

**XXIII^{ème} CONGRÈS MONDIAL DE LA ROUTE
PARIS 2007**

ESPAGNE – RAPPORT NATIONAL

SÉANCE D'ORIENTATION STRATÉGIQUE TS IV

QUALITÉ DES INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES

Adolfo GÜELL & José DU CERRO
Direction générale des routes du ministère des Travaux publics
aguell@fomento.es & jdelcerro@fomento.es

RÉSUMÉ

Dans le but d'améliorer la qualité des infrastructures routières en Espagne entre les années 2002 et 2006, une profonde révision a été effectuée dans le domaine non seulement normatif mais encore méthodologique.

C'est ainsi qu'il convient de signaler la révision des normes concernant les chaussées et les couches de surface en 2003. Elle comprend l'optimisation des sections structurales des chaussées afin de les adapter aux conditions de circulation actuelles et tient compte de l'évolution technologique tant des matériaux que des systèmes de construction.

De même en 2002 a été approuvée l'ordre ministériel qui traite de l'utilisation des sols marginaux (sols expansifs, qui s'affaissent, sols avec un contenu élevé de sels solubles, etc.) dans les travaux routiers. L'emploi de ce type de matériaux suppose une utilisation plus rationnelle des ressources naturelles, ce qui permet d'utiliser au maximum des matériaux locaux et de réduire par conséquent l'impact dans les zones affectées par les chantiers.

En 2004, est entrée en vigueur l'ordre circulaire sur les recommandations pour le projet et la construction du drainage souterrain dans les travaux routiers. Cet ordre circulaire définit les critères de base pour les projets de drainages souterrains, en définissant les caractéristiques des unités de chantier les plus fréquentes, ainsi que les détails et les règles de bonne utilisation à suivre pendant la construction et l'entretien postérieur.

Quant aux ouvrages d'art, ce rapport national inclut un travail qui décrit une application permettant d'évaluer le risque potentiel d'effondrement des ponts sur les cours d'eau. Pour ce faire, il a été défini une méthodologie pour les inspections des ponts, ainsi que les critères permettant d'évaluer leur vulnérabilité en fonction de l'action de creusement des eaux. La Direction générale des routes du ministère des Travaux publics a appliqué cette méthodologie à une campagne d'inspections de 1 818 ponts sur des cours d'eau du réseau routier de l'Etat entre les années 2000 et 2003.

Ce thème stratégique 4 *Qualité des infrastructures routières* traite des sujets suivants :

- 1.- « Innovation en matière de structure de la chaussée et couche de surface » se référant à la section 4.3.1. *Faire un choix adapté des chaussées et des techniques routières.*
- 2.- « La nouvelle instruction espagnole pour le drainage sous chaussée » se référant à la section 4.3.3. *Minimiser les impacts des chantiers routiers sur les milieux traversés.*
- 3.- « Nouveautés dans la promotion et l'emploi des matériaux locaux, résiduels et marginaux » se référant à la section 4.5.1. *Promouvoir l'utilisation optimale des matériaux locaux.*
- 4.- « Évaluation du risque potentiel d'effondrement des ponts sur cours d'eau » se référant à la section 4.4.2. *Évaluer l'état des ouvrages avec les méthodologies de gestion des actifs.*

INNOVATION EN MATIÈRE DE STRUCTURE DE LA CHAUSSÉE ET COUCHE DE SURFACE

En Espagne, il est apparu dans les années 2002-2006 une série de nouveautés très intéressantes en matière de chaussées routières, en particulier en ce qui concerne les sections structurelles, les matériaux employés et l'utilisation du recyclage dans les travaux de réhabilitation.

Les expériences accumulées des travaux réalisés en Espagne au cours des dernières années ont conduit à la rédaction des Normes 6.1.I.C. et 6.3.I.C. (qui sont entrées en vigueur le 13-12-03).

La Norme 6.1.I.C. décrit d'une part les nouvelles sections structurelles de chaussées afin de les adapter aux conditions de circulation existant en Espagne et d'autre part l'évolution technologique des matériaux et des systèmes de construction utilisés pour les couches de surface des routes.

Parmi les modifications incluses dans cette Norme, signalons les suivantes :

- une distribution plus exhaustive des catégories de trafic des poids lourds a été réalisée dans le but d'optimiser les sections des chaussées en projet. C'est ainsi qu'a été définie une nouvelle catégorie de trafic des poids lourds, la T00 (plus de 4 000 poids lourds/jour), pour tenir compte de l'augmentation de trafic des poids lourds observée sur le réseau routier espagnol. De même, les catégories de poids lourds T3 (entre 50 et 200 poids lourds/jour) et T4 (moins de 50 poids lourds/jour) ont été divisées en deux sous catégories afin de mieux adapter les sections de chaussées à la réalité sur les routes ayant peu de circulation de poids lourds ;
- la recherche de sols de fondation présentant de meilleures garanties quant à l'uniformité structurelle, la durabilité et l'insensibilité face à l'action des eaux, en adoptant un paramètre de détermination de la catégorie des sols de fondation plus exigeant (module de compressibilité dans le second cycle de charge) et en généralisant l'utilisation de stabilisations de sols avec des liants hydrauliques pour l'obtention des sols de fondation. C'est ainsi que, dans le cas des sols de fondation de plus grande qualité, de type E3, il est exigé qu'ils soient stabilisés avec des liants hydrauliques ;
- le nombre de sections structurelles possibles a été réduit. Ainsi, les nouvelles sections structurelles bénéficient d'une augmentation significative de la durabilité et de la vie utile comparées aux précédentes ;
- les sections de chaussées avec des graves naturels comme sous-base n'existent plus. Cette élimination est due à deux raisons : le faible apport structural et les questions environnementales ;
- inclusion de nouveaux matériaux dans la conception des chaussées, parmi lesquels on peut signaler les enrobés de grand module pour les couches de base et les enrobés de granularité discontinue à chaud pour les couches de roulement ;
- dans le domaine des chaussées rigides, il devient obligatoire d'employer des couches de surface continues de béton armé pour les catégories de trafic de poids lourds T00 et T0 (plus de 2 000 poids lourds/jour).

La Norme 6.3.I.C. définit les critères de base dont il faut tenir compte dans les projets de remise en état des chaussées existantes, le principe étant que, après la remise en état, les chaussées aient les mêmes structures et caractéristiques que si elles étaient neuves. La norme 6.3 I.C. fait référence, au point 7.4., aux critères d'application des techniques de

recyclage. En particulier, cette instruction indique que, dans les projets de remise en état de chaussées existantes dont la superficie dépasse 70 000 m², il faudra considérer (fondamentalement pour des questions environnementales et économiques) le recyclage des chaussées dans l'analyse des solutions.

Le 18 janvier 2002 est entrée en vigueur l'Ordre circulaire 8/2001 « *Recyclage des chaussées* ». Cet ordre circulaire est la conséquence des expériences obtenues dans les travaux de recyclage exécutés en Espagne pendant les années quatre-vingt-dix. La technique de recyclage choisie est fonction de la typologie des sections structurales des chaussées et des couches de surface, ainsi que de leur détérioration : recyclage in situ avec émulsion de tapis hydrocarbonés, recyclage in situ avec du ciment pour couches de chaussée ou recyclage à chaud en atelier des tapis hydrocarbonés.

Étant donné leur importance, nous allons décrire deux des nouveautés les plus significatives utilisées ces dernières années en Espagne : les enrobés discontinus à chaud pour les couches de roulement et les sols stabilisés in situ pour la formation de plates-formes.

Enrobés discontinus à chaud pour les couches de roulement

Les enrobés discontinus à chaud pour les couches de roulement sont décrits à l'article 543 du Cahier des prescriptions techniques générales pour les chantiers de ponts et chaussées (PG-3) qui a été approuvé le premier mars 2004.

Table 1 – Fuseaux granulométriques des enrobés discontinus

FUSEAUX GRANULOMÉTRIQUES, PASSANT ACCUMULÉ (% en masse)

TYPE D'ENROBE	OUVERTURE DES TAMIS (mm)						
	12,5	10	8	4*	2*	0,500	0,063
M8	-	100	75-97	14-27	11-22	8-16	5-7
M10	100	75-97	-	14-27	11-22	8-16	5-7
F8	-	100	75-97	23-38	18-32	11-23	7-9
F10	100	75-97	-	23-38	18-32	11-23	7-9

(*) La fraction du granulat qui passe par le tamis de 4 mm de la UNE-EN 933-2 et qui est retenue par le tamis de 2 mm de la UNE-EN933-2 est inférieure à huit pour cent (8%).

Les enrobés considérés sont ceux dont les matériaux sont la combinaison d'un liant hydrocarboné, de granulats présentant une discontinuité granulométrique très accentuée dans les tamis inférieurs du gros granulat, de la poussière minérale et, éventuellement, d'additifs, afin que toutes les particules de granulat soient recouvertes d'une pellicule homogène de liant.

En Espagne, la norme distingue deux types d'enrobés (F et M) avec deux fuseaux granulométriques de dimension nominale maximale de huit et dix millimètres chacun, et dont les épaisseurs des couches de roulement sont de 2 et 3 cm respectivement. La

norme définit l'utilisation des enrobés discontinus de type M pour les tronçons de route ayant un trafic de poids lourds supérieur à 800 véhicules/jour.

Ces couches de roulement s'utilisent en général pour les routes ayant un trafic élevé, la norme espagnole exigeant, dans ces cas-là, que le liant hydrocarboné soit un bitume modifié.

Les tableaux 1 et 2 indiquent les caractéristiques les plus intéressantes de ces enrobés.

Tableau 2 – Caractéristiques générales des enrobés discontinus

TYPE, COMPOSITION ET DOSAGE DE L'ENROBÉ

CARACTÉRISTIQUE		TYPE D'ENROBÉ			
		M8	M10	F8	F10
DOSAGE MOYEN DE L'ENROBÉ (kg/m ²)		35-50	55-70	40-55	65-80
DOSAGE MINIMAL (*) DE LIANT (% en masse sur le total du granulat sec, y compris la poussière minérale)		5		5,5	
LIANT RÉSIDUEL DANS LA COUCHE D'ACCROCHAGE (kg/m ²)	Chaussée neuve	> 0,3		> 0,25	
	Chaussée ancienne	> 0,4		> 0,35	

(*) Y compris les tolérances spécifiées au chapitre 543.9.3.1. On tiendra compte, si nécessaire, des corrections pour poids spécifique et absorption de granulats.

Sols stabilisés pour la formation de plates-formes

Dans le but de définir la structure de la chaussée, la Norme 6.1 IC définit trois catégories de plates-formes : E1, E2 et E3. Ces catégories correspondent au module de compressibilité du second cycle de charge (Ev2), obtenu conformément à la NLT-357 « Essai de charge avec plaque », dont les valeurs minimales figurent dans le tableau suivant :

Tableau 3 – Catégories de plates-formes

CATÉGORIE DE PLATES-FORMES	E ₁	E ₂	E ₃
E _{v2} (MPa)	≥ 60	≥ 120	≥ 300

Pour la formation de plates-formes, la norme recommande à l'ingénieur du projet, pour des raisons de durabilité et d'uniformité de la capacité structurale sur l'ensemble du tracé, de préférer les sols stabilisés in situ, avec de la chaux et du ciment plutôt qu'un apport direct de sols non traités. Pour la formation des plates-formes de plus grande qualité, de type E3, la norme précise que la couche de couronnement devra être faite avec des sols stabilisés, sauf dans le cas des déroctages.

Tableau 4 – Classement des sols

SYMBOL E	DÉFINITION DU MATÉRIAU	ARTICLE DU PG-3	PRESCRIPTIONS COMPLÉMENTAIRES
IN	Sol inadéquat ou marginal	330	- Son utilisation ne sera possible que s'il est stabilisé avec de la chaux ou du ciment pour obtenir S-EST1 ou S-EST2
0	Sol tolérable	330	- CBR ≥ 3 (*). - Contenu en matière organique < 1% - Contenu en sulfates solubles (SO ₂) < 1%. - Gonflement libre < 1%.
1	Sol adéquat	330	- CBR ≥ 5 (*) (**)
2	Sol sélectionné	330	- CBR ≥ 10 (*) (**)
3	Sol sélectionné	330	- CBR ≥ 20 (*)
S-EST 1 S-EST 2 S-EST 3	Sol stabilisé in situ avec du ciment ou de la chaux	612	- Épaisseur minimale : 25 cm. - Épaisseur maximale : 30 cm.

(*) Le CBR se déterminera conformément aux conditions spécifiées de mise en chantier et sa valeur servira exclusivement pour l'acceptation ou le rejet des matériaux utilisés dans les différentes couches conformément à la figure 1.

(**) Pour la couche supérieure de celles utilisées pour la formation de la plate-forme, le sol adéquat défini comme type 1 devra avoir, dans les conditions de mise en chantier, un CBR ≥ 6, et le sol sélectionné défini comme type 2 un CBR ≥ 12. De même, ces valeurs minimales de CBR seront exigées respectivement dans le cas d'une plate-forme de catégorie E₁ sur des sols de type 1 ou une plate-forme de catégorie E₂ sur des sols de type 2.

Les prescriptions pour la formation de sols stabilisés in situ se trouvent à l'article 512 du Cahier des prescriptions techniques générales pour les chantiers de ponts et chaussées (PG-3) qui a été approuvé le 01-03-2004.

**Tableau 5 – Sols stabilisés « in situ »
SPÉCIFICATIONS DES SOLS STABILISÉS IN SITU**

CARACTÉRISTIQUE	UNITÉ	NORME	TYPE DE SOL STABILISÉ		
			S-EST1	S-EST2	S-EST3
CONTENU DE CHAUX OU DE CIMENT	% EN MASSE DU SOL SEC		≥ 2	≥ 3	
INDICE CBR, à 7 jours (*)	----	UNE 103502	≥ 6	≥ 12	
COMPRESSION SIMPLE, à 7 jours (*)	MPa	NLT – 305	---	---	≥ 1,5
DENSITÉ (Proctor modifié)		UNE 103501	≥ 95 (**)	≥ 97	≥ 98

(*) Pour la réalisation de ces tests, la compacité des éprouvettes a été réalisée selon la NLT-310 avec la densité spécifiée dans la formule de travail.

(**) Pour la couche de couronnement de la catégorie de plate-forme EI définie dans la Norme 6.1 IC des Sections de chaussées, cette valeur sera quatre-vingt-dix-sept pour cent (97%).

Les sols stabilisés sont définis comme étant le mélange homogène d'un sol avec de la chaux ou du ciment et éventuellement de l'eau, sur le tracé même de la route, avec une compacité suffisante pour diminuer la susceptibilité à l'eau du sol ou augmenter sa résistance, ce qui permet de les utiliser pour la formation de plates-formes.

Selon ses caractéristiques finales, la norme espagnole définit trois types de sols stabilisés in situ : S-EST 1, S-EST 2 et S-EST 3. Les deux premiers peuvent être obtenus avec de la chaux ou du ciment, alors que le troisième doit nécessairement être réalisé avec du ciment.

L'article 512 mentionné plus haut précise les conditions que doivent respecter ces sols stabilisés en fonction du type de sol et de la catégorie de plate-forme que l'on veut obtenir ; elles sont rappelées dans le tableau 5.

LA NOUVELLE INSTRUCTION ESPAGNOLE POUR LE DRAINAGE SOUS CHAUSSEE PROFOND

L'Espagne présente de très grandes *différences pluviométriques* selon les régions : alors que dans le nord-est de la péninsule la précipitation moyenne annuelle peut dépasser 2 200 mm/an, dans le sud-est elle atteint à peine 300 (rapport 1 :7) ; il existe même des stations météorologiques qui enregistrent moins de 130 mm/an, ce qui constitue, de façon presque sûre, la valeur moyenne la plus basse de l'Europe continentale.

Par ailleurs, la distribution dans le temps du régime pluviométrique est extrêmement irrégulière : dans certaines zones du pays, le nombre moyen de jours avec précipitations (supérieures à 1 mm/jour) est à peine de 50 jours/an, alors que dans d'autres il dépasse 190 (rapport 1 :4).

Le nombre moyen annuel *d'heures de soleil* sans nuage oscille selon la région entre 1 500 et 2 900 h/an, ce qui signifie un rapport de 1 :2. Quant au gel, la situation est encore plus extrême : alors que sur la côte le nombre moyen de jours avec verglas se situe entre 0 et 2 jours/an, dans certaines zones de l'intérieur il dépasse 120.

Le réseau routier de l'État englobe toutes ces régions et se trouve donc en présence, comme on vient de le voir, de caractéristiques climatiques extrêmement variables qui affectent les conditions dans lesquelles se produit le *drainage souterrain*.

L'Ordre circulaire 17/2003 « *Recommandations pour les projets et la construction des drainages souterrains dans les travaux routiers* » est entré en vigueur au début de l'année 2004 ; elle contient les prescriptions de base relatives aux projets, à la construction et à l'entretien des routes de l'État, avec l'idée qu'elles peuvent s'appliquer à la totalité du réseau. Pour cela et en fonction de certaines caractéristiques, il a été nécessaire de diviser le pays en régions relativement homogènes en prenant comme référence les variables climatiques indiquées.

Sur la base des éléments exposés antérieurement, le document s'applique aux routes de l'Etat qui possèdent une des chaussées incluses dans la nouvelle norme de Sections de chaussées (2003), en excluant le drainage des tunnels, celui des structures et les travaux

géotechniques spécifiques (techniques d'amélioration du terrain, couches d'imperméabilisation, etc.).

L'objet de la nouvelle norme est d'établir des critères de base pour les projets de drainage souterrain, de définir les caractéristiques des unités de travail les plus fréquentes dans ce domaine et d'examiner les questions qui peuvent se poser depuis le projet se rapportant aux aspects relatifs à la construction et à l'entretien.

Nécessité et principes de base

La *nécessité* du drainage souterrain des routes repose sur le fait que l'augmentation de l'humidité des matériaux qui constituent les couches de la chaussée et les terrassements entraîne généralement une diminution de leur capacité de support et peut donner lieu à des phénomènes physico-chimiques qui modifient leur structure et leur comportement de façon nuisible : érosion, météorisation, dissolution, expansion, affaissement, etc.

Ces questions sont devenues aujourd'hui encore plus importantes, bien que cela paraisse impossible, car depuis la publication en 2002 du nouveau Cahier des prescriptions techniques générales pour les chantiers de ponts et chaussées (PG-3) relatif aux *terrassements, drainages et fondations*, et, afin de tirer parti au maximum des matériaux locaux, il est permis, dans certaines circonstances, l'utilisation des matériaux appelés marginaux, qui sont normalement sensibles à l'eau (sols expansifs, solubles, etc.).

Pour tenter d'éviter les problèmes cités, la norme considère une série de principes de base :

- Drainage des *couches de la chaussée* et éléments qui constituent la plate-forme de la route :
 - il faut essayer d'éviter la pénétration de l'eau superficielle par infiltration à travers la chaussée, les accotements, les risbermes, les terre-pleins centraux et les éléments singuliers, pour empêcher l'augmentation de l'humidité des couches de la chaussée ;
 - il est obligatoire de traiter les terre-pleins centraux, les risbermes et les éventuels accotements sans couche de surface afin d'empêcher ou tout au moins de diminuer l'infiltration de l'eau ;
 - il faut faciliter l'évacuation de l'eau qui, quelle qu'en soit la raison, pourrait s'infiltrer.

- Drainage des *terrassements* (remblais et déblais) :
 - les terrassements doivent être protégés des apports d'eaux souterraines ;
 - la plate-forme doit être à la plus grande distance possible du niveau phréatique. Les valeurs minimales sont indiquées dans les nouvelles normes de *Sections et remise en état des chaussées existantes* (2003) en fonction du type de matériaux qui constituent le terrain d'appui.

Après avoir énoncé les principes de base théoriques, la norme aborde la question d'un *point de vue pratique* basé en grande partie sur l'observation de la problématique des routes en service.

Bref résumé du contenu

Inclusion, parmi les critères de projet, des questions suivantes :

- éviter au maximum *l'infiltration verticale* : inclusion d'aspects complémentaires à la nouvelle norme de *Sections de la chaussée* sur l'obturation des joints dans les couches de surface de béton armé ; questions relatives aux caractéristiques des matériaux à employer dans les terre-pleins centraux et les risbermes sans couche de surface, etc. ;
- analyse des possibilités d'*infiltration horizontale* (ou latérale) : étude de ces questions et mesures pour tenter d'y remédier ;
- *évacuation des eaux* qui auraient pu s'infiltrer : les couches de surface sont supposées être imperméables ; mais, des mesures assurant l'évacuation des eaux au cas où il y aurait des infiltrations sont prévues.

Il est établi un modèle théorique du parcours de l'eau qui aurait pu s'infiltrer pour une raison quelconque dans la section transversale. Ce modèle de comportement suppose que l'infiltration verticale atteigne une couche de faible perméabilité sur laquelle il pourrait se produire un flux horizontal inférieur. Si toutes les couches traversées sont suffisamment perméables, le flux vertical continue jusqu'à trouver un matériau plus imperméable en profondeur.

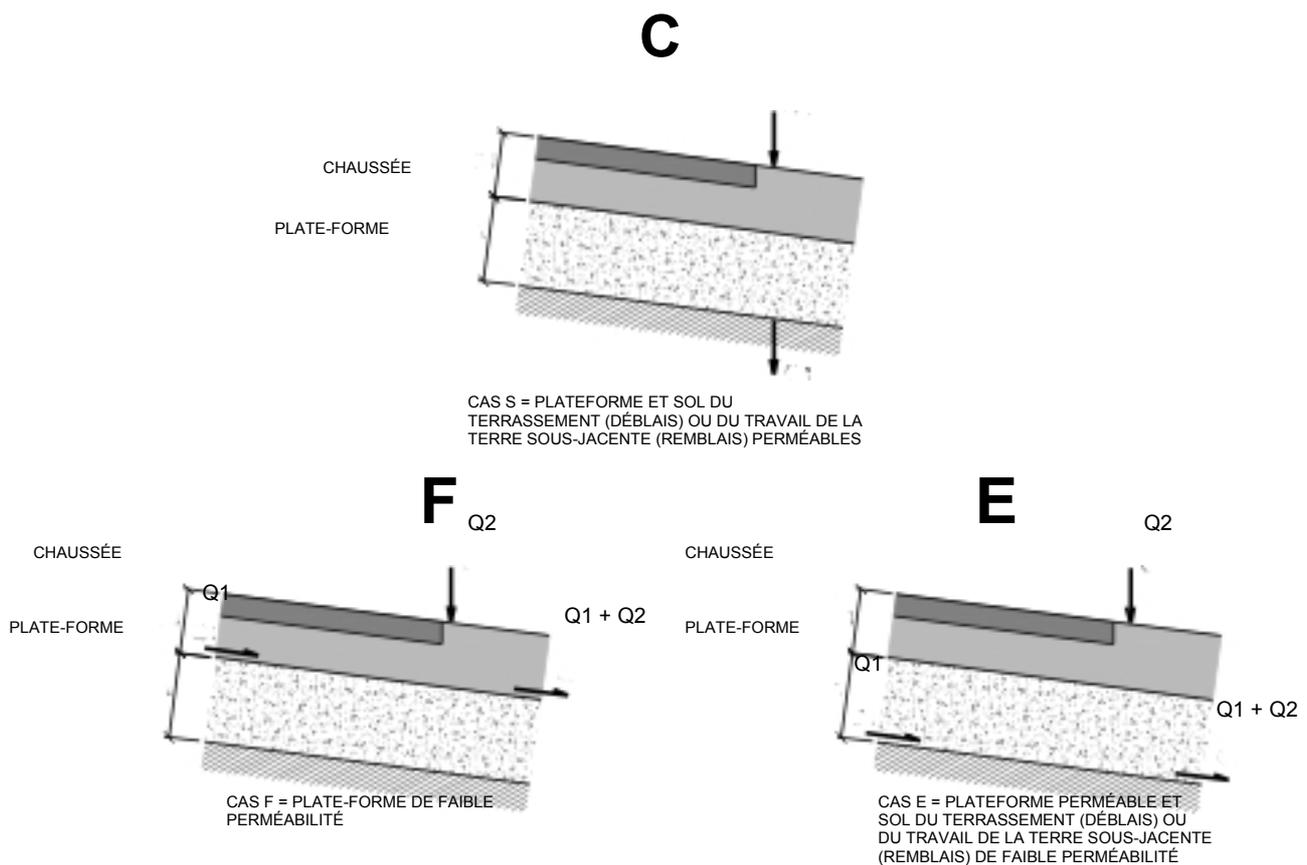


Figure 1 – Cas de drainage de plates-formes

En partant du catalogue des sections de chaussée de la nouvelle norme espagnole et en suivant les principes de base théoriques que l'on vient d'indiquer, les possibles parcours des eaux infiltrées tant verticalement que dans un plan horizontal inférieur sont étudiés pour chacune des sections transversales types de la route.

Pour ce faire, trois possibles *cas sont envisagés* (F, E, S) désignés par une lettre qui est l'initiale (en espagnol) du nom de la couche qui est supposée supporter la plus grande partie des eaux infiltrées.

Ces trois cas doivent être sélectionnés à partir d'un *diagramme de flux* basé sur des critères de contraste des perméabilités (en tenant compte dans certains cas des aspects climatiques) parmi les couches qui constituent la section transversale de la route. La figure 2 reproduit de façon schématique ce diagramme.

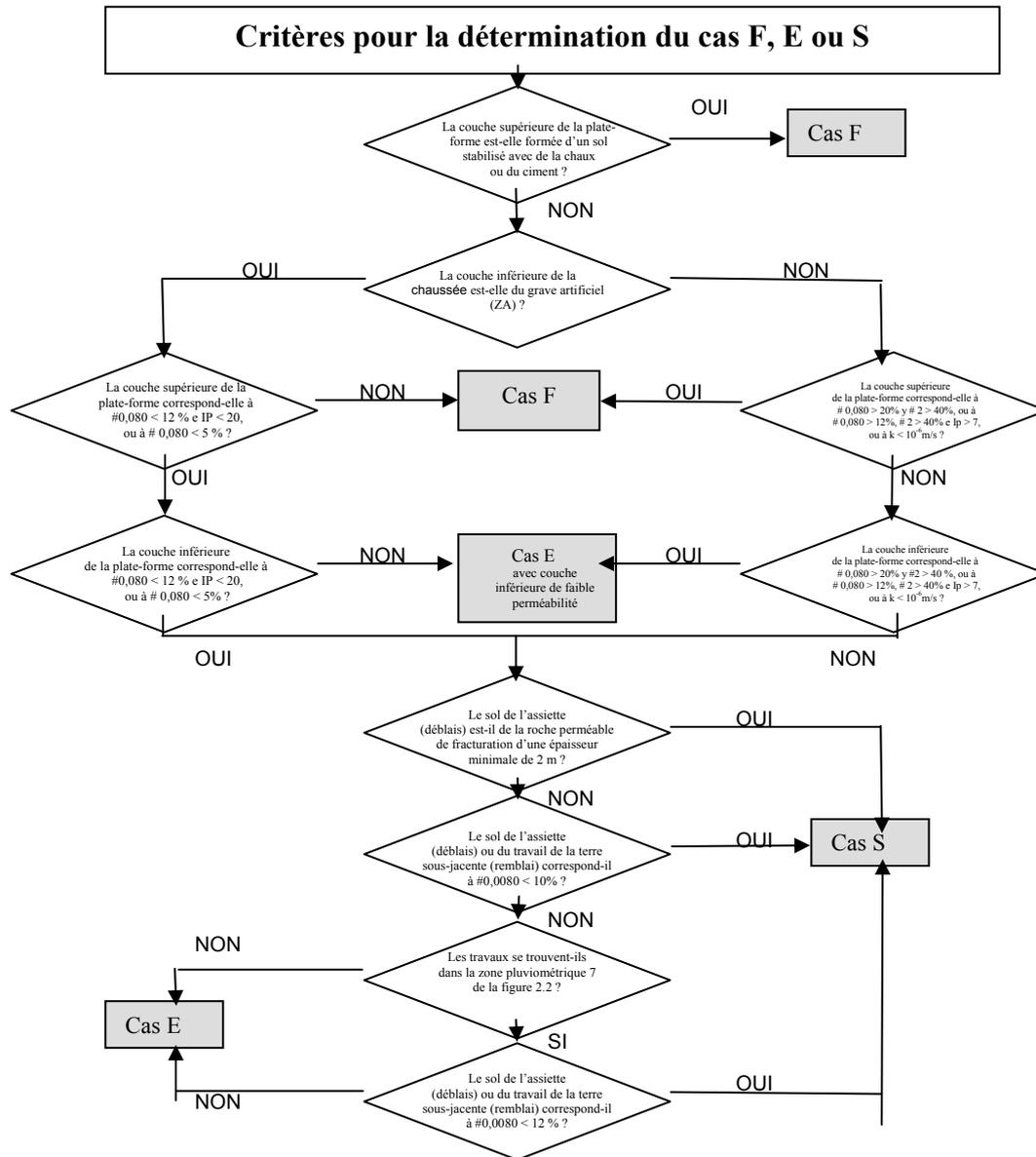


Figure 2 – Diagramme de flux

Une fois déterminé le cas correspondant à la situation parmi les trois cas possibles, il faudra suivre le parcours théorique des eaux qui pourraient s'infiltrer dans la section transversale, tout en vérifiant qu'il ne se produise pas d'accumulations ou de rétentions d'eau, ni que cette dernière ne circule pas sur des sols ou des roches qui, selon les critères établis par la nouvelle version du PG-3 sur *les terrassements, les drainages et les fondations* (2002), doivent être considérés comme marginaux ou inadéquats.

Il existe en outre une série de *critères géométriques* qui tendent à favoriser le flux latéral de sortie et rendre plus difficile celui d'entrée.

Le document aborde ensuite des questions relatives aux différentes *typologies de drains* et à leurs *emplacements* les plus usuels, en précisant que l'on ne doit pas verser des eaux de ruissellement ou de drainage superficiel sur les éléments ou les systèmes spécifiques de drainage souterrain, car il existe normalement des différences de débits qui peuvent varier en importance d'un circuit à un autre, sans compter la difficulté que suppose l'inspection et la réparation a posteriori de ces éléments.

Il est proposé un classement des drains en fonction de leur emplacement, en faisant la distinction entre ceux au pied des déblais, des terre-pleins centraux et des bas-côtés, sans oublier deux cas spéciaux : les couches de surface en béton armé et la captation des flux longitudinaux, lesquels présentent une problématique très particulière, que la norme développe de façon très détaillée.

- Concernant le *drainage des terrassements* (remblais et déblais), il est précisé qu'il est nécessaire d'effectuer des reconnaissances hydrogéologiques avant l'exécution des travaux, en traitant séparément la proximité du niveau phréatique et le dénommé drainage de stabilisation, intimement lié au comportement géotechnique des terrassements.
- Sont également définis des critères relatifs au calcul des *canalisations drainantes*, en distinguant celles qui se trouvent ou non au-dessus du niveau phréatique ; certaines questions sont abordées sur le drainage souterrain des « *éléments singuliers* » : canalisations pour services et lits de freinage.
- Le phénomène du gel est aussi abordé, en définissant sur une série de cartes trois régions géographiques désignées (H1 à H3). Pour chacune de ces régions, il est défini une profondeur de pénétration du gel dans laquelle il ne doit pas y avoir de matériaux sensibles au gel ; sont également définies dans chacune de ces zones des profondeurs minimales pour les éléments de drainage souterrain.

Il existe également un chapitre qui se présente comme un catalogue ouvert, où sont indiquées les principales caractéristiques et les conditions de base que doivent satisfaire les *éléments de drainage souterrain* le plus souvent employés dans des travaux de routes.

Sont examinés de façon spécifique : les tranchées, les batardeaux, les filtres et les canalisations drainantes ; les collecteurs, les bornes et les regards ; les plaques imperméables ; les filons, les talons et les contreforts drainants ; les drains californiens, d'interception et en arêtes de poisson ; ainsi que les puisards, les galeries de drainage et les travaux géotechniques spécifiques. En outre, la norme indique les points à examiner lorsque l'élément en question ne se trouve pas dans la liste antérieure.

Plus en avant, dans le chapitre consacré à la *construction et à l'entretien*, la norme précise les points dont il faut tenir compte dans le projet et qui sont considérés comme étant les plus significatifs pour le bon fonctionnement des systèmes de drainage souterrain pendant la construction et l'exploitation d'une route, qui sont normalement des détails et des règles de bon sens, faciles à mettre en œuvre.

Pour terminer, la norme contient une série *d'appendices* qui comprennent un total de cinquante détails de drainage souterrain applicables à un projet de sections transversales types, en fonction du cas d'application pour l'évacuation des eaux infiltrées (F, E, S) ; en

distinguuant si le détail se rapporte à un déblai, à un remblais ou à un terre-plein central ; si la pente longitudinale de la chaussée est favorable ou non au déversement vers le système proposé. Ces détails sont accompagnés d'une série de notes additionnelles relatives à des questions très diverses : possible utilisation de terre végétale dans certaines zones de la section, épaisseurs minimales de certaines couches granulaires, nécessité de revêtement de fossés, etc.

NOUVEAUTÉS DANS LA PROMOTION ET L'EMPLOI DES MATÉRIAUX LOCAUX, RÉSIDUELS ET MARGINAUX

Le Bulletin Officiel de l'Etat du 11 juin 2002 a publié l'ordre FOM/1382/02 permettant d'actualiser certains articles du Cahier des prescriptions techniques générales pour les chantiers de ponts et chaussées (PG-3) relatifs à la construction de terrassements, de drainages et de fondations.

Les articles 330 Remblais, 331 Remblais de pierres et 333 Remblaiements tout-venant introduisent pour la première fois en Espagne le concept de *matériaux marginaux*, qui sont définis comme des matériaux qui, sans pouvoir être utilisés directement dans les travaux routiers, sont susceptibles d'être employés dans certaines zones de remblais, à la condition qu'une étude spécifique pour chaque cas concret détermine la viabilité de leur utilisation, en précisant le nombre de prescriptions nécessaires pour chaque utilisation.

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS PARA TERRAPLENES, SEGÚN ARTÍCULO 330

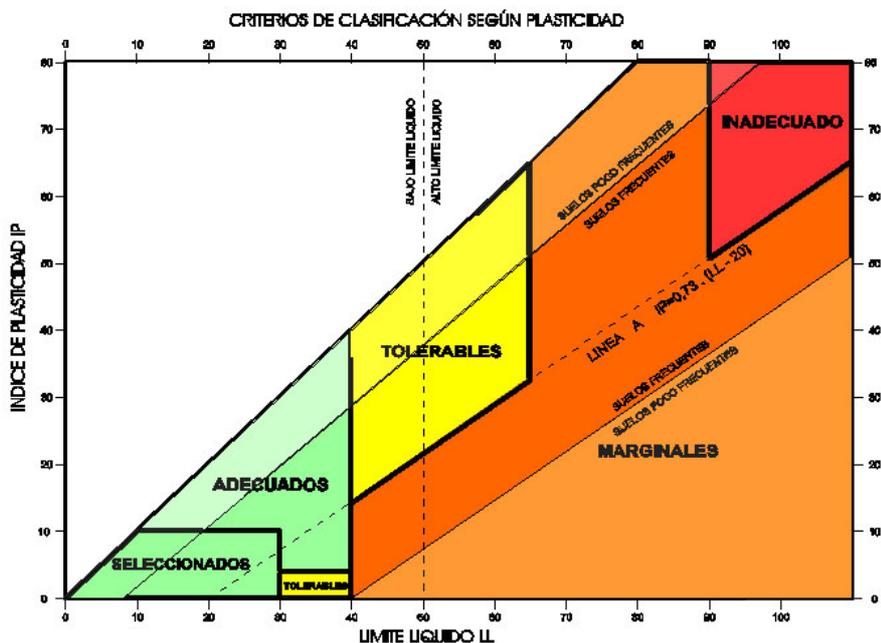


Figure 3 – Classement des sols par plasticité

L'utilisation de ce type de matériaux oblige à une utilisation plus rationnelle des ressources naturelles, ce qui diminue les impacts dans les zones affectées par les chantiers et une utilisation optimale des matériaux locaux - de préférence provenant du propre tracé - qui, dans d'autres circonstances, ne seraient pas utilisés.

Cette nouvelle normative, publiée en 2002, classe les remblais de la façon suivante : ciments, noyaux, couronnements, épaulements et zones spéciales, exigeant des

prescriptions différentes pour chacun d'eux ; elle décrit les caractéristiques qui font qu'un matériau de type *sol ou roche* soit considéré comme marginal.

Pour les sols, ces propriétés sont liées aux conditions de plasticité, au contenu en matières organiques, en sels solubles, à l'expansivité, au risque d'affaiblissement et à l'indice CBR pour les conditions de compactage de mise en chantier.

La figure 3 et le Tableau 6 indiquent les critères de classement des matériaux de type sol dans l'ordre FOM/1382/02.

En ce qui concerne les roches, ce sont les caractéristiques minérales spécifiques, la stabilité en présence de l'eau et l'inadéquation de la forme qui peuvent déterminer s'il s'agit de matériaux marginaux.

Tableau 6 – Classement espagnol des sols

SÉLECTIONNÉS		ADÉQUATS	TOLÉRABLES	MARGINAUX	
< 0,2%		< 1%	< 2%	sect. 330.4.4.5	Matière organique
< 0,2%		< 0,2%	GYPSE < 5%	sect. 330.4.4.3	Sels solubles
			AUTRES < 1%	sect. 330.4.4.4	
-----		-----	< 3%	< 5% sect. 330.4.4.2	Gonflement libre
-----		-----	< 1%	sect. 330.4.4.1	Pose pour essai d'affaissement
≥ 100		≥ 100	-----	-----	Dimension maximale (mm)
(*) # 0,4 ≥ 15%	# 2 < 80%	# 2 < 80%	-----	-----	Autres conditions granulométriques
	# 0,4 < 75%		-----	-----	
	< 25%	< 35%	-----	-----	Fins (# 0,08)
		VOIR GRAPHIQUE JOINT			Plasticité

(*) si la condition indiquée est remplie, le reste des vérifications de granulométrie et de plasticité n'est pas effectué

#n = A% pourcentage en poids qui passe par le tamis n UNE
(#n = N° de tamis de la série UNE)

L'utilisation des matériaux marginaux n'est admise que dans le noyau des remblais, la condition nécessaire pour cela étant la réalisation d'une *étude spéciale* qui doit être approuvée par le Directeur des travaux, lequel doit examiner, entre autres, les points suivants :

- détermination des propriétés qui donnent au sol la qualification de marginal ;

- étude du comportement de ces propriétés pour l'utilisation qui va en être faite ;
- étude qui justifie la résistance de l'ensemble et les mises en place totales et différentielles attendues, en tenant compte de leur évolution dans le temps ;
- dispositions constructives et prescriptions techniques qui doivent être adoptées pour l'utilisation prévue du matériau

Logiquement, ces conditions doivent se justifier moyennant une campagne d'investigation suffisamment représentative.

Parmi les sols marginaux les plus courants, on trouve ceux qui peuvent s'affaisser, les expansifs, les sols avec des matières organiques, du gypse ou d'autres sels solubles.

Parmi les projets qui permettent l'emploi de matériaux marginaux, il y a lieu de signaler, comme étant les plus significatifs par leur nombre et leur importance en Espagne, ceux-ci :

- utilisation de matériaux avec un fort contenu de sels solubles surtout pour les noyaux de remblais construits avec des matériaux à base de gypse (ce n'est pas pour rien que notre pays est le troisième producteur mondial de ce minéral dans des buts commerciaux, et de grandes zones du territoire en possèdent en quantités appréciables), dont la principale caractéristique est l'isolation face à l'action des intempéries, des eaux souterraines et des systèmes de drainage de la route, normalement grâce à l'emploi de couches synthétiques d'imperméabilisation, à la mise en chemise de canalisations, etc. ;
- utilisation de sols qui ont à la fois des valeurs élevées de plasticité et d'expansivité et une faible capacité de support (mesurée au moyen de l'indice CBR), pour lesquels les stabilisations, principalement avec de la chaux, ont une grande importance ;
- d'autres cas, plus ponctuels, utilisent principalement des sous-produits provenant de manipulations humaines, des roches instables en présence de l'eau, etc.

En conclusion, le choix espagnol pour l'emploi rationnel des matériaux marginaux est clair et décidé, en essayant de tirer parti au maximum des matériaux locaux, d'où un plus grand respect de l'environnement, et en respectant des rigoureux critères et contrôles de qualité.

Nous décrivons ci-après deux projets, l'un d'utilisation de matériaux à base de gypse dans des remblais et l'autre sur une stabilisation d'un sol de forte plasticité avec de la chaux.

- Le *quatrième périphérique* de Saragosse est une autoroute périphérique de la capitale aragonaise (qui en 2008 accueillera l'Exposition universelle). La ville repose sur le bassin de l'Èbre, où prédominent les matériaux d'évaporation de l'époque du tertiaire, fondamentalement des gypses.

Une des premières applications de la nouvelle normative a été l'exécution d'environ 14 Km de noyau de remblai de 10 m de hauteur moyenne et 36 m de largeur au couronnement, avec des gypses provenant du propre tracé, qui ont été assemblés au moyen de couches imperméabilisantes et d'épaulements de retenue sans mission structurelle de 3,50 m de largeur.

- L'autre cas, qui se trouve actuellement en cours d'exécution, se trouve tout près de la ville de Gérone, très proche de l'aéroport, où l'on utilise (pour la construction d'un tronçon de route express d'environ 6 Km de longueur, tout en remblai avec une

hauteur moyenne voisine de 5 m) des argiles plastiques locales avec des gonflements libres proches de 3 % et un indice CBR < 3 systématiques.

On a opté pour la stabilisation in situ avec addition de 2 % de chaux ; les résultats sont pour le moment entièrement satisfaisants.

ÉVALUATION DU RISQUE POTENTIEL D'EFFONDREMENT DES PONTS SUR LES COURS D'EAU

La fonction primordiale d'un pont est d'assurer la continuité de la route en franchissant les obstacles naturels ou artificiels qui se trouvent sur son tracé. Cette évidence prend une importance toute particulière si l'obstacle à franchir est un lit fluvial. Il faut tenir compte que, dans le cas des cours d'eau, l'équilibre dynamique peut être affecté non seulement par l'interaction de l'homme avec des actions directes - construction de barrages, extraction de granulats, invasion du lit, etc. -, mais encore de manière indirecte par les changements de l'équilibre hydrologique du bassin d'alimentation, fondamentalement dus aux variations des utilisations du sol. La réponse du bassin, pour retrouver son équilibre, consiste alors à trouver une pente longitudinale d'équilibre qui lui fournisse l'énergie minimale nécessaire pour transporter la charge. Ce phénomène naturel s'obtient par l'érosion, le transport et la sédimentation.

Dans le cas des ponts, le processus d'érosion est un aspect important car le rétablissement de l'équilibre dynamique du bassin peut être un facteur de vulnérabilité pour le pont, associé fondamentalement à des phénomènes d'effondrement de ses fondations.

Ces considérations amènent à penser que l'évaluation de la sécurité d'un pont non seulement dépend de ses conditions structurelles mais encore qu'il existe un certain degré de vulnérabilité dans le bassin qu'il enjambe. La question est de savoir comment on peut évaluer le risque de l'interaction bassin-pont. La première réponse qui vient à l'esprit est de partir d'une inspection du bassin qui permette d'enregistrer les variables qui peuvent rendre le pont vulnérable par rapport au bassin. Il est pour cela nécessaire d'estimer objectivement le risque potentiel d'effondrement du pont en relation avec une arrivée d'eau extraordinaire, en tenant compte de l'hydraulique fluviale et en se basant sur des paramètres géomorphologiques du bassin et sur la propre hydraulique du pont. Il est indéniable que les degrés de liberté et les incertitudes qui peuvent dériver de ces paramètres sont élevés, étant donné que la dynamique du bassin ne permet pas, comme dans le cas du pont, d'établir des critères systématiques qui garantissent la rigueur de l'inspection. De plus, il se peut que, au moment de l'inspection, aucun signe (légers affouillements, légers déchaussements, dépôts de charriages, etc.) ne soit apparu pouvant indiquer de façon évidente qu'il existe un risque. Ceci nous conduit à considérer, dans l'évaluation de l'ensemble pont-bassin, un risque potentiel et non un risque certain, qui est fonction des relations qualitatives et quantitatives entre toutes les variables examinées.

Tout ceci semble très prometteur, mais est-ce techniquement viable et suffisamment fiable ?

Afin de répondre à cette question et surtout de résoudre le problème de l'évaluation du risque potentiel d'effondrement des ponts sur les cours d'eau, il a été développé une méthodologie d'inspection des ponts et de leur environnement, et des critères ont été définis permettant de quantifier ce risque.

Méthodologie pour l'inspection des ponts et de leur environnement

La première tâche que l'on doit réaliser pour étudier la vulnérabilité d'un pont par rapport au bassin qu'il enjambe est d'effectuer une inspection minutieuse de celui-ci dans son environnement le plus immédiat. En nous basant sur notre propre expérience, il est raisonnable de prévoir une zone d'environ quatre fois la longueur du pont en amont et en aval.

L'évaluation du risque potentiel face à une arrivée d'eau importante est basée sur deux paramètres : vulnérabilité du pont et géomorphologie du bassin. Ces deux descripteurs englobent une grande quantité de données qui, à l'aide d'un algorithme de calcul, permet de définir la condition de risque sous forme numérique.

Vulnérabilité du pont

La vulnérabilité du pont est fonction des possibles effets d'effondrement local de la sous-structure. Les paramètres qui constituent ce descripteur se rapportent exclusivement à l'implantation du pont et aux caractéristiques de ses fondations. L'inspection doit donc examiner les points suivants.

a) *Existence d'effondrements par contraction du bassin ou par interposition d'obstacles au flux de l'eau.*

Le risque potentiel existe sous forme d'effondrement, ou localement au pied des culées et des piles, ou sur toute la section transversale dû à la contraction du bassin par interposition de la structure.

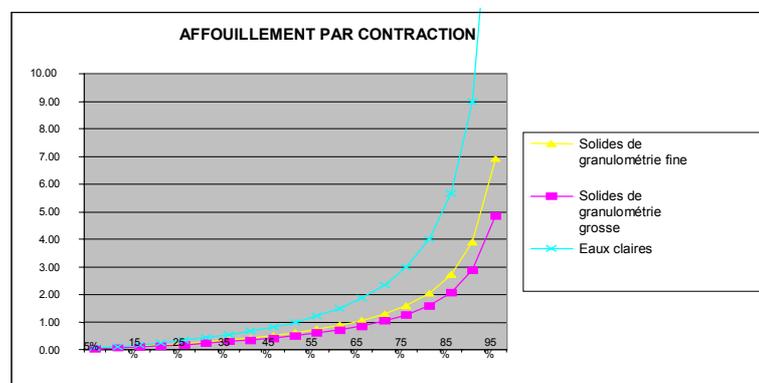


Figure 4 – Variations de la profondeur d'affouillement en fonction du % de section contractée

Si les culées sont implantées dans le bassin, il se produit une réduction de la section qui provoque une concentration de flux et entraîne un phénomène d'érosion par contraction. La loi de Laursen permet d'évaluer cet effet. Son calcul ne fait pas l'objet de cet article ni de l'inspection de bassin proposée ; toutefois, il est inclus à titre informatif un graphique représentant la variation de la profondeur d'affouillement en fonction du pourcentage de section contractée (figure 4).

b) Orientation des piles

Par ailleurs, l'orientation des piles et des culées par rapport au flux, la forme du front d'attaque et le nombre de fûts, uniques ou multiples, sont des paramètres qui influent notablement sur les conditions de vulnérabilité en fonction des risques d'affouillement local au pied de la sous-structure.

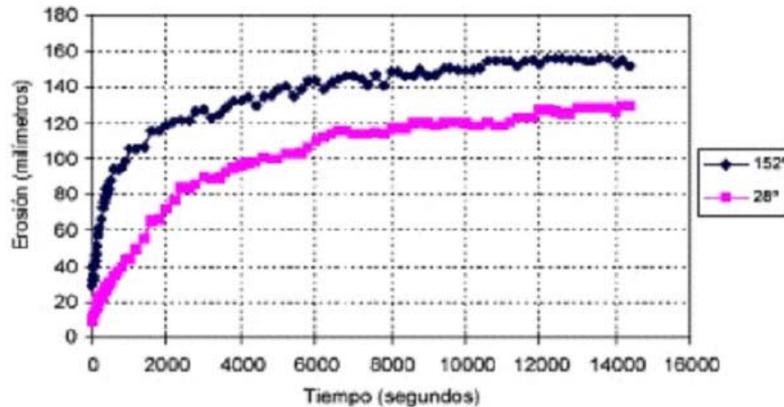


Figure 5 – Profondeur d'affouillement dans les culées en fonction de l'angle d'attaque

La figure 5 permet d'observer l'incidence de l'orientation des culées par rapport au flux sur l'érosion, selon une étude expérimentale en régime uniforme et dans les mêmes conditions hydrauliques. La figure 6 montre de façon qualitative la forme des fosses d'affouillement générées sur une pile orientée dans la même direction que le flux, et sur une autre avec un angle d'attaque déterminé.

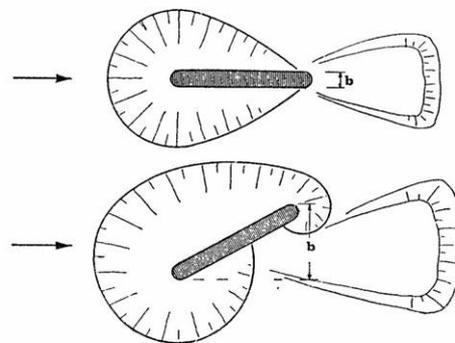


Figure 6 – Influence de l'angle d'attaque dans l'affouillement des piles

c) Type de fondations

Le type de fondations, profondes ou directes, ainsi que le matériau du substrat qui convient, sont également des paramètres dont il faut tenir compte. Un pont avec des fondations pilotées peut avoir eu un déchaussement par affouillement et ne pas être potentiellement dangereux, si ces conditions ont été prises en compte dans le projet (figure 7).

d) Examen des fosses d'affouillement

Cet effet peut résulter toutefois dangereux avec des fondations directes ou ayant des pilotes de faible longueur, ou avec un substrat peu adapté de type alluvial ou similaire. Le point important est que, s'il se produit une arrivée d'eau extraordinaire, la fosse d'affouillement atteint son coefficient maximum, mais une fois le régime uniforme du cours d'eau revenu, cette fosse peut accumuler des sédiments et dissimuler partiellement la profondeur réelle de l'affouillement



Figure 7 – Affouillement profond

e) Autres facteurs

Il existe d'autres paramètres qui peuvent influencer sur l'affouillement de la sous-structure, mais qui sont difficilement quantifiables lors d'une inspection visuelle. Certains dépendent des propriétés du fluide, de sa densité, de sa viscosité, etc. ; d'autres, des caractéristiques du flux, de sa vitesse, de son tirant et d'autres propriétés du berceau, comme la pente longitudinale et la granulométrie du sédiment. Aucun de ces paramètres n'entre dans le programme des inspections proposées, mais il est nécessaire que l'inspecteur connaisse tous les facteurs qui peuvent avoir une incidence.

Géomorphologie du bassin

Ce descripteur évalue réellement l'état d'équilibre du bassin au moyen de paramètres géomorphologiques. L'inspection doit examiner les points suivants :

- l'existence de barres ou d'îles, d'obstructions ou d'accumulations de charriages, ce qui donne des indices sur le comportement du cours d'eau dans le cas d'une arrivée d'eau importante ;
- le type de bassin, rectiligne, en zigzag, anastomosé, avec des méandres, torrentiel..., le matériau du berceau et des bords, ce qui indique le degré de stabilité du bassin ;
- les protections et leur état de conservation, ce qui permet de discriminer certains risques d'érosion ;
- l'existence d'affluents ou de confluences, afin de tenir compte de l'augmentation du débit et de la surélévation de la lame de flux dans le cas d'un régime extraordinaire.

Toutes ces données sont enregistrables selon une nomenclature déterminée, ce qui permet de réaliser le processus postérieur de calcul.

Évaluation de l'indice de risque

Comme dans le cas de l'inspection principale d'un pont, le but de l'inspection de l'ensemble pont-bassin est d'obtenir un indice qui indique et, dans la mesure du possible, quantifie le risque potentiel du pont face à des phénomènes d'affouillement. Cet indice permet d'attribuer des priorités aux actions à entreprendre, dans le cas présent, orientées à des tâches de protection pour réduire la capacité érosive du bassin. Cette évaluation commence par le regroupement des données collectées pendant l'inspection, en les classant de la façon suivante :

- données observées depuis la plate-forme du pont :
 - régime du flux,
 - pont en plaine d'inondation,
 - angles d'approche et de déviation,
 - couverture de la superficie (bois, garrigue, cultures...);

- données observées de dessous le pont :
 - matériau du berceau (béton, roche, quilles/cailloux, gravier, sable...),
 - existence de barres ponctuelles ou intermédiaires (recouvertes ou non de végétation),
 - existence d'obstructions (invasions du bassin, présence d'autres structures, déversements, édifications...),
 - accumulations de matériaux de traînage (garrigues, arbres, ordures, décombres...),
 - évidence de dépassement de la structure,
 - évidence de flux en charge ;

- données observées sur les piles et les culées :
 - emplacement (bord gauche, droit, bassin, plaine d'inondation...),
 - angle d'attaque,
 - forme du front (en pointe, arrondi, carré, en H...),
 - orientation des ailes,
 - matériau constitutif (béton, acier, pierres, briques...),
 - niveau maximum atteint par l'eau,
 - charriages,
 - fosses d'affouillement,
 - matériau du berceau de la sous-structure (enrochements, alluvions, roche, béton...),
 - mesures de protection existantes (chapeaux, digues, revêtements, barrages...);

- données observées dans le bassin en amont et en aval :
 - largeur du bassin,
 - type de bassin (rectiligne, en zigzag, anastomosé, torrentiel...),
 - couverture végétale des bords,
 - matériau des bords et du berceau (béton, roche, quilles/cailloux, gravier, sable...),
 - érosion des bords (faible, sévère, glissements...),
 - existence d'affluents ou de confluences (naturelles ou artificielles),

- impact des méandres,
- existence de barres ponctuelles ou intermédiaires (recouvertes ou non de végétation),
- existence d'obstructions,
- protections du bassin y des bords (enrochements, chapeaux, digues, épis, revêtements...) et conditions d'entretien,
- érosion par contraction en amont et par expansion en aval.

Desde la carretera | Debajo del puente | Pilas | Estribos | Material del lecho | Protecciones | Cauce | Observaciones

Aguas arriba | Aguas abajo

Anchura: 2 Tipo de cauce: Cb Trenzado con barras puntuales. Ir

Materiales del lecho: Homogón Grava

Materiales MI: Arena

Materiales MD: Arena

Cobertura vegetal: MI: 25 a 50% MD: 0 a 25%

Erosión: MI: Suave MD: No erosión

Afluentes: Margen: Izquierda Dist. puente: 1

Impacto meándrico: Margen: Izquierda Dist. puente: 1

Barra	Tipo	Lecho vis	Anchura d	Anchura l	Distancia	Distancia	Distancia	Vegetaci	Vegetaci	Altura	Altura
1	Puntual	Si	3	1	2	3	4	1	2	3	2
2	Intermedi	Si	1	2.3	3	4.1	5	1	2	2	1

Obstrucción	Lecho vis	Tipo	Anchura d	Anchura l	Distancia	Distancia	Distancia	Vegetaci	Vegetaci	Altura	Altura vis
1	Si	Natural	1	1	2	3	2	1	2	1	1
2											

Protección	Lecho visible	Tipo	Localización	Condiciones	Longitud	Anchura máx. d	Anchura máx. h
1	Si	Escollera	Cauce	Necesita reparar	1	2	3
2							

Salir Salir

Figure 8 – Regroupement des données collectées pendant une inspection

Toutes ces données sont introduites dans une base de données où elles sont traitées au moyen d'un algorithme spécifique dans le but de quantifier les quatre paramètres qui caractérisent la vulnérabilité du pont, c'est-à-dire :

- le *descripteur de vulnérabilité du pont* qui est fonction de :
 - l'implantation des culées,
 - l'implantation des piles,
 - la forme du front des fûts des piles,
 - le type de fondations,
 - le matériau des fondations,
 - l'angle d'attaque de la sous-structure ;
- le *descripteur du bassin* qui dépend de :
 - l'existence de barres ou d'obstructions,
 - l'existence d'accumulations de dépôts,
 - le type de bassin,
 - l'évidence de l'impact des méandres,
 - les érosions des bords,
 - le matériau du berceau et des bords,
 - l'influence des affluents,
 - la typologie des protections du bassin et leur état,
 - l'influence des marées océaniques ;

- le *descripteur de l'interaction bassin–structure* qui est déterminé par :
 - le matériau du berceau du bassin dans la sous-structure,
 - l'évidence de flux en pression,
 - l'angle de déviation pendant les hautes eaux,
 - l'existence de protection de la sous-structure dans la zone du pont,
 - l'état de cette protection,
 - la relation entre la largeur des charriages et celle des fûts,
 - l'évidence de l'érosion par expansion ;
- Le *descripteur de l'affouillement du pont* qui quantifie l'existence des affouillements, des déchaussements ou des courbes qui ont pu se produire dans la structure inspectée.

L'intégration de ces descripteurs et la prise en considération également de l'importance du pont permettent d'obtenir l'INDICE DE RISQUE qui caractérise l'ensemble pont-bassin en fonction de sa vulnérabilité face à un possible affouillement qui pourrait produire une éventuelle arrivée d'eau importante. Il est ainsi possible de classer les ponts en cinq catégories, en fonction de la valeur de l'indice de risque obtenu :

- *Structures avec un indice de risque inférieur ou égal à 20*

Il s'agit de ponts sur des bassins dont l'indice de vulnérabilité est pratiquement nul. La fréquence d'inspection n'est pas rigide et peut coïncider avec celle de l'inspection principale.

Il est peu probable qu'ils soient affectés par des arrivées d'eau extraordinaires, bien que la dynamique des cours d'eau puisse réserver des surprises.

- *Structures avec un indice de risque compris entre 20 et 50*

Ce groupe comprend les constructions ayant un indice de vulnérabilité acceptable à court terme et où a été détecté :

- un indice d'affouillement modéré, et/ou
- un paramètre négatif d'une certaine importance, comme par exemple l'angle d'attaque de la sous-structure, l'existence d'érosion par expansion (contraction du bassin), impact des méandres ou érosion des bords.

Dans ces cas-là, il faut, en général, suivre les paramètres d'affouillement qui sont à l'origine de l'indice de risque du pont.

- *Structures avec un indice de risque compris entre 50 et 70*

Ce groupe comprend généralement les constructions ayant un indice de vulnérabilité modéré à court terme et où on a observé la conjonction de divers paramètres négatifs ou un des éléments de la sous-structure avec un affouillement appréciable.

Dans ces cas-là, il faut, en général, suivre régulièrement les paramètres d'affouillement qui sont à l'origine de l'indice de risque du pont ou éventuellement réaliser les protections nécessaires.

La valeur 70 peut être considérée comme le seuil d'acceptation.

- *Structures avec un indice de risque compris entre 70 et 100*

Ce groupe comprend les constructions ayant un indice de vulnérabilité sévère ou très sévère à court terme et où on a observé la conjonction de divers paramètres négatifs et, de plus, un des éléments de la sous-structure avec un affouillement avancé ou fort.

Dans ces cas-là, il faut, en général, protéger convenablement la sous-structure et, si nécessaire, le bassin.

- *Structures avec un indice de risque supérieur ou égal à 100*

Ce sont toujours des ponts où l'on a détecté un tassement ou une torsion de l'un des éléments de la sous-structure. Leur condition de vulnérabilité est élevée et le potentiel de risque est inacceptable.

Pour les ponts de cette catégorie, il est obligatoire de réaliser une étude de détail de la sous-structure afin de procéder à un rehaussement ; dans certains cas, il est même nécessaire d'effectuer des réparations de façon immédiate ou urgente.

Quelques résultats de l'application

La méthodologie d'inspection décrite et les critères d'évaluation de l'indice de risque concernant l'affouillement qui viennent d'être présentés constituent un traitement nouveau du problème de la vulnérabilité des ponts sur les cours d'eau. Pendant les années 2000 à 2003, la Direction générale des routes du ministère des Travaux publics espagnol a réalisé une campagne d'inspection visuelle des dénommés 2ème et 3ème itinéraires qui comprennent environ 4 800 ponts du RIE (Réseau d'intérêt général de l'Etat). Environ 38 % de ce nombre sont des passages sur des cours d'eau qui ont fait l'objet d'une inspection de l'ensemble bassin-structure et d'une évaluation de l'indice de risque, conformément aux critères exposés antérieurement.

Voici quelques uns des résultats représentatifs des 1 818 ponts sur bassin qui ont été examinés :

- 152 ponts ont les culées dans le bassin et dans 248 les piles forment un angle supérieur à 30° par rapport à la direction du flux de l'eau
- 261 ponts étaient situés dans des bassins torrentiels et 380 à proximité de méandres. Parmi les premiers, 34 présentaient certains signes d'affouillement, et sur 53 du second groupe on a détecté des marques d'impact des méandres.
- Sur le total des ponts inspectés, 23 présentaient un affouillement avancé dans les piles ou les culées, et 75 un affouillement modéré.

En ce qui concerne l'indice de risque, 20 ponts ont un indice supérieur à 100 et 22 un indice compris entre 70 et 100.

CONCLUSIONS

Une grande partie des effondrements observés ces derniers temps sur des ponts enjambant des cours d'eau sont dus à des défaillances des fondations produites par des érosions ou des affouillements de caractère local. Il est difficile de connaître l'état de ces fondations car elles sont généralement inaccessibles ou pour le moins difficilement visibles. De plus, il n'est pas facile de connaître le risque d'effondrement, parce qu'il peut arriver, au moment de l'inspection, qu'il ne se soit pas encore produit de détériorations qui permettraient d'en déduire qu'il existe un certain risque pour la structure.

Il est par conséquent indispensable que les inspections de ponts sur les bassins soient complétées par une étude visant à détecter les possibilités d'un risque potentiel d'affouillement. La quantification de ce risque doit se baser sur les observations de l'état du propre pont et les conditions et caractéristiques géométriques, physiques et évolutives du bassin lui-même dans la zone où se trouve l'ouvrage d'art.

Ce document décrit, de façon rapide et succincte, les lignes principales d'une méthodologie pour réaliser les inspections des ponts, de leur sous-structure et de l'environnement des bassins qu'ils enjambent. Il contient également des critères permettant d'évaluer de façon assez objective la vulnérabilité des ponts conséquence des affouillements des cours d'eau. Finalement, il inclut un résumé des résultats obtenus au cours des 1 818 inspections réalisées sur des ponts qui enjambent des cours d'eau, dans le cadre du Système de gestion des ponts mis en place par la Direction générale des routes du ministère du Développement espagnol.