

## **Diagnostic au déflectomètre HWD des chaussées aéronautiques**

KEBAÏLI Nabil & BELHADJ Brahim Chikh  
EVRNZA, Université KASDI MERBAH, Ouargla, Algérie

*RESUME : La présente publication vise à mettre en évidence l'importance d'utilisation du déflectomètre HWD (Heavy Weight Deflectometer) dans les études et contrôles des chaussées aéronautiques en prenant comme exemple l'étude de diagnostic de la piste principale 18/36 de l'aérodrome de Hassi Messaoud.*

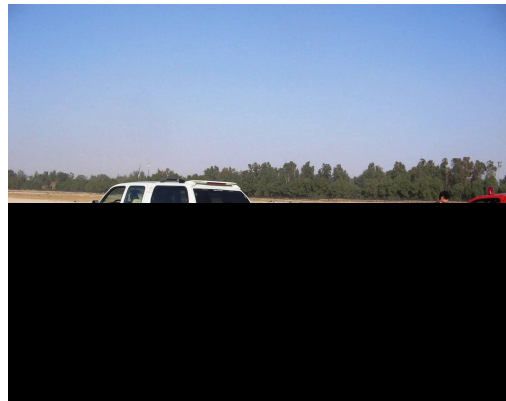
*L'objectif du programme d'évaluation est l'estimation des conditions fonctionnelles structurelles actuelles réelles de la chaussée exprimées en terme de capacité de portance et durée de vie résiduelle ce qui constitue une aide efficace à la prise de décision dans la politique d'entretien des chaussées routières et aéronautiques, le but ultime est de prévoir les mesures à prendre à court et moyen terme afin de permettre à la chaussée de se maintenir à un certain degré de performances mécaniques en répondant aux exigences du trafic actuel et futur.*

*Dans ce qui suit nous allons relater les résultats les plus importants obtenus lors de la campagne de mesure des déflexions du revêtement au moyen du déflectomètre HWD.*

*Mots - clés : Déflexion, Deflectomètre HWD, Diagnostic, ACN-PCN,*

### **1- Introduction**

Le déflectomètre HWD est utilisé par le Laboratoire des Travaux Publics du Sud (LTPS, unité de Ouargla) dans le cadre des études de renforcement des aérodromes dont celui de Hassi Messaoud (HMD), l'étude consiste à diagnostiquer la piste principale (PP) ainsi que les autres infrastructures, suite à l'apparition des premières fissures, en vue de suivre l'évolution de leur comportement mécanique sous l'effet du trafic constamment croissant tant en nombre (rotations) qu'en charges. A cet effet, on donne ci-après les résultats de mesure, l'interprétation ainsi que les perspectives quant au renforcement future.



**Figure 1:** Le deflectomètre HWD sur la PP 18/36

### **2. Présentation de l'appareil HWD**

Le HWD (Heavy Weight Deflectometer) est l'outil reconnu pour l'évaluation structurelle des chaussées aéronautiques. Ce matériel est capable d'appliquer une charge dynamique sur une chaussée, par l'intermédiaire d'une force qui peut simuler le chargement d'une roue d'un Boeing 747-400 à sa charge maximale, B777-300, MD 11, A330-300 ou avion extrêmement lourd équivalent tel que l'airbus A380.

Pour la mesure des déflexions du revêtement de la PP, le déflectomètre lourd Dynatest HWD Modèle 8082-86 a été utilisé (voir photo en Fig.1), celui-ci est monté sur remorque et se compose de trois grands systèmes :

- système de chargement,
- système hydraulique,

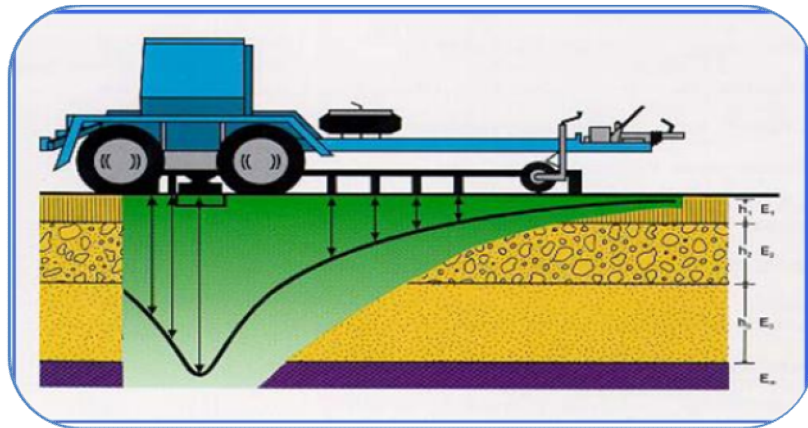
- système électronique d'acquisition des données situé dans le véhicule tracteur qui permet de contrôler l'exécution des essais et d'enregistrer les données sur support magnétique.

### 2.1. Principe de mesure et traitement

L'appareil HWD consiste à reproduire les sollicitations dues au passage d'un véhicule lourd ou avion et à mesurer la réaction de la chaussée en mesurant le bassin de déflexion à l'aide de neuf (09) géophones (voir schéma du principe de l'essai en Fig. 2).

Le premier géophone est situé dans une cavité aménagée au centre de la plaque de chargement. Les autres sont placés sous la remorque le long de la tige mobile de 2,25 m et peuvent être positionnés aux endroits désirés selon les besoins (voir schéma de position des géophones sur la Fig. 3).

Le chargement dynamique produit est mesuré à l'aide d'une cellule adéquate, les charges peuvent varier de 40 à 180 KN selon le poids de la masse et la hauteur de chute. La charge utilisée pour l'analyse structurale des chaussées aéronautiques dépend de l'avion le plus contraignant. Dans notre cas, une masse de 700 kg est utilisée.



**Figure 2:** Schéma du principe de l'essai HWD.

La masse est montée à la hauteur voulue (300 et 400 mm dans notre cas) puis laissée en chute libre grâce à un signal électrique. L'impulsion est transmise par un amortisseur de caoutchouc à une enclume reposant sur une plaque d'acier circulaire de 300 ou 450 mm de diamètre (selon le diamètre de la roue de l'avion, pour le cas de HMD c'est la plaque de 300 mm). La plaque peut s'incliner jusqu'à 6° par rapport à l'horizontale pour mieux épouser la forme de la surface.



**Figure 3:** Schéma de positionnement des géophones.

En plus de la mesure de déflexions, trois types de thermomètres sont utilisés.

- un thermomètre à infrarouge mesurant la température à la surface,

- deux autres thermomètres mesurent la température de l'air et la température à l'intérieur de la couche bitumineuse.

**2.2. Déroulement des essais et résultats**

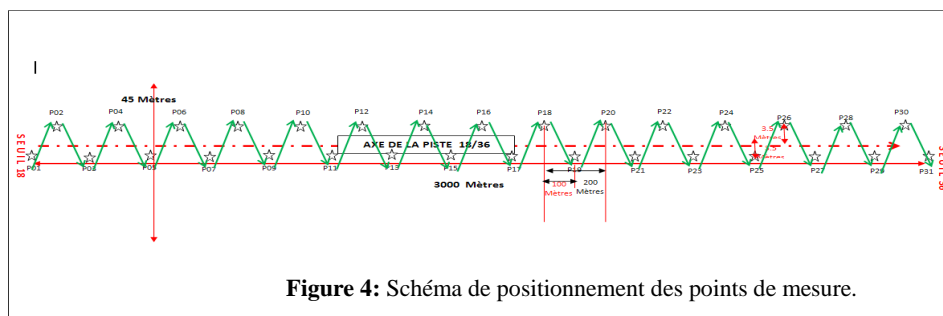
Pour faciliter l'analyse des résultats, des données de base doivent être disponibles à savoir :

- données climatiques sur la région.
- historique et dimensionnement de l'entretien,
- trafic actuel et prévisionnel ainsi que les types et fréquences des avions,

Les déflexions enregistrées correspondent à 02 chutes successives du poids de 700 Kg à des hauteurs différentes (300 et 400 mm), la deuxième chute sera prise en considération et tous les calculs se feront sur la base des déflexions de cette chute.

En tout, 31 points sont réalisés sur la PP soit  $31 \times 2 = 62$  mesures à raison d'une mesure chaque 100 m (une lecture à gauche suivie d'une autre à droite).

Le positionnement des mesures enregistrées au niveau de la bande centrale, entre le PM-0+00 (seuil 18) jusqu'au PM-3000 (seuil 36) est montré en schéma de la Fig. 4.



**Figure 4:** Schéma de positionnement des points de mesure.

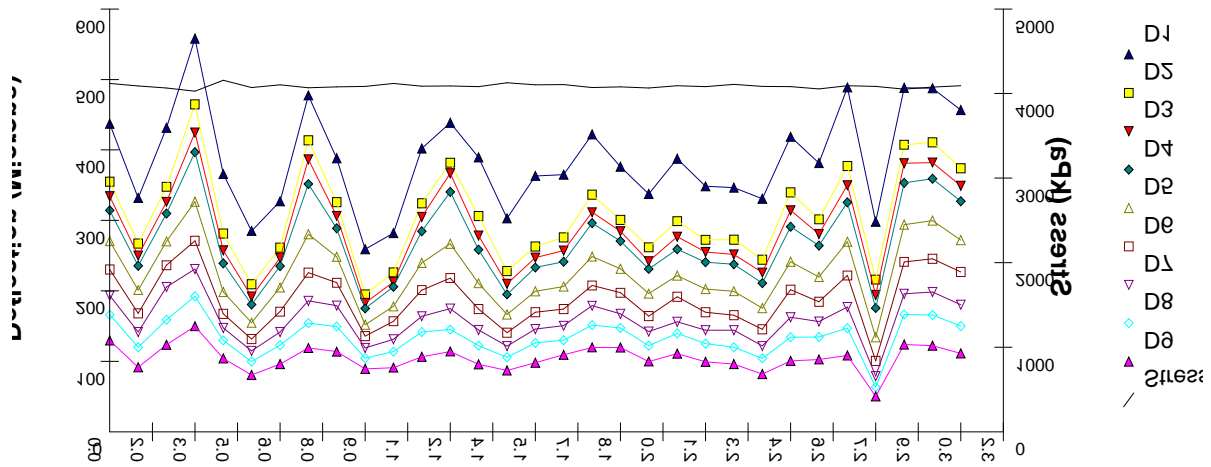
Lors du déroulement des essais, le véhicule est immobilisé et les essais sont généralement effectués dans le sentier des roues extérieures à droite. Les paramètres spécifiques au projet tels que la localisation du site et des essais, la configuration des géophones, la fréquence et l'intervalle des essais sont établis au préalable. Les diverses commandes nécessaires pour le déroulement des essais se font de l'intérieur du véhicule par un ordinateur relié au système d'acquisition des données. La durée d'un essai est de quelques minutes. Plus de 100 points de mesure peuvent être effectués par journée de travail.

**3. Analyse et interprétation des résultats de déflexion**

Les déflexions le long du profil sont illustrées sur le graphe de la figure 5, tandis-que les déflexions moyennes enregistrées sur tous les profils de la PP sont regroupés, de manière globale, dans le tab. 1.

**Tableau 1:** Déflexions moyennes de la PP

Distance des géophones à partir du centre de la plaque de chargement (mm)								
0	300	450	600	900	1200	1500	1800	2250
Déflexion moyenne (µm)								
386	308	287	269	225	189	158	134	105



**Figure 5:** Déflexions de la bande axiale de la PP.

D'après le graphe de la figure 5, les déflexions mesurées le long de la PP mettent en évidence trois (03) sections sensiblement individualisées.

- section 1: située sur les 300 premiers mètres, présente des déflexions relativement élevées de l'ordre de 558µm, cette section correspond au prolongement réalisé dans l'année 1971.
- section 2: du PM-300 au PM-2400, les déflexions sont relativement homogènes et varient de 282 à 477µm, cette section correspond au corps de chaussée ayant cumulé toutes les opérations de renforcement depuis la création de la piste.
- section 3: se prolonge jusqu'au PM-3000, où les déflexions varient de 298 à 488µm, cette section correspond aux extensions et renforcements réalisés en 1971, 1977 et 1991.

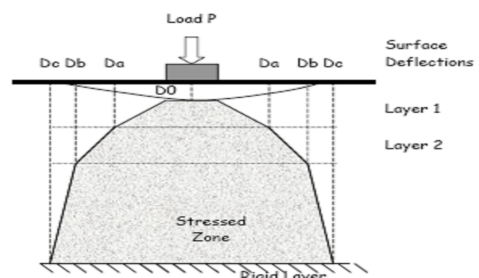
• **Module de surface  $E_0$**

La déflexion au centre de la charge " $D_0$ " représente la condition totale de la chaussée (incluant l'épaisseur et la rigidité relative de la couche). À une distance (a) approximativement égale à l'épaisseur de la 1<sup>ère</sup> couche, la déflexion mesurée à la surface  $D_a$ , correspond seulement à la déflexion de la 2<sup>ème</sup> couche et de la couche de fondation. D'où, le paramètre ( $D_0 - D_a$ ) qui représente la déflexion de la 1<sup>ère</sup> couche seulement (sous la charge appliquée).

Suivant la magnitude de la charge appliquée et la déflexion de la 1<sup>ère</sup> couche on peut évaluer la rigidité de celle-ci. Une analyse semblable peut être faite pour déterminer les rigidités des autres couches (voir schéma de déflexions en Fig. 6).

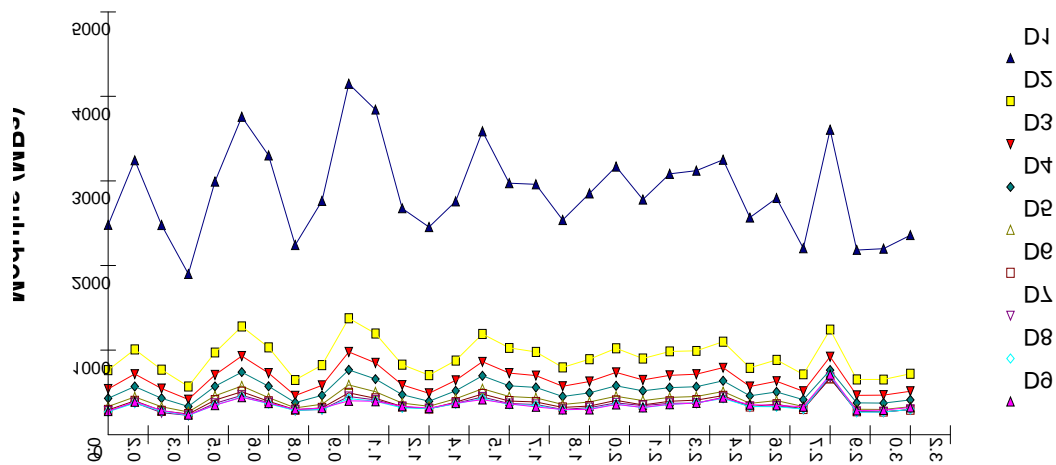
Les modules de surface  $E_0$  du profil de la PP sont représentés dans le graphe en figure 7.

Le graphe du module  $E_0$  du profil réalisé sur la piste principale montre que celui-ci diminue entre PM-0.00 et 300 avec des valeurs situées entre 1900 et 2480 MPa et augmentent entre le PM-400 et 1500 pour des valeurs comprises entre 2292 et 3844 MPa ce qui confirme les conclusions tirées à partir des mesures de déflexions. Les modules de surface sont inversement proportionnels aux déflexions obtenues.



**Figure 6:** Analyse du bassin de déflexion de l'HWD.

**Université Kasdi Merbah**



**Figure 7:** Modules  $E_0$  de la bande axiale de la PP 18/36.

**Tableau 2:** Valeurs  $E_0$  de la bande axiale de la PP

Distance des géophones à partir du centre de la plaque de chargement (mm)								
0	300	450	600	900	1200	1500	1800	2250
module de surface $E_0$ (MPa)								
2832	894	641	512	407	364	347	341	348

• **Modules Elastiques  $E_1, E_2, E_3$**

Dans la littérature, les matériaux bitumineux sont généralement considérés comme étant homogènes, isotropes, viscoélastiques, linéaires et thermo-susceptibles.

A cet effet la méthode d'analyse des données adoptées par le logiciel ELMOD considère les matériaux bitumineux (GB+BB) comme une seule couche ayant le même comportement élastique. Il est de même pour les matériaux granulaires, pour notre cas il s'agit de la grave concassée 0/31,5 qui est considérée comme une deuxième couche distincte. Le reste du corps de chaussée est considéré comme une couche semi-infinie.

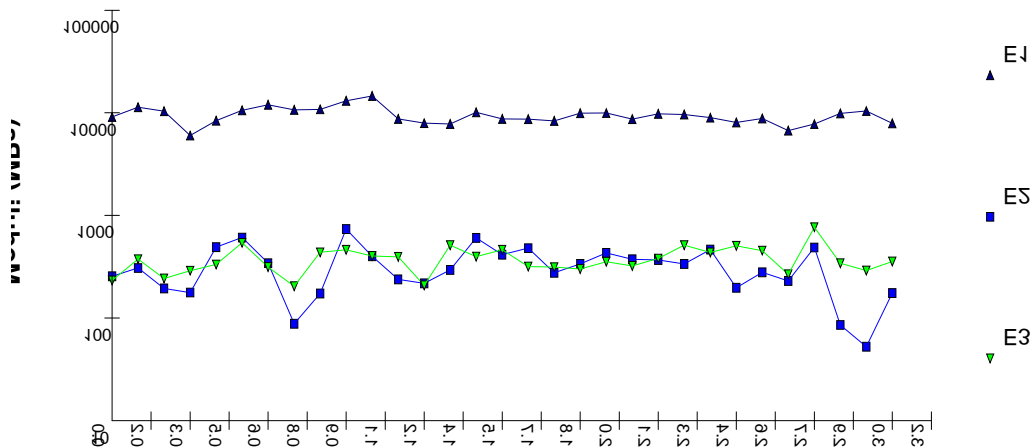
Les épaisseurs des couches introduites dans le calcul sont :

- première couche :  $E_1$  (GB+BB)
- deuxième couche:  $E_2$  (GC)
- troisième couche :  $E_3$  (reste du corps de chaussée -semi-infinie-).

Les modules de rigidité des différentes couches des profils sont représentés dans le graphe de la figure 8.

Les graphes des modules élastiques enregistrés sur la PP montrent une stabilité et homogénéité des valeurs de la couche en matériaux bitumineux le long de la piste dénotant une bonne tenue du point de vue structurel. L'allure des courbes  $E_1$  présente une légère chute au PM-300. Les valeurs obtenues varient de 6007 à 9630 MPa, ces valeurs sont surabondantes ce qui peut être expliqué par la superposition des différentes couches de renforcement dont a subi la piste depuis sa création, l'épaisseur de la couche hydrocarbonée (GB+BB) est d'environ 45 cm.

**ELMOD 5**



**Figure 8:** Module de rigidité des couches du corps de chaussée.

Les modules correspondant à la couche granulaire (grave concassée) présentent une variabilité relative par rapport à la couche hydrocarbonée sur le long de la piste, cette variabilité est nettement observée sur la première et la troisième section. Les valeurs obtenues varient entre 88 et 738 MPa.

La troisième couche qui constitue le sol support présente le même comportement que la couche granulaire mais avec une intensité moins accentuée.

Le tableau 3 résume les modules de rigidité moyens des trois couches constituant le corps de chaussée de la PP.

**Tableau 3:** Modules de rigidité moyens E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> et E<sub>3</sub> des couches.

Profil	Bitumineux GB+BB	Granulaire GC	Fondation
Module (Mpa)	8118	333	379

Il est à noter qu'il est difficile d'interpréter d'une manière objective les résultats des modules obtenus à cause de la superposition non homogène du point de vue nature des différentes couches constituant le corps de chaussée.

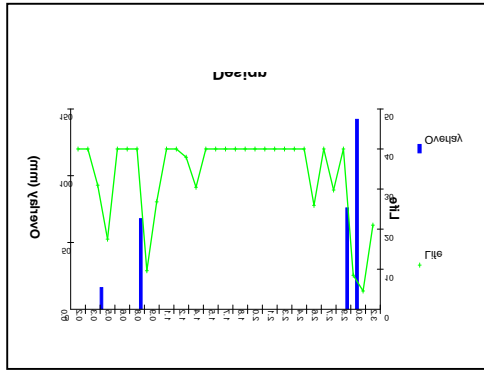
#### 4. Renforcement et durée de vie résiduelle de la piste principale

Les épaisseurs, déterminées par le programme ELMOD 5, et nécessitant un renforcement sont représentées sur le graphe de la figure 9 en couleur bleue. Ceci reflète quatre (04) points de renforcement localisés dans les trois sections mentionnées, la valeur moyenne estimée par EL MOD5 est de 1 cm. Le reste de la piste demeure acceptable sur le plan structural et ne nécessitant, donc, aucun renforcement (le jour de l'auscultation).

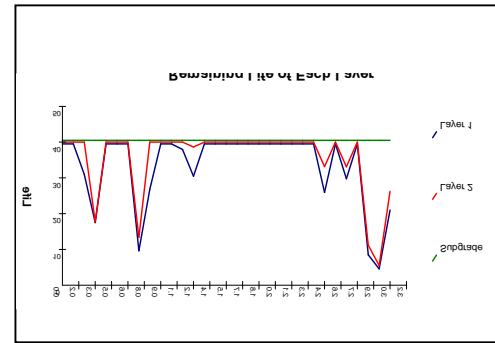
Le corps de chaussée ne présente pas d'état critique de vie résiduelle vis-à-vis de l'avion de référence B767-200 ceci est clairement montré sur la bande axiale. Le graphe de la figure 10 présente une certaine variabilité des résultats, en l'occurrence sur la couche hydrocarbonée où l'on enregistre une durée de vie variant de 5 à 34 ans. La durée de vie de la grave concassée est cernée entre 6 et 35 ans.

On note aussi que le revêtement situé dans l'intervalle 1200-2300, présente une durée de vie résiduelle meilleure que celle des extrémités de la piste.

Le sol de fondation présente un état excellent, sa durée de vie moyenne est estimée à 40 ans.

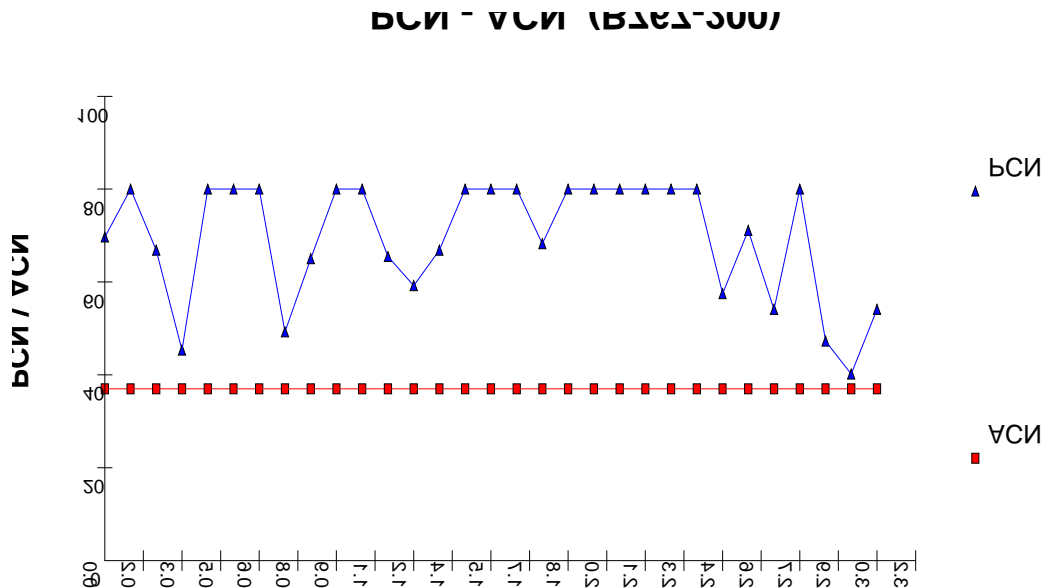


**Figure 9:** Points faibles de la PP à renforcer résiduelle des couches de la PP.



**Figure 10:** Durée de vie

Les mesures de déflexions déterminées par HWD servent de base pour le calcul du PCN (Pavement Classification Number) de la PP selon ELMOD. Les valeurs PCN et ACN sont représentées en Fig. 11



**Figure 11:** Valeurs de PCN de la bande axiale de la PP.

### 5. Constatations et recommandations

L'ACN du Boeing 767-200, qui est de 37, est inférieur au PCN sur toute la bande auscultée. L'avion considéré peut être admis sans restriction de charge ni de nombre de mouvements.

### Références bibliographiques

- [1] Etude de renforcement de l'aérodrome de Hassi Messaoud, LTPSud-Ouargla 2010,
- [2] Auscultation des aérodromes, Service Technique des Bases Aériennes.
- [3] SETRA, LCTP
- [5] Cours de bases aériennes (conception des aéroports).