51, pp. 650-660, 2011.
6. *Ordonnance relative à la restriction de l'usage des pesticides par les gestionnaires des espaces publics en Région de Bruxelles-Capitale (1^{er} avril 2004).*
Moniteur belge 174 (143), pp. 34276-34280, 26 avril 2004.
7. **Région wallonne**
Programme wallon de réduction des pesticides
www.wallonie-reductionpesticides.be/fr
8. *Voorstel van resolutie – van de dames Hilde Crevits, Tinne Rombouts en Stern Demeulenaere en de heren Patrick Lachaert, Bart Martens en Mark Demesmaeker – betreffende het wegwerken van knelpunten inzake de reductie van bestrijdingsmiddelen.*
Stuk 808 (2005-2006)– Nr. 1, 20 april 2006.
9. **Centre de recherches routières,**
Code de bonne pratique pour la conception et l'exécution de revêtements en pavés de béton.
Recommandations CRR R 80/09, 2009.
10. **Centre de recherches routières,**
Revêtements drainants en pavés de béton.
Dossier 5 en annexe au Bulletin CRR 77, 2008.
11. **CROW,**
Onkruidbeheer op verharding - van beleid tot uitvoering.
CROW publicatie 258, 2008.
12. **CROW,**
Ontwerpvoorbeelden onkruidwerende verhardingen.
CROW publicatie 119, 1997.
13. **Vlaamse Milieumaatschappij,**
Leidraad Pesticidotoets
2009.
<http://www.zonderisgezonder.be>

14. **Centre de recherches routières,**
Gestion préventive des mauvaises herbes sur les revêtements.
Dossier 10 en annexe au Bulletin CRR 86, 2011.
15. **CRIC,**
PTV 411, Codification des granulats.
2008.
16. **Vlaamse overheid,**
Compendium voor monsterneming, meting en analyse in het kader van bodembescherming (CMA).
CMA/2/II/A.9.5., 2009.
<http://www.emis.vito.be/referentielabo-ovam>
17. **COPRO,**
Waterdoorlatende bestratingen: Systeem-, product- en plaatsingseisen.
PTV 827, 2010.
18. **PROBETON,**
Pavés et dalles en béton perméables à l'eau.
PTV 122, 2009.
19. **PROBETON,**
Dalles-gazon en béton.
PTV 121, 2009.
20. *Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.*
Office Journal L327, 22 décembre 2000.
21. **Beeldens, A., De Myttenaere, O., Perez, S.,**
Water permeable pavements in Belgium – From research to real application.
9th International Conference on Concrete Block Paving (ICCB 2009), Buenos Aires, Argentina, October 18-21 2009, pp. 13.
22. **Centre de recherches routières,**
Gestion des mauvaises herbes - Etude sur le parking expérimental du CRR.
Bulletin CRR 85, pp. 20-24, 2010.
23. **Centre de recherches routières,**
Lutte contre les mauvaises herbes sur les revêtements – Etude de cas sur le parking expérimental du CRR à Sterrebeek.
Bulletin CRR 92, pp. 6-10, 2012.
24. **Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., Van Zelm, R.**
ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition (revised).
Ministerie van VROM, 2012.
<http://www.lcia-recipe.net/>
25. **Agentschap voor Natuur en Bos (ANB)**
Technisch Vademecum Paden en Verhardingen.
Harmonisch Park- en Groenbeheer.
2011.

Liste des figures

1.1	Structure type d'un pavage	4
1.2	Structures types en fonction de la charge de trafic	5
1.3	Parking en pavage drainant	6
2.1	Les facteurs circonstanciels (zones vertes adjacentes, piétinement, fonction) déterminent le risque d'apparition des mauvaises herbes ainsi que le degré de tolérance	7
2.2	Fréquence (%) des vingt espèces de mauvaises herbes les plus courantes sur les revêtements semi-ouverts	8
2.3	Score esthétique et aspects correspondants	10
2.4	Impact d'une zone verte adjacente sur les mauvaises herbes dans un revêtement (les barres d'erreur correspondent à l'erreur type sur la moyenne de l'échantillon de chaque classe)	11
2.5	Lien entre la perte au feu (mesure indirecte de la teneur en MO) après incinération dans un four et le score esthétique lié à la présence de mauvaises herbes sur un revêtement (les points sont des moyennes avec leur écart type)	12
2.6	Davantage de pollution (matériau organique) signifie un risque accru de mauvaises herbes	12
2.7	Influence de l'intensité d'utilisation sur les mauvaises herbes	13
2.8	Relation entre la conception/l'exécution et l'apparition des mauvaises herbes (score esthétique, recouvrement des joints) (les barres d'erreur correspondent à l'erreur type sur la moyenne de l'échantillon de chaque classe)	16
2.9	Influence de la largeur du joint sur le score esthétique, le recouvrement du joint par des mauvaises herbes et le nombre d'espèces végétales rencontrées	16
2.10	Score partiel [= 1/largeur de joint (mm)] en fonction de la largeur de joint. Le risque d'apparition de mauvaises herbes diminue proportionnellement à l'inverse de la largeur de joint.	17
3.1	Conversion de chemins revêtus en chemins couverts de végétation pour une gestion des mauvaises herbes sans pesticides	21
3.2	Finition des bords	22
3.3	Pièces complémentaires disponibles pour une finition soignée des bords et bordures	23
3.4	Finition de bords erronée et bonne finition dans un virage	23
3.5	Finition des bords aux points singuliers	23
3.6	Les affaissements sont un bouillon de culture idéal pour l'apparition des mauvaises herbes	24
3.7	Présence d'obstacles	24
3.8	Eviter un revêtement semi-ouvert sous le mobilier urbain et/ou choisir le mobilier en fonction de l'entretien futur (obstacles amovibles, mobilier déplaçable)	25
3.9	Une bonne finition du revêtement routier autour des obstacles combat l'apparition des mauvaises herbes	25
3.10	Sur certains aménagements routiers avec un revêtement modulaire ou un design spécial pour lesquels on n'a pas utilisé de matériau de jointoiment approprié, la maîtrise des mauvaises herbes pose souvent problème.	26
3.11	Influence d'une bordure sur la largeur de joint d'un revêtement, mesurée au bord et dans la partie centrale. Les données concernent des endroits de la campagne d'inventaire de l'UGent (voir chapitre 2). Les barres d'erreur correspondent à l'erreur type sur la moyenne de l'échantillon de chaque classe.	26
3.12	Contrebutage en fonction de la catégorie de trafic	27

3.13	En raison de l'eau, de la terre et des matériaux organiques qui peuvent s'y accumuler, les filets d'eau constituent un bouillon de culture idéal pour les mauvaises herbes	27
3.14	Bordures en béton préfabriqué et/ou matériau de jointoiment approprié étanche pour combattre les mauvaises herbes	27
3.15	Appareillages possibles	28
3.16	Influence de l'appareillage sur la largeur de joint des revêtements dans la pratique. Les données sont relatives à des lieux de la campagne d'inventaire de l'UGent (voir chapitre 2). Les barres d'erreur correspondent à l'erreur type sur la moyenne de l'échantillon de chaque catégorie.	28
3.17	Effet de pompage en cas d'accumulation d'eau dans la couche de pose et dégradations qui en découlent	29
3.18	Evacuation de l'eau de ruissellement via des avaloirs et caniveaux et de l'eau d'infiltration dans la fondation via des ouvertures de drainage percées et un tuyau	30
3.19	Exemple d'alignement insuffisant par rapport à la gestion (alternative) des mauvaises herbes future: zone problématique entre les emplacements de parking et le mur, zone peu utilisée (circulée) et qui, en raison des nombreux obstacles (parking à vélos, armoires électriques, poteaux), sont difficiles à entretenir mécaniquement	30
3.20	Attention dans la conception à l'entretien mécanique lors de la gestion future des mauvaises herbes: distance suffisante entre les obstacles, obstacles amovibles, transitions fluides entre la chaussée et le trottoir ou la piste cyclable, bordures aux angles biseautés, avaloir entre la chaussée et le parking	31
3.21	Influence du type de matériau (béton, terre cuite) sur l'apparition des mauvaises herbes à largeur de joint comparable (jusqu'à 5 mm)	32
3.22	Quantité de mauvaises herbes (\pm erreur type) sur le parking expérimental du CRR en fonction du type de pavé (mai 2010)	33
3.23	Mise en œuvre de la couche de pose	34
3.24	Influence du matériau de la couche de pose sur l'apparition des mauvaises herbes	35
3.25	Exemple de stabilité du filtre entre la couche de pose (BL – couche supérieure) et la fondation sous-jacente (OL – couche inférieure)	36
3.26	Transfert de charge entre les pavés d'un revêtement au moyen de joints totalement remplis. La force qui intervient dans un pavé sous l'action du trafic est partiellement transférée aux pavés adjacents par le biais du matériau de jointoiment.	37
3.27	Matériau de jointoiment classique en matériau non lié	37
3.28	Influence de la largeur des joints et de la pollution organique sur la capacité du matériau de jointoiment à contrecarrer aux mauvaises herbes	38
3.29	Lien entre la granularité de jointoiment in situ et l'apparition des mauvaises herbes. Les données concernent des lieux de la campagne d'inventaire de l'UGent (voir chapitre 2) et dont la largeur de joint > 5 mm. Les barres d'erreur correspondent à l'erreur type sur la moyenne de l'échantillon de chaque classe.	39
3.30	Courbes granulométriques caractéristiques pour les classes de jointoiment sur base des paramètres μ et σ . Il s'agit de sable de jointoiment des lieux de la campagne d'inventaire.	40
3.31	Différences intra- et interspécifiques en réponse de croissance des matériaux de jointoiment. La capacité à empêcher l'apparition des mauvaises herbes a été déterminée à l'aide d'essais de laboratoire en pot où des matériaux de jointoiment ont été testés à des degrés de pollution croissants (en mélangeant 0, 5, 10, 20, 40, 80 vol.-% de matériaux organiques). La capacité à empêcher l'apparition des mauvaises herbes à 10 vol.-% MO est exprimée comme la diminution de la quantité de biomasse (en %) par rapport au matériau de référence sable blanc	

	(= valeur nulle). Cela signifie qu'à 100 %, aucune mauvaise herbe n'apparaît, en cas de valeur négative, il y a plus de mauvaises herbes qu'avec du sable blanc!	41
3.32	Exemples de matériaux de jointoiment innovants freinant l'apparition des mauvaises herbes	41
3.33	Réponse de croissance en fonction du degré de pollution (% MO) pour le grand plantain (<i>Plantago major</i>) dans différents matériaux de jointoiment, testée à l'essai en pots.	42
3.34	Comparaison de prix à titre indicatif (prix relatif par rapport au prix par tonne pour le sable blanc en 2010) de différents matériaux de jointoiment, sur base de demandes effectuées auprès de fournisseurs	44
3.35	Exemple de revêtement rejointoyé avec du mortier modifié	44
3.36	Perméabilité (k) et apparition des mauvaises herbes (mesures de 2009)	45
3.37	Principe de fonctionnement des pavages drainants	46
3.38	Pose d'un système de drainage pour des revêtements drainants en fonction du type de sous-sol ou si aucune infiltration n'est autorisée	46
3.39	Modèles types pour la structure des pavages drainants en fonction de la charge de trafic escomptée et de la perméabilité du sous-sol	47
3.40	Pavés de béton à joints élargis	48
3.41	Pavés de béton (à gauche) et pavés en terre cuite (à droite) à ouvertures de drainage	48
3.42	Pavés de béton poreux	48
3.43	Dalles-gazon en béton avec remplissage de gravillons	49
3.44	Exemple de matériau de jointoiment 0,5/2 pour un revêtement en pavés de béton poreux	50
3.45	Matériaux de jointoiment liés aux polymères, repoussant les mauvaises herbes et perméables dans des pavés à ouvertures de drainage (2008)	51
4.1	Désherbage curatif sur un revêtement en pavés de béton	53
4.2	Récapitulatif et principe de fonctionnement des techniques de désherbage	54
4.3	Dégradation observable visuellement à la rosette d'un pissenlit (<i>Taraxacum officinale</i>) après application d'une technique thermique. Les nervures les plus épaisses et le point de croissance central restent intacts.	55
4.4	Différents modes de transfert thermique vers la plante en fonction de la technique thermique appliquée. Dans la plante, la transmission de chaleur se fait par conduction. Les boules rouges sont des points de croissance à partir desquels la repousse est impossible si l'on chauffe au-delà de 58 °C. Une plante se refroidit par la transpiration et le rayonnement.	55
4.5	Principe de fonctionnement d'un brûleur à choc thermique (flamme nue). Le flux gazeux chaud est maintenu le plus près et le plus longtemps possible près des mauvaises herbes. Il est indispensable de bien isoler le capot du brûleur.	56
4.6	Principe de fonctionnement d'un brûleur à air chaud	57
4.7	Principe de fonctionnement d'un brûleur infrarouge	57
4.8	Principe de fonctionnement d'une machine à eau chaude dirigée par capteurs. La transmission de chaleur se fait par conduction.	58
4.9	Principe de fonctionnement d'une machine à vapeur. La chaleur est transmise par condensation et conduction.	58
4.10	Principe de fonctionnement des brosses de désherbage. Elles coupent les mauvaises herbes dans le joint ou les arrachent.	59
4.11	Nécrose des bords des feuilles d'un séneçon de Jacob (<i>Jacobaea vulgaris</i>) après application d'une dose d'énergie trop faible avec la technique thermique	59
4.12	Plante en rosette velue avec dégradation limitée après traitement avec technique convective	60
4.13	La renouée des oiseaux (<i>Polygonum aviculare</i>) est un exemple de plante difficile à désherber ou à déraciner	62

4.14	En cas d'application unilatérale de techniques thermiques convectives, la part de plantes velues augmente (ici: céraiste commun ou <i>Cerastium fontanum</i>)	63
4.15	Impact environnemental (score ACV sur base de la méthode ReCiPe) par intervention de quatre techniques sur deux types de revêtement en pavés de béton.	67
4.16	Impact environnemental (points ReCiPe) pour deux saisons de croissance de deux scénarios de traitement différents sur trois types de revêtements en pavés de béton (critère de score esthétique = 7-8)	68
4.17	Impact environnemental annuel (score ACV sur base de la méthode ReCiPe) de différents scénarios de traitement (trois scénarios avec application exclusive du brossage, de l'air chaud et de l'eau chaude, et un scénario avec application alternée du brossage et de l'air chaud) sur des pavés de béton à joints élargis (score esthétique 7-8)	69
4.18	Influence de la limite de mauvaises herbes (critère du score esthétique) sur l'impact environnemental annuel du brûlage unilatéral pour deux scores esthétiques (score esthétique 9-10 = catégorie esthétique A et score esthétique 7-8 = catégorie esthétique B)	70
4.19	Prix de revient moyen par intervention (euro/m ²) pour différents scénarios de traitement sur un revêtement en pavés de béton à joints élargis, subdivisés en différents types de frais (main d'œuvre, combustible, amortissement de la machine et autres). Les techniques ont été appliquées à une dose d'énergie comparable (ED80).	71
4.20	Prix de revient global annuel moyen (euro/m ²) pour différents scénarios de traitement sur un revêtement en pavés de béton à ouvertures de drainage (critère strict = score esthétique 9-10, autres = score esthétique 7-8)	71
4.21	Comparaison du prix de revient annuel moyen (euro/m ² .an) pour différents types de pavés avec traitement unilatéral à l'air chaud	72
4.22	Impact des traitements à l'eau chaude sur la clarté des pavés. Comparaison visuelle avec photo, prise le 4 août 2011.	73
4.23	Mesures de perméabilité sur le parking expérimental du CRR à Sterrebeek	73
4.24	Influence de la fréquence du brossage sur la profondeur de joint mesurée sur des pavés à joints élargis	74
5.1	Méthode de mesure pour la détermination du score esthétique	78
5.2	Calcul du risque d'apparition de mauvaises herbes (uniquement pour les catégories de trafic III et IV)	81
5.3	Structure principale de l'arbre de décision pour la gestion et la maîtrise des mauvaises herbes sur des revêtements semi-ouverts	82
5.4	La clé 1 dans l'arbre de décision est d'application pour un revêtement existant	83
5.5	Structures types de pavages drainants en fonction de la charge de trafic escomptée et de la perméabilité du sous-sol	86
5.6	Structures types de pavages classiques en béton (non drainants) en fonction de la charge de trafic	87
5.7	Conception de base pour la clé 2 Revêtement neuf	88
5.8	Directives générales pour le choix des matériaux pour la clé 2 Revêtement neuf	90
5.9	Clé 2.1 – Choix des matériaux de la structure des pavages drainants pour les catégories de trafic III et IV, en fonction du type de pavé et du risque d'apparition de mauvaises herbes	93
5.10	Clé 2.1 – Choix des matériaux de la structure des pavages non drainants pour les catégories de trafic III et IV, en fonction du risque d'apparition de mauvaises herbes et de la largeur des joints	94

Liste des tableaux

1.1	Catégories de trafic	4
1.2	Structures types pour les différentes catégories de trafic	5
2.1	Répartition du CROW des catégories esthétiques pour l'apparition des mauvaises herbes	9
2.2	Détermination du score esthétique pour l'apparition des mauvaises herbes sur les revêtements	10
2.3	Correspondance entre les catégories de score esthétique et les catégories du CROW (Pays-Bas)	10
2.4	Lien entre les caractéristiques de conception et l'apparition des mauvaises herbes	14
2.5	Méthode de calcul du score de conception global sur base des scores partiels pondérés pour les critères de conception A à F du tableau 2.4	15
2.6	Méthode de détermination de la largeur de joint moyenne d'un revêtement existant. Les pavés verts représentent par exemple les points de mesure.	18
2.7	Classes d'intensité d'utilisation sur base du nombre de passages journaliers et de la fonction principale du revêtement, et score partiel correspondant du risque d'apparition de mauvaises herbes. Uniquement valable pour les revêtements des catégories de trafic III et IV.	18
2.8	Exemple de calcul du score global de risque sur base des scores de risque partiels pour la conception, la largeur de joint et l'intensité d'utilisation (uniquement d'application pour les catégories de trafic III et IV)	20
3.1	Choix du matériau de la couche de pose en fonction de la catégorie de trafic	35
3.2	Directives pour les paramètres de granularité du sable de jointolement dans le cadre de la prévention des mauvaises herbes	38
3.3	Valeurs caractéristiques pour la lixiviation des sels hors de quelques matériaux de jointolement selon le CMA/2/II/A.9.5 [16] du Compendium pour l'échantillonnage, la mesure et l'analyse dans le cadre de la protection du sol du Gouvernement flamand	43
3.4	Choix du type de pavé drainant en fonction de l'application	49
4.1	Chaleur spécifique, coefficient de conduction de chaleur et teneur en chaleur des milieux pour les techniques thermiques	56
4.2	Applicabilité des différentes techniques de désherbage	61
4.3	Fréquence de traitement exigée (nombre de traitements/période) pour quatre scénarios de traitement pour conserver sur un revêtement en pavés de béton à joints élargis (avec matériau de jointolement classique, non lié) un score esthétique 7-8 (classe esthétique B – voir tableau 2.3)	63
4.4	Fréquence de traitement exigée (nombre d'interventions/deux saisons de croissance) pour les différents types de pavés et scénarios de traitement pour conserver un score esthétique de 7-8 (classe esthétique B – voir tableau 2.3)	65

5.1	Méthode de calcul du score global de conception sur base des scores partiels pondérés pour les critères de conception A à F	77
5.2	Détermination du score esthétique lié à la présence de mauvaises herbes sur les revêtements	77
5.3	Méthode de détermination de la largeur de joint moyenne d'un revêtement existant	79
5.4	Classes d'intensité d'utilisation sur base du passage et de la fonction principale du revêtement, et score partiel correspondant du risque d'apparition de mauvaises herbes. Uniquement valable pour les revêtements des catégories de trafic III et IV.	80
5.5	Détermination de la nécessité de rejointoiement/réfection d'un revêtement existant (pour des matériaux de jointoiement classiques non liés!)	84
5.6	Détermination des catégories de trafic	85
5.7	Structures types de pavages classiques en béton (non drainants) pour les différentes catégories de trafic	87
5.8	Choix du matériau de la couche de pose en fonction de la catégorie de trafic	91
5.9	Directives pour les paramètres granulométriques du sable de jointoiement dans le cadre de la prévention des mauvaises herbes	92
5.10	Correspondance entre les catégories de score esthétique et les classes du CROW (Pays-Bas)	99
5.11	Catégories de flore selon les espèces présentes et exemples illustratifs correspondants	100-101
5.12	Catégories de fréquence de désherbage avec le nombre d'interventions correspondant par an	102
5.13	Applicabilité des différentes techniques de désherbage	105
5.14	Systèmes de désherbage recommandés	106
5.15	Clé 3 – Gestion curative durable non chimique des mauvaises herbes sur les revêtements modulaires semi-ouverts avec jointoiement non lié	108-111

Code de bonne pratique pour la gestion et la maîtrise des mauvaises herbes sur les revêtements modulaires par voie non chimique / Centre de recherches routières ; E. Boonen (CRR), B. De Cauwer (UGent), M. Fagot, (UGent), A. Beeldens (CRR) et D. Reheul (UGent).

- Bruxelles : CRR, 2013.

- 128 p. + annexe

- (Recommandations, ISSN 1376-9340 ; 84).

Afin de préserver les eaux de surface, les eaux souterraines et donc la santé publique, les services publics en Flandre (sauf circonstances exceptionnelles) ne pourront plus utiliser d'herbicides à partir du 1er janvier 2015 pour combattre l'apparition des mauvaises herbes sur les revêtements. En Région de Bruxelles-Capitale et en Wallonie aussi, la législation suit cette tendance ou bien s'apprête à prendre le même chemin.

Les connaissances sur l'efficacité des méthodes alternatives non chimiques, sur leur fréquence d'application et les impacts environnementaux sont encore limitées. En outre, une conception adaptée et une exécution correcte du revêtement permettent d'agir de manière préventive pour éviter l'apparition des mauvaises herbes.

L'objectif de ce code de bonne pratique est donc double. Il vise à informer les acteurs sur le terrain (concepteurs, architectes, fabricants de pavés, fournisseurs, exécutants, gestionnaires publics et privés, citoyens ordinaires, etc.) des facteurs d'influence principaux pour l'apparition des mauvaises herbes sur les revêtements, ainsi que des mesures de lutte préventives et curatives non chimiques potentielles. En outre, ce code a pour but de les aider à faire les bons choix, pour arriver à des seuils acceptables de mauvaises herbes par rapport à l'aspect esthétique général de la rue à l'aide d'un système de gestion des mauvaises herbes durable, intégré et non chimique. A cet effet, un certain nombre de recommandations importantes en vue d'une gestion écologique et économique des mauvaises herbes sur les revêtements sont faites. L'élaboration de ces recommandations se base sur les résultats du projet de recherche de quatre ans VISCO 07670 *Onkruidbeheer: preventieve en curatieve methodes voor een optimaal straatbeeld* réalisé par le CRR et l'unité *Plantaardige productie* de l'UGent, avec le soutien de l'IWT-Vlaanderen. Enfin, pour le processus de la maîtrise des mauvaises herbes, un arbre de décision a été établi. Celui-ci est décrit en détail au chapitre 5 du code de bonne pratique. Les informations du chapitre 5 sont en outre reprises de manière synthétique et schématique dans une annexe pratique à emporter sur le terrain.

Classification ITRD

15 – Environnement ; 20 – Conception des routes et structures de transport ; 30 – Matériaux

Mots clés ITRD

1556 – LEGISLATION ; 2435 – SYSTEME DE GESTION ENVIRONNEMENTALE ; 2444 – PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT ; 2453 – POLLUTION ; 2488 – VEGETATION ; 2489 – HERBICIDE ; 2972 – REVETEMENT (CHAUSSEE) ; 4383 – EAU SOUTERRAINE ; 8008 – BELGIQUE ; 9000 – ALTERNATIVE ; 9149 – PREVENTION

Commande

Réf.: R 84/12
(annexe incl.)

Prix: 20,00 € (excl. 6 % TVA)

Fax: +32 2 766 17 80
publication@brrc.be

Annexe au R 84/12
(excl. R 84/12)

Prix: 7,50 € (excl. 6 % TVA)



Centre de recherches routières

Votre partenaire pour des routes durables

Etablissement reconnu par application de l'Arrêté-loi du 30 janvier 1947
boulevard de la Woluwe 42
1200 Bruxelles
Tél. : 02 775 82 20 - fax : 02 772 33 74
www.crr.be