

Moyens d'évaluation pour déterminer la portance des chaussées aéroportuaires

Approche pratique de la méthode ACN/PCN

La méthode ACN/PCN est un système normalisé par l'OACI (Organisation de l'aviation civile internationale) et adopté comme outil de gestion des chaussées aéronautiques, aussi bien sur les aérodromes civils que militaires. L'indice ACN représente l'agressivité des avions et l'indice PCN la capacité portante des structures de chaussées les accueillant: un avion est admissible sans restriction sur une chaussée aéronautique si $ACN < PCN$. Si les ACN sont calculés selon une procédure normalisée par l'OACI, la méthode de détermination des PCN est elle laissée libre au choix des exploitants d'aérodromes. De nombreuses méthodes de calcul du PCN coexistent, et font régulièrement l'objet de discussions entre les pays membres de l'OACI.



PAR
ROBERT BRABER
Infralab SA
Responsable des
auscultations
Ingénieur dipl. HTS



PAR
ANTHONY GAUTIER
Infralab SA
Ingénieur auscultation

L'objet de cet article est de présenter un échantillon non exhaustif de ces méthodes avec leurs avantages et leurs inconvénients afin d'orienter le gestionnaire dans le choix de la méthode PCN à utiliser. Par souci de clarté, l'article se concentre essentiellement sur le cas des chaussées souples.

Définition de la méthode ACN/PCN

La méthode ACN/PCN a été définie par l'OACI en 1981 et est imposée à l'ensemble de ses Etats membres. L'Annexe 14, Volume I – Conception et exploitation technique des aérodromes [1] – de l'OACI constitue le texte réglementaire en la matière. La méthode consiste à établir l'admissibilité des avions (caractérisés par leur ACN), en fonction de la capacité portante des chaussées (caractérisée par son PCN) de l'aérodrome.

L'ACN (Aircraft Classification Number) est un nombre évalué par le constructeur qui exprime l'agressivité de l'avion sur la chaussée. Ce nombre varie selon la qualité du sol-support de la chaussée et est calculé selon les procédures normalisées du Manuel de conception des aérodromes de l'OACI, 3^e partie [2].

Le PCN (Pavement Classification Number) est un nombre évalué par le gestionnaire qui exprime la capacité portante de la chaussée, qu'elle soit souple ou rigide, pour une utilisation sans restriction. L'OACI n'impose aucune méthode pour son calcul et en laisse le libre choix aux Etats et exploitants d'aérodrome. Par souci de comparaison, le PCN doit être défini selon les mêmes critères que l'ACN. Selon les informations dont on dispose, l'aviation civile ou militaire suisse ne préconise aucune méthode à ce jour.

Un avion est admissible pour une utilisation sans restriction si son ACN est inférieur au PCN de la chaussée. Des dérogations ponctuelles sont prévues lorsque l'ACN dépasse le PCN (appendice A, section 19 de l'Annexe 14 [1]).

Calcul de l'ACN

Les procédures normalisées pour le calcul des ACN figurent dans le Manuel de conception des aérodromes [2]. Elles utilisent des méthodes empiriques fondées sur l'expérience (nombreux tests sur pistes expérimentales aux Etats-Unis) à laquelle viennent s'ajouter des considérations théoriques. Sur chaussées souples est employée la méthode CBR, basée sur le poinçonnement du sol-support et la transmission des charges dans un espace semi-infini selon Boussinesq. Sur chaussées rigides sont utilisées les équations de Westergaard pour une dalle béton sur une fondation Winkler.

L'ACN est exprimé comme étant égal à 2 fois la charge admissible en tonnes sur une roue simple équivalente (RSE) gonflée à 1,25 MPa, appliquée 10 000 fois. La détermination de l'ACN d'un avion consiste à calculer cette roue simple équivalente produisant les mêmes effets que l'atterrisseur principal de l'avion en question tel que détaillé en figure 1.

L'ACN d'un avion varie selon le type de structure (souple ou rigide) et la catégorie du support. L'ACN est également dépendant de la pression des pneumatiques. Toutefois, les ACN sont généralement fournis sans limitation de pression.

Par la suite, l'ACN est également une fonction linéaire de la masse P_t de l'avion, selon la formule suivante:

$$ACN = ACN_{min} + (ACN_{max} - ACN_{min}) \cdot \frac{P_t - m}{M - m}$$

Avec:

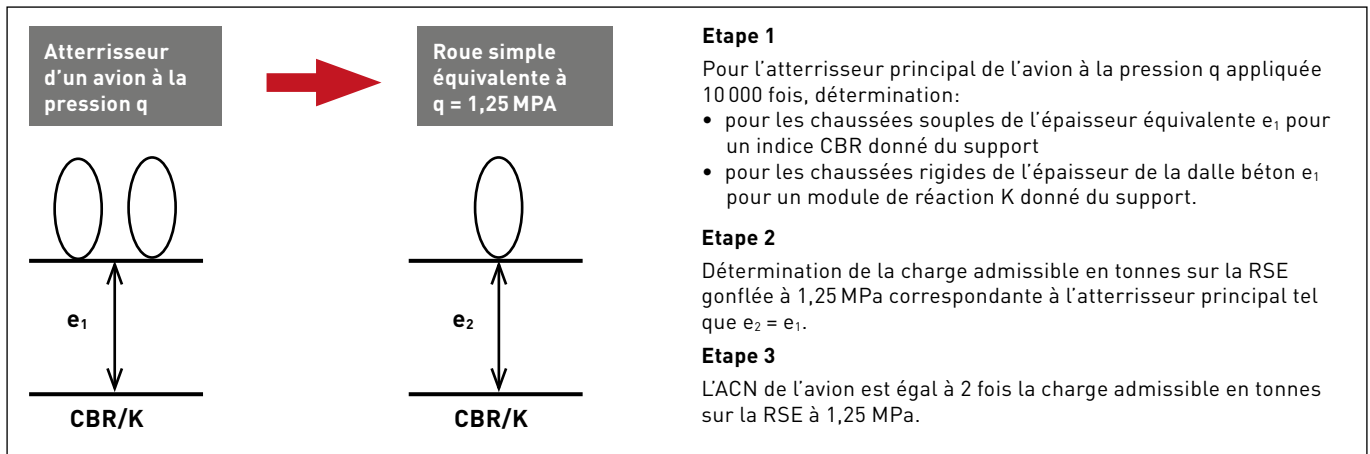
P_t : Masse réelle de l'avion

M : Masse de l'avion à charge maximale

m : masse de l'avion à charge minimale

ACN_{min} : ACN à la charge minimale de l'avion

ACN_{max} : ACN à la charge maximale de l'avion



1 | Processus de calcul de l'ACN d'un aéronef. 1 | ACN-Rechenverfahren für ein Flugzeug.

Exemple de détermination d'un ACN

A320-200 JUM	Classes de sol							
	Chaussées souples				Chaussées rigides			
Masse de calcul (kg)	A	B	C	D	A	B	C	D
M = 77 400	41	42	47	53	46	49	51	53
m = 40 529	20	20	21	24	22	23	24	25

2 | Exemple de valeurs ACN pour l'A320-200 JUM [Source STAC – Base de données Winficav] sans limitation de pression des pneumatiques avec les indices ACN_{min} et ACN_{max} pour les différentes catégories du support.

2 | Beispiel am A320-200 JUM [Quelle STAC – Winficav-Datei] von ACN-Werten ohne Reifendruckbegrenzung, mit den ACN_{min} - und ACN_{max} -Richtzahlen nach verschiedenen Bahnbeschaffenheitsklassen.

Détermination du PCN

L'annexe 14 [1] de l'OACI impose aux gestionnaires d'aérodromes de déclarer la capacité portante des chaussées aéronautiques en termes d'indices PCN, sans cependant soumettre une méthode pour leur détermination.

L'indice PCN est un nombre sans unités, affecté d'un code de 4 lettres apportant les renseignements suivants:

Détermination code PCN

Type de chaussée	Catégorie du support			Pression pneumatique	Méthode d'évaluation
	Code	CBR (chaussée souple)	K (chaussée rigide)		
[-]	[-]	[%]	[MN/m ²]	[MPa]	[-]
R = rigide	A: élevé	> 13	> 120	W: pas de limitation X: ≤ 1.5 Y: ≤ 1.0 Z: ≤ 0.5	U: Expérience
F = flexible	B: moyenne	8 .. 13	60 ... 120		
	C: bas	4..8	25 60		
	D: très bas	< 4	< 25		T: Technique

Pragmatische Annäherungsweise nach der ACN/PCN-Methode

Die ACN/PCN-Methode ist ein durch ICAO (International Civil Aviation Organization) zur Norm erhobenes und bei zivilen wie militärischen Flugplätzen als Betriebswerkzeug für Flughafenbahnen angenommenes System. Die ACN-Richtzahl bezeichnet die Beanspruchung durch jeden Flugzeugtyp und die PCN-Richtzahl die Tragfähigkeit der beanspruchten Bahnstrukturen: ein Flugzeug ist ohne Einschränkung auf einer Flugha-

fenbahn erlaubt, wenn $ACN < PCN$. Wo ACN-Richtzahlen nach einem Normverfahren von ICAO berechnet werden, bleibt die PCN-Bestimmungsmethode der freien Wahl der Betreiber überlassen. Zahlreiche PCN-Berechnungsmethoden bestehen nebeneinander und bilden einen regelmässigen Diskussionsgegenstand zwischen den ICAO-Mitgliedsländern.

Si la capacité portante d'une chaussée souple reposant sur un support de classe moyenne a été déterminée à 62 par une évaluation technique et sans limitation de pression des pneumatiques, alors l'information reportée doit être: PCN 62/F/B/W/T. Comme décrit dans le tableau de la page 23, il existe deux méthodes d'évaluation pour définir le PCN: l'une consiste à une évaluation dite par expérience, l'autre est une évaluation technique utilisant divers procédés détaillés plus loin. L'une est provisoire, l'autre est définitive.

Détermination du PCN par expérience: code U

Cette méthode de détermination du PCN est nommée «par expérience» puisqu'elle prend en compte l'influence du trafic passé sur la chaussée: le PCN est déclaré en fonction de l'ACN de l'avion le plus agressif (appelé «avion critique») fréquentant régulièrement l'aérodrome, sous réserve d'un comportement et d'un niveau de service acceptables. Il convient de retenir la valeur ACN de cet avion comme valeur PCN de la chaussée.

L'usage de cette méthode très simple ne peut être toléré que pour des aérodromes à très faible trafic et dans le cas où la fréquence prévisionnelle de l'avion critique est semblable à la fréquence connue au moment de l'évaluation.

Ne tenant pas compte des caractéristiques de portance réelle de la chaussée, le danger de cette méthode est de conduire à une surévaluation de l'indice PCN et donc à accueillir un trafic pour lequel la chaussée serait sous-dimensionnée. Une vigilance accrue des caractéristiques de la chaussée (fissuration, déformation) doit être observée afin de détecter une augmentation des dégradations, qui contraindrait dans ce cas à réviser le PCN à la baisse ou à opter pour la détermination d'un PCN «Technique». En tout état de cause l'utilisation du code U doit être limitée dans le temps (2 à 3 ans maximum).

Détermination du PCN Technique: code T

Une évaluation technique (code T) des indices PCN nécessite en premier lieu la récolte des données d'entrée:

	Données d'entrée requises	Comment les obtenir?
1	Connaître les caractéristiques des couches de la structure en place (charges admissibles, épaisseurs)	Essai de portance et connaissance des matériaux
2	Définition des charges auxquelles la structure sera soumise	Définition du trafic Définition de la dispersion latérale

L'absence d'une des données d'entrée (essai de portance, connaissances des matériaux et trafic) ne permet pas de procéder à un calcul fiable de l'indice PCN.

Certaines méthodes sont fondées uniquement sur des mesures de déflexion, donnant au mieux une indication sur la capacité portante de la chaussée. Si des relations ont en effet été éta-

blies entre le comportement de la chaussée d'une part et la déflexion mesurée, elles restent très approximatives [2]. De nombreux facteurs externes comme des connaissances sur la structure des chaussées en place ne sont pas pris en considération. Cette approche n'est donc pas décrite dans cet article.



3 | Appareil de mesure de portance HWD.
3 | Tragfähigkeitsmessgerät HWD.

Plusieurs appareils de mesure de portance sont d'usage et présentent des caractéristiques diverses en termes de technologies, performances, cadences des relevés...

Cependant, le Heavy Weight Deflectometer (HWD) s'impose au niveau international comme étant l'appareil le mieux adapté à l'évaluation des chaussées aéronautiques, en raison principalement de sa capacité à simuler à grand rendement le passage des roues d'avions, jusqu'aux gros porteurs (charge de mesure comprise entre 30 et 320 kN). Le HWD est équipé d'une masse tombante engendrant une déflexion en surface de la chaussée, enregistrée par 7 à 15 géophones au niveau et aux abords de la charge appliquée. Le HWD a comme autres avantages d'évaluer les chaussées rigides, prépondérantes notamment sur les aires de stationnement aéroportuaires, en mesurant à la fois le bassin de déflexion et le transfert de charge entre dalles en béton qui donne une indication sur le comportement des joints.

Les données d'épaisseur de structure et type de matériaux sont obtenues généralement par carottages, sondages et/ou un appareil de relevés d'épaisseur à grand rendement et en continu tel que le géoradar. Par ailleurs, la qualité du sol support doit être évaluée et exprimée en indice CBR pour les chaussées souples et en module de réaction K pour les chaussées rigides. Il existe différentes méthodes pour définir ces valeurs: essai CBR, essais de plaque, pénétromètre dynamique léger, calcul inverse (d'après des mesures de déflexions).

L'indice PCN d'une chaussée est indissociable d'un trafic appelé «sans restriction», censé simuler un trafic admissible pour la période d'utilisation de la chaussée. Il est également lié à la dispersion latérale des avions empruntant les chaussées aéroportuaires. Le trafic peut être pris en considération selon plusieurs approches:

- La première approche est d'opter pour un trafic sans restriction invariable, généralement de 10 000 passages d'avions car correspondant au nombre de passages utilisé pour déter-

miner l'ACN ainsi qu'au nombre de passages habituellement retenu pour le dimensionnement d'une chaussée aéronautique pour une durée de vie de 10 ans: 10 mouvements par jour, soit 36 500 mouvements sur 10 ans, divisé par un coefficient de dispersion latérale forfaitaire de 3,65.

- La deuxième est de calculer un nombre de passages équivalent à la flotte de trafic prévisionnelle exprimée en type d'avion et nombre de mouvements. Ces données sont fournies par le gestionnaire de la plateforme et sont généralement des projections du trafic actuel sur les 10 ou 20 prochaines années. Même si ces données sont prévisionnelles et contiennent par définition un degré d'incertitude, cette méthode d'adoption du trafic sans restriction tend à devenir la pratique courante, chaque fois que les données de trafic sont disponibles.

Calcul du PCN

Les méthodes de calcul des indices PCN ont été classifiées en trois catégories: 1. Empirique, 2. Mécanique-empirique et 3. Mécanique-empirique dite «étendue». Toutes ces méthodes se basent principalement ou partiellement sur les essais in situ. Pour rappel la détermination de l'ACN est également empirique. La deuxième méthode introduit une approche analytique pour la caractérisation des matériaux, tout en restant proche des méthodes empiriques. La troisième méthode a pour but de simuler au plus près les conditions réelles, tant du point de vue de la modélisation de chaussée que de la nature des sollicitations. Un exemple d'application pour chacune de ces méthodes est détaillé dans la suite cet article. Pour chacun de ceux-ci, la prise en compte du trafic sans restriction préconisée est décrite mais ne constitue pas une généralité pour la méthode à laquelle se rattache l'exemple.

Les premières méthodes développées pour le calcul de PCN sont des méthodes empiriques, à savoir les méthodes CBR et Westergaard, utilisées également pour le calcul de l'ACN. L'évaluation doit conduire pour les chaussées souples à déterminer d'une part la portance du support en termes de CBR et d'autre part l'épaisseur équivalente de la structure. Elle consiste pour les chaussées rigides à déterminer le module de réaction K et l'épaisseur de la dalle béton, associée à sa résistance.

L'approche française constitue un exemple de méthode empirique. Sur chaussées souples, elle consiste à déterminer l'épaisseur équivalente en attribuant à chaque couche de chaussées des coefficients d'équivalence théoriques, issues d'expérimentations sur les matériaux.

Matériaux	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux à module élevé	2,5
Béton bitumineux aéronautique standard	2
Enrobé à module élevé	1,9
Grave bitume standard	1,5
Grave émulsion	1,2
Grave concassée bien graduée	1
Grave roulée	0,75
Sable	0,5

L'épaisseur équivalente de la chaussée est égale à la somme des épaisseurs de chaque couche, pondérée par les coefficients d'équivalence. Ces coefficients d'équivalence sont applicables tels quels ou sont ajustés au moyen des résultats de mesures de déflexions, par dimensionnement inverse [4].

Une fois ces données recueillies, elle prévoit 2 options: un calcul forfaitaire et un calcul optimisé du PCN [5].

- Le calcul forfaitaire consiste à calculer la charge admissible sur une roue simple isolée (RSI [t]) gonflée à 0,6 MPa et appliquée 10 000 fois. La conversion en PCN s'effectue en multipliant cette RSI en tonnes par un coefficient fonction de la valeur CBR du sol support [5].
- Le calcul optimisé tient compte des effets de chaque type d'avion sur la structure des chaussées. Il consiste en effet à déterminer la charge admissible appliquée 10 000 fois de chaque avion du trafic prévisionnel, converti en ACN. Le PCN est égal à la somme des ACN des avions à leur charge admissible, pondérés par la part qu'ils prennent dans le trafic.

En formule:

$$PCN = \frac{ACN_1 \cdot t_1 + ACN_2 \cdot t_2 + ACN_i \cdot t_i}{\sum_i t_i}$$

Avec:
t: nombre équivalent de mouvements

Le calcul optimisé est recommandé en France, dès lors que les prévisions de trafic sont connues.

L'approche française pour la détermination du PCN a pour avantage de s'aligner avec les procédures de calcul empiriques de l'ACN et demeure simple d'application. Cependant, elle présente ses propres limites, à savoir que:

- les coefficients d'équivalence théoriques ne tiennent pas compte de l'état réel des matériaux. La fiabilité de la première donnée d'entrée est donc insuffisante.
- la déformation du sol est le seul critère considéré pour définir la fin de vie de la structure:
 - la précision de la détermination du CBR peut avoir de l'influence sur la valeur PCN calculée.
 - les déformations et contraintes dans les autres couches ne sont pas prises en considération.
- A noter que ce critère limite unique est cependant en accord avec les procédures normalisées pour le calcul de l'ACN.
- les nouvelles configurations de trains d'atterrissages ont contraint l'OACI à adapter les calculs d'ACN par l'introduction des coefficients alpha [10].
- la dispersion latérale des avions est forfaitaire et invariable.

Une partie «empirique» de l'approche française, à savoir la caractérisation des matériaux, a été substituée dans le logiciel ELMOD 5 par une approche analytique [8].

Après avoir introduit les épaisseurs dans ce logiciel, les modules élastiques de chaque couche sont déterminés par calcul inverse des déflexions enregistrées par le HWD (Heavy Weight Deflectometer) en se basant sur le principe d'épaisseur équivalente d'Ode-mark-Boussinesq (MET: Method of Equivalent Thicknesses). Connaissant la contrainte admissible au niveau du sol et le nombre de sollicitations admises, la charge admissible sur

une roue simple équivalente à 1,25 MPa est calculée par itération. L'indice PCN correspond à 2 fois cette charge admissible en tonnes.

En dernier lieu, le module élastique du sol est converti par corrélation en valeur CBR afin de pouvoir publier la catégorie du support (A, B, C ou D, cf. Ch. 4 Détermination du PCN). On retrouve donc l'imprécision CBR signalée précédemment.

L'approche du logiciel

L'approche du logiciel ELMOD 5 a pour avantage d'introduire des caractéristiques réelles des matériaux en place (première donnée d'entrée), tout en respectant le principe de roue simple équivalente propre à l'ACN. Cependant, conformément aux procédures normalisées de calcul de l'ACN, elle ne prend en compte que la déformation du support en écartant les contraintes et déformations admissibles dans les autres couches de la structure. Le nombre de passages du trafic sans restriction dans ELMOD 5 est renseigné par l'utilisateur du logiciel et ne se restreint donc pas aux 10 000 passages retenus dans le calcul de l'ACN.

Comme évoqué précédemment, les méthodes empiriques montrent leurs limites pour s'adapter à l'évolution des matériaux et aux nouveaux types de sollicitations. Dans ce sens, de nouvelles méthodes ont vu le jour, visant à une évaluation plus réaliste du comportement des chaussées sous charges répétées.

D'une part, la modélisation du trafic devient plus rationnelle puisque la géométrie des atterrisseurs du trafic prévisionnel ainsi que la dispersion latérale des avions est prise en compte pour calculer le dommage cumulé en tous points du profil transversal de la chaussée.

D'autre part, la modélisation selon Burmister ou MET est utilisée pour calculer les contraintes et déformations au niveau de chaque couche de la structure de chaussée, et ainsi définir des critères limites admissibles pour chacune d'elles:

- des critères limites de fissuration de fatigue, correspondant aux déformations maximales en traction à la base des matériaux traités,
- des critères limites d'orniérage, correspondant aux déformations verticales admissibles sur les couches non traitées (fondation, sol).

Entre autres, les logiciels de calculs PAVERS [6] et PCASE - Module «Layer Elastic Analysis» [7], proposent le calcul des indices PCN selon cette méthode, chacun de ces logiciels ayant ses spécificités dans le choix notamment des critères limites admissibles. La version ELMOD 6 [8] permet également d'inclure la modélisation du trafic mais est paramétrée initialement avec le seul critère limite de déformation du sol. Ces logiciels utilisent comme trafic sans restriction les nombres de mouvements prévisionnels par type d'avion en le ramenant - via des équivalences - à un nombre de passages de l'avion critique (avion dont l'ACN est le plus élevé). Le PCN est ensuite exprimé comme étant égal à l'ACN de l'avion critique à sa masse admissible, pour le nombre de passages donné.

L'approche de ces logiciels a pour avantage de déterminer la

portance, exprimée en PCN, en se basant sur les caractéristiques de toutes les couches de la structure en place. Néanmoins, les critères limites admissibles étendus à toutes les couches font que la méthode s'écarte du critère unique sur la déformation du support propre à l'ACN.

Type de méthode	Empirique		Analytique-empirique	Analytique-empirique «étendue»
Exemple d'application	Approche française «forfaitaire»	Approche française «optimisée»	Logiciel Elmod (Danemark) (Pays-Bas)	Logiciel PAVERS
Qualification des matériaux	Coefficient d'équivalence		Modules élastiques	
Préconisation pour la qualification du sol	Essais CBR Essais de plaque		Module élastique par calcul inverse	
Critère de rupture	Déformation du sol support			Critère sur les couches couche critique
Détermination du PCN	RSI multiplié par un coefficient fonction du sol support	Somme pondérée des ACN des avions à leur charge admissible	RSE*2	ACN de l'avion critique à sa charge admissible

4 | Comparaison des méthodes utilisées pour caractériser les matériaux (chaussées souples).

4 | Vergleich der zur Kennzeichnung der Materialien (bei flexibler Fahrbahnbefestigung) benützten Methoden.

Choix de déclaration du PCN

Le choix de déclaration du PCN est du ressort du gestionnaire de l'aérodrome, qui pour cela peut introduire des facteurs de risque, en adéquation avec sa politique de gestion des infrastructures et ses objectifs commerciaux (développement du trafic, accueil de nouveaux avions...).

Le PCN est défini comme étant l'ACN de l'avion qui peut utiliser la chaussée pour le nombre de passages prévus dans le trafic sans restriction. Ainsi, le choix du trafic a une influence importante sur le calcul de l'indice PCN: plus le nombre de passages prévu dans le trafic sans restriction est élevé, plus l'indice PCN est faible et inversement.

Plusieurs hypothèses de trafic peuvent par exemple être étudiées de telle sorte que l'exploitant choisit d'opter pour une gestion à risque (hypothèse de trafic basse → PCN élevé → fort risque d'apparition de dégradations) ou prudente (hypothèse de trafic haute → PCN faible → faible risque d'apparition de dégradations).

Par ailleurs, sachant qu'une valeur PCN peut être calculée par point de mesure de portance, une exploitation statistique est réalisable et permet d'affecter à la valeur PCN déclarée un taux de risque, correspondant au pourcentage de la surface de la chaussée sous-dimensionnée pour le trafic prévisionnel. Un taux de risque de 20 % est habituellement attribué à une gestion normale alors qu'un taux de 50 % correspond à une gestion à risque, soit la probabilité que

la moitié de la surface de la chaussée connaisse une progression des dégradations (structurelles) importante avant d'avoir atteint la fin de sa durée d'exploitation.

Perspectives de la méthode ACN/PCN

Même si les méthodes empiriques sont encore largement utilisées, les méthodes mécaniques-empiriques progressent du fait de leur capacité à intégrer par le calcul des variations de critères de trafic et de types de matériaux, en aboutissant à une évaluation plus rationnelle des charges admissibles et donc du PCN des chaussées. Les Etats membres de l'OACI en ont pris conscience et un travail est en cours pour le passage du système ACN/PCN aux méthodes analytiques-empiriques. Le groupe de travail a été constitué afin de proposer des modifications de calcul de l'ACN en considérant les réponses de structures multicouches linéaires élastiques aux sollicitations. Cette approche mécanique présenterait notamment l'avantage de considérer les effets des atterrisseurs multi-roues. Cependant, la déformation du sol resterait l'unique critère de rupture pour définir la charge admissible. Cette évolution entraînerait l'abandon des méthodes CBR-Westergaard et une réévaluation des ACN des avions selon le nouveau calcul normalisé [9]. Par la même occasion, une nouvelle méthode (normalisée?) du calcul du PCN, se rapprochant des méthodes mécaniques-empiriques décrites, pourrait être imposée par l'OACI pour prendre en compte ces modifications de calcul de l'ACN.

Ces changements devront alors être vus comme une amélioration nécessaire pour une gestion plus efficace des chaussées aéronautiques. Dans l'attente de cette uniformisation, souhaitable pour faciliter la compréhension du gestionnaire devant publier ses indices PCN, Infralab SA a opté pour le calcul PCN au moyen du logiciel ELMOD, soit pour une méthode mécanique-empirique transitoire dans le contexte actuel. En effet, cette méthode respecte au mieux le système ACN/PCN décrit par l'OACI tout en intégrant des critères mécaniques pour la caractérisation des matériaux.

Références bibliographiques

- [1] OACI, Annexe 14 – Aéroports, Volume I – Conception et exploitation technique des aéroports, 5^e édition, juillet 2009.
- [2] OACI, Manuel de conception des aéroports, 3^e partie, Chaussées, 2^e édition – 1983.
- [3] Service Technique de l'Aviation Civile – ITAC – Chap. 5, conception des chaussées aéronautiques.
- [4] STAC – Evaluation de la portance
<http://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/chaussee/portance.php>
- [5] Service Technique de l'Aviation Civile – ITAC – Chap. 8, Gestion des chaussées aéronautiques – Méthode ACN/PCN
- [6] PAVERS - <http://www.pavers.nl/>
- [7] Pavement-Transportation Computer Assisted Structural Engineering (PCASE) Program
<http://erdc.usace.army.mil/gsl/pavement-transportation-computer-assisted-structural-engineering-program/>
- [8] Dynatest, Elmod 6 – <http://www.dynatest.com/elmod.php>
- [9] Airbus Engineering – Airport pavements International Conference in High Tatras, Slovak Republic [21/05/2012] – ICAO-UPDATE, ACN/PCN
- [10] Modification des ACN de certains aéronefs suite à la décision de l'OACI du 16 octobre 2007, STAC, juin 2008, <http://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/publications/gnt-chaus.php>

i - m - p bauwissen

IMP- Handbuch Strassenbau 2012.

8. überarbeitete Auflage.
**Der bewährte Begleiter
im Normen-Dschungel.**

60 Seiten Fachwissen
über Baustoffe, Strassenbau
und Brückenabdichtungen.

Ein Nachschlagewerk
im Taschenformat
auf wasserfestem Papier.



Unkostenbeitrag: CHF 20.–

Zu beziehen bei:
IMP Bautest AG
Hauptstrasse 591
4625 Oberbuchsitzen
Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90
info@impbautest.ch
www.impbautest.ch