IFSTTAR

INSTITUT FRANÇAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DES RÉSEAUX

Cerema

Centre d'études et d'expertise
sur les risques, l'environnement,
la mobilité et l'aménagement

Aéroport de Nantes-Atlantique Expertise sur les travaux de génie civil à envisager sur la piste

---

Rapport n°1 – Caractéristiques actuelles des structures de chaussée aéronautique et des sols supports

Relecteur :
Prof. hon. Albert Bolle
Jalhay, Belgique

Table des matières

1 Introduction 9
2 Analyse des données disponibles 10
2.1 Référentiels et documents utilisés 10
2.1.1 Données fournies par la mission de médiation 10
2.1.2 Données fournies par Aéroports du Grand Ouest (AGO) 10
2.1.3 Référentiels techniques 11
2.1.4 Autres documents 12
2.2 Description actuelle de l'aéroport de Nantes-Atlantique 12
2.3 Analyse des données concernant les structures de chaussée 14
2.3.1 Historique de construction 14
2.3.1.1 Historique de la piste 14
2.3.1.2 Historique du taxiway 15
2.3.1.3 Historique des aires de stationnement 15
2.3.1.4 Historique des bretelles 16
2.3.2 Caractéristiques des structures actuelles 16
2.3.2.1 Mesures radar 16
2.3.2.2 Sondages 16
2.3.2.3 Caractéristiques des structures et matériaux en place 17
2.3.2.3.1 Piste 03/21 17
2.3.2.3.2 Taxiway 21
2.3.2.3.3 Bretelles 23
2.3.2.3.4 Aires de stationnement 27
2.3.2.4 Auscultations HWD réalisées en 2010 et 2013 32
2.3.2.4.1 Auscultation HWD de 2010 32
2.3.2.4.2 Auscultation HWD de 2013 34
2.3.2.4.3 Analyses et commentaires relatifs aux auscultations HWD de 2010 et 2013 34
2.4 Analyse des données concernant les sols 38
2.4.1 Géologie et aléas naturels 38
2.4.1.1 Sismicité 38
2.4.1.2 Cavités - Mouvements de terrain 39
2.4.1.3 Remontée de nappe 39
2.4.2 Analyse des données géotechniques existantes 40
2.4.2.1 Etudes transmises par AGO 40
2.4.2.1.1 Relevés piézométriques 40
2.4.2.1.2 Campagne de reconnaissances géotechniques de 1978 46

2.4.2.1.3 Campagne de reconnaissances géotechniques Rincent BTP de 2010 49
2.4.2.2 Données d'archives du LRPC d'Angers 53
2.5 Bilan des données disponibles 54
3 Définition, réalisation et exploitation des auscultations complémentaires par le Cerema en septembre 2017 55
3.1 Programme d'auscultation complémentaire 55
3.2 Carottages et mesures HWD 55
3.2.1 Carottages 55
3.2.1.1 Conditions d'intervention 55
3.2.1.2 Résultats 56
3.2.2 Mesures HWD 59
3.2.2.1 Réalisation des mesures 59
3.2.2.2 Analyses et commentaires relatifs à la piste 03/21 60
3.2.2.3 Analyses et commentaires relatifs au taxiway 64
3.2.3 Détection qualitative des composés de type Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques 67
3.2.4 Essais de module sur enrobés bitumineux 68
3.3 Relevé visuel des dégradations 70
3.3.1 Analyse des données disponibles 70
3.3.2 Travaux récents sur la piste 71
3.3.3 Précédents relevés de dégradations de la piste 71
3.3.4 Relevé de dégradations de septembre 2017 75
3.3.4.1 Conditions d'intervention 75
3.3.4.2 Relevés sur la piste 75
3.3.4.3 Relevés sur le taxiway (bretelle F, taxiway R et bretelle A) 77
3.3.4.4 Observations sur les parkings 80
3.4 Reconnaissances géotechniques de septembre 2017 84
3.4.1 Interventions sur le terrain 84
3.4.2 Résultats des sondages 84
3.4.2.1 Piste 84
3.4.2.2 Taxiway et bretelles 85
3.4.2.3 Nappe 86
3.4.3 Essais d'identification en laboratoire 86
3.4.3.1 Granulométrie et argilosité 86
3.4.3.2 Teneurs en eau 86
3.4.3.3 IPI, CBR et CBRi 87
3.4.4 Interprétation des résultats des reconnaissances géotechniques 89
3.4.4.1 Définitions de la PST de l'arase 89
3.4.4.2 Détermination des cas PST/AR de la piste 90
3.4.4.2.1 Piste - Section pm 0 à pm 2 500 90

3.4.4.2.2 Piste - Section pm 2 500 à pm 2 900 90
3.4.4.3 Estimation de la portance de l'arase par l'approche CBR 91
3.4.5 Conclusion concernant les caractéristiques des sols supports de la piste, du taxiway et des bretelles 93
3.4.5.1 Arase de la piste 93
3.4.5.2 Arase du taxiway et des bretelles 94
3.4.5.3 Couche de forme 94
3.5 Conclusion concernant les structures de chaussée actuelles 95
3.6 Rétro-calculs HWD 98
3.6.1 Méthodologie 98
3.6.2 Analyse des données disponibles 98
3.6.2.1 Détermination des structures types 98
3.6.2.2 Détermination des bassins de déflexion caractéristiques pour la piste 03/21 98
3.6.2.3 Détermination des valeurs de module des couches de la piste 99
3.6.2.4 Détermination des bassins de déflexion caractéristiques pour le taxiway 102
3.6.2.5 Détermination des valeurs de module des couches du taxiway 103
4 Annexes 104
4.1 Principe de la méthode de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples 104
4.2 La pratique française des travaux de terrassement 107
4.3 Indice CBR/CBRi/IPI sur échantillon compacté 108
4.4 Extraits du guide « Dimensionnement des chaussées, Instructions sur le dimensionnement des chaussées et d'aérodromes et la détermination des charges admissibles », vol 2, 1983). 109
4.5 Carte géologique et notice 111
4.6 Sondages géotechniques (septembre 2017) 113
4.7 Reconnaissance Rincent BTP 2010 : implantation et coupes de sondages 114
4.8 Plan d'implantation des sondages, Etude LRPC Angers de juin 1972 – Prolongement de la piste 03/21 (205 m) 120
4.9 Coupes des carottages réalisés en septembre 2017 122
4.10 Principe du fonctionnement du HWD 131
4.11 Résultats des mesures HWD de septembre 2017 133
4.11.1 Data HWD piste, sens 03 => 21 133
4.11.2 Data HWD piste, sens 21 => 03 135
4.11.3 Data HWD Taxiway, sens F => A 137
4.11.4 Data HWD Taxiway, sens A => F 139
4.12 Résultats des sondages géotechniques de septembre 2017 141
4.13 Rapport d'essais de module selon NF EN 12697-26 (annexe C) de septembre 2017 157
4.14 Relevé visuel des dégradations de la piste de septembre 2017 175
4.15 Relevé visuel des dégradations du taxiway de septembre 2017 182

Liste des figures

Figure 1. Plan de désignation des aires aéronautiques [11] 13
Figure 2. Plan des aires de stationnement [11] 14
Figure 3. Schéma des différentes étapes de la construction de la piste 15
Figure 4. Déflexions D1 issues des auscultations HWD de 2010 et 2013 sur la piste. 36
Figure 5. Sommes cumulées des écarts à la moyenne des déflexions D1 issues des auscultations HWD de 2010 et 2013. 36
Figure 6. Déflexions D1 issues des auscultations HWD 2010 pour le taxiway 37
Figure 7. Extrait de carte de zonation sismique (Ministère de l'Ecologie) 39
Figure 8. Extrait de cartographie - remontée de nappe (BRGM) 39
Figure 9. Schéma d'implantation des 5 piézomètres le long de la piste 03/21 41
Figure 10. Schéma de l'implantation des piézomètres sur le profil en long de la piste 03/21 43
Figure 11. Etat de planéité de la piste 03 (bas)/21 (haut) [2] 43
Figure 12. Entrée de la piste par la bretelle Delta 43
Figure 13. Bretelle Taxiway – Piste Charlie 44
Figure 14. Evolution du toit de la nappe le long de la piste 03/21 de 2001 à 2010 45
Figure 15. Ruisseau affluent au Bougon (source IGN - Geoportail) 46
Figure 16. Relation entre le module de réaction K et l'indice CBR immédiat 49
Figure 17. Schéma d'implantation des sondages de la reconnaissance de 2010 50
Figure 18. Profil en long schématique de la piste 03/21 avec les sondages 2010 50
Figure 19. Report des sondages de 2010 réalisés sur le taxiway, en projection sur le profil en long de la piste 51
Figure 20. Classement des sols rencontrés sur la piste 03/21, le taxiway (campagne 2010) et les autres aires 53
Figure 21. Déflexions D1 issues des auscultations HWD 2017 sur la piste 03/21 60
Figure 22. Localisation GPS des points de mesure (point "hors emprise") - source Google earth (image satellite du 21/06/2017) 61
Figure 23. Sommes cumulées des écarts par rapport à la moyenne des déflexions D1 - piste 03/21 62
Figure 24. Bassins de déflexion pour les zones Z1 à Z5 de la piste 63
Figure 25. Déflexions D1 issues des auscultations HWD 2017 sur le taxiway 64
Figure 26. Sommes cumulées des écarts par rapport à la moyenne des déflexions D1 - Taxiway 65
Figure 27. Localisation GPS des points de mesure (limites entre Z1/Z2 et Z2/Z3) - source Google earth (image satellite du 21/06/2017) 66
Figure 28. Bassins de déflexion pour les zones Z1 à Z3 du taxiway 67
Figure 29. Détection positive de HAP sur carottes 2 et 6 68
Figure 30. Travaux de réfection des couches de roulement réalisés sur l'aéroport de Nantes-Atlantique depuis 2010 72
Figure 31. Relevés d'Indice de Service réalisés sur la piste 03/21 en février 2014 73
Figure 32. Relevés d'Indice de Service réalisés sur la piste 03/21 en mars 2015 73
Figure 33. Relevés d'Indice de Service réalisés sur la piste 03/21 en mai 2016 74
Figure 34. Fissure de joint à proximité de l'axe (pm 950, zone 3) 76
Figure 35. Fissures de fatigue près du seuil 03 (pm 95, zone 1) 76
Figure 36. Fissure de joint (premier plan) et fissures de retrait pontées (arrière-plan) sur la zone 3 (pm 1 660) 77
Figure 37. Empreintes de pneumatiques près du seuil 21 (pm 2 700, zone 5) 77
Figure 38. Remontée de fines et fissures de retrait et de joint pontées (zone R1) 78
Figure 39. Remontée de fines à proximité de l'axe (zone R1) 78
Figure 40. Flache à 3-4 m de l'axe et fissures (zone R2) 79
Figure 41. Flache pouvant atteindre une profondeur supérieure à 3 cm (zone R2) 79
Figure 42. Faïençage de retrait généralisé (bretelle F) 80
Figure 43. Flache au pm 2 980 (bretelle F) 80

Figure 44. Reprise généralisée du poste L1 (les pastilles blanches sont les résidus de la mesure de la PMT par la méthode à la tache) 81
Figure 45. Reprise localisée sous les trains d'atterrissage (poste L2) 81
Figure 46. Reprise localisée sous les trains d'atterrissage (poste L3) 81
Figure 47. Poinçonnement sur poste 1 (enrobés de 2013) 82
Figure 48. Détail de la profondeur du poinçonnement poste 1 82
Figure 49. Poinçonnement sous passerelle (poste 2) – enrobés de 2015 82
Figure 50. Détail du poinçonnement (poste 2) 82
Figure 51. Reprise généralisée (poste 4) 83
Figure 52. Reprise localisée (poste 7) 83
Figure 53. Postes 8A et 9 et An12 sur poste 1 83
Figure 54. Fissures de joint pontées sur poste 12 83
Figure 55. Wnat - Sondages septembre 2017 87
Figure 56. Extrait du tableau des cas possibles de PST/AR (GTR 2000) 89
Figure 57. Extrait de la carte géologique au 1/50 000, BRGM, Nantes, XII-23 111
Figure 58. Schéma d'implantation des sondages de reconnaissance à la tarière, en bordure de piste et du taxiway 113

Liste des tableaux

Tableau 1. Liste et implantation des sondages réalisés en 2010 17
Tableau 2. Structure théorique de la zone 1 de la piste 18
Tableau 3. Structure théorique de la zone 2 de la piste 18
Tableau 4. Structure théorique de la zone 3 de la piste 19
Tableau 5. Structure théorique de la zone 4 de la piste 20
Tableau 6. Structure théorique de la zone 5 de la piste 20
Tableau 7. Structure théorique de la zone R1 du taxiway 21
Tableau 8. Structure théorique de la zone R2 du taxiway 22
Tableau 9. Structure théorique de la zone R3 du taxiway 22
Tableau 10. Structure théorique de la zone R5 du taxiway 23
Tableau 11. Structure théorique de la bretelle B 24
Tableau 12. Structure théorique de la bretelle C 24
Tableau 13. Structure théorique de la bretelle D 25
Tableau 14. Structure théorique de la bretelle E 25
Tableau 15. Structure théorique de la bretelle F 25
Tableau 16. Structure théorique de la bretelle RC 26
Tableau 17. Découpage et épaisseurs équivalentes des différentes aires de stationnement 27
Tableau 18. Identification des différentes couches et épaisseurs pour l'aire de stationnement principale, postes 1 à 20 28
Tableau 19. Identification des différentes couches et épaisseurs pour le parking LIMA 30
Tableau 20. Identification des différentes couches et épaisseurs pour le parking MIKE 30
Tableau 21. Identification des différentes couches et épaisseurs pour le parking JULIETT 31
Tableau 22. Identification des différentes couches et épaisseurs pour le parking HOTEL 31
Tableau 23. Identification des différentes couches et épaisseurs pour le parking GOLF 31
Tableau 24. Localisation des points de mesures HWD : auscultation de 2010 (extrait rapport Rincent BTP [13]) 33
Tableau 25. Localisation des points de mesures HWD : auscultation de 2013 (extrait rapport Rincent International [15] 34
Tableau 26. Synthèse des principaux résultats des auscultations HWD de 2010 et 2013 sur la piste 03/21 [13] et [15] 35
Tableau 27. Profondeur de l'arase de terrassement sous la chaussée de la piste, en association avec les sondages carottés SC de la campagne 2010, au voisinage des piézomètres. 42
Tableau 28. Profondeur de l'arase de terrassement sous la chaussée du taxiway, en association avec les sondages carottés SC de la campagne 2010. 42
Tableau 29. Extrait rapport STBA, 1978 47
Tableau 30. Extrait rapport STBA, 1978 48
Tableau 31. Résumé des essais de laboratoire effectués sur les prélèvements dans les sondages situés sur la piste et le taxiway (reconnaissance géotechnique de 2010, [12]) 52
Tableau 32. Synthèse des épaisseurs de couches de chaussée de la piste 03/21 56
Tableau 33. Synthèse des épaisseurs de couches de chaussée du taxiway 58
Tableau 34. Synthèse des mesures de température 59
Tableau 35. Synthèse des résultats de déflexion par zone homogène de la piste 03/21 62
Tableau 36. Synthèse des résultats de déflexion par zone homogène du taxiway 66
Tableau 37. Géométrie et module des éprouvettes d'enrobés testées en module NF EN 12697-26 (annexe C) 69
Tableau 38. Caractérisation des sols prélevés 86
Tableau 39. Récapitulatif des valeurs d'IPI, CBR et CBRi 88
Tableau 40 Couples PST/AR 90
Tableau 41. Estimation de la portance à partir de valeurs de CBR 92
Tableau 42. Estimation du module de la plate-forme (MPa) en fonction de l'épaisseur de la couche de forme et de la portance de l'arase 94
Tableau 43. Structure type de la zone 1 de la piste 95

Tableau 44. Structure type de la zone 2 de la piste....95
Tableau 45. Structure type de la zone 3 de la piste....96
Tableau 46. Structure type de la zone 4 de la piste....96
Tableau 47. Structure type de la zone 5 de la piste....96
Tableau 48. Structure type des zones R1, R3, R4 et R5 du taxiway et de la bretelle F....96
Tableau 49. Structure type de la zone R2 du taxiway....96
Tableau 50. Structure type de la bretelle A....97
Tableau 51. Structure type de la Bretelle B....97
Tableau 52. Structure type de la Bretelle C....97
Tableau 53. Structure type de la Bretelle D....97
Tableau 54. Structure type de la Bretelle E....97
Tableau 55. Synthèse des bassins retenus pour la piste 03/21....99
Tableau 56. Modélisation des structures de chaussée des différentes zones de la piste....102
Tableau 57. Synthèse des bassins retenus pour le taxiway (bretelle A, taxiway R, bretelle F)....102
Tableau 58. Modélisation des structures de chaussée des différentes zones du taxiway (incluant les bretelles A et F)....103
Tableau 59 . Implantation et coupes de sondage (campagne de 2010)....114

Caractéristiques actuelles des structures de chaussée aéronautique et des sols supports de l'aéroport de Nantes-Atlantique

---

1 Introduction

Ce rapport concerne la première phase de l'expertise menée par l'Ifsttar et le Cerema pour l'évaluation des travaux de génie civil à envisager sur la piste de l'aéroport de Nantes-Atlantique en vue de lui permettre d'accueillir les trafics prévus à court et moyen terme, jusqu'à l'échéance 2040.

La première partie présente une synthèse des données existantes disponibles concernant les différentes aires aéronautiques (piste, taxiway, bretelles, aires de stationnement) comprenant :

- les caractéristiques des structures et des matériaux en place.
- les résultats des études d'auscultation.
- les études géotechniques disponibles et les caractéristiques des sols supports.

La deuxième partie présente les résultats de la campagne de sondages et d'essais d'auscultation réalisée par le Cerema en septembre 2017 afin de compléter et de préciser les données existantes.

Les résultats de ces études permettent de définir des caractéristiques types des différentes structures de chaussées. Ces caractéristiques types seront ensuite utilisées dans les études de dimensionnement menées en deuxième phase.

2 Analyse des données disponibles

2.1 Référentiels et documents utilisés

Cette partie liste les différents documents et référentiels techniques utilisés.

2.1.1 Données fournies par la mission de médiation

Les documents utilisés pour effectuer la synthèse des données disponibles sont :

- [1] Rapport d'étude « Evaluation du réaménagement de Nantes-Atlantique dans le scénario d'un maintien de l'activité », rapport rédigé par le STAC en novembre 2013.
- [2] Rapport « Cahier Piste », rédigé par l'Atelier citoyen en octobre 2015.
- [3] Rapport « Auscultation des aires de mouvement. Aérodrome de Nantes-Château-Bougon », rédigé en 1978 par le Service technique des bases aériennes.
- [4] Rapport « Aérodrome de Nantes-Atlantique – Auscultation des aires aéronautiques », probablement rédigé par le STBA en 2000 (d'après le nom du fichier).
- [5] « Aéroport de Nantes-Atlantique – Rénovation des aires aéronautiques – Etude de faisabilité », rapport rédigé par le STAC en 2013.
- [6] Prévisions de trafic sur l'aéroport de Nantes-Atlantique pour les années 2025, 2030 et 2040.
- [7] Trafic de l'année 2015 sur l'aéroport de Nantes-Atlantique, avec les masses moyennes des avions.
- [8] Plan du projet des aires de stationnement (postes repoussés).
- [9] Plan du projet des aires de stationnement (postes autonomes).
- [10] Plan Autocad des parkings avions.

Le document [5] nous a été transmis par le STAC. Les autres documents nous ont été transmis par la mission de médiation.

- [11] Carte VAC (Visual Approach Chart) de l'aéroport de Nantes-Atlantique, document disponible sur le site internet de l'information aéronautique, source : publication aéronautique (https://www.sia.aviation-civile.gouv.fr/dvd/eAIP_17_AUG_2017/Atlas-VAC/FR/VACProduitPartieframeset.htm)

2.1.2 Données fournies par Aéroports du Grand Ouest (AGO)

Après contact pris par la mission de médiation, le gestionnaire de l'aéroport de Nantes Atlantique (Aéroports du Grand Ouest, AGO) nous a fourni les documents suivants :

- Campagne d'auscultation de la piste réalisée en 2010 (par Rincent BTP) :
  - [12] Rapport concernant la réalisation de 37 sondages sur la piste, le taxiway et les parkings avec :
    - Coupes des sondages carottés.
    - Feuilles d'essais : granulométrie, limites d'Atterberg, densité, CBR à Wnaturel.
    - Implantation partielle des sondages.
  - [13] Rapport sur les mesures de déflections réalisées avec le *Heavy Weight Deflectometer* (HWD) sur la piste, le taxiway et les parkings.

        - [14] Rapport sur l'auscultation Radar réalisée sur la piste, le taxiway et les parkings.
    - Campagne d'auscultation de la piste réalisée en 2013 (par Rincent international) :
        - [15] Rapport sur les essais de portance réalisés avec le HWD sur la piste 03/21.
        - [16] Rapport sur les essais d'adhérence réalisés sur la piste 03/21.
    - [17] Mesures des indices de service : relevés réalisés en février 2014, mars 2015 et mai 2016.
    - [18] Plan récapitulant l'historique des travaux d'entretien réalisés entre 2010 et 2016.
    - [19] Relevés de la nappe phréatique effectués en 2001, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 et 2010 (ainsi que le plan d'implantation des piézomètres)
    - [20] Relevé des piézomètres entre 2001 et 2003.
    - [21] Plan Autocad des réseaux de l'aéroport.
    - [22] Diaporama faisant la synthèse de la campagne d'auscultation : carottages et observations visuelles réalisée en mai 2014 (12-DTCO-425-P07, EUROVIA).
    - [23] Plan Autocad des relevés topographiques de l'aéroport de Nantes-Atlantique.

AGO a également fourni des informations sur les différents niveaux de trafic supporté par les bretelles.

2.1.3 Référentiels techniques

Les guides techniques utilisés sont les suivants :

- AFNOR (1992). NF P 11-300 : Exécution des terrassements. T2: Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.
- SETRA (2007). Conception et réalisation des terrassements – Guide technique. Fascicule 1 : études et exécution des travaux ; Fascicule 2 : organisation des contrôles ; Fascicule 3 : méthodes d'essais.
- SETRA (2011). Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière – Évaluation environnementale – Guide méthodologique.
- SETRA-LCPC (1992-2000). Réalisation des remblais et des couches de forme – Guide technique. Fascicule 1 : Principes généraux, et Fascicule 2 : Annexes techniques.
- SETRA-LCPC (2000). Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques – Application à la réalisation des remblais et des couches de forme – Guide technique.
- SETRA-LCPC (2007). Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques – Application à la réalisation des assises de chaussée – Guide technique.
- SETRA (2006). Drainage routier – Guide technique.
- SETRA-LCPC (2000). Organisation de l'assurance qualité dans les travaux de terrassements – Guide technique.
- CFTR (2002). Terrassements à l'explosif dans les travaux routiers – Guide technique
- LCPC-Comité professionnel de la Prévention et du contrôle technique (1980), Caractéristiques des matériaux de remblai supports de fondation, Recommandations, 10 pages.
- STBA (1983), Guide technique « Dimensionnement des chaussées, Instruction sur le dimensionnement des chaussées et d'aérodromes et la détermination des charges admissibles », volume 2, 1983, 76 pages.
- DGAC (2016), Guide technique « Méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples », octobre 2016, 133 pages.
- DGAC-STAC - Département Structures-Adhérence, (2017), Recommandations techniques : « Données préalables aux interventions sur aérodrome pour l'estimation du PCN des chaussées souples », 11 pages.
- DGAC-STAC (2009) - GAN, Guide d'application des normes, enrobés hydrocarbonés et enduits superficiels pour chaussées aéronautiques.

- Document EASA 2016 (European Aviation Safety Agency) - Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes design CS-ADR-DSNEASA, disponible à l'adresse suivante : https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/Annex%20to%20EDD%202016-027-R%20-%20CS-ADR-DSN%20Issue%203%20%281%29.pdf
- RGRA janvier 1983 - Dimensionnement des couches de forme en graves non traitées (J.C. Gress), 5 pages.

2.1.4 Autres documents

Le Cerema et l'IFSTTAR ont utilisé quatre rapports géotechniques tirés des archives de l'ex-LRPC Angers, retrouvés par le Cerema:

- [24] 1971 : Etude des fondations de la ZI aéroportuaire, Nantes-Château-Bougon.
- [25] 1972 : Aérodrome de Nantes-Château Bougon, Allongement de la piste 03-21 – Etude des sols de fondation – Compte rendu des mesures et essais.
- [26] 1990 : Etude des fondations de la Tour de contrôle de l'Aéroport International Nantes-Atlantique.
- [27] 1990 : Etude des fondations du V-O-R, Aéroport International Nantes Atlantique.

2.2 Description actuelle de l'aéroport de Nantes-Atlantique

La description de l'aéroport est issue des documents [5 et 11].

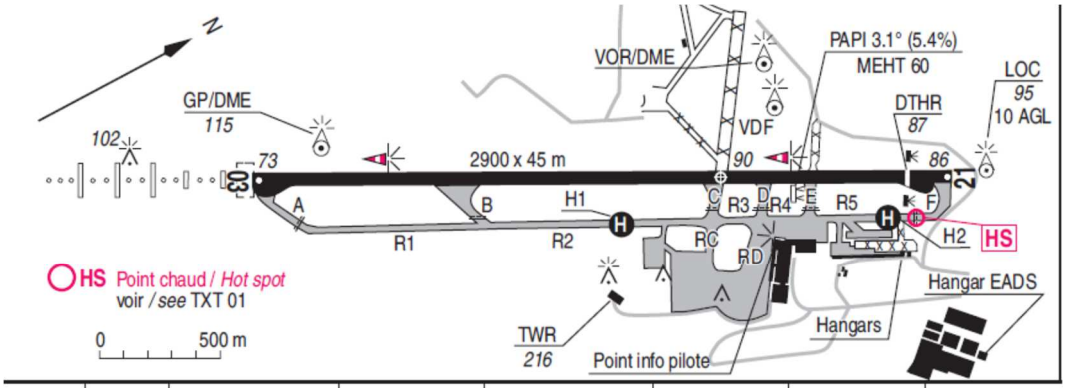
La zone aéronautique se compose des infrastructures suivantes (Figure 1) :

- une piste orientée 03/21, de 2 900 mètres de long et 45 mètres de large, bordée de chaque côté par des accotements revêtus d'au moins 7,5 mètres de large (sur la partie centrale de la piste, les accotements sont plus larges).
- un taxiway parallèle, d'envion 2 650 mètres de long et 23 mètres de large, composé de cinq sections allant de R1 à R5.
- un réseau de voies de relation, qui seront désignées par le terme « bretelles » dans ce document, reliant la piste au taxiway parallèle ou reliant le taxiway parallèle aux aires de stationnement. Ce réseau de bretelles se décompose comme suit :
    - Bretelle A, d'une longueur d'environ 180 mètres et de largeur variable, permettant la liaison de l'extrémité 03 de la piste au taxiway parallèle.
    - Bretelle B, d'une longueur envion 201 mètres et de largeur variable, permettant la liaison de la piste au taxiway parallèle. Cette bretelle est située vers le pm 850 m de la piste.
    - Bretelle C, d'une longueur d'envion 150 mètres et de largeur environ 34 mètres, permettant la liaison de la piste au taxiway parallèle et à la bretelle RC d'accès à l'aire de stationnement principale. Cette bretelle est située vers le pm 1 925 m de la piste.
    - Bretelle D, d'une longueur d'envion 150 mètres et de largeur 20 mètres, permettant la liaison de la piste au taxiway parallèle et à la bretelle RD d'accès à l'aire de stationnement principale. Cette bretelle est située vers le pm 2 150 m de la piste.
    - Bretelle E, d'une longueur d'environ 150 mètres et de largeur 20 mètres, permettant la liaison de la piste au taxiway parallèle et à l'aire de stationnement Lima. Cette bretelle estituée vers le pm 2 300 m de la piste.
    - Bretelle F, d'une longueur d'environ 250 mètres et de largeur variable, permettant la liaison de l'extrémité 21 de la piste au taxiway parallèle.
    - Bretelle RC, d'une longueur d'environ 250 mètres et de largeur 15 mètres, permettant la liaison du taxiway parallèle à l'aire de stationnement principale.

- Bretelle RD, d'une longueur d'environ 260 mètres et de largeur 20 mètres, permettant la liaison du taxiway parallèle à l'aire de stationnement principale.

o Cinq aires de stationnement (Figure 2) [11] :
  - ✓ Lima et Parking principal (postes 1 à 20), destinées aux vols commerciaux.
  - ✓ Mike, destinée aux stationnements prolongés.
  - ✓ Hotel, destinée aux avions type aéronefs (ACFT aircraft) basés, monomoteurs et bimoteurs légers.
  - ✓ Juliett, destinée aux avions type aéro-clubs (ACB) basés.
  - ✓ India, destinée aux avions type aéronefs (ACFT aircraft) monomoteurs de passage (dans les rapports des études d'auscultation, l'aire India est aussi appelée Golf. Il semble que les aires de parking India et Golf sont deux aires juxtaposées, nommées par l'un ou l'autre des deux noms en fonction des documents).

Les aires Mike, Hotel, Juliett et India sont réservées à l'avion légère. Seules les aires Lima et Parking Principal poste 1 à 20 sont destinées aux vols commerciaux.



RWY	QFU	Dimensions *Dimension*	Nature *Surface*	Résistance *Strength*	TODA	ASDA	LDA
03 21	028 208	2900 x 45	Revêtue *Paved*	49 F/C/W/T	2900 2960	2900 2900	2900 2690

Figure 1. Plan de désignation des aires aéronautiques [11]

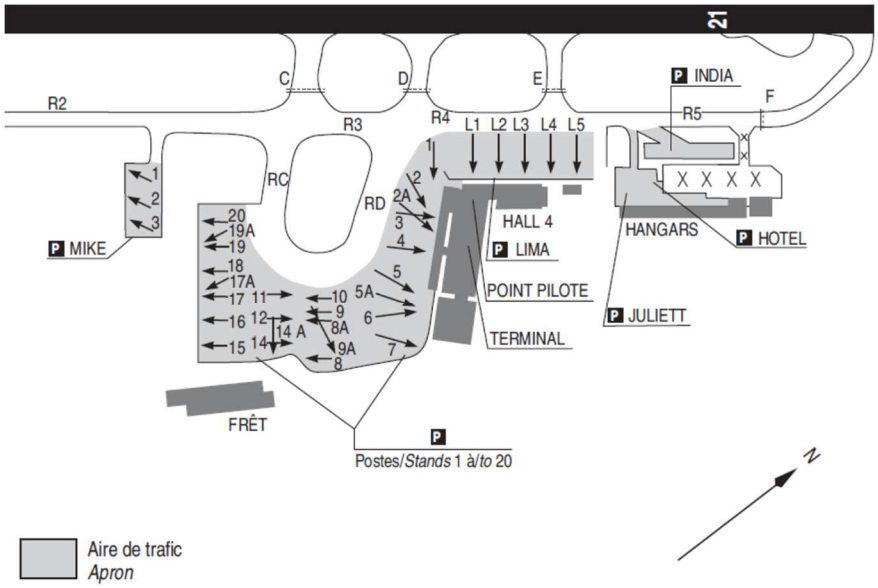


Figure 2. Plan des aires de stationnement [11]

2.3 Analyse des données concernant les structures de chaussée

2.3.1 Historique de construction

2.3.1.1 Historique de la piste

L'historique de la piste (jusqu'en 1992) est issu de [4], page 1. Cet historique est confirmé par [2], pages 8 et 9.

La piste principale de l'aérodrome de Nantes-Atlantique est à l'origine de 1 537 mètres de long et 60 mètres de large, constituée de dalles de béton de 10*15 mètres et d'épaisseur moyenne 19 cm, dont la construction date vraisemblablement de 1939.

Aujourd'hui, la piste a une longueur totale de 2 900 mètres, construite en plusieurs étapes (Figure 3) :

- en 1962, allongement de 308 mètres côté seuil 21.
- en 1967, allongement de 250 mètres côté seuil 03.
- en 1973, allongement de 205 mètres côté seuil 21.
- en 1974, allongement de 600 mètres côté seuil 03.

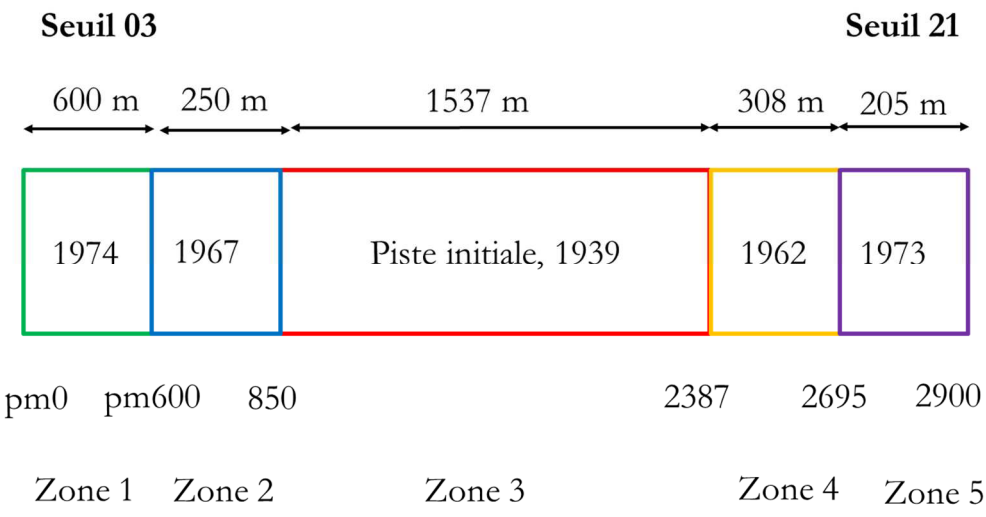


Figure 3. Schéma des différentes étapes de la construction de la piste

Pendant ces allongements successifs, la piste a été renforcée à plusieurs reprises [4]:

- renforcement en 1962 de la piste initiale (création d'une chaussée souple, de type enrobé + GNT sur l'ancienne chaussée en béton).
- renforcement en 1978 de l'allongement construit en 1962.
- renforcement en 1979 de la partie centrale et de l'allongement construit en 1967.
- renforcement en 1987 des allongements construits en 1967 et 1974.
- renforcement en 1988 de l'allongement construit en 1973.
- renforcement en 1992 de la partie centrale de la piste.
- reprofilage en 1997 des 900 mètres situés côté seuil 21.

Nous ne disposons pas d'information sur les travaux réalisés entre le reprofilage de 1997 et les différents renforcements effectués sur toute la longueur de la piste de 2010 à 2016 [18].

Dans la suite, la limite entre les zones 3 et 4 est arrondie à 2 390 m et la limite entre les zones 4 et 5 à 2 700 m.

2.3.1.2 Historique du taxiway

D'après [2], le taxiway a été construit par étapes entre 1986 et 1988. Nous ne disposons pas d'autres informations.

2.3.1.3 Historique des aires de stationnement

L'aménagement de l'aire de stationnement commerciale (hors extensions) date de 1961, comme le prolongement de la bretelle D. L'aire commerciale a ensuite été agrandie en 1989, 1997 et 1998 [4].

L'aire Lima a été construite en 1992 [4].

Nous ne disposons pas d'information concernant les aires India, Juliett, Hotel et Mike.

2.3.1.4 Historique des bretelles

La bretelle C correspond à l'ancienne piste 13/31. Elle a été construite en 1939-1940. C'est une chaussée en béton recouverte par une structure souple. Il est possible que sa structure soit la même que celle de la partie centrale de la piste [4].

La bretelle D a été construite en 1961 en structure souple. En l'absence d'information spécifique, on fera l'hypothèse que sa structure théorique est identique à celle de l'allongement de la piste construit en 1962 [4].

Nous ne disposons pas d'information sur les autres bretelles.

2.3.2 Caractéristiques des structures actuelles

Ce chapitre est basé uniquement sur les rapports disponibles listés dans le chapitre 2. Après un rappel des résultats des mesures qui y sont présentés, il s'appuie sur ceux-ci pour synthétiser les caractéristiques des structures de la piste et des autres aires aéronautiques.

2.3.2.1 Mesures radar

Les données d'auscultation de 2010 fournies par AGO comprennent des mesures radar. Les résultats des mesures sont présentés dans [14].

Le radar délivre une image souvent appelée « radar-gramme » avec en ordonnée les temps de propagation de l'onde électromagnétique et en abscisse les distances parcourues à partir du début d'enregistrement des mesures (point origine de la chaussée). Après calibrage avec les épaisseurs déterminées par carottages, les signaux radar permettent de déterminer en continu les épaisseurs des matériaux bitumineux. Il est ensuite possible de diviser la piste, ainsi que les autres ouvrages, en « zones homogènes », c'est-à-dire en zones ayant des caractéristiques identiques (mêmes épaisseurs de matériaux, par exemple).

Les mesures radar ont été effectuées :

- sur la piste 03/21 (six profils longitudinaux).
- sur le taxiway (deux profils longitudinaux).
- sur les bretelles B, C, D, E (deux profils longitudinaux).
- sur les aires Parking Commercial, LIMA, GOLF, HOTEL, JULIETT, MIKE.

2.3.2.2 Sondages

Les auscultations de 2010 comprennent 37 sondages, décrits dans le rapport [12], qui se répartissent comme indiqué dans le Tableau 1. Ces sondages sont généralement réalisés jusqu'à 1,5 m de profondeur et donnent des indications sur l'épaisseur et la nature de la couche de forme (lorsqu'elle existe), ainsi que sur la nature du sol de la partie supérieure des terrassements (PST).

La description de ces sondages est sommaire. Seule l'épaisseur totale de matériaux liés (enrobés, ou matériaux à liant hydraulique) est donnée. Il n'y a pas d'information sur le découpage en différentes couches, ni sur l'état des matériaux (sains ou dégradés), ni sur l'état des interfaces. Par ailleurs, les photos du rapport sont peu lisibles.

Tableau 1. Liste et implantation des sondages réalisés en 2010

Implantation Sondages Nantes

	N°	Aire	Positionnement	Point début	Point Fin	Linéaire (m)	Tolérance (m)
Piste 03/21	SC1	Piste 03/21	3m à droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	800	+/-10
	SC2	Piste 03/21	3m à droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	950	+/-10
	SC3	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	650	+/-10
	SC4	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	500	+/-10
	SC5	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	1600	+/-10
Parking	SC6	Parking Juliet	Trace C	Voir plans parkings		25	+/-10
	SC7	Parking Hôtel	Trace A			50	+/-10
	SC8	Parking Golf	Trace C			25	+/-10
Piste 03/21	SC9	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	2800	+/-10
	SC10	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	2550	+/-10
Piste 03/21	SC5	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	1600	+/-10
	SC11	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	200	+/-10
	SC12	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	1950	+/-10
	SC13	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	2200	+/-10
Taxiways	SC15	Taxiway 03/21	3m à droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	700	+/-10
	SC16	Taxiway 03/21	3m à droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	1500	+/-10
	SC17	Taxiway 03/21	3m à droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	2050	+/-10
	SC18	Taxiway 03/21	3m à droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	2700	+/-10
	SC19	Taxiway 03/21	3m à droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	3030	+/-10
	SC20	Taxiway Bravo	3m à gauche de l'axe	Piste 03/21	Taxiway 03/21	130	+/-10
	SC21	Taxiway Charlie	3m à droite de l'axe	Piste 03/21	Taxiway 03/21	80	+/-10
	SC22	Taxiway Delta	3m à gauche de l'axe	Piste 03/21	Taxiway 03/21	110	+/-10
	SC23	Taxiway Echo	3m à droite de l'axe	Piste 03/21	Taxiway 03/21	110	+/-10
Parkings	SC24	Parking commercial	Trace L2/L3	Voir plans parkings		40	+/-10
	SC25	Parking commercial	Poste L4			Centre	+/-10
	SC26	Parking commercial	Trace L1/L2			80	+/-10
	SC27	Parking commercial	P1			90	+/-10
	SC28	Parking commercial	P3			Centre	+/-10
	SC29	Parking commercial	P17			60	+/-10
	SC30	Parking commercial	P8			50	+/-10
	SC31	Parking commercial	P12			50	+/-10
	SC32	Parking commercial	P20			80	+/-10
	SC33	Parking Mike	Trace B			50	+/-10
	SC37	Taxiway Roméo Charlie	Axe	Taxiway Parallèle	Parking Poste 10 à P20	100	+/-10

2.3.2.3 Caractéristiques des structures et matériaux en place

On synthétise ici les informations disponibles sur les caractéristiques des structures des aires aéronautiques étudiées. Ces informations proviennent du rapport de 2000 du STBA [4], des sondages de 2010 [12] ainsi que des mesures radar de 2010 [14] qui donnent une information complémentaire sur l'épaisseur totale de matériaux bitumineux.

2.3.2.3.1 Piste 03/21

La piste peut être divisée en cinq zones principales correspondant aux différentes étapes de sa construction.

D'après le plan [18] récapitulant l'historique des travaux d'entretien réalisés entre 2010 et 2016, les différentes zones de la piste ont toutes subi des travaux de réfection entre 2010 et 2016. La couche de roulement a été remplacée sur 7 cm en moyenne (l'information concernant le type d'enrobés mis en place n'est pas fournie).

Zone 1 : 0 à 600 m – construction : 1974

Tableau 2. Structure théorique de la zone 1 de la piste

Structure théorique (2000)	**Date de construction**	**Epaisseur théorique (2000)**	**Epaisseurs - Sondages de 2010**			**Epaisseurs - Radar 2010**
			SC11 x = 200 m	SC11 comp x = 200 m	SC4 comp x = 500 m	x= 0 à 600 m
BB 0/10		-	23 cm	15 cm	23 cm	27 cm
BB 0/14	1987	8 cm		7,5 cm		
BB 0/14	1974	10 cm		7 cm	7 cm	
Grave ciment	1974	40 cm	33 cm	> 13 cm fin carotte	> 14 cm fin carotte	
Enrobé		-	7 cm			
Grave concassée 0/31.5	1974	40 cm	15 cm			
Sable carrière	1974	10 cm	-			
Sol support			34 cm sable grossier argileux > 34 cm argile			

D'après les carottages et mesures radar, cette zone est assez homogène, avec environ 23 à 30 cm de matériaux bitumineux paraissant sains, sur une couche de grave ciment également saine. L'épaisseur théorique de la couche de grave ciment est de 40 cm, mais celle-ci n'est pas toujours confirmée par les carottages, dont certains ont été arrêtés avant d'avoir atteint le fond de la couche.

Zone 2 : 600 à 850 m – construction : 1967

Tableau 3. Structure théorique de la zone 2 de la piste

Structure théorique (2000)	**Date de construction**	**Epaisseur théorique (2000)**	**Epaisseurs - Sondages de 2010**		**Epaisseurs -Radar 2010**	
			SC3 comp x = 650 m	SC1 x = 800 m	x = 600 à 740 m	x = 740 à 850 m
BB			27 cm	50 cm	40 cm	50 cm
BB1 0/10	1987	8 cm				
BB2 0/14	1979	7 cm	10 cm			
Béton bitumineux	1967	4 cm	2 cm			
Binder 0/25	1967	10 cm	-			
GNT	1967	25 cm	> 10 cm fin carotte	20 cm	21 cm	
Remblai rocheux	1967	45 cm		30 cm cailloux siliceux 50 cm calcaire fracturé		

Cette zone présente une structure bitumineuse qui semble se diviser en deux parties, l'une située entre 600 m et 740 m avec une épaisseur d'enrobés de 40 cm, l'autre située entre 740 et 850 m où l'épaisseur d'enrobés est de 50 cm. Les enrobés semblent relativement sains et reposent sur

une couche de forme de 20 à 25 cm de GNT, puis sur des blocs rocheux dont l'épaisseur serait d'au moins 30 cm.

Zone 3 : 850 à 2 390 m – construction : 1939 – renforcée en 1962

Tableau 4. Structure théorique de la zone 3 de la piste

Structure théorique (2000)	**Date de construction**	**Epaisseur théorique (2000)**	**Epaisseurs - Sondages de 2010**				**Epaisseurs -Radar 2010**		
			SC2 x = 950 m	SC5 x =1 600 m	SC12 x = 1 950 m	SC13 x = 2 200 m	850 à 970 m	970 à 1 900 m	1 980 à 2 390 m
BB			38 cm	40 cm	47 cm	44 cm	40 m	34cm	41 à 43 cm
BB1	1992	8 cm							
BB2	1979	10 cm							
Enrobés denses	1962	5 cm							
Grave concassée 0/40	1962	20 cm	48 cm	25 cm	3 cm mortier 18 cm enrobé 4 cm mortier	33 cm	21 cm		
Béton ciment	1939	19 cm	14 cm	12 cm mortier	24 cm	17 cm			
Sable	1939	10 cm							
Sol support				44 cm argile sableuse 18 cm mâchefer > 11 cm sable argileux	17 cm sable argileux 17 cm argile sableuse > 20 cm argile graveleuse	> 56 cm argile sableuse			

La carotte SC12 a été faite au croisement des deux pistes datant de 1940 (piste principale et bretelle C).

Cette zone de la piste est la plus ancienne. Elle comporte des couches bitumineuses qui peuvent être divisées en trois parties :

- entre 850 m et 970 m, avec une épaisseur d'environ 40 cm ;
- entre 970 m et 1 900 m, avec une épaisseur moyenne de 34 cm (d'après les mesures radar) ;
- entre 1 900 m et 2 390 m, avec une épaisseur variant entre 41 et 47 cm.

Ces couches bitumineuses reposent sur un support assez hétérogène, avec 21 à 48 cm de matériau granulaire de qualité variable (avec parfois des enrobés), sous lequel on trouve une couche de béton correspondant aux dalles béton de l'ancienne piste des années quarante, dont l'épaisseur semble varier (de 12 à 24 cm).

Zone 4 : 2 390 à 2 700 m – construction : 1962

Tableau 5. Structure théorique de la zone 4 de la piste

Structure théorique (2000)	**Date de construction**	**Epaisseur théorique (2000)**	**Epaisseurs - Sondages de 2010** SC10 x = 2 550 m	**Epaisseurs - Radar 2010** x = 2 390 à 2 700 m
BB1	1992	8 cm	42 cm (5 couches décollées)	49 cm
BB2	1978	14 cm		
BB3	1962	5 cm		
Tout-venant	1962	30 cm	18 cm grave argileuse saturée	
Blocage	1962	65 cm	> 90 cm sable + grave argileuse	

Cette zone présente une structure bitumineuse, avec 42 à 49 cm d'enrobés suivant les sources d'information. D'après le carottage disponible, il semble y avoir cinq couches d'enrobés, avec des interfaces dégradées. Sous ces enrobés, le sondage indique une couche granulaire (grave argileuse) de 18 cm d'épaisseur, puis le sol naturel.

Zone 5 : 2 700 à 2 900 m – construction : 1973

Tableau 6. Structure théorique de la zone 5 de la piste

Structure théorique (2000)	**Date de construction**	**Epaisseur théorique (2000)**	**Epaisseurs - Sondages de 2010** SC9 x= 2 800 m	**Epaisseurs - Radar 2010** x=2 700 à 2 900 m
BB			8 cm	28 cm
BB			5 cm	
BB1	1988	8 cm	12 cm	
BB	1973	5 cm		
Grave ciment	1973	30 cm	30 cm	29 cm
GNT	1973	0/15 cm	15 cm GNT argileuse	
Sable	1973	10/30 cm	> 40 cm sable et gravier lâche	

La zone 5 possède une structure similaire à celle de la zone 1, avec 25 à 28 cm d'enrobés sur une couche de grave ciment de 30 cm d'épaisseur. Ces matériaux présentent plusieurs interfaces dégradées. Sous la grave ciment, on retrouve une couche de grave argileuse de 15 cm d'épaisseur, sur une couche de sable et gravier qui pourrait constituer le sol naturel.

Conclusion

D'après les données d'auscultation existantes, la piste présente cinq zones de structures très différentes.

2.3.2.3.2 Taxiway

Le taxiway comporte cinq zones, R1 à R5, délimitées par les différentes bretelles (voir Figure 1 et carte VAC [11]).

Les mesures radar [14] ont été réalisées sur une zone appelée « taxiway 03/21 » qui comprend la bretelle A, le taxiway et la bretelle F. Pour cette raison les mesures s'étendent sur une longueur de 3 075 mètres.

Ce rapport [14] propose de distinguer huit zones (sur le taxiway 03/21), différenciées selon les épaisseurs de matériaux. Selon les deux plans de l'aéroport disponibles [11] et [18], il est possible de retrouver à quelles bretelles et à quelles zones « R1 à R5 » du taxiway ces huit zones correspondent :

- pm 0-175 : bretelle A ;
- pm 175-1 030 : zone R1 ;
- pm 1 030-1 950 : zone R2 ;
- pm 1 950-2 230 : zone R3 ;
- pm 2 230-2 350 : zone R3 ;
- pm 2 350-2 520 : zone R4 ;
- pm 2 520-2 830 : zone R5 ;
- pm 2 830-3 075 : bretelle F.

Pour le taxiway, on ne dispose pas des structures « théoriques » mais uniquement des informations issues des sondages [12] et des mesures radar [14].

Zone R1 (pm 175-1 030) – construction : 1986 à 1988

Tableau 7. Structure théorique de la zone R1 du taxiway

Structure	**Date de construction**	**Epaisseur théorique (2000)**	**Epaisseurs - Sondages de 2010** C15 x = 700 m	**Epaisseurs - Radar 2010**
BB			14 cm	19 cm
GNT (ou BB désagrégé)			6 cm	
Grave-ciment			38 cm	
Couche granulaire				
Sol support			72 cm argile	
			> 20 cm sable graveleux argileux	

Sur cette zone, le carottage indique des matériaux (enrobé et grave traitée) en bon état, à l'exception d'une couche de 6 cm à la base de l'enrobé qui est indiquée comme une couche granulaire, mais qui pourrait être plutôt un enrobé désagrégé (au vu de la photo de la carotte).

Zone R2 (pm 1 030-1 950) – construction : 1986 à 1988

Tableau 8. Structure théorique de la zone R2 du taxiway

Structure	Date de construction	Epaisseur théorique (2000)	Epaisseurs - Sondages de 2010 SC16 x = 1 500 m	Epaisseurs - Radar 2010
BB			20 cm	19,5 cm
Grave-ciment			39 cm	
Couche granulaire			8 cm	
Sol support			20 cm grave argileuse	
			10 cm argile grise	
			47 cm argile orangée	
			> 6 cm argile graveleuse orangée	

Sur cette zone, le carottage indique des couches d'enrobés en bon état et une grave–ciment avec plusieurs zones de vides ou des zones désagrégées.

Zone R3 (pm 1 950-2 350) – construction : 1986 à 1988

Tableau 9. Structure théorique de la zone R3 du taxiway

Structure	Date de construction	Epaisseur théorique (2000)	Epaisseurs - Sondages de 2010 SC17 x = 2 050 m	Epaisseurs - Radar 2010
BB		26 cm	14 cm	18 cm
Grave-ciment		-	45 cm	
Couche granulaire		40 cm	25 cm	
Sol support		36 cm	16 cm argile sableuse à graveleuse orangée	
			argile verdâtre 20 cm	
			> 30 cm argile sableuse à graveleuse orangée	

Sur cette zone, le carottage indique des couches d'enrobés en bon état et une couche de grave-ciment dont la partie inférieure est dégradée.

Zone R4 (pm 2 350-2 520) – construction : 1986 à 1988

La zone R4 n'a pas été étudiée par la campagne de mesure de 2000. Il n'y a pas eu de carottage en 2010 non plus. Les mesures radar [14] ont conclu à une épaisseur d'enrobés de 17 cm.

D'après le plan [18] récapitulant l'historique des travaux d'entretien réalisés entre 2010 et 2016, la zone R4 a subi des travaux de réfection entre 2010 et 2016. La couche de roulement a été remplacée sur 7 cm en moyenne (l'information concernant le type d'enrobés mis en place n'est pas disponible).

Zone R5 (pm 2 520-2 830) – construction : 1986 à 1988

Tableau 10. Structure théorique de la zone R5 du taxiway

Structure	Date de construction	Epaisseur théorique (2000)	Epaisseurs - Sondages de 2010 SC18 x = 2 700 m	Epaisseurs - Radar 2010
BB			21 cm	21 cm
Grave-ciment			37 cm	
Couche granulaire			40 cm	
Sol support			28 cm argile graveleuse verdâtre 28 cm	
			> 24 cm grave argileuse grisâtre	

Sur cette zone, le carottage indique des couches d'enrobés et de grave-ciment en bon état.

Conclusion

Au vu des mesures radar et des carottages réalisés antérieurement sur les différentes zones du taxiway, il apparaît que les cinq zones du taxiway présentent des structures assez semblables : 17 à 21 cm d'enrobés sur une assise en grave ciment d'une épaisseur de 37 à 45 cm, dégradée à certains endroits.

2.3.2.3.3 Bretelles

On ne dispose des structures théoriques que pour les bretelles C et D [4]. Les autres informations sont données par les carottages [12] et par les mesures radar [14] de 2010.

Bretelle A

Epaisseur radar : 31 cm d'enrobés [14].

Il n'y a pas eu de carottage réalisé en 2010.

Cette bretelle étant dans le prolongement du taxiway, il est probable qu'elle comporte également une assise en grave-ciment (cela sera confirmé par les auscultations, cf. partie 3).

Bretelle B

D'après le plan [18] récapitulant l'historique des travaux d'entretien réalisés entre 2010 et 2016, la bretelle B a subi des travaux de réfection entre 2010 et 2016. La couche de roulement a été remplacée sur 7 cm en moyenne (l'information concernant le type d'enrobés mis en place n'est pas disponible).

Tableau 11. Structure théorique de la bretelle B

Structure	Date de construction	Epaisseur théorique (2000)	Epaisseurs - Sondages de 2010 SC20 – x = 130 m	Epaisseurs - Radar 2010
BB				6,4 cm
BB			20 cm	15,3 cm
Grave ciment			31 cm	
Couche granulaire			53 cm	
Sol support			19 cm argile graveleuse orangée	
			> 27 cm sable argileux orangé	

Les matériaux apparaissent en bon état d'après le carottage.

Bretelle C

D'après le plan [18] récapitulant l'historique des travaux d'entretien réalisés entre 2010 et 2016, la bretelle C a subi des travaux de réfection entre 2010 et 2016. La couche de roulement a été remplacée sur 7 cm en moyenne (l'information concernant le type d'enrobés mis en place n'est pas disponible).

Tableau 12. Structure théorique de la bretelle C

Structure	Date de construction	Epaisseur théorique (2000)	Epaisseurs - Sondages de 2010	Epaisseurs - Radar 2010
BB1		6 cm		17,8 cm
BB2		8 cm		
BB3		12 cm		14,3 cm
GNT		10 à 20 cm		
Béton	1939	15 cm		13,3 cm
Sol support		?		

On ne dispose pas de carottages mais la structure ressemble à celle de la piste 03/21 originelle, avec une dalle en béton en profondeur, recouverte par une couche de GNT puis par des couches successives d'enrobés (environ 32 cm d'après le radar).

Bretelle D

D'après le plan [18] récapitulant l'historique des travaux d'entretien réalisés entre 2010 et 2016, une partie de la bretelle D a subi des travaux de réfection entre 2010 et 2016. La couche de roulement a été remplacée sur 7 cm en moyenne (l'information concernant le type d'enrobés mis en place n'est pas disponible).

Tableau 13. Structure théorique de la bretelle D

Structure	Date de construction	Epaisseur théorique (2000)	Epaisseurs - Sondages de 2010 SC22 – x = 110 m	Epaisseurs - Radar 2010
BB1		6 cm	10 cm	
BB2		8 cm	14 cm enrobés désagrégés	26,5 cm
BB3	1961	5 cm		
Grave concassée	1961	15 cm	14 cm	17,5 cm
GNT	1961	30 cm		
Sol support	1961		50 cm sable – sable argileux	
			40 cm sable argileux orangé	
			> 22 cm sable graveleux argileux	

Cette bretelle comporte une structure bitumineuse, avec environ 26 cm d'enrobés dont la partie inférieure est désagrégée. Ces enrobés reposent sur une couche assez mince de GNT (14 cm selon le sondage).

Bretelle E

Tableau 14. Structure théorique de la bretelle E

Structure	Date de construction	Epaisseur théorique (2000)	Epaisseurs - Sondages de 2010 SC23 – x = 110 m	Epaisseurs - Radar 2010
BB			20 cm	21,8 cm
BB			28 cm enrobés désagrégés à la base	24,5 cm
Couche granulaire			17 cm	13,1 cm
Sol support			> 85 cm argile sableuse verdâtre à brune	

Cette bretelle comporte une structure bitumineuse avec une épaisseur d'enrobés plus importante que la bretelle D (46 à 48 cm selon le sondage et les mesures radar), avec quelques centimètres désagrégés à la base, plus une couche mince de GNT (17 cm).

Bretelle F

Tableau 15. Structure théorique de la bretelle F

Structure	Date de construction	Epaisseur théorique (2000)	Epaisseurs - Sondages de 2010 SC19 – x = 3030 m	Epaisseurs - Radar 2010
BB			23 cm	24.5 cm
Grave-ciment			39 cm	
Couche granulaire			18 cm	
Sol support			> 70 cm argile légèrement sableuse	

Cette bretelle, dans le prolongement du taxiway, possède une structure très proche de celle du taxiway, avec une assise en grave-ciment.

Bretelle RC

Tableau 16. Structure théorique de la bretelle RC

Structure	Date de construction	Epaisseur théorique (2000)	Epaisseurs - Sondages de 2010 SC37 – x = 100 m	Epaisseurs - Radar 2010
BB Grave-ciment Couche granulaire			23 cm 10 cm	24,5 cm 13,3 cm
Sol support			7 cm sable moyen orangé	
			39 cm argile orange	
			21 cm argile légèrement sableuse orangée	
			> 50 cm argile sableuse à graveleuse	

La bretelle RC présente une structure atypique avec 23 à 24 cm d'enrobés sur seulement une dizaine de centimètres de grave ciment (épaisseur anormalement mince par référence aux pratiques récentes), reposant directement sur le sol naturel.

Bretelle RD

Des mesures radar [14] ont été effectuées sur la bretelle RD. Les mesures conduisent à une épaisseur d'enrobés de 24,8 cm.

Conclusion (en intégrant des informations fournies par AGO relatives aux différents niveaux de trafic supporté par les bretelles)

On peut distinguer:

- **La bretelle F, dans le prolongement du taxiway, qui a une structure en enrobés sur grave-ciment comparable au taxiway ;**
- **La bretelle A, dans le prolongement du taxiway, qui a probablement une structure en enrobés sur grave-ciment, mais ce point devra être confirmé par un carottage (note : un carottage réalisé lors de la campagne de reconnaissance de septembre 2017 confirmera cette structure-là, comme indiqué dans le Tableau 50) ;**
- **la bretelle B, qui reçoit les avions atterrissant en QFU 21, donc environ 55 % des atterrissages, et dont la structure en enrobés sur grave ciment est proche de celle de la bretelle F (et probablement de celle de la bretelle A) ;**
- **les bretelles C, D, E, qui reçoivent un trafic nettement plus faible correspondant à la répartition entre elles de 45 % des atterrissages. Leur structure, plus mince, de type enrobés sur GNT pour D et E, et enrobés + GNT sur l'ancienne dalle béton pour C, est cohérente avec ce niveau de trafic ;**
- **la bretelle RD, qui dessert les postes de stationnement principaux et reçoit (selon les informations d'AGO) l'essentiel du trafic commercial ;**
- **la bretelle RC, qui dessert les postes de stationnement 8 à 20 dont la fréquentation est moindre.**

2.3.2.3.4 Aires de stationnement

Pour appréhender le découpage des aires de stationnement en différentes zones, il convient de se référer au rapport [4] qui décrit l'historique de leur construction et au rapport [5] qui propose un découpage ainsi que des valeurs d'épaisseur équivalente. Celles-ci sont résumées dans le Tableau 17.

Tableau 17. Découpage et épaisseurs équivalentes des différentes aires de stationnement

Aire	Section de l'aire	Epaisseur équivalente
AST Mike		54 cm
AST Lima	1-2	123 cm
	3-4	111 cm
	5	135 cm
Parking principal	Postes 1-2-3-4	66 cm
	Postes 5A-6-7-8	126 cm
	Postes 5-9-10-11-12	71 cm
	Poste 14	66 cm
	Postes 15-16-17-18	123 cm
	Postes 19-20	121 cm
AST Kilo		36 cm
AST India		36 cm
AST Juliett		36 cm

De ces données il apparaît que seule l'aire de stationnement principale (postes 1 à 20) et l'aire Lima ont des épaisseurs équivalentes importantes (supérieures à 60 cm). Les autres aires ont des épaisseurs équivalentes beaucoup plus faibles (36 à 54 cm), ce qui est cohérent avec le fait qu'elles soient réservées à l'aviation légère.

Aire de stationnement principale (ou parking principal), postes 1 à 20

L'aménagement de l'aire de stationnement commerciale (hors extensions) date de 1961, comme le prolongement de la bretelle D. On considèrera que les structures de ces aires sont pratiquement identiques (seule l'épaisseur de la sous-couche de sable est différente). L'aire commerciale a ensuite été agrandie en 1989, 1997 et 1998 [4].

Le rapport [5] propose une séparation en 6 zones (voir tableau 17) où l'on précise les épaisseurs équivalentes et les postes correspondants.

Les épaisseurs des différentes couches identifiées avec les mesures radar [14] et les carottages [12] sont présentées dans le Tableau 18.

Tableau 18. Identification des différentes couches et épaisseurs pour l'aire de stationnement principale, postes 1 à 20

	Poste	Radar	Carottage
postes 1-2-3-4	1	22,6 cm BB / 14,2 cm GNT	SC 27 : 20 cm BB / 20 cm grave sableuse / 42 cm sable / 68 cm sable argileux
	2	21 cm BB / 14 cm GNT	
	3	22 cm BB / 15,2 cm GNT	SC 28 : 20 cm BB / 19 cm GNT / 11 cm sable / 8 cm ? / 28 cm sable / 64 cm sable argileux
	4	27,5 cm BB	
postes 5A-6-7-8	5A		
	6	23 cm BB	
	7		
	8	21 cm BB	SC 30 : 18 cm BB / 40 cm grave traitée / 36 cm couche granulaire / 56 cm argile
Postes 5-9-10-11-12	5	21 cm BB	
	9	19 cm BB	
	10		
	11	17 cm BB	
	12	16 cm BB	SC 31 : 25 cm BB / 36 cm couche granulaire / 7 cm sable / 50 cm argile / 32 cm sable
postes 14	14	15 cm BB / 18 cm GNT	
postes 15-16-17-18	15	21 cm BB / 20 cm GNT	
	16	21 cm BB / 18 cm GNT	
	17	23 cm BB / 13 cm GNT	SC 29 : 26 cm BB / 40 cm grave traitée / 39 cm couche granulaire / 33 cm grave argileuse / 12 cm sdable argileux
	18	21 cm BB / 13 cm GNT	
postes 19-20	19	21 cm BB	
	20	23 cm BB	SC 32 : 22 cm BB / 35 cm grave traitée / 21 cm couche granulaire / 9 cm argile / 20 cm grave argileuse / 43 cm argile sableuse

D'après ces indications, on identifie deux types de structure :

- postes 1-2-3-4, 5-9-10-11-12 et 14 : des structures bitumineuses (20 à 25 cm d'enrobés environ) sur une couche de grave non traitée. Au niveau du poste 12, on note une grande différence d'épaisseur entre le carottage (25 cm de BB) et le radar (16 cm), sans doute due à des hétérogénéités des structures. Au niveau des postes 1-2-3-4, les photos des carottages sont très peu lisibles et il est difficile d'évaluer l'état des enrobés. Au niveau des postes 5-9-10-11-12, les enrobés présentent des interfaces décollées et sont dégradés (sondage 31) ;
- postes 5A-6-7-8, 15-16-17-18 et 19-20 : des structures de type enrobés sur assise en grave-ciment, avec des épaisseurs de matériaux bitumineux de 18 à 26 cm, sur 35 à 40 cm de grave ciment. Sur ces zones, les matériaux paraissent en assez bon état, mais avec des interfaces enrobés / grave ciment décollées, ainsi que des décollements au milieu de la grave-ciment.

Les carottages confirment donc, à deux postes près, les découpages en zones du tableau 17.

Le document [22] présente la synthèse de la campagne d'auscultation, carottages et observations visuelles, réalisée en mai 2014. Suite à cette campagne, des propositions de travaux ont été présentées. D'après le plan [18], ces travaux d'entretien ont effectivement été réalisés entre 2010 et 2016. Ils sont listés ci-dessous :

- Poste 17A : joint trop ouvert et désagrégation de l'enrobé. Travaux : reprise de la couche de roulement + reprise du joint + 8 cm de BBME 3 0/10 ;
- Poste 12 : tassements importants (3 à 5 cm d'eau) et faïençage. Travaux : fraisage jusqu'à l'interface béton sain + reprofilage en EME 1 0/14 et 6 cm de BBME 3 0/10 ;

- Poste 10 : zone très faïencée. Travaux : fraisage jusqu'à l'interface béton sain + reprofilage en EME 1 0/14 et 6 cm de BBME 3 0/10 ;
- Postes 5 et 6 (zone arrière) : affaissement avec quelques fissures et poinçonnements sur la partie en Kérovia et pelade sur la partie en BBA. Pas de préconisation de travaux.

Toutefois les carottes réalisées en 2014 [22] ne sont pas cohérentes avec celles de 2010 [12]. On peut donc craindre des structures hétérogènes, à moins que cela ne soit dû à un problème de repérage.

Le plan [18] montre que d'autres zones de l'aire de stationnement principale ont également été renforcées entre 2010 et 2016. Cependant, les informations sur la nature des travaux et sur les zones renforcées ne sont pas disponibles.

Conclusion

Les données étudiées permettent d'identifier deux types de structures sur l'aire de stationnement principale:

- **Des structures bitumineuses sur grave non traitée, pour trois zones correspondant aux postes 1-2-3-4, 5-9-10-11-12 et 14. L'état des enrobés est difficile à évaluer d'après les photos des carottages.**
- **Des structures de type enrobés sur assise en grave ciment, pour trois zones correspondant aux postes 5A-6-7-8, 15-16-17-18 et 19-20, avec des matériaux plutôt en bon état, mais avec plusieurs interfaces décollées.**

Les travaux de réparation récents recensés montrent que la surface de l'aire de stationnement principale présente des dégradations significatives (faïençage, orniérage important), ce qui est logique compte tenu des structures en place : ces structures présentent des couches bitumineuses en partie supérieure (sur GNT, ou sur grave ciment), et sont peu adaptées au stationnement d'avions lourds.

Aire de stationnement LIMA

Le rapport [5] propose une séparation en trois zones (Tableau 17). Les épaisseurs équivalentes pour les postes correspondants sont données.

Les différentes épaisseurs identifiées avec les mesures radar [14] et les carottages [12] sont présentées dans le Tableau 19.

Tableau 19. Identification des différentes couches et épaisseurs pour le parking LIMA

Poste	Radar	Carottage
1 et 2	30 cm BB	SC 26 : 31 cm BB / 36 cm grave ciment / 37 cm couche granulaire ballast / 50 cm sable argileux
	mesure entre 2 et 3 : 31 cm BB	SC 24 : 15 cm BB / 31 cm couche granulaire (BB destructuré ?) / 13 cm BB destructuré / 21 cm grave traitée / 70 cm couche granulaire
3 et 4	20 cm BB	SC 25 (poste 4) : 19 cm BB / 24 cm couche granulaire / 37 cm grave argileuse / 9 cm mortier / 41 cm schiste
5	mesure entre 4 et 5 : 32 cm BB	

Conclusion

Les carottages sur l'aire LIMA montrent des structures hétérogènes, avec des enrobés en partie supérieure, en partie désagrégés, et de la grave-ciment sur une partie de la zone (carottages 24 et 26) mais pas au niveau du poste 4 (carottage 25). Les deux types de structures, avec et sans grave ciment, sont comparables à celles de l'aire principale.

Aire de stationnement MIKE

Le rapport [5] considère que l'aire de stationnement MIKE constitue une seule zone. Trois mesures radar ont été effectuées [14]. Les différentes épaisseurs identifiées avec les mesures radar [14] et les carottages [12] sont présentées dans le Tableau 20.

Tableau 20. Identification des différentes couches et épaisseurs pour le parking MIKE

Trace	Radar	Carottages
A	13 cm BB / 33 cm GNT	
B	13 cm BB / 34 cm GNT	SC 33 : 10 cm BB / 48 cm couche granulaire / 20 cm sable argileux / 68 cm argile / 4 cm sable
C	17 cm BB / 32 cm GNT	

Ces informations confirment une structure mince pour aviation légère, qui a fait l'objet d'un renforcement en enrobés. Cette structure est cependant plus épaisse que sur les aires suivantes (JULIETT, HOTEL, GOLF) qui n'ont que 4 cm d'enrobés.

Aire de stationnement JULIETT

Trois mesures radar ont été effectuées sur l'aire de stationnement JULIETT [14]. Les différentes épaisseurs identifiées avec les mesures radar [14] et les carottages [12] sont présentées dans le Tableau 21.

Tableau 21. Identification des différentes couches et épaisseurs pour le parking JULIETT

Trace	Radar	Carottages
A	4 cm BB / 18 cm GNT / 16 cm grave sableuse	
B	4 cm BB / 18 cm GNT / 14 cm grave sableuse	
C	4 cm BB / 19 cm GNT / 14 cm grave sableuse	SC 6 : 5 cm BB / 50 cm grave / 105 cm limon sableux

Cette aire est conçue pour le stationnement d'aviation légère, avec une structure concordante.

Aire de stationnement HOTEL

2 mesures radar ont été effectuées sur l'aire de stationnement HOTEL [14]. Les différentes épaisseurs identifiées avec les mesures radar [14] et les carottages [12] sont présentées dans le Tableau 22.

Tableau 22. Identification des différentes couches et épaisseurs pour le parking HOTEL

Trace	Radar	Carottages
A	4 cm BB / 19 cm GNT / 16 cm grave sableuse	SC 7 : 3 cm BB / 22 cm grave / 25 cm grave sableuse / 40 cm sable / 30 cm grave
B	4 cm BB / 18 cm GNT / 16 cm grave sableuse	

Cette aire est également conçue pour le stationnement d'aviation légère, avec une structure concordante.

Aire de stationnement GOLF

3 mesures radar ont été effectuées sur l'aire de stationnement GOLF [14]. Les différentes épaisseurs identifiées avec les mesures radar [14] et les carottages [12] sont présentées dans le Tableau 23.

Tableau 23. Identification des différentes couches et épaisseurs pour le parking GOLF

Trace	Radar	Carottages
A	4 cm BB / 17 cm GNT / 16 cm grave sableuse	
B	4 cm BB / 20 cm GNT / 14 cm grave sableuse	
C	4 cm BB / 19 cm GNT / 16 cm grave sableuse	SC8 : 3 cm BB / 15 cm grave / 28 grave sableuse / 54 cm sable

Cette aire est également conçue pour le stationnement d'aviation légère, avec une structure concordante.

Conclusion

Les différentes auscultations disponibles indiquent que les aires de stationnement Principale et LIMA possèdent des structures peu adaptées à supporter des avions commerciaux lourds. Les autres aires sont conçues pour l'aviation légère, avec seulement 4 cm d'enrobés sur une assise en GNT. L'aire MIKE possède une structure souple plus épaisse comportant environ 10 à 17 cm d'enrobés sur une assise en GNT.

2.3.2.4 Auscultations HWD réalisées en 2010 et 2013

2.3.2.4.1 Auscultation HWD de 2010

Les informations présentées ci-après sont issues du rapport Rincent BTP [13]. Les modalités d'essais utilisées sont les suivantes :

- matériel utilisé : HWD Rodos.
- diamètre plaque de chargement : 300 mm.
- charge appliquée : variable selon les chaussées et le trafic accueilli.
    - o 23 tonnes pour la piste, les taxiways, et le parking principal.
    - o 15 tonnes pour le parking Lima.
    - o 10 tonnes pour les parkings avions légers (GOLF, HOTEL JULIETT, MIKE).
- masse : 600 kg.
- hauteur de chute : variable selon les charges appliquées, environ 350 mm pour la charge de 23 tonnes.
- durée d´un choc : environ 30 ms.
- nombre et localisation des géophones : 7 capteurs à une distance de la plaque de 0 (D1); 300 (D2); 600 (D3); 900 (D4); 1 200 (D5); 1 500 (D6); 1 800 mm (D7).
- localisation des mesures :
    - o piste 03-21 : 6 lignes de mesures réparties de part et d'autre de l'axe (cf. Tableau 24 ci-après).
    - o taxiway : 2 lignes de mesures réparties de part et d'autre de l'axe (cf. Tableau 24 ci-après).
    - o autres zones : cf. Tableau 24 ci-après.

Tableau 24. Localisation des points de mesures HWD : auscultation de 2010 (extrait rapport Rincent BTP [13])

	Aire	Nom de la trace de	Positionnement	Point début	Point Fin	Espacement entre les points HWD
Piste	Piste 03/21	G12	12m à gauche de l'axe de la piste	Seuil 03	Seuil 21	120m
		G8	8m à gauche de l'axe de la piste	Seuil 03	Seuil 21	120m
		G2	2m à gauche de l'axe de la piste	Seuil 03	Seuil 21	30m
		D6	6m à droite de l'axe de la piste	Seuil 03	Seuil 21	60m
		D10	10m à droite de l'axe de la piste	Seuil 03	Seuil 21	120m
		D15	15m à droite de l'axe de la piste	Seuil 03	Seuil 21	120m
Taxiways	Taxiway 03/21	G3 et D3	3m à gauche/droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	60m
	Taxiway Bravo	G3 et D3	3m à gauche/droite de l'axe	Piste 03/21	Taxiway 03/21	30m
	Taxiway Charlie	G3 et D3	3m à gauche/droite de l'axe	Piste 03/21	Taxiway 03/21	30m
	Taxiway Delta	G3 et D3	3m à gauche/droite de l'axe	Piste 03/21	Taxiway 03/21	30m
	Taxiway Echo	G3 et D3	3m à gauche/droite de l'axe	Piste 03/21	Taxiway 03/21	30m
Parkings	Parking Commercial	RC	Axe de la ligne de guidage	Voir plans parkings		30m
		RD	Axe de la ligne de guidage			30m
		1	Axe du poste P1			15m
		2g	A gauche du poste 2			15m
		2/2A	Entre les postes 2 et 2A			15m
		3d	A droite du poste 3			15m
		4	Axe du poste P4			15m
		5g	A gauche du poste 5			15m
		5A	Axe du poste P5A			15m
		6/7	Entre les postes 6 et 7			15m
		8	Axe du poste P8			15m
		9/10	Entre les postes P9 et P10			15m
		10d	A droite du poste 10			15m
		11	Axe du poste P11			15m
		12	Axe du poste P12			15m
		14	Axe du poste P14			15m
		15	Axe du poste P15			15m
		16	Axe du poste P16			15m
		17	Axe du poste P17			15m
		18	Axe du poste P18			15m
		19	Axe du poste P19			15m
		20d	A droite du poste P20			15m
	Parking Lima	L1/L2	Entre les postes L1 et L2			15m
		L2/L3	Entre les postes L2 et L3			15m
		L3/L4	Entre les postes L3 et L4			15m
		L4/L5	Entre les postes L4 et L5			15m
	Parking Golf	A	Voir plans parkings			15m
		B				15m
		C				15m
	Parking Hotel	A				15m
		B				15m
		C				15m
	Parking Juliet	A				15m
		B				15m
		C				15m
	Parking Mike	A				30m
		B				30m
		C				30m

- Conditions de mesure : mesures réalisées de nuit les 7 et 8 juillet 2010, sans indication des températures (une recherche sur le site « Météo ciel » indique qu'il a fait très chaud les
  7 et 8 juillet, plus de 30°C. La température a baissé durant la nuit : 14°C. Sec et dégagé le 7 et la nuit du 7 au 8, le 8 : 2 mm de pluie en journée puis orage peu après en soirée) ;
- Expression des résultats : présentation des mesures sous formes graphiques et numériques des déflexions selon D1, D4 et D6 :
  - D1 : déflexion maximale sous la plaque de chargement : exprime la capacité portante totale de la structure de chaussée et du sol support ;
  - D1 - D4 : différence des déflexions entre les géophones D1 et D4 : exprime le comportement de la couche de fondation de la chaussée ;
  - D6 : déflexion mesurée par le géophone D6 (à une distance de 1500 mm) : exprime le comportement du support de la chaussée ;
- Interprétation des résultats : aucune dans le rapport de Rincent BTP.

2.3.2.4.2 Auscultation HWD de 2013

Les informations présentées ci-après sont issues du rapport Rincent International [15]. Les modalités d'essais sont les suivantes :

- Matériel utilisé : HWD Rodos ;
- Diamètre plaque de chargement : 300 mm ;
- Charge appliquée : le rapport affiche contradictoirement 3 valeurs différentes : 12 tonnes (partie II : présentation du matériel), 200 kN sur le schéma de principe, 23 tonnes
  (annexe 3 : tableau des valeurs). La valeur la plus vraisemblable est 23 tonnes, car les valeurs obtenues sont du même niveau en moyenne en 2010 et 2013, mais il subsiste un doute sur cette valeur ;
- Masse : 600 kg ;
- Hauteur de chute : environ 400 mm ;
- Durée d´un choc : environ 30 ms ;
- Nombre et localisation des géophones : 9 capteurs à une distance de la plaque de 0 (D1); 200 (D2); 300 (D3); 600 (D4); 900 (D5); 1200 (D6); 1 500 (D7); 1 800 (D8); 2 100 mm (D9) ;
- Localisation des mesures : 4 lignes de mesures réparties de part et d'autre de l'axe de la piste 03-21 (cf. Tableau 25 ci-après).

Tableau 25. Localisation des points de mesures HWD : auscultation de 2013 (extrait rapport Rincent International [15]

Aéroport deNantes Atlantique						
Aire	Nom de la trace	Début	Fin	Distance à l'axe	Distance entre deux points	Nombre de points
Piste 05/23	D5	Seuil 03	Seuil 21	5 m	30 m	94
	G5	Seuil 21	Seuil 03	5 m	30 m	94
	D10	Seuil 03	Seuil 21	10 m	60 m	48
	G10	Seuil 21	Seuil 03	10 m	100 m	29
	D15	Seuil 03	Seuil 21	15 m	150 m	20
	G15	Seuil 21	Seuil 03	15 m	150 m	20

- Conditions de mesure : mesures réalisées de nuit du 01 au 03 octobre 2013, sans indication des températures ;
- Expression des résultats : présentation des mesures sous formes graphiques et numériques des déflexions selon D1, D5 et D7 :
  - D1 : déflexion maximale sous la plaque de chargement : exprime la capacité portante totale de la structure de chaussée et du sol support ;
  - D1 - D5 : différence des déflexions entre les géophones D1 et D5 : exprime le comportement de la couche de fondation de la chaussée ;
  - D7 : déflexion mesurée par le géophone D7 (à une distance de 1500 mm) : exprime le comportement du support de la chaussée ;
- Interprétation des résultats : aucune dans le rapport de Rincent International.

2.3.2.4.3 Analyses et commentaires relatifs aux auscultations HWD de 2010 et 2013

Piste 03/21

Une synthèse des principaux résultats obtenus pour la piste 03/21 est proposée dans le Tableau 26 ci-après, sur la base d'une charge appliquée homogène de 23 tonnes pour l'ensemble des points de mesures (données non disponibles).

Tableau 26. Synthèse des principaux résultats des auscultations HWD de 2010 et 2013 sur la piste 03/21 [13] et [15]

Paramètres	Piste auscultation 2010		Piste auscultation 2013 (*)	
	ligne de mesure	valeurs (µm)	ligne de mesure	Valeurs (µm)
D1 moyen	D_6 m	581	D_5 m	607
	G_2 m	625	G_5 m	432
D1 écart-type	D_6 m	154	D_5 m	156
	G_2 m	165	G_5 m	129
D1 max.	D_6 m	1 038	D_5 m	1 045
	G_2 m	1 048	G_5 m	831
D1 min.	D_6 m	307	D_5 m	325
	G_2 m	245	G_5 m	197
D1-D4 moyen	D_6 m	422	-	-
	G_2 m	455	-	-
D1-D5 moyen	-	-	D_5 m	408
	-	-	G_5 m	275

(*) Pour les mesures de 2013, la charge de 23 t est la plus probable

Sur la base des seules données brutes de déflexions maximales D1, les auscultations HWD de 2010 et de 2013 mettent en évidence une bonne corrélation des mesures obtenues sur les profils en long et en travers de la piste, au moins pour celles réparties entre 2 et 6 m par rapport à l'axe de la piste dans le sens 03-21 (cf. Figure 4 ci-après). Seules les déflexions D1, mesurées en 2013, 5 m à gauche de l'axe (profil "D1 G_5m 2013" de la Figure 4) se singularisent des autres mesures par des valeurs sensiblement plus faibles et des localisations différentes des zones les plus déformables.

La différence de comportement pourrait s'expliquer par les travaux d'entretien (remplacement de la couche de roulement sur 7 cm) réalisés sur la piste en 2011 et 2012, entre les abscisses 600 et 2 050 m, même si ces derniers auraient dû également influencer les mesures de déflexions réalisées la même année sur le profil situé 5 m à droite de l'axe (profil "D1 D_5m 2013").

Une exploitation des mesures obtenues au travers de la méthode des sommes cumulées, (somme cumulée des écarts à la moyenne), appliquée à la déflexion D1 (cf. Figure 5), permet d'identifier des zones de comportement homogène, au moins sur les 1 000 premiers mètres de la piste (sens 03 => 21).

Ce découpage est en bonne concordance avec l'analyse des données structurelles des chaussées et l'historique de construction de l'aéroport, établis ici. L'interface entre la zone Z1 (extension de 1974 côté seuil 03 : structure Bétons Bitumineux sur Grave-Ciment) et la zone Z2 très déformable (extension de 1967 : structure Bétons Bitumineux sur Grave Non Traitée) apparaît nettement, notamment avec les mesures réalisées sur le profil situé à 2 m de l'axe.

Taxiway

Les résultats des auscultations HWD effectuées en 2010 sur le taxiway sont présentés sur la **Figure 6**. Sur le taxiway, on observe clairement des différences entre les zones R1, R4 et R5 présentant des déflexions faibles, et la zone R2, et le premier point de mesure de la zone R3, présentant des déflexions beaucoup plus élevées et fortement dispersées. Ceci est en accord avec les carottages de 2010 qui indiquaient une grave-ciment dégradée, voire désagrégée, sur la zone R2.

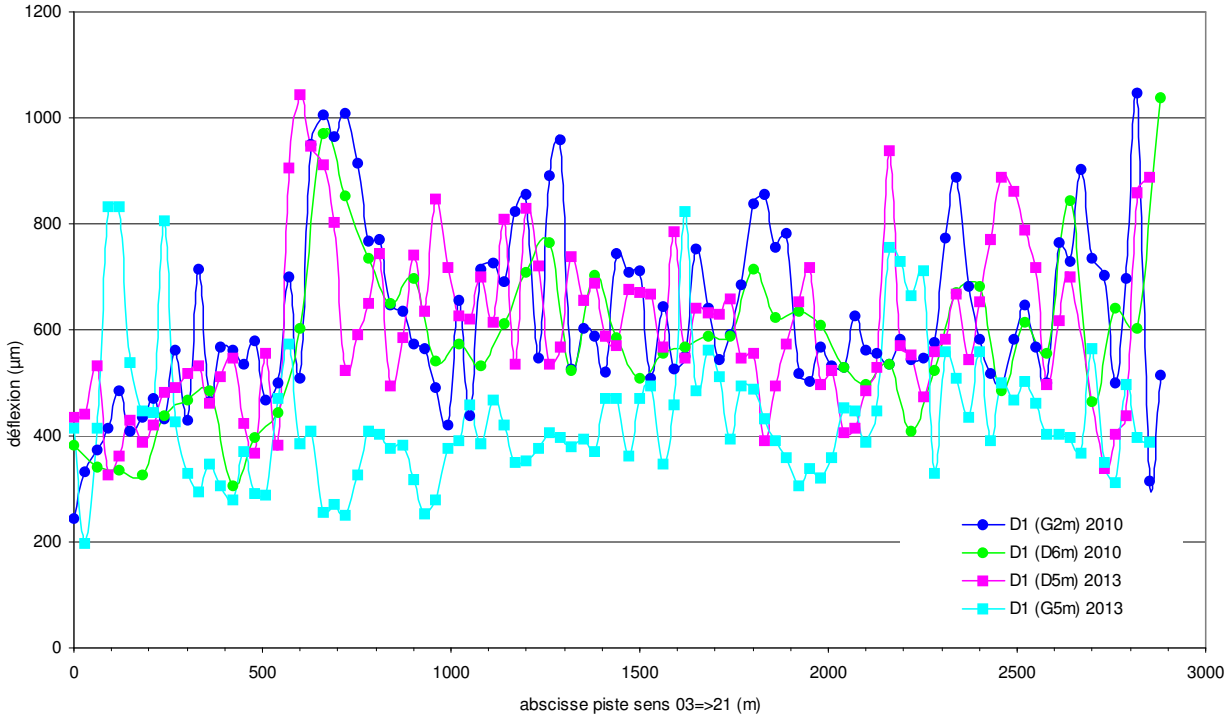


Figure 4. Déflexions D1 issues des auscultations HWD de 2010 et 2013 sur la piste.

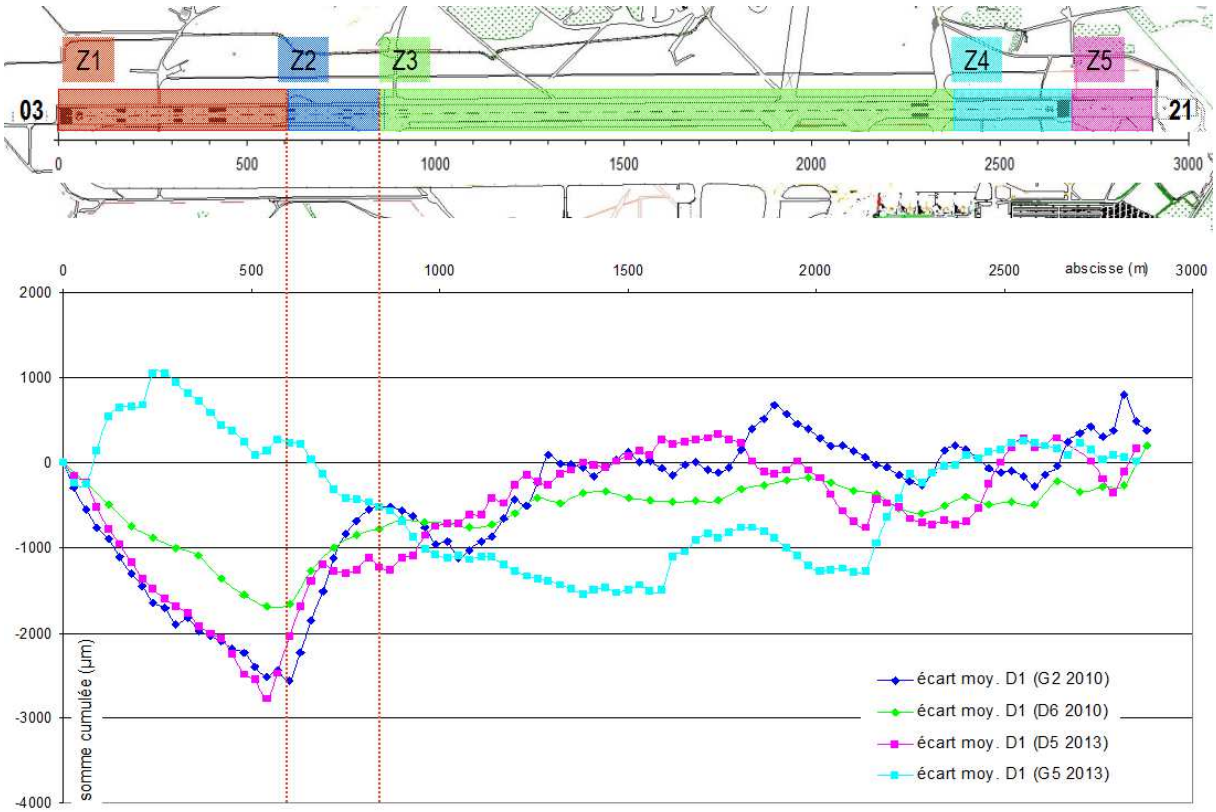


Figure 5. Sommes cumulées des écarts à la moyenne des déflexions D1 issues des auscultations HWD de 2010 et 2013.

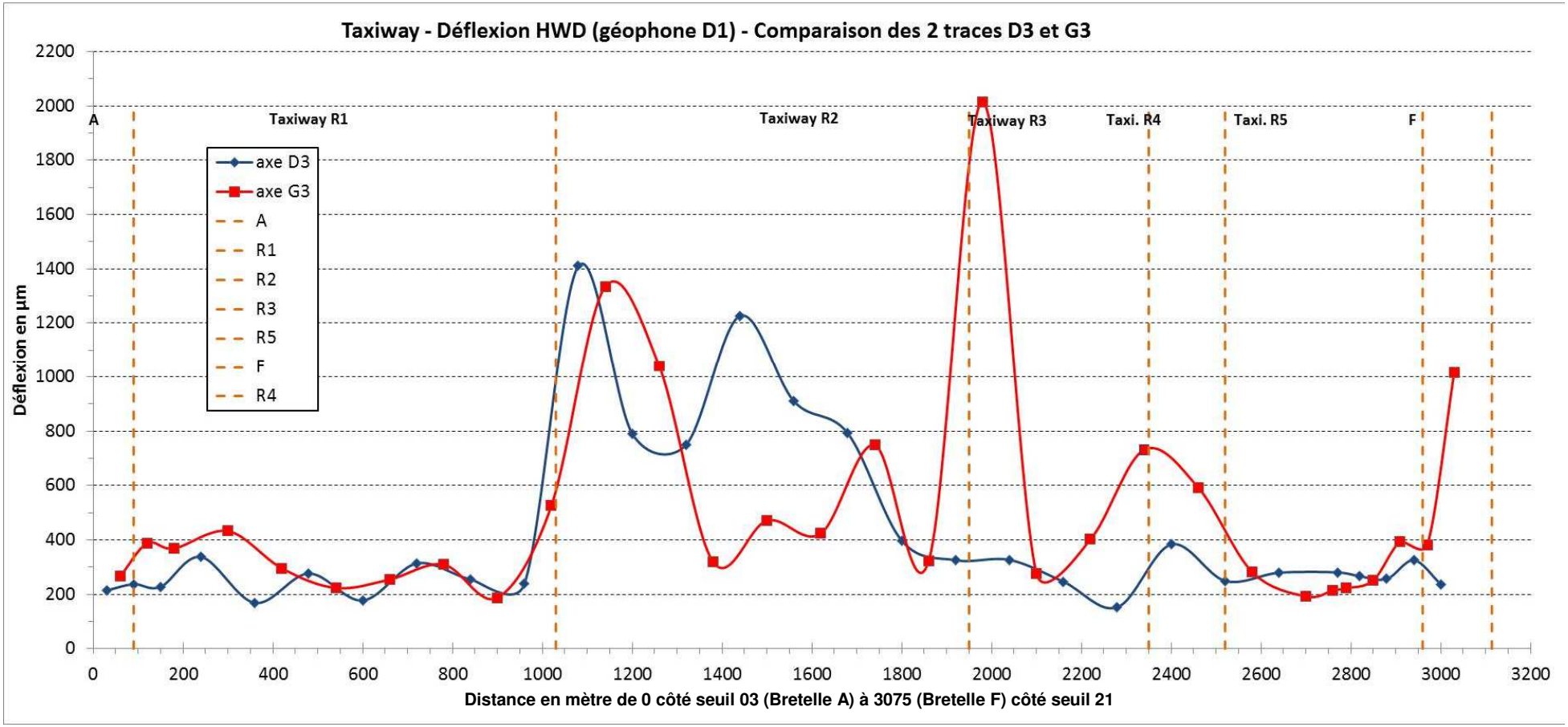


Figure 6. Déflexions D1 issues des auscultations HWD 2010 pour le taxiway
Les courbes ne doivent pas être interprétées comme une interpolation licite.

2.4 Analyse des données concernant les sols

2.4.1 Géologie et aléas naturels

L'examen de la carte géologique au 1/50000 jointe en annexe 4.5 indique que la zone aéroportuaire est construite sur deux formations sédimentaires :

- dans la partie Nord-Est de la piste 03/21, les alluvions argilo-sableuses de la moyenne terrasse de la Loire (Fx),
- dans la partie (majoritaire) Sud-Ouest de la piste 03/21, les sables rouges et graviers argileux du Pliocène (P2).

Ces deux formations présentent des caractéristiques géotechniques similaires : elles sont identifiées comme des "argiles", des "sables argileux", des "argiles sableuses" ou des "sables et graviers argileux" dans les reconnaissances antérieures, suivant la composante granulométrique prépondérante dans le matériau prélevé.

Remarque : la carte géologique présentée en annexe 4.5 se situe à la transition des cartes BRGM au 1/50000 de Nantes (au Nord) et de St-Philbert-de-Grandlieu (au Sud), qui sont des documents de génération différente. La désignation et la délimitation des couches varient entre ces deux documents, faisant apparaître artificiellement une discordance entre les formations Fx en gris au Nord et les formations P2 en jaune au Sud. D'un point de vue géologique, les alluvions de moyenne terrasse de la Loire (notées Fx) sont plus récentes et situées au-dessus des sables rouges et graviers du Pliocène d'origine marine. Les deux sont formées de sable, sable graveleux et d'argile. La différence relève de la nature de certains constituants : "la caractéristique pétrographique des alluvions de Moyenne Terrasse est la présence [...] de nombreux silex brun ou jaune, alors que les dépôts marins du Pliocène renferment surtout du quartz, mêlés à de petits silex bleutés, gris ou noirs".

Compte-tenu de la difficulté à différencier en pratique ces deux formations de caractéristiques et de faciès très comparables, et compte-tenu de la discordance entre les cartes géologiques Nord et Sud de la piste, la suite de l'étude ne s'attachera qu'à la désignation des formations suivant leurs caractéristiques géotechniques de granulométrie et d'argilosité, au sens de la norme NF P 11-300 (GTR) : sable argileux, argile, grave etc.

Ces formations argilo-sableuses reposent sur un substratum de gneiss leptynitique (gneiss "du Pellerin"), désigné comme "gneiss" dans la suite du rapport. Ce substratum est présent à faible profondeur en extrémité Nord-Est de la piste. Sur le reste du site, les formations sédimentaires argileuses à sablo-argileuses peuvent présenter plusieurs mètres d'épaisseur (sondages arrêtés dans les sables argileux entre 4 et 5 m/TN au droit de la tour de contrôle et du bâtiment VOR - études ref. [26] et [27]).

Enfin, on note également la présence de remblais superficiels, sur une épaisseur variable mais en général inférieure au mètre, constitués d'un mélange de roche altérée (schiste, gneiss) et de matériaux argilo-limoneux.

2.4.1.1 Sismicité

Conformément au zonage sismique en vigueur depuis le 1er mai 2011 (article D. 563-8-1 du code de l'environnement), le site de l'aéroport Nantes-Atlantique se situe en zone 3 (sismicité modérée), sur une échelle de 1 (très faible) à 5 (forte) (voir Figure 7).

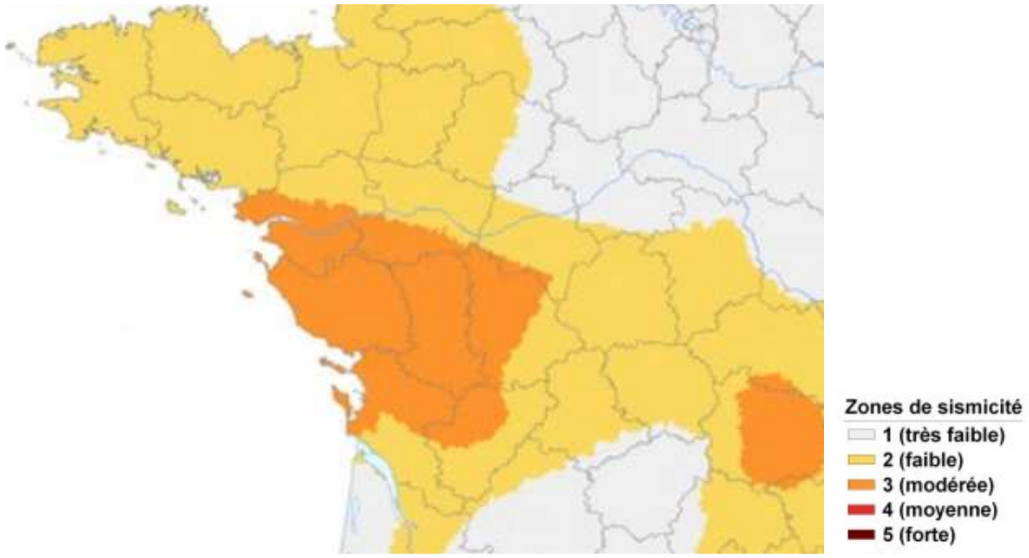


Figure 7. Extrait de carte de zonation sismique (Ministère de l'Ecologie)

2.4.1.2 Cavités - Mouvements de terrain

Les cartes de cavités et de mouvement de terrain (source : site www. georisques.gouv.fr) ne relèvent pas d'indice d'aléas de cette nature sur le site de l'aéroport.

2.4.1.3 Remontée de nappe

La cartographie des risques de crue, inondation, ruissellements, débordements, remontées de nappes (source BRGM, Ministère de l'Ecologie) indique un risque "faible" à localement "moyen" sur la piste. Il est "moyen" à "fort" sur le reste de l'aéroport (voir Figure 8).

Ce niveau de risque est associé aux variations du niveau de la nappe phréatique, susceptible de remonter à faible profondeur (1 m/TN) sous la piste - voir partie suivante.

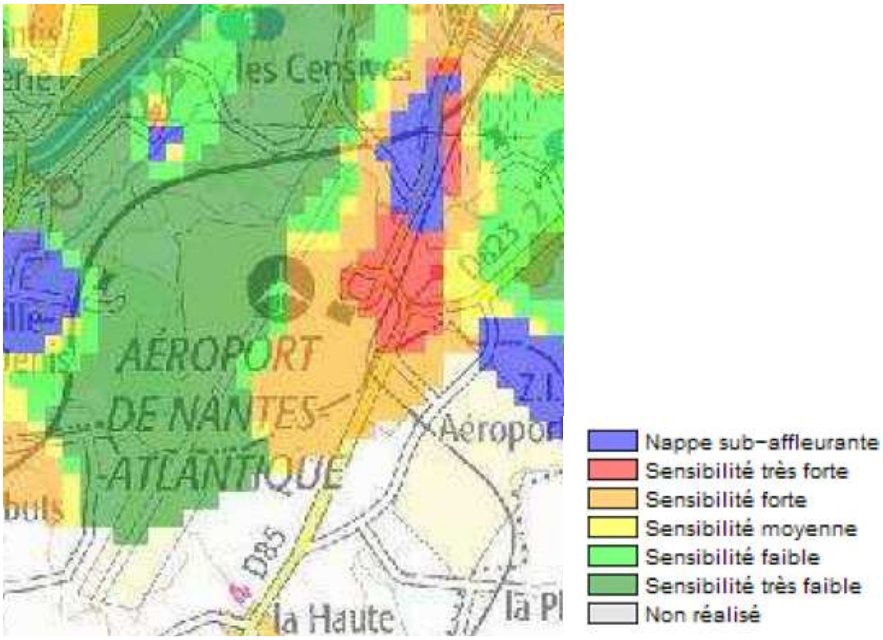


Figure 8. Extrait de cartographie - remontée de nappe (BRGM)

2.4.2 Analyse des données géotechniques existantes

Dans cette partie, on présente une analyse des données géotechniques disponibles. Ces données seront complétées par les résultats des essais de la campagne de reconnaissance complémentaire de septembre 2017 présentée dans le chapitre 3.

2.4.2.1 Etudes transmises par AGO

2.4.2.1.1 Relevés piézométriques

On dispose (documents AGO [19] et [20]) des relevés piézométriques (5 points en bordure de piste) sous la forme de tableaux de mesures et un plan d'implantation A4, mais le rapport géotechnique des relevés et la cote de référence des relevés piézométriques ne sont pas fournis.

Par ailleurs, le plan d'implantation des piézomètres (
Figure **9**) signale l'existence de quatre sondages pressiométriques et de quatre sondages pénétrométriques implantés sur la piste 03/21, dans sa partie centrale notamment. Les informations sur ces derniers sondages n'ont pas été communiquées.

Les coupes des sondages carottés issues de la campagne Rincent 2010 sont reportées en annexe 4.7. Elles permettent de positionner les relevés de la nappe par rapport aux structures actuelles. Compte-tenu des épaisseurs de structures existantes (chaussées et couche de forme), on estime la profondeur moyenne de l'arase de terrassement sous les aires aéroportuaires à -0,8 m de profondeur +/- 0,15 m sous le terrain naturel (voir Tableau 27 et Tableau 28).

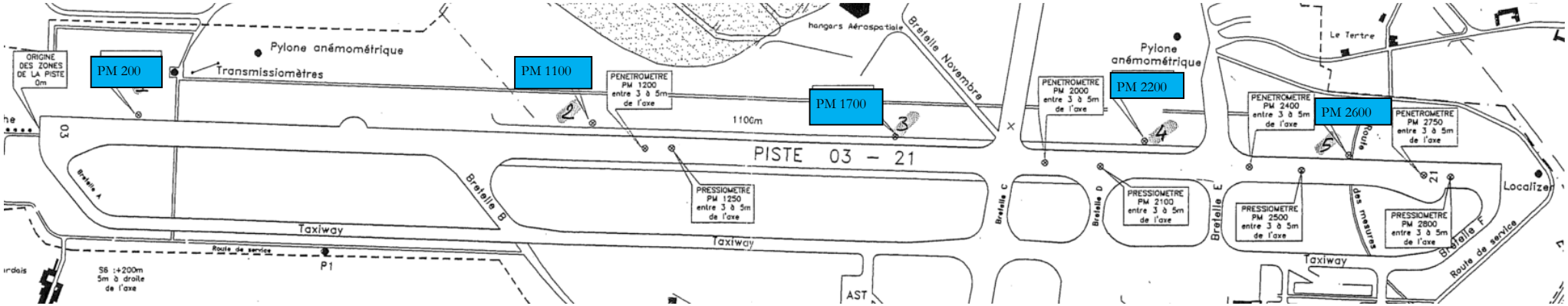


Figure 9. Schéma d'implantation des 5 piézomètres le long de la piste 03/21 aux points métriques : pm 200 + 1 100 + 1 700 + 2 200 + 2 600

Tableau 27. Profondeur de l'arase de terrassement sous la chaussée de la piste, en association avec les sondages carottés SC de la campagne 2010, au voisinage des piézomètres.

Piézomètre au point métrique : pm (m)	200	1 100	1 700	2 200	2 600
Sondage carotté le plus proche (voir la campagne 2010)	-	SC15	SC5	SC13	SC19
Profondeur de l'arase de terrassement ou Plate-forme de la Partie Supérieure de terrassement (m)		-0,7	-0,75	-0,95	-0,8

Tableau 28. Profondeur de l'arase de terrassement sous la chaussée du taxiway, en association avec les sondages carottés SC de la campagne 2010.

Point métrique (m)	800	1 500	2 050	2 700	2 330	2 380
Sondage carotté le plus proche (voir la campagne 2010)	SC15	SC16	SC17	SC18	SC24	SC25
Profondeur de l'arase de terrassement ou Plate-forme de la Partie Supérieure de terrassement (m)	-0,6	-0,9	-0,9	-1,0	-0,8	-1,0

Nous avons implanté les cinq piézomètres pm 200 ; 1 100 ; 1 700 ; 2 200 ; 2 600 sur un schéma du profil en long de la piste (Figure 10) On constate qu'ils se situent à peu près aux points les plus hauts (Pz 1 100 + 2 200) et les plus bas (Pz 2 200 + 2 600) de la piste 03/21. Sur le schéma de la Figure 10, on porte les variations extrêmes du toit de la nappe phréatique au droit de chaque piézomètre.

D'un point de vue topographique, l'amplitude de l'onde verticale atteint environ (voir photographie aérienne de la Figure 11) :

- 3,4 m entre Pz 2 200 et Pz 2 600 ;
- 1,1 m vers Pz 1 700.

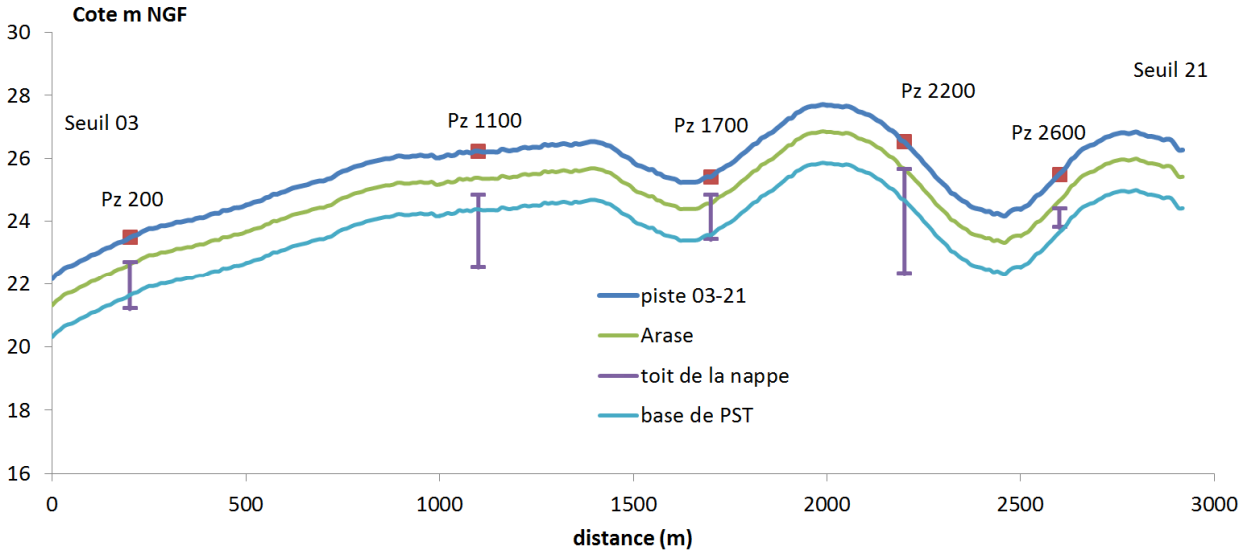


Figure 10. Schéma de l'implantation des piézomètres sur le profil en long de la piste 03/21

Figure 11. Etat de planéité de la piste 03 (bas)/21 (haut) [2]

Figure 12. Entrée de la piste par la bretelle Delta
Auscultation des structures 12-DTCO-425-P07, Eurovia, mai 2014

Figure 13. Bretelle Taxiway – Piste Charlie
Auscultation des structures 12-DTCO-425-P07, Eurovia, mai 2014

Les Figure 11, Figure 12 et Figure 13 rendent bien compte de l'état de planéité du profil en long de la piste 03/21. Les deux photographies prises au sol montrent l'entrée Delta de la piste 03/21 et la bretelle Charlie entre la piste et le taxiway. Sur ces photographies les cotes de plate-forme de la piste et du terrain naturel semblent assez voisines.

Sur la Figure 14, on a reporté l'évolution du toit de la nappe le long de la piste 03/21 avec les mesures piézométriques effectués par AGO, sur la période allant de 2001 à 2009. Pour mémoire, la partie supérieure de terrassement PST a une épaisseur de 1 m environ (GTR 2000) sous l'arase de terrassement AR. Cette épaisseur est matérialisée sur la Figure 14 par le rectangle horizontal en grisé violet.

Sous l'hypothèse d'une égalité de niveau entre la plate-forme de la piste et le terrain naturel (à vérifier lors de la campagne d'auscultations complémentaires), on constate sur cette figure que :

- la totalité de la partie supérieure de terrassement PST (soit le mètre de profondeur sous l'arase de terrassement) est baignée par la nappe phréatique principalement du mois de novembre au mois d'avril de l'année suivante, c'est-à-dire principalement en hiver, dans les tronçons de piste situés aux trois points les plus bas du profil en long, à savoir :
    - les 2 creux du profil en long (Pz 1 700 et Pz 2 600) ;
    - l'extrémité Sud-Ouest de la piste (Pz 200) ;
- les conditions hydriques les plus défavorables ont donc lieu en hiver, les plus favorables en été, avec des saisons de transition en automne et au printemps.

Au niveau des points les plus hauts de ce même profil en long (vers Pz 1 100 et Pz 1 200), la moitié de l'épaisseur de la PST se trouve sous la nappe en période hivernale sur la période de suivi considérée (qui ne comprend pas nécessairement les niveaux extrêmes de la nappe).

Nous n'avons pas d'informations sur le sens des écoulements horizontaux superficiels sur le site.

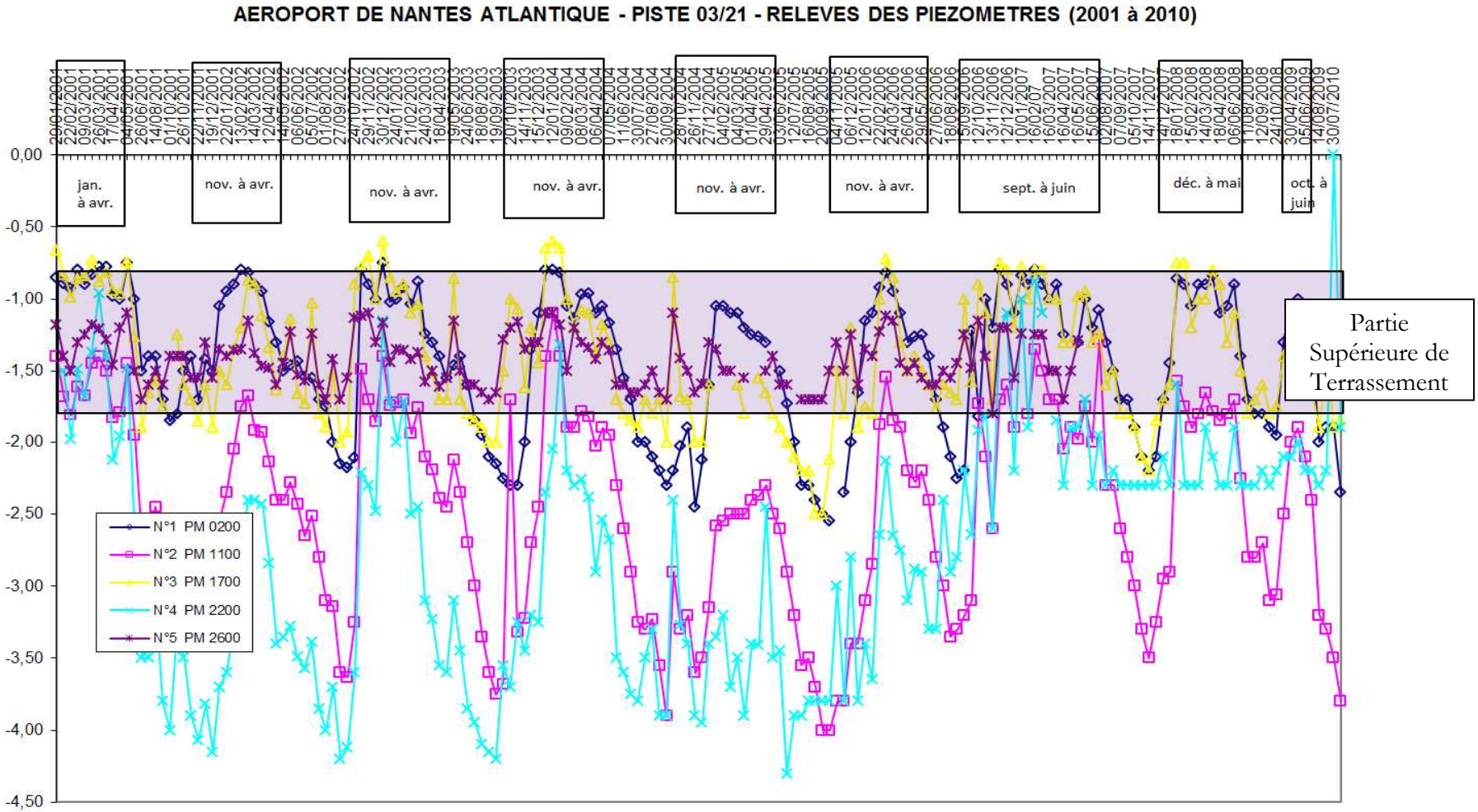


Figure 14. Evolution du toit de la nappe le long de la piste 03/21 de 2001 à 2010

En matière de drainage des eaux internes par infiltration des eaux pluviales ou par remontée de la nappe, on relève les éléments suivants dans le Cahier de l'Atelier Citoyen [2], à croiser notamment avec le réseau de drainage existant (document non disponible) :

- « 1974 : Prolongation de la piste à 2 695 m sur un terrain nécessitant la réalisation d'un drainage;
- 1976 : Prolongation de la piste vers le nord de 205 m avec raquette de retournement, réalisation d'un drainage vers le Bougon. »

« La présence de nappes phréatiques sous le site de Nantes-Atlantique a nécessité la mise en place d'un drainage important sous la piste jusqu'à 2 m de profondeur ».

La partie Nord de la piste est sur le bassin versant du Bougon. On note l'existence d'un affluent à ce cours d'eau, à proximité de la piste, à proximité du site noté "le Tertre" (Figure 15). Celui-ci correspond peu ou prou au thalweg situé vers le pm 2 450.

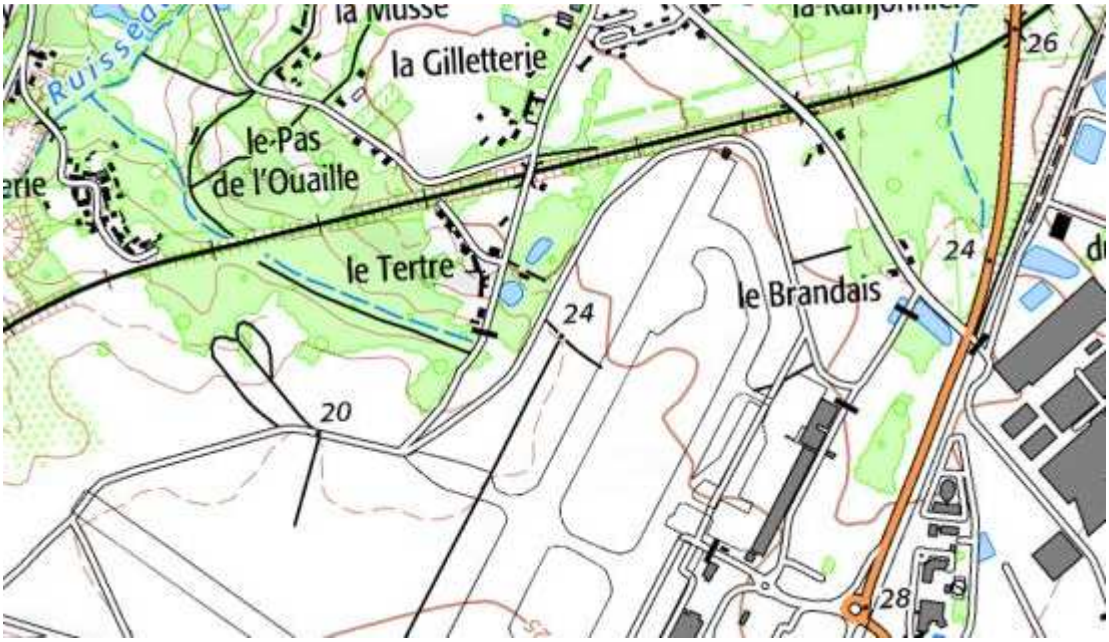


Figure 15. Ruisseau affluent au Bougon (source IGN - Geoportail)

Dans la partie Sud, les eaux de surface s'écoulent vers le sud-sud-ouest, dans une vallée qui traverse Saint Aignan de Grandlieu, puis se déverse dans le lac du même nom.

Le rappport du STBA de 1978 [3] (voir paragraphe suivant) signale à propos de la reconnaisance géotechnique des LRPC d'Angers et Rouen en avril 1978 que : « Le problème important de la plate-forme de Nantes-Château-Bougon est le problème du drainage : sur les 13 sondages réalisés, 6 ont permis de noter des venues d'eau qui vont du suintement au fort écoulement d'eau. »

2.4.2.1.2 Campagne de reconnaissances géotechniques de 1978

On exploite ici le rapport du STBA de 1978 [3] portant sur l'auscultation des aires aéronautiques et une campagne de reconnaissance menée entre le 3 et le 7 avril 1978, au début du printemps, sur :

- la piste principale 03/21 ;
- la partie de la piste 13/31 entre la piste 03/21 et le parking ;
- les bretelles ;
- les aires de sationnement.

Les résultats de ces auscultations sont résumés dans le Tableau 29.

Tableau 29. Extrait rapport STBA, 1978

Sondages	Argile peu plastique grise (Sondages 7, 10, 11, 12)	Argile peu plastique jaunâtre (Sondages 7, 10, 11, 12)
Teneur en eau naturelle W : (%)	13 à 24,6 – moyenne : 18,8	9,5 à 23 - moyenne : 16,2
Densité sèche	1,59 à 1,9	1,63 à 2,08
Limite de liquidité : W_L (%)	24	36
Indice de plasticité : Ip	8	18
W Optimum Proctor Normal (%)	11,5	14
Densité sèche à l'Optimum Proctor Normal	1,82	1,79
California Bearing Ratio CBR sur échantillons intacts	0 à 2	0 à 9,6 – moyenne : 4,8

D'après le rapport du STBA de 1978 (en l'absence de plan d'implantation des sondages de l'époque), la couche d'argile peu plastique grise, proche des limons par nature, surmonte la couche d'argile peu plastique jaunâtre.

En général, la teneur en eau d'équilibre est proche de celle de la limite de plasticité. Ce que semblent vérifier par valeur inférieure les deux argiles si l'on se réfère à la teneur en eau moyenne pour chacune d'elles.

En se référant à la norme NFP 11-300, l'argile peu plastique jaunâtre serait classée :

- pour sa nature ($12 \leq Ip = 18 \leq 25$) : dans les sols fins A_2 de type sables fins argileux ou limons,
- pour son état hydrique : « humide », en corrélant la valeur du $CBR_{moyen}=4,8$ et celle de l'IPI en première approximation ($2 < I_{IPI} \leq 5$), et en rapportant la teneur en eau naturelle moyenne à la teneur en eau Proctor Normal ($1,1 \leq W_{moy}/W_{OPN} = 16,2/14 = 1,16 \leq 1,3$),

soit au final le classement : « A_2h ».

Néanmoins, dans l'étendue de mesure des teneurs en eau [9,5% ; 23%] de ce sol A_2, l'état hydrique peut varier de « sec » ($W_{min}/W_{OPN} = 9,5/14 = 0,68$) à « très humide » ($W_{max}/W_{OPN} = 23/14 = 1,6$), en lien avec la profondeur du prélèvement, de la localisation du sondage par rapport au toit de la nappe et des fluctuations saisonnières de celle-ci.

De même, en se référant à la norme NFP 11-300, l'argile peu plastique grise serait classée :

- pour sa nature ($0 \leq Ip = 8 \leq 12$) dans les sols fins A_1, de type limons peu plastiques ou sables fins peu pollués,
- pour son état hydrique : « très humide », en corrélant la valeur du $CBR_{moyen}=1$ et celle de l'IPI en première approximation ($I_{IPI} \leq 3$), et en rapportant la teneur en eau naturelle moyenne à la teneur en eau Proctor Normal ($1,25 \leq W_{moy}/W_{OPN} = 18,8/11,5 = 1,63$),

soit au final, un classement : « A_1th ».

Néanmoins, dans l'étendue de mesure des teneurs en eau [13% ; 24,6%] de ce A_1, l'état hydrique varie de « humide » ($W_{min}/W_{OPN} = 13/11,5 = 1,13$) à « très humide » ($W_{max}/W_{OPN} = 24,6/11,5 = 2, 1$), en

lien avec la prondeur du prélèvement d'une part, et de la localisation du sondage par rapport au toit de la nappe d'autre part.

Le même rapport de 1978 fournit des résultats d'essais à la plaque qui ont été réalisés « en fond de sondage » (Tableau 30).

Tableau 30. Extrait rapport STBA, 1978

Sondages	"Module" de Westergaard K		Module à la plaque	
	bar/cm	MPa/m	10^2 bar	MPa
S4	-		1,71	17,1
S5	3,52	35,2	1,58	15,8
S7	0,48	4,8	-	-
S9	5,49	54,9	2,81	28,1
S10	3,94	39,4	1,37	13,7
S11	0,71	7,1	1,38	13,8
S12	0,57	5,7	-	-
S13	1,06	10,6	1,14	11,4

Note : L'essai standard de plaque est l'essai de Westergaard qui consiste à mesurer l'enfoncement e (cm) d'une plaque de diamètre 75 cm sous une pression p = 0,7 bar d'où $K_w = p/e$, en bar/cm.
L'essai à la plaque consiste à mesurer l'enfoncement w_1 (mm) d'une plaque de 60 cm sous une pression de p = 2,5 bars (1er chargement), puis on mesure l'enfoncement w_2 (mm) sous une pression p = 2 bars (2ème chargement). D'où $E_{v1} = 1125/w_1$ et $E_{v2} = 900/w_2$ en bar.

A la lecture (les unités ne sont pas précisées dans le rapport du STBA), on comprend qu'il s'agit en fait du module de réaction de Westergaard K_w exprimé ici en bar/cm (ou 10 MPa/m), et d'un module de plaque, vraisemblablement E_{v2}, exprimé en x100 bar.

Pour cette nature de sol (famille A), une bonne qualité de sol de fondation serait obtenue pour un module E_{v2} supérieur à 50 MPa et $E_{v2}/E_{v1} < 2$. Pour un dallage à usage industriel courant par exemple, les caractéristiques les plus couramment vérifiées pour une couche de forme de bonne qualité sont : $E_{v2}/E_{v1} < 2$ et Ev2 > 80 MPa.

Les valeurs d'essais du tableau caractérisent donc un sol déformable ($3 < K_w < 5$ bar/cm; 3 <CBR< 6 ; $15 < E_{v2} < 30$ MPa) à très déformable ($K_w < 3$ bar/cm ; CBR < 3; $E_{v2} < 15$ MPa).

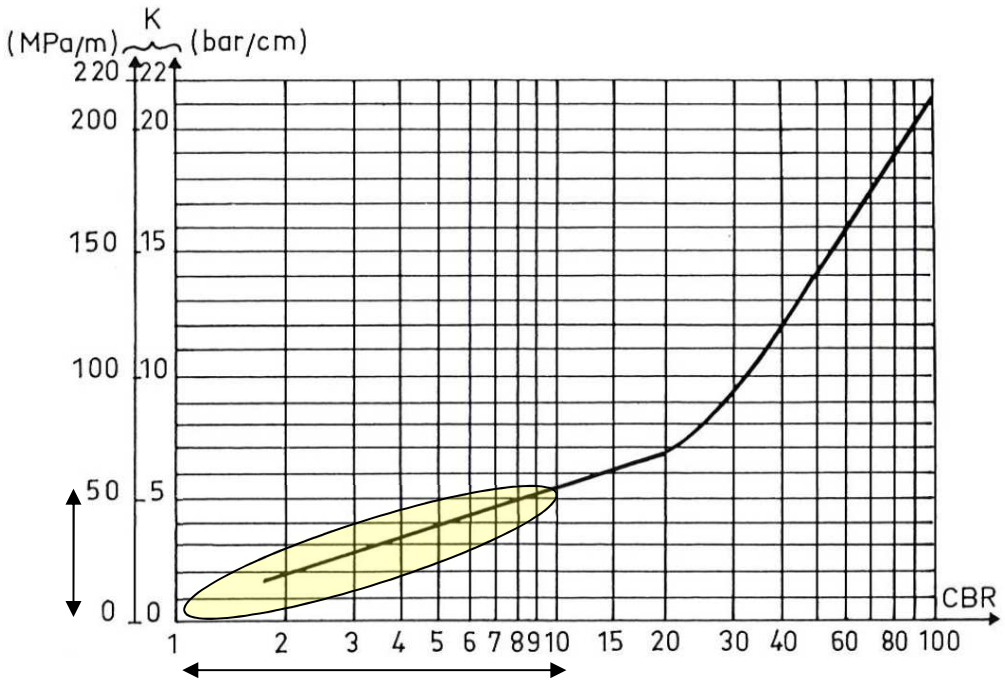


Figure 16. Relation entre le module de réaction K et l'indice CBR immédiat

A titre indicatif, on utilise l'abaque des règles professionnelles « Travaux de Dallage » Annales de l'ISTBTP, n°482, mars-avril 1990, série : Gros œuvre 37, qui relie l'indice CBR immédiat (CBR) et le module de Westergaard (K). Cette relation est fortement non linéaire.

Ainsi, pour la plage de variation CBR $\in$ [0 ; 10] mesurée en 1978, on relève sur l'abaque une plage de variation K (MPa/m) $\in$ [0 ; 50] environ, ce qui correspond effectivement à celle mesurée en 1978.

2.4.2.1.3 Campagne de reconnaissances géotechniques Rincent BTP de 2010

Une première partie de la campagne de reconnaissance 2010 s'est déroulée en juillet, et la deuxième en septembre, soit au cours d'une période de nappe basse a priori. L'implantation des sondages est donnée sur la Figure 17 et la Figure 18.

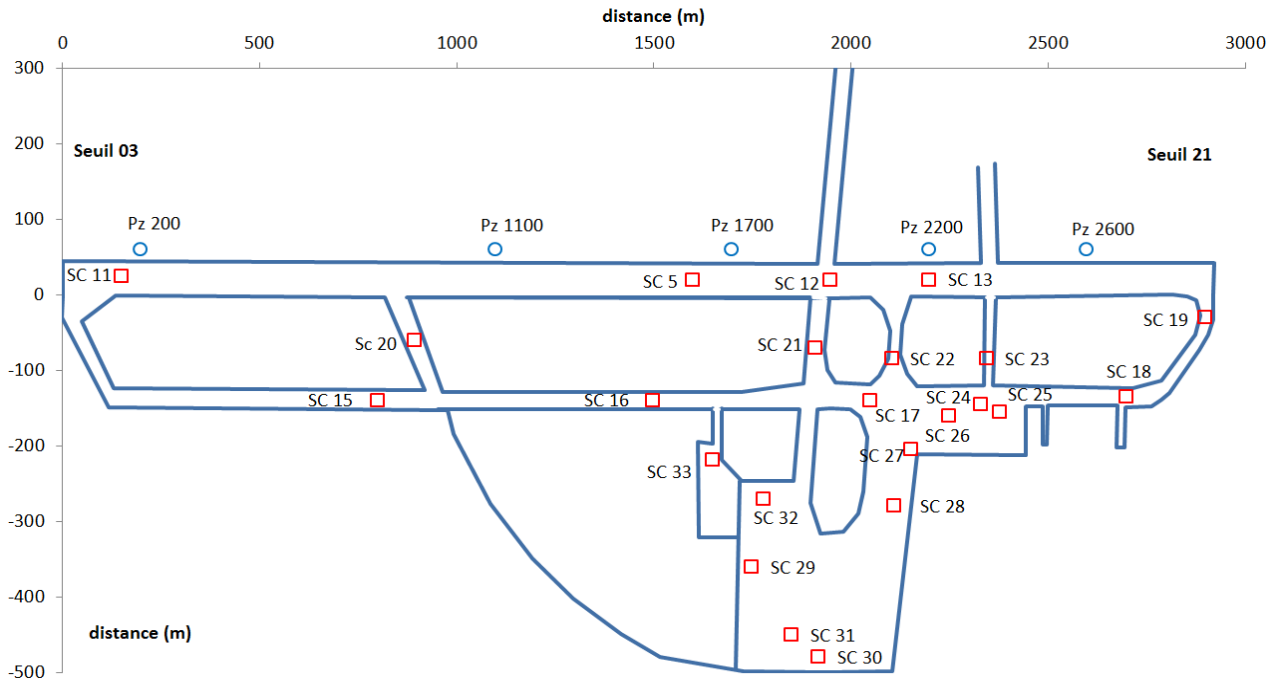


Figure 17. Schéma d'implantation des sondages de la reconnaissance de 2010

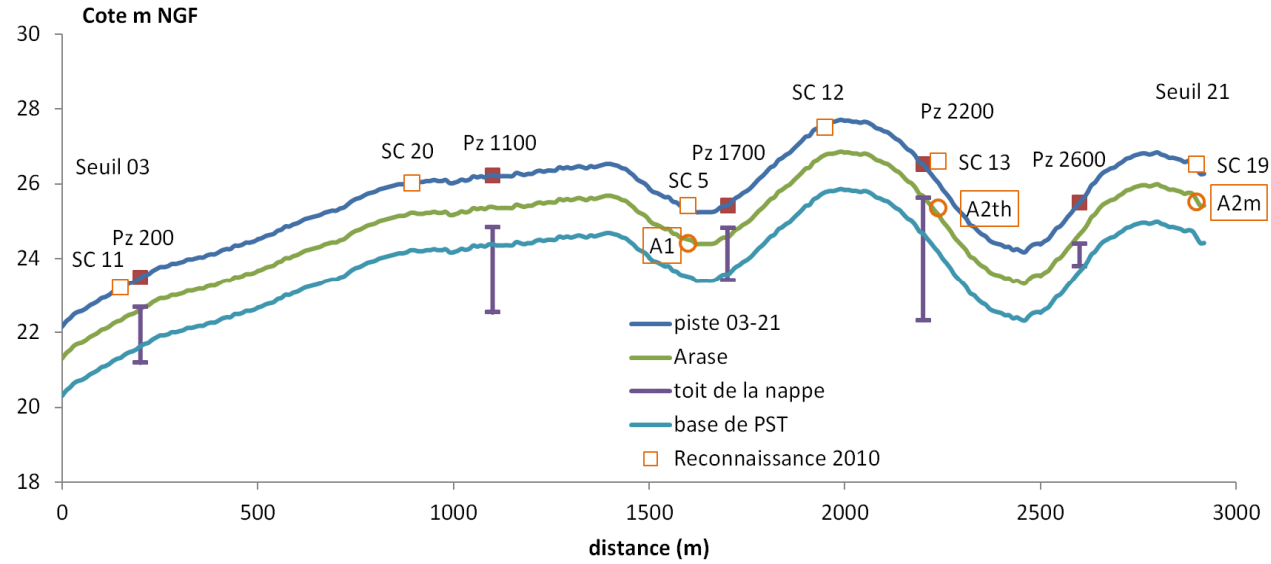


Figure 18. Profil en long schématique de la piste 03/21 avec les sondages 2010

Classification GTR des sols

Le dossier géotechnique [12] n° 10.3169 + n° 10.1910 de Rincent BTP de 2010 comprend des essais d'identification du sol support (12), conformes au GTR, et des mesures CBR (six mesures à la teneur en eau naturelle). Il ne comprend pas le corps du rapport proprement dit, ni les niveaux d'eau, ni le plan complet d'implantation des sondages (au nombre de 37).

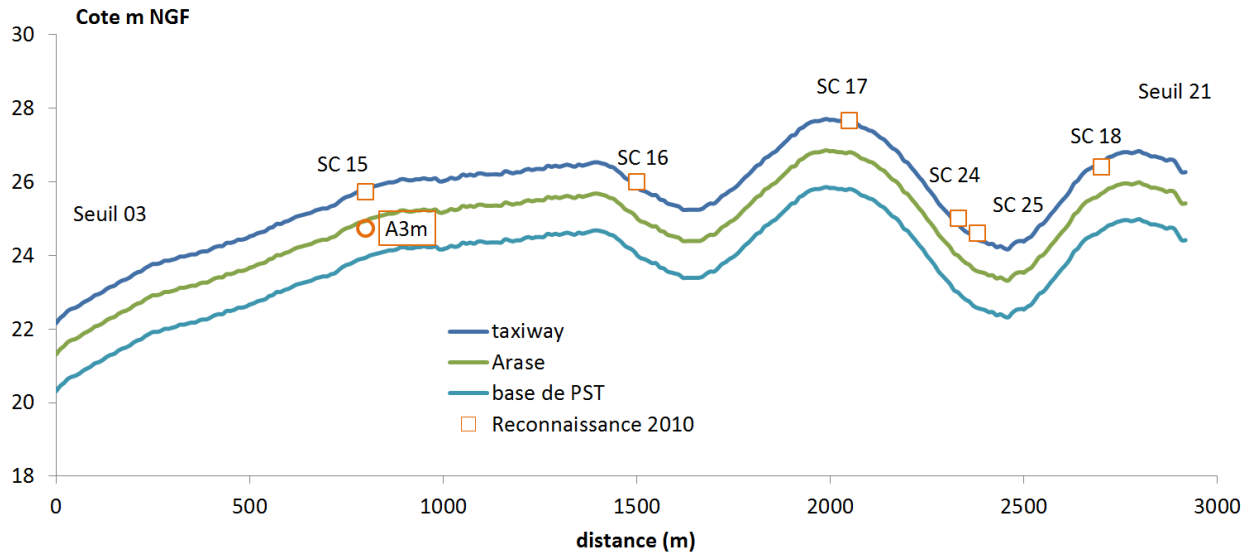


Figure 19. Report des sondages de 2010 réalisés sur le taxiway, en projection sur le profil en long de la piste
Classification GTR des sols

On a reporté sur les deux profils en long ci-dessus (Figure 18 et Figure 19) l'ensemble de sondages exploitables sur la piste 03/21 (six sondages) et sur le taxiway (six sondages). Sur la Figure 19**,** en superposant les cotes des sondages carottés 15, 16, 17, 18, 24 et 25 situés sur le taxiway (Figure 17), on vérifie que les profils en long du taxiway et de la piste sont comparables. On a reporté aussi le profil de l'arase de terrassement et la base de la partie supérieure de terrassement (1 mètre d'épaisseur environ).

Le classement du sol à la profondeur des essais est noté au droit des sondages où des essais d'identification des sols ont été pratiqués. Cette profondeur correspond à la profondeur moyenne de l'arase de terrassement, soit -0,85 m environ.

- Piste 03-21 : les classements obtenus sont :
  - A1 (pm = 1 600 m)
  - A2th (pm = 2 200 m)
  - A2m (pm = 2 900 m)

- Taxiway :
  - A3m (pm = 800 m)

Le Tableau 31 résume l'ensemble des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les prélèvements des sondages de 2010.

Ont été réalisés des mesures de teneurs en eau Wnat, des analyses granulométriques, des essais CBR avec ou sans immersion sur éprouvettes compactées à l'énergie Proctor Normal, des essais de limite de liquidité et de plasticité. Au final, un classement GTR du sol est proposé.

Les 2 essais CBRi avec immersion donnent une valeur de 1 au sondage SC13, ce qui traduit un sol très déformable, et de 4 au sondage SC23, ce qui traduit un sol déformable. Le sondage SC13 se situe sur la piste 0-21 à la hauteur du piézomètre 2200, et le sondage SC23 qui est relativement proche du précédent, se trouve sur un dégagement vers le taxiway (voir schéma d'implantation des sondages).

Tableau 31. Résumé des essais de laboratoire effectués sur les prélèvements dans les sondages situés sur la piste et le taxiway (reconnaissance géotechnique de 2010, [12])

Sondage	Date de prélèvement	Date d'essai	Profondeur (m)	Nature	Wnat	Indice CBR immédiat sous l'énergie Proctor normal			Granulométrie				Limites d'Atterberg				Classe GTR
					%	W (%)	ρ_d (t/m³)	ICBRi	<50 mm	<5 mm	<2 mm	< 80µm	WL %	Wp %	lp %	lc	
SC 5	08/09	21/09	0,77/1,21	Sable silteux verdâtre	15.5				100.0	87,7	82,6	53,0	29	17	12	1,13	A1
SC 6	09/07	30/07	1,00/1,70	Argile sableuse brune	14,5	14,8	1,83	18 (ICBR)	100,0	98,9	95,9	37,8	77	29	48	1,29	A4m
SC 10	09/07	30/07	0,00/1,50	Sable graveleux argileux gris verdâtre	12,5	13,0	2,07	10 (ICBR)	100,0	63,9	51,9	32,5	35	22	13	1,70	B6m
SC 13	08/09	21/09	0,94/1,50	Silt sableux brun orangé	16,5	16,5	1,79	1	100,0	94,6	82,8	62.8	31	18	13	1,12	A_2th
SC 15	13/09	28/09	0,00/1,50	Argile grisâtre à verdâtre	32,2				100,0	88,8	85,1	68,0	70	36	34	1,10	A_3m
SC 19	15/09	24/09	0,00/1,50	Argile légèrement sableuse orangée	23,3				100,0	98,6	93,2	76,4	51	27	24	1,17	A_2m
SC 23	14/09	30/09	0,00/1,50	Argile sableuse verdâtre à brune	16,2	16,2	1,81	4	100,0	89,1	83,5	36,5	29	18	11	1,21	A_1h

Les deux essais CBR sans immersion donnent une valeur de 18 au sondage SC6 et de 10 au sondage SC10, ce qui traduit des sols peu déformables, à leur teneur en eau de prélèvement. La valeur de 18 est associée à une argile très plastique (Ip = 48) et une teneur en eau d'essai très faible (W = 14,5%) c'est-à-dire dans un état sec à très sec a priori. L'emplacement de ces sondages n'est pas connu en l'absence de plan d'implantation complet.

Après examen, quelques poids volumiques apparaissent anormalement élevés au regard de la nature des sols. Les essais CBR et $CBR_{immersion}$ sont réalisés en alternance, mais jamais les deux types d'essais sur un même matériau, ce qui ne permet pas d'apprécier la chute de portance dans le cas d'une remontée de la nappe.

Le classement de certains matériaux selon le GTR est douteux, comme celui de l'argile A4m, c'est-à-dire « moyennement humide », associée à une teneur en eau très basse de 14,8% pour un Indice de plasticité très élevée de 48, et une densité sèche Proctor Normal de 1,83 anormalement forte. Le sol B6m présente aussi une densité de 2,07 anormalement élevée. Les résultats des essais de 2010 sont reportés sur le tableau synoptique de la Figure 20.

Les résultats d'essais de ces études de 2010 ont contribué à définir les reconnaissances géotechniques supplémentaires présentées dans la partie 3.4 du rapport.

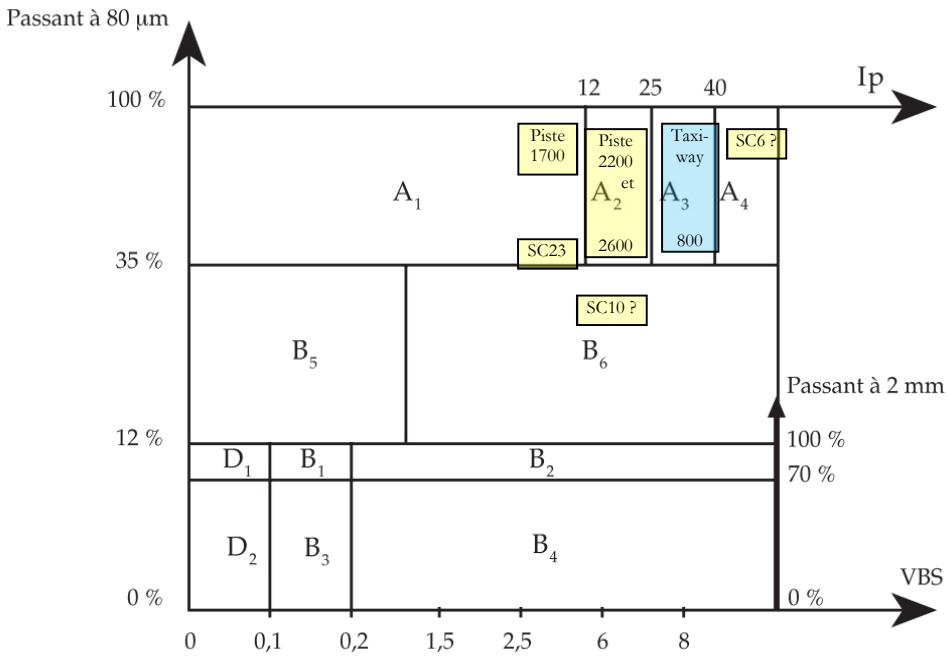


Figure 20. Classement des sols rencontrés sur la piste 03/21, le taxiway (campagne 2010) et les autres aires

2.4.2.2 Données d'archives du LRPC d'Angers

L'étude du LRPC d'Angers de juin 1972 [25] porte sur l'allongement de la piste 03/21. Elle fournit un profil en long géotechnique dans les 205 derniers mètres de la piste actuelle situés à l'extrémité Nord-Est : alluvions, remblais et substratum rocheux proche de la surface (voir annexe 4.8).

A l'époque, neuf sondages avec essais pressiométriques de -0,2 à -2,9 m de profondeur ont été réalisés. Les sols rencontrés indiquent depuis la surface un remblai hétérogène (grave, sable argileux) puis un substratum gneissique peu altéré entre -0,25 m et -2,9 m de profondeur.

En fin de sondage, l'eau était proche de la surface du terrain naturel, « l'évacuation des eaux pluviales étant [à l'époque] inexistante ».

Dans le remblai, les pressions limites pressiométriques en P1, P3 et P9 variaient de 0,3 MPa à 0,7 MPa pour un module compris entre 1,6 MPa et 5,1 MPa. Appliquant la corrélation usuelle moyenne entre le module à plaque E_{v2} et le module pressiométrique E_m à savoir : $E_{v2} = 5*E_m$, on en déduit que le module à la plaque serait compris entre 9 MPa et 25 MPa. Cette plage de variation de module E_{V2} pour un sol A2 dans un état humide est plausible.

Dans le rocher gneissique situé à faible profondeur en P2, P4, P5, P6, P7, P8, les pressions limites pressiométriques ont atteint 4,7 MPa pour un module pressiométrique de 38 MPa.

Avec une autre étude du LRPC Angers de 1990 [26], on dispose de données géotechniques à l'emplacement de la tour de contrôle actuelle, à l'Est de la piste 03/21.

Deux forages pressiométriques ont été réalisés jusqu'à 5,5 m de profondeur. Ils indiquent tous les deux depuis la surface la présence d'une terre végétale jusqu'à 0,3 m ; une argile moyennement consistante, beige claire jusqu'à 0,8 m ; un sable grossier, argileux, jaunâtre à orangé. A la fin des forages, l'eau se situait à 3,4 m de profondeur. Le sol de fondation présentait alors de bonnes caractéristiques mécaniques au-delà de 2 m de profondeur : pressions limites variant de 1,4 à 3 MPa et un module pressiométrique entre 15 et 70 MPa.

2.5 Bilan des données disponibles

Les différents essais d'auscultation collectés comprennent 37 carottages, des mesures radar et des essais HWD réalisés 2010, ainsi que des essais HWD complémentaires réalisés en 2013. Ces différents essais donnent des informations partielles sur les structures en place : épaisseurs totales des matériaux liés (mais sans détail sur les couches et leur état), parfois épaisseur de couche de forme granulaire. Ces informations sont parfois contradictoires avec les épaisseurs de structures de 2000 et nécessitent d'être confirmées.

On ne dispose pas de l'implantation de tous les carottages (seuls 17 sur 37 peuvent être situés avec les documents disponibles).

Pour quelques carottages, on dispose d'analyses du sol support (12 identifications du sol support selon le GTR), et d'un petit nombre de mesures de CBR immédiat, à la teneur en eau naturelle (6 valeurs). Ces résultats d'essais demandent à être confirmés : le nombre d'identifications est très limité, et certains classements de matériaux sont douteux.

Les analyses des essais HWD sont peu détaillées : elles ne comprennent pas de découpage en zones, ni de calcul inverse des modules des couches.

Enfin, on ne dispose pas d'un relevé de dégradations récent et détaillé.

Il apparaît que les données disponibles sont insuffisantes pour réaliser de manière fiable les calculs de dimensionnement avec le logiciel ALIZE Aéronautique et avec la méthode CBR, concernant notamment :

- les caractéristiques des structures de chaussées (nature et état de dégradation des matériaux, épaisseurs des couches, modules des couches) et des couches de forme ;
- les caractéristiques des sols supports, notamment pour pouvoir estimer leur portance (en définissant les cas de partie supérieure des terrassements (PST) et les classes d'arase (AR) rencontrées sur le site) ;

- la prise en compte de l'état hydrique réel des sols supports dans l'évaluation de la portance pour le dimensionnement des structures de chaussée.

Un programme d'auscultations complémentaires a donc été réalisé. Ses résultats sont présentés dans la partie suivante du rapport.

3 Définition, réalisation et exploitation des auscultations complémentaires par le Cerema en septembre 2017

3.1 Programme d'auscultation complémentaire

Le programme d'auscultations a été élaboré en fonction du calendrier fixé pour l'expertise et des moyens mobilisables : les reconnaissances ont pu être réalisées dans la semaine du 11 au 15 septembre 2017 (de nuit).

Compte-tenu de ces fenêtres d'intervention, il a été décidé d'ausculter uniquement la piste 03/21 et le taxiway parallèle. Pour les bretelles et les aires de stationnement, les données disponibles seront utilisées.

Les essais suivants ont été réalisés par le Cerema :

- un relevé de dégradation (réalisé par échantillonnage, sur des zones sélectionnées) ;
- des essais HWD (*Heavy Weight Deflectometer*);
- des carottages des couches de chaussée, prolongés par des sondages à la tarière sur l'épaisseur de la couche de forme (jusqu'à l'arase), dans des zones représentatives ;
- une détection qualitative des composés de type Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans les enrobés prélevés ;
- des essais de module sur couches d'enrobés bitumineux selon NF EN 12697-26 annexe C (compression diamétrale) sur une sélection d'échantillons issus des carottages ;
- des sondages à la tarière dans des zones adjacentes à la piste, au voisinage des zones de carottage, pour l'identification du sol support (identifications selon le GTR, essais IPI (indice de portance immédiat) et CBR.

3.2 Carottages et mesures HWD

3.2.1 Carottages

3.2.1.1 Conditions d'intervention

Les auscultations par carottages et sondages ont été réalisées par le Cerema dans l'emprise de la piste et du taxiway, selon les modalités décrites ci-après :

- matériels utilisés : carotteuse routière Sedidrill (carottier de 150 mm de diamètre) complétée par une sondeuse (équipée d'une tarière de 100 mm de diamètre) pour reconnaître la nature et l'épaisseur des matériaux granulaires (couche de forme, remblais et terrain naturel sous-jacents);

- localisation des carottages : les carottes ont été implantées à 4 m des axes de la piste et du taxiway de la façon suivante :
  - piste 03/21 : total : 6 carottes
    => 1 carotte sur chacune des zones Z1, Z2, Z4, Z5;
    => 2 carottes sur la zone Z3 ;
  - taxiway : total : 3 carottes
    => 1 carotte sur la bretelle A et sur les zones R2 et R5;
- Dates des carottages : nuit du 13 au 14/09/2017 (carottages 1 à 4) et nuit du 14 au 15/09/2017 (carottages 5 à 9).

3.2.1.2 Résultats

Le détail des coupes de carottage, qui figure en annexe 4.9, est synthétisé dans le Tableau 32 et le Tableau 33 .

Tableau 32. Synthèse des épaisseurs de couches de chaussée de la piste 03/21

Piste 03-21	Zone 1	Zone 2	Zone 3
n° carottage	1	2	3
abscisse (m)	300	725	1275
nature / épaisseur (cm) des couches de chaussées	BB : 6,5+3,5+3,0+6,0+5,5= 24,5 cm GC : 14+15 = 29 cm GNT : 30 cm	BB : 9,5+8,0+3,5+4,0+11,5 = 36,5 cm GNT : 54 cm	BB : 7,0+10,0+9,0+5,0+4,0 =35,0 cm GNT : 17 cm Béton : 18 cm
principales observations	BB sains et GC altérée interfaces BB/ GC et GC/GC dégradées arrêt carottage : -59cm dans GNT arrêt sondage : -110 cm dans sable argileux	BB sains interface décollée à -17cm arrêt carottage : -42cm dans GNT arrêt sondage : -140 cm dans sable argileux	BB sains Interface décollée à -26cm arrêt carottage : -40cm dans GNT arrêt sondage : -120 cm dans sable argileux

Piste 03-21	Zone 3	Zone 4	Zone 5
n° carottage	4	5	6
abscisse (m)	2100	2540	2780
nature / épaisseur (cm) des couches de chaussées	BB : 7,0+6,5+10,0+5,5+9,5 +4,5 +4,0 =47,0 cm GNT : 20 cm Béton : 13,5 cm	BB : 7,5+9,5+11,0+13,0 +4,0+4,0 = 49,0 cm GNT : 20 cm	BB : 6,5+7,5+6,5+4,5 =25,0 cm GC : 16+16=32 cm GNT : 24 cm
principales observations	BB sains arrêt carottage : -47cm dans GNT arrêt sondage : -90 cm dans sable argileux	BB sains arrêt carottage : -60cm dans GNT blocage 0/60 entre -69 et -95 cm arrêt sondage : -95 cm dans rocher	BB sains Interfaces BB/GC et GC/GC décollées arrêt carottage et sondage : -80cm dans rocher

Légende : BB : Béton Bitumineux; GC : Grave Ciment; GNT : Grave Non Traitée

Conclusions pour la piste 03/21

Les nouveaux carottages confirment globalement les types de structures de chaussées présents sur les différentes zones de la piste et les épaisseurs de couches tirées des sondages et mesures radar de 2010 (voir partie 2.3.2.3). Ils apportent des informations complémentaires utiles sur l'état des différentes structures.

Zone 1 : on peut noter que les enrobés sont constituées de cinq couches minces (de 3 à 6,5 cm d'épaisseur), qui correspondent vraisemblablement à des entretiens successifs. Les couches d'enrobés sont relativement saines. En revanche la couche de grave-ciment présente des interfaces (BB/GC et GC/GC) fortement dégradées.

Zone 2 : la structure bitumineuse est également constituée de cinq couches successives, avec une première couche un peu plus épaisse à la base (11,5 cm), puis des couches plus minces (3,5 à 9,5 cm). La couche de forme (ou de fondation) en GNT semble plus épaisse que dans les sondages de 2010 : 54 cm d'épaisseur. Les enrobés apparaissent sains, sauf une interface décollée au carottage à -17 cm.

Zone 3 : on retrouve bien la structure ancienne avec de bas en haut une dalle béton, recouverte par une couche de GNT d'environ 20 cm, puis un empilement de couches bitumineuses minces (cinq couches au niveau du sondage 3, sept couches au niveau du sondage 4). Les couches bitumineuses apparaissent saines. Une seule interface a été décollée au carottage (à -26 cm), au niveau du sondage 3.

Zone 4 : le sondage confirme une structure bitumineuse épaisse, avec un empilement de six couches d'enrobés qui apparaissent saines et avec des interfaces collées.

Zone 5 : la structure est très similaire à la zone 1, avec 25 cm d'enrobés (en quatre couches) sur 32 cm de grave ciment. La grave-ciment présente des interfaces BB/GC et GC/GC décollées.

Les carottages indiquent également la présence du substratum rocheux à faible profondeur au niveau de la zone 4 (- 95 cm) et de la zone 5 (-80 cm). Cette information n'était pas donnée par les carottages de 2010.

Tableau 33. Synthèse des épaisseurs de couches de chaussée du taxiway

Taxiway	Bretelle A	Zone R2	Zone R5
n° carottage	7	8	9
abscisse (m)	45	1 305	2 780
nature / épaisseur (cm) des couches de chaussées	BB : 8,0 + 7,0 + 13,5 + 12,0 = 40,5 cm GC : 39 cm GNT : > 6 cm (arrêt carottage)	BB : 8,0 + 8,5 = 16,5 cm GC : 14 + 15 = 29 cm GNT > 15 cm (arrêt carottage)	BB : 6,0 + 15,5 = 21,5 cm GC : 18,5 + 21,5 = 40 cm GNT > 8,5 cm (arrêt carottage)
principales observations	BB et GC sains Interface BB/GC décollée arrêt carottage : -85 cm dans GNT	BB : matériaux de surface fissurés et décollés GC : fissurée sur toute l'épaisseur arrêt carottage : -60 cm dans GNT	BB et GC sains Interface GC/GC décollée arrêt carottage : -70 cm dans GNT

Légende : BB : Béton Bitumineux; GC : Grave Ciment; GNT : Grave Non Traitée

Conclusions pour le taxiway

Pour le taxiway, les nouveaux carottages confirment les caractéristiques et épaisseurs de structures déjà identifiées (partie 2.4.2.3), avec des structures de type enrobés sur grave ciment. On observe des matériaux fortement dégradés sur la zone R2, bien visibles sur le carottage.

Bretelle A : on note une structure plus épaisse que celle rencontrée en 2010 : 40,5 cm d'enrobés, contre 31 cm relevés au radar en 2010. Le carottage confirme la présence d'une couche de GC de 39 cm d'épaisseur, en monocouche, non visible au radar en 2010. Sur cette bretelle les enrobés et la GC sont en bon état, mais l'interface BB / GC est décollée.

Zone R2 : la structure est plus mince que celle rencontrée dans le carottage de 2010, avec 16,5 cm d'enrobés sur 29 cm de grave ciment. On constate que les matériaux sont fortement dégradés :

- **couche de roulement fissurée et interfaces dégradées au niveau des enrobés ;**
- **grave ciment fissurée sur toute son épaisseur et avec des interfaces dégradées.**

Ces observations sont en accord avec les mesures HWD de 2010 (partie 2.4.2.4) qui indiquaient des valeurs de déflexion élevées et dispersées sur la zone R2 traduisant une structure fortement endommagée.

Zone R5 : la structure est en accord avec le carottage de 2010, un peu plus épaisse que sur la zone R2, et en bien meilleur état. Seule l'interface GC/GC est décollée et dégradée. C'est également en accord avec les bien meilleures déflexions observées sur cette zone.

3.2.2 Mesures HWD

3.2.2.1 Réalisation des mesures

Les auscultations au HWD ont été réalisées par le Cerema selon les modalités décrites ci-après :

- matériels utilisés : HWD Dynatest 8082. Le principe du fonctionnement du HWD est rappelé en annexe 4.10;
- diamètre plaque de chargement : 300 mm;
- masse : 700 kg;
- hauteur de chute : environ 400 mm;
- durée d´un choc : 20 à 30 ms;
- nombre et localisation des géophones : 9 à 0 (D1); 200 (D2); 300 (D3); 400 (D4); 600 (D5); 900 (D6); 1 200 (D7); 1 800 (D8); 2 100 mm (D9);
- protocole de chargement "standard" : 1 choc préalable non enregistré + 3 chocs à 240 kN;
- protocole de chargement "complémentaire" (sur certains points spécifiques en nombre limité) : 1 choc préalable non enregistré + 3 chocs à 120 kN + 3 chocs à 240 kN;
- localisation des mesures : 2 lignes de mesures positionnées à 3,5 m de part et d'autre des axes de la piste et du taxiway à raison d'un point tous les 50 m environ (localisation initiale au topomètre de la remorque HWD). Les coordonnées précises de chaque point de mesure sont ensuite relevées au moyen d'un GPS. Le détail des résultats figure en annexe 4.11 ;
- dates des mesures : les mesures ont été réalisées dans les nuits du 13 au 14/09/2017 (piste + 1ère partie du taxiway) et 14 au 15/09/2017 (2ème partie du taxiway);
- températures : les températures de l'air et de la surface auscultée ont été mesurées tout au long de l'intervention.

Une synthèse des mesures de températures est présentée dans le Tableau n°7. Le détail des résultats figure en annexe 4.11;

Tableau 34. Synthèse des mesures de température

		T° surface (°C)	T° air (°C)
nuit du 13-14/09/17 (piste + 1ère partie taxiway)	valeur moyenne	13,9	12,9
	écart-type	0,5	0,3
	valeur max.	14,7	13,7
	valeur min.	12,5	12,5
nuit du 14-15/09/17 (2ème partie taxiway)	valeur moyenne	13,9	12,2
	écart-type	0,4	0,9
	valeur max.	15,2	13,7
	valeur min.	13,1	10,5

- Résultats des mesures : les données brutes des mesures (fichiers ACCESS) et les données traitées (fichiers EXCEL => moyennes des 3 chocs / protocoles de chargement; résultats recalés en abscisses) ont alimenté la phase dimensionnement de l'expertise. La synthèse des résultats de mesures figure en annexe 4.11;
- Interprétation des résultats : elle est présentée ci-dessous, et également dans la partie 3.6 consacrée aux rétro-calculs.

3.2.2.2 Analyses et commentaires relatifs à la piste 03/21

La piste a été auscultée dans la nuit du 13 au 14/09/2017 dans des conditions météorologiques pluvieuses.

Les mesures de déflexion sont réparties selon deux lignes parallèles et distantes de 3,5 m à droite et 3,5 m à gauche de l'axe de la piste. Le pas de mesure est de 50 m. Les mesures ont été réalisées selon les deux protocoles de chargement cités au paragraphe 3.2.2.1. Pour le chargement standard (240 kN), l'écart type sur la force appliquée est faible de l'ordre de 1 kN.

Les résultats sont représentés sur la Figure 21 sous la forme des valeurs brutes de déflexions mesurées sous la charge (D1), qui caractérisent le comportement global de la structure de chaussée.

On distingue un point (1er point de mesure dans le sens 21 => 03) avec une très forte déflexion (> 2 500 µm) qui traduit une faiblesse significative voire une absence de structure de chaussée. Il se situe à la limite de l'emprise de la piste, comme l'indique la localisation GPS des points de mesure (cf. Figure 22). Ce point n'a pas été pris en compte dans l'analyse des zones homogènes de la piste.

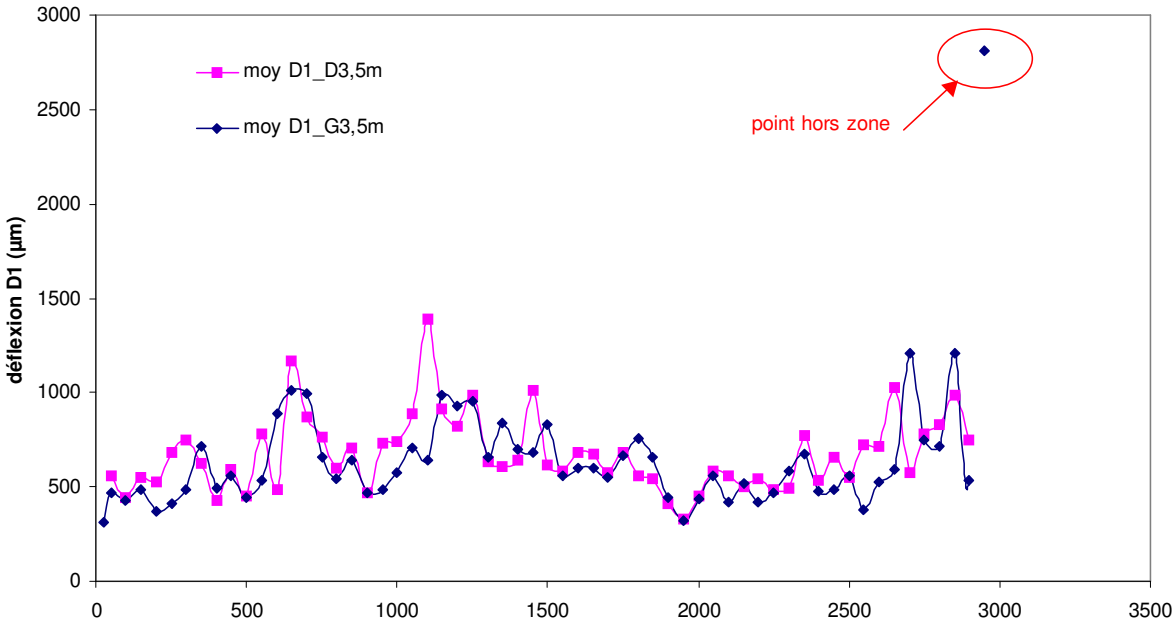
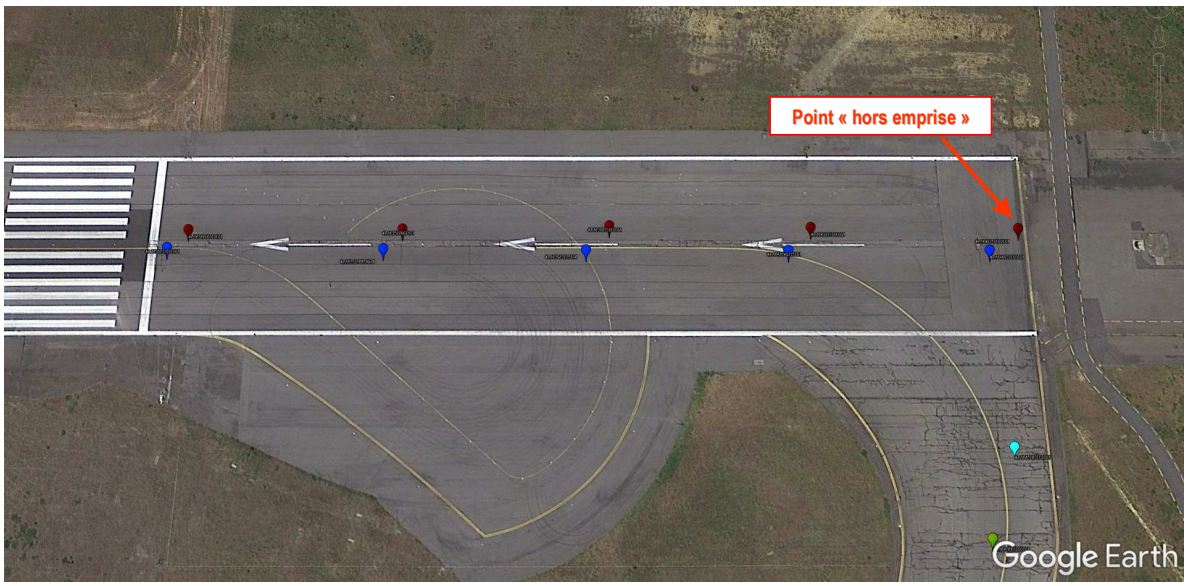


Figure 21. Déflexions D1 issues des auscultations HWD 2017 sur la piste 03/21



: Ligne de mesure piste sens : 03 =>21 (3,5m à droite de l'axe)

: Ligne de mesure piste sens : 21 => 03 (3,5m à gauche de l'axe)

: Ligne de mesure taxiway sens : A => F (3,5m à droite de l'axe)

: Ligne de mesure taxiway sens : F => A (3,5m à gauche de l'axe)

Figure 22. Localisation GPS des points de mesure (point "hors emprise") - source Google earth (image satellite du 21/06/2017)

L'analyse des mesures brutes de déflexions D1 (sous la charge) selon la méthode des sommes cumulées des écarts par rapport à la moyenne permet d'obtenir des zones de comportement homogène similaires entre les profils réalisés à droite et à gauche de l'axe de la piste (cf. Figure 23).

Le découpage en zones homogènes des mesures HWD de 2010 et 2013 apparaît en bonne concordance avec la présente analyse des données structurelles des chaussées et l'historique de construction de l'aéroport. L'interface entre la zone Z4 (extension de 1962, côté seuil 21 : structure Bétons Bitumineux sur Grave Non Traitée) et la zone Z5 (extension de 1973 : structure Bétons Bitumineux sur Grave Ciment) apparaît également.

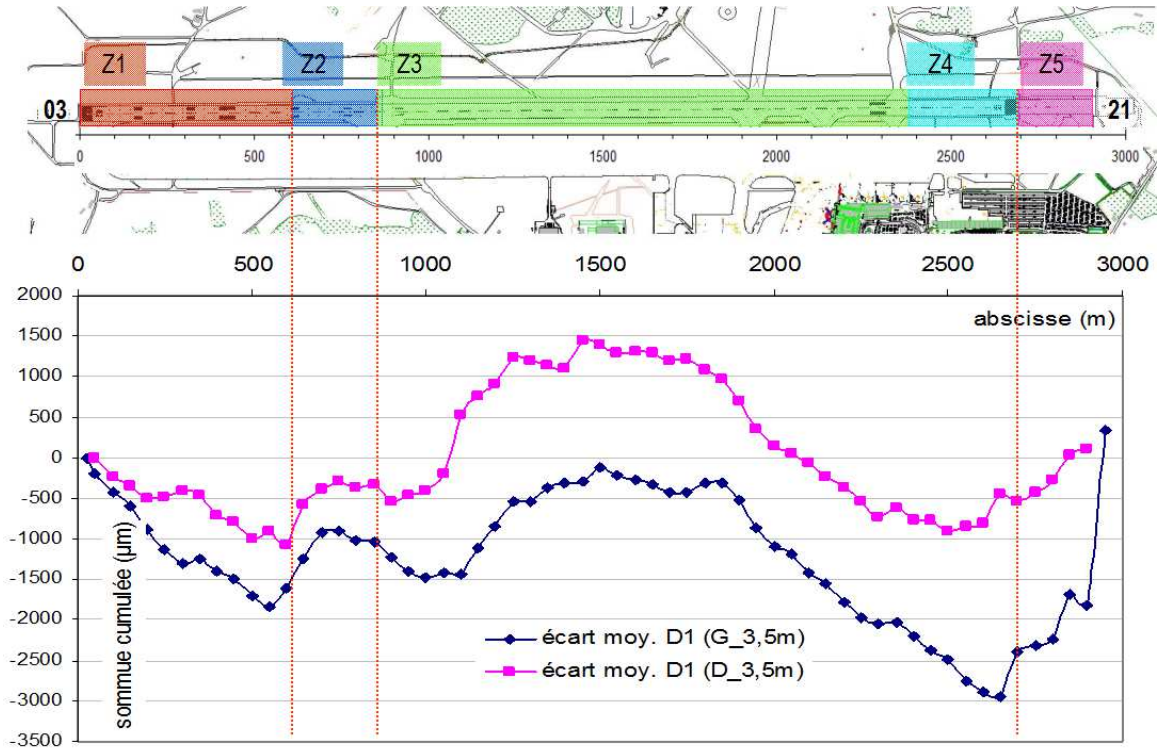


Figure 23. Sommes cumulées des écarts par rapport à la moyenne des déflexions D1 - piste 03/21

Sur la base de cette homogénéité de comportement, les moyennes des résultats de déflexion ont été calculées pour les zones Z1 à Z5 (cf. Figure 3). Les résultats sont présentés sous forme de tableau statistique (Tableau 35) et de graphique des bassins de déflexion (cf. **Erreur ! Référence non valide pour un signet.**).

Tableau 35. Synthèse des résultats de déflexion par zone homogène de la piste 03/21

paramètres	ligne de mesure	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5
D1 moyen	D_3,5 m	572	822	662	683	837
	G_3,5 m	506	769	623	604	802
D1 écart-type	D_3,5 m	118	217	214	171	107
	G_3,5 m	151	216	167	274	289
D1 max.	D_3,5 m	780	1167	1389	1029	990
	G_3,5 m	891	1010	985	1205	1212
D1 min.	D_3,5 m	426	597	332	532	748
	G_3,5 m	313	545	318	380	533
D1-D2 moyen	D_3,5 m	122	167	135	168	110
	G_3,5 m	118	151	124	128	155
D1-D5 moyen	D_3,5 m	258	396	308	389	340
	G_3,5 m	244	372	284	305	437

XX XX : 1ère et 2ème valeurs les plus élevées
(valeurs en µm)

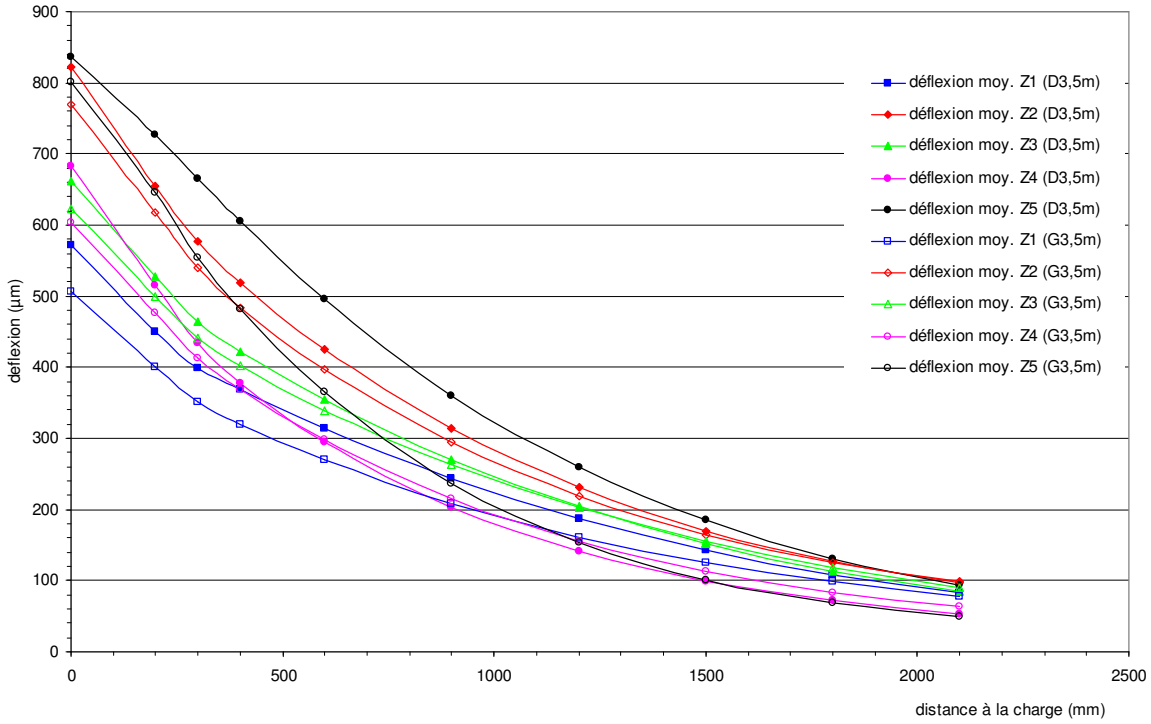


Figure 24. Bassins de déflexion pour les zones Z1 à Z5 de la piste

Conclusions pour la piste

Les mesures de déflexion réalisées en septembre 2017 valident globalement les valeurs de 2010.

L'auscultation de 2013, avec des valeurs de déflexion nettement plus faibles sur la ligne de mesures située 5 m à gauche de l'axe, n'est pas en cohérence avec les résultats obtenus en 2010 et en 2017.

Au-delà de l'augmentation des valeurs moyennes et maximales, l'analyse des déflexions mesurées sous la charge (D1) en 2017 permet d'identifier les zones n°5 (extension de 1973) et n°2 (extension de 1967) comme les plus faibles du point de vue structurel. Les analyses inverses des bassins de déflexion permettront d'affiner ce diagnostic.

La zone n°2 est celle d'épaisseur de matériau traité la plus faible (36 à 40 cm).

Si la différence de déflexion entre D1 (sous la charge) et D5 (point de mesure situé à 600 mm de la charge) est utilisée pour appréhender le rayon de courbure et plus spécifiquement les dysfonctionnements en profondeur (couche de fondation), ce sont logiquement les zones Z2 et Z4 (qui reposent sur une assise granulaire) qui apparaissent comme les moins résistantes.

3.2.2.3 Analyses et commentaires relatifs au taxiway

Le taxiway a été ausculté dans les nuits du 13 au 14 et du 14 au 15/09/2017. Les mesures de déflexion sont réparties selon deux lignes parallèles et distantes de 3,5 m à droite et 3,5 m à gauche de l'axe du taxiway. Le pas de mesure est de 50 m. Sur certaines parties dégradées en surface, le pas de mesure a été localement resserré. Les mesures ont été réalisées selon les deux protocoles de chargement cités au paragraphe 3.2.2.1. Pour le chargement standard (240 kN), l'écart type sur la force appliquée est faible, de l'ordre de 2 kN.

Les résultats sont représentés sur la Figure 25 sous la forme des valeurs brutes de déflexion mesurée sous la charge (D1), qui indique le comportement global de la structure de chaussée.

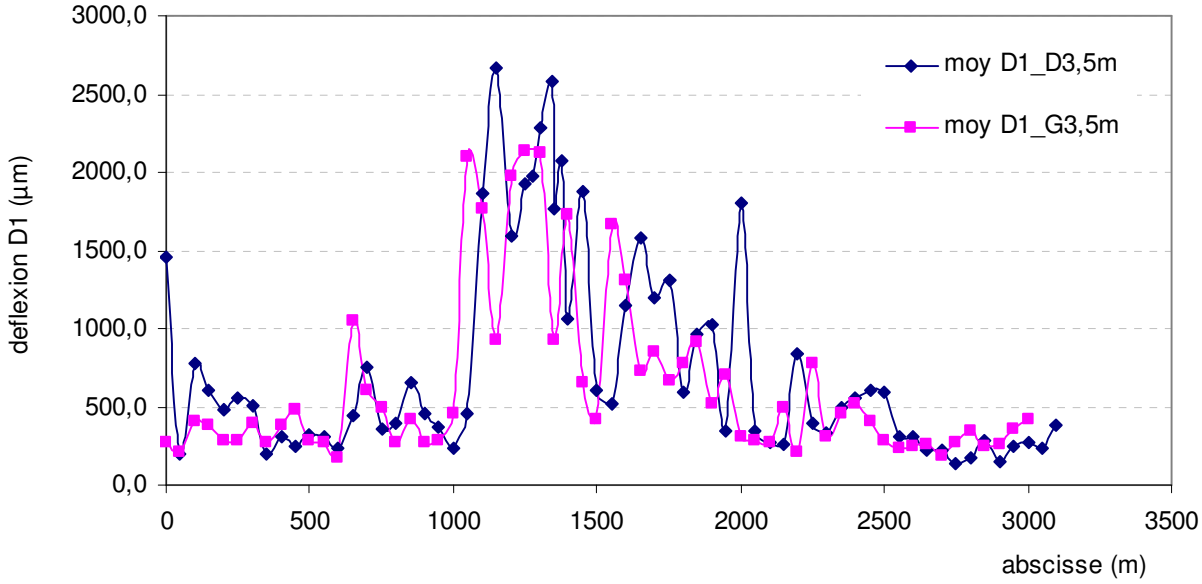


Figure 25. Déflexions D1 issues des auscultations HWD 2017 sur le taxiway

L'analyse des mesures brutes de déflexion D1 (sous la charge) selon la méthode des sommes cumulées des écarts par rapport à la moyenne permet d'obtenir des zones de comportement homogène similaires entre les profils réalisés à droite et à gauche de l'axe du taxiway (cf. Figure 26).

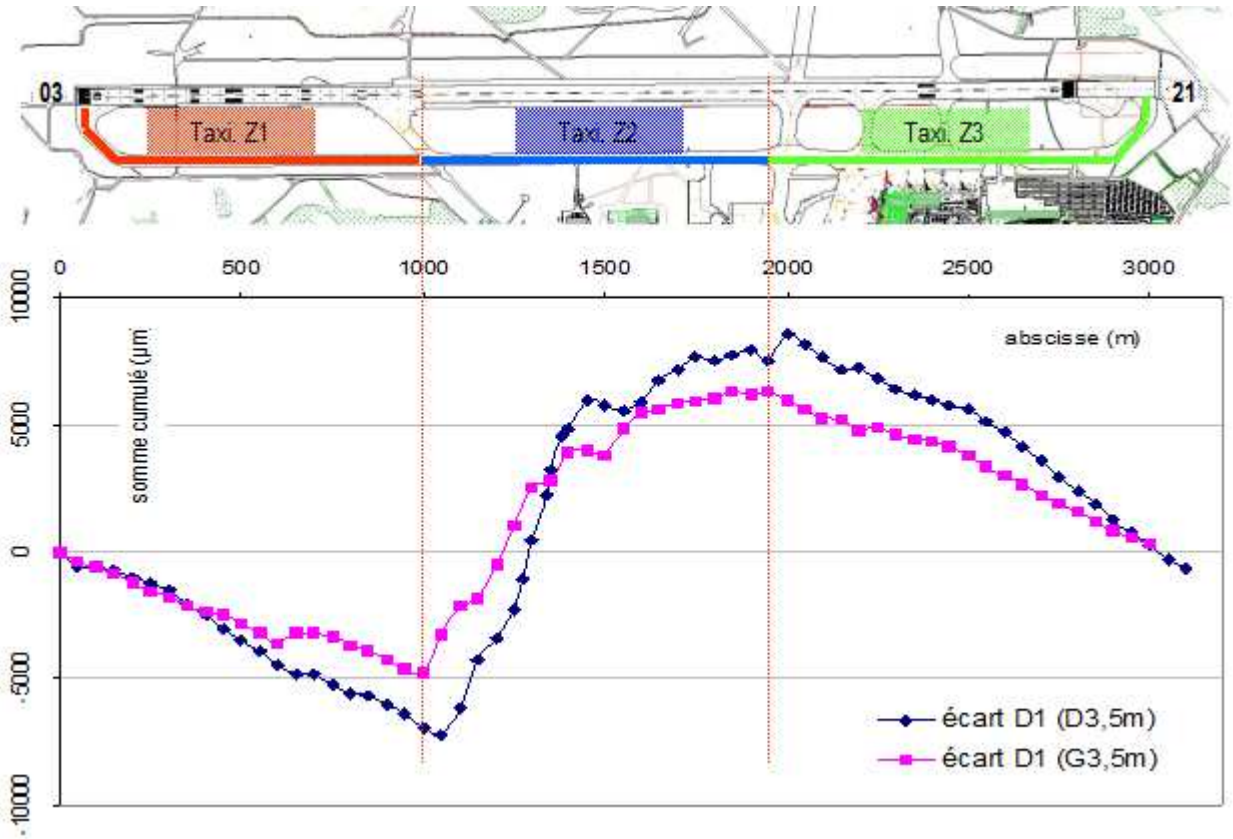
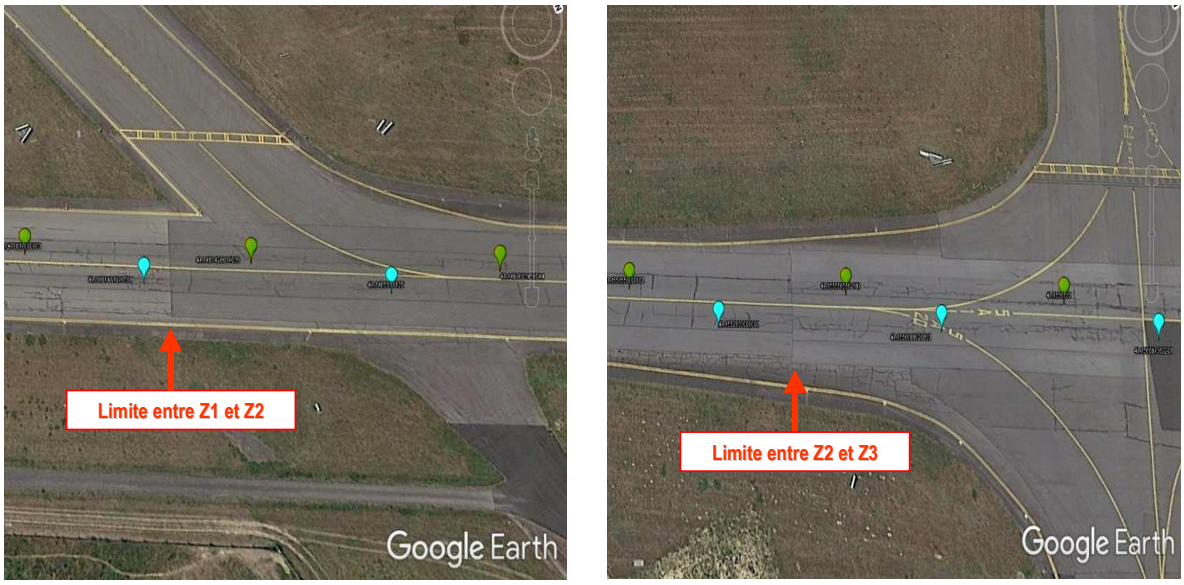


Figure 26. Sommes cumulées des écarts par rapport à la moyenne des déflexions D1 - Taxiway

Même si nous ne disposons pas de l'historique de construction et d'entretien du taxiway, l'analyse des déflexions, qui suggère un découpage en trois zones homogènes, semble correspondre à une logique :

- d'entretien des couches de chaussées => les limites entre les zones 1 et 2 et entre les zones 2 et 3 correspondent à des jonctions de chantiers d'âges différents (cf. Figure 27);
- d'exploitation de l'ouvrage => la zone 2, avec les plus fortes déflexions, pourrait être confrontée à un trafic plus intense du fait de son positionnement entre les bretelles B et C.



: Ligne de mesure taxiway sens : A => F (3,5m à droite de l'axe)

: Ligne de mesure taxiway sens : F => A (3,5m à gauche de l'axe)

Figure 27. Localisation GPS des points de mesure (limites entre Z1/Z2 et Z2/Z3) - source Google earth (image satellite du 21/06/2017)

Sur la base de cette homogénéité de comportement, les moyennes des résultats de déflexion ont été calculées sur chacune des zones Z1 à Z3. Les résultats sont présentés sous forme de tableau statistique (cf. Tableau 36) et de graphique des bassins de déflexion (cf. Figure 28).

Tableau 36. Synthèse des résultats de déflexion par zone homogène du taxiway

paramètres	ligne de mesure	taxiway zone 1	taxiway zone 2	taxiway zone 3	taxiway
D1 moyen	D_3,5 m	469	1489	347	768
	G_3,5 m	455	1112	341	622
D1 écart-type	D_3,5 m	279	661	175	665
	G_3,5 m	410	601	140	535
D1 max.	D_3,5 m	1460	2661	842	2661
	G_3,5 m	2099	2141	777	2141
D1 min.	D_3,5 m	194	347	135	135
	G_3,5 m	175	309	179	175
D1-D2 moyen	D_3,5 m	97	193	73	121
	G_3,5 m	69	179	71	105
D1-D5 moyen	D_3,5 m	211	748	150	369
	G_3,5 m	197	563	151	296

XX XX : 1ère et 2ème valeurs les plus élevées

(valeurs en µm)

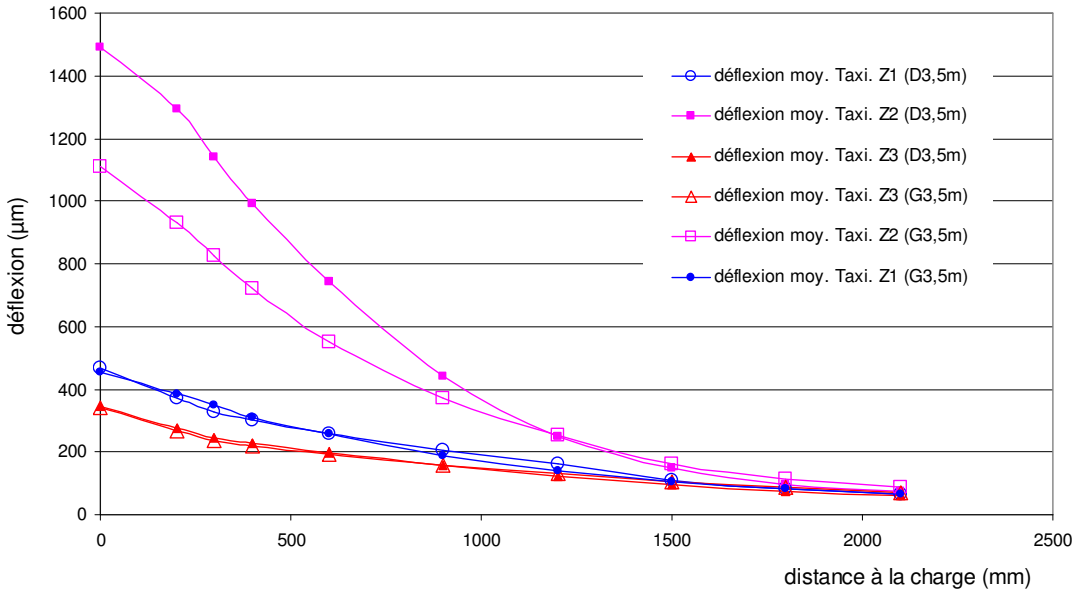


Figure 28. Bassins de déflexion pour les zones Z1 à Z3 du taxiway

L'analyse des déflexions mesurées sous la charge (D1), permet d'identifier la zone n°2 (tronçon du taxiway situé entre les bretelles B et C) comme la plus faible d'un point de vue du comportement structurel des couches de chaussées. La moyenne des déflexions D1 y dépasse les 1 400 µm et plusieurs points dépassent les 2 000 µm.

S'il apparaît clairement que la faiblesse concerne les couches de surface (cf. état visuel / niveau de fissuration), le rayon de courbure (Figure 28 + indicateur D1-D5) indique aussi clairement des dysfonctionnements en profondeur (couche de fondation).

Cette faiblesse structurelle de la zone n°2 est également associée à une certaine hétérogénéité transversale du comportement que l'on ne retrouve pas pour les zones n°1 et n°3. Ces résultats sont en accord avec les carottages (Rincent BTP en 2010 et Cerema en septembre 2017), qui indiquaient des matériaux fortement dégradés dans cette zone (en particulier la grave-ciment, qui présente des fissurations et des interfaces très dégradées).

3.2.3 Détection qualitative des composés de type Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

De façon à pouvoir évaluer la nature des liants hydrocarbonés utilisés lors des phases de construction et d'entretien des couches de chaussée de la piste et du taxiway, une détection des composés Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) a été entreprise au moyen d'un test colorimétrique (bombe / spray PAK-MARKER).

Cette détection ne s'est avérée positive (forte coloration jaune, amplifiée en lumière UV) que pour deux carottes de la piste 03/21. Il s'agit des carottes n°2 et n°6, situées respectivement dans les extensions de 1967 (zone 2) et de 1973 (zone 5).

Pour ces deux carottes, la couche pour laquelle on peut supposer une teneur en HAP élevée (supérieure au seuil de 50 mg/kg qui autorise une valorisation sans restriction des matériaux considérés comme inertes) correspond à une couche profonde (la quatrième couche en partant de la surface, cf. Figure 29 ci-après).

Carottes n°2 et 6 : couches positives au test HAP (PAK-MARKER) : lumière visible et UV

Figure 29. Détection positive de HAP sur carottes 2 et 6

Cette réaction positive peut correspondre à des produits hydrocarbonés issus de la carbochimie (goudrons de houille, brais, huiles) qui ont été utilisés (purs ou en mélange avec du bitume) jusque dans les années 1990 dans la construction de chaussées aéroportuaires. Ces produits étaient choisis notamment pour leurs propriétés « anti-k » (résistance vis-à-vis du pouvoir solvant du kérosène et d'autres carburants aéronautiques).

La teneur en HAP des matériaux issus des couches profondes de la piste 03/21 pourra être précisée par une méthode quantitative (de type chromatographie gaz / spectrométrie de masse), de façon à déterminer les volumes de matériaux concernés dans un scénario de réfection de la piste.

3.2.4 Essais de module sur enrobés bitumineux

Le module de rigidité des enrobés a été déterminé par le Cerema sur les carottes de matériaux bitumineux avec la méthode de compression diamétrale (NF EN 12697-26 annexe C).

Bien que cette méthode ne serve pas à l'heure actuelle de référence en termes de dimensionnement (module complexe : NF EN 12697-26 annexe A ; 15°C / 10 Hz), elle est cependant légitime pour une caractérisation rapide de matériaux bitumineux prélevés sur site par carottage.

De façon à obtenir des résultats dans un délai relativement court, le choix a été fait de réduire le nombre d'essais en testant:

- deux carottes issues de la piste 03/21 : carottes n°2 et 5, situées respectivement dans les extensions de 1967 (zone 2) et de 1962 (zone 4), zones possédant une structure en matériaux bitumineux uniquement.
- les couches profondes des carottes précitées, sur lesquelles la question du module se pose le plus compte tenu de l'âge et des incertitudes sur la nature des matériaux. Ces couches sont notées de B à E. La couche de surface récente (notée A) a été testée dans un second temps.

Les carottes précitées ont été sciées à l'eau de façon à obtenir les éprouvettes identifiées dans le Tableau 37.

Les essais de compression diamétrale ont été réalisés selon la norme NF EN 12697-26 (annexe C) avec un temps de montée de 124 ms. Toutes les éprouvettes ont été testées à 15°C et 10°C. Chaque éprouvette est soumise à deux essais (sur 2 diamètres perpendiculaires) : la moyenne des deux modules est notée en tant que module de rigidité de l'éprouvette.

Des travaux récents ont validé une équivalence entre les mesures de module en compression diamétrale (NF EN 12697-26 annexe C) et les méthodes de référence (NF EN 12697-26 annexe A ; 15°C / 10 Hz). La formule de calcul d'un module « équivalent », qui figure dans le projet de révision de la norme de dimensionnement des chaussées (NF P 98-086) en cours de validation, est la suivante :

$$E(15°C, 10\ Hz) = 0{,}5 \times [E_{IT}(10°C, 124\ ms) + E_{IT}(15°C, 124\ ms)]$$

La synthèse des résultats figure dans le Tableau 37. Les rapports d'essais sont disponibles en annexe 4.13.

Tableau 37. Géométrie et module des éprouvettes d'enrobés testées en module NF EN 12697-26 (annexe C)

N° éprouvette (n°carotte- réf. couche)	Diamètre moyen (mm)	Épaisseur moyenne (mm)	observations	Module mesuré (MPa)		Module équivalent calculé (MPa)
				15°C	10°C	15°C – 10 Hz
2-A	142,9	54,4	-	5613	9636	**7625**
2-B	142,9	54,8	-	3469	6089	**4779**
2-C	143,0	35,4	-	1971	3609	**2790**
2-D	143,1	26,8	Présence de HAP, forte odeur aromatique	9154	10880	**10017**
2-E	143,0	56,7	nombreux vides grossiers ; odeur aromatique sur la face supérieure, en contact avec la couche 2D	1194	1915	**1555**
5-A	143,0	53,1	-	5635	10137	**7886**
5-B	143,0	48,9	-	4795	8161	**6478**
5-C	143,0	48,8	-	3408	5879	**4644**
5-D	143,1	49,7	-	4842	7213	**6028**

On constate que les valeurs extrêmes des modules sont obtenues sur deux couches singulières de la carotte n°2 :

- le module équivalent le plus élevé (10 017 MPa) concerne l'éprouvette 2-D (couche de 4 cm) sur laquelle on a détecté la présence de HAP.
- le module équivalent le plus faible (1 555 MPa) concerne l'éprouvette 2-E (couche de 11,5 cm d'un enrobé 0/14 mm) sur laquelle on distingue des vides nombreux et grossiers qui pourraient expliquer une faible valeur de module;
- à l'exception de l'éprouvette 2-D, les modules obtenus sont globalement assez faibles pour des matériaux anciens (pour lesquels le bitume a vieilli). Ils sont plus faibles que ceux de la couche de surface en BB aéronautique, qui est plus récente.

La spécificité du liant non bitumineux (ou non exclusivement bitumineux) pourrait expliquer la valeur de module élevé de l'éprouvette 2D. Les goudrons routiers (qui étaient formulés à partir de brai fluxé par diverses fractions d'huiles de goudron) sont en effet connus pour la prépondérance de l'évaporation des huiles légères dans leur vieillissement, générant un durcissement et une évolution vers un matériau fragile et cassant(*). C'est ce mode de vieillissement spécifique (différent de celui d'un liant bitumineux) qui est susceptible d'avoir généré une rigidification spécifique de la couche 2-D (micro-béton de goudron), quand cette dernière était une couche de surface exposée aux intempéries, facilitant ainsi l'évaporation des huiles légères.

On peut également envisager une migration par diffusion de certaines huiles du goudron de la couche 2-D vers la couche sous-jacente 2-E dans laquelle on décèle également une odeur d'aromatique. Ce phénomène (qui pourraient être confirmé par des analyses complémentaires : ex. IRTF en sonde ATR ; consistance du liant) pourrait contribuer à faire baisser le module d'un matériau déjà peu rigide du fait de sa nature et de son fort pourcentage de vides.

(*) Bulletin de Liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées n°50, janv. février 1971, p. 47-51

3.3 Relevé visuel des dégradations

3.3.1 Analyse des données disponibles

Les documents suivants fournis par AGO ont été utilisés pour effectuer la synthèse des données disponibles :

- historique des réfections des chaussées 2010-2014, indiquant les zones ayant fait l'objet d'un remplacement de la couche de roulement sur la période 2010-2016.
- histogramme d'Indice de Service (IS) global sur la piste 03/21 réalisé en février 2014, et ses fichiers bruts.
- histogrammes d'IS global/structurel/superficiel sur la piste 03/21 issus du relevé réalisé en mars 2015, accompagné du bilan des dégradations, des histogrammes des différentes valeurs d'IS (global, structurel et superficiel) et des fichiers bruts.
- graphique d'IS global sur la piste 03/21 réalisé en mai 2016, accompagné du bilan des dégradations, des fiches de relevé, de l'histogramme de l'IS global et des fichiers bruts, au format du logiciel ISv_2 du STAC.

3.3.2 Travaux récents sur la piste

La piste a fait l'objet de travaux de réfection de la couche de roulement. Ainsi, au cours des sept dernières années, celle-ci a été remplacée sur les 16 mètres centraux, sur l'ensemble de la longueur de piste, selon la séquence suivante :

- 2010 : du pm 700 au pm 1 000, du pm 2 650 au pm 2 900
- 2011 : du pm 1 000 au pm 1 800
- 2012 : du pm 1 800 au pm 2 100
- 2015 : du pm 2 100 au pm 2 650
- 2016 : du pm 100 au pm 700.

Ces séquences de travaux sont indiquées sur la Figure 30. Les distances sont indicatives ; elles ont été relevées sur le plan de masse fourni par le gestionnaire AGO.

3.3.3 Précédents relevés de dégradations de la piste

Les trois derniers relevés de dégradations réalisés sur la piste mettent en évidence une évolution rapide des dégradations, notamment entre février 2014 et février 2015. Les indices de service relevés en 2014 et 2015 sont présentés sur la Figure 31 et la Figure 32.

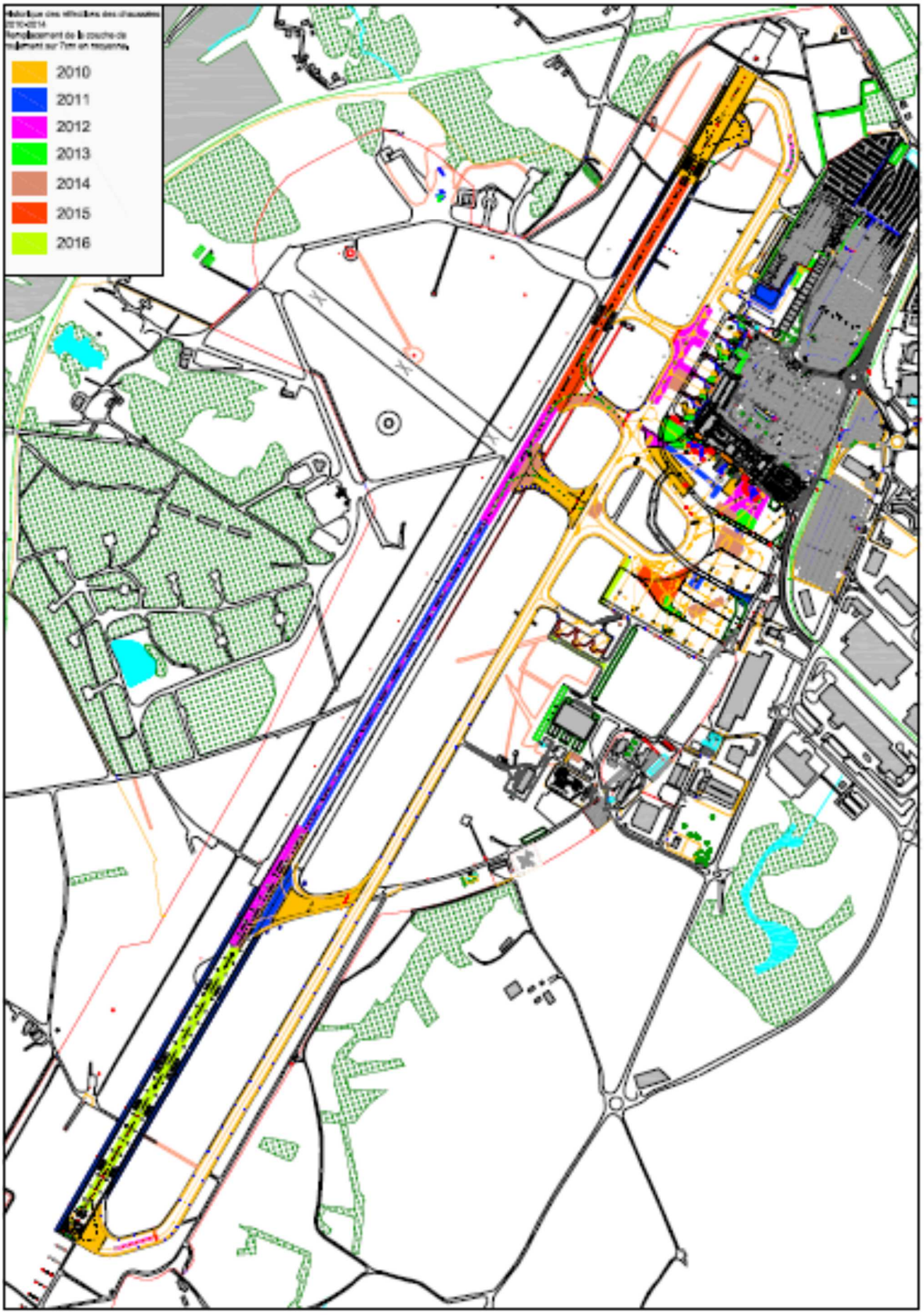


Figure 30. Travaux de réfection des couches de roulement réalisés sur l'aéroport de Nantes-Atlantique depuis 2010

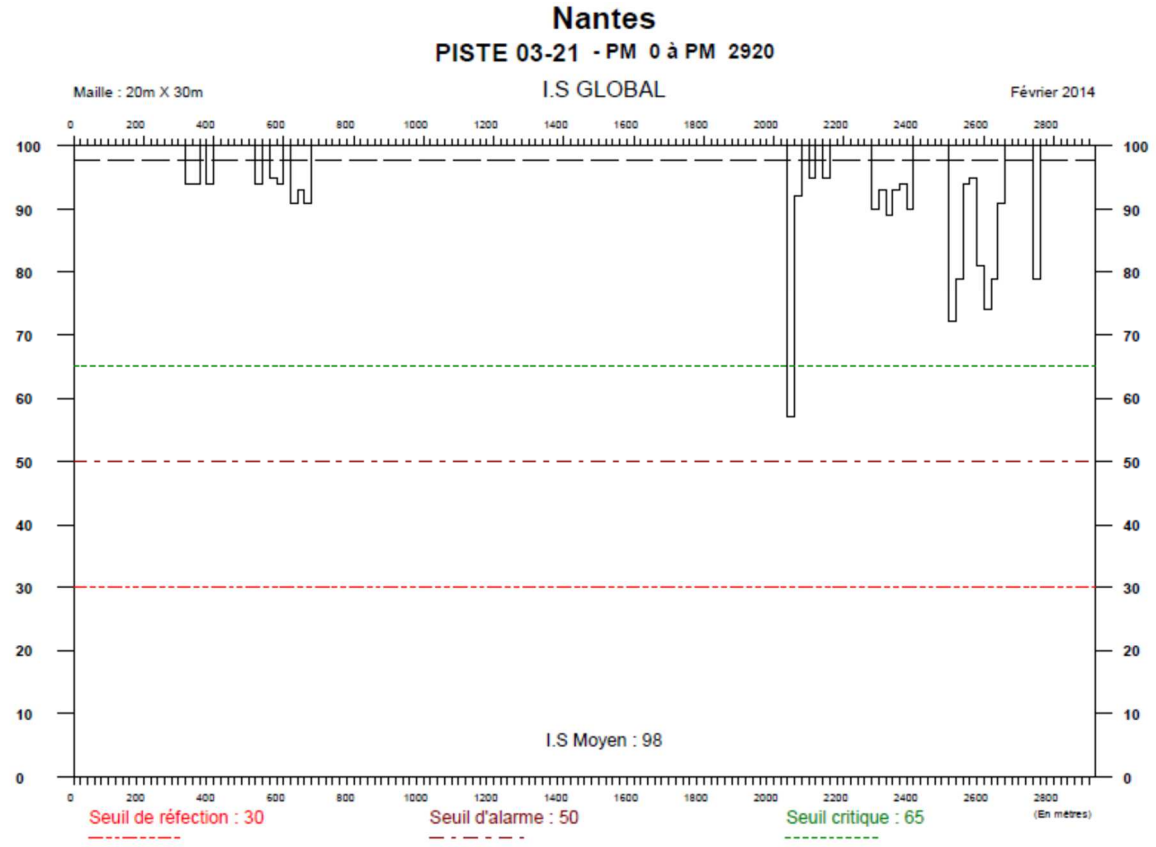


Figure 31. Relevés d'Indice de Service réalisés sur la piste 03/21 en février 2014

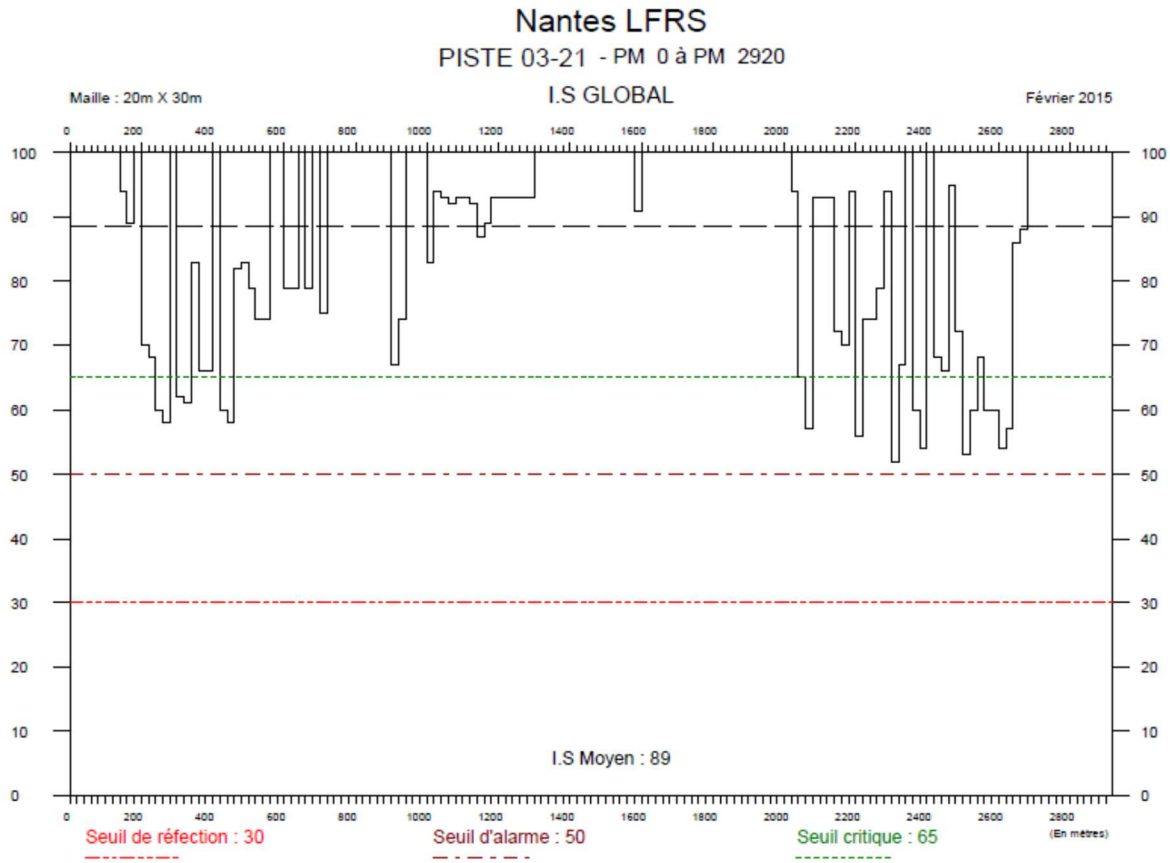


Figure 32. Relevés d'Indice de Service réalisés sur la piste 03/21 en mars 2015

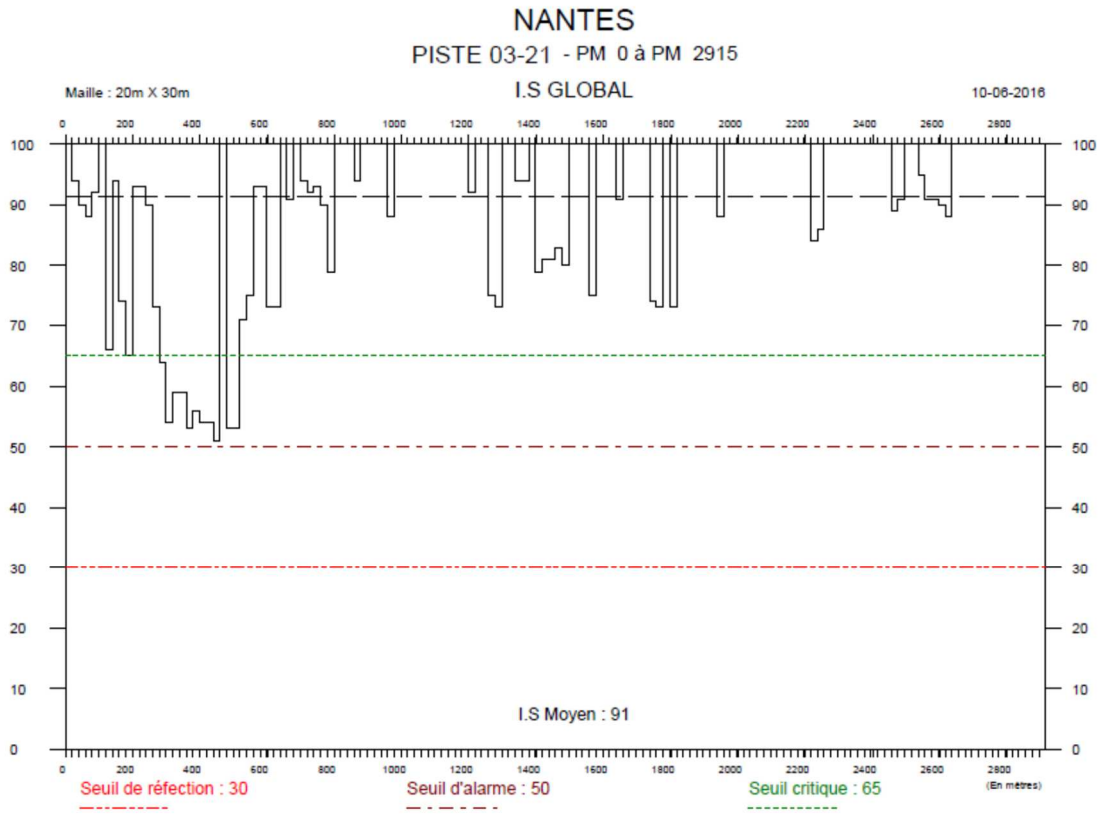


Figure 33. Relevés d'Indice de Service réalisés sur la piste 03/21 en mai 2016

En 2014, les dégradations sont très peu nombreuses, essentiellement des fissures de joint et de retrait, à mettre en relation avec l'âge de la couche de roulement, et des fissures de fatigue. Quelques fissures de fatigue sont identifiées entre les pm 2 280 et 2 640, abaissant la valeur de l'indice de service calculée sur cette section (Figure 31).

En 2015, deux sections évoluent rapidement (pm 200 à pm 700 et pm 2 100 à pm 2 700). Ces deux sections correspondent au toucher des roues à l'atterrissage et elles sont également circulées à basse vitesse avant les décollages. Il est à noter cependant que sur la section pm 2 700 à pm 2 900, correspondant à l'extrémité de piste côté seuil 21 et qui est donc circulée à basse vitesse, on ne voit pas apparaître de dégradations au cours de cette période (la couche de roulement y est très certainement plus récente). L'évolution observée de la surface est à mettre en relation avec l'apparition de faïençage de fatigue (Figure 32).

Le relevé conduit en mai 2016 (Figure 33) est influencé par la réfection de la couche de roulement opérée en 2015. Ainsi, les dégradations sur la section pm 2 100 et pm 2 700 disparaissent complètement, à l'exception cependant de celles localisées sur la partie extérieure de la maille du relevé (au-delà des 16 mètres centraux). Il est intéressant de constater encore la présence de fissures de fatigue sur cette section, ce type de dégradation étant engendrée par la circulation répétée des charges et donc normalement localisée à proximité de l'axe de piste. L'interprétation de la typologie de la dégradation n'apparaît donc pas évidente. Sur la section pm 200 à pm 700, les fissures de fatigue précédemment observées semblent s'être multipliées et avoir évolué en faïençage. Quelques déformations « en W » ont été relevées sur cette même section, pouvant mettre en avant une fatigue de la structure.

3.3.4 Relevé de dégradations de septembre 2017

3.3.4.1 Conditions d'intervention

Dans le cadre de cette expertise, un relevé de dégradations a été conduit sur la piste et le taxiway par une équipe du Cerema, en septembre 2017.

L'aire de manœuvre était rendue disponible par le gestionnaire sur des créneaux entre 23 h et 5 h 30. Le relevé sur la piste et le taxiway a été mené au cours de la nuit du 13 au 14 septembre 2017. L'éclairage de la zone de travail a été assuré par un ballon de 600 W fixé sur un mât de 3 m de haut. Ces conditions n'ont pas permis de procéder à un relevé exhaustif, mais cette intervention a permis une prise de connaissance de l'infrastructure et des principales dégradations.

Le relevé a été réalisé sur le principe de l'échantillonnage tel que défini par le guide « Méthode Indice de Service », STAC, 2003. Selon l'écart-type issu du précédent relevé sur la piste, une maille sur cinq a été inspectée. Ce même principe a été retenu sur le taxiway, en l'absence d'autres informations.

Avec la collaboration de la Brigade de gendarmerie présente sur l'aéroport, l'aire de trafic a pu être visitée en fin d'après-midi du 12 septembre 2017 afin de constater les dégradations des principales zones.

3.3.4.2 Relevés sur la piste

Les travaux réalisés très récemment (2015 et 2016) sur les sections identifiées précédemment comme les plus dégradées (pm 200 à 700 et pm 2 100 à 2 700) ont effacé les dégradations présentes dans les 16 m centraux, zone d'emprise des travaux de reprise.

Pour cette raison, les principales dégradations relevées en septembre 2017 se limitent quasiment à des fissures de joint ou de retrait présentes entre 8 et 15 m de l'axe. Ces fissures sont à relier à l'âge avancé de la couche de roulement sur ces surfaces. Les linéaires de fissures observés sont très nettement supérieurs à ceux constatés par le gestionnaire en 2015 :

- de l'ordre de 80 m de fissures de joint par maille, au lieu de valeurs inférieures à 10 m,
- de l'ordre de 40 à 80 m de fissures de retrait par maille, au lieu de valeurs inférieures à 10 m.

Les fiches de relevé récapitulant les dégradations qui ont pu être observées sont données en annexe 4.14.

Ces différences peuvent s'expliquer par la politique du gestionnaire de pontage de fissures. Le relevé peut alors servir de support pour la commande de pontage. En conséquence toutes les fissures pontées et en bon état ne sont pas comptabilisées.

On note également la présence d'empreintes de pneumatiques en extrémité de piste, côté seuil 21, au pm 2 700 (Figure 37).

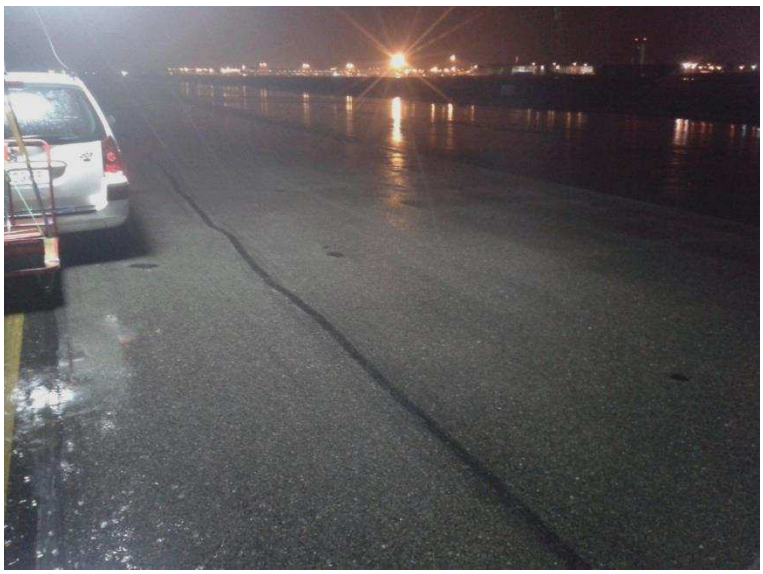


Figure 34. Fissure de joint à proximité de l'axe (pm 950, zone 3)

Figure 35. Fissures de fatigue près du seuil 03 (pm 95, zone 1)

Figure 36. Fissure de joint (premier plan) et fissures de retrait pontées (arrière-plan) sur la zone 3 (pm 1 660)

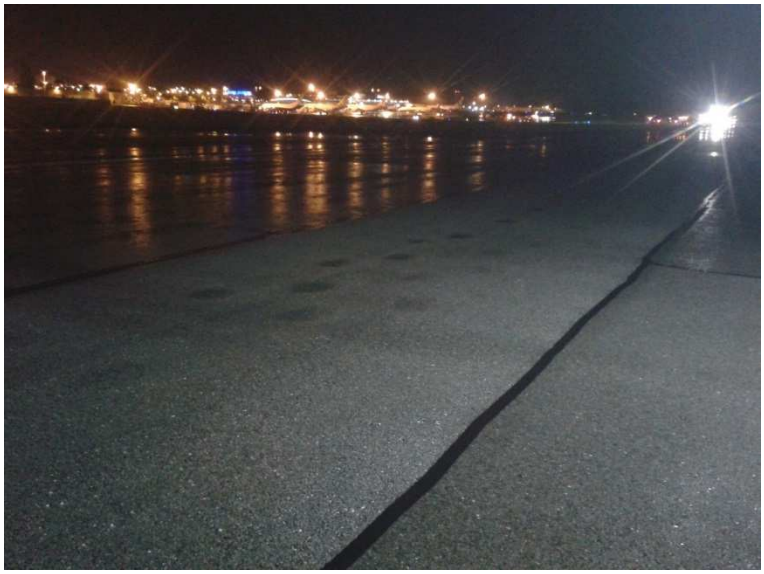


Figure 37. Empreintes de pneumatiques près du seuil 21 (pm 2 700, zone 5)

3.3.4.3 Relevés sur le taxiway (bretelle F, taxiway R et bretelle A)

La bretelle A ne présente pas de dégradations. La couche de roulement a été renouvelée du pm 85 au pm 195 sur les 4 m centraux.

La zone R1 du taxiway est affectée pour l'essentiel de dégradations superficielles (fissures de joint et fissures de retrait pouvant évoluer en faïençage (Figure 38). Les 100 premiers mètres sont affectés par des remontées de fines grises à travers des fissures existantes à proximité immédiate de l'axe (Figure 39).

Figure 38. Remontée de fines et fissures de retrait et de joint pontées (zone R1)

(Les traces blanches sont de la peinture apposée par AGO)

Figure 39. Remontée de fines à proximité de l'axe (zone R1)

La zone R2 du taxiway présente, en plus des fissures de retrait et de joint, de très nombreuses flaches sur des surfaces pouvant atteindre 40 m² et des profondeurs de l'ordre de 3 à 4 cm. Ces flaches se situent à environ à 3 ou 4 m de l'axe dans la zone de passage des trains d'atterrissage des aéronefs moyen-courrier de type A320 ou B737. Elles sont la plupart du temps associées à une fissuration de fatigue au sommet du bourrelet, en périphérie de la dépression. Ces flaches traduisent une faiblesse importante de la structure sur la zone R2.

Figure 40. Flache à 3-4 m de l'axe et fissures (zone R2)

Figure 41. Flache pouvant atteindre une profondeur supérieure à 3 cm (zone R2)

Sur les zones R3 et R4 du taxiway, on constate quelques dégradations d'origine structurelle (fissures ou faïençages de fatigue et orniérages de niveau de gravité léger) qui accompagnent des dégradations d'origine superficielle (fissures de joint et de retrait).

Depuis le pm 2 280 jusqu'au pm 2 550, la couche de roulement a été remplacée lors de l'été 2012 et ne présente pas de dégradations. Au-delà, sur la zone R5, on retrouve les dégradations déjà observées sur les zones R3 et R4 du taxiway.

La bretelle F présente un faïençage de fatigue généralisé sur les 100 derniers mètres, côté seuil 21. En-deçà, les principales dégradations sont des fissures de joint et de retrait. Une flache de 50 m² pour une profondeur maximale de 2 cm est observé au pm 2 980. La couche de roulement de cette bretelle a été remplacée lors de l'été 2012, du pm 2 940 au pm 2 840, sur les 4 m centraux.

Figure 42. Faïençage de retrait généralisé (bretelle F)

Figure 43. Flache au pm 2 980 (bretelle F)

Les fiches de relevé récapitulant les dégradations qui ont pu être observées sont données en annexe 4.15.

3.3.4.4 Observations sur les parkings

Les postes de stationnement de l'aire Lima et du parking principal (postes 1 à 7) ont fait l'objet de nombreuses réparations sur des superficies plus ou moins grandes en raison de phénomènes de poinçonnement liés aux aéronefs ou aux passerelles, phénomènes qui sont prévisibles sur des aires de stationnement en enrobés bitumineux.

Certaines réparations ont été opérées la semaine précédant notre visite (poste Lima 1, Figure 44). Sur la même aire Lima, on peut observer des reprises localisées sous l'emplacement des trains sur les postes L2, L3 et L4 (Figure 45 et Figure 46). Cette aire est destinée à accueillir des avions régionaux, selon les indications apposées sur les postes (CRJ, Embraer, B 717…).

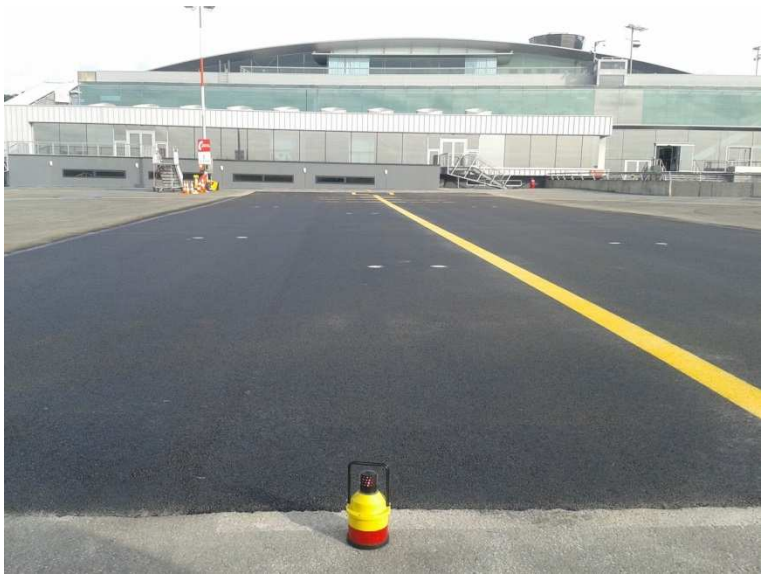


Figure 44. Reprise généralisée du poste L1 (les pastilles blanches sont les résidus de la mesure de la PMT par la méthode à la tache)

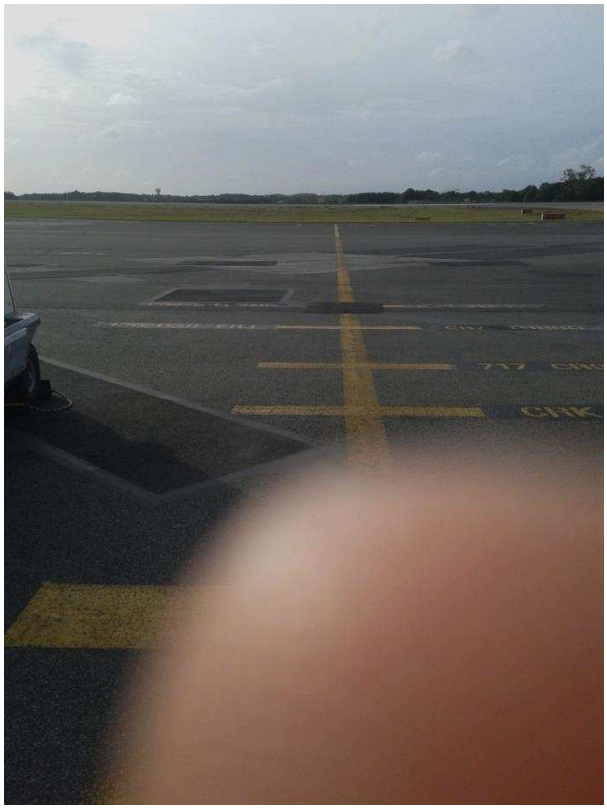


Figure 45. Reprise localisée sous les trains d'atterrissage (poste L2)

Figure 46. Reprise localisée sous les trains d'atterrissage (poste L3)

L'aire de stationnement principale (postes 1 à 7) est destinée à accueillir des aéronefs de plus grande capacité et est équipée de passerelles. Cette aire présente des zones significatives de poinçonnement liées au stationnement des aéronefs ou à la présence des passerelles (Figure 47 à Figure 50).

Figure 47. Poinçonnement sur poste 1 (enrobés de 2013)

Figure 48. Détail de la profondeur du poinçonnement poste 1

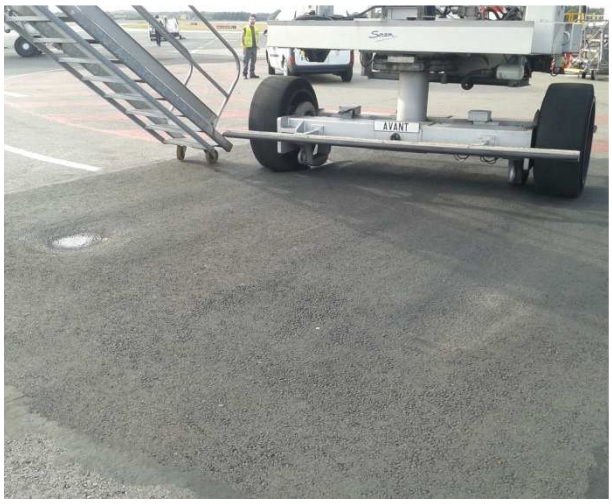


Figure 49. Poinçonnement sous passerelle (poste 2) – enrobés de 2015

Figure 50. Détail du poinçonnement (poste 2)

Certains postes ont fait l'objet d'une reprise généralisée, sur d'autres les réparations sont situées dans les zones de stationnement des trains.

Figure 51. Reprise généralisée (poste 4)

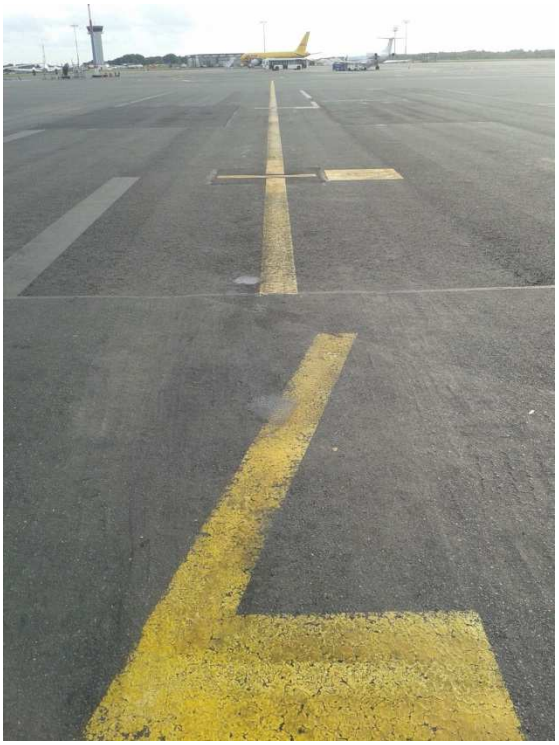


Figure 52. Reprise localisée (poste 7)

Ces réparations pourraient ne pas être adaptées aux sollicitations spécifiques des aires de stationnement, puisque certaines d'entre elles semblent très récentes et présentent déjà des déformations permanentes.

L'aire de stationnement des postes 8 à 11 présente peu de dégradations : quelques fissures de retrait et un léger poinçonnement. Les postes 8A et 9 sont revêtus d'un enrobé récent (Figure 53). L'aire des postes 15 à 20 présente des fissures de retrait et de joint qui ont fait l'objet de pontages. Sur ces deux dernières zones, le trafic accueilli semble plus réduit que sur les postes au contact ou à proximité immédiate de l'aérogare.

Figure 53. Postes 8A et 9 et An12 sur poste 1

Figure 54. Fissures de joint pontées sur poste 12

3.4 Reconnaissances géotechniques de septembre 2017

Une campagne de sondages et d'essais complémentaires a été conduite en septembre 2017 par le Cerema pour compléter les données existantes et préciser les caractéristiques des sols supports de la piste et du taxiway.

3.4.1 Interventions sur le terrain

Suivant l'implantation et le cahier des charges définis par l'IFSTTAR et le Cerema, neuf sondages de reconnaissance géotechnique ont été conduits à une profondeur de 1,10 m à 3,60 m par rapport au niveau du terrain naturel (noté par la suite /TN). L'implantation de ces sondages est donnée en annexe 4.6. La profondeur de reconnaissance initiale était fixée à 3,00 m/TN, sauf refus prématuré dans le rocher ou, au contraire, présence de sols peu consistants pouvant conduire une prolongation à 5,00 m/TN.

Ces sondages ont été réalisés à l'aide d'une foreuse hydraulique Sedidrill 500 sur tracteur (prélèvements à la tarière de diamètre 200 mm) et d'une foreuse Texoma 500 sur porteur camion 6x6 (prélèvements à la tarière de diamètre 400 mm). Des échantillons ont été prélevés pour description géologique et essais en laboratoire à des fins de classification des sols suivant la norme NF P 11-300 (GTR).

Les feuilles de sondages données en annexe 4.12, précisent les renseignements suivants:
- l'altitude Z et les coordonnées X et Y de la tête de sondage.
- la nature des différentes couches rencontrées.
- le niveau de la nappe quand elle est observée.
- les résultats des essais de laboratoire et la classification des sols suivant la norme NF P 11-300.

L'intervention sur site s'est déroulée les nuits du 13 au 14 et du 15 au 16 septembre 2017. Compte-tenu des contraintes d'exploitation de l'aéroport (travaux de chaussée la première nuit et retard d'un vol la seconde), le sondage T6 prévu initialement n'a pas pu être réalisé, ainsi que les sondages optionnels T11 et T12.

3.4.2 Résultats des sondages

Les résultats détaillés des sondages T1 à T5 et T7 à T10 sont donnés en annexe 4.12.

3.4.2.1 Piste

Pour la piste, la lithologie mise en évidence est cohérente avec les résultats des campagnes antérieures (voir chapitre 4) avec, du haut vers le bas :
- de la terre végétale, sur une épaisseur de l'ordre de 20 cm, au droit des sondages T2, T3, T4, T5, T7 et T9.
- des remblais, constitués d'un mélange de roche altérée (gneiss, schiste), de limon et d'argile, en T1, T2, T5, T7, T8, T9 et T10, jusque vers 0,80 à 1,50 m/TN.
- des limons et des argiles (sondages T3, T4 et T7), sur une épaisseur de 0,50 m à plus de 2,00 m (arrêt du forage dans l'argile à 3,00 m/TN en T7).
- des sables et graviers argileux et/ou des argiles sableuses, marron à ocre, correspondant aux sables du Pliocène et aux alluvions de Moyenne Terrasse, très fréquents sur les 4/5ème Sud de la piste, sur une épaisseur de plusieurs mètres au droit des sondages T2, T3, T4, T7, T8 et T9 (sondages arrêtés dans les sables argileux en T2, T4, T8 et T9).
- ou, directement sous la terre végétale et les remblais, le substratum de gneiss,

rapidement très compact, montrant une forte résistance puis un refus au forage entre 1,10 m/TN et 1,60 m/TN en T3, T5 et T10, soit le 1/5ème Nord de la piste et, localement, la "bosse" du profil en long observée entre les pm 1 800 et 2 200 environ.

Ces sondages sont reportés sur le profil géotechnique joint en annexe 4.12, par projection sur l'axe de la piste. Les sondages SC4 et SC11 de la campagne Rincent 2010 sont également intégrés à ce profil pour compléter la zone située entre les pm 0 et 500, en remplacement des sondages T6 et T11 non réalisés.

Le profil montre que les sols supports de la piste, la "PST" (partie supérieure des terrassements, soit le mètre situé sous l'arase des terrassements) sont majoritairement constitués de deux formations :

- du pm 0 au pm 2 500(*) environ : les argiles et sables argileux marron à ocre correspondant aux sédiments de Basse Terrasse et du Pliocène.
- du pm 2 500(*) environ au pm 2 900 : le substratum de gneiss, plus ou moins altéré en surface à rapidement compact (refus au forage entre 1,10 et 1,60 m/TN).

(*) Le maillage des sondages disponibles, issus des campagnes antérieures et de la reconnaissance de 2017, ne permet pas de définir avec précision la limite entre ces deux sections. De plus, des variations du substratum sont aussi envisageables sur les profils en travers de la piste ainsi que localement sur la section Nord rocheuse. L'étude de 1972 pour l'allongement de la piste montre un exemple d'approfondissement local du substratum.

3.4.2.2 Taxiway et bretelles

Pour le taxiway et les bretelles, les sondages disponibles sont, du Sud vers le Nord : SC15-2010, SC20-2010, T8, SC16-2010, SC21-2010, SC17-2010, SC22-2010, SC24-2010, SC23-2010, SC18-2010, SC19-2010 et T5. Ils mettent en évidence des sols d'assise comparables à ceux de la piste :

- à l'extérieur des chaussées (T5 et T8), des remblais constitués d'un mélange de roche altérée (gneiss, schiste), de limon et d'argile.
  ou
- sur le taxiway et les bretelles, les couches de chaussées et la couche de forme granulaire. Cette couche de forme présente une épaisseur variable, relevée entre 10 et 70 cm au droit des sondages (voir rapport spécifique "chaussées").

  puis,
- des argiles, argiles sableuses ou sables argileux, constituant la majorité des sols supports sous la chaussée et les remblais (7 sondages sur 8, à l'exception de T5-2017).
  ou
- le substratum de gneiss, rapidement très compact en T5, en extrémité Nord du taxiway.

Comme pour la piste, il convient de préciser que ces sondages présentent un caractère ponctuel. L'interdistance entre les différentes investigations, en moyenne de 250 m, peut masquer des variations ponctuelles du substratum ou la présence locale de matériaux de nature et de consistance différentes de celles observées au droit des forages. Compte-tenu du volume de données exploitables existantes, cette reconnaissance correspond à un niveau de définition « d'avant-projet » cohérent avec la présente expertise, mais pas au niveau "projet" (qui aurait nécessité une reconnaissance géophysique de délimitation des zones homogènes avec une maille de sondages de l'ordre de 1/50 m, suivant les règles métiers et normes relatives aux études géotechniques).

3.4.2.3 Nappe

Les sondages de septembre 2017 n'ont pas permis d'observer d'arrivée d'eau sur la profondeur reconnue (maximum 3,60 m/TN). Seuls les matériaux graveleux prélevés en T9, entre 3,10 et 3,60 m/TN, présentent une humidité assez importante, témoignant de la proximité de la nappe.

3.4.3 Essais d'identification en laboratoire

3.4.3.1 Granulométrie et argilosité

Les résultats des essais de granulométrie (NF P 94-056) et de valeur de bleu du sol (VBS - NF P 94-068) sont présentés en annexe 4.12. Les sols testés se situent au niveau de la PST.

Les principaux résultats sont exprimés dans le tableau suivant :

Tableau 38. Caractérisation des sols prélevés

Sondage	Dmax (mm)	Passant à 80 microns (%)	VBS (g/100g de sol)	**Classe GTR**
T1 (1,50-2,10 m)	31,5	22	1,80	**B6**
T2 (1,30-3,00 m)	20,0	48	1,27	**A1**
T4 (1,00-3,20 m)	6,3	16	0,84	**B5**
T7 (0,20-1,20 m)	31,5	45	2,84	**A2**
T9 (1,40-2,10 m)	31,5	25	2,20	**B6**
T10 (0,60-1,60 m)	20,0	57	1,58	**A1**

Globalement, on peut distinguer deux grandes familles de sols :

- des matériaux fins, peu à moyennement plastiques (de classe A1 et A2), correspondant soit à la roche très altérée ("altérite" du gneiss sous-jacent), avec quelques éléments rocheux résiduels, soit une argile plus franche ou un limon argileux correspondant au début des dépôts sédimentaires ;
- des matériaux sableux avec une matrice argileuse importante (sols B5 et B6). Le sable présente une granulométrie généralement comprise entre 0,5 et 2 mm ; il est siliceux (quartz), roulé et de couleur rouge ocre caractéristique du Pliocène.

Dans les deux cas, ces matériaux présentent une forte sensibilité à l'eau, confirmée par l'étude comparée CBR / CBRi présentée ci-après.

3.4.3.2 Teneurs en eau

Des matériaux ont été prélevés tous les 0,50 m au droit des sondages pour pouvoir mesurer leur teneur en eau suivant la norme NF P 94-050. Les résultats détaillés sont présentés sur les coupes en annexes 4.12.

Les 44 valeurs se répartissent entre 5 et 30%, moyenne 12 % (voir Figure 55).

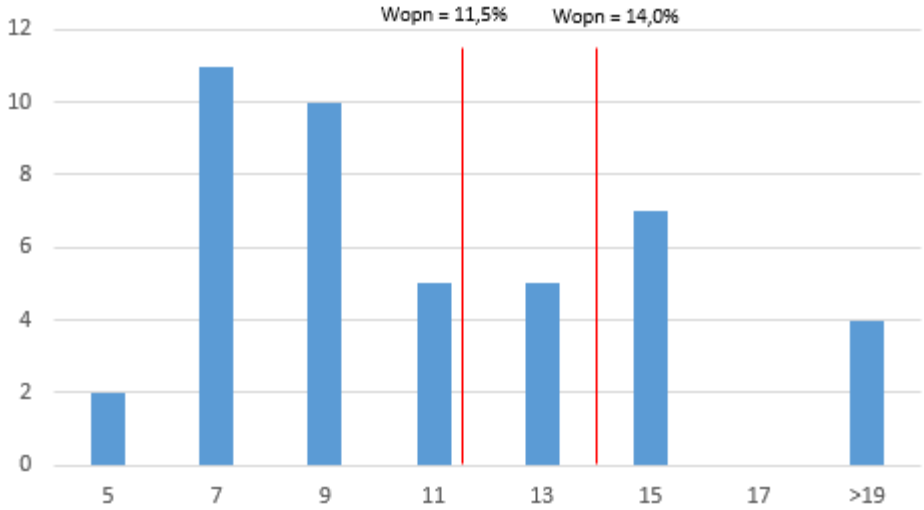


Figure 55. Wnat - Sondages septembre 2017

La répartition de ces valeurs sur les coupes ne permet pas d'établir de relation directe entre la teneur en eau et la profondeur de prélèvement ou la nature de la formation concernée. Seule la valeur la plus élevée (Wnat = 30%) peut s'expliquer par la proximité de la nappe, repérée par la présence de grave plus humide en fin du sondage T9.

Néanmoins, on peut noter que les teneurs en eau de cette campagne sont globalement plus faibles que celles relevées dans l'étude STBA de 1978 (voir partie 2.4.2.2), qui présentaient des moyennes de 16% à 18% suivant les matériaux. Cette différence peut s'expliquer par la période de prélèvement :

- période humide, nappe haute dans l'étude STBA (avril 1978),
- période sèche, nappe basse dans la présente expertise (septembre 2017).

A titre indicatif, par comparaison avec les valeurs w_{OPN} mesurées dans les argiles (étude STBA), de 11,5 et 14%, on peut observer qu'une proportion importante des matériaux est située côté "s" et "ts" (même si ces références OPN ne s'appliquent pas à toutes les valeurs mesurées).

3.4.3.3 IPI, CBR et CBRi

Les sols prélevés au niveau de la PST ont fait l'objet d'une mesure de l'indice CBR à teneur en eau naturelle. De plus, pour apprécier l'effet de la remontée de la nappe en période hivernale, cette mesure a été complétée par la détermination du CBRi après 4 jours d'immersion.

Les matériaux ont été testés conformément à la procédure "CBR" (voir annexe 4.3), c'est à dire en appliquant une surcharge de 4,6 kg sur la surface de l'éprouvette compactée à l'énergie Proctor normal, avant poinçonnement. Cette surcharge permet de simuler le confinement des matériaux sous les structures de chaussées, d'une part, et de fournir des valeurs comparables à celles des études antérieures, d'autre part.

Cette procédure conduit à des valeurs plus élevées que la mesure de l'IPI utilisée pour la détermination des états hydriques du GTR ("m", "h", "s"), cette dernière se faisant sans surcharge. Deux essais comparés IPI / CBR ont été réalisés dans cette campagne pour apprécier la différence entre IPI et CBR. A titre indicatif, nous avons noté que l'écart entre IPI et CBR s'établissait comme CBR ≈1,5 à 1,8 IPI.

Les résultats des essais CBR à teneur en eau in situ (CBR w_{nat}) figurent sur les coupes en annexe 4.12 et sont rappelés dans le Tableau 39. Récapitulatif des valeurs d'IPI, CBR et CBRi.

Tableau 39. Récapitulatif des valeurs d'IPI, CBR et CBRi

Sondage	Classe sols	IPI Wnat	CBR Wnat	CBRi 4j	Wnat (%)	Wi 4j (%)
T1	B6		30	14	15,8	17,9
T2	A1	1	2	1	13,0	12,7
T4	B5 limite B6		53	9	7,3	12,1
T5	B5		30	1	9,4	15,1
T7	A1/A2 (à vue)		31	1	8,6	18,8
T8	A1/B5 (à vue)	22	38	7	12,4	15,3
T9	B6		34	3	11,1	15,2
T10	A1		29	2	7,3	16
		Moyenne	30	4,7	10,6	15,4

Conclusions

Les valeurs de CBR obtenues sur les matériaux prélevés en septembre 2017, à leur teneur en eau naturelle, sont très élevées, supérieures à 29 (CBR w_{nat} moyen = 30) à l'exception d'une valeur très faible au sondage T2, CBR= 2.

Elles permettent de qualifier l'état hydrique de ces matériaux de :

- **"m" pour T1, T5, T7, T8, T9 et T10 (valeur de CBR ≤ 38, correspondant à un IPI ≤ 25)**
- **"s" pour T4**
- **"th" pour T2**

Ces états hydriques sont cohérents avec les teneurs en eau Wnat mesurées tous les 0,50 m (voir ci-avant).

Les valeurs de CBR mesurées après immersion (moule CBR compacté à l'énergie Proctor standard à la teneur en eau de prélèvement, puis immergé 4 jours avec les surcharges) sont en revanche très faibles (valeur notées en rouge dans le tableau), la majorité se situant entre 1 et 10, à l'exception d'une valeur à 14. L'immersion conduit également à une augmentation de la teneur en eau, en moyenne de 4,8 points, à l'exception du matériau prélevé en T2, qui présentait déjà des conditions de forte humidité.

A titre de comparaison, la valeur moyenne obtenue après cette imbibition, CBRi = 4,7, est assez proche de celle obtenue dans l'étude de 1978 du STBA (CBR à w_{nat} = 4,8). Pour tenir compte de l'étendue des valeurs mesurées lors des campagnes précédentes (voir tableaux 29 et 31), à situation météorologique similaire (période hivernale, nappe haute), on peut retenir la valeur moyenne de CBRi = 4 pour les sols supports argileux à argilo-sableux, en sachant que cette valeur peut varier en fonction de la nature des matériaux et de leur saturation, en immersion totale (sous la nappe) ou partielle (frange de remontées capillaires).

Cette forte baisse du CBRi par rapport à CBR à Wnat illustre la forte sensibilité à l'eau des matériaux constituant la PST de la piste et du taxiway, dont la portance peut être élevée en période favorable, mais qui peut « s'effondrer » sous l'action d'une remontée prolongée de la nappe. Ceci est d'ailleurs courant pour les classes de sol rencontrées (A1, A2, B5, B6).

3.4.4 Interprétation des résultats des reconnaissances géotechniques

3.4.4.1 Définitions de la PST de l'arase

Suivant le guide « Méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples », DGAC, octobre 2016, et le guide « Réalisation des remblais et des couches de forme », il convient de définir le cas de « Partie Supérieure de Terrassement » (PST) et la classe de « l'ARase de terrassement » (AR) rencontrés sur le site.

La nature des matériaux (classes définie suivant la norme NF P 11-300) et l'environnement hydrique permettent de définir la catégorie de Partie Supérieure de Terrassement PST (entre 0 et 6). Cet environnement hydrique peut varier suivant la date des études géotechniques, des travaux etc. C'est particulièrement le cas des PST n°0, 1, 2 et 3 (voir exemple de la Figure 56).

Les classes d'arases (de 0 à 4) sont en revanche définies par les caractéristiques à long terme du sol support, associées aux conditions hydriques les plus défavorables.

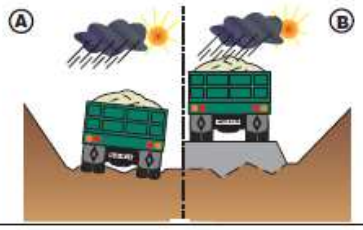
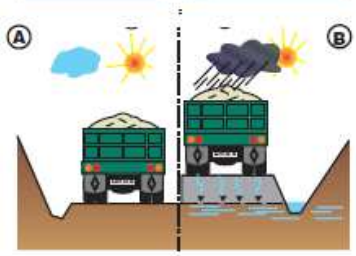
Cas de P.S.T	Schéma	Description	Classe de l'arase	Commentaires
P.S.T. n°0		**Sols** A, B_2, B_4, B_5, B_6, C_1 se trouvant dans un état hydrique (th). **Contexte** Zones tourbeuses, marécageuses ou inondables. PST dont la portance risque d'être quasi nulle au moment de la réalisation de la chaussée ou au cours de la vie de l'ouvrage.	**AR0**	La solution de franchissement de ces zones doit être recherchée par une opération de terrassement (purge, substitution) et/ou de drainage (fossés profonds, rabattement de la nappe...) de manière à pouvoir reclasser le nouveau support obtenu au moins en classe AR1.
P.S.T. n°1		**Sols** Matériaux des classes A, B_2, B_4, B_5, B_6, C_1, R_{12}, R_{13}, R_{34} et certains matériaux C_2, R_{42} et R_{63} dans un état hydrique (h). **Contexte.** PST en matériaux sensibles de mauvaise portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A) et sans possibilité d'amélioration à long terme (B).	**AR1**	Dans ce cas de PST, il convient : - soit de procéder à une amélioration du matériau jusqu'à 0,5 m d'épaisseur par un traitement principalement à la chaux vive et selon une technique remblai. On est ramené au cas de PST 2, 3 ou 4 selon le contexte - soit d'exécuter une couche de forme en matériau granulaire insensible à l'eau de forte épaisseur (en admettant une légère réduction si l'on intercale un géotextile anticontaminant à l'interface PST - couche de forme).
P.S.T. n°2		**Sols** Matériaux des classes A, B_2, B_4, B_5, B_6, C_1, R_{12}, R_{13}, R_{34} et certains matériaux C_2, R_{42} et R_{63} dans un état hydrique (m). **Contexte** PST en matériaux sensibles à l'eau de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A). Cette portance peut cependant chuter à long terme sous l'action des infiltrations des eaux pluviales et d'une remontée de la nappe (B).	**AR1**	Bien que les exigences requises à court terme pour la plate-forme support puissent être éventuellement obtenues au niveau de l'arase, il est cependant quasiment toujours nécessaire de prévoir la réalisation d'une couche de forme. Si l'on peut réaliser un rabattement de la nappe à une profondeur suffisante, on est ramené au cas de PST 3.

Figure 56. Extrait du tableau des cas possibles de PST/AR (GTR 2000)

Dans la conception des infrastructures conformément au GTR, la définition du couple PST/AR dépend donc à la fois de la nature et de l'état hydrique des matériaux constituant le mètre sous l'arase, mais aussi des conditions hydriques à long terme intégrant : les risques d'infiltration des eaux pluviales depuis la surface, les remontées éventuelles de nappe dans la PST, les drainages mis en œuvre, etc.

3.4.4.2 Détermination des cas PST/AR de la piste

Ce chapitre propose une analyse du couple PST/Arase suivant la démarche méthodologique de dimensionnement développée dans le GTR, rappelée en annexe 4.2.

Les données de la reconnaissance 2017 conduisent aux couples PST/AR du tableau suivant :

Tableau 40 Couples PST/AR

Sondage	Classe sols PST	IPI Wnat	CBR Wnat	CBRi 4j	PST	AR
T1-2017	B6		30	14	PST2	AR1
T2-2017	A1	1	2	1	PST0	AR0
T3-2017	C1B5		-	-	PST6	AR2
T4-2017	B5 limite B6		53	9	PST2	AR1
T5-2017	B5		30	1	PST2	AR1
T7-2017	A1/A2 (à vue)		31	1	PST2	AR1
T8-2017	A1/B5 (à vue)	22	38	7	PST2	AR1
T9-2017	B6		34	3	PST2	AR1
T10-2017	A1		29	2	PST2	AR1

Pour T3, il n'a pas été mesuré de valeur de CBR à w_{nat}. Toutefois, le constat du refus au forage indique la présence du substratum de gneiss compact au niveau de la PST, ce qui correspond au cas de PST n°6 retenu.

3.4.4.2.1 Piste - Section pm 0 à pm 2 500

La PST est majoritairement constituée de matériaux sablo-argileux à argilo-sableux (A1, A2, B5 et B6). Leur portance à la date des reconnaissances (septembre 2017) est élevée car les matériaux sont dans un état hydrique "m" voire localement "s" => PST2.

La portance à long terme de l'arase peut toutefois chuter à long terme, en raison de la remontée de la nappe => AR1.

Dans cette analyse, on suppose que les sols les plus médiocres, tels qu'observés en T2, ont été purgés ou traités en phase travaux, ce qui permet d'exclure a priori les cas de PST0-AR0. De plus, cette conception implique que des dispositions adaptées de drainage ont été mises en œuvre (au moins -0,50 m sous l'arase), permettant de limiter la saturation des sols en période de nappe haute.

Sous ces hypothèses, la portance "long terme" de l'arase est celle définie par le GTR pour une arase AR1, à savoir : E = 20 MPa.

3.4.4.2.2 Piste - Section pm 2 500 à pm 2 900

Sur cette section, les reconnaissances ponctuelles ont montré que la couche de forme granulaire reposait en général sur le substratum de gneiss plus ou moins altéré à compact, observé à faible profondeur.

En se basant sur les résultats des carottages 2017 (refus au rocher sous la couche de forme granulaire), on fait l'hypothèse que les sols peu consistants sont purgés jusqu'au rocher compact. Dans ce cas, la PST est constituée d'une roche peu altérée, présentant des caractéristiques mécaniques élevées => PST6 - AR2 à AR3 (AR23).

Cette modélisation est également conforme aux résultats des sondages de 1972 pour l'extension Nord de la piste sur 200 m [25].

La portance "long terme" de l'arase peut être estimée par un module E = 80 MPa, voire localement plus.

Toutefois, certains sondages de 2010 indiquent que le sol support ne présente pas systématiquement les qualités d'une roche (SC9, SC10 et SC19 de la campagne Rincent), auquel cas, la PST est constituée de l'altérite de la roche, de classe B5, voire A1. On est ramené au cas de PST2-AR1.

Dans cette configuration, la portance à long terme de l'arase n'est plus localement que de E = 20 MPa.

Le nombre de sondages et de carottages disponibles sur cette section de la piste et du taxiway ne permet pas de délimiter avec précision les zones où les structures sont assises sur la roche compacte et les zones où elles sont construites sur un matériau de moins bonne qualité. Pour affiner cette analyse, on utilisera l'estimation du module par rétro-calcul des mesures HWD, où la zone 4 pourrait correspondre à une section construite sur le rocher compact.

La démarche du GTR s'applique à la conception d'une structure neuve. Elle définit, en fonction de la nature et de l'environnement hydrique de la PST, une classe d'arase avec une portance à long terme, en considérant les conditions les plus défavorables de l'environnement du projet.

A partir de cette portance long terme, on dimensionne une couche de forme, qui permet d'homogénéiser la qualité de la plate-forme support de la chaussée (PF) et d'en garantir une portance minimale à long terme (50 MPa pour une PF2, 80 MPa pour une PF2qs (classe de portance intermédiaire, introduite en 2017 en tant que complément technique au GTR (2000)) et 120 MPa pour une PF3).

Les conditions de la reconnaissance de septembre 2017 ne sont pas représentatives des conditions défavorables : les matériaux de la PST sont majoritairement secs après la période estivale et la nappe est basse. Il en résulte que la portance sur l'arase à la date de cette reconnaissance est plus élevée que la portance à prendre en compte dans le modèle de calcul de la chaussée (voir les variations de modules calculées dans le chapitre suivant).

En outre, on observe une forte variabilité de l'épaisseur de la couche de forme, de 10 à 70 cm (voire son absence sous la partie centrale en dalle béton), ce qui ne contribue pas à constituer une portance homogène sur la plate-forme.

3.4.4.3 Estimation de la portance de l'arase par l'approche CBR

Des relations empiriques existent dans la littérature, reliant la valeur de CBR et le module EV2, pour peu que ces valeurs soient représentatives de l'épaisseur de la couche testée (quelques centimètres pour le CBR et environ 1 m pour le module EV2).

Nous avons considéré les relations usuelles suivantes :

- EV2 (MPa) = 3 x CBR (formule du CEBTP pour les sols fins),
- EV2 (MPa) = 6,5 x $CBR^{0.65}$ (formule de Jeuffroy).

Le tableau présente à titre indicatif les valeurs de module ainsi estimées à partir :

- des valeurs de CBR à teneur en eau naturelle (Wnat),
- des valeurs de CBR après immersion, représentant la portance du sol à l'immersion (remontée de la nappe dans la PST).

Tableau 41. Estimation de la portance à partir de valeurs de CBR

			Module à Wnat estimé par :			Module après immersion estimé par :	
			CEBTP	Jeuffroy		CEBTP	Jeuffroy
Sondage	Classe sols	CBR Wnat	3 CBR (MPa)	6,5 CBR^0,65 (MPa)	CBRi 4j	3 CBR (MPa)	6,5 CBR^0,65 (MPa)
T10	B6	30	90	59	14	42	36
T2	A1	2	6	10	1	3	7
T4	B5 limite B6	53	159	86	9	27	27
T5	B5	30	90	59	1	3	7
T7	A1/A2 (à vue)	31	93	61	1	3	7
T8	A1/B5 (à vue)	38	114	69	7	21	23
T9	B6	34	102	64	3	9	13
T10	A1	29	87	58	2	6	10

Conclusions

A l'exception de la valeur mesurée en T2 qui présente une faible valeur locale, la portance estimée dans les conditions de prélèvement des matériaux en septembre 2017 est très élevée. La majorité des modules calculés est comprise entre 60 et 90 MPa.

En considérant les valeurs de CBR après immersion, simulant une remontée de la nappe, les modules ainsi estimés chutent fortement, la majorité des valeurs étant inférieures à 25 MPa. Ces valeurs correspondent aux conditions hydriques défavorables de la PST, et donc à la portance de l'arase "AR1" telle que définie dans le GTR (voir chapitre précédent), caractérisée par un module de calcul EV2 = 20 MPa.

Cette analyse nous conduirait à retenir une valeur moyenne de portance de 80 MPa en condition "sèche" (période estivale + nappe basse) et, conformément à l'approche du GTR basée sur la définition des classes d'arase, de 20 MPa en période "humide" (période hivernale et nappe haute, dans la PST) sur les sections où la PST est constituée de sols fins de pm 0 à pm 2 500. Pour les zones construites directement sur le rocher entre le pm 2 500 et pm 2 900 (voir zone 4 et l'interprétation du HWD), la portance de l'arase à long terme peut être estimée à 80 MPa (minimum).

Ces valeurs de modélisation font l'hypothèse que les zones les plus faibles ont été purgées ou traitées lors des travaux, et que les dispositifs de drainage mis en œuvre à cette époque sont toujours opérationnels.

Cette analyse peut a priori être étendue au taxiway et aux bretelles, les sondages existants montrant que la majorité des sols supports est constituée de sols argilo-sableux à l'exception de l'extrémité Nord du taxiway, assis sur la roche.

3.4.5 Conclusion concernant les caractéristiques des sols supports de la piste, du taxiway et des bretelles

Les résultats de la reconnaissance de 2017 permettent de proposer la modélisation suivante des sols supports de la piste, du taxiway et des bretelles.

3.4.5.1 Arase de la piste

Les sols supports de la piste, constitutifs de la PST, sont majoritairement constitués de deux formations :

- du pm 0 au pm 2 500 environ : les sables argileux ou argiles sableuses sédimentaires du Pliocène et de la Moyenne Terrasse ;
- du pm 2 500 au pm 2 900 : le substratum de gneiss, celui-ci pouvant être rapidement compact, rocheux, ou plus altéré.

Les limites de pm sont données à titre indicatif, à la précision près du maillage actuel de sondages (1/250 m en moyenne).

Ces deux formations se situent dans la zone de battement de la nappe phréatique, ce qui les conduit à être immergées, en partie ou totalité, environ 6 mois par an en fonction des conditions météorologiques et climatiques, variables d'une année à l'autre.

Les conditions de la reconnaissance menée en septembre 2017 avec des matériaux secs jusqu'à 3 m/TN et une nappe nettement en dessous de la PST, conduisent à une portance immédiate de l'arase élevée, de l'ordre de 80 MPa (localement plus sur le rocher franc).

En revanche, en conditions défavorables (hiver et nappe haute), la forte sensibilité des formations sédimentaires (pm 0 à 2 500) et de l'altérite de la roche (section pm 2 500 à 2 900, pour partie), conduira à une baisse sensible de la portance de l'arase, jusqu'à des valeurs de 15 à 25 MPa (ce qui correspond peu ou prou aux conditions de l'étude STBA d'avril 1978).

Dans la démarche de conception actuelle, suivant le manuel "Chaussées aéronautiques souples" de 2016 et le GTR, les résultats des sondages et des essais conduisent à retenir une PST2-AR1, au vu des sondages de septembre 2017, à PST1-AR1 en période plus humide (remontée de la nappe), avec des dispositions ponctuelles de purge des zones les plus faibles correspondant à PST0-AR0.

En conception neuve, ce couple PST-AR amène à préconiser une couche de forme granulaire de 40 à 45 cm sur géotextile afin d'obtenir une portance de plate-forme PF2 : associée au module d'Young de calcul E = 50 MPa, hors sections sur le rocher sain, où une simple couche de réglage pourrait suffire, et après purge ou traitement des poches de sols mous (EV2 < 20 MPa) pouvant éventuellement subsister à la cote de l'arase.

Les structures actuelles de la piste, très hétérogènes (couche de forme absente ou d'épaisseur variable de 15 à 90 cm) ne satisfont pas à ces dispositions.

Dans la modélisation du support de la chaussée, il convient de tenir compte de cette hétérogénéité et de la variabilité de la portance des sols supports avec les conditions météorologiques et climatiques (hors extrémité Nord, construite en partie sur la roche). La portance de l'arase pourrait être :

- en été : de 75 à 85 MPa
- en hiver : de 15 à 25 MPa

Pour les zones construites sur le rocher (présentes pour partie sur la section pm 2 500 à 2 900), on pourra retenir un module d'Young de calcul E = 80 MPa.

3.4.5.2 Arase du taxiway et des bretelles

Les sondages 2017 et les données des études antérieures indiquent que les structures de la chaussée sont assises sur les mêmes formations argilo-sableuses que la piste entre les pm 0 et 2 500. On peut retenir les mêmes valeurs de portance. L'extrémité Nord du taxiway au raccordement avec la piste est assise sur le rocher.

3.4.5.3 Couche de forme

D'épaisseur variable, elle a été observée sur 15 à 54 cm au droit des carottages Cerema de 2017. Elle se présente comme une grave concassée 0/40, avec, sur un sondage, une couche de blocage en 0/60.

Sur les sondages issus des campagnes antérieures, elle est observée sur une plage plus importante : 15 à 90 cm.

Le Tableau 42 fournit *une estimation* de la portance envisageable sur cette couche de forme, en fonction de la portance de l'arase et de l'épaisseur considérée. Cette relation est basée sur la formule semi-empirique de bicouche de J.C. Gress (Revue Générale des Routes et Autoroutes – Janvier 1983 : RGRA 01-1983, Dimensionnement des couches de formes en graves non traitées) :

$$H = 0{,}7 \log ((1/e-1/E)/(1/X-1/E)) + 0{,}3(1/e - 1/X)$$

avec :

- H épaisseur de la couche de forme granulaire (m)
- E : module intrinsèque du matériau de couche de forme granulaire (120 MPa)
- e : module EV2 du sol support (10 à 100 MPa dans le cas étudié)
- X : module de la plate-forme (50 MPa pour une PF2)

Cette estimation reprend les caractéristiques des matériaux utilisés à cet usage à proximité du site de Nantes-Atlantique (rhyolite, granite, gneiss : matériaux de classe F61 du GTR), avec un module intrinsèque de 120 MPa.

Tableau 42. Estimation du module de la plate-forme (MPa) en fonction de l'épaisseur de la couche de forme et de la portance de l'arase

	épaisseur de couche de forme (cm) :						
Module de l'arase (MPa) :	0	15	30	45	60	75	90
10	10	15	23	33	45	60	75
20	20	30	40	55	70	85	95
75	75	88	98	105	110	114	120
80	80	92	101	108	112	115	120
100	100	107	112	115	117	118	120

(A titre d'exemple, sur une arase de module 20 MPa, une couche de forme de 45 cm conduirait à un module de plate-forme de 55 MPa.)

3.5 Conclusion concernant les structures de chaussée actuelles

D'après les données existantes disponibles sur la piste (carottages, mesures radar et HWD de 2010) et les auscultations réalisées en septembre 2017 par le Cerema (carottages, mesures HWD, relevés visuels de dégradations et mesures géotechniques), il est possible de définir des structures types pour chaque zone de l'aéroport. Celles-ci, présentées ci-dessous, seront utilisées pour les rétro-calculs des mesures HWD dans la partie 3.6 qui suit.

Pour la piste et le taxiway, :

- les épaisseurs d'enrobés ont été déterminées principalement à partir des mesures radar de 2010, qui permettent de définir une épaisseur moyenne à partir de mesures continues sur l'ensemble de la zone. La cohérence avec les carottages a été vérifiée. Dans le cas où les mesures radar indiquaient des différences d'épaisseur supérieures à 5 cm entre des zones consécutives, les zones ont été subdivisées en plusieurs parties (cas de la zone 2 et de la zone 3 de la piste).
- pour les graves ciment, les mesures radar ont été utilisées lorsqu'elles étaient disponibles, complétées par les mesures (plus ponctuelles) issues des carottages.
- pour les GNT, les épaisseurs sont issues principalement des carottages de 2017, la description des carottages de 2010 n'étant pas assez précise pour séparer les couches de forme en GNT et en matériaux naturels. Pour chaque zone, une seule valeur d'épaisseur était disponible à l'exception de la zone 3 de la piste où il y avait deux carottages. Cependant, l'incidence de l'épaisseur de GNT sur les calculs de dimensionnement est moins importante que celle des épaisseurs de matériaux liés, dont les modules sont au moins 10 fois plus élevés.

Pour les bretelles et les aires de stationnement, des auscultations n'ont pas pu être faites en 2017 et les structures types ont été définies à partir des auscultations de 2010 transmises par AGO (carottages, mesures radar). Pour les couches bitumineuses, les épaisseurs fournies par les mesures radar ont été privilégiées. Les structures types de la piste et du taxiway sont donc plus fiables que celles des bretelles et aires de stationnement.

Piste

Tableau 43. Structure type de la zone 1 de la piste

Zone 1 (pm 0 à 600)		
Matériaux bitumineux	27 cm	Interface MB/GC dégradée
Grave ciment	15 cm	Interface GC/GC dégradée
Grace ciment	15 cm	
GNT	30 cm	
Sol		

Tableau 44. Structure type de la zone 2 de la piste

Zone 2a (pm 600 à 740)		
Matériaux bitumineux	20 cm	Interface MB/MB dégradée
Matériaux bitumineux	20 cm	
GNT	30 cm	
Sol		

Zone 2b pm 740 à 850		
Matériaux bitumineux	50 cm	Matériaux sains
GNT	50 cm	
Sol		

Tableau 45. Structure type de la zone 3 de la piste

Zone 3					
pm 850 à 970		**pm 970 à 1 900**		**pm 1 900 à 2 390**	
Matériaux bitumineux	40 cm	Matériaux bitumineux	34 cm	Matériaux bitumineux	42 cm
GNT	20 cm	GNT	20 cm	GNT	20 cm
Béton	16 cm	Béton	16 cm	Béton	16 cm
Sol		Sol		Sol	

Sur cette zone, les matériaux bitumineux apparaissent relativement sains et collés

Tableau 46. Structure type de la zone 4 de la piste

Zone 4 (pm 2 390 à 2 700)	
Matériaux bitumineux	49 cm
GNT	20 cm
Blocage	
Sol	

Tableau 47. Structure type de la zone 5 de la piste

Zone 5 (pm 2 700 à 2 900)		
Matériaux bitumineux	28 cm	Interface MB/GC dégradée
Grave ciment	15 cm	Interface GC/GC dégradée
Grave ciment	15 cm	
GNT	25 cm	
Sol		

Taxiway et bretelles A et F

Remarque : pour toutes les structures du taxiway, l'épaisseur de GNT située sous la grave-ciment est peu précise, car certains sondages ont été arrêtés avant d'avoir traversé l'épaisseur de GNT ; de plus, certains sondages ne permettent pas de distinguer les couches granulaires du sol naturel.

Tableau 48. Structure type des zones R1, R3, R4 et R5 du taxiway et de la bretelle F

Zones R1, R3, R4, R5 et bretelle F		
Matériaux bitumineux	20 cm	Interface MB/GC dégradée
Grave ciment	20 cm	Interface GC/GC dégradée
Grave ciment	20 cm	
GNT	20 cm	
Sol		

Tableau 49. Structure type de la zone R2 du taxiway

Zone R2 du taxiway (pm 1 030 à 1 950)		
Matériaux bitumineux	20 cm	Matériaux bitumineux fissurés. Interface MB/GC dégradée.
Grave ciment *	20 cm	Grave ciment fissurée. Interface GC/GC dégradée
Grave ciment	20 cm	
GNT	15 cm	
Sol		

(*) Le carottage 8 du Cerema, réalisé au pm 1 305 m indique seulement 30 cm de grave-ciment.

Tableau 50. Structure type de la bretelle A

Bretelle A		
Matériaux bitumineux	40 cm	Interface MB/GC dégradée
Grave ciment	20 cm	
Grave ciment	20 cm	
GNT	> 6cm	
Sol		

Bretelles B,C,D,E

Tableau 51. Structure type de la Bretelle B

Bretelle B		
Matériaux bitumineux	6 cm	Interface MB/MB décollée
Matériau bitumineux	15 cm	Interface MB/GC décollée
Grave ciment	15 cm	Interface GC/GC décollée
Grave ciment	16 cm	
GNT	53 cm	
Sol		

Tableau 52. Structure type de la Bretelle C

Bretelle C	
Matériaux bitumineux	18 cm
Matériaux bitumineux	14 cm
GNT	20 cm
Béton	15 cm
Sol	

Tableau 53. Structure type de la Bretelle D

Bretelle D		
Matériaux bitumineux	10 cm	Interface MB/MB décollée
Matériaux bitumineux	16 cm	Matériau bitumineux désagrégé
GNT	15 cm	
Sol		

Tableau 54. Structure type de la Bretelle E

Bretelle E		
Matériaux bitumineux	22 cm	Interface MB/MB décollée
Matériaux bitumineux	24 cm	Matériau bitumineux désagrégé à la base
GNT	15 cm	
Sol		

Aires de stationnement

Pour les aires de stationnement principale et Lima, les auscultations ont montré des structures peu homogènes, avec des enrobés en partie supérieure présentant des dégradations significatives (orniérage, poinçonnement, fissuration) dues au stationnement des avions. Leurs structures actuelles, ainsi que celles des autres aires de stationnement réservées à l'aviation légère, ont été décrites au 2.3.2.3.4.

3.6 Rétro-calculs HWD

3.6.1 Méthodologie

Pour chaque zone homogène, définie en fonction de la structure, de l'état de surface (indice de service) et des valeurs de déflexion, il s'agit de déterminer par « calcul inverse » ou « rétro-calcul » les caractéristiques des matériaux constitutifs en place, en particulier les modules élastiques utilisés dans la modélisation multicouche linéaire élastique. Ce rétro-calcul s'appuie sur les épaisseurs des couches, sur la nature des matériaux constituant chaque couche de chaussée, sur la qualité des interfaces et sur le module de la plate-forme.

La méthode nécessite la connaissance a priori des structures de chaussée à l'aide des mesures radar et des carottages, excepté la profondeur du substratum qui est déterminée à partir des essais HWD. Le rétro-calcul permet de caler le bassin de déflexion mesuré in situ sur un bassin de déflexion calculé. Cette étape réalisée à l'aide du module Rétro-calculs du logiciel Alizé Routes permet de déterminer les modules élastiques de la plate-forme support de chaussée et des matériaux non liés.

Ces calages donnent également des indications sur les modules des matériaux bitumineux. Le croisement de ces informations avec celles issues des carottages détermine la valeur de module à prendre en compte pour chaque couche.

Les résultats obtenus à cette étape sont donc des modules élastiques déterminés dans les conditions d'essai (température et fréquence). L'exploitation des résultats de cette phase de calcul inverse nécessite éventuellement une étape de correction en température des valeurs trouvées, afin de se ramener à des valeurs de module à 15 °C, utilisées dans les calculs de dimensionnement. Dans le cadre de cette expertise, considérant les températures régnant les jours précédant l'auscultation et les températures de la surface de chaussée mesurées lors des essais (entre 12,5 °C et 15,2 °C pour la totalité des mesures), il n'apparaît pas nécessaire d'effectuer cette correction.

3.6.2 Analyse des données disponibles

3.6.2.1 Détermination des structures types

Les structures types ont été présentées dans la partie 3.5 qui précède.

3.6.2.2 Détermination des bassins de déflexion caractéristiques pour la piste 03/21

Le chapitre relatif à l'auscultation de la piste et du taxiway (chapitre 2) permet pour chaque zone homogène de déterminer un bassin de déflexion type représentatif de la zone homogène.

Le Tableau 55 propose une synthèse des bassins retenus pour la piste selon les principes définis par le guide « Auscultation des chaussées souples aéronautiques au HWD ». Un bassin moyen est défini sur la base de la moyenne des bassins de déflexion mesurés sur la zone homogène augmentée d'un écart type de mesures, intégrant ainsi en théorie, pour une distribution de Laplace-Gauss, 84% des valeurs mesurées. Le bassin caractéristique est déterminé selon la méthode des moindres carrés.

Dans le cadre de la présente expertise, la moyenne est établie selon les résultats de la troisième et dernière chute. En effet, les résultats présentés dans le rapport relatif à l'auscultation de la piste et du taxiway démontrent la répétabilité des mesures en un même point.

Tableau 55. Synthèse des bassins retenus pour la piste 03/21

	Déflexions (/1000mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	Force (kN)	station
Zone 1 0-600 m	Moyenne	520,6	405,7	358,6	330,6	281,8	219,4	170,2	132,5	102,3	80,2	241,0	
	Ecart type	117,2	99,8	87,9	77,6	61,3	45,7	34,1	25,6	20,7	17,1		
	M + 1 σ	637,7	505,6	446,5	408,2	343,0	265,1	204,2	158,1	123,0	97,3		
	Bassin caractéristique	**677,6**	**540,4**	**478,4**	**441,5**	**382,9**	**309,5**	**250,1**	**201,3**	**162,2**	**131,0**		5 (sens 03/21)
Zone 2a 600-740 m	Moyenne	992,2	791,9	687,1	607,2	482,9	338,6	234,4	163,4	115,9	85,9	241,6	
	Ecart type	115,2	86,5	70,8	58,4	38,4	16,5	5,4	5,6	6,3	4,6		
	M + 1 σ	1107,4	878,4	757,9	665,7	521,3	355,1	239,8	169,0	122,2	90,5		
	Bassin caractéristique	**1168,1**	**915,8**	**787,2**	**685,2**	**528,3**	**355,3**	**234,6**	**158,6**	**110,7**	**80,60**		13 (sens 03/21)
Zone 2b 740-850 m	Moyenne	650,6	521,9	463,1	424,9	362,0	284,4	223,8	175,3	138,1	109,7	241,1	
	Ecart type	77,0	63,0	54,2	48,5	38,1	24,8	15,2	8,2	5,1	7,0		
	M + 1 σ	727,7	584,9	517,2	473,3	400,1	309,2	239,0	183,4	143,2	116,7		
	Bassin caractéristique	**706,30**	**565,0**	**497,5**	**464,8**	**398,7**	**314,0**	**247,2**	**189,6**	**145,7**	**109,9**		17 (sens 03/21)
Zone 3 850-2 390 m	Moyenne	640,2	512,6	452,6	412,5	348,3	268,5	205,7	156,2	117,5	89,4	240,89	
	Ecart type	188,1	162,5	145,0	130,8	107,2	77,7	56,1	40,5	29,5	21,5		
	M + 1 σ	828,2	675,1	597,6	543,3	455,5	346,2	261,8	196,7	147,0	110,9		
	Bassin caractéristique	**834,2**	**694,4**	**617,9**	**551,4**	**452,2**	**340,8**	**252,2**	**182,5**	**130,1**	**97,8**		33 (sens 21/03)
Zone 4 2 390-2 700m	Moyenne	599,1	460,4	393,8	349,3	281,4	204,3	149,1	109,4	81,7	62,4	241,1	
	Ecart type	163,9	124,1	96,5	75,4	48,4	30,3	25,2	21,9	18,7	16,2		
	M + 1 σ	763,0	584,4	490,4	424,7	329,8	234,6	174,2	131,3	100,5	78,6		
	Bassin caractéristique	**717,6**	**556,5**	**468,8**	**411,3**	**328,5**	**237,1**	**171,4**	**124,5**	**94,3**	**71,4**		51 (sens 03/21)
Zone 5 2 700-2 900 m	Moyenne	829,6	686,5	607,4	539,3	423,6	289,4	196,2	135,1	93,1	66,2	240,6	
	Ecart type	231,7	215,1	187,9	167,0	135,6	110,1	90,6	73,7	58,5	47,1		
	M + 1 σ	1061,3	901,6	795,3	706,3	559,3	399,5	286,8	208,8	151,6	113,3		
	Bassin caractéristique	**989,2**	**866,0**	**800,2**	**734,3**	**609,8**	**454,8**	**324,5**	**221,2**	**139,9**	**90,8**		57 (sens 03/21)

La zone 5 présente des bassins de déflexion variés et peu nombreux, mis en évidence par un écart type assez élevé.

3.6.2.3 Détermination des valeurs de module des couches de la piste

Le calcul de la fréquence de résonance conduit à retenir des valeurs de 18,5 ou 19,5 Hz selon les zones.

La profondeur de substratum est obtenue par itération en considérant la valeur précédente et la valeur de déflexion mesurée sur le géophone le plus éloigné de la plaque. Les profondeurs obtenues varient entre 3,90 et 5,20 m. Il s'agit de profondeurs qui ne sont pas systématiquement à relier à la présence physique d'un substratum géologique.

Les rétro-calculs menés avec Alizé Routes permettent de déterminer des jeux de modules apparents qui assurent un calage entre un bassin de déflexion calculé et le bassin mesuré. Dans

ces rétro-calculs, il est nécessaire de limiter le nombre de couches pris en compte, pour obtenir une solution réaliste. Pour cette raison, les couches bitumineuses ont été regroupées en une ou deux couches « équivalentes » (alors que certaines structures présentent jusqu'à 5 ou 6 couches bitumineuses de faible épaisseur)

Les valeurs de module apparent obtenues sur les couches bitumineuses varient de 3 000 à 4 000 MPa à 15°C (températures d'essai) et 30 Hz (pseudo-fréquence générée par un chargement HWD de temps d'impulsion d'environ 30 ms). Cependant, sur la zone 2a, la couche inférieure de matériaux bitumineux apparaît dégradée conduisant à des valeurs de déflexion plus importantes.

La modélisation des matériaux traités au liant hydraulique conduit à retenir les valeurs suivantes de module apparent :

- module d'un matériau neuf (28 000 à 30 000 MPa) sur la zone 1,
- module d'un matériau dégradé, 6 000 MPa dans le cas du béton de la zone 3, ou 3 500 MPa dans le cas de la grave ciment présente sur la zone 5.

Les valeurs de module apparent obtenues sous sollicitation dynamique au niveau de la plate-forme support de chaussée varient de 130 à 170 MPa. Seule la zone 4 présente une valeur brute rétro-calculée plus importante (260 MPa) mettant probablement en évidence la présence d'une couche sous-jacente de forte rigidité. Ces valeurs obtenues sous chargement dynamique doivent faire l'objet d'un abattement de 30% à 70% en fonction de la classification géotechnique et de l'état hydrique du matériau concerné avant de pouvoir être intégrées dans une modélisation de chaussée dans le cadre d'un dimensionnement ou d'un renforcement. Dans le cas présent, un abattement de 40% a été retenu pour caler aux résultats des investigations géotechniques (modules de l'ordre de 75 à 80 MPa lors de la campagne d'auscultation de septembre 2017).

Le croisement des indications apportées par les rétro-calculs et les observations des différents carottages (de 2010 et 2017) ainsi que par les essais mécaniques de laboratoire (essais de module) permettent d'aboutir à la modélisation des structures de chaussée en place présentée dans le

Tableau 56.

Tableau 56. Modélisation des structures de chaussée des différentes zones de la piste

Zone 1			Zone 2a			Zone 2b			Zone 3		
Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Epaisseur ((m)	Matériau	Module (MPa)	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)
0,27	BB	5500	0,2	BB	5500	0,5	BB	5500	0,34	BB	5500
0,15	GC	23000	0,2	BB	2000	0,5	GNT	160	0,2	GNT	400
0,15	GC	23000	0,3	GNT	200	4	PF support (*)	80	0,16	Béton	6000
0,3	GNT	160	5	PF support (*)	100				3,9	PF support (*)	100
3,6	PF support (*)	80									
Zone 4			**Zone 5**								
Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)						
0,2	BB	5500	0,28	BB	5500						
0,29	BB	5500	0,15	GC	4600						
0,2	GNT	320	0,15	GC	4600						
5,2	PF support (*)	160	0,25	GNT	160						
			4,75	PF support (*)	80						

Un double trait indique une interface décollée ; un trait en pointillés, une interface semi collée.

(*) Il est à noter que les modules de sols repris dans ce tableau, mesurés à la date d'auscultation, correspondent à des conditions hydriques favorables.

Le choix de la nature des interfaces s'appuie sur l'observation des carottages (zones 1, 4 et 5), sur le calage des rétro-calculs (zone 2a, 3 et 4) ou sur les préconisations des guides de dimensionnement routier (zones 1 et 5).

3.6.2.4 Détermination des bassins de déflexion caractéristiques pour le taxiway

Le Tableau 57. Synthèse des bassins retenus pour le taxiway (bretelle A, taxiway R, bretelle F) opère selon les mêmes principes que ceux utilisés pour la piste.

Tableau 57. Synthèse des bassins retenus pour le taxiway (bretelle A, taxiway R, bretelle F)

	Déflexions (/1000mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	Force (kN)	station
Zone 1 0-1 030m (bretelle A comprise)	Moyenne	366,4	293,9	264,6	245,6	213,2	171,8	135,6	105,7	83,4	66,5	241,2	
	Ecart type	140,0	120,8	108,9	98,9	80,2	59,1	43,8	34,9	29,3	26,2		
	M + 1 σ	506,4	414,7	373,5	344,6	293,4	230,8	179,4	140,6	112,8	92,7		
	Bassin caractéristique	**488,4**	**434,0**	**403,5**	**376,7**	**316,6**	**249,6**	**196,2**	**154,6**	**117,2**	**90,7**		4 (sens 03/21)
Zone 2 1 030-1 950 m	Moyenne	1554,3	1320,9	1173,9	1032,1	769,4	466,7	277,3	159,3	103,0	78,3	239,6	
	Ecart type	624,5	580,6	534,9	468,8	318,7	141,2	64,6	32,6	32,2	24,8		
	M + 1 σ	2178,8	1901,5	1708,8	1500,9	1088,1	607,8	341,9	191,9	135,2	103,1		
	Bassin caractéristique	**2164,2**	**1836,6**	**1653,4**	**1465,5**	**1130,9**	**540,8**	**329,6**	**163,4**	**106,2**	**73,7**		36 (sens 21/03)
Zone 3 1 950 - 3 075 m (bretelle F comprise)	Moyenne	351,7	276,6	247,0	228,8	198,8	162,3	130,8	104,7	83,5	68,1	240,8	
	Ecart type	161,4	136,8	123,6	115,3	99,2	77,7	57,6	44,7	35,9	29,3		
	M + 1 σ	513,1	413,4	370,7	344,1	298,0	240,0	188,4	149,4	119,5	97,4		
	Bassin caractéristique	**505,3**	**402,8**	**363,9**	**331,7**	**281,8**	**219,7**	**174,2**	**139,6**	**111,7**	**92,3**		51 (sens 03/21)

La zone R2 présente de nombreux bassins de déflexion avec des courbures particulières (partie proche de la plaque avec faible pente, partie éloignée avec faible pente et un saut important entre ces deux pentes), obligeant à écarter ces points pour obtenir un bassin caractéristique pertinent et représentatif. Cette silhouette singulière est à mettre en relation avec les grandes déformations permanentes visibles en surface.

3.6.2.5 Détermination des valeurs de module des couches du taxiway

Le calcul de la fréquence de résonance conduit à retenir des valeurs de 6,8 Hz (sur les zones 0 - 1 030 et 1 030 - 1 950) ou 19,5 Hz (zone 1 950 – 3 100).

La profondeur de substratum est obtenue par itération en considérant la valeur précédente et la valeur de déflexion mesurée sur le géophone le plus éloigné de la plaque. Les profondeurs obtenues varient entre 15,00 m et 17,20 m pour les deux premières zones, et 4,10 m pour la zone 1 950 – 3 075. Comme les profondeurs identifiées jusqu'à 1 950 m ne sont pas pertinentes, une profondeur moyenne équivalente aux autres zones de la piste et du taxiway a été retenue à 4,00 m (pour rappel, ces profondeurs ne sont pas systématiquement à relier à la présence physique d'un substratum géologique).

Les rétro-calculs menés avec Alizé Routes permettent de déterminer des jeux de modules apparents qui assurent un calage entre un bassin de déflexion calculé et le bassin mesuré.

Le croisement des indications apportées par les rétro-calculs, des observations des différents carottages (de 2010 et 2017) et du relevé de dégradations permet de modéliser les structures de chaussée en place comme présenté dans le Tableau 58.

Tableau 58. Modélisation des structures de chaussée des différentes zones du taxiway (incluant les bretelles A et F)

Bretelle A			R1 pm 175-1 030			R2 pm 1 030-1 950			R3 à R5 et bretelle F pm 1 950-3 075		
Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Epaisseur(m)	Matériau	Module (MPa)
0,40	BB	5500	0,2	BB	5500	0,2	BB	2000	0,2	BB	5500
0,20	GC	1600	0,2	GC	16000	0,2	GC	3000	0,2	GC	13000
0,20	GC	1600	0,2	GC	9000	0,2	GC	3000	0,2	GC	13000
0,2(**)	GNT	240	0,2	GNT	240	0,15	GNT	260	0,2	GNT	260
4	PF support (*)	120	4	PF support (*)	120	4	PF support (*)	130	4,1	PF support (*)	130

Un double trait indique une interface décollée ; un trait en pointillés, une interface semi collée.

(*) Il est à noter que les modules de sols repris dans ce tableau, mesurés à la date d'auscultation, correspondent à des conditions hydriques favorables.

(**) Epaisseur estimée, le carottage ayant été arrêté à 6 cm en partie supérieure de la GNT.

Les simulations confirment un fort endommagement de la grave-ciment sur la bretelle A, et de toute la structure de chaussée sur la zone R2. Sur les autres zones, on trouve une grave-ciment qui est relativement en bon état et dont la fissuration apparaît en surface.

4 Annexes

4.1 Principe de la méthode de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples

2. Principe de la démarche de dimensionnement

2.1. Objet

Le dimensionnement consiste à choisir les matériaux, à déterminer les épaisseurs des couches et à vérifier la tenue de la structure au gel-dégel. Dans le cas des chaussées souples, objet du présent guide, la démarche rationnelle de dimensionnement des chaussées s'applique au dimensionnement structurel des couches d'assises et s'opère vis-à-vis du mécanisme d'endommagement par fatigue des couches en matériaux hydrocarbonés et du mécanisme d'endommagement par déformations permanentes des couches en matériaux granulaires, y compris de la plate-forme de chaussée. En revanche, la méthode de dimensionnement ne prend pas directement en compte le mécanisme d'orniérage par fluage des matériaux hydrocarbonés. Le problème est traité par un choix adéquat des matériaux sur la base d'essais de laboratoire.

Le choix de la couche de surface (matériaux constitutifs, épaisseur) traité dans le chapitre 5 de ce guide, reste quant à lui empirique.

2.2. Classement des infrastructures aéronautiques en vue de leur dimensionnement

Les définitions des différents termes relatifs aux chaussées aéronautiques sont rappelées dans le glossaire (p111).

En termes de dimensionnement, les trois familles de sections suivantes sont introduites et considérées :

- les sections circulées à vitesse élevée,
- les sections circulées à vitesse modérée,
- les aires de stationnement et les sections circulées à faible vitesse.

Comme explicité dans le tableau 1 ci-dessous, chaque zone d'un aérodrome définie usuellement peut être rattachée à l'une de ces familles. À chaque famille est attaché le choix de valeurs numériques de deux paramètres (vitesse et amplitude de balayage), définis au paragraphe 3.1.3.

Sections circulées à vitesse élevée	*Partie courante de la piste*
Sections circulées à vitesse modérée	*Voie de desserte exploitée en mode « roulage »* *Voie de relation* *Entrée/sortie de piste* *600 premiers mètres de la piste, intégrant le seuil* *Voie de circulation partie courante* *Voie de circulation raccordement*
Aires de stationnement et sections circulées à faible vitesse	*Voie de desserte exploitée en mode « push-back »* *Aire de stationnement* *Raquette de retournement* *Aire d'attente (ou plate-forme)*

Tableau 1 : Correspondance entre les trois familles de sections considérées pour le dimensionnement et les différentes infrastructures aéronautiques usuelles.

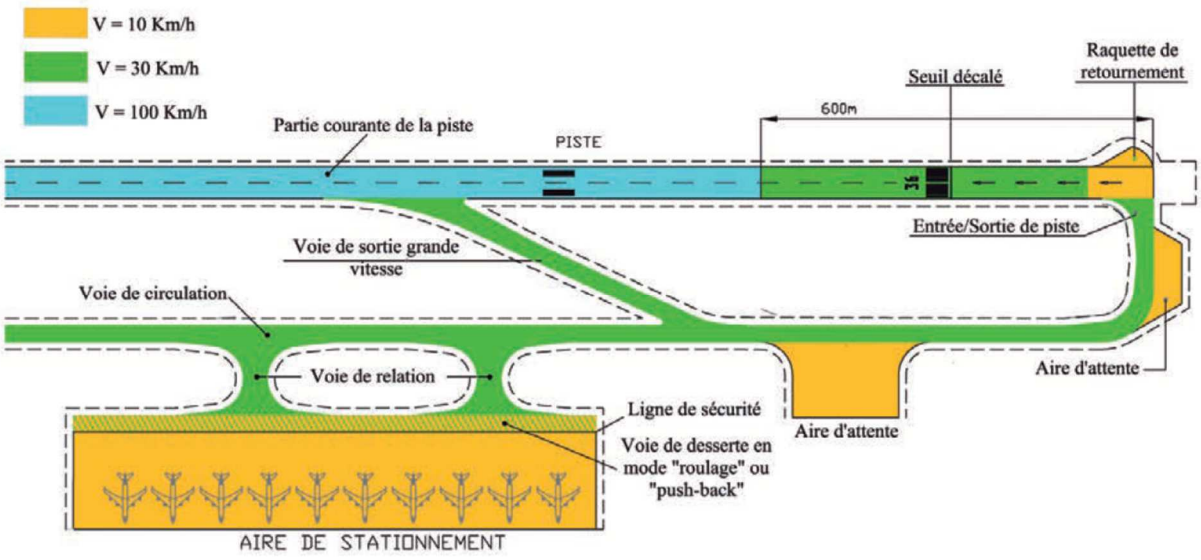


Figure 5 : Représentation des familles de sections circulées considérées pour le dimensionnement.

2.3. La méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées aéronautiques

La méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées aéronautiques, objet du présent guide reprend les bases de la méthode de dimensionnement des chaussées routières et autoroutières, telle qu'elle est décrite dans le guide technique « Conception et dimensionnement des structures de chaussées » (SETRA-LCPC) [1] ainsi que dans la norme NF P 98-086 [2]. La transposition aux chaussées aéronautiques a nécessité diverses adaptations, décrites dans cette partie du guide et la suivante, tant en ce qui concerne la description des données nécessaires au calcul que le déroulement des calculs et le traitement des résultats.

La méthode comporte deux étapes. La première porte sur le dimensionnement mécanique de la structure, la seconde sur la vérification au gel-dégel.

Le dimensionnement mécanique consiste à vérifier que la structure choisie peut supporter le trafic d'aéronefs prévu pendant la période de calcul préalablement fixée.

Notons ici que l'expression « période de calcul » est jugée préférable à celle de « durée de vie », qui littéralement n'a guère de sens pour une chaussée. D'une part, en effet, les dégradations sur un linéaire de chaussée se développent de façon non homogène, d'autre part des considérations de sécurité et d'économie font que des opérations d'entretien seront toujours effectuées avant qu'il n'y ait destruction complète de la structure de chaussée. On ne peut donc véritablement parler de « fin de vie », ni de « durée de vie » d'une chaussée.

Le dimensionnement mécanique repose sur le calcul :

- des sollicitations produites dans la structure par les différents aéronefs, en utilisant le modèle élastique linéaire isotrope multicouche,
- de l'endommagement « individuel » généré, dans chaque matériau, par le passage de chacun des aéronefs. La loi d'endommagement est calée à partir d'essais de fatigue en laboratoire pour les matériaux bitumineux (entre autres) ou de façon empirique pour les matériaux granulaires non traités et les plates-formes. Dans les couches bitumineuses, l'endommagement est créé par le phénomène de fatigue alors que dans les sols et les matériaux granulaires non traités, il se fait par déformations permanentes,
- de l'endommagement total, obtenu par sommation de ces endommagements « individuels » sur toute la période de calcul, compte tenu du trafic considéré et des lois de probabilité de balayage[1]. L'endommagement de la chaussée est alors défini comme la valeur maximale des endommagements totaux calculés pour chacune des couches.

La détermination des caractéristiques à prendre en compte dans le dimensionnement, en particulier les paramètres d'élasticité des matériaux, est précisée dans les chapitres suivants.

[1] ***Densités de probabilité relative au positionnement latéral des aéronefs sur les différentes aires circulées.***

La méthode est assortie de coefficients d'ajustement qui interviennent dans l'expression des lois d'endommagement. Parmi ceux-ci intervient notamment le coefficient de calage issu de l'observation du comportement de chaussées expérimentales et de retours d'expérience. Ce paramètre permet d'intégrer aux résultats des calculs théoriques, d'une part les effets que le modèle ne peut représenter en raison des simplifications faites, d'autre part les biais liés à la description des propriétés des matériaux et à leur mise en œuvre.

L'application de la démarche de dimensionnement commence par un recueil de l'ensemble des données du projet (trafic aéronefs, période de calcul, etc.) et par le choix des paramètres de dimensionnement, notamment les caractéristiques de portance de la plate-forme, la nature des matériaux envisagés dans le cadre du projet et leur niveau de performance. En solution de base, les matériaux devront être sélectionnés parmi ceux faisant l'objet de normes produit à savoir les normes de la série NF EN 13-108 [17] pour les matériaux bitumineux et la norme NF EN 13-285 [18] pour les graves non traitées. La suite de la démarche consiste à appliquer la méthodologie décrite précédemment (calcul des sollicitations et des endommagements qui en découlent), en itérant sur les épaisseurs des différentes couches – ou de certaines de ces couches – afin d'obtenir un endommagement total de la chaussée aussi proche que possible de 1 par valeur inférieure.

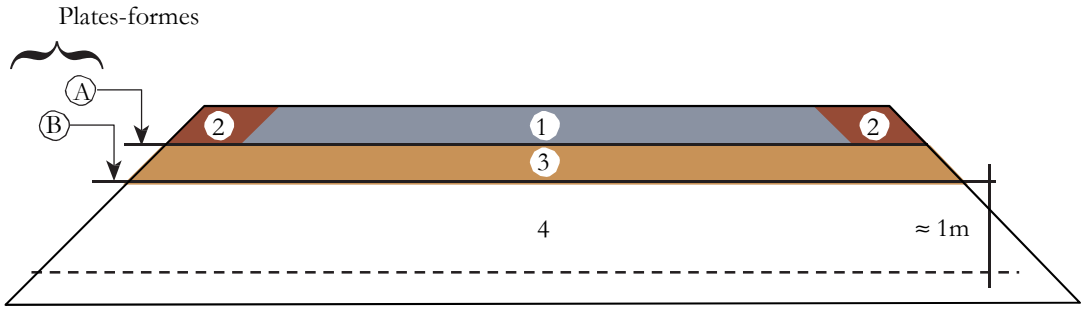
L'ajustement des épaisseurs doit être fait de façon à :

- tenir compte des contraintes technologiques d'épaisseurs minimale et maximale des couches pour atteindre les objectifs de compacité et d'uni, qui dépendent de la nature des matériaux,
- limiter le nombre d'interfaces et ainsi réduire les risques de défaut de liaison à ces niveaux,
- tenir compte des autres critères du projet (technico-économiques, environnementaux, etc.).

4.2 La pratique française des travaux de terrassement

La réglementation des travaux de terrassement en France repose sur des normes d'essais et de classification ainsi que des guides (NFP 11-300, GTR, GTS…). Ces documents suivent les étapes suivantes : étude géotechnique globale, classification des matériaux, conception des travaux à l'aide de la classification et d'autres paramètres, et procédures d'exécution associées. Le système de base a été établi pour la construction de routes; des règles similaires existent pour les chemins de fer, les barrages, le secteur de la construction ainsi que les chaussées aéronautiques (2016).

Les termes spécifiques pour la construction de routes sont indiqués sur la figure ci-dessous.



A. Plate-forme de support routier (PF) ; B. Arase de terrassement (AR)
1. Couches de chaussée (surface (roulement et liaison), assise (base et fondation)) ; 2. Accotements ;
3. Couche de forme ; 4. Partie supérieure de terrassement (remblai) ou terrain naturel (déblai) (PST)
Figure : Définitions d'une structure routière

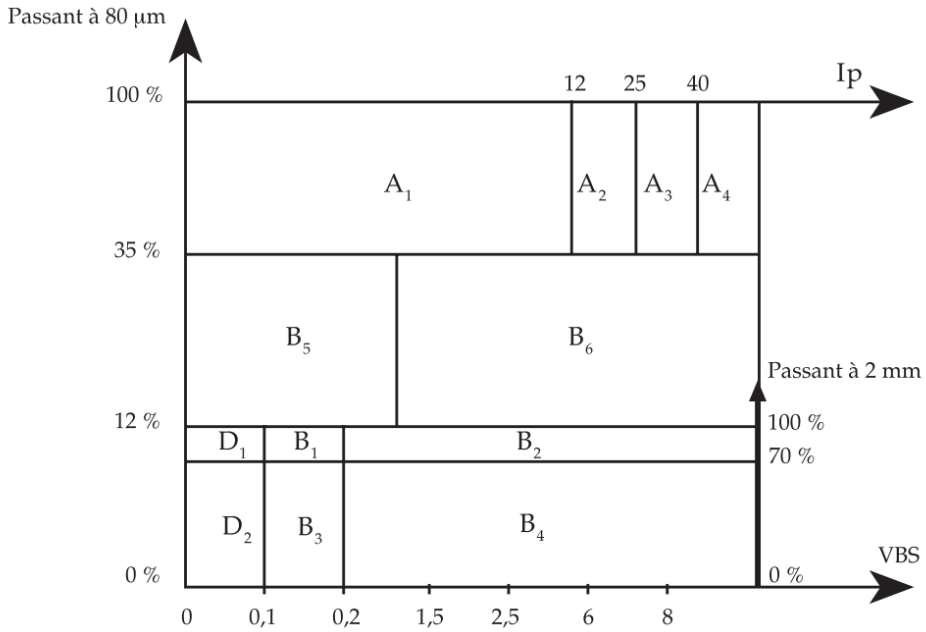
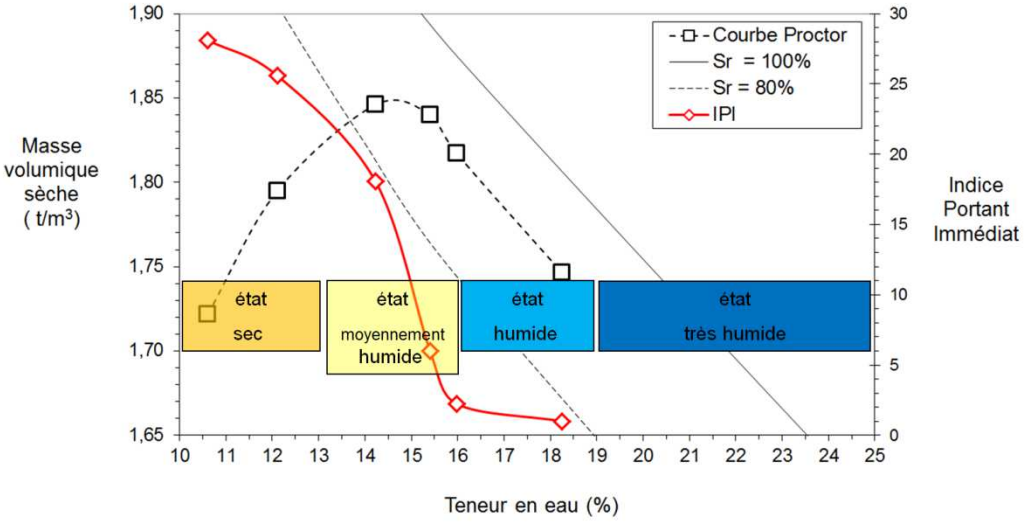


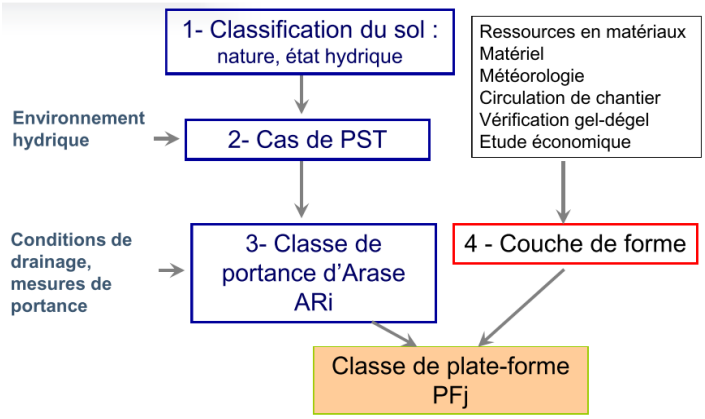
Tableau synoptique de classification des sols fins (A1 à A4), des sols sableux et graveleux avec des fines (B1 à B6), et des sols insensibles à l'eau (D1 à D2) selon leur nature (NF P 11-300)



Application du GTR : Définition des états hydriques d'un sol fin - cas typique d'un limon A2

En rappel de la norme NF P 11-300, les classes de sols A (sols fins), B (sols sableux et graveleux avec des fines) et D (sols insensibles à l'eau) sont subdivisées en sous-classes (figure ci-dessus) : A1 à A4, B1 à B6 et D1 à D2, sur la base de la distribution granulométrique et de l'interaction des sols fins avec l'eau :

- trois caractéristiques de taille de particule sont utilisées: la taille D_{max} du plus grand élément contenu dans le sol ($D_{max} \leq 50$ mm pour les sols A, B et D de la figure ci-dessus), le pourcentage de fines ($C_{80\mu m}$) et le pourcentage de particules d'une taille inférieure à 2 mm (C_{2mm});
- l'indice de plasticité (Ip) et la valeur de bleu de méthylène (VBS). Les deux valeurs peuvent être mesurées sur tous les sols, mais VBS est préféré pour les sols à activité argileuse limitée (VBS < 2,5) et Ip pour les sols avec une activité argileuse modérée à élevée (IP > 12).



La portance à long terme de la plate-forme support de chaussée est déterminée à partir du couple (PST-AR)/couche de forme, avec le module d'Young (E) de calcul associé en vue du dimensionnement de la chaussée.

4.3 Indice CBR/CBRi/IPI sur échantillon compacté

CBR est l'indice d'un sol mesuré à la teneur en eau de confection de l'éprouvette (ou naturel sur échantillon intact) avec application des surcharges (disques).

CBRi est l'indice CBR d'un sol mesuré après quatre jours d'immersion de l'éprouvette avec application de surcharges (disques).

L'indice CBR de dimensionnement d'une chaussée est souvent associé à la teneur en eau optimum et la masse volumique sèche optimum à l'énergie Proctor Modifié, dans un état hydrique de saturation obtenu après quatre jours d'immersion.

IPI (%) est l'Indice Portant Immédiat mesuré à la teneur en eau de confection de l'éprouvette sans application des surcharges précitées.

L'indice IPI d'évaluation de l'aptitude d'un matériau à supporter la circulation des engins de chantier est associé à la teneur en eau du sol (ou sa plage de teneur en eau) et la masse volumique du sol sec correspondante, à l'énergie Proctor Normal, ou à l'énergie Proctor Modifié dans le cas d'un matériau d'assise de chaussée.

Pour mémoire, le principe de ces essais consiste à mesurer la force à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de matériau, et à comparer cette force avec celle mesurée dans un matériau de référence, pour une profondeur de pénétration standardisée.

4.4 Extraits du guide « Dimensionnement des chaussées, Instructions sur le dimensionnement des chaussées et d'aérodromes et la détermination des charges admissibles », vol 2, 1983).

« L'étude CBR vise à déterminer un CBR de calcul en fonction de la susceptibilité du sol aux conditions de densité sèche (compacité) et de teneur en eau. Le principe de cette étude est de poinçonner des échantillons de sol dans des conditions qu'il acquerra une fois revêtu d'une chaussée, ou qu'il possède sous une chaussée existante. Il existe donc plusieurs façons d'exécuter des poinçonnements CBR en faisant varier le mode de préparation des échantillons, leur compactage ct leur degré d'imbibition.

La méthode CBR présente certains inconvénients. Ainsi, l'essai étant dispersé, et l'écart quadratique moyen étant de 25%, pour un CBR moyen de 4, par exemple, le CBR est donc compris entre 3 et 5. Les incertitudes admises sont les suivantes: CBR +/- 1% et module de réaction K : +/- 10 MPa/m

L'étude CBR d'un sol support sous une chaussée existante diffère de celle faite pour une chaussée neuve. En effet, pour une chaussée existante le sol support est à une teneur en eau d'équilibre et à une densité sèche qui ne sont pas obligatoirement celles estimées lors du projet. Il faut donc tenir compte de la teneur en eau et de la densité sèche *in situ* pour déterminer le CBR correspondant qui sera pris en compte pour l'évaluation de la charge admissible.

L'échantillon intact a les mêmes inconvénients de dispersion que le poinçonnement *in situ* mais en plus la méthode de prélèvement peut, dans certains cas, remanier dans une certaine mesure la densité de l'échantillon.Cette manière est néanmoins utile sinon la seule pour étudier les sols fins.

Le module de réaction K, ou module de Westergaard, permet de dimensionner les chaussées rigides. La mesure de ce module est obtenue à l'issue d'un essai de plaque toujours pratiqué *in situ*.

Pour un aérodrome dont l'importance ne justifierait pas une étude CBR complète, ou dans le cas où les renseignements recueillis ne permettraient pas une prévision suffisamment précise de la teneur en eau d'équilibre future, l'étude CBR pourra être limitée à l'étude courante. Dans ce cas, la

valeur du CBR retenue pour dimensionner la chaussée est la valeur la plus basse obtenue sur l'ensemble des essais, avec un compactage à 95 % de l'Optimum Proctor Modifié et après imbibition ».

4.5 Carte géologique et notice

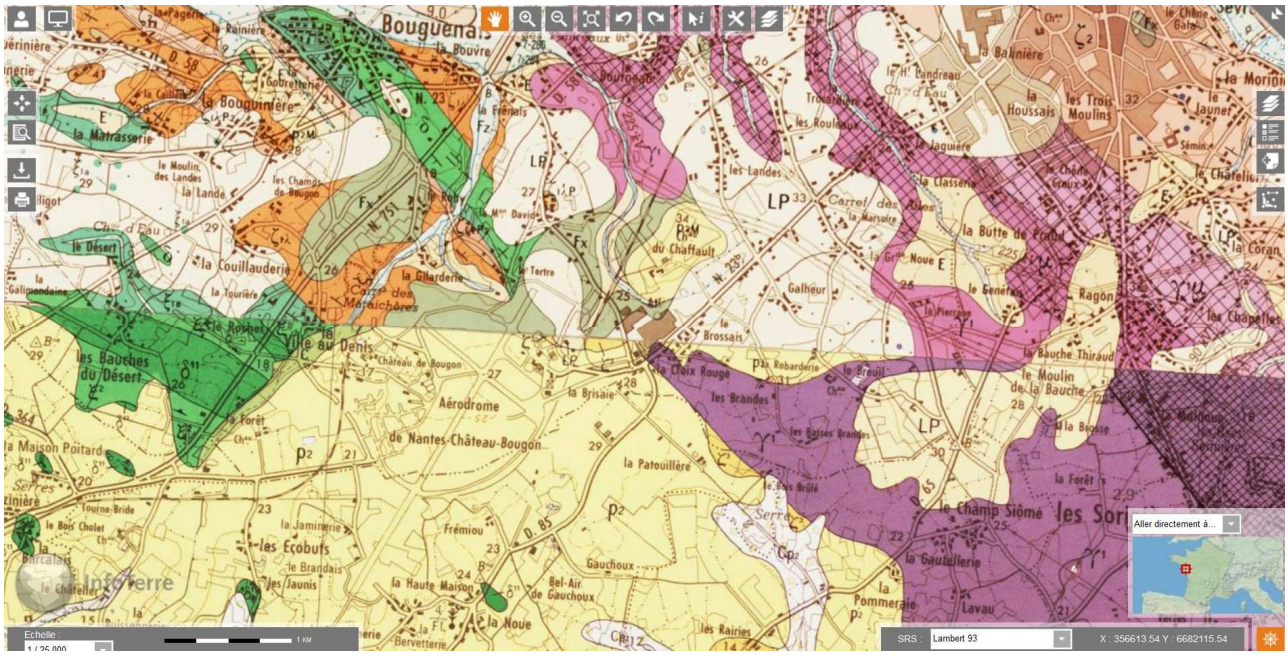


Figure 57. Extrait de la carte géologique au 1/50 000, BRGM, Nantes, XII-23

Extrait de la notice explicative

Fx. Moyenne terrasse (25 m NGF). Sur la rive gauche, elle s'étale entre la Guilbaudière et Brains ainsi qu'au Sud de Bouguenais sur la partie sommitale de l'interfluve qui sépare le fleuve de l'Acheneau : les alluvions ont été arrachées par l'érosion dans les vallons. Mais elles peuvent atteindre 6 m d'épaisseur au sommet de l'interfluve (la Charbonnière). Un bras de la Loire passait par Château-Bougon et se déversait dans le lac de Grand-Lieu (nappe de sable et de gravier avec blocs de gneiss de 30 cm de longueur). Au Nord de Bois-Corbeau (- 24), elle comprend de haut en bas : du sable rouge fin, du sable graveleux avec de nombreux silex jaunes et de l'argile grise reposant sur le gneiss altéré. La caractéristique pétrographique de ces alluvions est la présence parmi les galets de quartz et de grès siliceux, de nombreux silex bruns ou jaunes apportés par la Loire (et venus principalement du Loir), alors que les dépôts marins pliocènes abondants dans la même région renferment surtout du quartz, mêlé à de petits silex bleutés gris ou noirs, ainsi qu'à des fragments de Spongiaires.

Le sable est siliceux parfois très feldspathique et toujours très fortement éolisé ; les minéraux lourds dominants sont l'andalousite, la tourmaline, la staurotide avec des pourcentages notables de fibrolite, d'épidote et de chloritoïde; la hornblende peut représenter jusqu'à 30 % à Château- Bougon (au voisinage des amphibolites). Mais les minéraux lourds que dut apporter la Loire (péridots, pyroxènes) ont disparu par altération. Cette nappe renferme des blocs démesurés de grès éocènes (jusqu'à 1,20 m de longueur) : certains d'entre eux étaient mentionnés comme grès éocènes en place sur la 1ère édition de la feuille Nantes au 1/80 000. Le long de la vallée du Gesvres, on observe aussi quelques restes de terrasses.

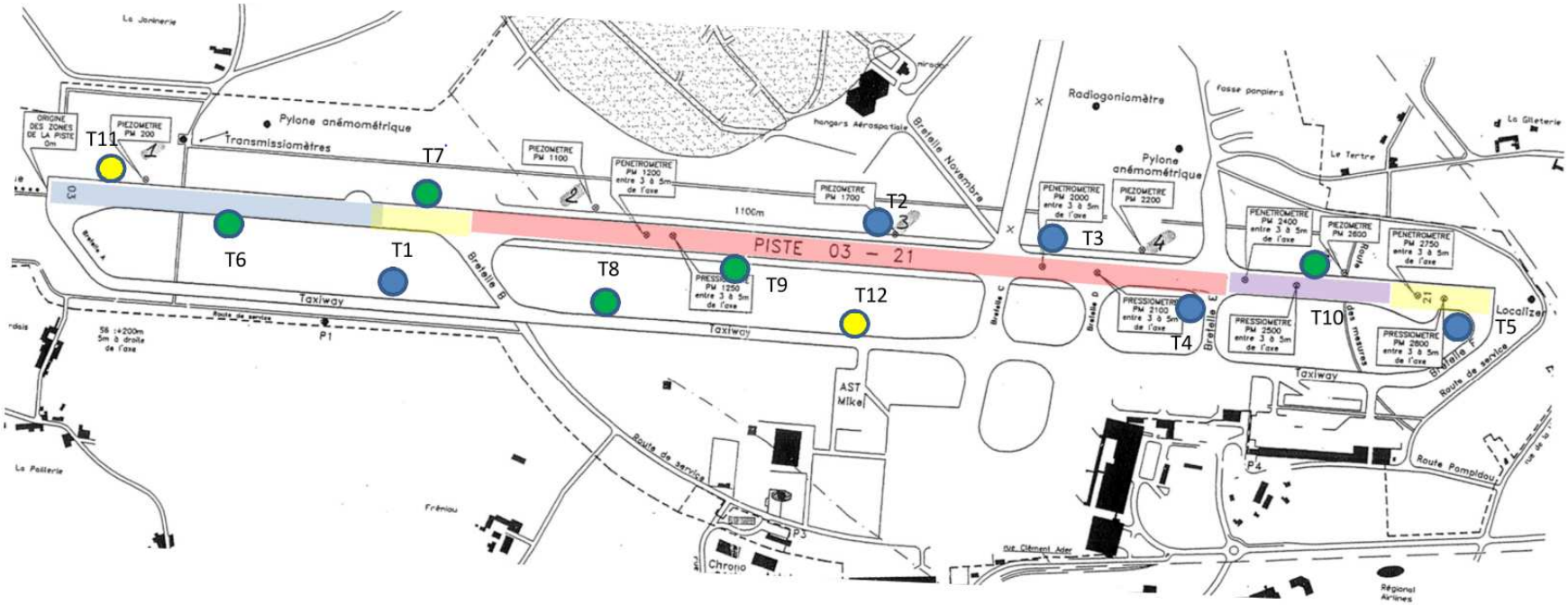
P2M. Pliocène marin. Sables rouges et graviers. Les placages disséminés sur toute la feuille sont les témoins de dépôts beaucoup plus étendus qui ont probablement recouvert presque toute la région. Ils sont mieux conservés dans les dépressions (vallées de l'Erdre, du Gesvres, du Cens, vallée de l'Acheneau et golfe de Brains, vallées des ruisseaux de la Gouretterie (en Bouguenais) et de Boiseau, tributaires de la Loire), ainsi qu'au pied du talus de la Renaudinière (angle NE de la feuille).

Ils recouvrent aussi les interfluves : plates-formes de 25-35 m au Sud de la Loire (de Bois-Corbeau à la Charbonnière au Drouillard et à la gare de Vertou). Le plateau culminant du Sillon de Bretagne n'en est pas dépourvu : l'altitude des placages s'abaisse graduellement d'Ouest en Est - de 84 m (la Valinière) à 30 m (près de la Chapelle-sur-Erdre) ce qui suggère un basculement post-pliocène du massif de Vigneux-Orvault.

Les sédiments détritiques argilo-siliceux pliocènes peuvent atteindre une dizaine de mètres d'épaisseur, avec des lits de sable fin très usé, émoussé luisant ou ovoïde luisant et feldspathique (la Bourguinière,. la Gouretterie, Les Sables rouges en Bouguenais, le Portereau des Landes) ou des lits de sable graveleux et rèche (la Roussinière, la Boisbonnière). D'épaisses couches de galets de quartz, souvent très peu émoussés et presque dénués de matrice, s'observent sur les versants de la vallée de l'Erdre; la glauconie n'est pas rare, la muscovite est abondante; la biotite a disparu par altération. Les sables pliocènes se distinguent des sables quaternaires par leur fréquente usure marine (la Gouretterie, la Durandière) alors que les sables des alluvions anciennes et des limons comportent un fort pourcentage de sable très éolisé. Parmi les minéraux lourds dominent la tourmaline, l'andalousite et la staurotide; l'anatase est abondante, mais la hornblende est très rare. Ces graviers sont exploités artisanalement pour l'entretien des routes.

4.6 Sondages géotechniques (septembre 2017)

Schéma d'Implantation des sondages de reconnaissance à la tarière, en bordure de la piste et des taxiways



Sondage contradictoire au voisinage des sondages 2010 :

Sondage complémentaire :

Sondage optionnel :

Figure 58. Schéma d'implantation des sondages de reconnaissance à la tarière, en bordure de piste et du taxiway

4.7 Reconnaissance Rincent BTP 2010 : implantation et coupes de sondages

Tableau 59 . Implantation et coupes de sondage (campagne de 2010)

	N°	Aire	Positionnement	Point début	Point Fin	Linéaire (m)	Tolérance (m)
Piste 03/21	SC1	Piste 03/21	3m à droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	800	+/-10
	SC2	Piste 03/21	3m à droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	950	+/-10
	SC3	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	650	+/-10
	SC4	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	500	+/-10
	SC5	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	1600	+/-10
Parking	SC6	Parking JULIT	Trace C	Voir plans parkings		25	+/-10
	SC7	Parking HOTEL	Trace A			50	+/-10
	SC8	Parking GOLF	Trace C			25	+/-10
Piste 03/21	SC9	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	2800	+/-10
	SC10	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	2550	+/-10
Piste 03/21	SC5	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	1600	+/-10
	SC11	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	200	+/-10
	SC12	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	1950	+/-10
	SC13	Piste 03/21	2m à gauche de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	2200	+/-10
Taxiway	SC15	Taxiway 03/21	3m à droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	700	+/-10
	SC16	Taxiway 03/21	3m à droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	1500	+/-10
	SC17	Taxiway 03/21	3m à droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	2050	+/-10
	SC18	Taxiway 03/21	3m à droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	2700	+/-10
	SC19	Taxiway 03/21	3m à droite de l'axe	Seuil 03	Seuil 21	3030	+/-10
	SC20	Taxiway BRAVO	3m à gauche de l'axe	Piste 03/21	Taxiway 03/21	130	+/-10
	SC21	Taxiway CHARLIE	3m à droite de l'axe	Piste 03/21	Taxiway 03/21	80	+/-10
	SC22	Taxiway DELTA	3m à gauche de l'axe	Piste 03/21	Taxiway 03/21	110	+/-10
	SC23	Taxiway ECHO	3m à droite de l'axe	Piste 03/21	Taxiway 03/21	110	+/-10
	SC24	Parking commercial	Trace L2/L3			40	+/-10
	SC25	Parking commercial	Poste L4			Centre	+/-10

Parkings	SC26	Parking commercial	Trace L1/L2	Voir plans parkings		80	+/-10
	SC27	Parking commercial	P1			90	+/-10
	SC28	Parking commercial	P3			Centre	+/-10
	SC29	Parking commercial	P17			60	+/-10
	SC30	Parking commercial	P8			50	+/-10
	SC31	Parking commercial	P12			50	+/-10
	SC32	Parking commercial	P20			80	+/-10
	SC33	Parking Mike	Trace B			50	+/-10
	SC37	Taxiway Roméo Charlie	Axe	Taxiway Parallèle	Parking Poste 10 à P20	100	+/-10

CLIENT : Aéroport Nantes Atlantique **CHANTIER :** Aéroport de Nantes **DOSSIER :** 10.3169 Date: 08/09/2010 COTE NGF DU SOL : DESCRIPTION DU SITE :	**SONDAGE N°:** SC5 **TYPE D'APPAREIL :** Sedidrill 250 Diamètre: Carottier 116T6 EI: Echantillon intact, sous gaine blanche

Cote	Prof	Nature du terrain	Echantillons	Observations
	0,10			côtes cumulées en ml
	0,20	Enrobés		
	0,30			
	0,40			0,40
	0,50	Couche granulaire		
	0,60			
	0,70			0,65
	0,80	Mortier		0,77
	0,90	Argile sableuse verdâtre	GTR+Limite d'Atterberg	
	1,00			
	1,10			
	1,20			1,21
	1,30	Mache fer		
	1,40			1,39
	1,50	Sable argileux orangé **Fin**	EI 0 à 1,50	1,50

CLIENT : Aéroport Nantes Atlantique **CHANTIER :** Aéroport de Nantes **DOSSIER :** 10.3169 Date: 08/09/2010 COTE NGF DU SOL : DESCRIPTION DU SITE :	**SONDAGE N°:** SC13 **TYPE D'APPAREIL :** Sedidrill 250 Diamètre: Carottier 116T6 EI: Echantillon intact, sous gaine blanche

Cote	Prof	Nature du terrain	Echantillons	Observations
	0,10	Enrobés		cotes cumulées en ml
	0,20			
	0,30			
	0,40			0,44
	0,50	Couche granulaire		
	0,60			
	0,70			
	0,80			0,77
	0,90	Mortier		0,94
	1,00	Argile sableuse brun à orangé	GTR+Limite d'Atterberg + CBR immédiat	
	1,10			
	1,20			
	1,30			
	1,40			
	1,50	**FIN**	EI 0 à 1,50	1,50

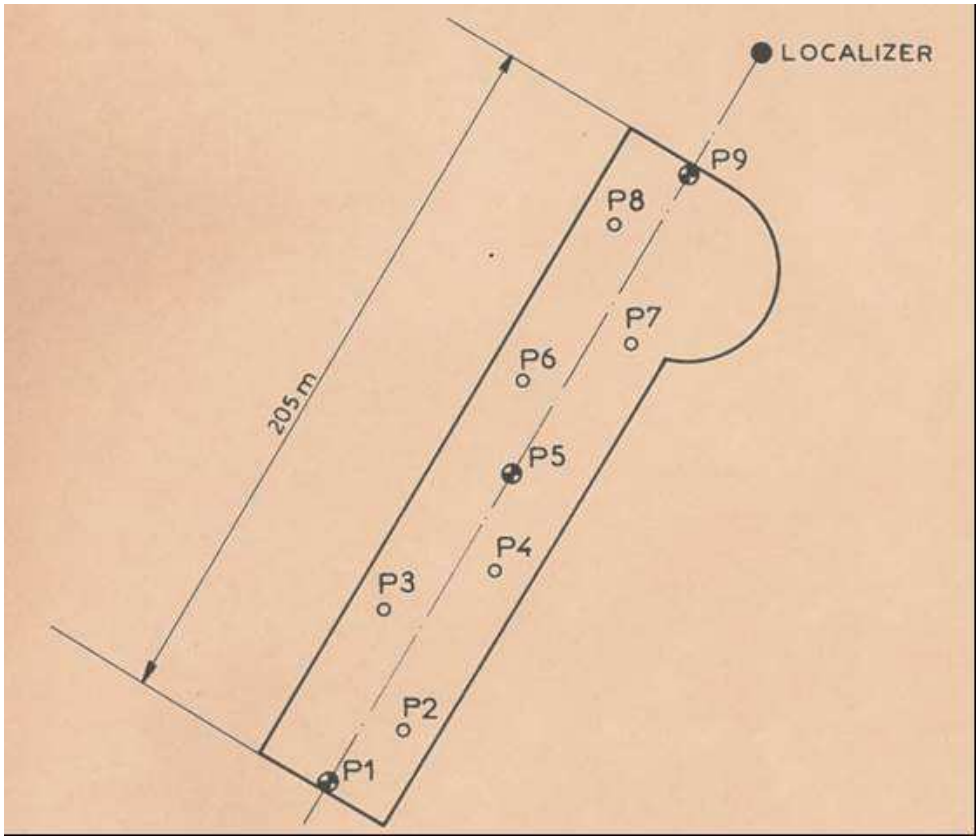
CLIENT : **Aéroport Nantes Atlantique** **CHANTIER :** **Aéroport de Nantes** **DOSSIER :** **10.3169** Date: 15/09/2010 COTE NGF DU SOL : DESCRIPTION DU SITE :	**SONDAGE N°:** **SC19** **TYPE D'APPAREIL :** **Sedidrill 250** Diamètre: **Carottier 116T6** EI: Echantillon intact, sous gaine blanche

Cote	*Prof*	*Nature du terrain*	*Echantillons*	*Observations*
	0,10	Enrobés		côtes cumulées en ml
	0,20			
	0,30			0,23
	0,40	Grave traitée		
	0,50			
	0,60			0,62
	0,70	Couche granulaire		
	0,80			0,80
	0,90	Argile légèrement sableuse orangé	GTR+Limite d'Atterberg	
	1,00			
	1,10			
	1,20			
	1,30			
	1,40			
	1,50	**FIN**	EI 0 à 1,50	1,50

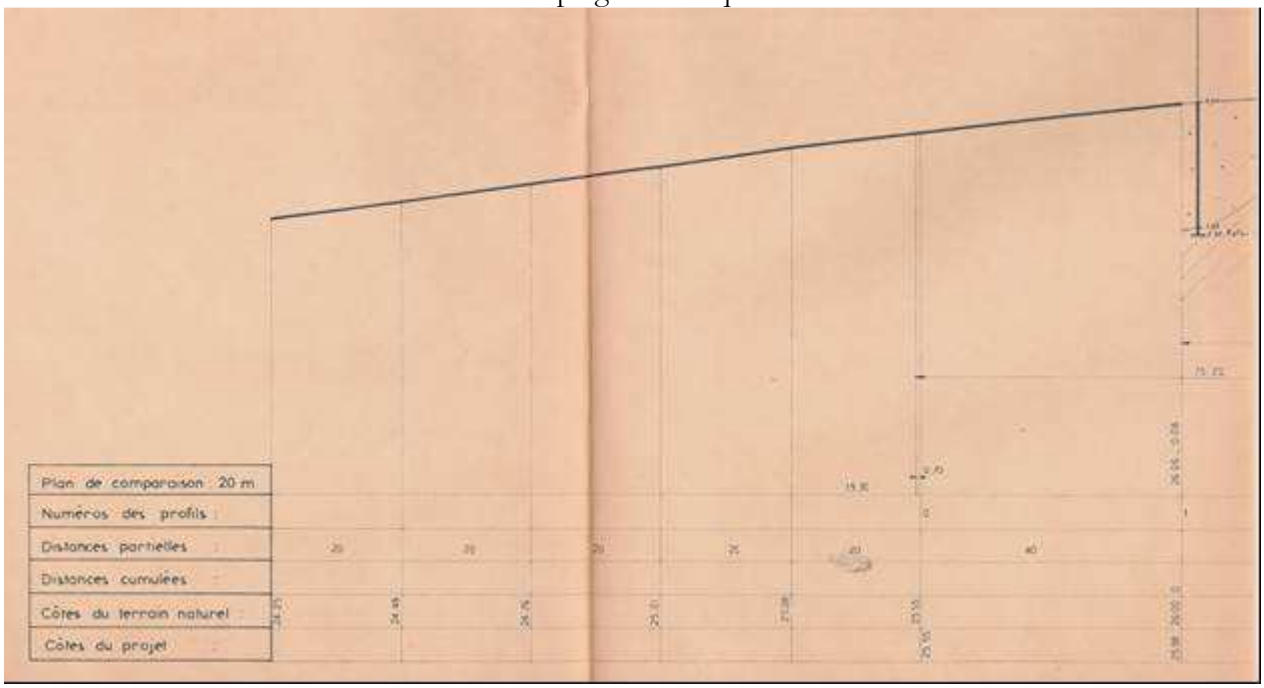
CLIENT : **Aéroport Nantes Atlantique** **CHANTIER :** **Aéroport de Nantes** **DOSSIER :** **10.3169** Date: 13/09/2010 COTE NGF DU SOL : DESCRIPTION DU SITE :	**SONDAGE N°:** **SC15** **TYPE D'APPAREIL :** **Sedidrill 250** Diamètre: **Carottier 116T6** EI: Echantillon intact, sous gaine blanche

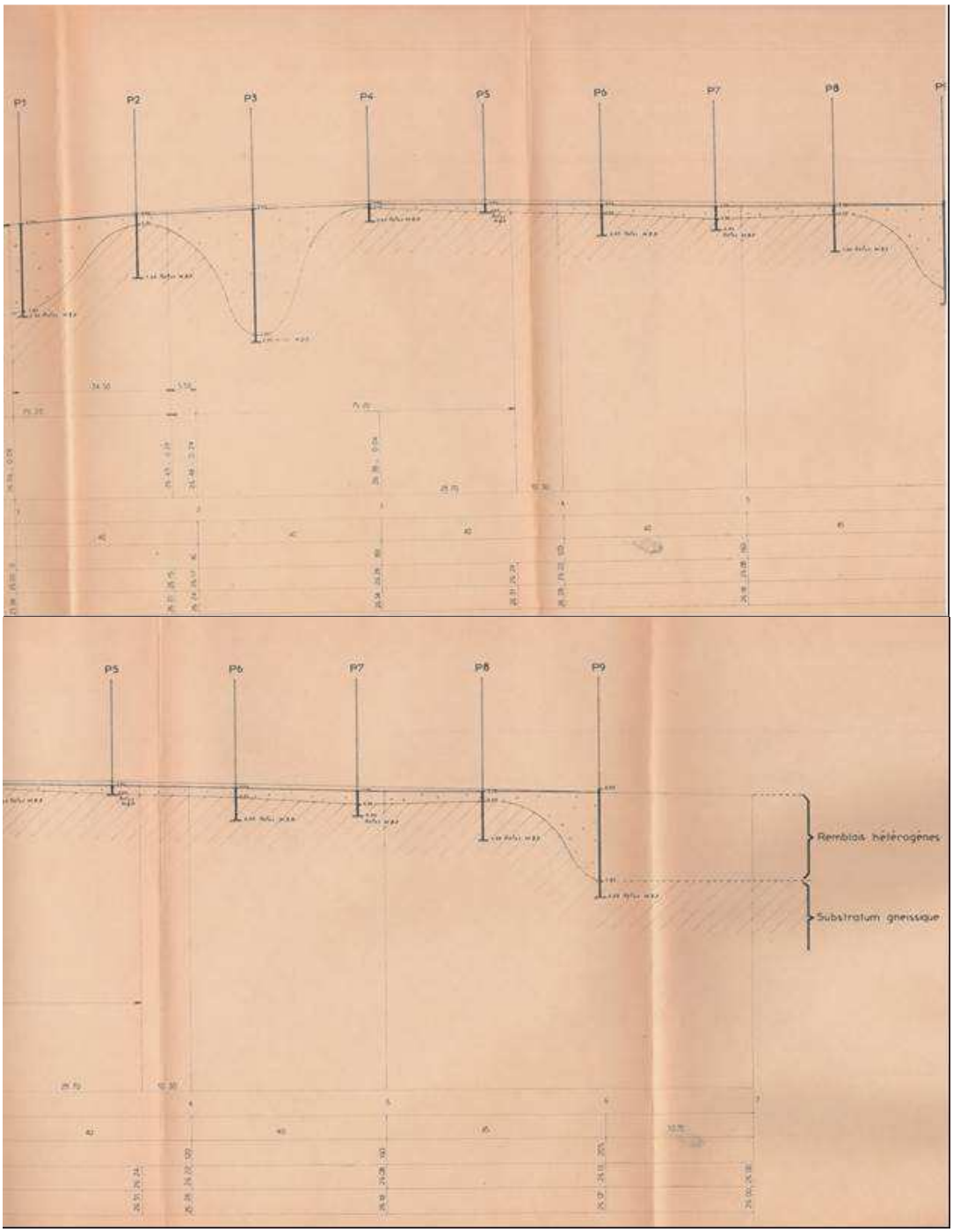
Cote	*Prof*	*Nature du terrain*	*Echantillons*	*Observations*
				cotes cumulées en ml
	0,10	Enrobés		0,14
	0,20	Couche granulaire		0,2
	0,30	Grave traitée		
	0,40			
	0,50			
	0,60			0,58
	0,70	Argile grisâtre à verdâtre	GTR+Limite d'Atterberg	
	0,80			
	0,90			
	1,00			
	1,10			
	1,20			
	1,30			1,30
	1,40	Sable graveleux argileux verdâtre		
	1,50	**FIN**	EI 0 à 1,50	1,50

4.8 Plan d'implantation des sondages, Etude LRPC Angers de juin 1972 – Prolongement de la piste 03/21 (205 m)



Coupe géotechnique




P1
P2
P3
P4
P5
P6
P7
P8
P5
P6
P7
P8
P9
Remblais hétérogènes
Substratum gneissique

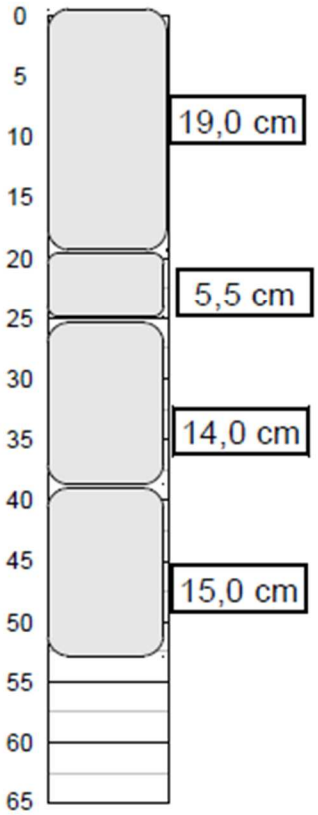
4.9 Coupes des carottages réalisés en septembre 2017

Cerema

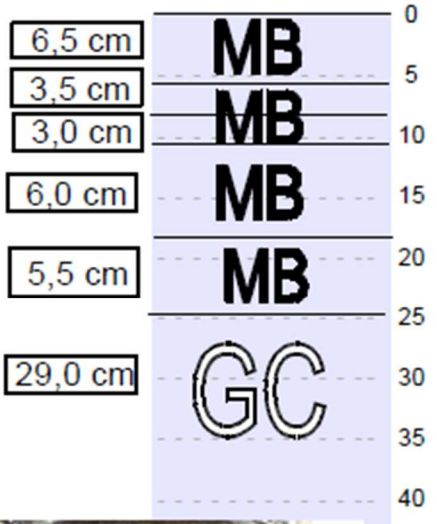
DLRC Angers	Affaire n°
FEUILLE DE CAROTTAGE	C17OA

Carotte n° 1	Département	44	PISTE		
	Aéroport	Nantes			
PM 300	Date	13/09/2017			
	Diamètre	150 mm	Distance de l'axe	4	m

Éléments carottés



Épaisseur des couches



Arrêt du carottage à :	59 cm
Nature du matériau :	GNT

Epaisseurs totales		
Mat. Hydrocarbonés	:	24,5 cm
Mat. Traités au liant hydraulique	:	29,0 cm

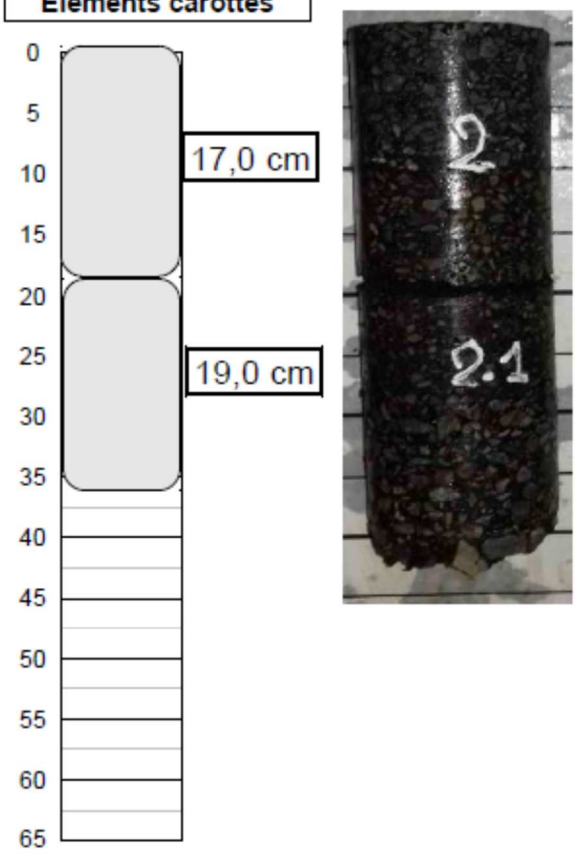
Observations

- MB sains, interfaces collées – décollement à – 19 au carottage
- Interfaces MB/GC et GC/GC dégradées
- GNT 0/40 de -55 cm à -85 cm
- TN Sables argileux de -85 à -110 cm arrêt sondage à -110 cm

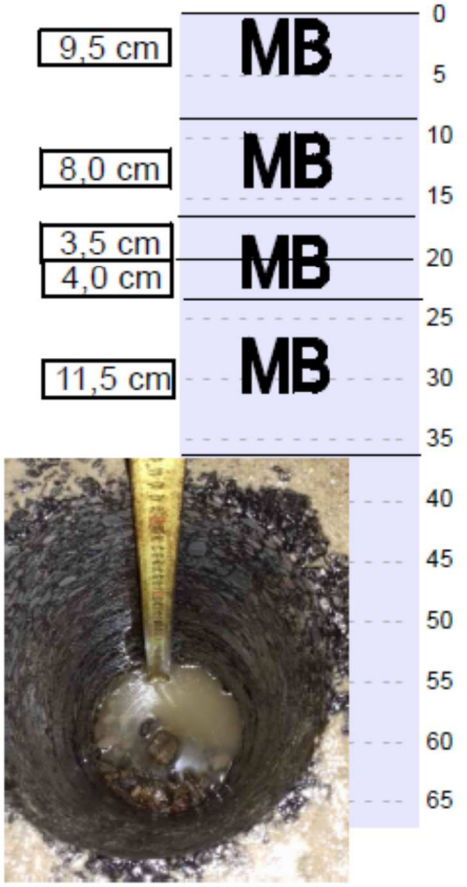
DLRC Angers	Affaire n°
FEUILLE DE CAROTTAGE	C17OA

Carotte n° 2	Département	44	PISTE	
	Aéroport	Nantes		
PM 725	Date	13/09/2017		
	Diamètre	150 mm	Distance de l'axe	4 m

Éléments carottés



Épaisseur des couches



Arrêt du carottage à :	42 cm
Nature du matériau :	GNT

Epaisseurs totales		
Mat. Hydrocarbonés	:	36 cm
Mat. Traités au liant hydraulique	:	X cm

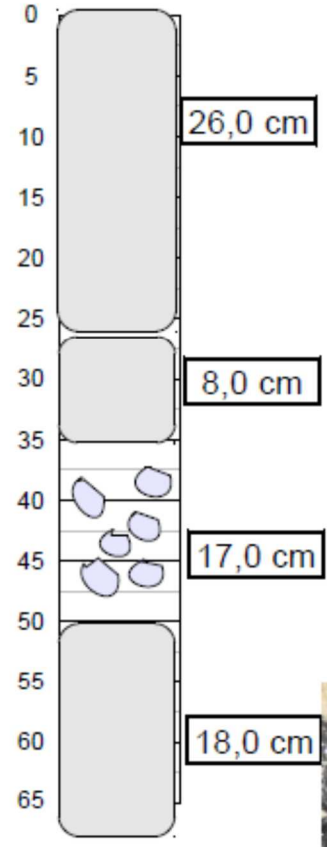
Observations

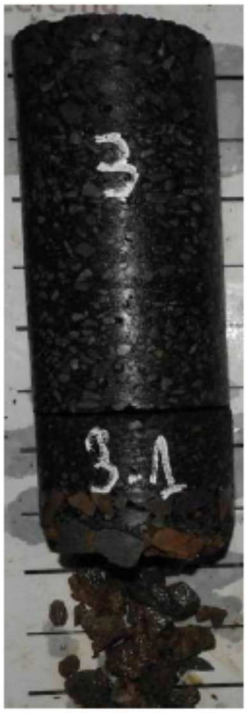
- MB sains, interfaces collées – décollement à – 17 au carottage
- GNT 0/40 de -36 cm à -90 cm
- TN Sables argileux de -90 à -140 cm arrêt sondage à -140 cm

DLRC Angers	Affaire n°
FEUILLE DE CAROTTAGE	C17OA

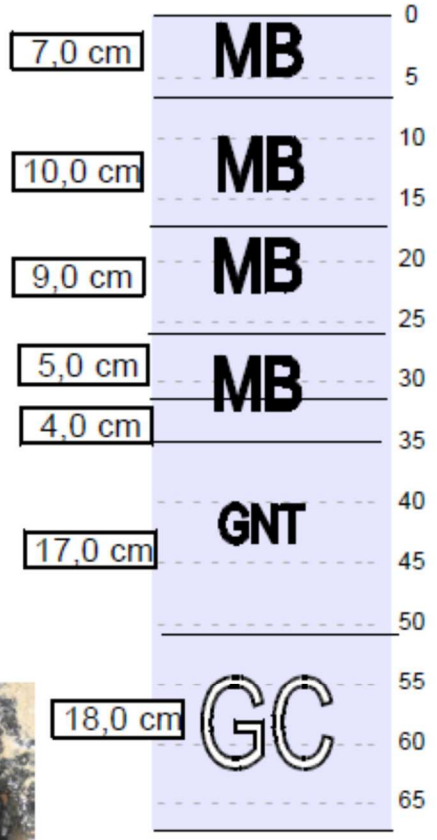
Carotte n° 3	Département	44	PISTE	
	Aéroport	Nantes		
PM 1275	Date	13/09/2017		
	Diamètre	150 mm	Distance de l'axe	4 m

Éléments carottés





Épaisseur des couches



Arrêt du carottage à :	40 cm
Nature du matériau :	GNT

Epaisseurs totales		
Mat. Hydrocarbonés	:	35 cm
Mat. Traités au liant hydraulique	:	18,0 cm

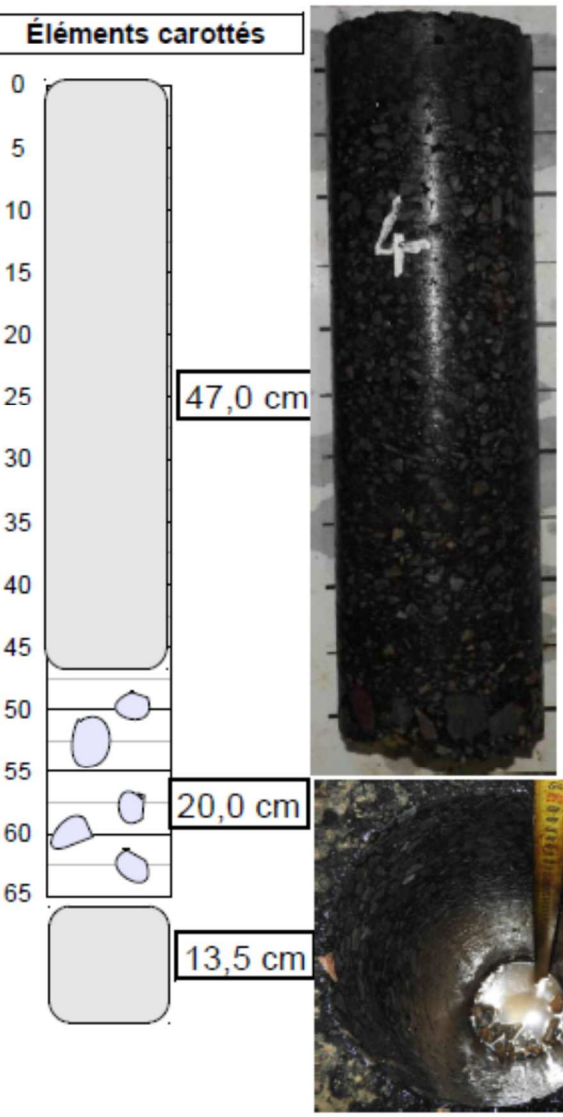
Observations

- MB sains, interfaces collées – décollement à – 26 au carottage
- GNT 0/40 de - 35 cm à -52 cm ; GC de -52 cm à -70 cm
- TN Sables argileux de -70 à -120 cm arrêt sondage à -120 cm

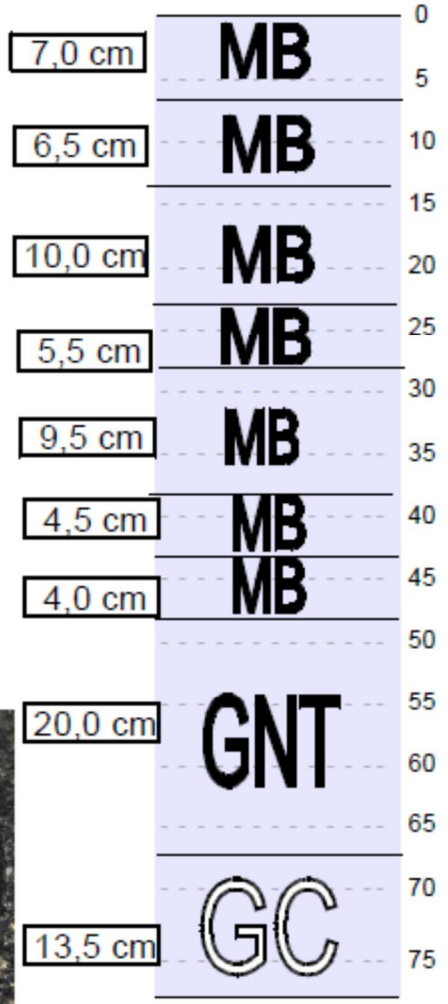
DLRC Angers	Affaire n°
FEUILLE DE CAROTTAGE	C17OA

Carotte n° 4	Département	44	PISTE	
	Aéroport	Nantes		
PM 2100	Date	13/09/2017		
	Diamètre	150 mm	Distance de l'axe	4 m

Éléments carottés



Épaisseur des couches



Arrêt du carottage à :	**47 cm**
Nature du matériau :	**GNT**

Epaisseurs totales		
Mat. Hydrocarbonés	**:**	**47 cm**
Mat. Traités au liant hydraulique	**:**	**13,5 cm**

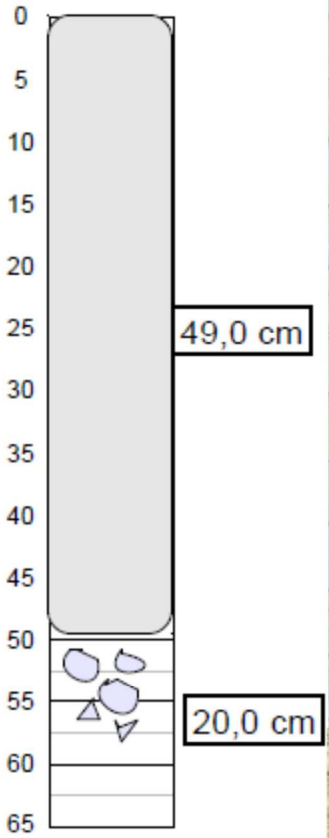
Observations

- MB sains, interfaces collées
- GNT 0/40 de -47 cm à -67 cm ; GC de -67 cm à – 80,5 cm
- TN Sables argileux de -70,5 à – 90 cm arrêt sondage à – 90 cm

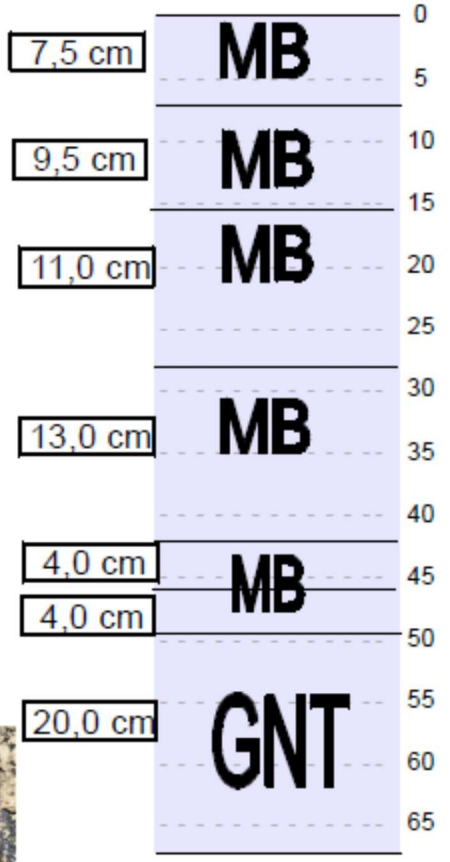
DLRC Angers	Affaire n°
FEUILLE DE CAROTTAGE	C17OA

Carotte n° 5	Département	44	PISTE	
	Aéroport	Nantes		
PM 2540	Date	14/09/2017		
	Diamètre	150 mm	Distance de l'axe	4 m

Éléments carottés



Épaisseur des couches



Arrêt du carottage à :	**60 cm**
Nature du matériau :	**GNT**

Epaisseurs totales		
Mat. Hydrocarbonés	**:**	**49 cm**
Mat. Traités au liant hydraulique	**:**	**X cm**

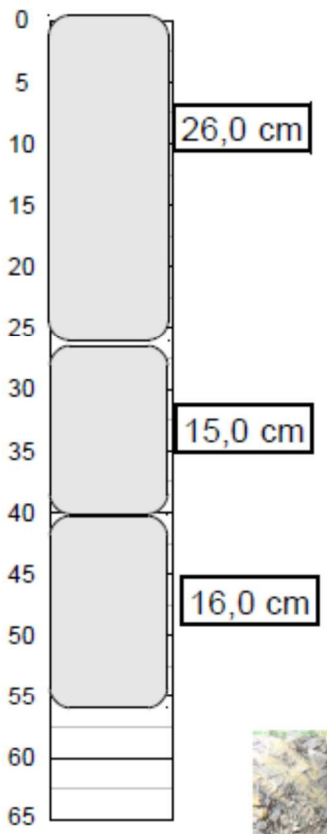
Observations

- MB sains, interfaces collées
- GNT 0/40 de -49 cm à -69 cm
- Blocage 0/60 de -69 cm à -95 cm ; refus rocher arrêt sondage à -95 cm

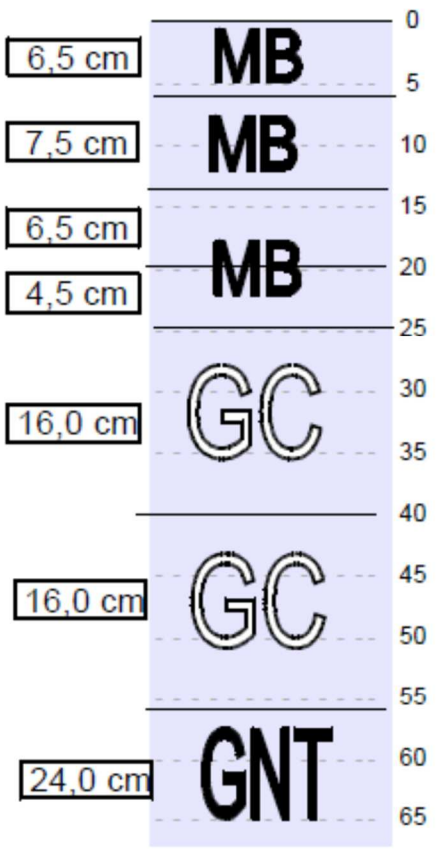
DLRC Angers	Affaire n°
FEUILLE DE CAROTTAGE	C17OA

Carotte n° 6	Département	44	PISTE	
	Aéroport	Nantes		
PM 2780	Date	14/09/2017		
	Diamètre	150 mm	Distance de l'axe	4 m

Éléments carottés



Épaisseur des couches



Arrêt du carottage à :	**80 cm**
Nature du matériau :	**GNT**

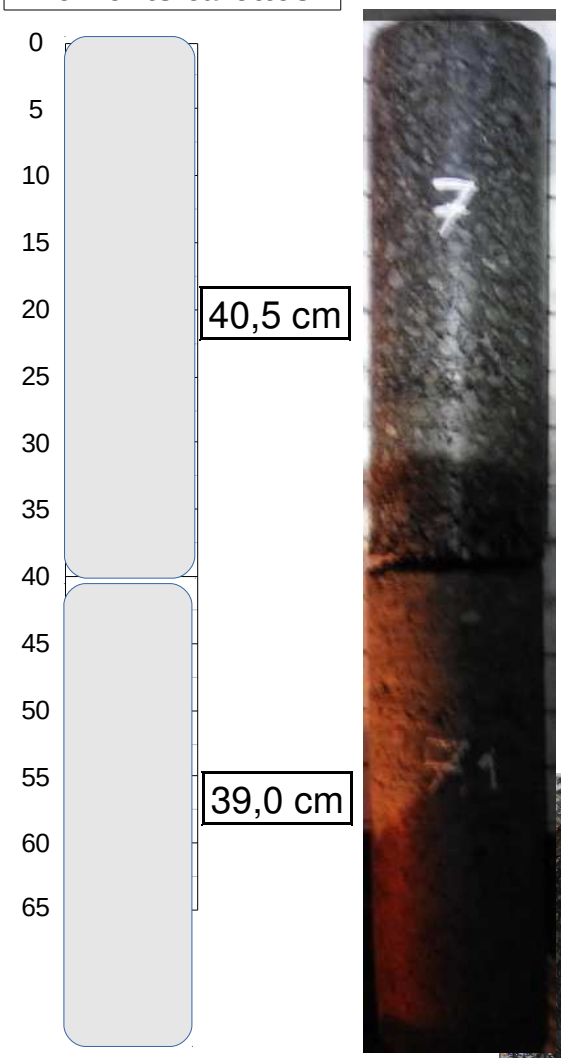
Epaisseurs totales		
Mat. Hydrocarbonés	**:**	**25 cm**
Mat. Traités au liant hydraulique	**:**	**32,0 cm**

Observations

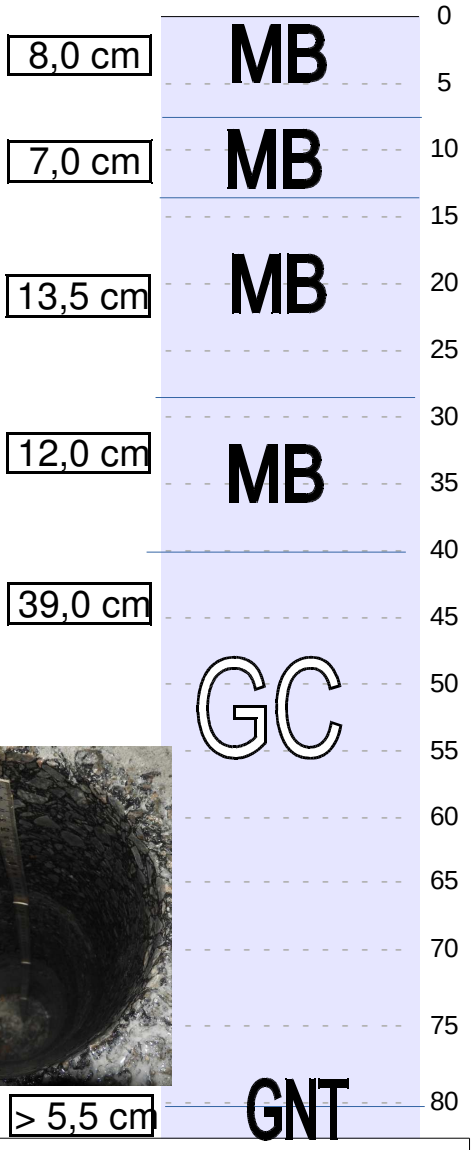
- MB sains, interfaces collées – décollement à – 26 au carottage
- GC de – 25 cm à - 57 cm ; interface GC/GC décollée
- GNT 0/40 -57 cm à -80 cm arrêt sondage à – 80 cm refus rocher

Carotte n° 7	Département	44	Bretelle	A
	Aéroport	Nantes		
A +45 M	Date	14/09/2017		
	Diamètre	150 mm	Distance de l'axe	4 m

Éléments carottés



Épaisseur des couches



Arrêt du carottage à :	**85 cm**
Nature du matériau :	**GNT**

Epaisseurs totales		
Mat. Hydrocarbonés	**:**	**40,5 cm**
Mat. Traités au liant hydraulique	**:**	**39,0 cm**

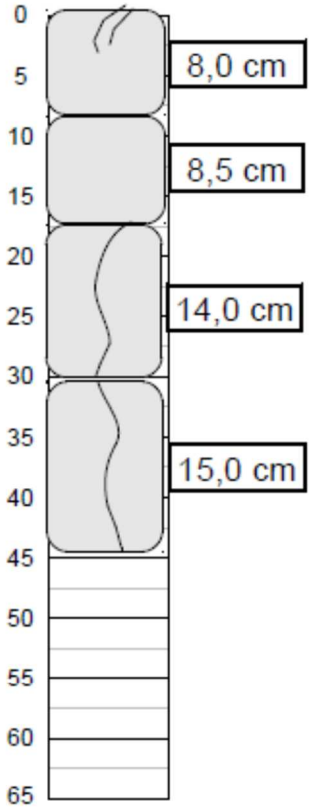
Observations

- MB sains, interfaces collées – décollement à – 40,5 au carottage
- GC de -40,5 cm à -79,5 cm
- GNT 0/40 -79,5 cm à -85 cm arrêt carottage

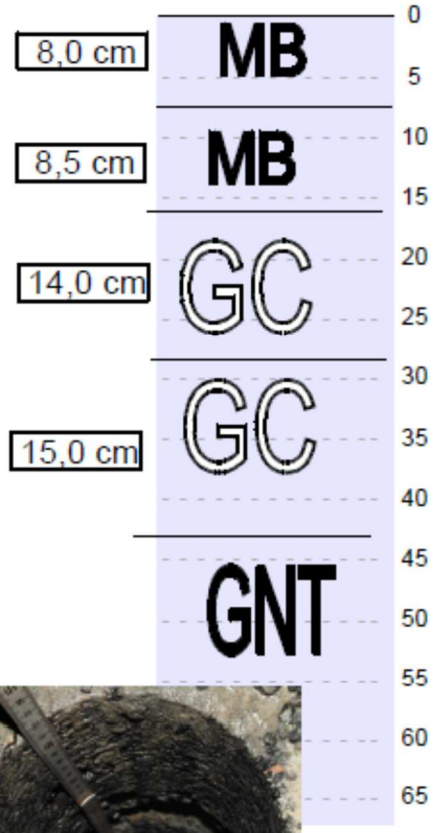
DLRC Angers	Affaire n°
FEUILLE DE CAROTTAGE	C17OA

Carotte n° 8	Département	44	TAXIWAY		
	Aéroport	Nantes			
1305	Date	14/09/2017			
	Diamètre	150 mm	Distance de l'axe	4	m

Éléments carottés



Épaisseur des couches



Arrêt du carottage à :	60 cm
Nature du matériau :	GNT

Epaisseurs totales		
Mat. Hydrocarbonés	:	16,5 cm
Mat. Traités au liant hydraulique	:	29,0 cm

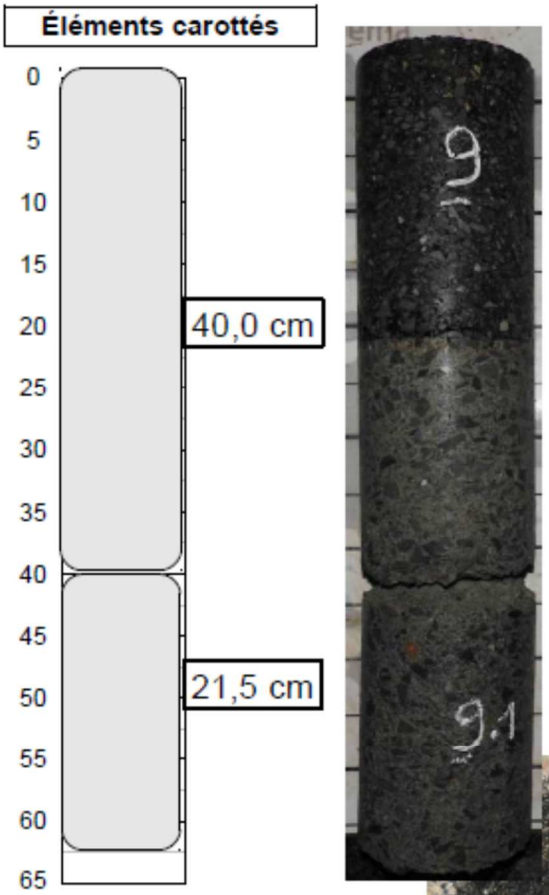
Observations

- CdR fissurée, interfaces décollées et dégradées dans le trou
- GC fissurée sur toute son épaisseur
- GNT 0/40 -45 cm à -60 cm arrêt carottage à -60 cm

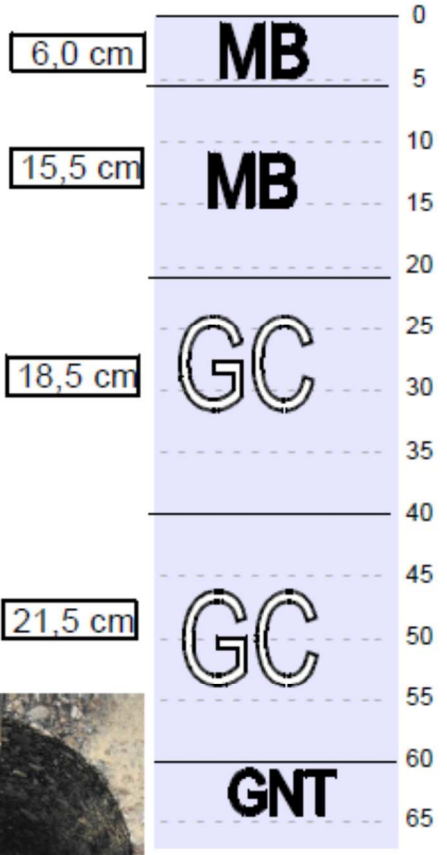
DLRC Angers	Affaire n°
FEUILLE DE CAROTTAGE	C17OA

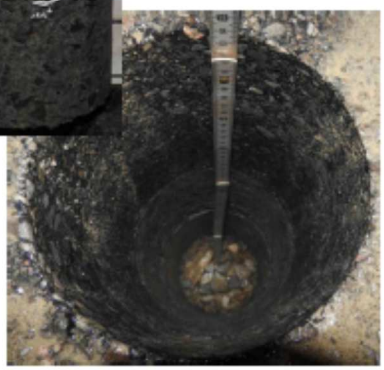
Carotte n° 9	Département	44	TAXIWAY	
	Aéroport	Nantes		
2740	Date	14/09/2017		
	Diamètre	150 mm	Distance de l'axe	4 m

Éléments carottés



Épaisseur des couches





Arrêt du carottage à :	**70 cm**
Nature du matériau :	**GNT**

Epaisseurs totales		
Mat. Hydrocarbonés	**:**	**21,5 cm**
Mat. Traités au liant hydraulique	**:**	**40,0 cm**

Observations

- MB sains
- interface GC/ GC décollée dégradée dans le trou
- GNT 0/40 -61,5 cm à -70 cm
  arrêt carottage à -70 cm

4.10 Principe du fonctionnement du HWD

Cerema

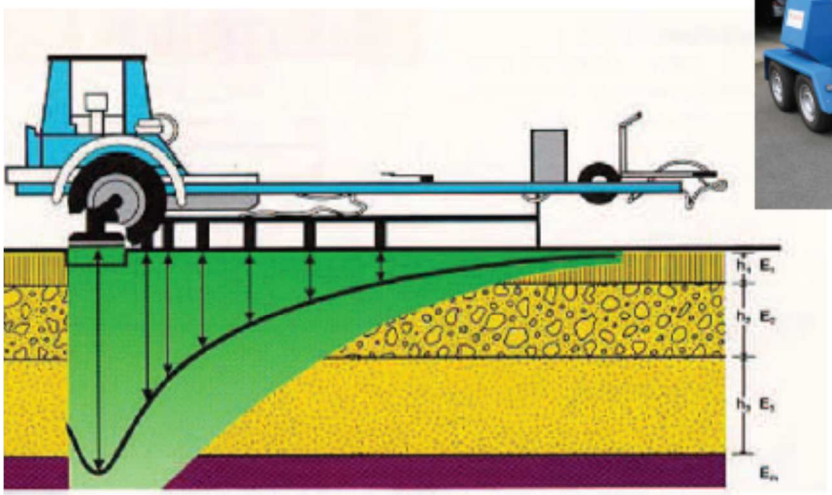
Principe de mesure du Heavy Weight Deflectometer

Le HWD (Heavy Weight Deflectometer) ou Déflectomètre à masse tombante permet de reproduire une charge impulsionnelle voisine de celle produite par le passage d'une charge roulante, aussi bien en temps qu'en amplitude. La charge est appliquée sur la chaussée par l'intermédiaire d'une plaque circulaire de 30 cm de diamètre. Cette charge, mesurée avec précision par un capteur de force, provoque un bassin de déflexion qui est mesuré en 9 points par des géophones (cf. figure ci-dessous).

Les 9 géophones disponibles sont disposés sous la charge, et à différents éloignements (jusqu'à 2 mètres de la charge) afin de mesurer l'ensemble du bassin de déflexion.

Différentes hauteurs de chocs peuvent être utilisées, afin d'appliquer un chargement compris entre 30 et 320 kN (permettant l'application de charge simulant le passage de poids lourds ou d'aéronefs).

Ce type de chargement permet de solliciter des ouvrages spécifiques : assise hydraulique, infrastructures portuaires et aéroportuaires. Elle permet également une utilisation du signal à des fins de modélisation (rétrocalculs, conditions d'interface (collées ou non)...).



Principe de mesure du Heavy Weight Deflectometer (mesure du bassin de déflexion)

HWD du département laboratoire de Saint Brieuc

Exploitation pour les couches de chaussées :

Le logiciel ALIZE-LCPC permet le calcul des sollicitations créées par le trafic dans les structures de chaussées. Il considère un massif semi-infini, constitué d'une superposition de couches de matériau d'épaisseur constante. Chaque matériau est décrit par son comportement mécanique, caractérisé par son module d'Young, E, et son coefficient de Poisson, ν. Les sollicitations créées par les charges roulantes dans les différentes couches de matériaux sont calculées à l'aide du modèle multicouches élastique linaire de Burmister.

La charge du FWD étant connue (diamètre de la plaque de chargement, force appliquée), le logiciel ALIZE-LCPC permet d'exploiter le bassin de déflexions par rétrocalculs : si l'épaisseur des couches de chaussées, et leurs conditions d'interface (collées ou non) sont connues, les modules des différentes couches de chaussées peuvent être calculés. Cette exploitation se fait en statique, sur la base de la force maximale appliquée.

Cerema

Mesures de bassins de déflexion au Heavy Weight Deflectometer

1. *Description du HWD*

Le HWD (Heavy Weight Deflectometer) ou Déflectomètre à masse tombante permet de reproduire une charge impulsionnelle voisine de celle produite par le passage d'une charge roulante, aussi bien en temps qu'en amplitude.

La charge est appliquée sur la chaussée par l'intermédiaire d'une plaque circulaire de 30 cm de diamètre. Cette charge, mesurée avec précision par un capteur de force, provoque un bassin de déflexion qui est mesuré en 9 points par des géophones.

2. *Équipement et sécurité*

Ces mesures doivent être faites sur chaussée hors circulation ou sous une protection adéquate, (mettre systématiquement feux de position, feu de détresse et gyrophare pour vous signaler à la circulation du chantier).

EPI : Baudrier, chaussures de sécurité

3. *Matériel*

Le Heavy Weight Deflectometer est constitué du fourgon CZ-114-EY (Trafic) et de la remorque associée HWD n°8082 DQ-400-TM. Avant de partir, l'opérateur doit s'assurer de la présence des 20 masses (25 kg chacune).

L'ordinateur permettant le pilotage et l'acquisition des mesures est le PC portable lenovo ainsi que le câble réseau associé.

L'opérateur doit s'assurer du bon état du matériel utilisé et s'il constate un dysfonctionnement quelconque, il doit en avertir le responsable matériel de l'unité.

4. *Protocole de mesure*

Les 9 géophones disponibles sont disposés suivant les consignes figurant sur la feuille de route. Le géophone D1 est placé sous la charge, les géophones D2 à D9 sont généralement répartis aux distances suivantes : 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150 et 180 cm du centre de la charge.

A chaque choc, est enregistrée la charge appliquée et la déflexion maximale relevées par chaque géophone. Au dernier choc de chaque hauteur sont, en outre, sauvegardées les courbes de réponse du capteur de force et des 9 géophones.

Les températures de l'air et de la surface de la chaussée sont mesurées à chaque point de mesures au HWD (capteurs intégrés).

Remarque : ce protocole est donné à titre d'exemple, et le positionnement des géophones utilisé dans cette étude est différent

4.11 Résultats des mesures HWD de septembre 2017

4.11.1 Data HWD piste, sens 03 => 21

			plaque = 300 mm								X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
										distance à la charge (mm) =>	0	200	300	400	600	900	1200	1500	1800	2100
protocole 1 : 1 choc non enregistré + 3 chocs à 240 KN																				
station ID n°	latitude	longitude	altitude	abscisse lin	T°surfac	T° air	heure	moy S	moy F		moy D1_	moy D2_	moy D3_	moy D4_	moy D5_	moy D6_	moy D7_	moy D8_	moy D9_	moy D10_	sens 03=
1	47,142002913	-1,619191081	22,375722885	50	14,5	13,2	14/9/17 0:05	3398,0	240,2		556,0	452,3	409,5	377,0	315,7	238,1	175,0	130,8	97,7	74,0	
2	47,142397886	-1,618883630	22,459203720	100	14,6	13,1	14/9/17 0:06	3395,3	240,0		441,0	369,5	337,7	313,7	265,2	206,4	158,5	121,7	93,4	71,6	
3	47,142801180	-1,618585871	22,478155136	150	14,5	13,1	14/9/17 0:08	3384,7	239,2		550,8	426,5	384,5	356,9	304,7	241,1	189,9	150,5	117,8	92,2	
4	47,143202712	-1,618285075	22,984804153	200	14,7	13,1	14/9/17 0:10	3393,7	239,9		526,9	434,1	388,8	359,9	306,3	239,3	185,9	141,5	102,3	73,3	
5	47,143615207	-1,617977131	23,488292694	250	14,6	13,2	14/9/17 0:11	3386,3	239,4		680,7	541,9	478,4	441,1	382,4	308,6	249,5	200,4	160,6	130,7	
6	47,144001626	-1,617670766	24,203365326	300	14,6	13,1	14/9/17 0:12	3387,7	239,4		751,8	592,3	517,4	463,3	368,6	265,7	207,4	159,5	122,3	99,1	
7	47,144395515	-1,617371700	24,597595215	350	14,6	13,1	14/9/17 0:14	3385,0	239,3		622,7	456,9	381,3	339,4	281,6	214,3	162,7	121,3	89,0	65,1	
8	47,144790112	-1,617068400	24,595432281	400	14,6	13,0	14/9/17 0:15	3399,3	240,3		426,3	288,2	245,7	230,2	211,6	180,6	152,1	125,1	88,1	64,6	
9	47,145199740	-1,616754035	24,539712906	450	14,5	13,0	14/9/17 0:17	3391,3	239,7		595,8	484,1	442,6	417,2	369,9	300,2	233,6	184,6	144,2	112,9	
10	47,145600189	-1,616450485	24,056566238	500	14,6	12,9	14/9/17 0:18	3402,7	240,5		448,8	360,9	325,6	309,8	273,3	195,3	147,8	115,9	88,9	68,5	
11	47,145998491	-1,616144363	23,865671158	550	14,5	13,0	14/9/17 0:19	3382,7	239,1		779,7	619,1	541,2	482,8	384,8	268,8	178,2	124,5	85,7	64,0	
12	47,146379095	-1,615856700	23,863681793	600	14,4	13,0	14/9/17 0:20	3396,3	240,1		488,3	383,4	343,4	329,2	306,1	267,5	211,9	147,5	108,0	79,0	
13	47,146774165	-1,615555000	24,170879364	650	14,1	13,0	14/9/17 0:22	3362,0	237,6		1166,6	912,3	781,4	679,2	521,9	350,0	230,1	154,9	108,0	78,8	
14	47,147193801	-1,615233400	24,557456970	700	14,2	12,9	14/9/17 0:23	3381,7	239,0		873,3	708,0	635,2	573,7	464,9	326,4	229,2	159,6	113,9	85,5	
15	47,147591097	-1,614932895	25,019500732	750	14,5	12,9	14/9/17 0:25	3384,7	239,2		764,0	596,9	521,5	468,1	388,7	296,7	224,4	169,6	131,0	99,5	
16	47,147991090	-1,614623300	25,297979355	800	14,4	12,8	14/9/17 0:26	3393,0	239,8		596,8	492,5	446,4	411,8	355,7	282,6	224,9	177,7	138,9	111,9	
17	47,148395888	-1,614311700	25,635324478	850	14,2	12,8	14/9/17 0:27	3382,0	239,0		709,4	566,1	498,1	465,5	398,4	313,4	245,6	188,9	143,5	110,1	
18	47,148782122	-1,614021700	25,787929535	900	14,3	12,8	14/9/17 0:28	3399,7	240,3		469,4	401,2	367,4	336,6	283,2	213,1	158,8	116,3	82,8	62,4	
19	47,149168589	-1,613730000	25,756000519	950	14,3	12,8	14/9/17 0:30	3384,7	239,3		734,2	555,7	465,6	407,9	322,7	229,0	163,1	115,3	81,9	59,2	
20	47,149560000	-1,613441700	26,100976944	1000	14,3	12,8	14/9/17 0:31	3386,3	239,3		739,0	585,2	524,0	480,7	413,5	329,3	260,0	202,5	152,6	116,7	
21	47,149973134	-1,613128451	26,311822891	1050	14,3	12,7	14/9/17 0:32	3378,3	238,8		887,6	694,5	604,4	551,4	470,2	375,9	294,3	209,3	143,6	102,9	
22	47,150384735	-1,612823400	26,604021072	1100	14,3	12,7	14/9/17 0:33	3348,0	236,7		1388,6	1142,0	1005,6	904,0	736,7	495,1	303,1	180,8	110,9	65,2	
23	47,150776700	-1,612523300	26,556219101	1150	14,3	12,8	14/9/17 0:34	3385,0	239,3		910,9	707,2	576,7	500,6	400,4	278,8	192,7	133,1	91,7	65,2	
24	47,151158300	-1,612231600	26,409999847	1200	14,3	12,8	14/9/17 0:36	3388,3	239,5		824,9	665,2	578,3	507,0	393,0	259,9	171,5	115,5	78,5	56,9	
25	47,151571995	-1,611908843	26,240837097	1250	14,3	12,8	14/9/17 0:37	3381,3	239,0		990,2	810,7	726,9	665,3	568,8	442,9	332,1	238,0	164,1	111,7	
26	47,151967012	-1,611605969	26,572500229	1300	14,3	12,8	14/9/17 0:38	3400,0	240,3		635,9	488,3	425,0	385,1	315,9	230,2	167,0	120,6	85,7	66,5	
27	47,152376325	-1,611300000	26,807691574	1350	14,3	12,7	14/9/17 0:39	3403,0	240,5		607,4	491,6	429,5	388,2	321,2	241,7	180,6	134,8	98,8	74,4	
28	47,152760807	-1,611008300	26,457653046	1400	14,4	12,8	14/9/17 0:41	3398,0	240,2		639,2	525,0	467,4	423,8	359,6	278,3	215,5	166,0	126,9	97,9	
29	47,153144690	-1,610712200	26,236978531	1450	14,4	12,7	14/9/17 0:42	3369,0	238,1		1008,3	830,5	738,4	678,0	581,7	457,6	353,3	266,4	196,3	144,5	
30	47,153543796	-1,610403089	25,428510666	1500	14,4	12,7	14/9/17 0:43	3392,0	239,8		617,0	518,3	467,5	428,1	360,3	273,1	205,6	155,9	115,6	90,4	
31	47,153951838	-1,610096700	25,279581070	1550	14,4	12,7	14/9/17 0:45	3403,3	240,6		584,6	463,2	408,2	376,1	325,5	257,2	200,4	154,5	117,3	88,6	
32	47,154336700	-1,609806700	25,389949799	1600	14,4	12,6	14/9/17 0:46	3394,7	239,9		680,4	545,3	481,2	434,8	354,8	264,1	197,4	146,4	108,9	79,4	
33	47,154749192	-1,609493555	25,299999237	1650	14,3	12,6	14/9/17 0:47	3400,0	240,3		670,4	526,0	467,5	429,1	375,0	298,4	231,2	179,5	138,5	108,7	
34	47,155130891	-1,609198913	25,219289780	1700	14,4	12,7	14/9/17 0:48	3399,7	240,3		571,8	511,3	476,2	448,0	391,5	313,1	247,9	195,4	152,0	117,6	
35	47,155547099	-1,608893300	25,674743652	1750	14,2	12,7	14/9/17 0:49	3401,7	240,4		678,3	580,5	530,1	491,0	423,2	320,3	241,8	183,3	139,9	106,8	
36	47,155951700	-1,608578400	26,443367004	1800	14,1	12,6	14/9/17 0:50	3403,0	240,5		555,3	471,6	432,0	407,1	360,8	295,5	237,0	187,3	147,8	115,3	
37	47,156349361	-1,608276700	26,963451385	1850	14,1	12,7	14/9/17 0:52	3405,3	240,7		544,3	413,5	359,7	326,1	273,8	207,4	159,2	120,5	92,1	70,3	
38	47,156738927	-1,607986600	27,222726822	1900	14,2	12,6	14/9/17 0:53	3408,0	240,9		410,5	302,2	258,9	236,7	203,3	163,2	131,5	105,6	83,4	67,2	
39	47,157135699	-1,607684318	27,538021088	1950	14,2	12,6	14/9/17 0:54	3410,0	241,1		332,5	228,8	194,3	180,0	161,3	136,0	113,5	94,8	77,6	63,7	
40	47,157518661	-1,607378538	27,551528931	2000	14,2	12,6	14/9/17 0:56	3407,7	240,9		450,3	316,9	269,5	243,4	213,0	174,0	141,7	114,6	90,3	74,5	
41	47,157927832	-1,607062806	27,350254059	2050	14,1	12,7	14/9/17 0:57	3397,0	240,1		580,8	429,6	362,2	324,7	274,9	214,2	167,9	129,7	99,9	79,4	
42	47,158322343	-1,606770000	27,350753784	2100	14,0	12,6	14/9/17 0:58	3400,0	240,3		561,5	433,0	376,2	339,9	284,4	225,3	178,8	140,9	112,4	88,3	
43	47,158747625	-1,606452424	27,109548569	2150	14,1	12,6	14/9/17 1:00	3401,0	240,4		502,3	388,5	337,8	306,6	257,3	202,0	158,2	123,2	94,9	75,6	
44	47,159138300	-1,606149094	26,646734238	2200	14,0	12,6	14/9/17 1:01	3402,3	240,5		540,8	408,7	347,7	309,0	258,7	202,1	155,5	120,1	91,3	72,0	
45	47,159537785	-1,605834311	25,739377975	2250	14,0	12,5	14/9/17 1:02	3398,3	240,2		488,1	381,5	332,1	306,0	263,0	207,8	162,2	125,4	95,0	74,1	
46	47,159924780	-1,605541523	25,440414429	2300	13,9	12,6	14/9/17 1:03	3398,3	240,2		495,1	379,6	331,0	298,9	248,1	189,4	141,9	106,8	80,4	59,6	
47	47,160326302	-1,605250803	24,729291916	2350	13,9	12,6	14/9/17 1:04	3389,3	239,6		775,0	638,3	572,5	528,6	447,7	341,5	256,5	189,1	135,5	99,5	
48	47,160705026	-1,604950000	23,979660034	2400	13,9	12,6	14/9/17 1:06	3397,7	240,2		532,3	408,1	351,5	312,5	258,4	193,0	145,0	109,6	83,3	65,0	
49	47,161116115	-1,604643111	23,707017899	2450	14,0	12,6	14/9/17 1:07	3385,7	239,3		657,4	515,4	444,5	398,2	329,6	246,4	184,9	138,6	106,5	81,2	
50	47,161505939	-1,604355000	23,822650909	2500	13,9	12,6	14/9/17 1:09	3399,7	240,3		550,7	404,6	343,9	311,9	256,8	191,4	142,5	107,7	81,4	65,3	
51	47,161910819	-1,604045000	24,273845673	2550	14,0	12,6	14/9/17 1:10	3390,3	239,6		722,7	558,6	469,5	411,0	327,5	236,6	170,4	123,3	92,9	70,7	
52	47,162315709	-1,603743011	24,913064957	2600	14,0	12,6	14/9/17 1:12	3393,3	239,9		715,3	546,5	455,7	395,4	305,0	211,2	141,0	92,8	58,9	35,5	
53	47,162700487	-1,603445000	25,497989655	2650	13,8	12,6	14/9/17 1:13	3385,3	239,3		1028,7	773,2	626,4	515,6	354,9	198,0	112,2	66,6	44,7	32,6	
54	47,163103300	-1,603139245	25,979696274	2700	14,0	12,6	14/9/17 1:14	3412,7	241,2		575,1	397,8	344,6	294,6	225,7	146,6	92,5	57,5	35,6	24,2	
55	47,163521885	-1,602815000	26,328325272	2750	14,1	12,6	14/9/17 1:16	3377,0	238,7		782,8	687,0	643,8	598,6	516,8	409,6	320,3	250,5	192,5	149,1	
56	47,163913035	-1,602512560	26,480401993	2800	14,1	12,6	14/9/17 1:17	3380,7	238,9		827,7	710,7	639,8	576,4	465,6	327,0	220,6	148,0	96,4	61,3	
57	47,164304074	-1,602213400	26,057001114	2850	14,1	12,6	14/9/17 1:19	3366,0	237,9		989,5	866,6	800,6	733,7	608,5	452,6	322,5	219,2	137,8	89,0	
58	47,164693300	-1,601918300	25,799999237	2900	14,1	12,6	14/9/17 1:20	3391,3	239,7		748,1	643,4	579,8	514,5	395,4	251,8	170,9	125,8	96,6	77,8	
				moyenne =	14,3	12,8	-	3391,7	239,7		672,1	535,0	470,6	426,3	355,0	266,8	199,1	148,0	109,4	82,5	
				ecart-type =	0,2	0,2	-	12,1	0,9		197,7	168,7	150,1	133,8	107,9	78,2	57,1	42,3	31,9	24,9	

protocole 2 : 1 choc non enregistré + 3 chocs à 120 KN ..avant 3 chocs à 240 KN

station ID n°	latitude	longitude	altitude	abscisse lin	T°surface	T° air	heure	moy S	moy F	moy D1_	moy D2_	moy D3_	moy D4_	moy D5_	moy D6_	moy D7_	moy D8_	moy D9_	moy D10_sens 03=
9	47,14519974	-1,61675403	24,53971291	450	14,5	13,0	14/9/17 0:17	1704,7	120,5	325,7	261,1	236,0	220,5	192,1	152,4	116,6	91,5	72,5	55,5
14	47,14719380	-1,61523340	24,55745697	700	14,2	12,9	14/9/17 0:23	1706,7	120,6	469,3	374,0	335,6	297,4	235,2	157,4	107,6	73,5	51,3	38,6
30	47,15354380	-1,61040309	25,42851067	1500	14,4	12,7	14/9/17 0:43	1694,7	119,8	317,5	263,1	234,8	213,2	175,6	128,7	94,4	70,0	51,9	39,3
40	47,15751866	-1,60737854	27,55152893	2000	14,2	12,6	14/9/17 0:56	1704,0	120,4	233,7	163,2	134,1	119,5	102,9	81,4	64,6	51,6	40,6	32,6
49	47,16111611	-1,60464311	23,70701790	2450	14,0	12,6	14/9/17 1:07	1699,3	120,1	339,2	261,3	221,3	195,2	160,0	116,5	86,1	66,1	50,7	39,7
55	47,16352189	-1,60281500	26,32832527	2750	14,1	12,6	14/9/17 1:16	1699,3	120,1	409,8	356,1	332,4	307,8	263,3	205,8	158,9	123,4	93,9	73,5
				moyenne =	14,0	12,5	-	3154,6	223,0	645,6	515,2	453,0	409,5	339,9	253,8	188,1	138,9	102,3	77,0
				ecart-type =	1,9	1,7	-	673,0	47,6	227,3	190,2	168,8	151,4	123,4	90,6	66,5	48,8	35,9	27,2

4.11.2 Data HWD piste, sens 21 => 03

				plaque = 300 mm							X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
								distance à la charge (mm) =>			0	200	300	400	600	900	1200	1500	1800	2100
protocole 1 : 1 choc non enregistré + 3 chocs à 240 KN																					
station ID n°	latitude	longitude	altitude mesures	abscisse l	abscisse corr.	T°surface	T° air	heure	moy S	moy F	moy D1_	moy D2_	moy D3_	moy D4_	moy D5_	moy D6_	moy D7_	moy D8_	moy D9_	moy D10_sens 21-
1	47,1647750	-1,6019367	25,8407612	0	2950	13,7	13,0	14/9/17 1:33	3243,7	229,3	2813,1	2707,4	2254,6	1853,1	1200,5	450,7	104,1	49,5	50,5	54,5
2	47,1643733	-1,6022467	26,1391068	50	2900	14,0	12,9	14/9/17 1:34	3411,7	241,1	533,1	408,9	353,0	306,7	226,8	135,6	75,5	40,1	20,9	12,0
3	47,1639833	-1,6025496	26,0300007	100	2850	14,0	12,8	14/9/17 1:35	3385,0	239,2	1212,1	1012,2	838,1	697,1	488,4	282,3	161,1	94,0	56,5	32,9
4	47,1635778	-1,6028461	26,0848103	150	2800	13,8	12,9	14/9/17 1:37	3390,7	239,7	716,4	620,2	576,5	537,8	450,0	353,1	269,3	209,4	163,7	130,3
5	47,1631600	-1,6031631	25,9065113	200	2750	13,8	12,9	14/9/17 1:39	3397,0	240,1	744,8	543,6	447,7	386,6	293,2	177,7	106,0	61,3	35,8	19,9
6	47,1627633	-1,6034583	25,4394741	250	2700	13,7	12,9	14/9/17 1:40	3371,0	238,3	1205,0	995,8	858,7	743,3	551,4	338,3	206,0	128,2	80,6	51,6
7	47,1623717	-1,6037588	24,8064995	300	2650	13,7	12,6	14/9/17 1:41	3400,0	240,3	593,8	460,2	398,7	360,0	298,0	217,8	157,1	109,9	76,4	51,4
8	47,1619533	-1,6040844	24,1723175	350	2600	13,7	12,7	14/9/17 1:42	3399,3	240,3	527,6	390,3	328,9	292,0	237,4	172,5	128,5	97,9	75,1	61,5
9	47,1615517	-1,6043927	23,6029587	400	2550	13,7	12,8	14/9/17 1:43	3394,7	240,0	379,8	279,5	243,1	220,3	184,8	143,3	112,4	86,9	71,0	56,9
10	47,1611814	-1,6046717	23,4114418	450	2500	13,9	12,7	14/9/17 1:45	3401,0	240,4	557,8	448,2	398,7	364,8	312,3	246,1	191,5	147,5	114,3	89,4
11	47,1607855	-1,6049683	23,5185928	500	2450	13,9	12,6	14/9/17 1:46	3401,0	240,4	482,2	380,3	333,9	303,9	253,0	191,6	146,1	110,4	85,1	64,5
12	47,1607854	-1,6049683	23,5173721	550	2400	13,9	12,7	14/9/17 1:47	3392,3	239,8	479,4	377,5	334,3	303,4	252,5	193,9	147,3	112,0	84,3	66,3
13	47,1603867	-1,6052737	23,7676468	600	2350	13,9	12,7	14/9/17 1:50	3391,0	239,7	672,5	553,3	492,7	450,1	374,9	282,6	208,1	150,4	107,7	77,4
14	47,1599917	-1,6055766	24,3653259	650	2300	13,8	12,7	14/9/17 1:52	3399,0	240,3	583,9	457,9	402,6	366,4	306,8	233,0	176,2	131,6	98,1	73,3
15	47,1595873	-1,6058900	25,0169239	700	2250	14,0	12,7	14/9/17 1:53	3410,0	241,0	469,3	363,4	318,7	293,1	251,2	198,1	154,5	119,8	92,4	73,5
16	47,1591967	-1,6061821	25,6932659	750	2200	14,1	12,7	14/9/17 1:54	3404,3	240,6	421,0	339,8	307,6	284,2	243,3	192,7	152,4	118,8	91,9	72,0
17	47,1587817	-1,6064950	26,3206024	800	2150	14,0	12,7	14/9/17 1:55	3408,3	240,9	520,2	397,3	342,6	311,5	268,1	213,3	168,5	133,8	105,2	83,3
18	47,1583792	-1,6067988	26,8214283	850	2100	14,1	12,7	14/9/17 1:57	3408,0	240,9	419,2	339,4	302,3	274,4	232,7	185,9	149,3	122,2	100,6	82,6
19	47,1579750	-1,6071103	26,8964291	900	2050	14,0	12,7	14/9/17 1:58	3398,7	240,2	560,4	411,1	343,0	308,1	254,1	197,9	154,4	121,5	96,4	75,9
20	47,1576028	-1,6073958	26,7793846	950	2000	14,1	12,7	14/9/17 1:59	3403,7	240,6	434,0	334,9	292,4	269,2	235,5	192,0	158,0	129,5	104,6	85,0
21	47,1571924	-1,6077119	26,6299496	1000	1950	14,1	12,7	14/9/17 2:01	3412,0	241,2	317,7	216,7	180,1	164,3	145,7	125,4	109,0	94,7	80,9	70,5
22	47,1567962	-1,6080150	26,1676769	1050	1900	14,1	12,8	14/9/17 2:02	3404,7	240,7	445,2	334,5	288,6	261,4	222,7	176,9	143,4	116,4	92,8	76,0
23	47,1563960	-1,6083250	25,8538074	1100	1850	14,1	12,7	14/9/17 2:03	3396,7	240,1	661,0	514,0	447,2	403,4	332,7	245,5	183,7	135,5	101,0	76,7
24	47,1560009	-1,6086217	25,5489998	1150	1800	14,0	12,8	14/9/17 2:04	3381,7	239,0	756,7	616,2	545,6	498,2	423,8	325,3	253,4	195,7	152,8	119,4
25	47,1556210	-1,6089095	24,9500008	1200	1750	14,0	12,8	14/9/17 2:06	3387,7	239,5	666,8	555,6	505,2	474,2	410,5	329,0	260,2	200,8	151,2	113,3
26	47,1552017	-1,6092283	24,5989742	1250	1700	14,1	12,8	14/9/17 2:07	3394,7	240,0	550,0	462,3	421,5	393,5	345,3	277,7	220,1	174,1	136,4	105,4
27	47,1548116	-1,6095216	24,4474754	1300	1650	13,9	12,9	14/9/17 2:08	3383,0	239,1	602,3	502,8	464,6	437,2	384,6	312,9	252,0	198,4	155,1	120,6
28	47,1544233	-1,6098200	24,5948181	1350	1600	14,1	12,9	14/9/17 2:09	3395,7	240,0	599,2	471,6	419,1	387,9	337,8	274,8	217,8	170,9	132,1	103,5
29	47,1540109	-1,6101300	24,9750004	1400	1550	13,9	12,9	14/9/17 2:11	3391,3	239,7	555,1	429,2	380,6	349,3	297,4	228,5	171,1	129,4	97,1	75,3
30	47,1536404	-1,6104164	25,0654259	1450	1500	14,0	13,0	14/9/17 2:12	3383,7	239,2	832,0	666,6	567,6	499,8	405,4	292,1	204,3	143,6	101,6	72,7
31	47,1532344	-1,6107283	25,3944721	1500	1450	14,1	12,9	14/9/17 2:13	3392,7	239,8	680,0	576,8	529,9	485,7	411,7	320,8	242,9	183,8	136,8	101,5
32	47,1528495	-1,6110238	25,5803032	1550	1400	14,1	13,0	14/9/17 2:14	3389,7	239,6	701,6	563,4	506,1	473,3	412,9	330,5	257,8	197,9	148,1	110,9
33	47,1524459	-1,6113311	25,5470295	1600	1350	14,0	13,1	14/9/17 2:15	3380,7	239,0	837,6	694,8	617,1	549,7	449,3	336,9	248,6	179,3	127,8	94,9
34	47,1520439	-1,6116388	25,5442219	1650	1300	13,9	12,9	14/9/17 2:16	3388,3	239,5	653,8	518,8	458,0	421,1	361,5	284,1	215,5	159,6	117,0	85,0
35	47,1516491	-1,6119383	25,6766167	1700	1250	14,1	13,0	14/9/17 2:18	3383,3	239,2	953,3	794,5	704,7	642,3	538,8	421,6	331,5	257,1	192,4	140,8
36	47,1512475	-1,6122403	25,6895294	1750	1200	14,1	13,0	14/9/17 2:19	3379,0	238,9	931,7	753,2	634,6	547,6	408,5	276,3	198,6	142,7	101,1	71,3
37	47,1508333	-1,6125584	25,4557781	1800	1150	14,2	13,0	14/9/17 2:20	3372,0	238,4	985,1	822,3	732,5	658,2	534,2	390,3	291,8	215,5	156,9	110,4
38	47,1504405	-1,6128605	25,1262016	1850	1100	14,2	13,0	14/9/17 2:22	3394,0	239,9	638,7	478,2	401,9	356,9	296,7	223,3	172,6	130,3	96,3	67,2
39	47,1500848	-1,6131321	25,0246239	1900	1050	14,1	13,0	14/9/17 2:23	3387,3	239,4	708,6	572,0	517,4	478,2	415,7	332,7	269,4	215,1	165,0	126,8
40	47,1496327	-1,6134733	25,3364582	1950	1000	14,1	13,1	14/9/17 2:24	3388,3	239,5	573,2	448,7	401,0	368,5	309,8	238,4	183,3	141,5	107,8	82,5
41	47,1492571	-1,6137549	25,4637299	2000	950	14,1	13,0	14/9/17 2:25	3395,7	240,0	486,9	373,2	330,1	303,1	262,0	208,7	168,1	133,9	105,4	86,7
42	47,1488641	-1,6140531	25,7015476	2050	900	14,1	13,0	14/9/17 2:26	3391,0	239,7	468,7	398,0	363,8	336,4	286,8	220,6	168,5	126,1	93,6	69,5
43	47,1484427	-1,6143760	25,8582916	2100	850	14,1	13,1	14/9/17 2:27	3387,0	239,4	640,5	491,0	428,4	389,9	329,9	260,5	207,5	165,7	133,1	106,3
44	47,1480646	-1,6146618	26,1313133	2150	800	14,2	13,1	14/9/17 2:29	3393,0	239,8	544,8	425,3	378,5	349,2	302,8	246,7	203,1	167,8	140,2	119,3
45	47,1476601	-1,6149684	26,0831394	2200	750	14,2	13,3	14/9/17 2:30	3377,3	238,7	657,8	558,5	500,4	458,9	386,7	296,5	223,9	171,6	131,4	104,5
46	47,1472776	-1,6152679	25,6795330	2250	700	14,3	13,3	14/9/17 2:37	3374,3	238,5	992,1	816,9	720,0	639,9	510,0	352,3	237,5	162,2	113,1	82,2
47	47,1468844	-1,6155698	25,0830193	2300	650	14,2	13,2	14/9/17 2:38	3379,3	238,9	1009,9	796,8	669,0	584,0	456,6	320,7	222,8	155,2	108,3	80,6
48	47,1464942	-1,6158600	25,0518990	2350	600	14,2	13,2	14/9/17 2:40	3375,0	238,6	891,2	697,0	599,7	528,2	429,2	316,6	230,8	167,8	123,1	90,8
49	47,1460934	-1,6161650	25,0066299	2400	550	14,3	13,3	14/9/17 2:42	3392,0	239,7	531,0	407,7	359,9	331,7	263,9	185,6	143,2	108,7	81,6	60,3
50	47,1456833	-1,6164733	24,8999996	2450	500	14,2	13,3	14/9/17 2:43	3395,0	240,0	444,7	300,9	245,8	223,6	198,6	162,8	131,6	105,9	83,8	67,1
51	47,1452900	-1,6167817	24,7514992	2500	450	14,2	13,5	14/9/17 2:44	3393,3	239,8	557,5	425,8	371,4	343,0	290,4	217,6	166,2	126,4	96,1	74,1
52	47,1449020	-1,6170750	24,7723961	2550	400	14,2	13,3	14/9/17 2:45	3399,3	240,3	494,6	369,1	314,8	276,6	215,0	167,9	135,0	110,0	86,8	70,1
53	47,1445083	-1,6173750	24,4069996	2600	350	14,2	13,4	14/9/17 2:46	3386,3	239,4	714,6	571,9	493,7	441,0	357,1	266,7	201,2	148,7	111,3	82,7
54	47,1441099	-1,6176750	23,9494953	2650	300	14,3	13,5	14/9/17 2:48	3396,3	240,1	482,5	369,8	324,1	296,7	250,1	190,2	147,6	116,1	92,9	78,0
55	47,1437034	-1,6179850	23,6188183	2700	250	14,3	13,5	14/9/17 2:49	3393,7	239,9	410,2	296,6	265,7	257,3	231,0	171,9	135,7	108,0	88,9	76,7
56	47,1432817	-1,6183034	23,3467522	2750	200	14,4	13,6	14/9/17 2:50	3399,7	240,3	368,7	275,5	243,0	225,6	200,9	169,8	143,4	120,6	98,0	81,2
57	47,1429151	-1,6185825	23,1000004	2800	150	14,3	13,6	14/9/17 2:52	3385,3	239,3	481,6	367,2	331,4	317,2	290,5	230,6	149,8	118,1	95,2	78,5
58	47,1425033	-1,6188989	22,5925369	2850	100	14,4	13,6	14/9/17 2:53	3388,3	239,5	425,9	348,9	312,9	286,8	247,4	202,5	164,1	131,7	105,9	84,2
59	47,1421079	-1,6191895	21,9257736	2900	50	14,3	13,6	14/9/17 2:54	3398,7	240,2	466,4	379,7	342,1	315,5	273,1	222,4	181,4	147,2	119,0	94,9
60	47,1417254	-1,6194792	21,0427837	2950	25	14,5	13,7	14/9/17 2:55	3403,7	240,6	312,7	234,7	210,4	196,7	166,6	133,4	108,6	87,1	69,4	55,5
					moyenne =	14,1	13,0	-	3390,0	239,6	656,0	528,6	461,6	414,6	338,5	248,1	183,7	138,9	105,6	81,4
					ecart-type =	0,2	0,3	-	21,5	1,5	347,2	334,8	279,0	228,6	149,5	73,4	52,1	41,3	31,7	24,6

protocole 2 : 1 choc non enregistré + 3 chocs à 120 KN ..avant 3 chocs à 240 KN

station ID n°	latitude	longitude	altitude mesures	abscisse l	abscisse corr.	T°surface	T° air	heure	moy S	moy F	moy D1_	moy D2_	moy D3_	moy D4_	moy D5_	moy D6_	moy D7_	moy D8_	moy D9_	moy D10_	sens 21-
4	47,16357781	-1,60284613	26,08481026	150	2800	13,8	12,9	14/9/17 1:37	1696,7	119,9	380,8	326,2	299,5	277,6	227,6	175,3	134,8	104,9	81,1	63,7	
5	47,16316000	-1,60316307	25,90651131	200	2750	13,8	12,9	14/9/17 1:39	1700,3	120,2	415,5	301,6	243,6	206,9	150,8	85,8	47,6	27,2	15,9	8,1	
12	47,16078541	-1,60496830	23,51737213	550	2400	13,9	12,7	14/9/17 1:47	1699,3	120,1	245,4	192,3	168,1	151,8	125,1	94,1	71,1	53,0	40,4	29,9	
20	47,15760276	-1,60739581	26,77938461	950	2000	14,1	12,7	14/9/17 1:59	1700,3	120,2	225,8	170,6	146,2	133,2	114,6	91,0	74,7	59,8	48,5	38,9	
38	47,15044048	-1,61286050	25,12620163	1850	1100	14,2	13,0	14/9/17 2:22	1709,0	120,8	366,4	265,5	217,1	187,9	150,2	107,2	77,8	57,1	40,8	26,1	
47	47,14688440	-1,61556979	25,08301926	2300	650	14,2	13,2	14/9/17 2:38	1726,7	122,0	521,3	401,9	330,5	283,2	215,2	144,8	99,6	68,0	48,7	34,7	
48	47,14649425	-1,61586000	25,05189896	2350	600	14,2	13,2	14/9/17 2:40	1704,3	120,5	450,1	342,0	288,7	251,2	199,2	142,9	102,2	72,8	53,7	39,8	
56	47,14328170	-1,61830340	23,34675217	2750	200	14,4	13,6	14/9/17 2:50	1691,0	119,5	185,1	136,7	118,7	109,4	96,7	81,7	68,4	56,0	47,3	37,8	
					moyenne =	13,9	12,8	-	3084,6	218,0	566,9	449,4	394,0	357,2	298,1	227,5	174,4	133,9	102,5	79,1	
					ecart-type =	1,9	1,7	-	732,5	51,8	198,4	167,9	148,4	132,7	108,6	82,5	62,5	47,3	35,5	27,3	

4.11.3 Data HWD Taxiway, sens F => A

plaque = 300 mm

protocole 1 : 1 choc non enregistré + 3 chocs à 240 KN

												X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
											distance à la charge (mm) =>	0	200	300	400	600	900	1200	1500	1800	2100
station ID n°	latitude	longitude	altitude	abscisse	abscisse cc	T°surface	T° air	heure	moy S	moy F	moy D1	moy D2	moy D3	moy D4	moy D5	moy D6	moy D7	moy D8	moy D9	moy D10
1	47,1643683	-1,6011625	27,3489246	50	3000	15,2	12,9	14/9/17 23:43	3400,0	240,3	415,4	313,8	284,3	278,4	257,2	222,6	183,4	141,0	111,4	90,3
2	47,1639858	-1,6008271	27,0201969	100	2950	14,8	13,5	14/9/17 23:44	3407,0	240,8	352,5	279,6	256,1	247,8	226,1	197,7	171,1	145,4	122,6	104,7
3	47,1635506	-1,6006654	27,2973404	150	2900	14,8	13,7	14/9/17 23:46	3416,3	241,5	259,9	198,8	162,2	134,4	99,8	69,5	49,3	35,2	23,9	17,5
4	47,1631233	-1,6005683	27,3231163	200	2850	14,5	13,3	14/9/17 23:48	3406,3	240,8	247,3	188,9	168,4	156,7	144,7	129,2	112,9	97,7	85,0	73,6
5	47,1627126	-1,6008367	27,0802956	250	2800	14,9	13,1	14/9/17 23:50	3404,3	240,6	341,8	270,9	242,8	221,7	186,6	145,5	116,5	93,2	75,0	60,0
6	47,1623232	-1,6011333	26,7112198	300	2750	14,7	13,3	14/9/17 23:51	3398,3	240,2	270,4	203,1	184,5	175,2	164,7	148,5	130,5	110,6	91,8	77,1
7	47,1619024	-1,6014549	26,1210003	350	2700	14,2	13,4	14/9/17 23:52	3419,0	241,7	179,3	127,1	109,8	98,4	85,5	70,4	56,7	45,0	34,4	25,7
8	47,1615035	-1,6017583	24,9867020	400	2650	14,1	13,0	14/9/17 23:53	3401,7	240,4	253,1	204,4	186,5	174,2	153,2	122,9	99,2	78,7	62,5	48,7
9	47,1611117	-1,6020492	24,0453205	450	2600	14,2	13,3	14/9/17 23:54	3404,0	240,6	245,9	206,6	193,5	185,1	171,6	148,3	124,0	102,9	84,6	68,3
10	47,1607171	-1,6023499	23,0022125	500	2550	14,2	13,3	14/9/17 23:56	3402,7	240,5	231,5	173,5	154,3	143,8	130,4	113,7	96,1	79,3	64,3	53,9
11	47,1603150	-1,6026586	22,8078823	550	2500	14,5	13,2	14/9/17 23:57	3389,0	239,5	280,7	205,6	179,4	166,0	150,9	132,2	112,9	99,2	86,1	75,0
12	47,1599283	-1,6029607	22,4257736	600	2450	14,6	13,1	14/9/17 23:59	3389,7	239,6	411,1	362,5	342,9	329,1	302,4	262,3	223,9	188,9	157,2	130,6
13	47,1595163	-1,6032757	22,3903732	650	2400	14,3	13,3	15/9/17 0:00	3386,7	239,4	523,1	394,6	336,1	308,2	268,1	217,7	172,4	135,4	106,0	81,5
14	47,1591179	-1,6035761	22,9688110	700	2350	14,5	13,1	15/9/17 0:01	3391,7	239,7	458,1	360,5	322,2	302,4	271,1	230,4	196,0	165,4	139,7	118,9
15	47,1586933	-1,6038980	24,2926102	750	2300	14,3	13,2	15/9/17 0:02	3401,0	240,4	311,3	246,4	201,6	164,9	107,5	76,0	60,6	49,6	41,8	36,4
16	47,1583177	-1,6041809	24,9536228	800	2250	13,8	13,1	15/9/17 0:03	3373,7	238,5	777,1	618,3	536,2	489,7	371,7	269,2	198,4	149,2	111,9	87,5
17	47,1579355	-1,6044792	25,5000000	850	2200	14,5	13,2	15/9/17 0:05	3405,0	240,7	209,9	162,2	146,8	138,5	127,2	113,1	99,3	86,9	74,7	64,6
18	47,1575226	-1,6047950	26,3845768	900	2150	14,0	13,2	15/9/17 0:06	3392,3	239,8	491,6	377,5	329,6	299,0	247,4	186,1	136,7	100,5	75,1	57,9
19	47,1571265	-1,6050950	27,5191917	950	2100	13,8	12,9	15/9/17 0:07	3403,3	240,5	270,7	199,9	173,7	162,6	145,4	123,5	102,8	83,8	69,5	56,6
20	47,1567375	-1,6053917	28,1825886	1000	2050	13,8	13,1	15/9/17 0:08	3391,3	239,7	288,0	233,6	213,8	206,6	194,1	176,9	156,8	138,8	122,4	106,7
21	47,1563409	-1,6057000	27,8999996	1050	2000	14,0	13,1	15/9/17 0:10	3394,7	239,9	309,4	227,2	189,7	166,3	146,6	127,9	109,8	92,7	79,9	67,3
22	47,1559533	-1,6059933	27,7632656	1100	1950	14,0	13,1	15/9/17 0:11	3373,7	238,5	701,8	571,0	529,6	504,0	454,1	380,0	302,5	242,3	183,3	138,6
23	47,1555566	-1,6062975	27,4522381	1150	1900	13,7	12,9	15/9/17 0:13	3373,7	238,5	515,6	442,9	424,1	422,7	416,6	355,6	235,1	153,3	129,7	115,4
24	47,1551550	-1,6065965	26,8601151	1200	1850	13,8	13,1	15/9/17 0:14	3365,0	237,9	908,2	718,2	615,2	532,5	438,3	337,0	261,2	199,0	148,9	114,5
25	47,1547354	-1,6069100	26,4610004	1250	1800	13,8	12,9	15/9/17 0:15	3379,7	238,9	778,1	733,6	651,2	341,2	228,8	155,5	111,1	89,5	73,8	61,2
26	47,1543508	-1,6072000	26,4941177	1300	1750	14,0	12,5	15/9/17 0:16	3382,3	239,1	670,6	499,9	424,1	372,9	304,8	231,2	176,4	134,2	103,3	82,0
27	47,1539636	-1,6074987	26,7452736	1350	1700	13,8	12,5	15/9/17 0:18	3367,7	238,1	848,1	691,2	616,5	562,7	477,0	370,8	269,1	179,4	120,3	79,3
28	47,1535674	-1,6078070	26,9154587	1400	1650	14,4	12,4	15/9/17 0:19	3372,7	238,4	731,6	607,1	543,9	494,7	411,7	314,4	234,8	167,5	114,5	75,0
29	47,1531645	-1,6081145	26,9549026	1450	1600	13,8	12,3	15/9/17 0:20	3351,7	236,9	1311,2	964,5	767,7	654,9	480,2	289,2	173,1	107,7	71,0	54,7
30	47,1527526	-1,6084267	26,6522274	1500	1550	13,8	12,2	15/9/17 0:22	3324,3	235,0	1665,0	1338,1	1155,8	982,3	721,5	471,9	318,4	171,2	86,6	72,6
31	47,1523569	-1,6087271	26,7231522	1550	1500	13,9	11,8	15/9/17 0:23	3383,0	239,1	422,5	347,1	314,5	295,6	267,2	231,4	196,6	164,0	132,4	109,8
32	47,1519768	-1,6090167	27,0401001	1600	1450	13,9	11,8	15/9/17 0:24	3386,0	239,3	650,7	463,8	405,4	362,4	302,9	238,5	186,7	143,9	109,7	84,1
33	47,1515589	-1,6093350	27,0870190	1650	1400	13,7	12,1	15/9/17 0:25	3311,7	234,1	1734,5	1501,8	1322,3	1165,8	901,4	535,0	207,5	132,0	99,7	88,0
34	47,1511639	-1,6096383	26,9629269	1700	1350	13,8	12,1	15/9/17 0:27	3377,7	238,8	931,7	722,6	628,5	563,4	457,4	334,6	239,5	162,7	106,0	73,0
35	47,1507617	-1,6099417	26,9478474	1750	1300	13,7	11,8	15/9/17 0:28	3294,7	232,9	2124,9	1828,3	1619,0	1396,3	995,8	617,3	371,9	184,0	122,4	100,9
36	47,1503592	-1,6102456	26,9201927	1800	1250	13,8	11,7	15/9/17 0:29	3300,3	233,3	2141,3	1817,7	1625,0	1436,7	1103,0	523,4	318,9	158,3	98,7	71,3
37	47,1499533	-1,6105540	26,5839024	1850	1200	13,8	11,5	15/9/17 0:30	3303,0	233,5	1979,8	1741,8	1596,4	1443,7	1097,1	654,3	420,7	181,6	101,8	68,5
38	47,1495717	-1,6108450	26,3331680	1900	1150	13,7	11,7	15/9/17 0:31	3371,7	238,3	925,3	753,2	680,5	614,6	503,5	380,0	272,5	194,5	145,2	110,0
39	47,1491683	-1,6111483	26,1514568	1950	1100	13,5	11,9	15/9/17 0:32	3302,0	233,4	1771,2	1755,6	1627,9	1394,8	722,4	544,9	370,5	227,5	141,7	120,6
40	47,1487603	-1,6114634	26,1000004	2000	1050	13,7	12,1	15/9/17 0:34	3294,3	232,9	2099,1	1819,5	1552,0	1320,4	906,6	514,2	236,2	57,7	7,8	29,3
41	47,1483427	-1,6117761	25,8210526	2050	1000	14,0	11,2	15/9/17 0:35	3390,3	239,6	452,3	333,8	292,2	271,0	238,8	196,7	164,3	135,5	116,8	108,7
42	47,1479617	-1,6120684	25,4398994	2100	950	13,5	11,6	15/9/17 0:37	3387,7	239,5	279,7	236,9	219,7	208,1	175,4	124,2	87,1	66,9	52,4	44,8
43	47,1475728	-1,6123664	25,3004894	2150	900	13,6	11,1	15/9/17 0:38	3398,3	240,2	275,2	225,5	208,0	197,7	178,7	153,6	132,8	114,0	100,0	84,8
44	47,1471650	-1,6126783	24,8969688	2200	850	13,6	11,0	15/9/17 0:39	3386,0	239,3	418,6	358,1	319,5	287,4	232,4	172,9	135,0	108,9	86,5	71,0
45	47,1467600	-1,6129872	24,3607845	2250	800	13,7	11,5	15/9/17 0:40	3385,3	239,3	266,5	217,2	200,0	188,3	170,2	143,2	117,8	98,0	78,1	63,0
46	47,1463607	-1,6132930	23,6678772	2300	750	13,5	11,2	15/9/17 0:41	3373,3	238,5	488,4	433,6	403,1	376,0	315,6	248,1	196,0	153,7	116,2	88,9
47	47,1459717	-1,6135871	22,8282814	2350	700	13,3	11,1	15/9/17 0:42	3365,3	237,9	608,9	586,6	572,6	564,8	548,6	234,9	183,2	150,5	122,7	102,1
48	47,1455821	-1,6138833	22,3318405	2400	650	13,8	10,6	15/9/17 0:43	3348,0	236,6	1051,2	983,3	879,5	557,9	439,9	308,9	222,8	165,7	128,2	101,0
49	47,1451855	-1,6141834	22,6994934	2450	600	13,4	10,5	15/9/17 0:44	3396,0	240,1	174,6	132,1	118,3	112,1	103,2	90,9	78,5	67,1	57,6	48,6
50	47,1447917	-1,6144855	23,0415840	2500	550	13,5	10,6	15/9/17 0:46	3399,3	240,3	272,5	217,2	196,8	183,3	162,4	133,5	106,8	87,2	68,6	57,8
51	47,1443883	-1,6147934	23,1442223	2550	500	13,3	11,1	15/9/17 0:47	3384,3	239,2	286,0	240,6	223,1	212,4	190,7	160,2	135,4	113,4	96,0	81,3
52	47,1439857	-1,6150969	22,6745834	2600	450	13,7	11,2	15/9/17 0:49	3375,0	238,6	483,5	382,6	347,2	320,2	276,1	218,7	168,0	124,8	92,2	63,1
53	47,1435967	-1,6153916	21,8999996	2650	400	13,3	11,1	15/9/17 0:50	3392,3	239,8	386,2	333,1	306,5	286,8	243,3	188,2	136,6	98,7	72,3	54,5
54	47,1431950	-1,6156967	21,3435898	2700	350	13,7	11,6	15/9/17 0:51	3391,0	239,7	267,7	213,1	191,8	175,1	147,5	113,6	85,6	65,1	47,4	34,4
55	47,1427867	-1,6160102	20,7159576	2750	300	13,1	11,6	15/9/17 0:52	3396,3	240,1	390,1	331,6	302,0	281,1	238,8	187,1	144,5	108,7	80,5	44,2
56	47,1424050	-1,6162967	20,2819099	2800	250	13,7	11,3	15/9/17 0:54	3397,3	240,1	279,0	203,7	182,2	172,2	161,6	147,4	127,3	103,8	83,4	69,1
57	47,1420141	-1,6165883	20,6485004	2850	200	13,4	11,6	15/9/17 0:55	3387,3	239,4	279,0	240,3	223,9	211,4	190,4	160,4	133,0	108,3	89,8	72,7
58	47,1417020	-1,6170555	21,1417904	2900	150	13,9	11,1	15/9/17 0:56	3394,3	239,9	377,4	303,9	275,2	260,6	234,0	189,2	146,6	110,1	80,5	56,7
59	47,1415487	-1,6176882	21,5000000	2950	100	13,4	11,0	15/9/17 0:57	3395,3	240,0	408,9	356,8	327,8	303,4	257,0	197,1	149,2	110,7	80,4	59,7
60	47,1414223	-1,6183090	21,7691097	3000	50	13,7	10,8	15/9/17 0:58	3392,7	239,8	204,3	148,3	133,4	126,1	117,5	107,1	96,8	87,7	76,8	68,7
61	47,1415525	-1,6189300	21,7999992	3050	0	14,3	10,8	15/9/17 0:59	3390,0	239,6	269,2	192,2	172,3	167,4	162,5	151,3	114,3	75,8	54,7	39,6
					moyenne =	13,9	12,2	-	3378,6	238,8	625,7	520,5	463,7	409,9	327,8	236,1	171,5	123,1	93,1	74,6
					ecart-type =	0,4	0,9	-	30,7	2,2	538,5	475,0	421,4	361,0	250,7	140,9	81,3	45,3	33,2	26,7

protocole 2 : 1 choc non enregistré + 3 chocs à 120 KN ..avant 3 chocs à 240 KN

station ID n°	latitude	longitude	altitude	abscisse	abscisse cc	T°surface	T° air	heure	moy S	moy F	moy D1	moy D2	moy D3	moy D4	moy D5	moy D6	moy D7	moy D8	moy D9	moy D10
10	47,1607171	-1,6023499	23,0022125	500	2550	14,2	13,3	14/9/17 23:56	1704,0	120,4	118,5	87,7	77,0	71,6	64,4	55,6	46,3	37,9	31,1	26,0
22	47,1559533	-1,6059933	27,7632656	1100	1950	14,0	13,1	15/9/17 0:11	1706,0	120,6	361,0	292,0	267,7	255,3	230,2	190,8	150,7	118,7	90,5	65,9
30	47,1527526	-1,6084267	26,6522274	1500	1550	13,8	12,2	15/9/17 0:22	1760,3	124,4	1066,0	840,5	704,9	581,1	395,1	230,6	155,7	86,4	43,4	38,4
41	47,1483427	-1,6117761	25,8210526	2050	1000	14,0	11,2	15/9/17 0:35	1699,3	120,1	241,2	171,2	147,8	136,8	119,2	98,3	80,9	67,5	58,2	52,7
52	47,1439857	-1,6150969	22,6745834	2600	450	13,7	11,2	15/9/17 0:49	1696,3	119,9	253,5	199,6	180,1	165,6	141,4	110,3	83,9	61,8	45,3	30,8
53	47,1435967	-1,6153916	21,8999996	2650	400	13,3	11,1	15/9/17 0:50	1700,3	120,2	198,5	173,4	158,5	147,2	124,0	94,0	66,7	47,3	34,7	25,5
					moyenne =	13,5	11,6	-	3120,8	220,6	675,5	565,1	503,2	442,0	348,8	245,1	173,7	120,7	89,2	70,9
					ecart-type =	1,9	1,7	-	685,3	48,4	562,4	495,0	438,4	375,2	259,8	145,9	84,6	46,9	34,1	26,8

4.11.4 Data HWD Taxiway, sens A => F

			plaque = 300 mm							X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
								distance à la charge (mm) =>		0	200	300	400	600	900	1200	1500	1800	2100
protocole 1 : 1 choc non enregistré + 3 chocs à 240 KN																			
station ID n°	latitude	longitude	altitude	abscisse li	T°surface	T° air	heure	*moy S*	*moy F*	*moy D1*	*moy D2*	*moy D3*	*moy D4*	*moy D5*	*moy D6*	*moy D7*	*moy D8*	*moy D9*	*moy D10*
1	47,141618	-1,619165	17,943878	0	14,1	13,3	14/9/17 3:27	3360,7	237,5	1459,6	1059,3	829,5	693,7	485,0	324,2	204,3	112,2	48,2	23,7
2	47,141378	-1,618613	18,305613	50	14,1	13,1	14/9/17 3:29	3415,3	241,4	194,1	124,7	103,1	95,0	86,8	78,2	69,5	61,9	54,8	46,0
3	47,141421	-1,617970	19,114286	100	14,1	13,0	14/9/17 3:31	3395,3	240,0	773,1	646,0	575,0	522,6	424,5	299,1	180,9	75,9	50,2	35,9
4	47,141574	-1,617327	18,735416	150	14,1	13,1	14/9/17 3:32	3396,7	240,1	608,3	458,9	377,5	336,3	282,0	217,1	166,2	125,4	92,0	68,2
5	47,141753	-1,616761	18,935822	200	14,0	13,0	14/9/17 3:33	3403,7	240,6	480,1	350,6	306,1	275,9	227,3	173,5	133,6	101,4	75,5	56,2
6	47,142149	-1,616408	17,881187	250	13,9	12,8	14/9/17 3:34	3384,3	239,2	559,7	498,3	479,3	454,8	402,1	306,9	172,6	133,9	99,1	72,7
7	47,142532	-1,616121	18,061691	300	14,0	12,8	14/9/17 3:36	3397,3	240,1	500,8	386,6	340,3	310,3	255,5	187,4	134,2	95,7	64,8	46,6
8	47,142942	-1,615803	19,093815	350	13,9	12,7	14/9/17 3:37	3411,7	241,2	197,7	158,6	143,7	132,9	116,3	93,8	74,1	57,8	45,1	33,6
9	47,143339	-1,615501	19,695568	400	14,0	12,8	14/9/17 3:38	3394,0	239,9	306,2	261,0	240,9	225,6	198,7	157,1	118,8	90,9	71,0	57,1
10	47,143720	-1,615212	20,618660	450	13,9	12,8	14/9/17 3:40	3400,7	240,4	244,9	198,3	181,2	173,0	160,1	142,2	125,3	108,7	92,8	79,6
11	47,144118	-1,614914	21,167328	500	13,8	13,1	14/9/17 3:41	3392,3	239,8	325,7	266,8	240,1	221,3	190,2	149,3	120,3	96,4	74,5	54,0
12	47,144521	-1,614600	23,925499	550	13,9	13,3	14/9/17 3:43	3382,0	239,1	305,4	241,0	221,5	216,3	207,5	184,2	141,3	98,4	75,7	63,4
13	47,144942	-1,614278	23,600000	600	13,9	13,5	14/9/17 3:44	3396,3	240,1	237,1	191,3	173,6	161,6	141,3	115,8	96,3	80,0	65,8	53,2
14	47,145348	-1,613968	23,176098	650	13,9	13,4	14/9/17 3:45	3375,7	238,6	443,6	293,2	245,2	220,9	181,2	139,5	107,3	84,9	67,1	55,7
15	47,145755	-1,613661	23,674757	700	13,7	13,4	14/9/17 3:46	3368,3	238,1	754,3	660,2	600,4	554,4	471,9	375,3	300,3	244,1	200,8	170,2
16	47,146155	-1,613363	23,687685	750	13,5	13,4	14/9/17 3:48	3371,7	238,3	356,0	306,9	288,6	274,4	250,6	219,2	190,4	163,8	138,1	115,7
17	47,146552	-1,613062	23,733334	800	13,6	13,3	14/9/17 3:49	3377,7	238,8	396,7	349,6	323,9	304,7	268,8	218,4	174,0	136,4	107,4	86,8
18	47,146944	-1,612759	24,533333	850	13,7	13,3	14/9/17 3:50	3372,0	238,3	657,7	599,4	572,9	557,0	534,1	513,8	510,2	91,6	62,2	51,8
19	47,147338	-1,612462	25,700001	900	13,7	13,1	14/9/17 3:51	3384,3	239,2	459,2	308,9	281,9	262,2	227,1	187,0	151,8	119,9	95,0	76,6
20	47,147742	-1,612157	25,828394	950	13,4	13,1	14/9/17 3:53	3388,7	239,5	367,2	276,0	239,8	216,6	186,0	151,5	124,0	100,5	79,6	65,1
21	47,148141	-1,611857	25,797512	1000	13,7	13,2	14/9/17 3:55	3388,7	239,5	233,6	157,0	127,4	117,2	104,4	89,2	73,7	61,6	50,1	41,5
22	47,148551	-1,611544	25,755501	1050	13,5	13,3	14/9/17 3:56	3376,3	238,7	454,5	388,5	353,1	326,1	279,4	222,1	172,6	131,8	98,4	74,1
23	47,148933	-1,611245	25,304762	1100	13,6	13,2	14/9/17 3:57	3302,3	233,4	1870,1	1596,1	1412,4	1252,5	985,6	593,6	329,0	175,0	94,5	62,3
24	47,149337	-1,610956	24,992958	1150	13,3	13,1	14/9/17 3:58	3221,0	227,7	2661,2	2383,8	2159,7	1879,4	1265,3	660,5	309,1	135,5	42,8	15,2
25	47,149739	-1,610650	25,172947	1200	13,4	13,0	14/9/17 4:00	3313,3	234,2	1594,1	1499,5	1262,6	1013,6	799,6	538,9	327,6	183,7	97,5	82,2
26	47,150121	-1,610345	26,124599	1250	13,3	12,9	14/9/17 4:02	3275,0	231,5	1928,7	1780,3	1604,5	1343,0	896,6	469,4	307,0	147,4	86,3	61,0
27	47,150306	-1,610192	26,963106	1275	13,6	12,8	14/9/17 4:04	3282,0	232,0	1976,9	1783,0	1405,2	1109,2	826,5	519,6	221,5	119,0	64,9	44,6
28	47,150521	-1,610034	25,942858	1300	13,4	12,8	14/9/17 4:06	3255,0	230,1	2285,4	1983,9	1819,0	1606,9	1058,7	548,4	260,0	125,5	73,4	48,7
29	47,150851	-1,609779	25,830151	1341	13,5	12,8	14/9/17 4:08	3220,0	227,6	2580,7	2260,3	1999,7	1732,0	1295,5	630,2	301,8	126,4	68,4	86,2
30	47,150926	-1,609728	26,429411	1350	13,4	12,8	14/9/17 4:09	3288,0	232,4	1763,6	1588,4	1392,3	1206,5	858,7	499,7	283,9	171,2	113,7	83,1
31	47,151174	-1,609544	25,993971	1380	13,5	12,9	14/9/17 4:11	3283,3	232,1	2071,4	1855,5	1697,4	1519,3	1013,7	527,5	274,0	140,9	79,0	58,2
32	47,151337	-1,609422	26,172487	1400	13,3	12,8	14/9/17 4:12	3334,7	235,7	1066,4	994,8	963,2	933,6	868,8	596,0	222,1	175,2	138,9	110,2
33	47,151724	-1,609120	26,187325	1450	13,5	12,8	14/9/17 4:14	3264,0	230,7	1872,0	1712,5	1549,8	1396,0	1067,7	453,1	212,6	110,9	90,6	68,8
34	47,152125	-1,608817	26,137690	1500	13,3	12,8	14/9/17 4:15	3379,3	238,9	602,2	509,5	460,8	425,9	358,7	280,2	216,5	166,7	129,1	99,8
35	47,152515	-1,608506	25,600000	1550	13,2	12,8	14/9/17 4:16	3363,3	237,7	522,0	484,5	462,4	445,9	406,4	323,2	229,7	160,5	110,9	73,1
36	47,152913	-1,608199	25,687500	1600	13,2	12,9	14/9/17 4:17	3326,7	235,1	1144,1	923,0	817,8	727,3	589,2	423,6	290,0	207,7	162,8	130,5
37	47,153313	-1,607897	26,337864	1650	13,3	12,7	14/9/17 4:19	3305,7	233,7	1582,4	1295,0	1119,7	988,2	755,5	478,9	223,7	131,3	90,3	60,0
38	47,153726	-1,607588	26,023188	1700	13,3	12,6	14/9/17 4:20	3329,3	235,3	1194,8	944,4	828,6	740,8	591,3	420,1	288,1	175,2	117,8	91,7
39	47,154127	-1,607274	25,585428	1750	13,4	12,6	14/9/17 4:22	3330,3	235,4	1304,5	1055,7	909,3	780,8	590,4	377,5	229,0	160,4	111,4	79,2
40	47,154508	-1,606988	25,500000	1800	13,3	12,6	14/9/17 4:23	3357,3	237,3	595,6	544,8	491,2	432,3	322,6	226,6	168,6	125,7	94,8	59,8
41	47,154896	-1,606694	26,070852	1850	13,3	12,6	14/9/17 4:25	3345,3	236,5	968,7	747,2	611,0	518,5	392,5	274,3	199,0	147,2	109,2	84,9
42	47,155293	-1,606388	26,590452	1900	13,3	12,6	14/9/17 4:27	3332,0	235,5	1022,8	884,6	699,4	559,4	400,0	257,1	177,6	126,6	92,2	70,6
43	47,155699	-1,606091	27,279167	1950	13,1	12,7	14/9/17 4:28	3371,7	238,3	347,0	234,8	195,4	178,6	157,1	134,0	114,5	95,0	71,9	54,4

44	47,156087	-1,605798	27,281818	2000	13,1	12,9	14/9/17 4:30	3274,7	231,5	1801,2	1442,9	1245,2	1076,4	810,1	511,1	303,0	177,4	107,0	71,5
45	47,156496	-1,605490	27,737314	2050	13,2	13,0	14/9/17 4:31	3370,0	238,2	351,8	265,2	240,1	227,2	201,2	161,8	128,8	101,1	79,8	62,5
46	47,156879	-1,605194	27,810152	2100	13,0	12,9	14/9/17 4:32	3363,7	237,8	266,0	209,4	187,3	174,4	155,0	129,9	107,3	88,6	72,5	59,9
47	47,157275	-1,604883	27,020773	2150	13,1	12,8	14/9/17 4:33	3369,7	238,2	257,7	178,3	160,0	152,7	138,9	117,4	97,6	80,3	65,4	53,8
48	47,157659	-1,604575	26,099512	2200	13,1	12,8	14/9/17 4:35	3337,3	235,9	842,0	676,0	598,5	538,7	434,6	289,3	164,9	72,6	48,0	51,4
49	47,158077	-1,604294	26,123762	2250	13,3	12,8	14/9/17 4:36	3362,7	237,7	401,1	337,1	301,2	273,8	232,5	182,5	145,7	113,5	84,1	68,0
50	47,158475	-1,604002	22,735565	2300	13,3	12,7	14/9/17 4:38	3359,0	237,4	337,6	258,3	225,2	204,1	173,8	139,9	111,1	90,6	72,8	59,2
51	47,158861	-1,603694	22,229704	2350	13,3	12,7	14/9/17 4:39	3348,3	236,7	499,8	397,3	358,9	326,5	278,6	216,9	170,5	136,4	109,5	90,5
52	47,159275	-1,603375	23,346376	2400	13,3	12,7	14/9/17 4:40	3348,0	236,6	559,8	454,0	404,1	371,1	319,6	258,2	207,7	164,8	127,3	101,6
53	47,159659	-1,603075	23,104265	2450	13,4	12,8	14/9/17 4:42	3357,3	237,3	602,8	512,8	461,9	423,5	358,7	276,7	211,3	163,3	123,0	94,8
54	47,160060	-1,602769	22,975491	2500	13,4	12,9	14/9/17 4:43	3349,0	236,7	596,2	489,3	436,0	404,6	356,2	288,0	227,6	178,0	139,1	108,6
55	47,160460	-1,602462	23,595631	2550	13,3	12,7	14/9/17 4:44	3378,7	238,8	303,1	228,2	201,9	184,2	159,3	131,4	107,2	87,2	70,0	57,1
56	47,160848	-1,602165	24,384466	2600	13,3	12,6	14/9/17 4:46	3365,3	237,9	304,9	258,0	236,4	220,2	192,7	154,7	121,6	91,8	65,7	51,4
57	47,161268	-1,601860	25,361691	2650	13,3	12,7	14/9/17 4:47	3381,7	239,0	225,8	179,2	162,3	152,4	135,1	110,0	85,7	65,9	49,8	38,5
58	47,161668	-1,601564	25,844391	2700	13,2	12,7	14/9/17 4:48	3386,0	239,3	218,3	171,7	151,7	136,7	114,0	88,7	70,7	56,7	44,6	35,1
59	47,162081	-1,601247	25,547525	2750	13,0	12,9	14/9/17 4:50	3389,7	239,6	134,8	96,3	86,5	80,0	71,6	60,8	50,7	42,4	33,2	28,5
60	47,162486	-1,600941	25,577967	2800	12,7	13,0	14/9/17 4:51	3356,3	237,2	172,3	99,9	99,3	93,3	82,1	67,6	54,9	43,7	32,7	25,8
61	47,162901	-1,600595	25,706427	2850	12,5	13,0	14/9/17 4:53	3354,0	237,1	282,9	222,6	200,1	187,9	168,2	139,2	112,8	91,6	73,7	59,0
62	47,163348	-1,600497	26,180193	2900	12,8	13,0	14/9/17 4:54	3387,0	239,4	146,6	94,9	80,3	74,4	64,6	53,9	42,9	34,4	26,1	20,6
63	47,163798	-1,600678	25,965366	2950	12,5	13,1	14/9/17 4:55	3394,7	240,0	246,3	200,7	182,5	172,1	150,7	122,5	96,2	76,2	59,6	46,5
64	47,164218	-1,600870	25,299999	3000	12,5	13,2	14/9/17 4:58	3371,7	238,3	266,8	216,0	194,1	181,9	158,2	132,1	112,3	95,5	80,7	67,2
65	47,164508	-1,601360	25,029230	3050	12,6	13,3	14/9/17 4:59	3376,7	238,7	237,5	172,6	156,7	150,5	138,2	120,9	104,7	89,4	74,4	63,9
66	47,163955	-1,600808	26,476881	3100	12,7	13,0	14/9/17 5:01	3390,7	239,7	382,3	321,7	295,6	276,2	248,0	207,2	172,5	138,7	108,3	88,6
				moyenne =	13,3	12,9	-	3350,5	236,8	777,2	659,8	585,0	519,1	406,9	272,3	180,1	119,2	86,3	67,6
				ecart-type =	0,4	0,2	-	44,9	3,2	686,4	617,1	545,6	469,2	328,9	171,3	90,0	43,8	32,7	27,0

protocole 2 : 1 choc non enregistré + 3 chocs à 120 KN ..avant 3 chocs à 240 KN

station ID n°	latitude	longitude	altitude	abscisse li	T°surface	T° air	heure	*moy S*	*moy F*	*moy D1*	*moy D2*	*moy D3*	*moy D4*	*moy D5*	*moy D6*	*moy D7*	*moy D8*	*moy D9*	*moy D10*
10	47,14372	-1,6152117	20,61865997	450	13,9	12,8	14/9/17 3:40	1702,7	120,3	127,7	100,5	90,7	86,2	79,5	70,3	61,3	52,6	44,8	37,9
20	47,14774184	-1,6121567	25,82839394	950	13,4	13,1	14/9/17 3:53	1703,3	120,4	186,2	135,0	114,3	102,2	86,6	71,2	57,6	45,9	37,5	30,3
30	47,15092628	-1,609728323	26,42941093	1350	13,4	12,8	14/9/17 4:09	1704,3	120,5	1058,6	956,1	801,4	671,2	442,8	238,6	131,6	82,5	56,6	42,9
41	47,15489584	-1,606694055	26,07085228	1850	13,3	12,6	14/9/17 4:25	1697,0	119,9	585,6	438,3	344,1	287,9	212,0	142,5	98,9	71,3	50,7	39,7
50	47,15847541	-1,6040017	22,73556519	2300	13,3	12,7	14/9/17 4:38	1686,7	119,2	182,1	136,5	117,3	105,0	87,5	69,3	53,0	43,8	34,8	28,2
61	47,16290095	-1,600594659	25,70642662	2850	12,5	13,0	14/9/17 4:53	1696,3	119,9	139,8	109,8	97,6	90,2	80,0	64,9	52,5	41,9	33,3	26,8
				moyenne =	13,0	12,6	-	3101,7	219,2	821,7	700,3	617,2	543,0	417,0	268,3	168,9	112,4	79,9	62,0
				ecart-type =	1,8	1,7	-	666,6	47,1	709,2	637,6	564,6	486,6	342,3	177,8	84,7	45,9	31,9	25,0

4.12 Résultats des sondages géotechniques de septembre 2017

CEREMA

FORAGE : T1-2017

Affaire : 3904
Annexe : 3.2

Forage tarière 400 mm

Client : Mission de médiation Aéroport du Grand Ouest

Coordonnées X : 300537,00
Y : 246071,00
Z : 25,37 m

Date : 15/09/2017
Echelle : 1 / 25

Page : 1 / 1

Cote NGF	Altitude (m)	Description lithologique Nature du terrain	Niveau d'eau	échantillons	Wn (%)	IPI	CBRn	CBRI	Dmax	60 (%)	20 (%)	6 (%)	2 (%)	.08 (%)	VBS	Wl (%)	Ip	Io	GTR
25.0	0.0	Argile bariolée marron et verdâtre	pas d'eau		13.6														
	0.5	Gneiss décomposé à altéré, marron clair (remblai ?)			16.9														
24.0	1.5	Gneiss décomposé à altéré, marron clair, avec quelques éléments < 30 mm (remblai ?)			16.6														
	2.1	Gneiss décomposé à altéré, marron clair, avec nombreux éléments. Ralentissement progressif au forage			15.8		30	14	31.5	100	86	67	55	22	1.8				B6m
23.0					15.7														
					16.7														
	3.0				13.5														
22.0																			
21.0																			

Observations :

CEREMA

FORAGE : T2-2017

Forage Tarière 200 mm

Affaire : 3904
Annexe : 3.3

Client : Mission de médiation Aéroport du Grand Ouest

Etude : Aéroport de Nantes Atlantique
Reconnaissance géotechnique 2017

Coordonnées X : 300869,52
Y : 247013,86
Z : 25,30 m

Date : 15/09/2017
Echelle : 1 / 25

Page : 1 / 1

Cote NGF	Altitude (m)	Description lithologique Nature du terrain	Niveau d'eau	échantillons	Wn (%)	IPI	CBRn	CBRI	Dmax	60 (%)	20 (%)	6 (%)	2 (%)	.08 (%)	VBS	Wl (%)	Ip	Io	GTR
25.0	0.0	Terre végétale	pas d'eau		12														
	0.2	Argile limoneuse à légèrement sableuse, avec quelques éléments, marron foncé (possible remblai)			13														
24.0	1.3	Argile sableuse, graveleuse vers 2,70 m/TN, marron gris			13.4														
					13.3														
23.0					13	1	2	1			100	98	92	48	1.27				A1th
					11.6														
	3.0				8.1														
22.0																			
21.0																			

Observations :

CEREMA

FORAGE : T3-2017

Forage Tarière 200 mm

Affaire : 3904
Annexe : 3.4

Client : Mission de médiation Aéroport du Grand Ouest

Etude : Aéroport de Nantes Atlantique
Reconnaissance géotechnique 2017

Coordonnées X : 301042,40
Y : 247308,96
Z : 27,64 m

Date : 15/09/2017
Echelle : 1 / 25

Cote NGF	Altitude (m)	Description lithologique Nature du terrain	Niveau d'eau	échantillons	Wn (%)	IPI	CBRn	CBRI	Dmax	80 (%)	20 (%)	6 (%)	2 (%)	.08 (%)	VBS	Wl (%)	Ip	Io	GTR
	0.0	Terre végétale																	
	0.2																		
27.0		Argile limoneuse compacte, avec quelques éléments graveleux roulés, marron ocre. Résistant au forage, avec refus à 1,10 m/TN.	pas d'eau		10.9														
	1.1				7.9														
26.0																			
25.0																			
24.0																			
23.0																			

Observations :

CEREMA

FORAGE : T4-2017

Forage tarière 400 mm

Affaire : 3904
Annexe : 3.5

Client : **Mission de médiation Aéroport du Grand Ouest**

Etude : Aéroport de Nantes Atlantique
Reconnaissance géotechnique 2017

Coordonnées X : 301260,91
Y : 247439,43
Z : 25,94 m

Date : 15/09/2017
Echelle : 1 / 25

Page : 1 / 1

Cote NGF	Altitude (m)	Description lithologique Nature du terrain	Niveau d'eau	échantillons	Wn (%)	IPI	CBRn	CBRI	Dmax	60 (%)	20 (%)	6 (%)	2 (%)	.08 (%)	VBS	Wl (%)	Ip	Io	GTR
	0.0	Terre végétale	pas d'eau		10.3														
	0.2	Limon marron avec quelques éléments de quartz			10.5														
25.0	1.0				8.5														
		Sable +/- argileux moyen (1 à 3 mm), marron ocre à quelques passées gris clair, avec éléments quartzeux.			9														
24.0					7.3		53	9	6.3	100	100	99	83	16	,84				B5 m/s
					7.4														
23.0					7.5														
	3.2																		
22.0																			
21.0																			

Observations :

CEREMA

FORAGE : T5-2017

Forage tarière 400 mm

Affaire : 3904
Annexe : 3.6

Client : **Mission de médiation Aéroport du Grand Ouest**

Etude : Aéroport de Nantes Atlantique
Reconnaissance géotechnique 2017

Coordonnées X : 301536,46
Y : 247933,22
Z : 26,67 m

Date : 15/09/2017
Echelle : 1 / 25

Page : 1 / 1

Cote NGF	Altitude (m)	Description lithologique Nature du terrain	Niveau d'eau	échantillons	Wn (%)	IPI	CBRn	CBRI	Dmax	60 (%)	20 (%)	6 (%)	2 (%)	.08 (%)	VBS	Wl (%)	Ip	Io	GTR
26.0	0.0	Terre végétale : argile limoneuse marron	pas d'eau																
	0.2	Remblai : mélange de terre et de gneiss décomposé marron, avec de nombreux éléments (< 40 mm)			14.8														
	0.8	Gneiss altéré à peu altéré marron, avec quelques éléments (< 40 mm). Ralentissement progressif, plus net à 1,30 m. Refus à 1,60 m.			9.2 9.4 8.8		30	1											
	1.6																		
25.0																			
24.0																			
23.0																			
22.0																			

Observations :

CEREMA

FORAGE : T7-2017

Forage Tarière 200 mm

Affaire : 3904
Annexe : 3.7

Client : Mission de médiation Aéroport du Grand Ouest

Etude : Aéroport de Nantes Atlantique
Reconnaissance géotechnique 2017

Coordonnées X : 300414,64
Y : 246203,70
Z : 25,60 m

Date : 15/09/2017
Echelle : 1 / 25

Page : 1 / 1

Cote NGF	Altitude (m)	Description lithologique Nature du terrain	Niveau d'eau	échantillons	Wn (%)	IPI	CBRn	CBRI	Dmax	60 (%)	20 (%)	6 (%)	2 (%)	.08 (%)	VBS	Wl (%)	Ip	Io	GTR
25.0	0.0	Terre végétale	pas d'eau		5.9														
	0.2	Remblai : gneiss altéré marron clair			8.6		31	1		100	99	91	82	45	2.84				A2s
24.0	1.2	Argile plastique, assez consistante, marron, avec quelques éléments millimétriques			16.3														
					19.1														
23.0	2.4	Argile plastique, consistante, marron clair à marron			20.3														
	3.0				18.4														
22.0																			
21.0																			

Observations :

CEREMA

FORAGE : T8-2017

Forage tarière 400 mm

Affaire : 3904
Annexe : 3.8

Client : **Mission de médiation Aéroport du Grand Ouest**

Etude : Aéroport de Nantes Atlantique
Reconnaissance géotechnique 2017

Coordonnées X : 300760,00
Y : 246442,00
Z : 26,25 m

Date : 15/09/2017
Echelle : 1 / 25

Page : 1 / 1

Cote NGF	Altitude (m)	Description lithologique Nature du terrain	Niveau d'eau	échantillons	Wn (%)	IPI	CBRn	CBRI	Dmax	60 (%)	20 (%)	6 (%)	2 (%)	.08 (%)	VBS	Wl (%)	Ip	Io	GTR
26.0	0.0	Remblai : limon marron gris	pas d'eau		7.4														
	0.8	Remblai : gneiss altéré marron-gris à crème			12.4	22	38	7											
25.0	1.3	TN : argile bariolée marron ocre et marron grisâtre, avec quelques éléments de quartz roulés			16.6														
	1.6	Sable argileux bariolé marron et gris clair, assez compact			9.2														
24.0	2.1	Sable fin à grossier, assez propre, marron clair à ocre, avec des passées d'argile sableuse gris clair			11.1														
	3.0				8.7														
23.0																			
22.0																			

Observations :

CEREMA

FORAGE : T9-2017

Forage tarière 400 mm

Affaire : 3904
Annexe : 3.9

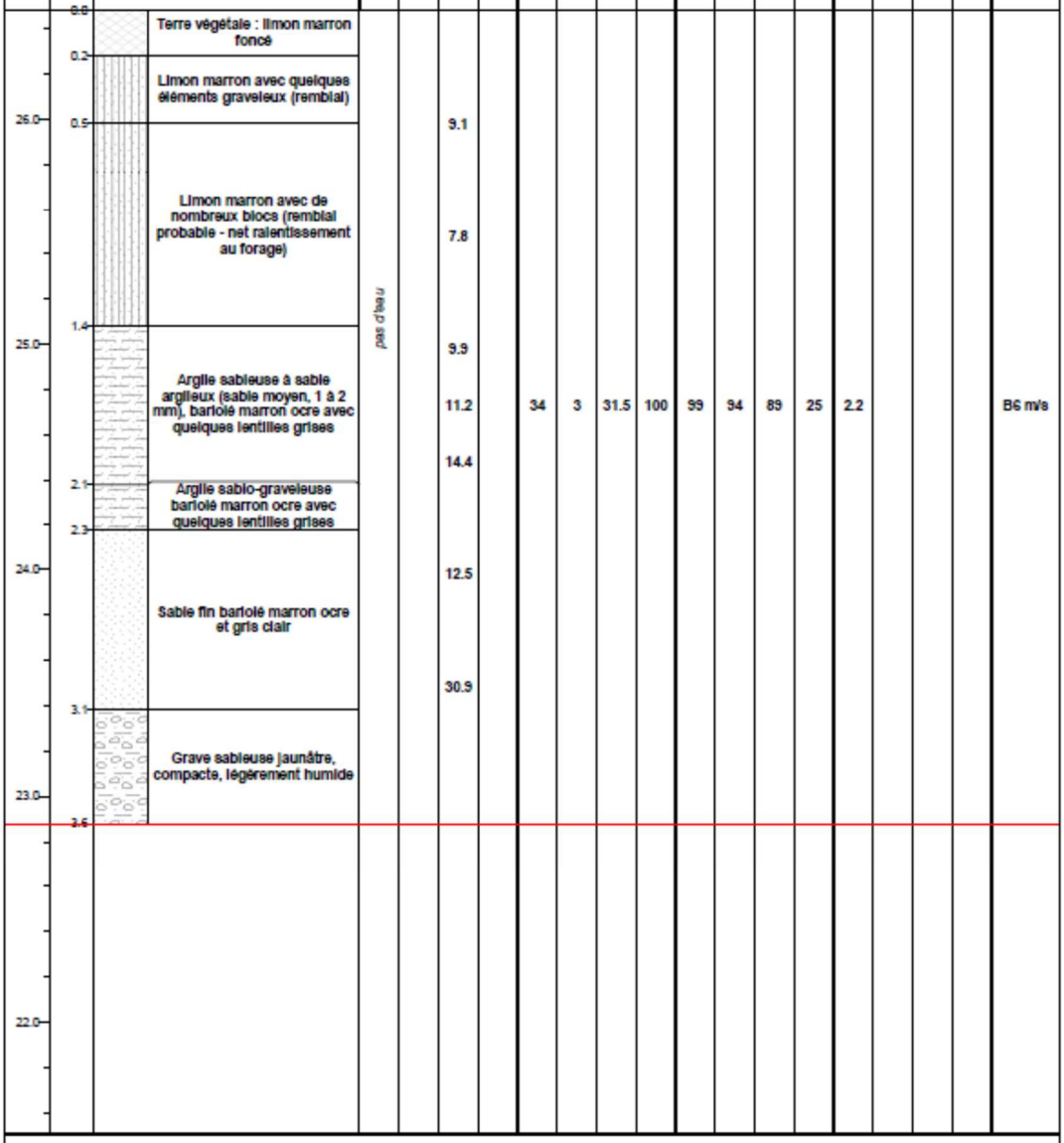
Client : **Mission de médiation Aéroport du Grand Ouest**

Etude : Aéroport de Nantes Atlantique
Reconnaissance géotechnique 2017

Coordonnées X : 300822,21
Y : 246668,08
Z : 26,48 m

Date : 15/09/2017
Echelle : 1 / 25

Page : 1 / 1



Observations :

CEREMA

Affaire : 3904
Annexe : 3.10

FORAGE : T10-2017

Forage Tarière 200 mm

Client : Mission de médiation Aéroport du Grand Ouest

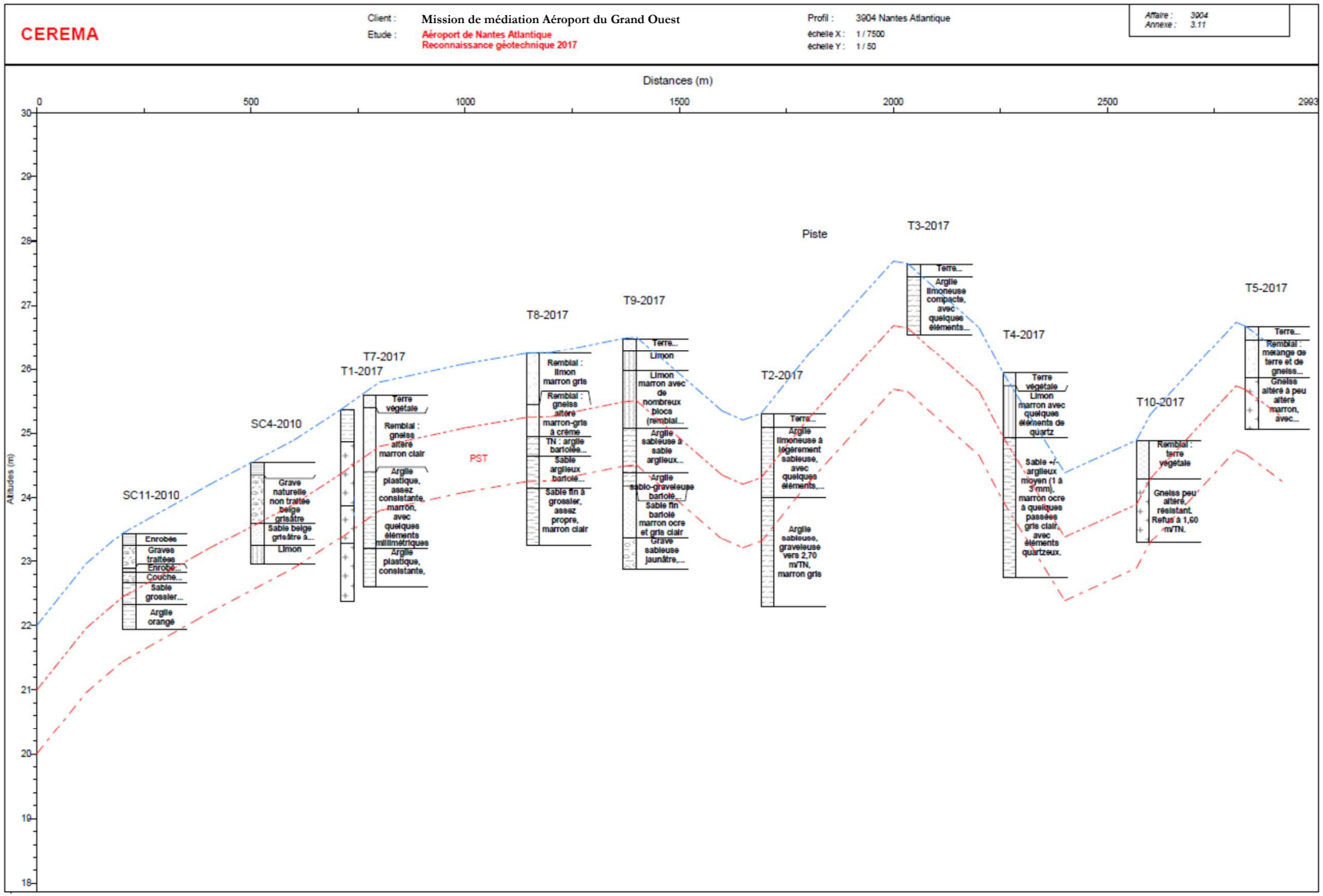
Etude : Aéroport de Nantes Atlantique
Reconnaissance géotechnique 2017

Coordonnées X : 301314,51
Y : 247768,93
Z : 24,89 m

Date : 15/09/2017
Echelle : 1 / 25

Cote NGF	Altitude (m)	Description lithologique Nature du terrain	Niveau d'eau	échantillons	Wn (%)	IPI	CBRn	CBRI	Dmax	60 (%)	20 (%)	6 (%)	2 (%)	.08 (%)	VBS	Wl (%)	Ip	Io	GTR
24.0	0.0	Remblai : terre végétale argilo-limoneuse marron foncé, avec quelques éléments siliceux	pas d'eau		10.5														
	0.6	Gneiss peu altéré, résistant. Refus à 1,60 m/TN.			6.7 7.3		29	2	20	100	100	88	80	57	1.58				A1m/s
	1.6				8.2														
23.0																			
22.0																			
21.0																			
20.0																			

Observations :


CEREMA
Client : Mission de médiation Aéroport du Grand Ouest
Etude : Aéroport de Nantes Atlantique
Reconnaissance géotechnique 2017
Profil : 3904 Nantes Atlantique
échelle X : 1 / 7500
échelle Y : 1 / 50
Affaire : 3904
Annexe : 3.11
Distances (m)
0
500
1000
1500
2000
2500
2993
Altitudes (m)
30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
SC11-2010
Enrobée
Graves traitées
Enrobé...
Couche...
Sable grossier...
Argile orangé
SC4-2010
Grave naturelle non traitée beige
Sable beige grisâtre à...
Limon
T1-2017
T7-2017
Terre végétale
Remblai : gneiss altéré marron clair
Argile plastique, assez consistante, marron, avec quelques éléments millimétriques
Argile plastique, consistante,
PST
T8-2017
Remblai : limon marron gris
Remblai : gneiss altéré marron-gris à crème
TN : argile bariolée...
Sable argileux bariolé...
Sable fin à grossier, assez propre, marron clair
T9-2017
Terre...
Limon
Limon marron avec de nombreux blocs (remblai...
Argile sableuse à sable argileux...
Argile sablo-graveleuse bariolé...
Sable fin bariolé marron ocre et gris clair
Grave sableuse jaunâtre,...
Piste
T2-2017
Terre...
Argile limoneuse à légèrement sableuse, avec quelques éléments,...
Argile sablouse, graveleuse vers 2,70 mTN, marron gris
T3-2017
Terre...
Argile limoneuse compacte, avec quelques éléments...
T4-2017
Terre végétale
Limon marron avec quelques éléments de quartz
Sable +/- argileux moyen (1 à 3 mm), marron ocre à quelques passées gris clair, avec éléments quartzeux.
T10-2017
Remblai : terre végétale
Gneiss peu altéré, résistant. Refus à 1,60 mTN.
T5-2017
Terre...
Remblai : mélange de terre et de gneiss...
Gneiss altéré à peu altéré marron, avec...

Cerema

Direction territoriale Ouest
Département Laboratoire et CECP d'Angers

N° d'affaire : 3904
Annexe : 3.12

Rapport d'essai

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE A SEC APRES LAVAGE

Effectuée conformément à la norme NF P 94-056

Affaire : Nantes A
Échantillon : T1
Client :
Date d'essai : 20/09/2017

Origine : Nantes
Prélevé par : VP
Date de prélèvement : 14/09/2017

Tamis (mm)	Passants cumulés (%)
80	
71	
63	
50	
40	
31,5	100
20	86
14	79
10	76
6,3	69
5	67
2	55
1	47
0,4	39
0,2	31
0,08	22

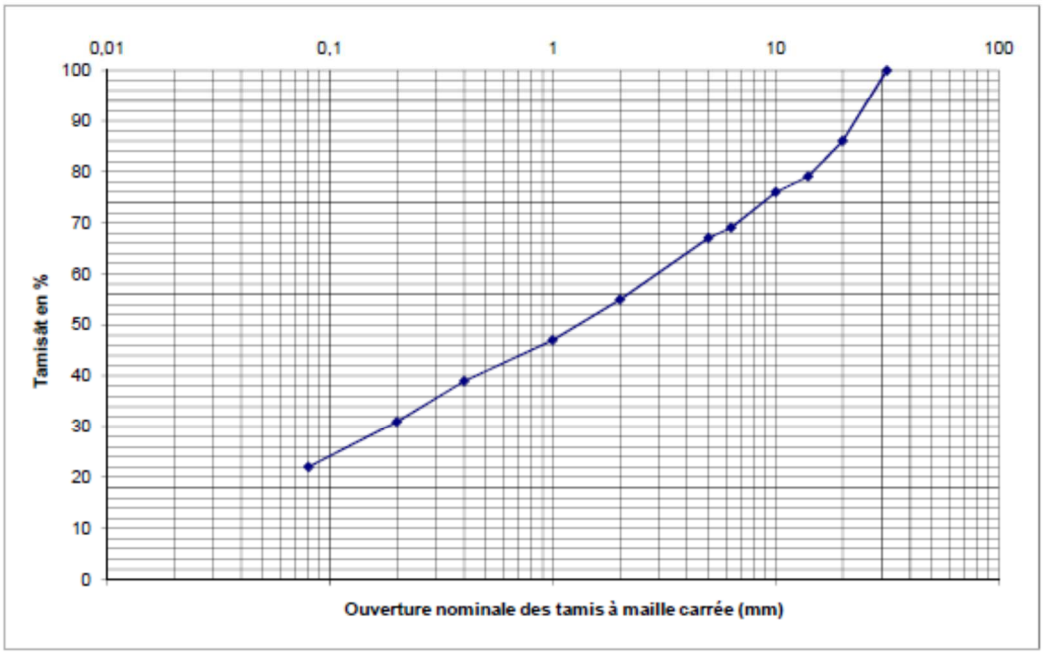
dm (mm)	31,5
d10 (mm)	
d30 (mm)	
d60 (mm)	
Facteur de courbure Cc	
Facteur d'uniformité Cu	

Observations

étuvage à 105°C

VBS = 1,80

B6m



Le responsable d'essais : Le chargé d'étude : Date :

Cerema

Direction territoriale Ouest
Département Laboratoire et CECP d'Angers

N° d'affaire : 3904
Annexe : 3.13

Rapport d'essai

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE A SEC APRES LAVAGE

Effectuée conformément à la norme NF P 94-056

Affaire : Nantes A
Échantillon : T2 (1,30-3,00m)
Client :
Date d'essai : 20/09/2017

Origine : Nantes
Prélevé par : VP
Date de prélèvement : 14/09/2017

Tamis (mm)	Passants cumulés (%)
80	
71	
63	
50	
40	
31,5	
20	100
14	99
10	99
6,3	98
5	98
2	92
1	83
0,4	65
0,2	54
0,08	48

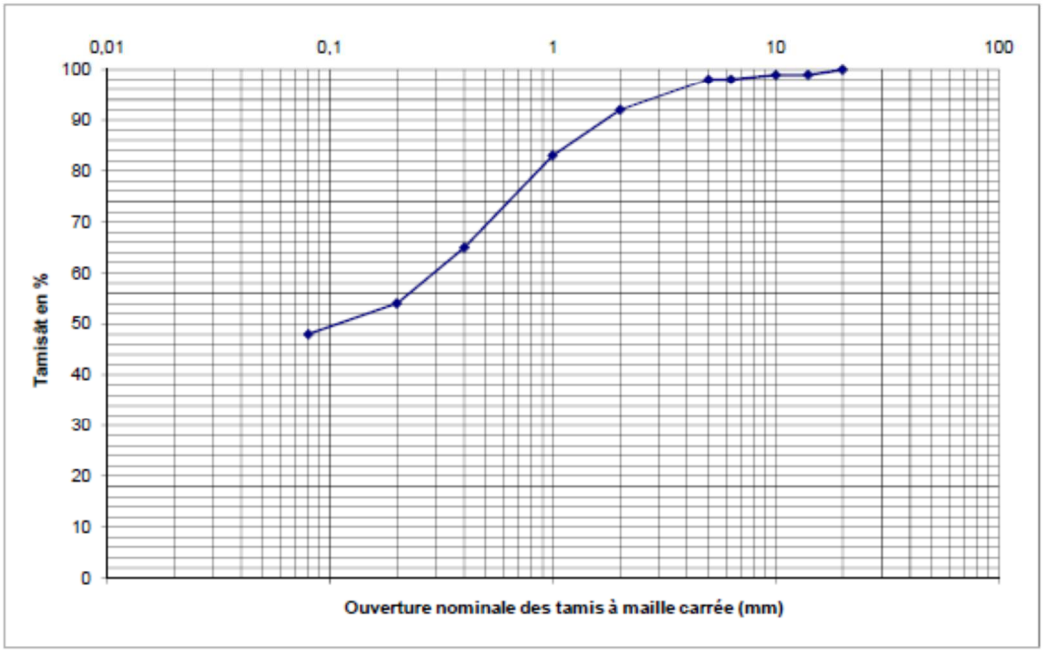
dm (mm)	20
d10 (mm)	
d30 (mm)	
d60 (mm)	
Facteur de courbure Cc	
Facteur d'uniformité Cu	

Observations

étuvage à 105°C

VBS = 1,27

A1th



Le responsable d'essais :

Le chargé d'étude :

Date :

Cerema

Direction territoriale Ouest
Département Laboratoire et CICP d'Angers

N° d'affaire : 3904
Annexe : 3.14

Rapport d'essai
ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE A SEC APRES LAVAGE
Effectuée conformément à la norme NF P 94-056

Affaire : Nantes A
Échantillon : T4
Client :
Date d'essai : 20/09/2017

Origine : Nantes
Prélevé par : VP
Date de prélèvement : 14/09/2017

Tamis (mm)	Passants cumulés (%)
80	
71	
63	
50	
40	
31,5	
20	
14	
10	
6,3	100
5	100
2	83
1	48
0,4	23
0,2	18
0,08	16

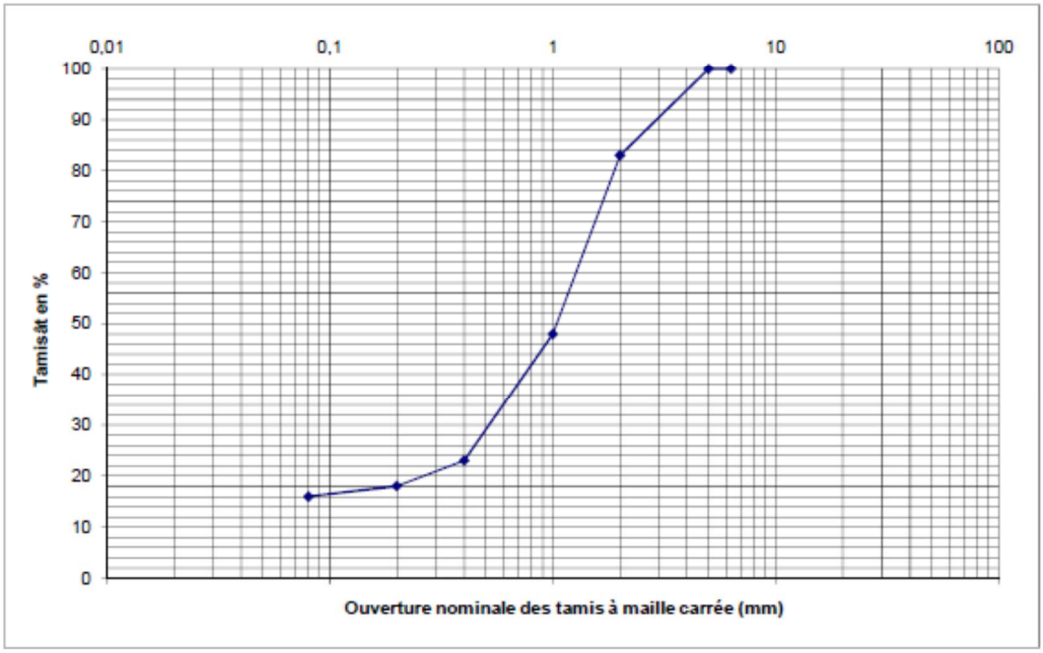
dm (mm)	6,3
d10 (mm)	
d30 (mm)	
d60 (mm)	
Facteur de courbure Cc	
Facteur d'uniformité Cu	

Observations

étuvage à 105°C

VBS = 0,84

B5 m/s



Le responsable d'essais : Le chargé d'étude : Date :

Cerema

Direction territoriale Ouest
Département Laboratoire et CICP d'Angers

N° d'affaire : 3904
Annexe : 3.15

Rapport d'essai

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE A SEC APRES LAVAGE

Effectuée conformément à la norme NF P 94-056

Affaire : Nantes A
Échantillon : T7 (0,20-1,20m)
Client :
Date d'essai : 20/09/2017

Origine : Nantes
Prélevé par : VP
Date de prélèvement : 14/09/2017

Tamis (mm)	Passants cumulés (%)
80	
71	
63	
50	
40	
31,5	100
20	99
14	99
10	97
6,3	93
5	91
2	82
1	73
0,4	63
0,2	55
0,08	45

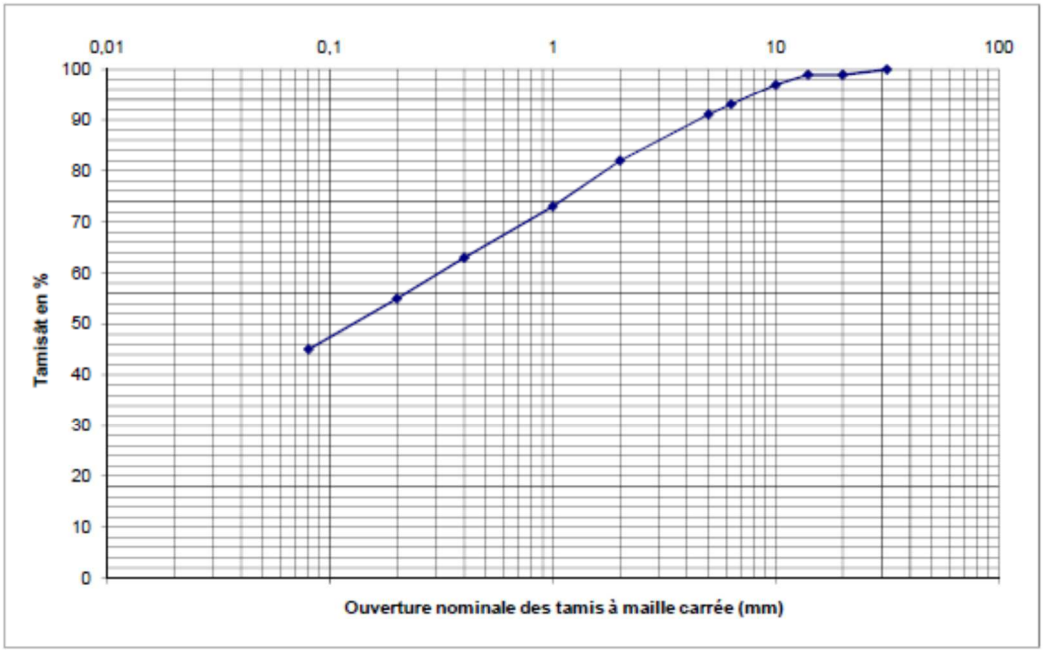
dm (mm)	31,5
d10 (mm)	
d30 (mm)	
d60 (mm)	
Facteur de courbure Cc	
Facteur d'uniformité Cu	

Observations

étuvage à 105°C

VBS = 2,84

A2s



Le responsable d'essais :

Le chargé d'étude :

Date :

Cerema

irection territoriale Ouest
épartement Laboratoire et CECP d'Angers

N° d'affaire : 3904
Annexe : 3.16

Rapport d'essai
ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE A SEC APRES LAVAGE
Effectuée conformément à la norme NF P 94-056

Affaire : Nantes A
Échantillon : T9
Client :
Date d'essai : 20/09/2017

Origine : Nantes
Prélevé par : VP
Date de prélèvement : 14/09/2017

Tamis (mm)	Passants cumulés (%)
80	
71	
63	
50	
40	
31,5	100
20	99
14	97
10	96
6,3	95
5	94
2	89
1	83
0,4	42
0,2	27
0,08	25

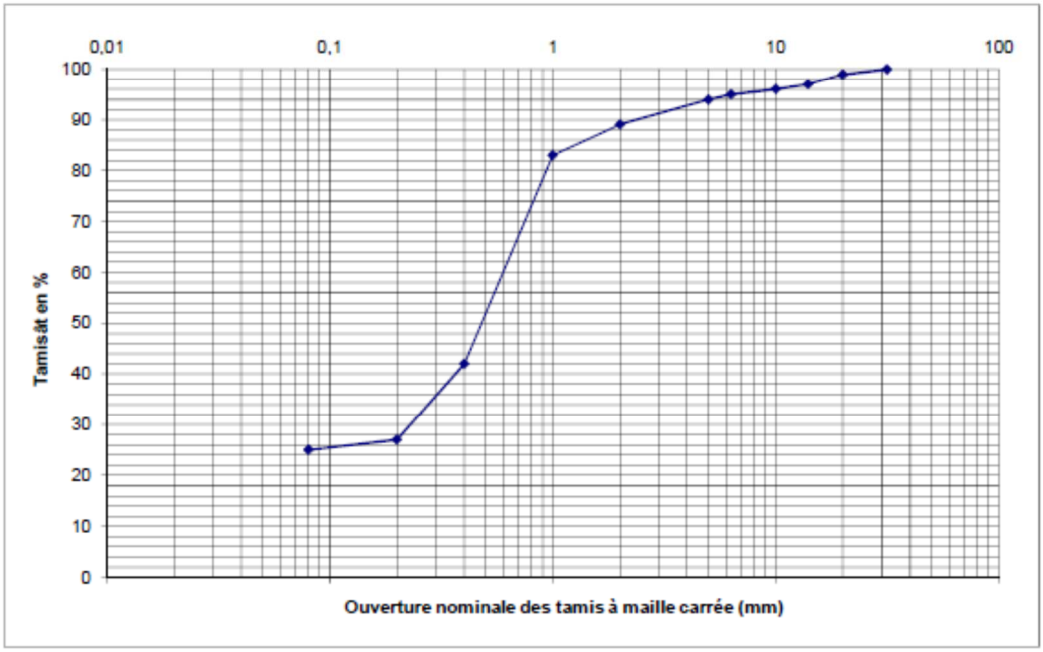
dm (mm)	31,5
d10 (mm)	
d30 (mm)	
d60 (mm)	
Facteur de courbure Cc	
Facteur d'uniformité Cu	

Observations

étuvage à 105°C

VBS = 2,20

B6 m/s



Le responsable d'essais :

Le chargé d'étude :

Date :

Cerema

Direction territoriale Ouest
Département Laboratoire et CICP d'Angers

N° d'affaire : 3904
Annexe : 3.17

Rapport d'essai
ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE A SEC APRES LAVAGE
Effectuée conformément à la norme NF P 94-056

Affaire : Nantes A
Échantillon : T10
Client :
Date d'essai : 20/09/2017

Origine : Nantes
Prélevé par : VP
Date de prélèvement : 14/09/2017

Tamis (mm)	Passants cumulés (%)
80	
71	
63	
50	
40	
31,5	
20	100
14	97
10	93
6,3	90
5	88
2	80
1	74
0,4	68
0,2	63
0,08	57

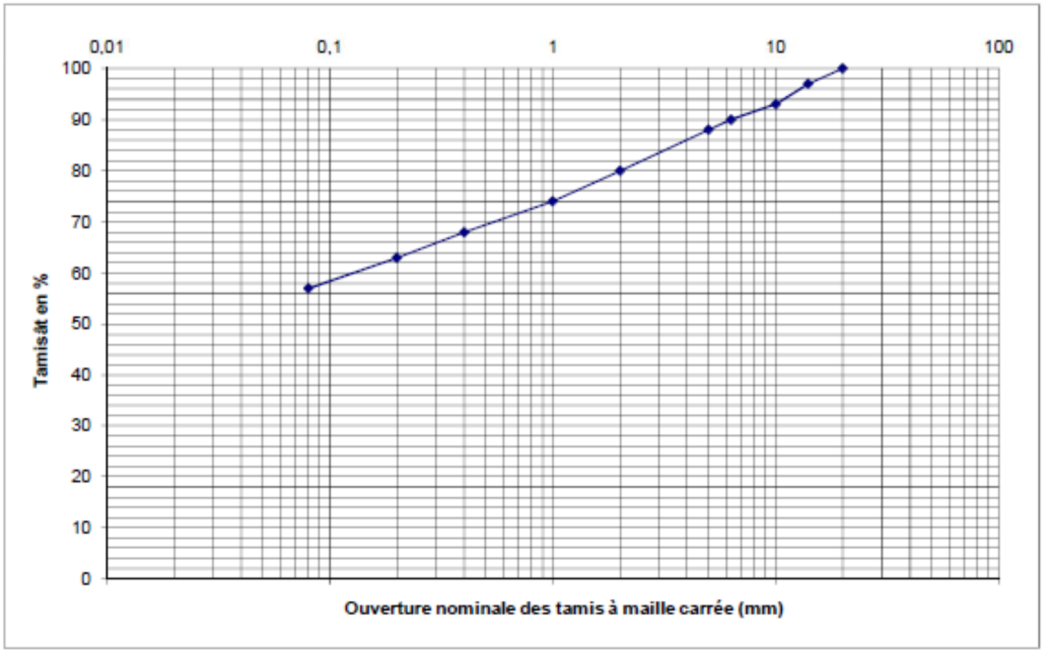
dm (mm)	20
d10 (mm)	
d30 (mm)	
d60 (mm)	
Facteur de courbure Cc	
Facteur d'uniformité Cu	

Observations

étuvage à 105°C

VBS = 1,58

A1 m



Le responsable d'essais : Le chargé d'étude : Date :

4.13 Rapport d'essais de module selon NF EN 12697-26 (annexe C) de septembre 2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale
(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)
No. de série du rapport d'essai: 17-278-10

Adresse du laboratoire d'essai

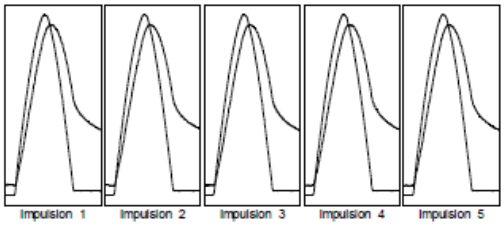
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Valles
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	05:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	2A
Température d'essai :	15°C
Diamètre de l'éprouvette :	142.9 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	54.4 mm
Masse volumique :	2345 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation horiz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	05:oct:2017 14:32	Demandeur :	Nantes

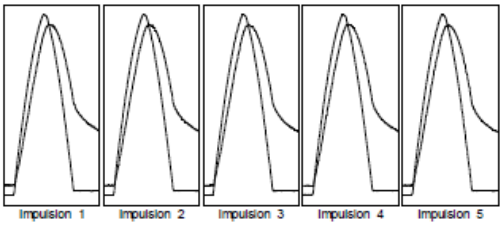
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carottages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		3.36	3.37	3.36
Contrainte horizontale (kPa)		275.1	275.5	275.4
Facteur de zone de charge	0.60	0.61	0.62	0.61
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms) :	124	122.0	124.0	123.0
Module de rigidité mesuré (MPa)		5467	5523	5493
Module de rigidité ajusté (MPa)		5505	5589	5542

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		3.46	3.46	3.46
Contrainte horizontale (kPa)		283.1	283.4	283.2
Facteur de zone de charge	0.60	0.60	0.61	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms) :	124	121.0	124.0	122.2
Module de rigidité mesuré (MPa)		5659	5679	5669
Module de rigidité ajusté (MPa)		5665	5704	5684

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	122.6
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	5581
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	5613

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (-3)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 05:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-276-2

Adresse du laboratoire d'essai

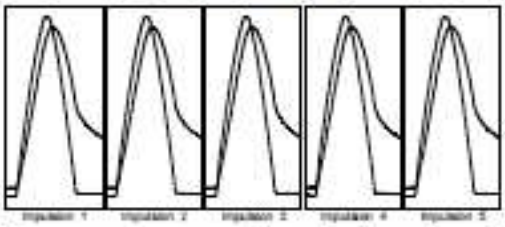
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Vallès
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	03:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	2B
Température d'essai :	15°C
Diamètre de l'éprouvette :	142.9 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	54.8 mm
Masse volumique :	2300 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation horiz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	03:oct:2017 13:14	Demandeur :	Nantes

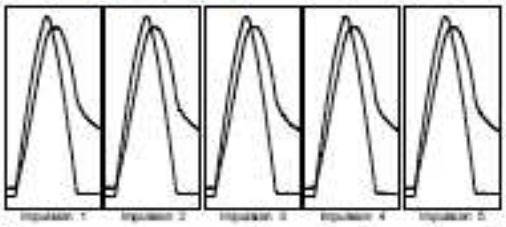
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carrollages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Rési Min	Rési Max	Moyenne
Force verticale (kN)		2.11	2.12	2.11
Contrainte horizontale (kPa)		171.6	172.0	171.8
Facteur de zone de charge	0.60	0.60	0.61	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	121.0	124.0	122.8
Module de rigidité mesuré (MPa)		3431	3458	3432
Module de rigidité ajusté (MPa)		3435	3447	3437

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Rési Min	Rési Max	Moyenne
Force verticale (kN)		2.10	2.10	2.10
Contrainte horizontale (kPa)		177.7	178.2	177.8
Facteur de zone de charge	0.60	0.59	0.60	0.59
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	124.0	126.0	124.8
Module de rigidité mesuré (MPa)		3405	3533	3512
Module de rigidité ajusté (MPa)		3441	3534	3501

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	123.6
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	3472
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	3469

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (-2)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 03:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-276-4

Adresse du laboratoire d'essai

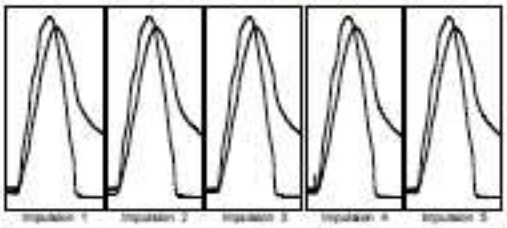
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Valles
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Economie

Date de l'impression :	03:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	2O-bis
Température d'essai :	15°C
Diamètre de l'éprouvette :	143 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	35.4 mm
Masse volumique :	2244 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation hortz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	03:oct:2017 13:51	Demandeur :	Nantes

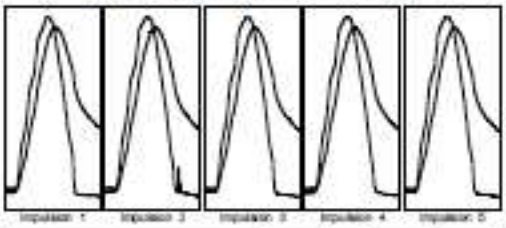
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carrières
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		0.81	0.81	0.81
Contrainte horizontale (kPa)		101.5	102.3	101.9
Facteur de zone de charge	0.60	0.60	0.62	0.61
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	123.9	127.0	125.4
Module de rigidité mesuré (MPa)		2007	2026	2023
Module de rigidité ajusté (MPa)		2000	2026	2016

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		0.75	0.76	0.75
Contrainte horizontale (kPa)		93.0	95.2	94.3
Facteur de zone de charge	0.60	0.60	0.61	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.8	7.0	6.9
Temps de montée en charge (ms)	124	123.2	128.0	125.6
Module de rigidité mesuré (MPa)		1959	1971	1969
Module de rigidité ajusté (MPa)		1959	1972	1971

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	125.2
Déformation horizontale (µm)	:	6.9
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	1966
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	1971

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (6)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 03:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-276-5

Adresse du laboratoire d'essai

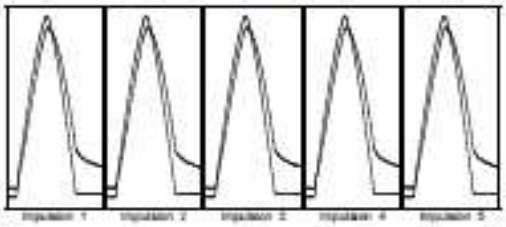
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Vallès
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	03:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	2D
Température d'essai :	15°C
Diamètre de l'éprouvette :	143.1 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	26.8 mm
Masse volumique :	2156 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation horiz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	03:oct:2017 13:57	Demandeur :	Nantes

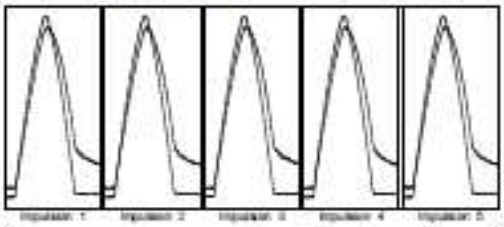
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carrefages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		3.11	3.12	3.12
Contrainte horizontale (kPa)		461.7	462.2	461.9
Facteur de zone de charge	0.60	0.58	0.59	0.59
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.1	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	123.0	125.0	124.0
Module de rigidité mesuré (MPa)		9075	9205	9159
Module de rigidité ajusté (MPa)		9025	9160	9076

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		3.12	3.13	3.13
Contrainte horizontale (kPa)		462.2	463.8	463.5
Facteur de zone de charge	0.60	0.58	0.60	0.59
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	123.0	126.0	124.0
Module de rigidité mesuré (MPa)		9227	9323	9274
Module de rigidité ajusté (MPa)		9131	9235	9209

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	124.3
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	9217
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	9154

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (-2)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 03:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-276-1

Adresse du laboratoire d'essai

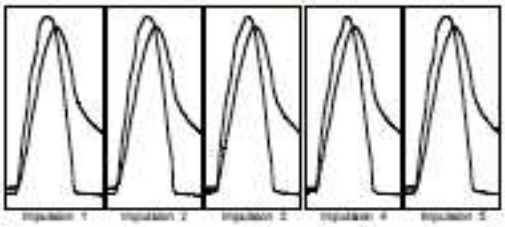
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Vallès
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	03:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	2E
Température d'essai :	15°C
Diamètre de l'éprouvette :	143 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	56.7 mm
Masse volumique :	2215 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation hortz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	03:oct:2017 13:07	Demandeur :	Nantes

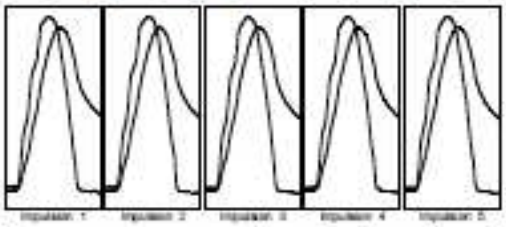
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carrottages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		0.93	0.96	0.94
Contrainte horizontale (kPa)		65.2	67.3	65.9
Facteur de zone de charge	0.95	0.97	0.95	0.96
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.1	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	124.0	126.0	125.0
Module de rigidité mesuré (MPa)		1291	1305	1308
Module de rigidité ajusté (MPa)		1298	1342	1319

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		0.89	0.89	0.89
Contrainte horizontale (kPa)		53.8	53.9	53.9
Facteur de zone de charge	0.95	0.97	0.94	0.95
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.1	7.1	7.1
Temps de montée en charge (ms)	124	126.0	126.0	126.0
Module de rigidité mesuré (MPa)		1049	1064	1057
Module de rigidité ajusté (MPa)		1059	1076	1069

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) : :	125.8
Déformation horizontale (µm) :	7.1
Déformation horizontale (%) :	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa) :	1182
Module de rigidité ajusté (MPa) :	1194

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (19)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 03:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)
No. de série du rapport d'essai: 17-278-11

Adresse du laboratoire d'essai

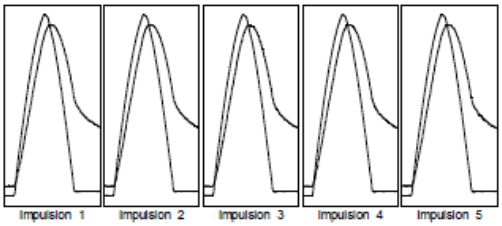
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Valles
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	05:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	5A
Température d'essai :	15°C
Diamètre de l'éprouvette :	143 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	53.1 mm
Masse volumique :	2480 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation horiz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	05:oct:2017 14:38	Demandeur :	Nantes

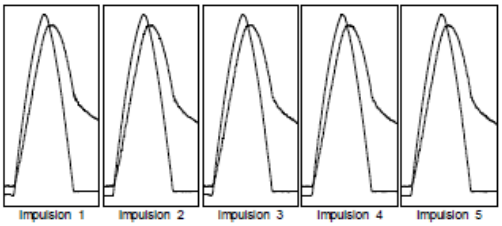
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carottages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		3.45	3.45	3.45
Contrainte horizontale (kPa)		289.0	289.4	289.2
Facteur de zone de charge	0.60	0.60	0.61	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms) :	124	123.0	126.0	124.6
Module de rigidité mesuré (MPa)		5736	5788	5769
Module de rigidité ajusté (MPa)		5758	5803	5779

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		3.30	3.31	3.31
Contrainte horizontale (kPa)		277.0	277.6	277.3
Facteur de zone de charge	0.60	0.60	0.61	0.61
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.2	7.1
Temps de montée en charge (ms) :	124	124.0	126.0	125.0
Module de rigidité mesuré (MPa)		5395	5508	5471
Module de rigidité ajusté (MPa)		5424	5528	5491

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	124.8
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	5620
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	5635

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (5)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 05:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-276-6

Adresse du laboratoire d'essai

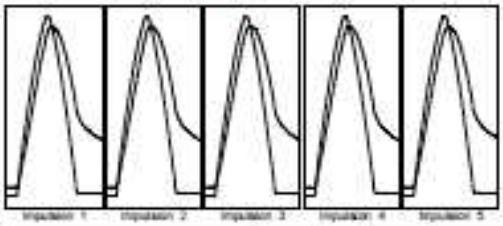
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Valles
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	03:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	5B
Température d'essai :	15°C
Diamètre de l'éprouvette :	143 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	48.9 mm
Masse volumique :	2219 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation horiz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	03:oct:2017 14:52	Demandeur :	Nantes

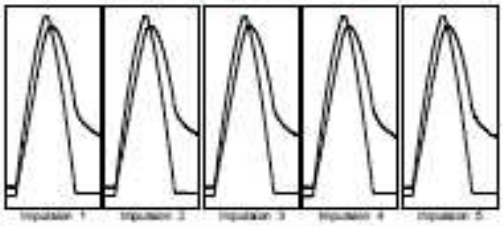
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carrillages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Réel Min.	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		2.66	2.70	2.68
Contrainte horizontale (kPa)		244.2	248.0	244.8
Facteur de zone de charge	0.60	0.59	0.60	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.1	7.1
Temps de montée en charge (ms)	124	124.0	127.0	124.8
Module de rigidité mesuré (MPa)		4800	4843	4808
Module de rigidité ajusté (MPa)		4794	4833	4813

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Réel Min.	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		2.64	2.68	2.66
Contrainte horizontale (kPa)		242.8	247.0	243.9
Facteur de zone de charge	0.60	0.59	0.60	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	123.0	126.0	123.8
Module de rigidité mesuré (MPa)		4771	4794	4787
Module de rigidité ajusté (MPa)		4756	4797	4777

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	124.1
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	4808
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	4795

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (0.7)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 03:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Apparell NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-276-7

Adresse du laboratoire d'essai

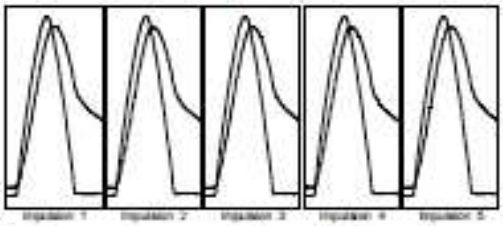
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Valles
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	03:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	6C
Température d'essai :	15°C
Diamètre de l'éprouvette :	143 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	48.6 mm
Masse volumique :	2307 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation hortz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	03:oct:2017 14:59	Demandeur :	Nantes

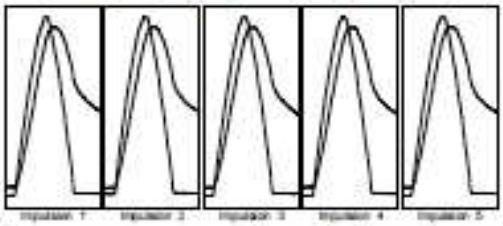
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carrottages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Résl Min	Résl Max	Moyenne
Force verticale (kN)		1.93	1.95	1.94
Contrainte horizontale (kPa)		176.1	178.5	176.9
Facteur de zone de charge	0.60	0.60	0.61	0.61
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	124.0	124.0	124.0
Module de rigidité mesuré (MPa)		3508	3527	3527
Module de rigidité ajusté (MPa)		3486	3504	3501

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Résl Min	Résl Max	Moyenne
Force verticale (kN)		1.92	1.93	1.93
Contrainte horizontale (kPa)		184.7	185.7	185.0
Facteur de zone de charge	0.60	0.59	0.61	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.1	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	124.0	126.0	126.0
Module de rigidité mesuré (MPa)		3349	3355	3351
Module de rigidité ajusté (MPa)		3344	3343	3378

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	124.4
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	3404
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	3408

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (7)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 03:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-276-6

Adresse du laboratoire d'essai

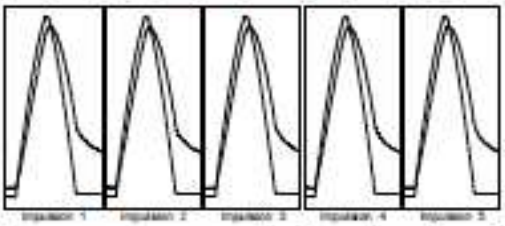
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Valles
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	03:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	SD
Température d'essai :	15°C
Diamètre de l'éprouvette :	143.1 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	49.7 mm
Masse volumique :	2204 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation horiz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	03:oct:2017 15:28	Demandeur :	Nantes

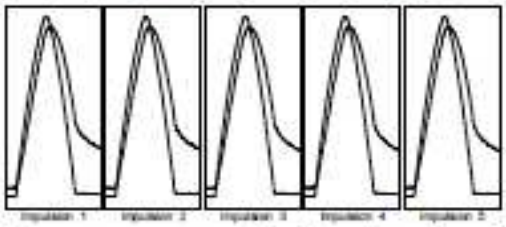
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carottages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		2.75	2.75	2.75
Contrainte horizontale (kPa)		245.8	245.9	245.8
Facteur de zone de charge	0.60	0.59	0.60	0.59
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	123.0	124.0	123.5
Module de rigidité mesuré (MPa)		4866	4865	4877
Module de rigidité ajusté (MPa)		4830	4860	4846

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		2.71	2.71	2.71
Contrainte horizontale (kPa)		242.3	242.5	242.4
Facteur de zone de charge	0.60	0.59	0.60	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	124.0	124.0	124.0
Module de rigidité mesuré (MPa)		4815	4814	4848
Module de rigidité ajusté (MPa)		4813	4813	4825

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	123.5
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	4862
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	4842

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (0.3)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 03:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-279-1

Adresse du laboratoire d'essai

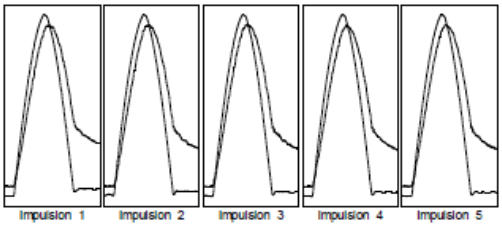
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Valles
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	06:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	2A
Température d'essai :	10°C
Diamètre de l'éprouvette :	142.9 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	54.4 mm
Masse volumique :	2345 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation horiz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	06:oct:2017 08:13	Demandeur :	Nantes

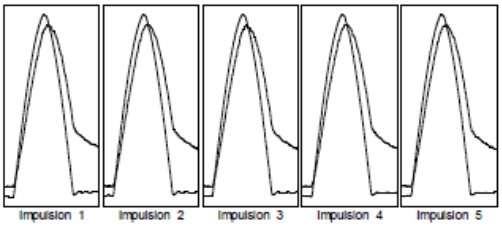
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carottages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		5.83	5.98	5.87
Contrainte horizontale (kPa)		477.1	489.5	480.7
Facteur de zone de charge	0.60	0.61	0.62	0.62
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.2	7.0
Temps de montée en charge (ms) :	124	124.0	125.0	124.2
Module de rigidité mesuré (MPa)		9436	9574	9525
Module de rigidité ajusté (MPa)		9552	9682	9621

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		5.87	5.89	5.88
Contrainte horizontale (kPa)		480.4	482.7	481.2
Facteur de zone de charge	0.60	0.61	0.61	0.61
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms) :	124	124.0	125.0	124.4
Module de rigidité mesuré (MPa)		9511	9665	9583
Module de rigidité ajusté (MPa)		9577	9738	9651

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	124.3
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	9554
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	9636

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (-0.3)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 06:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-277-2

Adresse du laboratoire d'essai

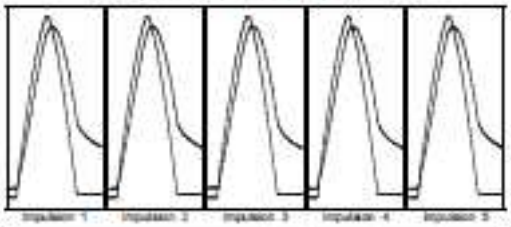
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Valles
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Economie

Date de l'impression :	04:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	2B
Température d'essai :	10°C
Diamètre de l'éprouvette :	142.9 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	54.8 mm
Masse volumique :	2300 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation hortz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	04:oct:2017 07:55	Demandeur :	Nantes

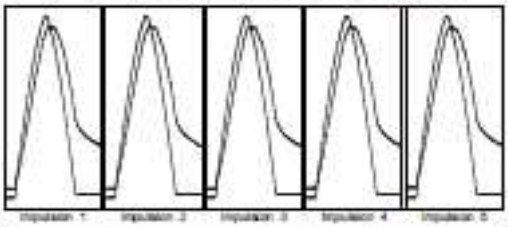
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carottages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		3.74	3.74	3.74
Contrainte horizontale (kPa)		305.8	304.2	304.9
Facteur de zone de charge	0.60	0.60	0.61	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	124.0	124.0	124.0
Module de rigidité mesuré (MPa)		6052	6121	6074
Module de rigidité ajusté (MPa)		6081	6148	6096

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		3.76	3.76	3.76
Contrainte horizontale (kPa)		305.3	305.8	305.5
Facteur de zone de charge	0.60	0.60	0.60	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	124.0	124.0	124.0
Module de rigidité mesuré (MPa)		6072	6091	6081
Module de rigidité ajusté (MPa)		6081	6099	6089

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	124.0
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	6078
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	6089

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (-0.02)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 04:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-277-3

Adresse du laboratoire d'essai

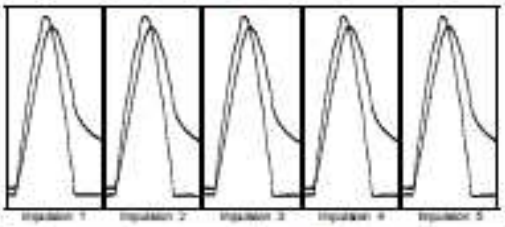
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Vallès
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	04:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	2C
Température d'essai :	10°C
Diamètre de l'éprouvette :	143 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	35.4 mm
Masse volumique :	2244 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation hortz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	04:oct:2017 08:29	Demandeur :	Nantes

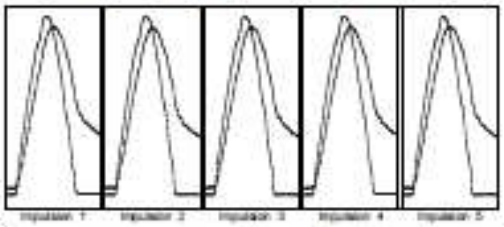
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carottages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Rési Min	Rési Max	Moyenne
Force verticale (kN)		1.42	1.45	1.44
Contrainte horizontale (kPa)		176.2	181.9	180.0
Facteur de zone de charge	0.60	0.64	0.66	0.65
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	118.0	122.0	119.8
Module de rigidité mesuré (MPa)		3574	3627	3597
Module de rigidité ajusté (MPa)		3554	3621	3588

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Rési Min	Rési Max	Moyenne
Force verticale (kN)		1.44	1.46	1.45
Contrainte horizontale (kPa)		181.2	183.1	182.0
Facteur de zone de charge	0.60	0.64	0.67	0.66
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.1	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	122.0	127.0	124.8
Module de rigidité mesuré (MPa)		3615	3672	3624
Module de rigidité ajusté (MPa)		3593	3665	3629

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	122.3
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	3611
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	3609

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (-1)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 04:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-277-4

Adresse du laboratoire d'essai

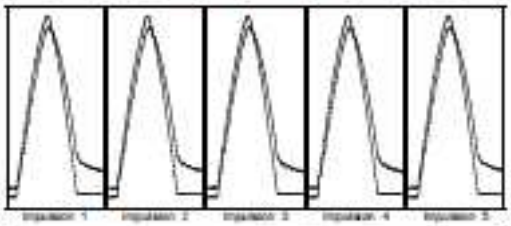
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Valles
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	04:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	2D
Température d'essai :	10°C
Diamètre de l'éprouvette :	143.1 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	26.8 mm
Masse volumique :	2156 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation hortz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	04:oct:2017 09:08	Demandeur :	Nantes

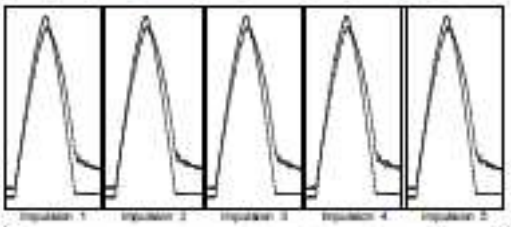
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carottages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Rawl Min	Rawl Max	Moyenne
Force verticale (kN)		3.93	3.93	3.93
Contrainte horizontale (kPa)		536.8	539.1	538.0
Facteur de zone de charge	0.60	0.59	0.60	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.1	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	124.0	124.3	124.1
Module de rigidité mesuré (MPa)		10913	10723	10905
Module de rigidité ajusté (MPa)		10595	10751	10847

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Rawl Min	Rawl Max	Moyenne
Force verticale (kN)		3.93	3.93	3.93
Contrainte horizontale (kPa)		563.2	564.1	563.7
Facteur de zone de charge	0.60	0.59	0.60	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.1	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	124.0	124.0	124.0
Module de rigidité mesuré (MPa)		11094	11202	11147
Module de rigidité ajusté (MPa)		11075	11176	11113

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	124.1
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	10906
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	10880

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (-4)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 04:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-277-1

Adresse du laboratoire d'essai

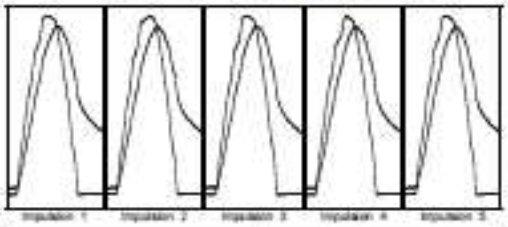
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Valles
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	04:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	2E
Température d'essai :	10°C
Diamètre de l'éprouvette :	143 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	56.7 mm
Masse volumique :	2215 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation hortz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	04:oct:2017 07:48	Demandeur :	Nantes

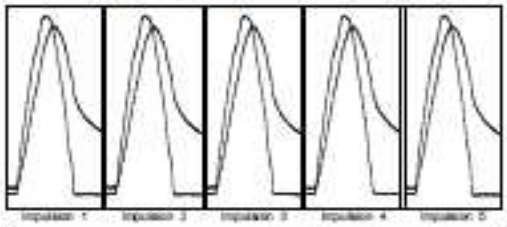
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carrefages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		1.22	1.25	1.23
Contrainte horizontale (kPa)		85.6	86.5	86.0
Facteur de zone de charge	0.60	0.61	0.65	0.62
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.1	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	122.8	123.9	123.4
Module de rigidité mesuré (MPa)		1910	1940	1926
Module de rigidité ajusté (MPa)		1941	1956	1951

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		1.19	1.19	1.19
Contrainte horizontale (kPa)		83.2	83.7	83.5
Facteur de zone de charge	0.60	0.60	0.62	0.61
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	119.0	120.0	119.6
Module de rigidité mesuré (MPa)		1859	1884	1870
Module de rigidité ajusté (MPa)		1883	1898	1879

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	123.4
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	1898
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	1915

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (4)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 04:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)
No. de série du rapport d'essai: 17-279-2

Adresse du laboratoire d'essai

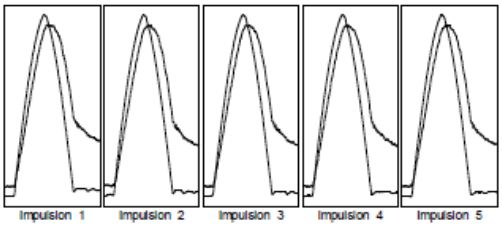
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Valles
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	06:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	5A
Température d'essai :	10°C
Diamètre de l'éprouvette :	143 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	53.1 mm
Masse volumique :	2480 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation horiz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	06:oct:2017 08:17	Demandeur :	Nantes

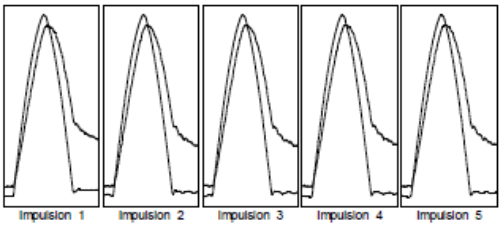
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carottages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		6.29	6.45	6.34
Contrainte horizontale (kPa)		527.2	540.7	531.3
Facteur de zone de charge	0.60	0.61	0.62	0.61
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.2	7.0
Temps de montée en charge (ms) :	124	123.0	124.0	123.6
Module de rigidité mesuré (MPa)		10443	10640	10511
Module de rigidité ajusté (MPa)		10501	10725	10586

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		5.71	5.87	5.77
Contrainte horizontale (kPa)		478.5	492.2	483.8
Facteur de zone de charge	0.60	0.60	0.61	0.61
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.2	7.0
Temps de montée en charge (ms) :	124	123.0	125.0	124.2
Module de rigidité mesuré (MPa)		9585	9689	9652
Module de rigidité ajusté (MPa)		9636	9733	9688

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	123.9
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	10082
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	10137

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (8)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 06:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-277-5

Adresse du laboratoire d'essai

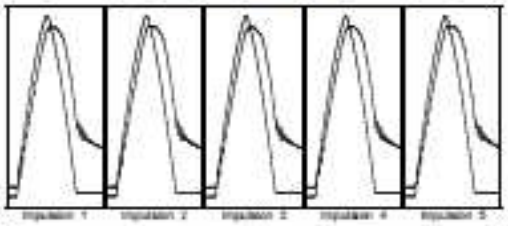
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Vallès
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	04:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	5B
Température d'essai :	10°C
Diamètre de l'éprouvette :	143 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	48.9 mm
Masse volumique :	2219 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation hortz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	04:oct:2017 09:53	Demandeur :	Nantes

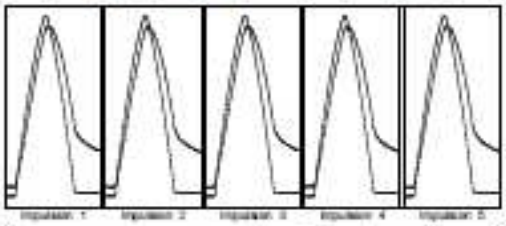
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carrières
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		4.76	4.76	4.76
Contrainte horizontale (kPa)		433.3	433.6	433.4
Facteur de zone de charge	0.60	0.59	0.60	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	123.0	124.0	123.5
Module de rigidité mesuré (MPa)		8671	8677	8643
Module de rigidité ajusté (MPa)		8570	8671	8621

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		4.28	4.27	4.28
Contrainte horizontale (kPa)		386.2	386.4	386.3
Facteur de zone de charge	0.60	0.59	0.60	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	123.0	125.0	124.2
Module de rigidité mesuré (MPa)		7784	7745	7734
Module de rigidité ajusté (MPa)		7663	7733	7700

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	123.5
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	8184
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	8161

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (11)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 04:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-277-6

Adresse du laboratoire d'essai

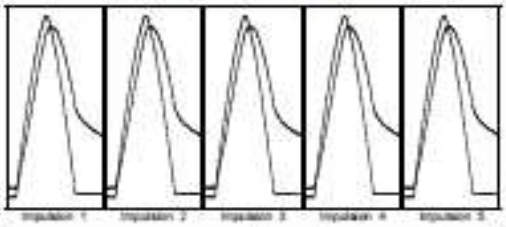
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Vallès
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Economie

Date de l'impression :	04:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	5C
Température d'essai :	10°C
Diamètre de l'éprouvette :	143 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	48.8 mm
Masse volumique :	2307
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation hortz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	04:oct:2017 10:53	Demandeur :	Nantes

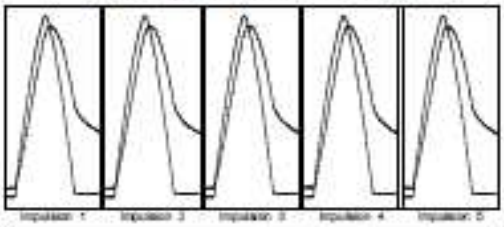
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carrefagas
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		3.29	3.30	3.30
Contrainte horizontale (kPa)		300.4	300.8	300.6
Facteur de zone de charge	0.60	0.59	0.60	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	122.0	124.0	123.0
Module de rigidité mesuré (MPa)		5851	5934	5874
Module de rigidité ajusté (MPa)		5845	5889	5862

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		3.19	3.20	3.19
Contrainte horizontale (kPa)		291.2	291.6	291.5
Facteur de zone de charge	0.60	0.59	0.60	0.60
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	123.0	125.0	123.8
Module de rigidité mesuré (MPa)		5767	5808	5804
Module de rigidité ajusté (MPa)		5735	5818	5760

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	123.2
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	5889
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	5879

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (3)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 04:10:2017

Rapport du module de rigidité par essai de compression diamétrale

(NF-EN 12697-26 :2004 (Annexe C) : Appareil NU14)-NU14)

No. de série du rapport d'essai: 17-277-7

Adresse du laboratoire d'essai

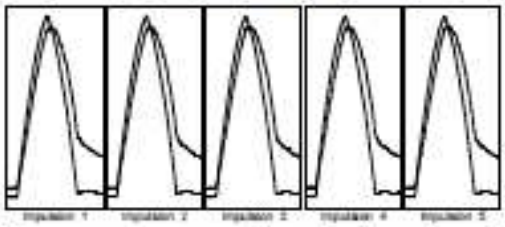
Département Laboratoire de St Brieuc
5 rue Jules Vallès
22015 Saint Brieuc Cedex
-
Groupe :
Route Durable et Econome

Date de l'impression :	04:10:2017
Essai réalisé par :	
Référence de l'éprouvette :	SD
Température d'essai :	10°C
Diamètre de l'éprouvette :	143.1 mm
Épaisseur de l'éprouvette :	49.7 mm
Masse volumique :	2204 (kg/m³)
Coefficient de Poisson :	0.35
Temps de montée visé (ms) :	124 ms
Déformation horiz. visée (microns) :	7 µm
Nombre d'impulsions de préparation :	10
Fréquence des lectures par le capteur :	1000 Hz

Date et heure d'essai :	04:oct:2017 11:00	Demandeur :	Nantes

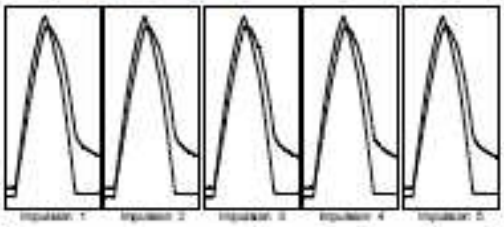
Type et origine de l'enrobé bitumineux	Carrefages
Méthode de fabrication de l'enrobé bitumineux	
Méthode de compactage	
Conditions de stockage de l'éprouvette	
Méthode de détermination de la masse volumique	

Essai le long du premier diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		4.06	4.08	4.07
Contrainte horizontale (kPa)		393.6	395.6	394.4
Hauteur de zone de charge	0.60	0.61	0.62	0.62
Déformation horizontale (µm)	7.0	6.9	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	123.0	124.0	123.4
Module de rigidité mesuré (MPa)		7213	7305	7245
Module de rigidité ajusté (MPa)		7306	7365	7318

Essai le long du deuxième diamètre



Résultats	Visée	Réel Min	Réel Max	Moyenne
Force verticale (kN)		3.94	3.95	3.95
Contrainte horizontale (kPa)		382.5	383.8	383.5
Hauteur de zone de charge	0.60	0.60	0.61	0.61
Déformation horizontale (µm)	7.0	7.0	7.0	7.0
Temps de montée en charge (ms)	124	123.0	124.0	123.6
Module de rigidité mesuré (MPa)		7059	7082	7080
Module de rigidité ajusté (MPa)		7124	7260	7257

Moyenne des deux essais

Temps de montée en charge (ms) :	:	123.6
Déformation horizontale (µm)	:	7.0
Déformation horizontale (%)	:	0.0049
Module de rigidité mesuré (MPa)	:	7163
Module de rigidité ajusté (MPa)	:	7213

Différence en pourcentage entre les modules de rigidité ajustés moyens = (4)

Responsable de l'essai	Signé
	Date d'émission du rapport d'essai 04:10:2017

4.14 Relevé visuel des dégradations de la piste de septembre 2017

AERODROME : Nantes
ZONE RELEVE : Piste 03-21
DATE DU RELEVE : Septembre 2017
LONGUEUR DE LA MAILLE : 20 m
LARGEUR DE LA MAILLE : 30 m

P.M.		0																						440
FLACHE (m²)	L M E																							
ORNIERE FRAYEE (m²)	L M E																							
FISSURE DE FATIGUE (mètres)	L M E						12																	
FAIENCAGE DE FATIGUE (m²)	L M E																							
DESENROBAGE BRULURE PELADE (m²)	L M E																							
FISSURE DE JOINT (mètres)	L M E						20						40						40					
FISSURE DE RETRAIT (mètres)	L M E						20						9						4					
FAIENCAGE DE RETRAIT (m²)	L M E																							
REPARATION PONCTUELLE DEGRADEE (m²)	L M E																							
F.PARABOLIQUE (m²)																								
DEFORMATION EN W (m²)	L M E																							
GONFLEMENT BOURRELET (m²)	L M E																							
TASSEMENT DIFFERENTIEL MARCHE (mètres)	L M E																							
NID DE POULE (unité)																								
CONTAMINATION (m²)																								
DEPOT DE GOMME (m²)																								
EMPREINTE POINCONNEMENT (m²)	L M E																							
ENROBE POREUX (m²)																								
REMONTEE D'EAU (m²)																								
REMONTEE DE FINES (m²)																								
RESSUAGE (m²)																								
MAILLES		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	

XXXXXX : dégradation de structure
YYYYYY : dégradation de surface

AERODROME : Nantes
ZONE RELEVE : Piste 03-21
DATE DU RELEVE : Septembre 2017
LONGUEUR DE LA MAILLE : 20 m
LARGEUR DE LA MAILLE : 30 m

P.M.		440																					880
FLACHE (m²)	L M E																						
ORNIERE FRAYEE (m²)	L M E																						
FISSURE DE FATIGUE (mètres)	L M E														25								
FAIENCAGE DE FATIGUE (m²)	L M E																						
DESENROBAGE BRULURE PELADE (m²)	L M E																						
FISSURE DE JOINT (mètres)	L M E		40						40						40						40		
FISSURE DE RETRAIT (mètres)	L M E		5						14						40						7		
FAIENCAGE DE RETRAIT (m²)	L M E																						
REPARATION PONCTUELLE DEGRADEE (m²)	L M E																						
F.PARABOLIQUE (m²)																							
DEFORMATION EN W (m²)	L M E																						
GONFLEMENT BOURRELET (m²)	L M E																						
TASSEMENT DIFFERENTIEL MARCHE (mètres)	L M E																						
NID DE POULE (unité)																							
CONTAMINATION (m²)																							
DEPOT DE GOMME (m²)																							
EMPREINTE POINCONNEMENT (m²)	L M E																						
ENROBE POREUX (m²)																							
REMONTEE D'EAU (m²)																							
REMONTEE DE FINES (m²)																							
RESSUAGE (m²)																							
MAILLES		**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**	**34**	**35**	**36**	**37**	**38**	**39**	**40**	**41**	**42**	**43**	**44**

XXXXXX : dégradation de structure
YYYYYY : dégradation de surface

AERODROME : Nantes
ZONE RELEVE : Piste 03-21
DATE DU RELEVE : Septembre 2017
LONGUEUR DE LA MAILLE : 20 m
LARGEUR DE LA MAILLE : 30 m

P.M.		880																						1320
FLACHE (m²)	L M E																							
ORNIERE FRAYEE (m²)	L M E																							
FISSURE DE FATIGUE (mètres)	L M E				15																			
FAIENCAGE DE FATIGUE (m²)	L M E																							
DESENROBAGE BRULURE PELADE (m²)	L M E																							
FISSURE DE JOINT (mètres)	L M E				40						80						80							80
FISSURE DE RETRAIT (mètres)	L M E										60						30							80
FAIENCAGE DE RETRAIT (m²)	L M E																							9
REPARATION PONCTUELLE DEGRADEE (m²)	L M E																							
F.PARABOLIQUE (m²)																								
DEFORMATION EN W (m²)	L M E																							
GONFLEMENT BOURRELET (m²)	L M E																							
TASSEMENT DIFFERENTIEL MARCHE (mètres)	L M E																							
NID DE POULE (unité)																								
CONTAMINATION (m²)																								
DEPOT DE GOMME (m²)																								
EMPREINTE POINCONNEMENT (m²)	L M E																							
ENROBE POREUX (m²)																								
REMONTEE D'EAU (m²)																								
REMONTEE DE FINES (m²)																								
RESSUAGE (m²)																								
MAILLES		**45**	**46**	**47**	**48**	**49**	**50**	**51**	**52**	**53**	**54**	**55**	**56**	**57**	**58**	**59**	**60**	**61**	**62**	**63**	**64**	**65**	**66**	

XXXXXX : dégradation de structure
YYYYYY : dégradation de surface

AERODROME : Nantes
ZONE RELEVE : Piste 03-21
DATE DU RELEVE : Septembre 2017
LONGUEUR DE LA MAILLE : 20 m
LARGEUR DE LA MAILLE : 30 m

P.M.		1320																						1760
FLACHE (m²)	L M E																							
ORNIERE FRAYEE (m²)	L M E																							
FISSURE DE FATIGUE (mètres)	L M E		4																					
FAIENCAGE DE FATIGUE (m²)	L M E																							
DESENROBAGE BRULURE PELADE (m²)	L M E																							
FISSURE DE JOINT (mètres)	L M E		80				80						80						100					
FISSURE DE RETRAIT (mètres)	L M E		40				38						48						70					
FAIENCAGE DE RETRAIT (m²)	L M E																							
REPARATION PONCTUELLE DEGRADEE (m²)	L M E																							
F.PARABOLIQUE (m²)																								
DEFORMATION EN W (m²)	L M E																							
GONFLEMENT BOURRELET (m²)	L M E																							
TASSEMENT DIFFERENTIEL MARCHE (mètres)	L M E																							
NID DE POULE (unité)																								
CONTAMINATION (m²)																								
DEPOT DE GOMME (m²)																								
EMPREINTE POINCONNEMENT (m²)	L M E																							
ENROBE POREUX (m²)																								
REMONTEE D'EAU (m²)																								
REMONTEE DE FINES (m²)																								
RESSUAGE (m²)																								
MAILLES		**67**	**68**	**69**	**70**	**71**	**72**	**73**	**74**	**75**	**76**	**77**	**78**	**79**	**80**	**81**	**82**	**83**	**84**	**85**	**86**	**87**	**88**	

XXXXXX : dégradation de structure
YYYYYY : dégradation de surface

AERODROME : Nantes
ZONE RELEVE : Piste 03-21
DATE DU RELEVE : Septembre 2017
LONGUEUR DE LA MAILLE : 20 m
LARGEUR DE LA MAILLE : 30 m

P.M.		1760																						2200
FLACHE (m²)	L M E																							
ORNIERE FRAYEE (m²)	L M E																							
FISSURE DE FATIGUE (mètres)	L M E																							
FAIENCAGE DE FATIGUE (m²)	L M E																							
DESENROBAGE BRULURE PELADE (m²)	L M E																							
FISSURE DE JOINT (mètres)	L M E		80						60						80						60			
FISSURE DE RETRAIT (mètres)	L M E		80						40						48						20			
FAIENCAGE DE RETRAIT (m²)	L M E																							
REPARATION PONCTUELLE DEGRADEE (m²)	L M E																							
F.PARABOLIQUE (m²)																								
DEFORMATION EN W (m²)	L M E																							
GONFLEMENT BOURRELET (m²)	L M E																							
TASSEMENT DIFFERENTIEL MARCHE (mètres)	L M E																							
NID DE POULE (unité)																								
CONTAMINATION (m²)																								
DEPOT DE GOMME (m²)																								
EMPREINTE POINCONNEMENT (m²)	L M E																							
ENROBE POREUX (m²)																								
REMONTEE D'EAU (m²)																								
REMONTEE DE FINES (m²)																								
RESSUAGE (m²)																								
MAILLES		**89**	**90**	**91**	**92**	**93**	**94**	**95**	**96**	**97**	**98**	**99**	**100**	**101**	**102**	**103**	**104**	**105**	**106**	**107**	**108**	**109**	**110**	

XXXXXX : dégradation de structure
YYYYYY : dégradation de surface

AERODROME : Nantes
ZONE RELEVE : Piste 03-21
DATE DU RELEVE : Septembre 2017
LONGUEUR DE LA MAILLE : 20 m
LARGEUR DE LA MAILLE : 30 m

P.M.		2200																						2640
FLACHE (m²)	L M E																							
ORNIERE FRAYEE (m²)	L M E																							
FISSURE DE FATIGUE (mètres)	L M E																							
FAIENCAGE DE FATIGUE (m²)	L M E																							
DESENROBAGE BRULURE PELADE (m²)	L M E																							
FISSURE DE JOINT (mètres)	L M E			80														80						80
FISSURE DE RETRAIT (mètres)	L M E			20							80							40						75
FAIENCAGE DE RETRAIT (m²)	L M E										50							50						
REPARATION PONCTUELLE DEGRADEE (m²)	L M E																							
F.PARABOLIQUE (m²)																								
DEFORMATION EN W (m²)	L M E																							
GONFLEMENT BOURRELET (m²)	L M E																							
TASSEMENT DIFFERENTIEL MARCHE (mètres)	L M E																							
NID DE POULE (unité)																								
CONTAMINATION (m²)																								
DEPOT DE GOMME (m²)																								
EMPREINTE POINCONNEMENT (m²)	L M E																							
ENROBE POREUX (m²)																								
REMONTEE D'EAU (m²)																								
REMONTEE DE FINES (m²)																								
RESSUAGE (m²)																								
MAILLES		**111**	**112**	**113**	**114**	**115**	**116**	**117**	**118**	**119**	**120**	**121**	**122**	**123**	**124**	**125**	**126**	**127**	**128**	**129**	**130**	**131**	**132**	

XXXXXX : dégradation de structure
YYYYYY : dégradation de surface

AERODROME : Nantes
ZONE RELEVE : Piste 03-21
DATE DU RELEVE : Septembre 2017
LONGUEUR DE LA MAILLE : 20 m
LARGEUR DE LA MAILLE : 30 m

P.M.		2640												2920											
FLACHE (m²)	L																								
	M																								
	E																								
ORNIERE FRAYEE (m²)	L																								
	M																								
	E																								
FISSURE DE FATIGUE (mètres)	L																								
	M																								
	E																								
FAIENCAGE DE FATIGUE (m²)	L																								
	M																								
	E																								
DESENROBAGE BRULURE PELADE (m²)	L																								
	M																								
	E																								
FISSURE DE JOINT (mètres)	L						120							100											
	M																								
	E																								
FISSURE DE RETRAIT (mètres)	L						20																		
	M																								
	E																								
FAIENCAGE DE RETRAIT (m²)	L																								
	M																								
	E																								
REPARATION PONCTUELLE DEGRADEE (m²)	L																								
	M																								
	E																								
F.PARABOLIQUE (m²)																									
DEFORMATION EN W (m²)	L																								
	M																								
	E																								
GONFLEMENT BOURRELET (m²)	L																								
	M																								
	E																								
TASSEMENT DIFFERENTIEL MARCHE (mètres)	L																								
	M																								
	E																								
NID DE POULE (unité)																									
CONTAMINATION (m²)																									
DEPOT DE GOMME (m²)																									
EMPREINTE POINCONNEMENT (m²)	L						4																		
	M																								
	E																								
ENROBE POREUX (m²)																									
REMONTEE D'EAU (m²)																									
REMONTEE DE FINES (m²)																									
RESSUAGE (m²)																									
MAILLES		133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146										

XXXXXX : dégradation de structure
YYYYYY : dégradation de surface

4.15 Relevé visuel des dégradations du taxiway de septembre 2017

AERODROME : Nantes
ZONE RELEVE : Taxiway 03-21
DATE DU RELEVE : Septembre 2017
LONGUEUR DE LA MAILLE : 20 m
LARGEUR DE LA MAILLE : 25 m

P.M.		0																						440
FLACHE (m²)	L M E																							
ORNIERE FRAYEE (m²)	L M E																							
FISSURE DE FATIGUE (mètres)	L M E																						8	
FAIENCAGE DE FATIGUE (m²)	L M E																							
DESENROBAGE BRULURE PELADE (m²)	L M E																							
FISSURE DE JOINT (mètres)	L M E				1					120							140						120	
FISSURE DE RETRAIT (mètres)	L M E																24						51	
FAIENCAGE DE RETRAIT (m²)	L M E																							
REPARATION PONCTUELLE DEGRADEE (m²)	L M E																							
F.PARABOLIQUE (m²)																								
DEFORMATION EN W (m²)	L M E																							
GONFLEMENT BOURRELET (m²)	L M E																							
TASSEMENT DIFFERENTIEL MARCHE (mètres)	L M E																							
NID DE POULE (unité)																								
CONTAMINATION (m²)																								
DEPOT DE GOMME (m²)																								
EMPREINTE POINCONNEMENT (m²)	L M E																							
ENROBE POREUX (m²)																								
REMONTEE D'EAU (m²)																								
REMONTEE DE FINES (m²)																								
RESSUAGE (m²)																								
MAILLES		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	

XXXXXX : dégradation de structure
YYYYYY : dégradation de surface

AERODROME : Nantes
ZONE RELEVE : Taxiway 03-21
DATE DU RELEVE : Septembre 2017
LONGUEUR DE LA MAILLE : 20 m
LARGEUR DE LA MAILLE : 25 m

P.M.		440																					880
FLACHE (m²)	L M E																						
ORNIERE FRAYEE (m²)	L M E																						
FISSURE DE FATIGUE (mètres)	L M E																						
FAIENCAGE DE FATIGUE (m²)	L M E																						
DESENROBAGE BRULURE PELADE (m²)	L M E																						
FISSURE DE JOINT (mètres)	L M E					**140**							**160**						**160**				
FISSURE DE RETRAIT (mètres)	L M E					**20**							**25**						**65**				
FAIENCAGE DE RETRAIT (m²)	L M E					**50**							**20**						**10**				
REPARATION PONCTUELLE DEGRADEE (m²)	L M E																						
F.PARABOLIQUE (m²)																							
DEFORMATION EN W (m²)	L M E																						
GONFLEMENT BOURRELET (m²)	L M E																						
TASSEMENT DIFFERENTIEL MARCHE (mètres)	L M E																						
NID DE POULE (unité)																							
CONTAMINATION (m²)																							
DEPOT DE GOMME (m²)																							
EMPREINTE POINCONNEMENT (m²)	L M E																						
ENROBE POREUX (m²)																							
REMONTEE D'EAU (m²)																							
REMONTEE DE FINES (m²)																							
RESSUAGE (m²)																							
MAILLES		**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**	**34**	**35**	**36**	**37**	**38**	**39**	**40**	**41**	**42**	**43**	**44**

XXXXXX : dégradation de structure
YYYYYY : dégradation de surface

AERODROME : Nantes
ZONE RELEVE : Taxiway 03-21
DATE DU RELEVE : Septembre 2017
LONGUEUR DE LA MAILLE : 20 m
LARGEUR DE LA MAILLE : 25 m

P.M.		880																						1320
FLACHE (m²)	L M E															20						14		
ORNIERE FRAYEE (m²)	L M E																							
FISSURE DE FATIGUE (mètres)	L M E								4						4						6			
FAIENCAGE DE FATIGUE (m²)	L M E														10						3			
DESENROBAGE BRULURE PELADE (m²)	L M E																							
FISSURE DE JOINT (mètres)	L M E		160						87						80						80			
FISSURE DE RETRAIT (mètres)	L M E		50						10						32						25			
FAIENCAGE DE RETRAIT (m²)	L M E																							
REPARATION PONCTUELLE DEGRADEE (m²)	L M E																							
F.PARABOLIQUE (m²)																								
DEFORMATION EN W (m²)	L M E																							
GONFLEMENT BOURRELET (m²)	L M E																							
TASSEMENT DIFFERENTIEL MARCHE (mètres)	L M E																							
NID DE POULE (unité)																								
CONTAMINATION (m²)																								
DEPOT DE GOMME (m²)																								
EMPREINTE POINCONNEMENT (m²)	L M E																							
ENROBE POREUX (m²)																								
REMONTEE D'EAU (m²)																								
REMONTEE DE FINES (m²)																								
RESSUAGE (m²)																								
MAILLES		**45**	**46**	**47**	**48**	**49**	**50**	**51**	**52**	**53**	**54**	**55**	**56**	**57**	**58**	**59**	**60**	**61**	**62**	**63**	**64**	**65**	**66**	

XXXXXX : dégradation de structure
YYYYYY : dégradation de surface

AERODROME : Nantes
ZONE RELEVE : Taxiway 03-21
DATE DU RELEVE : Septembre 2017
LONGUEUR DE LA MAILLE : 20 m
LARGEUR DE LA MAILLE : 25 m

P.M.		1320																						1760
FLACHE (m²)	L M E				40																			
ORNIERE FRAYEE (m²)	L M E																							
FISSURE DE FATIGUE (mètres)	L M E				6													20						
FAIENCAGE DE FATIGUE (m²)	L M E																	2						
DESENROBAGE BRULURE PELADE (m²)	L M E																							
FISSURE DE JOINT (mètres)	L M E				80						100							80						
FISSURE DE RETRAIT (mètres)	L M E				17						25							27						
FAIENCAGE DE RETRAIT (m²)	L M E																							
REPARATION PONCTUELLE DEGRADEE (m²)	L M E																							
F.PARABOLIQUE (m²)																								
DEFORMATION EN W (m²)	L M E																							
GONFLEMENT BOURRELET (m²)	L M E																							
TASSEMENT DIFFERENTIEL MARCHE (mètres)	L M E																							
NID DE POULE (unité)																								
CONTAMINATION (m²)																								
DEPOT DE GOMME (m²)																								
EMPREINTE POINCONNEMENT (m²)	L M E																							
ENROBE POREUX (m²)																								
REMONTEE D'EAU (m²)																								
REMONTEE DE FINES (m²)																								
RESSUAGE (m²)																								
MAILLES		**67**	**68**	**69**	**70**	**71**	**72**	**73**	**74**	**75**	**76**	**77**	**78**	**79**	**80**	**81**	**82**	**83**	**84**	**85**	**86**	**87**	**88**	

XXXXXX : dégradation de structure
YYYYYY : dégradation de surface

AERODROME : Nantes
ZONE RELEVE : Taxiway 03-21
DATE DU RELEVE : Septembre 2017
LONGUEUR DE LA MAILLE : 20 m
LARGEUR DE LA MAILLE : 25 m

P.M.		1760																						2200
FLACHE (m²)	L M E																							
ORNIERE FRAYEE (m²)	L M E																							
FISSURE DE FATIGUE (mètres)	L M E												20											
FAIENCAGE DE FATIGUE (m²)	L M E												6											
DESENROBAGE BRULURE PELADE (m²)	L M E																							
FISSURE DE JOINT (mètres)	L M E						100						80						80					
FISSURE DE RETRAIT (mètres)	L M E						35						10						30					
FAIENCAGE DE RETRAIT (m²)	L M E																							
REPARATION PONCTUELLE DEGRADEE (m²)	L M E																							
F.PARABOLIQUE (m²)																								
DEFORMATION EN W (m²)	L M E																							
GONFLEMENT BOURRELET (m²)	L M E																							
TASSEMENT DIFFERENTIEL MARCHE (mètres)	L M E																							
NID DE POULE (unité)																								
CONTAMINATION (m²)																								
DEPOT DE GOMME (m²)																								
EMPREINTE POINCONNEMENT (m²)	L M E																							
ENROBE POREUX (m²)																								
REMONTEE D'EAU (m²)																								
REMONTEE DE FINES (m²)																								
RESSUAGE (m²)																								
MAILLES		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	

XXXXXX : dégradation de structure
YYYYYY : dégradation de surface

AERODROME : Nantes
ZONE RELEVE : Taxiway 03-21
DATE DU RELEVE : Septembre 2017
LONGUEUR DE LA MAILLE : 20 m
LARGEUR DE LA MAILLE : 25 m

P.M.		2200																							2640
FLACHE (m²)	L		**30**																						
	M																								
	E																								
ORNIERE FRAYEE (m²)	L		**10**																						
	M																								
	E																								
FISSURE DE FATIGUE (mètres)	L																						**20**		
	M																								
	E																								
FAIENCAGE DE FATIGUE (m²)	L		**15**																						
	M																								
	E																								
DESENROBAGE BRULURE PELADE (m²)	L																								
	M																								
	E																								
FISSURE DE JOINT (mètres)	L		**60**						**1**					**1**									**80**		
	M																								
	E																								
FISSURE DE RETRAIT (mètres)	L		**30**																				**24**		
	M																								
	E																								
FAIENCAGE DE RETRAIT (m²)	L																								
	M																								
	E																								
REPARATION PONCTUELLE DEGRADEE (m²)	L																								
	M																								
	E																								
F.PARABOLIQUE (m²)																									
DEFORMATION EN W (m²)	L																								
	M																								
	E																								
GONFLEMENT BOURRELET (m²)	L																								
	M																								
	E																								
TASSEMENT DIFFERENTIEL MARCHE (mètres)	L																								
	M																								
	E																								
NID DE POULE (unité)																									
CONTAMINATION (m²)																									
DEPOT DE GOMME (m²)																									
EMPREINTE POINCONNEMENT (m²)	L																								
	M																								
	E																								
ENROBE POREUX (m²)																									
REMONTEE D'EAU (m²)																									
REMONTEE DE FINES (m²)																									
RESSUAGE (m²)																									
MAILLES		**111**	**112**	**113**	**114**	**115**	**116**	**117**	**118**	**119**	**120**	**121**	**122**	**123**	**124**	**125**	**126**	**127**	**128**	**129**	**130**	**131**	**132**		

XXXXXX : dégradation de structure
YYYYYY : dégradation de surface

AERODROME : Nantes
ZONE RELEVE : Taxiway 03-21
DATE DU RELEVE : Septembre 2017
LONGUEUR DE LA MAILLE : 20 m
LARGEUR DE LA MAILLE : 25 m

P.M.		2640																						3080
FLACHE (m²)	L M E																							
ORNIERE FRAYEE (m²)	L M E										10													
FISSURE DE FATIGUE (mètres)	L M E				20																			
FAIENCAGE DE FATIGUE (m²)	L M E										10													
DESENROBAGE BRULURE PELADE (m²)	L M E																							
FISSURE DE JOINT (mètres)	L M E				60						140						80							80
FISSURE DE RETRAIT (mètres)	L M E				40						20						50							500
FAIENCAGE DE RETRAIT (m²)	L M E																							
REPARATION PONCTUELLE DEGRADEE (m²)	L M E																							
F.PARABOLIQUE (m²)																								
DEFORMATION EN W (m²)	L M E																							
GONFLEMENT BOURRELET (m²)	L M E																							
TASSEMENT DIFFERENTIEL MARCHE (mètres)	L M E																							
NID DE POULE (unité)																								
CONTAMINATION (m²)																								
DEPOT DE GOMME (m²)																								
EMPREINTE POINCONNEMENT (m²)	L M E																							
ENROBE POREUX (m²)																								
REMONTEE D'EAU (m²)																								
REMONTEE DE FINES (m²)																								
RESSUAGE (m²)																								
MAILLES		133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	

XXXXXX : dégradation de structure
YYYYYY : dégradation de surface