

Chapitre 6

Construction des chaussées aéronautiques



Chantier de construction de l'aérodrome de Rodez-Marcillac (1968)

Les développements ci-après ne se substituent en rien aux prescriptions du Cahier des Clauses Techniques Générales, auquel se réfèrent tous les marchés publics de génie civil, ni aux recommandations ou directives formulées, pour les travaux routiers, par le Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes et le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et dont ces mêmes développements ne constituent qu'adaptations aux travaux sur aérodromes.

Les études d'infrastructures aéronautiques donnent successivement lieu à la production de deux documents techniques, dont l'objet et la composition restent ceux donnés par la circulaire 41 DBA, du 25 avril 1974, relative à « l'établissement et l'approbation des avant-projets d'opérations d'équipement incombant à l'État et relevant de la Direction des Bases Aériennes », même si le contexte administratif a depuis sensiblement évolué pour le domaine routier.

C'est ainsi que, obligatoirement établi pour toute opération autre que de travaux d'entretien, l'**avant-projet sommaire** (A.P.S.) permet d'apprécier l'opportunité de ladite opération en indiquant l'objet et la conception générale, en donnant les dispositions principales des ouvrages à réaliser et en estimant le coût de ces derniers.

Conformément à la circulaire, un A.P.S. comporte deux parties, à savoir :

1- un dossier technique constitué par :

a- un mémoire descriptif, explicatif et justificatif exposant :

- les diverses solutions possibles,
- la justification technique et économique de la solution proposée (avec étude de rentabilité quand elle est possible),
- les délais ou calendrier possibles de réalisation,

b- les dessins et documents nécessaires à la compréhension de la ou des solutions présentées,

c- l'estimation sommaire des dépenses,

2- un rapport présentant :

- la conception générale de l'opération,
- les objectifs auxquels elle peut concourir,
- le rattachement à un programme, un plan, un schéma directeur,...
- les accords ou observations des diverses parties concernées,
- les modes de financement préconisés avec leurs échéances.

Établi après qu'ait été approuvé l'A.P.S., le projet* contient tous les éléments nécessaires à la définition complète des ouvrages constituant la totalité ou seulement partie de l'opération définie dans sa globalité par l'A.P.S. Complété par des pièces administratives, il permet la consultation des entreprises et la passation des marchés.

Ce second document comporte deux parties, à savoir :

- 1- les pièces techniques contenant les dispositions du projet à exécuter,
- 2 les pièces justificatives (rapport justifiant les dispositions prévues tant en ce qui concerne la

satisfaction des besoins de l'exploitation qu'en ce qui touche les données techniques des ouvrages, notes de calcul, avant métrés, etc., ainsi qu'une estimation détaillée des dépenses).

* Le terme de «projet» est adopté ici, par préférence à celui de «avant-projet détaillé» utilisé par la circulaire de 1974, dans un souci d'uniformisation de vocabulaire avec celui ayant cours dans le domaine routier depuis la circulaire ministérielle n° 94-56 du 5 mai 1994 relative aux opérations d'investissement sur le réseau national non concédé.

6-1 Données nécessaires aux études

Comme pour un projet routier - voire même par - fois plus encore, compte tenu de ses spécificités - les différentes phases d'étude d'une aire de mouvement d'aérodrome doivent pouvoir disposer d'un certain nombre de données précises dont les principales sont rappelées ci-après avec indication de leur degré souhaitable de précision.

Il s'agit naturellement, avant toute autre, des **données topographiques** permettant de caler le projet, de définir les mouvements de terres, d'établir le projet d'assainissement et de drainage et d'arrêter les dispositions à prendre à cet égard dès la phase d'étude des terrassements.

L'exploitation, sans report de points supplémentaires, d'un simple plan à courbes de niveau (carte I.G.N. au 1/5 000 ou même 1/2 000) est insuffisante. Tout au plus une restitution à partir de photographies aériennes pourra-t-elle, pour une étude d'avant-projet sommaire, se substituer à un lever sur le terrain dans le cas favorable où l'espace à couvrir est non boisé et peu accidenté.

La photogrammétrie permet actuellement d'obtenir des plans dont la précision est de 2 cm en plan et de 6 cm en altimétrie. Ce procédé n'en nécessite pas moins, dans tous les cas, un recalage sur le terrain par les moyens classiques.

Les indications suivantes sont destinées à guider le projeteur dans le choix et la densité des points à lever :

- pour une étude d'avant-projet sommaire d'aire nouvelle à créer*, un maillage de 50 m x 50 m,
- pour une étude de projet, un maillage de 25 m x 25 m**,
- dans un cas comme dans l'autre, le maillage sera complété par le lever des points caractéristiques du terrain.

Nécessaires pour concevoir l'assainissement et le drainage en phase finale de la plate-forme mais aussi pour arrêter les dispositions à prendre, dès le lancement des travaux, afin d'assurer la mise hors d'eau du chantier, les **données hydrogéologiques** renseigneront le projeteur sur :

- l'emplacement des thalwegs et des cours d'eau pouvant servir d'exutoire,
- celui des dépressions naturelles pouvant être utilisées comme bassins d'accumulation,
- le niveau de la nappe phréatique et ses variations,

- la circulation des eaux souterraines,
- la perméabilité des sols,...

Permettant d'optimiser les conditions d'exécution des terrassements, de drainage du chantier et de construction des chaussées, les **données climato-logiques** porteront quant à elles sur :

- la pluviosité,
- l'état d'humidité du sol en place,
- les conditions d'évaporation,
- l'intensité du gel ainsi que sa durée annuelle prévisible,

toutes données dont on conçoit qu'elles puissent guider l'établissement du planning des travaux (début, durée, interruptions prévisibles,...).

Avant mise à l'étude de l'opération, les premières **données géotechniques** à rassembler sont :

- l'épaisseur de la terre végétale,
- la localisation des affleurements difficiles à rasser et pouvant conduire à surélever le projet,
- la localisation et l'épaisseur des sols devant faire l'objet d'un curage systématique ou d'un traitement à la chaux,
- la drainabilité des sols,
- le comportement sous charge permanente des sols compressibles et leur temps de consolidation,
- la portance des sols dans leur état naturel après décapage et dans toutes les phases du chantier,
- la possibilité de réutiliser en remblai (éventuellement après traitement) les matériaux extraits des déblais,
- l'existence éventuelle à proximité de l'emprise et l'importance de gisements de matériaux pouvant servir de remblai d'apport.

* Dans le cas d'un projet d'extension d'une aire existante, les dimensions du maillage peuvent être différentes.

** Afin de minimiser le nombre d'interventions topographiques, il peut toutefois être utile, à condition naturellement que les surfaces concernées s'inscrivent dans des limites voisines, de réaliser le lever destiné au projet dès l'origine des études.

Ces premières données seront complétées en cours d'étude par des investigations consistant :

- pour l'établissement de l'avant-projet sommaire, en un (au besoin deux) sondage de 10 à 15 m de profondeur, judicieusement implanté à l'extrémité de la carte géologique et permettant :
 - de procéder aux premiers essais d'identification géotechnique des sols en place (granulométrie, équivalent de sable, densité, limites d'Atterberg,...),
 - de mettre en évidence la position de la nappe phréatique (dont la variation du niveau pourra être suivie par piézomètre),
- pour l'établissement du projet, en une étude géotechnique complète s'appuyant sur des sondages dont le nombre, et la profondeur devront permettre de déterminer la configuration des différentes couches de terrain naturel, le programme type présenté ci-après n'étant donné qu'à titre indicatif.

Les sondages effectués en phase de projet permettent également de localiser la nappe phréatique et de mesurer les variations saisonnières de sa profondeur par mise en place de piézomètres à raison, par exemple, d'un pour deux sondages.

Ces mêmes sondages donneront naturellement lieu à des prélèvements d'échantillons représentatifs de chaque nature de sol rencontré et sur lesquels seront réalisés en laboratoire les essais d'identification (granulométrie, densité, teneur en eau, équivalent de sable, limites d'Atterberg,...).

Ces essais sont accompagnés d'une étude **proctor*** pour tous les sols destinés à être compactés,

de manière à déterminer la teneur en eau optimale au compactage.

Il n'en convient pas moins de ne pas perdre de vue que, après compactage et mise en œuvre de la chaussée, le sol support va progressivement acquérir une **teneur en eau d'équilibre**, qui ne sera pas nécessairement celle de son compactage. Dans la mesure où les caractéristiques portantes du sol support dépendent de sa teneur en eau, il est par suite nécessaire d'effectuer une **étude géotechnique** plus poussée du sol support, à savoir :

- Pour les **chaussées souples**, une étude **C.B.R.** sera réalisée sur chaque zone homogène de sol déterminée par les essais d'identification. Cette étude est destinée à calculer l'indice portant C.B.R. que présentera le sol support à la densité sèche résultant du compactage et à la teneur en eau d'équilibre qu'acquerra ce sol quelques années après la construction de la chaussée (en principe, cette teneur en eau varie peu au cours des saisons sous une piste de 45 m de largeur correctement conçue et entretenue). Si la teneur en eau d'équilibre peut être prévue de manière suffisamment précise, l'étude C.B.R. est effectuée complètement, sinon le C.B.R. de calcul provient de l'étude C.B.R. courante (immersion des éprouvettes pendant quatre jours).
- Pour les **chaussées rigides**, un essai de plaque in situ permettra de déterminer le **module de réaction** du sol support. L'essai doit toujours être effectué au niveau du futur fond de forme de

* De même, si besoin est, il sera procédé à une étude de traitement des matériaux de déblais à mettre en remblais et de l'arasement des terrassements pour que celle-ci atteigne le niveau de portance désiré.

Type d'ouvrage	Espacement des sondages	Profondeur des sondages (a)
Pistes et voies de circulation	100 m	Il est recommandé d'atteindre le sol support ou au minimum le niveau de la couche de forme
Aires de stationnement	Un sondage tous les 5000 m ² environ	
Zones non revêtues (b)	Un sondage tous les 10000 m ² environ	1 à 2 m pour toutes les catégories d'aérodromes

(a) La profondeur du sondage est mesurée :
 - par rapport à la ligne «Projet» dans les zones en déblai
 - par rapport au terrain naturel dans les zones en remblai

(b) Il s'agit des zones de l'aérodrome qui doivent faire l'objet de terrassements sans être destinées à recevoir une chaussée, ou des zones envisagées comme lieux d'emprunt.

la chaussée, le sol étant préparé de façon à ce qu'il ait la densité et la teneur en eau qu'il possédera sous la chaussée.

Remarques :

1- La portance d'un sol remanié pouvant être inférieure à celle du sol stabilisé naturellement, l'essai devra être réalisé sur un sol remanié et compacté dans le cas où la préparation du sol support provoquerait un réarrangement de ses agrégats.

2- Pour les sols très fins et compressibles, qui se consolident à la plaque sous charge par élimination d'eau, les tassements ultérieurs peuvent être supérieurs à ceux correspondant aux conditions

habituelles d'exécution de l'essai de plaque. Il est donc nécessaire, pour les sols de ce type, de prolonger l'essai par un chargement d'assez longue durée. Si la différence entre l'essai normal et l'essai de longue durée est significative, la construction d'une chaussée rigide pourra être déconseillée en raison du risque de tassement différentiel.

6-2 Exécution des terrassements

Les **terrassements**, dont il est ici question, sont ceux concourant à la réalisation des bandes de piste et de voie de circulation, ainsi que des aires de stationnement. Ils comprennent l'aménagement des fonds de forme des chaussées et le drainage de l'ensemble des ouvrages. L'évacuation des eaux souterraines étant indissociable de celle des eaux de ruissellement, le thème du drainage de la plateforme est ici séparé de celui des terrassements dont il ne constitue pas moins un important volet.

Les terrassements participant à la construction de l'aire de mouvement diffèrent principalement de ceux exécutés dans le cadre d'un projet routier en ce que :

1- Alors que les seconds sont essentiellement étudiés en fonction du tracé de l'axe du futur ouvrage et de son profil en long, la grande largeur des bandes aménagées des chaussées aéronautiques fait que la prise en compte des profils en travers est impérative. En raison d'ailleurs des faibles valeurs que doivent respecter leurs pentes moyennes, il est important d'étudier non pas un seul mais plusieurs profils en long passant par différents points du profil en travers (axe, bord de piste, limite extérieure d'accotement,...).

2- La largeur de la **bande aménagée** dépassant sensiblement celle de la **piste** sur laquelle elle est axée, la réutilisation des déblais en fonction de leur qualité entraîne des mouvements de terres plus complexes que pour un projet routier.

3- Les aérodromes qui reçoivent un trafic lourd ont une épaisseur de chaussée nettement supérieure à celle des routes et autoroutes. Combinée à la largeur des profils en travers, cette épaisseur peut devenir un élément essentiel des études de terrassements.

4- Alors que les routes peuvent être construites sur des terrains accidentés, les aérodromes sont implantés sur des sites relativement plats, sur lesquels les pistes doivent respecter des pentes maximales particulièrement limitées. Complétées par l'importance des surfaces revêtues, ces deux particularités font de l'**assainissement** des aérodromes un problème primordial qui prend une grande importance dès l'étude des terrassements et lors de la conduite des travaux correspondants.

5- Les désordres ponctuels ne sauraient être tolérés sur une chaussée aéronautique de sorte que toutes dispositions doivent être prises afin d'éviter tout risque de tassements différentiels ultérieurs.

6-2-1 Travaux préparatoires

Préalablement aux terrassements, des travaux superficiels de dégagement des surfaces à traiter sont généralement nécessaires, qui consistent en :

- l'**abattage** et le dessouchage **des arbres**, en s'assurant qu'aucune souche ne subsiste sous les futures chaussées et leurs abords, quelle que puisse être l'épaisseur du remblai prévu,
- le **débroussaillage** poursuivi jusqu'au total enlèvement des racines,
- la **démolition des constructions existantes**.

Intervenant ensuite, les terrassements procèdent successivement, avant tout autre mouvement de terre :

- au **décapage**, sur 3 à 5 cm d'épaisseur, des matériaux herbeux superficiels et à leur évacuation,
- à l'enlèvement de la **terre végétale** (en général sur 15 à 20 cm d'épaisseur) et à sa mise en dépôts, lesquels seront réglés et compactés de manière à prévenir leur saturation superficielle par les eaux de pluie.

Lorsqu'elle sera réutilisée pour constituer une piste en herbe, la terre végétale mise en dépôts ne comportera aucun matériau pierreux qui pourrait être préjudiciable aux hélices des avions au décollage.



Photographie STEBA / J.F. VERGNAUD

Déssouchage ou abattage d'arbres



Photographie M. JOLYOT

Châlons-Vatry - Démolition de l'ancienne tour de contrôle



Photographie STEBA / M. GOMMEAUX

Décapage de terre végétale

6-2-2 Exécution des déblais et des remblais



Photographie STEBA / G. NEEL

Travaux de terrassement en grande masse



Photographie STEBA / G. NEEL

Travaux d'excavation à la pelle mécanique

La conduite des terrassements sera faite de façon à éviter la stagnation des eaux de pluie. Il y a lieu, à cette fin, d'assurer l'évacuation générale des eaux du chantier en réalisant un drainage coïncidant le plus possible avec le drainage définitif tout en tenant compte impérativement des dispositions de la loi sur l'eau.

Les contraintes d'uni impliquent de s'affranchir des risques de tassements, notamment sur sols compressibles. C'est ainsi que les sols dégagés par l'enlèvement de la terre végétale et dont le projet ne prévoirait pas le déblaiement, seront purgés ou consolidés là où ils apparaîtraient non réutilisables en l'état. C'est ainsi également que les déblais seront réutilisés en remblais suivant l'ordre croissant de leur qualité, soit, successive-

- en dépôt, en dehors de la bande aménagée,
- en remblai, dans la bande aménagée hors des chaussées et accotements,
- en remblai sous les accotements,

les meilleurs étant conservés pour les remblais sous chaussées.

Le même souci de se prémunir contre tout tassement ultérieur conduit à mettre en place les remblais par couches de 20 à 25 cm d'épaisseur, cha-

cune de celles-ci étant humidifiée et compactée de manière à obtenir une densité sèche d'au moins 90 % de l'optimum proctor modifié.

Sous les chaussées et leurs accotements, la partie supérieure des remblais sera impérativement compactée à 95 % de l'optimum proctor modifié et ce sur une ou plusieurs couches de 20 à 25 cm. En cas d'impossibilité d'atteindre ce degré de compactage, il conviendra de recourir à un traitement spécifique (chaux, ciment,...) déterminé par un laboratoire agréé.

En zones de déblais, les travaux seront conduits de manière à ce que le terrain restant ait, au moins sur une même profondeur, les mêmes caractéristiques finales que la partie supérieure des remblais ayant une fonction identique dans le projet.

Les tolérances de nivellement par rapport aux cotes du projet sont de :

- ± 2 cm sur le fond de forme des chaussées et sur les abords non revêtus, jusqu'au fil d'eau, s'il existe, ou, à défaut, jusqu'à 15 m du bord de chaussée.
- ± 3 cm sur les autres parties de la bande aménagée,
- ± 5 cm sur la bande dégagée.

6-3 Assainissement pluvial et drainage de la plate-forme



PHOTOGRAPHIE STEBA / A. MARQUÈS

Rétention d'eau sur une voie de circulation suite à la déformation de la couche de roulement

Le réseau d'**assainissement pluvial** et de **drainage** d'un aérodrome assurera à la fois :

- la collecte et l'évacuation des eaux de ruissellement,
- la protection des corps de chaussée et de leurs fonds de forme contre les eaux d'infiltration et celles en provenance de la nappe phréatique ainsi que l'évacuation des unes et des autres.

Les plus dangereuses conséquences d'un réseau d'assainissement et de drainage mal conçu ou mal réalisé peuvent être :

- l'arrêt possible du trafic aérien par suite d'une accumulation excessive d'eau sur les chaussées induisant elle-même le phénomène d'aquaplanage,
- la mise en charge du réseau,
- la détérioration rapide des chaussées ou la chute de portance que l'excessive teneur en eau du sol support ou de leurs couches constitutives peut entraîner,
- l'impraticabilité d'une piste non revêtue par temps humide.

Les possibilités d'extension d'un aérodrome peu -

vent d'autre part être compromises si son réseau d'assainissement et de drainage n'a pas été conçu en conséquence.

Les quelques remarques, qui suivent, ont pour but d'accentuer l'attention devant être portée sur ce domaine.

- Un aérodrome comporte des surfaces imperméables et des aires à drainer très importantes qui recueillent des quantités d'eau quelquefois considérables et dont l'aménagement peut, par suite, relever de la procédure d'autorisation au regard de la **loi sur l'eau**.
- À surfaces égales, le périmètre des espaces concernés étant sensiblement moindre que pour une route, les exutoires sont souvent plus difficiles à trouver.
- L'implantation d'un aérodrome ne peut se faire que sur un site de relief peu accidenté.
- Les pentes maximales admises pour les profils en long et en travers sont plus faibles que pour les routes.
- La double contrainte de devoir observer de

faibles pentes et recueillir des débits importants conduit à des ouvrages de grandes dimensions.

Deux principes guideront par suite, avant tout autre, le projeteur, à savoir :

- limiter le débit à faire passer dans les ouvrages et par conséquent leur coût,*
- utiliser au maximum les ouvrages superficiels dont les coûts d'investissement et d'entretien sont*

naturellement plus faibles que ceux des ouvrages enterrés.

*Découle également de ce qui précède l'intérêt de prévoir des **bassins de rétention** qu'il est en général possible de placer entre pistes et voies de circulation ou plus généralement encore hors des bandes aménagées.*

6-3-1 Évacuation des eaux de ruissellement

Sauf pour les petites plates-formes, pour lesquelles ils constitueront un outil suffisant, les développements, qui vont suivre, n'ont pour objet que de permettre de dégrossir le dimensionnement du réseau.

Ainsi est-il rappelé qu'une **averse** est caractérisée par son intensité et sa durée, la première atteignant rapidement son maximum pour décroître ensuite beaucoup plus lentement. Pour un lieu donné et une fréquence donnée, l'intensité i et la durée t sont reliées par la relation suivante définissant une courbe intensité durée:

$$i = \frac{a}{b+t}$$

a et b étant des paramètres d'ajustement qui dépendent du lieu où se trouve la station météorologique et pour une même station, de la fréquence de l'averse.

Il est d'autre part généralement constaté que, en un lieu donné et pour une durée également donnée, la courbe de la figure 6-2 ci-contre est toujours à peu près la même, de sorte que l'averse correspondant en ce lieu à une durée choisie peut être caractérisée par son intensité moyenne, laquelle résulte elle-même de la division de la quantité totale d'eau tombée (exprimée en millimètres) par la durée de la précipitation.

Compromis entre la sécurité attendue des ouvrages et leur coût, une protection décennale sera généralement choisie pour les chaussées aéronautiques.

Pour dimensionner le réseau, on utilisera la méthode dite rationnelle qui :

- considère que le débit maximal Q arrivant en un point quelconque du réseau correspond à l'apport de la totalité de la surface drainée en amont, ce qui se produit lorsque les eaux provenant de son point le plus éloigné commencent à atteindre le point considéré.
- prend en compte une pluie d'intensité constante i déduite de la courbe intensité durée pour une durée de l'averse égale au temps nécessaire à l'écoulement de l'eau depuis le point le plus éloigné de la surface drainée jusqu'au point considéré, ce temps étant appelé temps de concentration T .



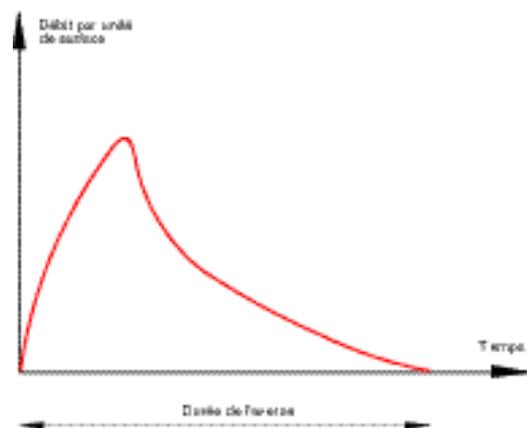
Système de récupération des eaux de ruissellement de type Satujo (bords de pistes ou d'aires de stationnement)

Photographie STEBA/FR. BOUMIER



Fossé en béton situé en bordure de bande aménagée

Photographie STEBA/C. GARNET



6-2 Évolution dans le temps de l'intensité d'une averse

Le temps de concentration T est la somme du temps d'écoulement laminaire t et du temps d'écoulement canalisé t' .

$$T = t + t'$$

Le temps d'écoulement laminaire t est le temps mis par l'eau depuis le point le plus éloigné de la surface drainée jusqu'au début du parcours canalisé.

Ce temps dépend du parcours et de facteurs tels que la végétation, la rugosité, la nature de la surface, les pentes. Il est calculé à partir de la formule :

$$t = \frac{3,28 \cdot (1,1 - C) \cdot \sqrt{D}}{\sqrt{P}}$$

où C est le coefficient de ruissellement de la surface drainée, D la distance en mètres du point le plus éloigné et P la pente de la surface en pour cent. Si les surfaces intéressées par l'écoulement laminaire sont de natures différentes, on prendra la somme des temps relatifs aux distances d'écoulement correspondant à chaque surface.

Le temps d'écoulement canalisé t' dépend de la vitesse d'écoulement. Lors du premier calcul sommaire du réseau, ne connaissant ni l'implantation exacte des canalisations, ni leurs dimensions, on prendra une vitesse de base de l'ordre de 0,5 à 1 m/s. Après calcul des débits et choix des diamètres, les vitesses réelles d'écoulement seront calculées et permettront d'obtenir les temps d'écoulement canalisé exacts. Une rectification éventuelle sera alors faite sur ces diamètres en prenant les hauteurs de pluies correspondant aux nouveaux temps de concentration.

La formule qui traduit la relation entre le débit maximal $Q_{(l/s)}$, la surface drainée $A_{(ha)}$ et l'intensité de l'averse $i_{(mm/h)}$ de durée égale au temps de concentration T s'écrit :

$$Q = 2,778 \cdot C \cdot i \cdot A$$

formule dans laquelle la valeur du **coefficient de ruissellement** C pourra être extraite du tableau 6-3 ci-après.

Si le bassin versant est constitué de plusieurs surfaces A_1, A_2, \dots, A_n , de nature différente, le coefficient de ruissellement à prendre en compte sera la moyenne pondérée des coefficients C_1, C_2, \dots, C_n

$$C = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Le diamètre de canalisation correspondant au débit Q à évacuer résulte ensuite de la **formule de Manning***

$$Q_{(m^3/s)} = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot |^{1/2} \cdot S$$

dans laquelle

- $S_{(m^2)}$ est la section transversale de l'écoulement**,
- $R_{(m)}$ le rayon hydraulique (S / périmètre mouillé),
- $I_{(m/m)}$ la pente de la canalisation

et n le coefficient de rugosité, dont la valeur sera extraite du tableau 6-4 ci-contre.

* Pour la détermination pratique des collecteurs à installer, et uniquement pour celle-ci, on pourra utilement se reporter au chapitre IV de l'Instruction Technique relative aux Réseaux d'Assainissement des Agglomérations, du 22 juin 1977, ainsi qu'à l'abaque Ab.4a du même ouvrage. Les annexes 9 et 10 du fascicule « Conception et dimensionnement des réseaux de drainage d'aérodromes » édité par le S.T.B.A. traduisent également graphiquement la formule de Manning.

** la section optimale correspondant à un arc mouillé de 240°

Types de surface	Coefficient de ruissellement
- Revêtement en enrobés (a)	0,8 à 0,95
- Revêtement en béton de ciment (a)	0,7 à 0,90
- Revêtements formés par un enduit superficiel	0,35 à 0,70
- Sols imperméables (argileux) nus	0,40 à 0,65
- Sols imperméables (argileux) engazonnés	0,30 à 0,55
- Sols légèrement perméables nus	0,15 à 0,40
- Sols légèrement perméables engazonnés	0,10 à 0,30
- Sols perméables nus	0,05 à 0,20
- Sols perméables engazonnés	0,00 à 0,10

(a) Il est prudent de retenir un coefficient égal à 1 pour les chaussées neuves

Nature du tuyau	n
- Tuyau en béton	
- Conduite circulaire à parois lisses sans joint	0,013
- Conduite circulaire de qualité normale	0,015
- Conduite circulaire avec joints, écoulement médiocre	0,018
- Tuyau en acier	0,015
- Tuyau en tôle ondulée	0,024
- Tuyau du type PVC	0,013

6-4 Coefficients de rugosité des différents types de canalisation

Les débits des fossés et des fils d'eau obéissant à la même formule, la profondeur des premiers et la hauteur d'eau dans les seconds peuvent ainsi être déterminées. Le coefficient de rugosité à prendre en compte pour ce faire est alors :

- pour les fossés, de :
 - 0,024 pour l'argile,
 - 0,020 pour le sable,
 - 0,045 pour la roche,
- pour les fils d'eau, de :
 - 0,045 pour la terre nue,
 - 0,055 pour la terre gazonnée,
 - 0,062 pour le gravier.

Le dimensionnement des regards avaloirs fait quant à lui appel à la première ou à la seconde des deux formules ci-après selon l'importance de la hauteur d'eau au dessus des orifices de la grille, soit :

- pour les faibles hauteurs d'eau
- pour les hauteurs d'eau plus importantes

$$Q = C' \cdot L \cdot H^{3/2}$$

$$Q = C'' \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot H}$$

dans lesquelles :

- $Q(m^3/s)$ est le débit d'absorption,
- $H(m)$ la hauteur au-dessus de la grille,
- $L(m)$ le périmètre de l'ouverture de la grille (compte non tenu des barreaux)
- $A(m^2)$ la surface des orifices,
- C' et C'' deux constantes dépendant du type d'orifice de la grille disponibles auprès du fournisseur*.

Dans un cas comme dans l'autre, on prendra un coefficient de sécurité compris entre 1,5 et 2 pour tenir compte du rassemblement de débris sur la grille. Ce coefficient pourra toutefois être réduit à 1,25 dans le cas d'un regard à grille situé au milieu d'une aire revêtue.

Le débit des eaux recueillies sur une plate-forme aéroportuaire peut être conséquent et appeler des dimensions importantes de fossés et collecteurs destinés à l'évacuer. Des **bassins de rétention** peuvent toutefois être aménagés qui permettent de réduire les dimensions de ces ouvrages.

tion peuvent toutefois être aménagés qui permettent de réduire les dimensions de ces ouvrages.

Les bassins de rétention sont conçus pour stocker les eaux de ruissellement d'un bassin versant afin de les traiter avant leur évacuation et de réguler leur débit de fuite vers le milieu naturel. Ils sont généralement réalisés à proximité des exutoires naturels ou ceux définis par le projecteur. Ils peuvent être implantés, entre piste et voie de circulation parallèle, le long des bretelles de liaison qui constituent arrêts à l'écoulement naturel des eaux.

Les bassins de rétention doivent être impérativement situés en dehors des bandes aménagées de la piste et des voies de circulation. Ils sont dimensionnés à partir de la valeur estimée du débit des eaux de ruissellement recueillies sur la surface drainée et du débit de fuite retenu par le projecteur.

La réalisation des bassins de rétention peut impliquer, selon la région, des **risques aviaires** qu'il conviendra de traiter avec les moyens appropriés (filets de protection, camouflage des flaques d'eau par plantation d'ajoncs, etc.).

Des **bassins d'infiltration** peuvent remplacer les bassins de rétention, lorsque les eaux recueillies ne subiront aucun traitement. Les deux types de bassins peuvent être associés, ceux de rétention stockant les eaux avant traitement et ceux d'infiltration les évacuant après.

Les bassins d'infiltration sont préconisés lorsque le sol est perméable et qu'il n'y a aucun risque de pollution pour la nappe phréatique. Le choix de leur aménagement peut aussi être la conséquence d'un manque d'exutoire naturel en surface. Leur utilisation, lorsqu'elle est possible, est fortement conseillée car elle est une alternative très efficace au ruissellement. Ils sont dimensionnés à partir de l'estimation du débit des eaux de ruissellement recueillies sur la surface drainée et de la perméabilité du sol.

* Si le rapport de l'ouverture brute à l'ouverture nette est voisin de 3/2, on pourra prendre $C' = 1,6$ et $C'' = 0,6$

6-3-2 Drainage des eaux souterraines



Drain enterré

Les **eaux souterraines** comprennent, d'une part, celles d'infiltration, d'autre part, celles provenant de la nappe phréatique.

S'agissant des premières, elles ne peuvent concerner directement les chaussées revêtues que lorsque celles-ci ont été mal conçues ou réalisées. La pénétration des eaux d'infiltration dans le corps d'une chaussée revêtue et dans son sol support peut cependant s'effectuer au travers des accotements,

- soit par infiltration directe des eaux de ruissellement dans les zones non revêtues des dits accotements*,
- soit latéralement, en provenance de fossés mal dégagés ou de zones de stockage non étanchées, ce contre quoi on protégera le corps de chaussée
 - ou bien en agissant à l'origine,
 - ou bien en disposant des drains de fondation parallèlement aux bords de la chaussée à protéger.

Faute de méthode fiable permettant de calculer le diamètre des drains, on retiendra pour celui-ci une valeur comprise entre 80 et 150 mm selon l'importance du débit à évacuer. Tandis que leur pente sera toujours supérieure à 0,15 %, la lon-

gueur de ces drains sera, en règle générale, limitée à 300 m pour les petits diamètres et à 400 m pour les plus grands.

Les tranchées, qui auront été ouvertes pour la pose des drains, seront comblées avec un matériau granulaire destiné à faire filtre.

En désignant par :

- d_{15} la dimension du tamis laissant passer 15 % du matériau filtrant,
- d_{50} la dimension du tamis laissant passer 50 % du matériau filtrant,
- D_{15} la dimension du tamis laissant passer 15 % du sol drainé,
- D_{50} la dimension du tamis laissant passer 50 % du sol drainé,
- D_{85} la dimension du tamis laissant passer 85 % du sol drainé,

la granulométrie du matériau filtrant sera :

- $d_{15} / D_{85} < 5$
- $d_{15} / D_{15} > 5$
- $d_{50} / D_{50} \leq 25$

Les contraintes granulométriques ci-dessus peuvent être adoucies en enveloppant le filtre par un géotextile anticontaminant. Ainsi, le filtre pourra-t-il être constitué par des gravillons 10/20 ou 20/40, selon que la largeur de la tranchée sera inférieure ou supérieure à 20 cm.

Lorsque cela est possible, il est intéressant d'utiliser deux matériaux filtrants, de granulométries différentes, le plus grossier étant disposé autour du drain. Il est en effet alors possible de mettre en place des drains à plus grandes ouvertures sans risque de colmatage et d'augmenter ainsi la perméabilité.

Ces tranchées drainantes peuvent aussi être réalisées par pose d'un écran drainant composé d'un géotextile entouré d'un matériau filtrant.

Qu'il s'agisse d'accotements non revêtus d'une piste revêtue ou d'une piste non revêtue, la solution la plus simple en amont des drains consiste à disposer une couche drainante sur le fond de forme de l'accotement ou de la chaussée non revêtue, afin de recueillir les eaux d'infiltration et de les acheminer vers les drains

* Il y a toutefois lieu de noter que, à défaut d'être soigneusement traitée, la jonction entre piste et accotement constitue une zone propice aux infiltrations.

longitudinaux. Constituée de préférence par des matériaux concassés, la couche drainante sera de granulométrie ouverte d/D^* , D étant tel que l'épaisseur de la couche drainante** soit supérieure à $2,5 D$. L'interposition éventuelle d'un géotextile anticontaminant entre le fond de forme et la couche drainante n'exclut pas que cette dernière se voie substituer un géotextile drainant. L'idéal est alors d'adopter un géotextile qui remplisse à la fois les deux fonctions anticontaminante et drainante.

S'agissant, par ailleurs, des remontées accidentelles de la **nappe phréatique**, la solution consistera :

- soit à mettre le corps de chaussée en remblai,
- soit encore à rabattre la nappe par drainage profond en bords de chaussée.

La seconde solution ci-dessus suppose que la perméabilité du sol l'autorise. Le tableau récapitulatif ci-dessous distingue, entre sols de différentes natures, ceux qui peuvent être présumés, soit auto-drainants, soit artificiellement drainables, de ceux qui le sont difficilement ou ne le sont pas du tout.

Ce même tableau porte également indication des plages de variation du coefficient de perméabilité que l'on s'attachera dans chaque cas à déterminer avec plus de précision afin de déterminer le temps de drainage, la hauteur d'abaissement de la nappe,

la profondeur des drains et leur débit, par l'intermédiaire des rapports adimensionnels, du second tableau 6-5 ci-après, combinant eux-mêmes :

- le débit q du drain par mètre linéaire,
- le temps t compté depuis le début du drainage,
- la distance e entre drains,
- le coefficient K de perméabilité,
- le volume v d'eau drainable par unité de volume du sol.

Le réseau de drainage profond sera conçu pour recueillir uniquement les eaux souterraines et ne servira pas à l'évacuation des eaux de nuisance.

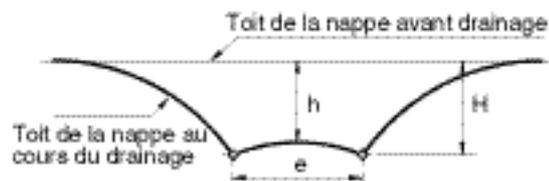
Lorsque ce réseau se déverse dans le réseau de recueil des eaux superficielles, il est nécessaire de veiller à ce que ces dernières ne puissent remonter à l'intérieur des drains et inonder le corps de chaussée ou le fond de forme.

Les drains placés en bordure des chaussées seront, si possible, légèrement déportés. S'ils sont placés sous la chaussée, il est nécessaire de les enterrer suffisamment profondément pour qu'ils puissent supporter le passage des engins de construction du corps de chaussée.

* d laissant passer 10% du matériau et D laissant passer 90% du matériau
 ** en général de l'ordre de 15 cm

K (cm/s)	10^2	10^1	0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
Propriétés Drainantes	Bon drainage						Mauvais drainage			Pratiquement imperméable	
	Draine très rapidement				Draine rapidement	Draine lentement	Draine très lentement	Drainage imperceptible			
Types de sol	Gravier propre		Sable propre, mélange de sable et de gravier propre			Sables très fins, limons, mélange de sables, limons et argile, argile stratifiée, etc.			Sols imperméables, argiles homogènes au- dessus de la zone soumise aux intempéries		
						« sols imperméables » qui sont modifiés par les effets de la végétation et des intempéries					

Rapports adimensionnels		
$\frac{t \cdot K \cdot H}{v \cdot e^2}$	$\frac{h}{H}$	$\frac{q}{K \cdot H}$
0,001	0,06	0,80
0,01	0,37	0,47
0,1	0,79	0,25



6-5 Rabattement de la nappe phréatique sous une chaussée

6-4 Démarche d'organisation de la qualité

6-4-1 Introduction

L'assurance d'obtenir la qualité est le résultat d'un ensemble de dispositions adoptées par l'entreprise et le maître d'œuvre.

Les différents documents qui servent à expliciter la forme et le contenu de la démarche d'assurance de la **qualité** sont :

- le Manuel qualité propre à l'entreprise qui définit les règles générales qu'elle applique,
- le Schéma d'organisation du plan d'assurance

de la qualité (**S.O.P.A.Q.**), élaboré par l'entreprise en réponse à un appel d'offres et qui trace les grandes lignes envisagées pour l'établissement du P.A.Q. correspondant aux travaux prévus,

- le Plan d'assurance de la qualité (**P.A.Q.**) qui, proposé par l'entreprise et avalisé par le maître d'œuvre, établit les règles devant permettre, lors de la réalisation du chantier, d'obtenir la qualité souhaitée pour l'ouvrage.

6-4-2 Organisation de la procédure d'assurance de la qualité

L'assurance d'obtenir la qualité est le résultat d'un ensemble de dispositions prises aux divers stades : connaissance préalable des propriétés des matériaux et des caractéristiques des matériels d'exécution, études de formulation des mélanges et épreuves d'étude correspondantes,

épreuves de convenance de fabrication et de répandage ainsi que contrôle permanent du processus.

Le tableau ci-après résume les points sur lesquels portent les contrôles **avant travaux**:

Points à vérifier	Dispositions à adopter
Caractéristiques des constituants	Matériaux titulaires ou non d'une certification Vérifications préalables
Adéquation du matériel de fabrication	Inscription ou non sur la liste d'aptitude Épreuve de convenance
Propriétés des mélanges	Étude de formulation Épreuve de convenance
Adéquation du matériel de répandage	Inscription ou non sur la liste d'aptitude Épreuve de convenance
Caractéristiques de la couche de roulement	Épreuve de convenance

À partir de cette base, avec un suivi permanent du processus d'exécution des travaux et des performances des constituants, les contrôles sur le produit fini peuvent être réduits à ce qui est nécessaire

re pour vérifier que l'on ne s'écarte pas des essais de référence.

La répartition des rôles **pendant le chantier** peut être représenté comme indiqué ci-après:

Régularité des constituants	Contrôle du processus	Contrôle des spécifications	Vérification de l'application du P.A.Q.
entreprise (avec résultats d'essais des fournisseurs)	entreprise	répartition entre entreprise et laboratoire du maître d'œuvre selon les indications du marchés	laboratoire du maître d'œuvre
contrôle intérieur		< = >	contrôle extérieur

Les fréquences minimales des contrôles sont fixées par le **C.C.T.P.*** pour prise en compte par le P.A.Q.

* Cahier des Clauses Techniques Particulières constituant l'une des pièces du marché

6-5 Construction des chaussées souples



Photographie STBA / R. BOUMIER

Aérodrome d'Auxerre - Branches. Chantier d'allongement de la piste (1977-1978)

Constituée de trois couches de matériaux de qualité et performances croissantes de bas en haut (couches de fondation, de base et de surface), le schéma classique d'une structure de **chaussée souple** peut être complété par interposition entre terrain naturel et corps de la chaussée de :

- une **couche de forme** employée lorsque le terrain naturel présente des caractéristiques particulièrement médiocres et hétérogènes (Il est également possible de traiter le sol support avec un liant hydraulique et de l'assimiler après traitement à une couche de forme).
- une **sous-couche de fondation** qui peut être anti-contaminante (écran contre la remontée

d'éléments argileux ou limoneux), anticapillaire (écran contre les remontées d'eau), antigel (réalisée en matériaux insensibles au gel pour accroître l'épaisseur de la chaussée jusqu'à une profondeur voisine de la pénétration maximale au gel). Lorsque le problème du gel est faible on préférera en général la mise en œuvre d'un géotextile.

Les couches de fondation, de base, de surface sont réalisées conformément aux fascicules 25 et 27 du **C.C.T.G.*** et aux recommandations et directives du S E T R A et du L.C.P.C..

* Cahier des Clauses Techniques Générales applicable aux marchés publics de travaux

6-5-1 La couche de fondation



Photo: H. STEIN / A. PARRINCAUX

Nice Côte-d'Azur - Mise en place de grave naturelle

Les qualités de rigidité et de résistance aux déformations permanentes devant se conserver sous l'effet du trafic, il convient que les granulats résistent à la fragmentation et à l'attrition. Pour que ces qualités demeurent également quelles que soient les conditions climatiques, il convient que la couche de fondation reste insensible à l'eau, au gel et aux fortes températures.

La **couche de fondation** d'une chaussée souple est généralement* composée de matériaux non traités (**G.N.T.**)** de granulométrie continue (0/20 à 0/60) dont l'épaisseur minimale de mise en œuvre est 20 cm.

L'utilisation d'une grave recomposée humidifiée (G.R.H.) est souvent souhaitable car elle présente le triple avantage d'avoir:

- une granularité bien contrôlée,
- une teneur en eau également bien suivie,
- une bonne cohésion assurant un meilleur comportement mécanique.

La norme XP P 18-540 définit la classification des granulats pour chaussées. Pour la couche de fondation on retiendra les indications du tableau 6-6 ci-après.

La couche de fondation sera recouverte d'une **couche d'imprégnation** ou d'un enduit bi couche à l'émulsion de bitume.

A la mise en œuvre, la conformité aux caractéristiques exigées par le **C.C.T.P.** sera vérifiée lors de l'exécution de la planche d'essais. Si le compactage est effectué par des rouleaux vibrants et des compacteurs à pneus, il est recommandé de débiter par les compacteurs à pneus.

* Avec les réserves exprimées au dernier alinéa du § 5-2-5 ci-dessus, la couche de fondation peut être réalisée en matériaux traités aux liants hydrauliques et en particulier en graves traitées aux liants routiers qui permettent de réduire les phénomènes de retrait.

** Grave non traitée

	Lettre de code de l'aérodrome		
	A	B	C, D, E, F
Classification XP P 18 540	C III c	B III c	B III c
Indice de concassage (1)	entièrement roulé	$I_c \geq 60$	entièrement concassé $I_c = 100$

(1) Il est rappelé, pour la lecture du tableau ci-dessus comme pour la suite, que :

- l'indice de concassage I_c est le pourcentage d'éléments supérieurs au D du granulat élaboré, contenu dans le matériau d'origine soumis au concassage,
- le rapport de concassage R_c est le rapport entre la plus petite dimension du matériau soumis au premier concassage et le D du granulat obtenu.

6-6 Granulats utilisables en couche de fondation d'une chaussée souple

6-5-2 La couche de base



Nantes - Atlantique. Mise en place de grave bitume

Le rôle essentiel de la **couche de base** est d'assurer une portance et un uni convenables à la chaussée finie. Pour la réalisation de celle-ci, on dispose des techniques suivantes :

a- Graves non traitées ou graves reconstituées humidifiées

Cette solution est généralement réservée aux chaussées légères (lettre de code A). Toutefois, dans le cas de sols de bonne portance (**C.B.R.** ≥ 10), on pourra l'employer pour des chaussées d'aérodromes de lettre de code B ou C.

Les spécifications des matériaux sont similaires à

	Lettre de code A	Lettre de code B
Classification XP P 18 540	D III b	C III b
Indice de concassage*	$I_c > 40$	$I_c = 100$

6-7 Granulats utilisables en couche de base en grave émulsion

celles des matériaux utilisés en couche de fondation.

b- Grave émulsion

D'utilisation très limitée, la technique de la **grave émulsion** constitue une solution intermédiaire entre la grave naturelle (plus économique) et la grave bitume (plus performante). Elle peut être utilisée pour les chaussées d'aérodrome de lettre de code A voire B.

La granularité des matériaux satisfera aux spécifications suivantes :

Un compactage énergique est nécessaire pour une bonne mise en place. Une protection de la surface sera assurée par un léger voile d'émulsion de bitume.

c- Grave bitume et enrobés à module élevé

La **grave bitume** est le matériau le plus utilisé comme couche de base en raison de son insensibilité à l'eau et de sa faible perméabilité.

Contrairement aux chaussées routières pour lesquelles l'épaisseur maximale est de 18 cm, pour les chaussées aéronautiques cette épaisseur pourra aller selon la lettre de code de l'aérodrome jusqu'à 30 cm. (en 2 couches pour tenir compte de l'épaisseur compactable maximale)

Compte tenu de leurs caractéristiques mécaniques, les enrobés à module élevé autorisent une réduction d'épaisseur de la couche de base par rapport aux graves bitume traditionnelles (se reporter à la notion de coefficient d'équivalence décrite en 5-2-5). Il convient toutefois de respecter les épaisseurs minimales de mise en œuvre.

Les caractéristiques recommandées pour les granulats sont :

	Lettre de code A	Lettres de code B, C, D, E, F
Classification XP P 18 540	C III c	B III c
D max. des granulats	20 mm	20 mm
Indice de concassage*	$I_c > 40$	$I_c = 100$

6-8 Granulats utilisables en couche de base en grave bitume

La mise en œuvre se fera en grande largeur afin de limiter le nombre de joints longitudinaux et d'obtenir un très bon profil en travers. Les arrêts de finisseurs seront limités voire interdits afin que le profil en long soit satisfaisant. La stabilité de la couche et sa résistance aux contraintes et à la fatigue étant dépendantes de la qualité du compactage, les modalités d'exécution de celui-ci seront définies à l'occasion de l'exécution des planches d'essais. La compacité de la couche de base sera vérifiée.

Si la couche de base est constituée de plusieurs couches, on veillera à éviter une superposition des joints longitudinaux et transversaux. Une couche d'accrochage est nécessaire dans ce cas sur chacune des couches constituant la couche de base.

* voir rappel de définitions au § 6-5-1 ci-dessus

6-5-3 La couche de surface

Les **couches de surface** des chaussées aéronautiques (couche de liaison et couche de roulement) ont pour rôle :

- d'assurer l'étanchéité de la chaussée,
- de résister au vieillissement dû aux agents atmosphériques et aux gradients thermiques,
- de résister au fluage, au poinçonnement et à l'agressivité des hydrocarbures,
- d'avoir une pente et une rugosité suffisantes pour minimiser la glissance,
- d'avoir un uni satisfaisant.

En général ces couches de surface sont réalisées en béton bitumineux. Toutefois, pour les aérodromes recevant des avions de charges inférieures à 5,7 tonnes il est possible d'utiliser la technique de l'enduit superficiel.

Pour donc les aérodromes de **lettre de code A**, la mise en œuvre d'un **enduit superficiel** (formule bicouche) peut s'avérer intéressante car économique. Cependant, cette technique présente plusieurs inconvénients, à savoir :

- étanchéité insuffisante,
- vieillissement rapide,
- inadaptation à des mouvements d'avions à réaction,
- détérioration des hélices et du fuselage par projection de gravillons,
- usure rapide des pneumatiques à l'atterrissage en cas d'activité d'école en tours de piste.

Pour limiter ce dernier inconvénient, les enduits superficiels respecteront la norme NF P98 160 et ses spécifications relatives aux chaussées aéronautiques.

Les granulats utilisés (classe 2/4) peuvent être choisis dans la classification B II* avec un **indice de concassage** $I_c = 100$. Le liant est une émulsion de bitume à 65% ou un bitume fluidifié.

Après élimination des rejets et avant mise en circulation, la mise en œuvre d'un voile de scellement est nécessaire. Pour une mise en œuvre satisfaisante, on veillera

plus particulièrement :

- à la propreté des granulats,
- à la préparation du support,
- à une exécution dans des conditions climatiques favorables (éviter une trop forte hygrométrie et des températures trop hautes ou trop basses).

Dans le cas plus général des couches de surface en **béton bitumineux**, celles-ci peuvent être composées soit de deux couches (couche de liaison + couche de roulement) soit d'une seule couche de roulement.

La **couche de liaison**, dont les caractéristiques n'atteignent pas celles d'une couche de roulement, permet de réduire l'épaisseur de cette dernière et peut être réalisée dans les cas suivants :

- sur couche de base en **G.N.T.** pour les aérodromes de **lettre de code B** ou **C**,
- sur couche de base en grave bitume à base de granulats de caractéristiques mécaniques passables,
- sur aérodromes de lettre de code **D, E, F** même en cas d'utilisation de granulats de bonne qualité pour la grave bitume,
- si la mise en œuvre de la couche de roulement est différée.

La **couche de roulement** en **béton bitumineux aéronautique** (B.B.A.) respectera les prescriptions des documents suivants :

- la norme NF P 98 131 concernant ce matériau,
- le fascicule 27 du **C.C.T.G.**,
- les recommandations SETRA / L.C.P.C. relatives aux enrobés bitumineux à chaud.

En particulier on veillera à prescrire un type de B.B.A. en rapport avec les travaux à exécuter, à respecter le module de richesse du mélange et à vérifier les caractéristiques de celui-ci lors de la réalisation des planches d'essais.

Les granulats utilisés auront les caractéristiques indiquées dans le tableau ci-dessous :

* norme XP P 18 540

	Chaussées légères		Autres chaussées aéronautiques	
	Couche de roulement		Couche de roulement	Couche de liaison
Classification XP P 18 540	C III a		B III a	B III a
Angularité des sables et des gravillons (a)	$I_c \geq 60$		$I_c = 100$	$R_c \geq 2$

(a) voir rappel de définitions au § 6-5-1 ci-dessus

La granularité du mélange pourra être choisie continue ou discontinue de façon à atteindre le niveau de compacité prescrit compte tenu de l'épaisseur de la couche de B.B.A.

Comme pour les couches précédentes, les planches d'essais permettront la mise au point de l'atelier de compactage et la vérification de la rugosité de la surface.

Le **béton bitumineux à module élevé** (B.B.M.E.) présente des caractéristiques mécaniques supérieures à celles du B.B.A., notamment vis-à-vis des problèmes d'orniérage.

Son utilisation peut être intéressante pour les chaussées recevant un trafic lourd, car il permet de réduire les quantités de matériaux bitumineux à mettre en œuvre.

Les carburants et les lubrifiants étant des solvants du bitume, des dispositions seront prises pour que, quel que soit leur type, les revêtements, sur lesquels des déversements de ces produits risquent de se produire, soient insensibles à leur action. Celle-ci n'a toutefois des conséquences fâcheuses que dans la mesure où ces produits peuvent pénétrer le revêtement qu'ils parviennent alors à désagréger en dissolvant son liant

C'est donc sur les surfaces où les déversements de carburants ou de lubrifiants interviennent de manière régulière en des points concentrés que le risque de voir apparaître des désordres est le plus grand. Tel est principalement le cas des aires de stationnement sur lesquelles s'effectuent les opérations d'avitaillement, ainsi que, dans une moindre mesure, celui des seuils de piste.

Leur action se prolongeant tant qu'ils ne sont pas évaporés, ces produits sont d'autant plus agressifs qu'ils sont moins volatils.

Deux méthodes peuvent être envisagées pour obtenir un revêtement résistant aux hydrocarbures. Ainsi est-il possible, soit de soustraire le revêtement à l'action des carburants ou lubrifiants en le protégeant en surface par un **produit anti-kérosène**, soit de réaliser un revêtement dont le liant est lui-même insensible (goudron, ciment).

Dans la première de ces deux méthodes, le béton bitumineux du revêtement est protégé par un enduit en surface qui est, soit à base de liant hydrocarboné, soit à base de résines de synthèse, et qui forme un film continu et souple protégeant parfaitement les maté-

riaux enrobés sous-jacents.

Ce procédé est, en raison de sa facilité de mise en œuvre*, celui des deux qui est le plus employé. Il peut s'appliquer à des surfaces ayant un contour quelconque, soit sur des chaussées neuves, soit sur des chaussées anciennes. Cet enduit a toutefois pour inconvénient de réduire considérablement la rugosité de la surface (laquelle devient glissante lorsqu'elle est mouillée), ainsi que celui d'être neutralisé par poinçonnement (mise en place de vérins ou de sabots à dents). Ce type d'enduit a pour autre défaut celui de s'user assez rapidement, sa durée de vie n'étant que de quatre à cinq ans au maximum.

Une variante de cette méthode consiste à mettre en œuvre, en couche de roulement, des enrobés ouverts, laissant environ 20 % de vide, qui sont ensuite percés par un coulis fluide composé, à poids égal, de sable, de ciment et d'eau, auxquels sont ajoutées des résines.

Réparti régulièrement à l'aide d'un balai ou d'une raclette, le coulis se met facilement en place grâce à sa consistance. Il y a lieu toutefois de veiller à ce que la percolation se fasse bien sur toute la profondeur voulue (3 à 4 cm).

Pour que cette couche d'enrobés ouverts ait des performances mécaniques convenables, on utilisera de préférence des matériaux durs (granulats de basalte) et un bitume dur (35/50).

Cette solution peut présenter une durée de vie bien plus longue que celle de l'enduit en surface. L'assise des chaussées ainsi traitées doit toutefois être particulièrement résistante (déflexion sous charge de 20 à 30 centièmes de millimètre au maximum). Beaucoup de soin est en outre exigé pour sa mise en œuvre afin d'éviter une microfissuration** de retrait trop importante.

La seconde méthode peut également s'inscrire au chapitre des chaussées souples par utilisation comme liant, soit du goudron, soit du brai de houille, l'un ou l'autre étant additionné de polymères. C'est alors un procédé relativement cher et peu utilisé en raison des conditions spéciales de fabrication que cette technique nécessite.

* Il convient cependant d'éviter les sur épaisseurs et de suivre les consignes d'application du fournisseur.

** La tendance à la microfissuration est d'autant plus prononcée que le climat est sec.

6-5-4 La mise en œuvre des couches de chaussées



Photographie ADP Laboratoire Photographique

Finisseurs travaillant en parallèle

Les contraintes spécifiques aux chaussées aéronautiques exigent des cadences de mise en œuvre élevées et le respect de tolérances sévères pour obtenir un uni final de bonne qualité. Tant sur le plan de la fabrication que sur le plan de la mise en œuvre les capacités du matériel seront adaptées au chantier à réaliser. Le répandage en grande largeur est recommandé afin de limiter le nombre de joints longitudinaux.

Pour la mise en œuvre des matériaux enrobés, il

est souhaitable, afin de diminuer le nombre de joints à froid, de prévoir une cadence élevée en opérant avec plusieurs répanduses travaillant en parallèle dans le sens longitudinal.

Le guidage des finisseurs, qui est directement fonction de la qualité de mise en place de la couche sous-jacente, se fera, soit à vis calées, soit à l'aide d'un fil ou d'un laser.

Quel que soit le profil en travers, il est souhaitable que les passes des finisseurs aillent du point haut vers le point bas (pente unique) ou les points bas (profil en toit).

Dans tous les cas et quel que soit le nombre de couches, la superposition des joints longitudinaux est à éviter. Il en est de même pour la superposition d'un joint longitudinal avec l'axe de la chaussée, évitant ainsi la conjugaison du phénomène de détrempe créé par le marquage axial et de celui de retrait dû au joint longitudinal.

Les joints de reprise ou joints transversaux seront limités au maximum afin de ne pas altérer la qualité de l'uni.

6-5-5 Le contrôle de qualité

La mise en place d'un plan d'assurance de la qualité (P.A.Q.) sera proposée dès l'élaboration du dossier de consultation des entreprises.

Dans le cadre de ce plan, les contrôles de fabrication et de mise en œuvre des enrobés seront prévues être à la charge de l'entreprise et les résultats doivent être soumis au visa du maître d'œuvre.

Si ce dernier peut toujours prendre à sa charge des contrôles complémentaires de fabrication, il reste de sa responsabilité de faire pratiquer les essais de réception du produit fini :

- contrôle de nivellement,
- épaisseurs des couches,
- compacité de l'enrobé,
- uni et adhérence de la couche de roulement.

6-5-6 Cas particulier des chaussées non revêtues

En raison du faible poids des appareils et du caractère particulier du trafic auquel est destinée une **chaussée non revêtue**, la couche unique supportant celle engazonnée sera réalisée soit par amélioration du sol naturel sur une épaisseur égale à celle indiquée par l'**abaque de dimensionnement**, soit par apport de matériaux peu coûteux disponibles sur place mais dont les plus gros éléments ne devront pas dépasser 40 mm.

La couche de roulement peut être constituée soit de terre végétale de bonne qualité, soit de terre végétale amendée par des matériaux granulaires afin de lui donner une cohésion suffisante pour pouvoir supporter un trafic léger, même par temps humide. La terre du mélange est confortée par le développement ultérieur de la végétation. Connue sous le nom d'**agrégat-gazon**, cette technique appelle par la suite un suivi particulier compte tenu de la remontée systématique des granulats à la surface et des risques de détérioration encourus par les hélices. Ainsi, un compactage régulier (annuel) est-il indispensable.

Le gazon devra être suffisamment robuste pour ne pas être arraché par le freinage des pneumatiques des avions à l'atterrissage, être alimenté par un système racinaire puissant, rester court et dense et pousser lentement. Il devra aussi être adapté au climat.

Faute de trouver une espèce qui réponde à toutes ces qualités, on aura recours à un mélange judicieusement choisi.

L'ensemencement peut débuter dès le début du printemps, mais l'époque la plus favorable est la fin du mois d'août pour le Nord de la France et le milieu du mois de septembre pour le Sud du pays. Il est en particulier fortement déconseillé d'ensemencer entre le 1er juin et le 10 août au dessus de 500 m d'altitude dans les régions où l'évapotranspiration potentielle moyenne est supérieure à 110 mm par mois.

Il faut enfin souligner qu'une incompatibilité du gazon avec le terrain naturel, des conditions climatiques défavorables ou une mise en service trop rapide de la piste se traduiraient par un échec total de l'engazonnement.

Le tableau ci-après donne quelques exemples de combinaisons possibles selon la zone et l'époque d'ensemencement, ne serait-ce que pour démontrer l'utilité qu'il y a, en chaque cas, à se renseigner auprès d'un spécialiste.

Il est enfin précisé que la dose de semis varie selon la composition du mélange et la date de l'ensemencement, la moyenne se situant toutefois autour de 20 g par mètre carré.

Zones	Semis de printemps		Semis d'automne	
Zone Nord	30 %	Ray-Grass Anglais	40 %	Ray-Grass Anglais
	25 %	Paturin des Prés (1ère variété)	25 %	Fétuque Rouge Gazonnante
	25 %	Paturin des Prés (2ème variété)	15 %	Fétuque Rouge Demi-traçante
	15 %	Fétuque Rouge Gazonnante ou Fétuque Rouge Demi-traçante	15 %	Paturin des Prés
	5 %	Fléole Noueuse	5 %	Fléole Noueuse
Zone Sud	35 %	Ray-Grass Anglais	40 %	Ray-Grass Anglais
	25 %	Fétuque Rouge Demi-traçante	25 %	Fétuque Ovin Durette
	20 %	Fétuque Ovine Durette	15 %	Fétuque Rouge Demi-traçante
	15 %	Paturin des Prés	15 %	Paturin des Prés
	5 %	Fléole Noueuse	5 %	Fléole Noueuse

6-10 Exemples de mélanges d'espèces de gazon adaptés au climat et à la saison

6-6 Construction des chaussées rigides



Paris-CDG - Chantier

Photographie GALLÉFRAT

La construction des **chaussées rigides** se conformera d'une part au fascicule 28 du Cahier des Clauses Techniques Générales et d'autre part à la norme NF P 98 170.

6-6-1 Les matériaux

Les **granulats** seront conformes à la norme XPP18 540.

Pour le béton de roulement, les graviers seront approvisionnés en au moins 2 classes (5/20 et 20/40*, la classe 5/20 pouvant elle-même avantageusement être scindée en 5/10, 10/20). Ils seront au minimum de catégorie D III avec un coefficient de polissage accéléré (C.P.A.)** supérieur à 0,40.

Pour le béton de fondation, une seule classe pourra être admise (5/20) qui sera au minimum de la catégorie E IV sans exigence pour la valeur du C.P.A.

Le **sable** sera alluvionnaire et de même qualité pour les bétons de fondation et de roulement. Il sera de catégorie a*** avec un valeur Vbta . f < 10%. Le fuseau granulométrique du sable respectera la

norme précitée, son module de finesse**** ne devant pas varier de plus de $\pm 0,3$.

Des éléments fins d'ajout peuvent, dans le seul cas d'emploi d'un ciment CPA - CEM I, être incorporés au béton en vue de corriger sa courbe granulométrique ou de réduire la quantité de ciment. Ces produits devront, dans le premier cas, présenter les caractéristiques définies par la norme XP P 18-540,

* La dimension du plus gros granulats est respectivement de 31,5 et de 40 selon que l'épaisseur de la couche est inférieure ou supérieure à 30 cm

** quantifiant la résistance à l'usure de la roche

*** catégorie du sable définie par $PS \geq 60$ et $Vbta . f \leq 20\%$ avec PS: équivalent de sable à 10% de fines (NFP 18-598)
Vbta: valeur au bleu de méthylène à la tâche (NFP 18-592)

f: teneur en fines du sable (fraction 0/2 mm)
**** caractérise la granulométrie et est égal au $1/100^e$ de la somme des refus exprimés en pourcentages sur les tamis de la série suivante: 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5

dans le second, ce conformer, selon leur nature, aux normes NF P 18-502 (fumée de silice), NF EN 450 (cendres volantes de houille), NF P 18-506 (laitiers vitrifiés de haut fourneau), NF P 18-508 (additions calcaires) ou NF P 18 509 (additions siliceuses). La norme XPP18-305 propose quant à elle un mode de calcul de la quantité de ciment substituable et de prise en compte de ces additions.

Les **ciments** utilisables seront conformes à la norme NF P15 301 et seront choisis en fonction de leur destination et de leurs caractéristiques mécaniques (CPA - CEM I ou CPJ - CEM II / A ou B).

Pour le béton de roulement, le ciment présentera des caractéristiques spécifiques concernant le temps de prise, le retrait maximal, la maniabilité sur mortier et la teneur en aluminat tricalcique (C₃A) pour lesquelles on se reportera à la norme NF P 98 170.

Les ciments avec ajout de laitier de métaux non ferreux (pouzzelanes industrielles) sont à proscrire en raison des risques de pollution des eaux de ruissellement.

Compte tenu des résistances mécaniques généralement demandées, la classe 32,5* de résistance du ciment sera suffisante

Les **adjuvants** seront conformes à la norme NF P18 103.

Les produits les plus couramment utilisés sont :

- le plastifiant - réducteur d'eau, d'emploi non obligatoire, qui permet d'améliorer les caractéristiques du béton frais (consistance) et du béton durci (résistance) aussi bien dans le béton de chaussée que dans celui de fondation,
- l'entraîneur d'air, d'emploi obligatoire quelles que soient les conditions climatiques, permettant de créer un réseau de bulles d'air dans le béton de chaussée.

Les adjuvants proposés par l'entreprise feront l'objet d'une vérification de compatibilité avec les autres constituants du béton.

L'**eau** utilisée pour la fabrication des bétons sera conforme au type 1 de la norme NF P 98 100.

Son origine doit faire l'objet d'une particulière attention notamment lorsqu'elle est récupérée par pompage en milieu naturel.

L'étude de la **composition du béton** sera, en règle générale, réalisée selon les spécifications de l'annexe F de la norme XPP18 303. Cette étude pourra toutefois se référer à une étude antérieure ayant donné satisfaction avec des matériaux strictement identiques. Cette procédure est valable pour le béton de roulement comme pour le béton de fondation.

Les principales caractéristiques demandées aux bétons sont consignées dans le tableau ci-après, étant précisé que:

- les résistances indiquées s'entendent à échéance de 28 jours,
- les résistances par fendage ou par flexion sont équivalentes et ne diffèrent que par le type d'essai (fendage = 0,6 flexion),
- les résistances exigées sont des minima à obtenir lors des essais d'étude et **épreuves de convenue**.

Afin de protéger la surface du béton, pendant sa prise et une partie de son durcissement, contre les actions des agents atmosphériques (vent, rayonnement solaire...),

- ou bien on répandra par pulvérisation un **produit de cure** faisant l'objet d'une certification et dont les caractéristiques figurent dans l'annexe E de la norme NF P 98 170,
- ou bien on étalera sur le béton une feuille de protection.

	Béton de fondation	Béton de roulement
Dosage minimum en ciment	150 kg / m ³	330 kg /m ³
Consistance (affaissement au cône d'Abrams)	1 à 5 cm	1 à 5 cm
Teneur en air occlus (essai à l'aéromètre à béton)	3 à 6 %	3 à 6 %
Résistance moyenne en traction par fendage	1,8 Mpa (ou 20 Mpa en compression)	3,6 Mpa

6-11 Caractéristiques demandées aux bétons de chaussées rigides

* La nouvelle normalisation désigne la classe de résistance des ciments par la valeur minimale et non plus moyenne



Photo: J. S. S. S. S. S.

Scellement de goujons

Afin d'éviter la remontée des fissurations de retrait du béton de fondation dans les dalles de revêtement, on interposera, à la surface du béton de fondation :

- soit un enduit d'imprégnation mono couche avec un dosage de l'ordre de 400 g/m² de bitume résiduel et 8 l/m² de gravillons 4/6,
- soit un produit de cure à double dose.

Les **goujons** entre dalles sont des pièces métalliques de nuance Fe E 235. Ils seront conformes à la norme NF A 35 016 et leur diamètre sera choisi en fonction de l'épaisseur de la dalle (cf. annexe C de la norme NF P 98 170). Pour les épaisseurs courantes, on choisira en général un diamètre de 30 mm, une longueur de 50 cm et un espacement de 30 cm.

Ayant pour seul rôle d'assurer le transfert d'effort tranchant au droit des joints, les goujons doivent pouvoir glisser librement dans leurs logements. Ils devront par suite être lisses, rectilignes, sans aspérités aux extrémités et enduits d'une fine couche de produit bitumineux ou plastique. Leur ajustement à la longueur se fera par suite obligatoirement par sciage et ébavurage.

Les **armatures pour béton armé continu** seront des aciers HA de nuance Fe E 500. Le nombre et l'espacement des fers seront fonctions de la section totale d'acier à réparer*.

À défaut de certification des aciers proposés, l'adhérence acier - béton sera contrôlée par l'essai « ABA » décrit par la norme expérimentale XPP 98-249-1.

Les **produits pour joints** assureront l'étanchéité entre dalles. Ils devront, selon leur emplacement sur l'aire de mouvement, pouvoir plus particulièrement résister aux sollicitations

- mécaniques induites par le trafic et les mouvements des dalles,
- thermiques dues à la température ambiante et au souffle des réacteurs,
- chimiques imputables aux hydrocarbures et aux produits de dégivrage.

Ces produits sont classés en trois catégories (annexe D de la norme NF P 98 170), à savoir :

- catégorie A : produits qui n'ont pas besoin de résister aux hydrocarbures,
- catégorie B : produits résistant au kérosène,
- catégorie C : produits résistant au kérosène ainsi qu'au souffle et aux effets thermiques des réacteurs.

On distingue d'autre part trois familles de produits :

- les produits « coulés à chaud » qui sont :
 - des mono composants constitués essentiellement de bitumes modifiés non anti-kérosène et conformes à la norme US S 1401B,
 - des goudrons industriels modifiés anti-kérosène devant répondre à la norme US S 1614,
- les produits « coulés à froid », qui sont en général à base d'élastomère de synthèse (polyuréthanes, poly-sulfures ou silicones) et, dans la plupart des cas, anti-kérosène (afin d'offrir cette dernière propriété, le polyuréthane est associé à un goudron industriel)**,
- les produits préformés qui sont des profilés réalisés à partir de produits de synthèse élastomères (du type néoprène, silicone ou équivalent), conformes à la norme ASTM D 2628-69 et dont la résistance éventuelle aux hydrocarbures est à vérifier systématiquement.

* cf. § 5-3-4 ci-dessus

** Cette gamme de produits conformes à la norme US S 200 D et peut se présenter sous forme de mono ou de bi composant.

6-6-2 Matériels d'exécution

Implantée en fonction de l'origine des matériaux et de l'emplacement du chantier, l'**aire de stockage et de fabrication du béton** devra être adaptée au volume de stockage préalable de granulats - dépendant lui-même de la cadence prévue de mise en œuvre du béton - et avoir la surface nécessaire à la centrale et à la circulation des camions.

Implantée à proximité immédiate des granulats, la **centrale de fabrication du béton** doit être conforme à la norme NF P98 730. Elle peut être de deux types :

- soit de celui des centrales mobiles de chantier, de fabrication continue ou discontinue, lesquelles figurent sur la liste d'aptitude publiée par la Direction de la Sécurité et de la Circulation Routières (D.S.C.R.) du ministère chargé des Transports,
- soit de celui des centrales de béton prêt à l'emploi (B.P.E.), lesquelles figurent sur la liste d'aptitude publiée par la Direction des Affaires Économiques et Internationales (D.A.E.I.) du même ministère.

La centrale sera au moins de classe B ou de classe C selon l'importance du chantier. Le débit de la centrale limite notamment aux petits chantiers (moins de 900m³/j) l'utilisation d'une centrale B.P.E.

Le nombre de véhicules affectés au **transport du béton** sera suffisant pour assurer une alimentation régulière de la machine de répannage. Des temps de transport sont à respecter en fonction des conditions de température. Ainsi le temps de transport sera-t-il limité à 90 mn pour une bétonnière portée et à 45 mn pour un camion-benne lorsque la température sera inférieure ou égale à 20°C. Ces temps de transport limites pourront, lorsque la température sera supérieure, être diminués respectivement de 5 mn et de 3 mn par degré au dessus du seuil de 20°C.

Parmi les **matériels** de répannage, seules les **machines à coffrages glissants** de type C permettent de répondre à la fois aux exigences (densité, uni,...) et aux cadences d'exécution recherchées. Les principales caractéristiques de ces machines sont :

- leur largeur de travail qui varie de 3 à 15 m,



Centrale de fabrication de béton

Photographie B.A.N. LORIENT



Chargement en granulats des trémies de la centrale

Photographie B.A.N. LORIENT



Machine à coffrage glissant - Goujons sur paniers

Photographie Chemiers Modernes Routes (C.M.R.)



Machine à coffrage glissant

Photographie GAILLEPAT



Pulvérisation de produit de cure



Sciage de joint

- leur asservissement en direction comme en nivellement,
- leur châssis principal supporté par deux, trois ou quatre chenilles par l'intermédiaire de vérins,
- leur chariot ou leur double vis sans fin assurant la répartition du béton,
- leurs coffrages latéraux et supérieur ainsi que leurs pervibrateurs ou tubes vibrants dont la puissance est réglée en fonction de la maniabilité du béton.

Afin de rendre la surface du béton antidérapante, il est possible de lui donner une certaine **rugosité** en utilisant, sur béton frais, un ou plusieurs des procédés suivants :

- passage d'une toile de jute humide donnant une faible macrorugosité (hauteur au sable = 0,5 mm), opération toujours réalisée quel que soit le traitement ultérieur.
- passage d'un balai à poils fins pour une hauteur au sable de 1 mm,
- passage d'un balai à poils durs créant des stries de 3 à 4 mm de profondeur pour une hauteur au sable de 1,5 mm.

Sur les pistes et les bretelles, la toile de jute ou le balai à poils fins suffisent. Par contre, sur les aires de stationnement on utilisera au moins le balai à poils fins afin d'assurer l'adhérence requise au démarrage par l'avion ou son pousseur.

Sur le béton durci, un rainurage transversal peut aussi être réalisé à l'aide d'une machine équipée d'un tambour portant des disques diamantés espacés à la demande. Cette technique est surtout utilisée lorsque l'on est confronté à des problèmes d'adhérence et (ou) d'évacuation d'eau.

Le matériel de pulvérisation du **produit de cure** permettra un réglage de la pression et de la hauteur de pulvérisation afin d'assurer le dosage prescrit sur l'ensemble des surfaces libres.

Dans le cas d'utilisation d'une feuille de protection, le matériel permettra une mise en œuvre de la feuille sur toute la largeur de la bande y compris les flancs.

Pour le **sciage des joints**, les scies à une ou plusieurs lames peuvent être utilisées. S'agissant des dernières, il sera porté attention au réglage d'alignement. Dans tous les cas, il sera veillé à ce que le nombre de lames disponibles sur le chantier soit suffisant pour permettre de scier la production journalière y compris les joints longitudinaux.

Le matériel de garnissage des **joints coulés**, permettra un nettoyage préalable et l'injection du produit sur une hauteur d'au moins 2,5 cm. Pour les produits coulés à chaud, un matériel de maintien en température du produit sera en outre exigé.

Pouvant être substitués aux précédents, les **joints préformés** seront

- soit collés après sciage sur les bords de joints transversaux ou avant bétonnage de la bande voisine pour les joints longitudinaux,
- soit placés directement dans le béton frais.

6-6-3 Exécution des travaux

Avant le démarrage du chantier, des **épreuves de convenance** auront pour but de vérifier que les matériels mis en service ont les performances prévues pour le déroulement du chantier et permettront d'obtenir celles requises par l'ouvrage. On distingue :

- l'épreuve de convenance de fabrication,
- l'épreuve de convenance de mise en œuvre.

Chacune des épreuves de convenance comporte :

- un examen du matériel,
- une vérification de son fonctionnement,
- exécution d'un élément de référence.

Pour l'épreuve de référence qui ne concerne que le béton de dallage, un début d'exécution de la couche de fondation pourra être retenu comme élément test.

Selon que la référence de **guidage de la machine de répannage** sera :

- exceptionnellement son chemin de roulement, le degré d'uni de celui-ci sera au moins égal à celui exigé pour la couche à répandre,
- la couche de chaussée adjacente, celle-ci sera broyée avant le passage du palpeur,
- un fil placé latéralement, ce dernier sera supporté par des potences espacées de 10 m au plus et tendu de telle façon qu'il ne présente pas de flèche supérieure à 3 mm sous une charge de 50 g appliquée elle-même à égale distance de deux potences successives.

Le guidage par plan laser est également possible.

Il est recommandé, avant répannage, d'arroser la couche **support** du béton afin :

- d'éviter le départ d'eau du béton par succion,
- de refroidir au besoin la couche support par temps chaud.

Les **tolérances de nivellement du béton** doivent être conjuguées avec les tolérances d'épaisseur qui sont prioritaires et pour lesquelles on retient généralement + 5 mm et - 10 mm, pour la couche de fondation, et + 5 mm et - 0 mm, pour le béton de roulement. Les tolérances de nivellement sont généralement, quant à elles, de ± 10 mm, pour le béton de fondation, et de ± 5 mm, pour le béton de roulement. Aucune tolérance ne sera par contre admise, qui concernerait d'éventuels affaissements de bords de dalles.

Les transferts de charges entre dalles adjacentes seront assurés par la **pose de goujons** avant bétonnage pour les joints de retrait transversaux et par scellement dans le béton durci pour les joints de construction longitudinaux (ils peuvent aussi, dans ce dernier cas, être mis en place en cours de bétonnage par un dispositif mécanique enfonçant le goujon dans le béton frais avant que celui-ci ne sorte du moule).

Les goujons sont disposés horizontalement au droit des joints, perpendiculairement à ceux-ci et à mi-épaisseur des dalles.

L'extrémité des goujons ne devra pas en outre s'écarter du plan horizontal de plus de 10 mm vers le haut ou vers le bas.

Les goujons en attente pour joints transversaux seront enduits d'un produit empêchant l'adhérence du béton et posés sur des paniers supports qui devront être fixés solidement au béton de fondation et conçus de manière telle qu'ils ne créent aucune liaison entre dalles séparées par le joint. Il s'agit généralement d'aciers de $\varnothing 6$ mm sur lesquels les goujons sont fixés par ligatures.

Pour les dalles en **béton armé continu**, les armatures ne s'écarteront pas de plus de 2 cm de leur altitude moyenne ni de plus de 3 cm en plan.

Destinés à éviter une fissuration anarchique, les **joints transversaux de retrait flexion** sont perpendiculaires à l'axe longitudinal de la chaussée et positionnés en fonction de l'épaisseur de la dalle* (espacement maximal de 25 fois l'épaisseur de la dalle) et des points d'application ultérieure des charges les plus lourdes (notamment sur les aires de stationnement). Le délai de sciage sera laissé à l'initiative du scieur mais aura été estimé lors de l'essai de convenance. La largeur des joints sera en général de 10 mm et leur profondeur égale au quart ou au cinquième de l'épaisseur de la dalle.

Les joints longitudinaux sont de deux types, à savoir :

- les **joints longitudinaux de construction** (réalisés selon les indications de la norme NF P 98-170) disposés entre deux bandes et dont la forme

* On n'exécute pas habituellement de joints de retrait sur la couche de fondation

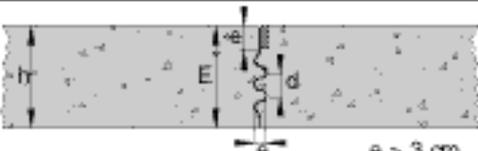
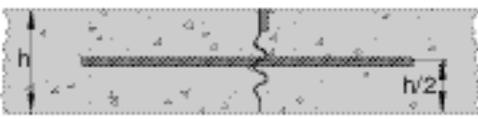
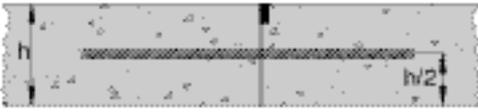
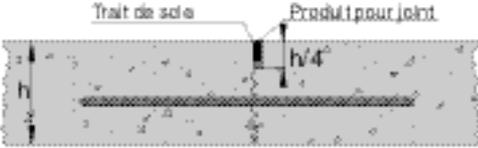
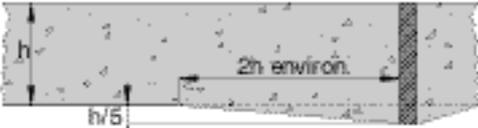
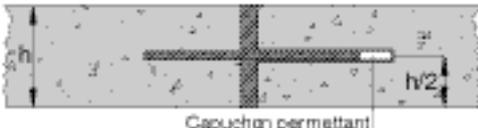
sinusoïdale est destinée à assurer les transferts de charge (utilement renforcés par des goujons - notamment sur les aires de stationnement - ils sont sciés et garnis de la même façon que les joints de retrait flexion); les joints de construction de la couche de fondation seront décalés d'au moins 50 cm par rapport aux joints de la couche supérieure.

- les **joints longitudinaux de retrait flexion** qui n'existent que si la largeur de bétonnage est supérieure à 25 fois l'épaisseur de la dalle ; ils sont de préférence sciés (dans un délai de 24 à 48 heures) mais peuvent être moulés dans le béton frais (ce

dernier procédé restant délicat d'emploi du fait des conséquences en termes d'entretien d'un joint non rectiligne).

Non indispensables en section courante, des **joints de dilatation** sont par contre nécessaires dans les zones de raccordement des aires, le long des caniveaux ainsi qu'autour des regards de visite et tampons.

Les joints de dilatation ont une largeur de 20 à 30 mm sur toute l'épaisseur de la dalle et sont constitués d'un corps de joint compressible et garnis du produit pour joint en partie supérieure. Ils sont également équipés de goujons.

CONSTRUCTION	LONGITUDINAL	 <p>Joint sinusoïdal</p> <p>$e > 3 \text{ cm}$ $d \neq 0,2 E$</p>
		 <p>Joint sinusoïdal avec goujon</p>
	TRANSVERSAL	 <p>Goujon</p>
RETRAIT - FLEXION		 <p>Trait de scie</p> <p>Produit pour joint</p> <p>$h/4$</p>
DILATATION		 <p>Surépaisseur</p> <p>$h/5$</p> <p>2h environ.</p>
		 <p>Goujon</p> <p>Capuchon permettant la dilatation</p> <p>$h/2$</p>

6-12 Différents types de joints

Dans certains cas, pour pallier l'absence de goujons, la dalle comportera une sur épaisseur de béton au voisinage du joint de dilatation (par exemple le long d'un caniveau).

Pour les sections en **béton armé continu**, les aciers longitudinaux, longs de 16 à 18 m, sont reliés entre eux par recouvrement et ligatures par manchonnage ou par soudure, les raboutages étant décalés d'une barre sur l'autre de manière à ce que leur nombre ne soit pas supérieur au tiers de celui des barres dans une même section transversale.

Les aciers longitudinaux peuvent être soit posés sur des supports dits **distanciers**, soit directement placés par la machine à coffrage glissant. Dans un cas comme dans l'autre, le dispositif sera tel que la cote des aciers ne s'écarte pas de plus de 2 cm du plan moyen de la dalle, la tolérance en plan étant de 3 cm par rapport à la position théorique.

Lorsque les aciers longitudinaux reposent sur des distanciers, ces derniers constitueront les armatures transversales de la dalle. Dans le cas

contraire, un acier transversal de couture sera disposé tous les mètres sur le joint transversal.

Quelle que soit la structure (souple ou rigide) prolongeant la dalle réalisée en béton armé continu, un **joint de dilatation** de 6 cm d'épaisseur sera réalisé en extrémité.

Les armatures sont doublées sur au moins 50 cm de part et d'autre des **joints transversaux de bétonnage**.

Les **joints d'arrêt de bétonnage** (joints transversaux de construction) n'ont lieu d'être aménagés que lorsqu'il s'agit d'arrêts prolongés (fin de journée ou incident). On s'efforcera, dans la mesure du possible, de les faire coïncider avec un joint transversal de retrait flexion. L'arrêt de bétonnage est vertical et équipé de goujons.

D'une manière générale, une attention particulière sera portée à l'obturation des joints. Il convient notamment, pour les produits à chaud*, d'éviter toute surchauffe qui rendrait le produit cassant.

* cf. § 6-6-1 ci-dessus

6-6-4 Le contrôle de la qualité

La mise en place d'un **plan d'assurance de la qualité (P.A.Q.)** sera proposée dès l'élaboration du dossier de consultation des entreprises (D.C.E.). Dans le cadre de ce plan les contrôles de fabrication et de mise en œuvre du béton seront prévus être à la charge de l'entreprise et comme

devant recevoir le visa du maître d'œuvre. Il reviendra par contre à ce dernier de prendre à sa charge des essais complémentaires à ceux de l'entreprise. Les essais sur le produit fini seront à la charge du maître d'œuvre : nivellement, état de surface, épaisseur de la dalle, résistance du béton en place.

6-7 Ouvrages annexes

6-7-1 Passages sous chaussée



Passage sous chaussée

Les passages sous chaussée constituent des points singuliers qu'il convient de traiter avec précautions car ils peuvent être à l'origine de désordres sérieux : écrasement de buses, affaissement de chaussées, fissurations du revêtement,...

Ainsi est-il prudent, lors de l'étude d'un projet, de limiter le nombre des traversées (trois ou quatre passages sous pistes suffisent généralement pour les câbles, un ou deux autres pour le drainage) tout en préservant des possibilités de passages ultérieurs, l'ouverture de tranchées dans les chaussées en service étant à éviter.

S'agissant des passages pour câbles (énergie, télécommande, balisage, aides à la navigation), ceux-ci sont constitués par des lignes de buses ou



Mise en place de fourreaux et chambres de tirage

de gaines posées sur un radier en béton légère - ment armé de 10 cm d'épaisseur. L'ensemble est ensuite enrobé de béton de manière à ce que le recouvrement de béton sur l'arête supérieure la plus élevée des conduits et des génératrices latérales soit au minimum de 10 cm.

Le nombre des buses et leur diamètre sont fonction des équipements susceptibles d'être installés et doivent prévoir des possibilités d'extension. Ainsi est-il conseillé de laisser au moins deux gaines en attente dans chaque passage busé.

Les lignes de buses sont alignées suivant un profil en toit, généralement parallèle au profil en travers de la piste, de manière à évacuer les eaux d'infiltration. Elles sont prolongées de part et d'autre de la piste jusqu'à des chambres de tirage.

6-7-2 Regards et chambres de tirage

Les **regards** sont légèrement surélevés (0,15 m environ) par rapport au terrain naturel pour éviter que les eaux de ruissellement ne s'y déversent. Leurs côtés sont épaulés par des remblais, avec une pente de l'ordre de 1/3, pour ne pas gêner les avions quittant accidentellement une piste.

Les dispositifs de fermeture des regards peuvent être constitués par :

- des dalles amovibles en béton armé,
- des tampons en fonte, en acier moulé ou laminé.

Ils supporteront le passage d'une roue d'avion dont la charge et la pression de gonflage sont de :

- 25 tonnes et 1,2 Mpa pour les aérodromes dont la lettre de code est D, E ou F,
- 20 tonnes et 1,2 Mpa pour les aérodromes dont la lettre de code est C,
- 15 tonnes et 0,9 Mpa pour les aérodromes dont la lettre de code est B,
- 5 tonnes et 0,6 Mpa pour les aérodromes dont la lettre de code est A.

Les dispositifs de fermeture seront conformes à la norme NF P 98 312, avec les classes de résistance suivantes :

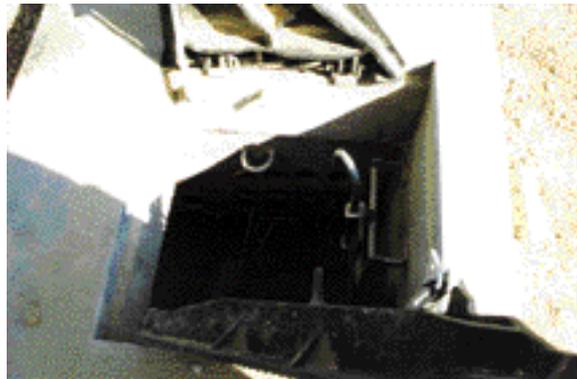
Lettre de code de l'aérodrome	Ouvrage sur chaussée	Ouvrage sur abords
A - B	Classe D 400	Classe D 400
C	Classe E 600	Classe D 400
D - E - F	Classe F 900	Classe D 400

Ces caractéristiques sont également applicables aux ouvrages des réseaux de drainage et d'assainissement.

La réalisation de réservations sur aires de stationnement en béton pour oléoprises prises 400 Hz en regard d'eaux pluviales nécessite des dispositions constructives spécifiques pour éviter la fissuration aux angles.

En particulier :

- chaque fois que cela sera possible la réservation sera réalisée dans un angle de dalle,
- des aciers de renfort seront placés autour de la réservation



Regard

Photographie ADP Laboratoire photographique



Chambre de tirage

Photographie STEBA / P. MEFFREN



Regard sur une aire de stationnement

Photographie STEBA / P. MEFFREN

6-7-3 Passages pour fluides

Il peut se produire que le tracé d'une canalisation autre que celles qui viennent d'être décrites (eau, carburants, etc...) coupe l'axe d'une piste ou d'une voie de circulation. Il est alors recommandé, dans la mesure du possible, de dévier le tracé d'une telle canalisation afin d'éviter son passage

sous les chaussées. Il peut à défaut être intéressant d'utiliser un ouvrage de drainage visitable pour y fixer la canalisation. Cette solution présente d'ailleurs l'avantage de faciliter l'entretien ultérieur des différents conduits qui y sont disposés.

6-7-4 Séparateurs d'hydrocarbures

*Les réseaux d'évacuation des eaux pluviales collectées sur les aérodromes seront équipés de **séparateurs d'hydrocarbures** permettant un rejet des effluents conforme à la réglementation en vigueur*.*

Cet équipement peut comprendre plusieurs séparateurs intéressant l'assainissement des différents ouvrages et zones d'activités présentant des risques de répandage accidentel d'hydrocarbures.

Il s'agit en général de l'ensemble des aires de trafic.

Les types d'installation les plus souvent retenus sur les aéroports et aérodromes, compte tenu de l'importance des débits attendus, concernent soit l'implantation du séparateur en dérivation de la canalisation principale avec déversoir coulé en place, soit l'installation en aval des bassins d'orages d'un ensemble régulateur de débit et séparateur.

La dimension des séparateurs varie avec l'importance des débits à traiter.

La qualité des rejets après traitement sera inférieure à 5 mg/l selon un protocole d'essai similaire à celui de la norme DIN 1999 partie 3 sur la base de 200 mg/l en entrée au débit normal.

Dans les zones à hauts risques liés à des conditions de rejets difficiles, les appareils peuvent être munis d'un système lamellaire nid d'abeille, ou d'un filtre coalesceur permettant d'abaisser la teneur résiduelle d'hydrocarbures.

Les appareils peuvent être également équipés de bandes oléophiles motorisées permettant de récupérer les hydrocarbures surnageant dans la chambre de séparation et de les acheminer gravitairement vers la cuve de stockage.

A noter enfin qu'il est toujours intéressant de doter les appareils de régulateur de débit.

* On se référera utilement à cet égard au chapitre 15 de la présente Instruction