



# GUIDE RELATIF À LA MISE EN ŒUVRE DE LA MÉTHODE ACR-PCR

Approuvé par le Directeur Général de l'ANAC et publié sous son autorité

DA-AGA-R2-6-GUI-E-016

Janvier 2025

Visa DJ-JD :



## **DECISION** n°021/2025/ANAC/DG/DA

PORTANT ADOPTION D'UN GUIDE SUR LA MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE ACR-PCR POUR LA  
COMMUNICATION DE LA RESISTANCE DE LA CHAUSSE

### **Le Directeur Général ;**

Vu la Charte de la transition ;

Vu la Loi n°003/91 du 26 mars 1991 portant constitution de la République Gabonaise ;

Vu la Convention relative à l'Aviation Civile Internationale, signée à Chicago, le 07 décembre 1944, ratifiée par la République Gabonaise, le 18 janvier 1962 ;

Vu le Traité de la Communauté Economique et Monétaire de l'Afrique Centrale (CEMAC), révisé à Yaoundé, au Cameroun, le 25 juin 2008, ensemble les actes additionnels subséquents ;

Vu le Code de l'Aviation Civile des Etats membres de la CEMAC, adopté par le règlement n°05/23-UEAC-066-CM-40 du 18 juin 2024 ;

Vu la Loi n°023/2016 du 29 décembre 2016, portant Code de l'Aviation civile ;

Vu la Loi n°005/2008 du 11 juillet 2008 portant création, organisations et fonctionnement de l'Agence Nationale de l'Aviation civile (ANAC), ensemble les textes notifiatifs subséquents ;

Vu les Statuts de l'Agence Nationale de l'aviation civile, adoptés par le Décret n°0452/PR/MPITPHTAT DU 19 avril 2013 ;

Vu l'Arrêté n°000007/MTL/ANAC du 09 juillet 2021, portant adoption du nouveau Règlement Aéronautique Gabonais, en abrégé RAG ;

Vu le Règlement Aéronautique Gabonais relatif aux généralités, en agrégé RAG 0 ;

Vu le Règlement Aéronautique Gabonais relatif à la conception et l'exploitation technique des aérodromes en agrégé RAG 8.1 ;

Vu le Manuel des procédures générales, adopté le 28 août 2018 ;

Vu les nécessités du service ;

## **DÉCIDE**

### **Article 1<sup>er</sup> : Objet**

La présente Décision, prise en application des dispositions de l'arrêté n°000007/MTL/ANAC du 9 juin 2021 susvisé, porte adoption du guide sur la mise en œuvre de la méthode ACR-PCR pour la communication de la résistance de la chaussée.

## **Article 2 : Adoption**

Est adopté, le guide sur la méthode ACR-PCR pour la communication de la résistance de la chaussée.

## **Article 3 : champ d'application**

Le guide sur la méthode ACR-PCR a pour objet de fournir à l'industrie, des orientations facilitant la mise en œuvre de la méthode d'évaluation et de compte rendu de la force portante des chaussées aéronautiques conformément à la réglementation en vigueur.

## **Article 4 : Entrée en vigueur**

La présente Décision, qui prend effet à compter de sa date de signature, sera enregistrée et communiquée partout où besoin sera.

Fait à Libreville, le 14 février 2025



**Général de Division Eric Tristan Franck MOUSSAVOU**

### Copie :

- DA ;
- GSEZ ;
- Archives.



### VALIDATION DU DOCUMENT

	Nom	Fonction/ structure	Validation	
			Date	Signature
Rédaction	Joe Mannix LEKIBI	DA-AG	24/01/2025	
Vérification	Grace Heidye Armelle LENDOYE SOUNGOU	Cadre AGA	31/01/2025	
	Armandine OSSALOYIKA ADOGA	Cadre AGA	31/01/2025	
	Larissa Pamela DIANGA NZENGUE	DA-AD	07/02/2025	
	Arnaud Clovis ALUMBA	DJ-JD	12.02.25	
Qualité	Eric Thibault MOUSSOUAMI MOUSSIROU	DG-QM	13.02.2025	
Validation	Samuel SAMBA	DG-DA	13.02.2025	
Approbation	Eric Tristan Franck MOUSSAVOU	DG-DD	14.02.2025	



## HISTORIQUE DES AMENDEMENTS

Edition	Date	Nature des amendements
01	Décembre 2024	Création du document
<b>DIFFUSION</b>		
Niveau de diffusion : <input checked="" type="checkbox"/> Interne <input checked="" type="checkbox"/> Externe <input type="checkbox"/> Confidentiel		
❖	Personne en charge du guide :	<b>DA-AD</b>
❖	Responsable des vérifications et d'approbation des amendements et des modifications	<b>Responsable Qualité</b>



## LISTE DES REFERENCES

Référence	Source	Titre	N° Révision	Année de Révision
<b>RAG 8.1</b>	ANAC	Règlement aéronautique gabonais relatif à la conception et à l'exploitation technique des aérodromes.	8 <sup>ème</sup> amendement	2022
<b>RAG 8.1.1</b>	ANAC	PANS - Aérodromes	1 <sup>ère</sup> édition	2021
<b>Doc 9137</b>	OACI	Manuel des services d'aéroport – Partie 3 - Chaussées.	3 <sup>ème</sup> édition	2022



## TABLE DES MATIERES

Validation du document.....	2
Historique des amendements .....	3
Liste des références .....	4
Table des matières .....	5
Liste des figures et tableaux.....	6
Abréviations et acronymes .....	7
Chapitre 1. GÉNÉRALITÉS .....	8
Chapitre 2. Principe de la méthode ACR - PCR.....	11
Chapitre 3. DÉTERMINATION DES ACR DES AÉRONEFS .....	14
3.1. Détermination des ACR.....	14
3.1 Exemples détaillés.....	19
Chapitre 4. ÉVALUATION DES PCR DES CHAUSSÉES AÉRONAUTIQUES .....	25
4.1. CONCEPT DE FACTEUR D'ENDOMMAGEMENT CUMULE (CDF).....	25
4.2. ÉVALUATION TECHNIQUE DE LA PCR .....	26
4.3. ÉVALUATION BASEE SUR L'EXPERIENCE DES AERONEFS UTILISATEURS.....	37
Chapitre 5. EXPLOITATION EN SURCHARGE.....	41
5.1. DEFINITION .....	41
5.2. CRITERES POUR L'EXPLOITATION D'UNE CHAUSSEE EN SURCHARGE .....	41
5.3. ANALYSE TECHNIQUE DE LA SURCHARGE .....	41
5.4. CONSEILS SUR LES OPERATIONS DE SURCHARGE .....	42
5.5. EXEMPLES D'ETUDES DE CAS .....	42

## LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

### Liste des figures

Figure 1. Détermination de la PCR .....	12
Figure 2. Calcul de l'ACR.....	14
Figure 3. Données d'entrée pour l'aéronef d'évaluation B747-400 dans le programme LEAF dans l'exemple 1 de l'ACR .....	20
Figure 4. Données pour la charge calculée sur roue simple dans le programme LEAF dans l'exemple 1 de l'ACR (les contraintes sont en MPa) .....	21
Figure 5 : Illustration de la prise en compte des différents types d'aéronefs pour l'évaluation du CDF.....	26
Figure 6. Représentation schématique de la procédure d'évaluation technique de la PCR d'une chaussée ( <b><math>D_{max}</math></b> représente le <b><math>CDF_{max}</math></b> ) .....	28
Figure 7. Logigramme d'évaluation technique de la PCR .....	29

### Liste des tableaux

Tableau 1. Structure de chaussée de référence chaussée rigide .....	16
Tableau 2. Structure de référence pour l'ACR souple (aéronef équipé de deux roues ou moins sur toutes les jambes du train principal).....	18
Tableau 3. Structure de référence pour l'ACR souple (aéronef équipé de plus de deux roues sur toute jambe du train principal).....	18
Tableau 4. Calcul ACR-Exemple 2 – Structure élastique en couche pour la catégorie de terrain de fondation C. ....	22
Tableau 5. Calcule ACR – Exemple 3. Structure pour la catégorie de terrain de fondation B .....	23





## ABREVIATIONS ET ACRONYMES

ACN	:	Numéro de classification d'aéronef
ACR	:	Cote de classification d'aéronef
AIP	:	Publication d'information aéronautique
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
CBR	:	Indice portant californien
CDF	:	Facteur d'endommagement cumulé
CG cm CND	:	Centre de gravité Centimètre Contrôle non destructif
D	:	Atterrisseur à roues jumelées
DSWL	:	Charge calculée sur roue simple
FAA	:	Federal Aviation Administration
FOD	:	Objet intrus
FWD	:	Défectomètre à masse tombante
HFWD	:	Défectomètre lourd à masse tombante

## CHAPITRE 1. GÉNÉRALITÉS

### 1.1. OBJET

1.1.1 Le présent guide fournit des orientations sur les méthodes d'évaluation et de compte rendu de la force portante des chaussées conformément aux spécifications du RAG 8.1 – Aérodomes.

1.1.2 Il donne aussi des indications sur la réglementation de l'exploitation des chaussées en surcharge, conformément à la méthode ACR-PCR.

### 1.2. DISPOSITIONS

Le présent guide remplace les dispositions précédentes relatives à l'ACN-PCN dans le cadre réglementaire national.

### 1.3. LOGICIELS OU PROGRAMMES DE CALCUL

Dans le cadre de la détermination de l'ACR on utilisera le programme ICAO-ACR (cf. Chapitre 3 de ce guide)

### 1.4. PROBLEMATIQUE

1.4.1 Le RAG 8.1 - Aérodomes exige que la force portante d'une chaussée soit déterminée. La méthode ACN-PCN pour signaler la résistance des chaussées des aéronefs d'une masse supérieure à 5 700 kg (5.7 t) a été utilisée à cette fin depuis le milieu des années 1980.

1.4.2 Cette méthode n'est pas une méthode de conception ou d'analyse de la chaussée, mais un moyen simple de communiquer l'effet d'un aéronef pouvant être utilisé sans restriction sur une chaussée donnée. Cependant, la méthode ACN-PCN a été développée sur la base des procédures de conception de chaussée utilisées dans les années 1980, qui sont actuellement désuètes et ne sont plus utilisées pour la conception et/ou l'évaluation des chaussées. Par conséquent, la corrélation avec les méthodologies modernes de conception de chaussées n'est pas assurée, affectant de ce fait la précision des données déterminées en utilisant la méthode ACN-PCN.

1.4.3 Les procédures modernes de conception et d'évaluation des chaussées utilisent des méthodes rationnelles basées sur l'analyse linéaire des couches élastiques (LEA) pour la conception ou l'évaluation des chaussées.

1.4.4 L'élaboration d'une nouvelle méthodologie de communication de la force portante des chaussées s'est de ce fait avérée nécessaire pour s'aligner sur les méthodes modernes de conception et d'évaluation de chaussée et, par conséquent, remédier aux limitations de la méthode ACN-PCN.

### 1.5. PRINCIPAUX CHANGEMENTS

1.5.1 La simple comparaison de deux numéros (ACR & PCR) reste au cœur du principe du système : lorsque l'ACR d'un aéronef est inférieur au PCR de la chaussée publiée ( $ACR \leq PCR$ )  $\Leftrightarrow$  opérations sans restriction de l'aéronef sur la chaussée considérée.

1.5.2 Par contre, la méthode de détermination des deux composantes ACR et PCR va différer grâce à l'introduction d'une méthode mécaniste-empirique s'appuyant sur l'analyse linéaire élastique.

1.5.3 Ce modèle de calcul permet de quantifier la contribution de chaque aéronef composant le trafic pour une chaussée donnée, ainsi que les dommages causés par l'ensemble des aéronefs constituant ce trafic par le biais du facteur de dommages cumulés (CDF).

### 1.6. AVANTAGES DE LA METHODE ACR-PCR

1.6.1 La méthode ACR-PCR permet d'adresser les limitations de la méthode ACN-PCN pour communiquer la résistance des chaussées aéronautiques.

1.6.2 Pour les exploitants d'aérodrome, la méthode va permettre :

- l'optimisation de l'utilisation de leurs chaussées ; et
- l'amélioration de la prédictibilité de la durée de vie des chaussées.

1.6.3 Pour les compagnies aériennes et l'ensemble de la communauté du transport aérien, la méthode va permettre d'optimiser les poids et les fréquences d'exploitation des aéronefs sans excès de conservatisme.

1.6.4 Pour les constructeurs d'aéronefs, la méthode va permettre d'optimiser les caractéristiques géométriques des aéronefs afin de minimiser leur impact sur les chaussées d'aérodromes.

## 1.7. DEFINITION

**Asphalte.** Liant très visqueux se présentant sous une forme liquide ou semi-solide du pétrole, également appelé bitume. Il peut se trouver dans des dépôts naturels ou être un produit raffiné.

**Béton au ciment Portland (PCC).** Mélange de granulats minéraux gradués, de ciment Portland et d'eau.

**Béton d'asphalte.** Mélange de granulats minéraux gradués et de mastic d'asphalte ou d'asphalte, placé à chaud ou à froid et cylindré, également appelé béton asphaltique ou béton bitumineux.

**Chaussée mixte.** Chaussée se composant de couches souples et rigides, avec ou sans couches granulaires de séparation.

**Chaussée rigide.** Structure de chaussée qui distribue les charges dans le terrain de fondation et dont la couche de roulement est composée d'une dalle de béton Portland à résistance à la flexion relativement élevée, également appelée chaussée en béton.

**Chaussée souple.** Chaussée restant en contact intime avec le terrain de fondation, répartissant les charges sur ce terrain, et dont la stabilité est fonction de l'interpénétration du granulats pierreux, du frottement des particules et de la cohésion.

**Coefficient de Poisson.** Rapport entre les variations linéaires transversale et longitudinale d'un solide sous l'action d'une contrainte.

**Cote de classification d'aéronef (ACR).** Nombre qui exprime l'effet relatif d'un aéronef sur une chaussée pour une résistance type spécifiée du terrain de fondation.

**Cote de classification de chaussée (PCR).** Nombre qui exprime la force portante d'une chaussée pour une exploitation sans restriction.

**Couche de base (ou base).** La ou les couches de matériau spécifié ou sélectionné, d'épaisseur calculée, placée(s) sur une couche ou sur terrain de fondation pour supporter une couche de roulement.

**Couche de fondation.** La ou les couches de matériau spécifié ou sélectionné, d'épaisseur calculée, placée(s) sur un terrain de fondation pour supporter une couche de base.

**Couche de roulement.** Couche supérieure dans la structure d'une chaussée, également appelée couche d'usure.

**Déviations latérales.** La trajectoire d'un aéronef donné s'écartera de la trajectoire centrée sur l'axe longitudinal de la chaussée en question selon un modèle statistiquement prévisible. Ce phénomène est appelé « déviation latérale ».

**Force portante.** Mesure de l'aptitude d'une chaussée à supporter la charge qui s'y exerce, également appelée capacité portante ou résistance d'une chaussée.

**Granulats.** Terme général désignant l'ensemble des matières solides qui, mélangées à des liants, forment une composition pour le revêtement des chaussées.

**Indice portatif californien (CBR).** Indice représentant la force portante d'un sol, et correspondant au rapport entre la charge de pénétration de ce sol et celle d'un matériau standard. Cette méthode est destinée à évaluer la qualité relative des sols de fondation, mais elle s'applique aussi aux matériaux utilisés pour les couches de fondation et pour certaines couches de base.

**Masse totale au décollage.** Masse maximale de l'aéronef sur l'aire de trafic ou au roulage, également appelée poids total.

**Module d'élasticité (E).** Le module d'élasticité d'un matériau est une mesure de sa rigidité. Il est égal à la contrainte qui lui est appliquée rapportée à la déformation élastique qui en résulte.

**Structure de chaussée (ou chaussée).** Combinaison de la couche de fondation, de la couche de base et de la couche de roulement placées sur un terrain de fondation pour supporter la charge exercée par les véhicules et la répartir dans le terrain de fondation.



**Terrain de fondation.** Couche supérieure du sol, naturelle ou artificielle, qui supporte les charges transmises par la chaussée, également appelée forme ou sol de fondation.

## CHAPITRE 2. PRINCIPE DE LA METHODE ACR - PCR

### 2.1. OBJECTIF DE LA METHODE ACR-PCR

2.1.1 La conception et la gestion des chaussées aéronautiques exigent une compréhension des interactions entre les aéronefs et les chaussées. Ces dernières doivent être capables de supporter le poids et les charges dynamiques des aéronefs sans subir de détériorations excessives.

2.1.2 La méthodologie ACR-PCR (cote de classification d'aéronef - cote de classification de chaussée) a été élaborée afin de quantifier et comparer la résistance des chaussées aéronautiques à la charge imposée par les aéronefs en établissant une relation entre le nombre qui exprime la force portante d'une chaussée (PCR) et le nombre qui exprime l'effet relatif d'un aéronef sur une chaussée pour une catégorie type spécifiée du terrain de fondation (ACR). Elle permet ainsi de gérer efficacement les chaussées aéronautiques tout en garantissant la sécurité et la durabilité de celles-ci.

### 2.2. PRINCIPES DE LA METHODE ACR-PCR

2.2.1 L'objectif principal de la méthode ACR-PCR est de permettre la comparaison entre la force portante d'une chaussée, exprimée par le PCR publié, et l'effet relatif des aéronefs qui utilisent cette chaussée, exprimée par leur ACR.

2.2.2 Si l'ACR d'un aéronef est inférieur ou égal au PCR de la chaussée publiée, cela signifie que la chaussée est capable de supporter cet aéronef sans restriction. Dans le cas contraire, il est nécessaire de limiter l'utilisation de cet aéronef sur la chaussée considérée (fréquence d'utilisation, masse maximale décollage).

2.2.3 *La cote de classification de chaussée (PCR)*

2.2.3.1 La cote de classification de chaussée est une valeur numérique représentant la force portante d'une chaussée. Cette valeur est déterminée par plusieurs éléments :

- 1) **Type de chaussée** : Il existe deux principaux types de chaussées dans les aéroports :
  - Chaussée souple : Chaussée restant en contact intime avec le terrain de fondation, répartissant les charges sur ce terrain, et dont la stabilité est fonction de l'interpénétration du granulat pierreux, du frottement des particules et de la cohésion.
  - Chaussée rigide : Structure de chaussée qui distribue les charges dans le terrain de fondation et dont la couche de roulement est composée d'une dalle de béton Portland à résistance à la flexion relativement élevée, également appelée chaussée en béton.
- 2) **Résistance du sol support** : c'est la résistance de la couche supérieure du sol, naturelle ou artificielle, qui supporte les charges transmises par la chaussée, également appelée forme ou sol de fondation. La qualité des matériaux, leur compaction et la profondeur des couches sont déterminants pour le calcul de la PCR.
- 3) **Pression des pneus** : Les pneus sont normalement gonflés à la pression qui correspond à la masse totale maximale de l'aéronef sans poussée du moteur, et cette pression est maintenue quelle que soit la variation qui intervient dans les masses au décollage. Une pression élevée concentre les charges sur une petite surface, tandis qu'une pression plus faible les répartit sur une zone plus large. Le calcul de la PCR prend en compte ces variations pour garantir la compatibilité avec différents aéronefs.
- 4) **Technique utilisée ou expérience avec les aéronefs** : La PCR peut être déterminé par la méthode technique ou basé sur la méthode par l'expérience des aéronefs.

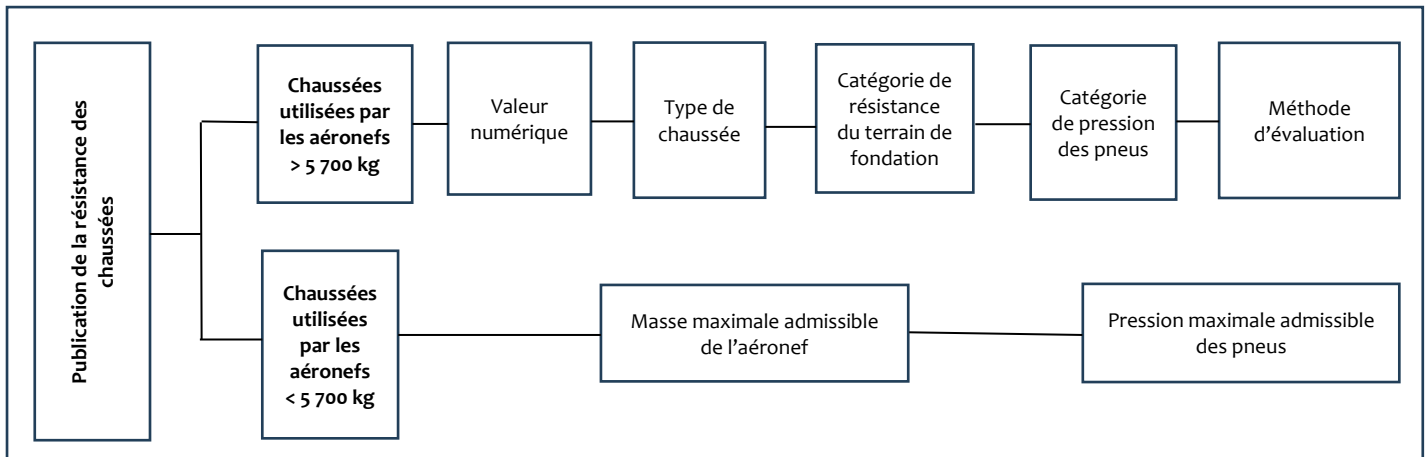


Figure 1. Détermination de la PCR

Les données obtenues à partir des caractéristiques énumérées ci-dessus ont principalement pour objet de permettre aux exploitants de déterminer les types d'aéronef et les masses admissibles en ordre d'exploitation, et aux avionneurs d'assurer la compatibilité entre les chaussées d'aéroport et les aéronefs à l'étude.

#### 2.2.4 La cote de classification d'aéronef (ACR)

2.2.4.1 La cote de classification d'aéronef représente l'effet exercé par un aéronef sur la chaussée pour une résistance type spécifiée du terrain de fondation. Elle est calculée en fonction de plusieurs facteurs liés aux caractéristiques de l'aéronef pour la planification des aéroports (publiées par les avionneurs) notamment :

- **La masse maximale de l'aéronef** : La masse maximale au décollage (MTOW) de l'aéronef permet d'évaluer la charge exercée par l'aéronef sur la chaussée.
- **Configuration du train d'atterrissage** : Le nombre de roues et la disposition des trains d'atterrissage influencent la répartition des charges sur la chaussée. Plus il y a de roues, plus la charge est répartie.
- **Pression des pneus** : Une pression plus élevée des pneus se traduit par une augmentation des contraintes sur la surface de la chaussée. Le type de pneus utilisé par l'aéronef, ainsi que sa pression, sont des paramètres critiques dans le calcul de l'ACR.
- **La caractéristique du sol support** : La cote de classification d'aéronef (ACR) est définie pour les quatre catégories standard de terrain de fondation (élevée, moyenne, faible, ultra-faible).

2.2.4.2 L'ACR d'un aéronef se définit numériquement comme étant égale à deux fois la charge calculée sur roue simple, lorsque celle-ci est exprimée en centaines de kilos. La pression du pneu d'une roue simple est normalisée à 1,50 MPa.

#### 2.2.5 Comparaison entre ACR et PCR

Le principe fondamental de la méthode ACR-PCR consiste à comparer les valeurs ACR des aéronefs avec la PCR des chaussées :

- **ACR ≤ PCR** : Si l'ACR de l'aéronef est inférieur ou égal au PCR de la chaussée, l'aéronef peut opérer sur cette chaussée sans restriction.
- **ACR > PCR** : Si l'ACR de l'aéronef est plus élevé que le PCR de la chaussée, des mesures doivent être prises pour permettre l'exploitation de cet aéronef sur la chaussée considérée. Ces mesures peuvent inclure des limitations en termes de masse maximale pour l'aéronef, ou une réduction du nombre de mouvements de l'aéronef sur la chaussée considérée.

#### 2.2.6 Publication de la PCR

2.2.6.1 La méthode ACR-PCR vise à la communication des données sur la résistance des chaussées dans les publications d'information aéronautique (AIP). Elle n'est conçue ni pour le calcul ni pour l'évaluation d'une chaussée.

2.2.6.2 Elle permet d'indiquer la résistance d'une chaussée en fonction de la classification de charge de l'aéronef, par exemple, celle que la chaussée peut accepter sans restriction. L'exploitation sans restriction ne signifie pas une exploitation illimitée, mais fait référence à la relation entre la PCR et l'ACR de l'aéronef.

2.2.6.3 Le processus de comparaison entre ACR et PCR nécessite un suivi rigoureux et une publication précise des éléments clés. Les exploitants doivent donc veiller à maintenir à jour, et communiquer les renseignements ci-après pour chaque chaussée :

- Valeur numérique de la PCR ;
- Type de chaussée ;
- Catégorie de résistance du terrain de fondation ;
- Pression maximale admissible des pneus ;
- Technique d'évaluation.

2.2.6.4 Les données obtenues à partir des caractéristiques énumérées ci-dessus ont principalement pour objet de permettre aux exploitants de déterminer les types d'aéronef et les masses admissibles en ordre d'exploitation, et aux aviateurs d'assurer la compatibilité entre les chaussées d'aéroport et les aéronefs à l'étude.

2.2.6.5 La méthode ACR-PCR facilite la publication de renseignements sur la résistance des chaussées selon une échelle continue. L'échelle a comme limite inférieure zéro et n'a pas de limite supérieure. En outre, la même échelle est utilisée pour indiquer la classification de charge des aéronefs et des chaussées.

## CHAPITRE 3. DÉTERMINATION DES ACR DES AÉRONEFS

Les constructeurs d'aéronef publient les caractéristiques de leurs aéronefs à prendre en compte pour la planification aéroportuaire. Les documents de planification incluent les ACR calculées pour deux masses différentes (soit la masse maximale sur l'aire de trafic et une valeur représentative de la masse à vide en ordre d'exploitation) sur chaussée rigide et sur chaussée souple, et ce, pour les quatre catégories types de résistance du terrain de fondation.

Le programme informatique ICAO-ACR, qui est à usage libre, fournit les ACR de tout type d'aéronef à n'importe quelle masse et position du centre de gravité (CG) pour les chaussées souples et rigides et pour les quatre catégories standard de résistance du terrain de fondation. Il est à noter que la masse utilisée pour le calcul de l'ACR est une masse « statique » et qu'aucune marge n'est prévue pour tenir compte d'une augmentation de la charge due à des effets dynamiques.

### 3.1. DÉTERMINATION DES ACR

3.1.1 Les ACR des aéronefs sont calculées selon la méthode ACR-PCR, comme il est indiqué dans le schéma suivant :

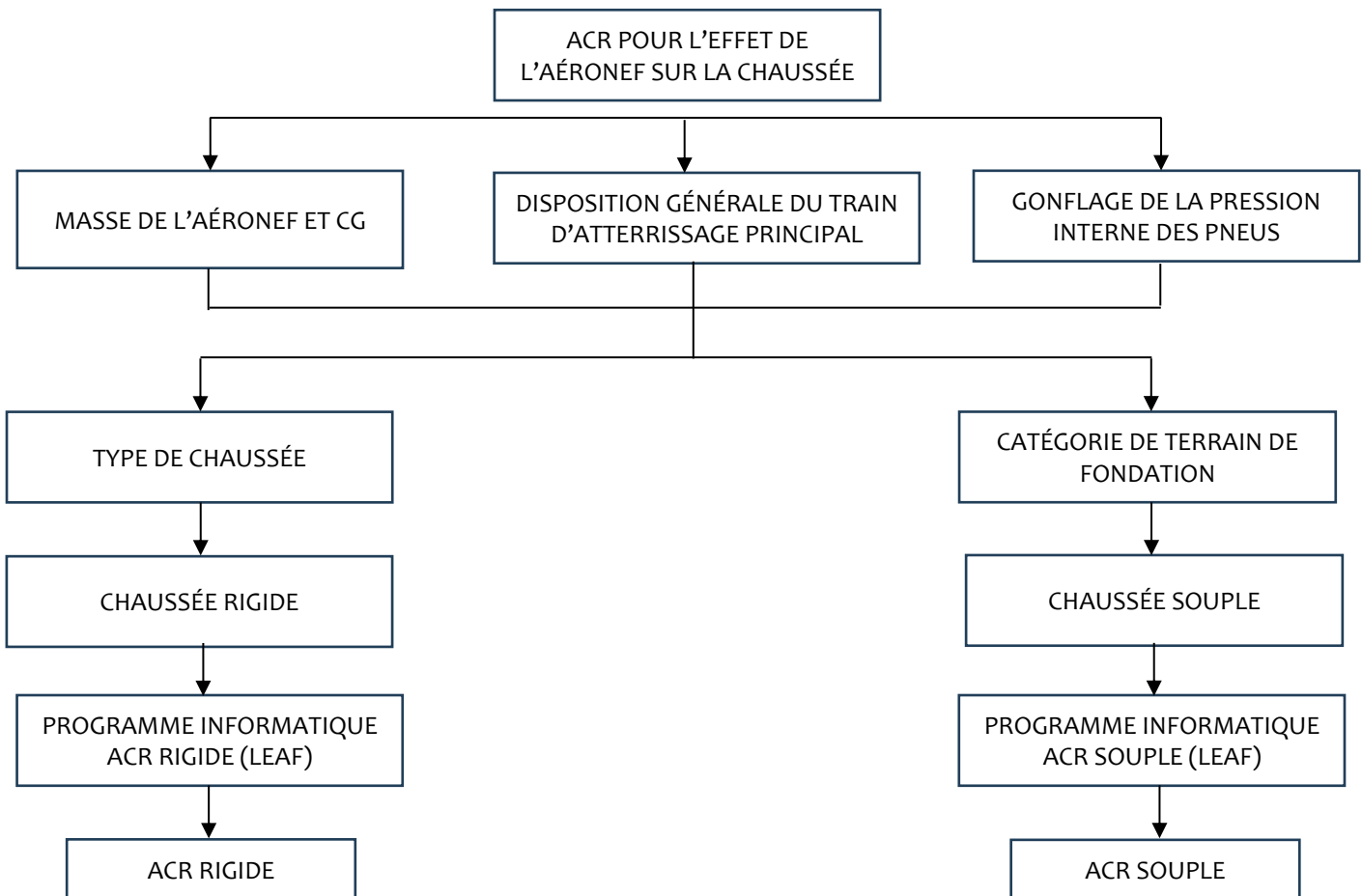


Figure 2. Calcul de l'ACR

3.1.2 Les valeurs types utilisées dans la méthode sont décrites ci-après :

#### 1) Catégorie du terrain de fondation

Les catégories du terrain de fondation sont définies comme suit : résistance élevée, moyenne, faible et ultra faible, avec les valeurs numériques ci-après et s'appliquent aux chaussées souples et aux chaussées rigides.



Code A — *Résistance élevée* : caractérisée par  $E = 200$  MPa et représentant toutes les valeurs de  $E$  égales ou supérieures à 150 MPa pour les chaussées rigides et les chaussées souples.

Code B — *Résistance moyenne* : caractérisée par  $E = 120$  MPa et représentant une gamme de valeurs de  $E$  égales ou supérieures à 100 MPa et strictement inférieures à 150 MPa pour les chaussées rigides et les chaussées souples.

Code C — *Résistance faible* : caractérisée par  $E = 80$  MPa et représentant une gamme de valeurs de  $E$  égales ou supérieures à 60 MPa et strictement inférieures à 100 MPa pour les chaussées rigides et les chaussées souples.

Code D — *Résistance ultra-faible* : caractérisée par  $E = 50$  MPa et représentant toutes les valeurs de  $E$  strictement inférieures à 60 MPa pour les chaussées rigides et les chaussées souples.

## 2) Contrainte de travail du béton pour chaussées rigides

Pour les chaussées rigides, une contrainte standard est spécifiée aux fins de la publication des données ( $\sigma = 2,75$  MPa), et ce uniquement comme moyen d'assurer une communication uniforme. La contrainte de travail à utiliser pour la conception et/ou l'évaluation des chaussées n'a aucun rapport avec la contrainte standard destinée à la publication des données.

## 3) Charge sur roue simple calculée mathématiquement

Le principe d'une charge sur roue simple calculée mathématiquement a été utilisé dans la méthode ACR-PCR comme moyen de définir l'interaction entre le train d'atterrissage de l'aéronef et la chaussée sans spécifier l'épaisseur de la chaussée en tant que paramètre ACR. Le principe consiste à déterminer, à partir de l'épaisseur fournie par le modèle mathématique pour un train d'atterrissage, une épaisseur équivalente correspondant à une roue simple et une pression standard de pneu de 1,50 MPa.

La charge sur roue simple ainsi obtenue est alors utilisée sans autre référence à l'épaisseur ; il s'agit en effet, essentiellement, d'obtenir l'égalité des épaisseurs, c'est-à-dire « la même contrainte appliquée sur la chaussée », plutôt que la valeur de l'épaisseur de la chaussée. Les phénomènes qui précèdent sont conformes à l'objectif de la méthode ACR-PCR qui consiste à évaluer l'effet de charge relatif d'un aéronef sur une chaussée.

## 4) Cote de classification d'aéronef (ACR)

L'ACR d'un aéronef se définit numériquement comme étant égale à deux fois la charge calculée sur roue simple, lorsque celle-ci est exprimée en centaines de kilos. Comme indiqué plus haut, la pression du pneu d'une roue simple est normalisée à 1,50 MPa. En outre, la charge calculée sur roue simple est fonction du module du terrain de fondation. La cote de classification d'aéronef (ACR) n'est définie que pour les quatre catégories standard de terrain de fondation (élevée, moyenne, faible, ultra-faible).

Le facteur de deux qui apparaît dans la définition numérique précédente de l'ACR est utilisé afin d'obtenir, en regard de l'échelle des masses totales, des valeurs ACR exprimées sous forme de nombres entiers et qui peuvent être utilisées avec une précision raisonnable.

Étant donné qu'un aéronef est exploité dans diverses conditions de masse et de CG, les conventions ci-après ont été utilisées dans les calculs de l'ACR :

- a) l'ACR maximale d'un aéronef est calculée pour la masse et le CG qui produisent la charge la plus élevée du train principal sur la chaussée (il s'agit en général de la masse maximale sur l'aire de trafic et du CG arrière correspondant). Les pneus de l'aéronef sont considérés comme étant gonflés conformément aux recommandations du fabricant de pneus ;
- b) les abaques et tableaux correspondants indiquent l'ACR en fonction de la masse totale de l'aéronef, la position du CG étant constante par rapport à la valeur maximale de l'ACR (il s'agit en général du CG arrière correspondant à la masse maximale sur l'aire de trafic), et les pneus gonflés à la pression correspondant à la masse maximale de l'aéronef sur l'aire de trafic ;
- c) les valeurs ACR pour des conditions particulières sont ajustées en fonction des effets de la pression des pneus et/ou du CG, pour une masse totale spécifiée de l'aéronef.

## 5) Modèles mathématiques

Le seul modèle mathématique utilisé dans la méthode ACR-PCR est l'analyse des couches élastiques. Le modèle d'analyse des couches élastiques suppose que plusieurs couches homogènes, élastiques et isotropes disposées en pile, qu'elles soient souples ou rigides, peuvent représenter la structure de la chaussée. Chaque couche du système est caractérisée par un module d'élasticité  $E_i$ , un coefficient de Poisson  $\nu_i$ , et une épaisseur de couche uniforme  $t_i$ .

Les couches sont supposées avoir une étendue horizontale infinie, et la couche inférieure ou couche de fondation est supposée s'étendre verticalement à l'infini (c'est-à-dire que le terrain de fondation est modélisé comme un demi-espace élastique).

En raison de la nature élastique linéaire du modèle, les charges exercées par chaque roue peuvent être additionnées pour obtenir les réponses combinées de contrainte et de déformation pour une charge complexe d'un train d'atterrissage d'aéronef à roues multiples. L'utilisation du modèle d'analyse des couches élastiques permet une corrélation maximale avec les méthodes de conception des chaussées utilisées globalement dans le monde.

## 6) Programme informatique

Le programme informatique ICAO-ACR a été développé pour mettre en œuvre les procédures de calcul de l'ACR pour chaussées rigides et chaussées souples. Le programme ICAO-ACR est distribué sous forme compilée comme bibliothèque de liens dynamiques (DLL) Visual Basic.NET et peut être relié à d'autres programmes qui calculent directement l'ACR ou qui utilisent le calcul de l'ACR pour évaluer la PCR.

Par défaut, le programme ICAO-ACR prend comme entrées : la masse maximale sur l'aire de trafic pour les calculs de l'ACR ; le pourcentage de la masse maximale sur l'aire de trafic agissant sur le train principal (équivalant à cet effet au CG arrière correspondant à la masse maximale sur l'aire de trafic) ; le nombre de roues ; les coordonnées géométriques de toutes les roues ; le type de chaussée (rigide ou souple). Le résultat est l'ACR de chaque catégorie de terrain de fondation et l'épaisseur de référence de la chaussée ( $t$ ) correspondant à l'ACR de chaque catégorie de terrain de fondation.

*Note : Pour plus d'information sur le programme ICAO-ACR se référer au Manuel sur la conception des chaussées de l'OACI (Doc 9157), Partie 3.*

### 3.1.3 Calcul de l'ACR pour les Chaussées rigides

La procédure ACR pour chaussée rigide lie la charge calculée sur roue simple, pour une pression constante des pneus de 1,50 MPa à une épaisseur de dalle de béton de référence ( $t$ ). Elle tient compte des quatre catégories de terrain de fondation (A, B, C, D) ainsi que d'une contrainte standard du béton de 2,75 MPa. Il est à noter que, comme une contrainte standard du béton est utilisée, aucune information concernant la résistance à la flexion de la chaussée ou le nombre de revêtements n'est nécessaire pour le calcul de l'ACR rigide. Les étapes ci-dessous sont utilisées pour déterminer l'ACR rigide d'un aéronef.

#### 1) Structure de chaussée de référence

En utilisant les données de l'aéronef publiées par le constructeur, obtenir l'épaisseur de référence ( $t$ ), pour la masse donnée de l'aéronef, la valeur  $E$  du terrain de fondation et la contrainte standard du béton à publier, c'est-à-dire 2,75 MPa. Pour les quatre catégories de terrain de fondation, prendre la section transversale suivante pour le modèle d'analyse des couches élastiques (voir tableau 1) :

**Tableau 1.** Structure de chaussée de référence chaussée rigide

Description de la couche	Désignation	Épaisseur (mm)	E, MPa	$\nu$
Couche de roulement (PCC)	Couche 1	Variable	27 759	0,15
Couche de base (granulat concassé)	Couche 2	200	500	0,5
Terrain de fondation	Couche 3	Infinie	A, B, C ou D	0,40



L'épaisseur minimale admissible de la couche 1 dans le modèle d'analyse des couches élastiques est de 50,8 mm. Les calculs de l'analyse des couches élastiques supposent en outre que l'interface horizontale entre la couche 1 et la couche 2 n'est pas liaisonnée (glissement total) et que l'interface horizontale entre la couche 2 et la couche 3 est en adhérence totale. Dans le modèle d'analyse des couches élastiques, la contrainte  $\sigma$  est la contrainte horizontale maximale calculée sur le fond de la couche 1 (la couche de béton au ciment Portland).

## 2) Train d'évaluation

La valeur ACR est calculée pour un seul bogie dans l'ensemble du train d'atterrissage principal [c'est-à-dire pour deux roues dans un atterrisseur à roues jumelées (D), quatre roues dans un atterrisseur à bogie (2D), etc.].

Pour les types de trains d'atterrissage plus complexes comportant plus de deux bogies, le bogie individuel de l'ensemble du train principal ayant l'ACR rigide le plus grand détermine l'ACR rigide de l'aéronef. Tous les bogies sont évalués à la masse et au CG qui produisent la plus grande charge totale du train principal sur la chaussée.

## 3) Points d'évaluation des contraintes

Le nombre de points d'évaluation de l'analyse des couches élastiques est égal au nombre de roues du train d'évaluation. Les points d'évaluation sont situés au fond de la couche 1, sous le point central de chaque roue. L'épaisseur ( $t$ ) de la couche 1 est ajustée jusqu'à ce que la contrainte maximale évaluée sur tous les points d'évaluation soit égale à 2,75 MPa. La valeur ( $t$ ) qui en résulte est l'épaisseur de référence pour l'ACR.

## 4) Calcul de la charge calculée sur roue simple (DSWL)

En utilisant l'épaisseur de référence ci-dessus et le même modèle d'analyse des couches élastiques qu'au § 3.2.1, obtenir une charge calculée sur roue simple pour le terrain de fondation sélectionné. En maintenant la pression constante des pneus à 1,50 MPa, la valeur de la charge calculée sur roue simple est ajustée jusqu'à ce que la contrainte horizontale maximale au fond de la couche 1 soit égale à 2,75 MPa. Pour l'évaluation des contraintes sous la charge sur roue simple, utiliser un point d'évaluation situé au fond de la couche 1, directement sous le centre de la roue.

## 5) Calcul modifié de la DSWL pour les aéronefs légers

Pour certains aéronefs légers, l'épaisseur de référence ( $t$ ) requise est inférieure à l'épaisseur minimale admissible. Appliquer les étapes modifiées suivantes pour calculer la DSWL uniquement lorsque l'épaisseur théorique de la couche 1, dont la contrainte maximale est égale à 2,75 MPa, est inférieure à 50,8 mm :

- a) déterminer la valeur de la contrainte (inférieure à 2,75 MPa) correspondant à l'épaisseur minimale admissible de béton (50,8 mm) ;
- b) calculer la DSWL pour le terrain de fondation sélectionné au moyen de l'épaisseur minimale de la structure de référence. En maintenant la pression constante des pneus à 1,50 MPa, la valeur de la charge sur roue simple est ajustée jusqu'à ce que la contrainte horizontale maximale au fond de la couche 1 soit égale à la valeur déterminée au point a) ci-dessus.

### 3.1.4 Calcul de l'ACR des chaussées souples

La procédure ACR pour chaussée souple lie la charge calculée sur roue simple à une pression constante des pneus de 1,50 MPa à une épaisseur totale de référence ( $t$ ), calculée pour 36 500 passages de l'aéronef. Elle tient compte des quatre catégories de terrain de fondation indiquées plus haut.

## Structures de chaussée de référence

Le système ACR-PCR doit couvrir une large gamme d'aéronefs, pesant de quelques tonnes à plusieurs centaines de tonnes. Les structures de référence ont été choisies de manière à produire des épaisseurs appropriées pour les catégories de terrain de fondation standard pour la gamme de poids des aéronefs utilisés. La détermination des structures de référence pour le calcul de l'ACR souple consiste à définir les matériaux et les propriétés constitutives des différentes couches.

Toutes les couches sont définies par le module d'élasticité  $E$ , le coefficient de Poisson  $\nu$  et (sauf pour le revêtement) l'épaisseur  $t$ . Les calculs de l'analyse des couches élastiques supposent que toutes les interfaces horizontales entre les couches sont entièrement liaisonnées.

**Tableau 2.** Structure de référence pour l'ACR souple (aéronef équipé de deux roues ou moins sur toutes les jambes du train principal)

Description de la couche	Épaisseur (mm)	E, MPa	$\nu$
Couche de roulement (asphalte)	76	1 379	0,35
Couche de base (granulat concassé)	Variable		0,35
Terrain fondation	Infinie	A, B, C ou D	0,35

**Tableau 3.** Structure de référence pour l'ACR souple (aéronef équipé de plus de deux roues sur toute jambe du train principal)

Description de la couche	Épaisseur (mm)	E, MPa	$\nu$
Couche de roulement (asphalte)	127	1 379	0,35
Couche de base (granulat concassé)	Variable		0,35
Terrain fondation	Infinie	A, B, C ou D	0,35

Dans le modèle d'analyse des couches élastiques, l'épaisseur minimale admissible de la couche variable (couche de base) est de 25,4 mm. En raison du nombre intentionnellement limité de structures de référence, les épaisseurs de couche calculées peuvent ne pas être réalistes aux extrémités de la gamme de poids des aéronefs.

Toutefois, cela n'invalide pas le concept d'ACR, dans lequel  $t$  est un indicateur relatif plutôt que la base d'une conception pratique.

#### Module d'élasticité de la couche de base

Toutes les structures de chaussées de référence souples comprennent une couche d'épaisseur variable au-dessus du terrain de fondation, représentant une couche de base en granulats concassés. Le module de la couche d'épaisseur variable n'est pas déterminé dans la procédure ACR, mais il est fonction de l'épaisseur et du module du terrain de fondation.

#### Calcul de la DSWL

Au moyen des données relatives aux exigences de la chaussée publiées par le constructeur, calculer l'épaisseur de référence ( $t$ ), pour la masse donnée de l'aéronef, la valeur E du terrain de fondation et 36 500 passages de l'aéronef. Utiliser la structure de chaussée de référence appropriée avec les points d'évaluation décrits plus haut. L'épaisseur de la couche variable (de revêtement) est ajustée jusqu'à ce que l'endommagement calculé soit égal à 1,0. L'épaisseur qui en résulte ( $t$ ) est l'épaisseur de référence pour l'ACR.

Au départ de l'épaisseur de référence ci-dessus et du même modèle d'analyse des couches élastiques, obtenir une charge calculée sur roue simple pour le terrain de fondation sélectionné. En maintenant la pression constante des pneus à 1,50 MPa, la valeur de la charge calculée sur roue simple est ajustée jusqu'à ce que l'endommagement soit égal à 1,0 pour 36 500 passages. Pour l'évaluation des déformations sous la charge sur roue simple, utiliser un point d'évaluation situé au sommet du terrain de fondation, directement sous le centre de la roue.

#### Calcul modifié de la DSWL pour les aéronefs légers

Pour certains aéronefs légers, l'épaisseur de référence ( $t$ ) requise est inférieure à l'épaisseur minimale admissible. Utiliser les étapes modifiées suivantes pour calculer la DSWL uniquement lorsque l'épaisseur théorique du revêtement variable, dont l'endommagement est égal à 1,0 pour 36 500 passages d'aéronef, est inférieure à 25,4 mm :

- a) déterminer la valeur de la déformation verticale maximale au sommet de la couche de fondation correspondant à l'épaisseur variable minimale admissible de la couche de conception (25,4 mm) ;
- b) calculer la DSWL pour le terrain de fondation sélectionné en utilisant l'épaisseur minimale de la structure de référence. En maintenant la pression constante des pneus à 1,50 MPa, la valeur de la charge sur roue simple est ajustée jusqu'à ce que la déformation verticale maximale au sommet du terrain de fondation soit égale à la valeur déterminée au point a) ci-dessus.

### Ajustement de l'ACR en fonction de la pression des pneus

Les pneus sont normalement gonflés à la pression qui correspond à la masse totale maximale de l'aéronef sans poussée du moteur, et cette pression est maintenue quelle que soit la variation qui intervient dans les masses au décollage. Cependant, il arrive parfois que l'exploitation avec des masses réduites, un CG modifié et/ou des pressions de pneus réduites soit profitable et il faut alors calculer des ACR réduites. Pour calculer l'ACR dans ces conditions, la pression de gonflage ajustée des pneus devrait être saisie dans le champ de saisie correspondant de l'ICAO-ACR.

## 3.1 EXEMPLES DETAILLES

### 3.2.1 Utilisation du modèle mathématique

#### ❖ Exemple 1

Trouver l'ACR d'un B747-400 à 397 800 kg sur une chaussée rigide reposant sur un terrain de fondation de résistance moyenne. La pression des pneus sur les roues principales est de 1,38 MPa. D'après les données du constructeur, on sait que, au CG arrière pour la masse maximale sur l'aire de trafic, 93,33 % de la masse de l'aéronef se trouve sur le train principal.

On trouve l'ACR en suivant les étapes décrites au chapitre 3. Ces étapes sont automatiquement mises en œuvre dans le programme ICAO-ACR.

**Étape 1.** Utiliser les caractéristiques du train principal et la structure de chaussée rigide standard pour déterminer l'épaisseur ACR de référence  $t$ . Calculer l'ACR d'un bogie à quatre roues du train principal à 16 roues du B747-400.

Tous les bogies du train principal du B747-400 ont la même charge, la même pression des pneus et la même configuration de roue ; par conséquent, le choix du seul bogie à utiliser pour l'évaluation est arbitraire. Le programme LEAF (Voir manuel de l'OACI sur la conception des chaussées, partie 3, Chapitre 1) a été utilisé pour déterminer les contraintes aux points d'évaluation au fond de la couche de béton sous chacune des quatre roues d'un bogie. Les données d'entrée du LEAF pour l'aéronef B747-400 sont présentées dans la figure 3.

Dans la figure 3, la force agissant sur le seul bogie, 910,22 kN, correspond à la masse totale de l'aéronef multipliée par 93,33 %, divisée par quatre. D'après cette analyse, pour la charge et la géométrie du train données, une épaisseur de béton de 381 mm produit une contrainte horizontale maximale du béton de 2,75 MPa. En raison de la symétrie, la contrainte horizontale maximale sous les quatre roues est la même. Par conséquent, l'épaisseur de référence ( $t$ ) est de 381 mm.

Couche n°	Épaisseur (mm)	Module d'élasticité (MPa)	Coefficient de Poisson	Condition d'interface
1	381,00	27 579,03	0,1500	0,0000
2	200,00	500,00	0,3500	1,0000
3	0,00	120,00	0,4000	1,0000

Aéronef n°1 B-747-Aile :

Charge de calcul de l'aéronef : sans objet

Fraction de la charge sur le train principal : 100,0

Charge du train, kN : 910,22

Nombre de pneus : 4

Pneu n°	Rayon (mm)	Surface de contrôle (mm²)	Pression de contrôle (MPa)	Charge du pneu (kilonewtons)	Coordonnée X (mm)	Coordonnée Y (mm)
1	229	165 021	1,38	227,56	-559	0
2	229	165 021	1,38	227,56	-559	0
3	229	165 021	1,38	227,56	-559	1 473
4	229	165 021	1,38	227,56	-559	1 473

**Figure 3.** Données d'entrée pour l'aéronef d'évaluation B747-400 dans le programme LEAF dans l'exemple 1 de l'ACR

**Étape 2.** Déterminer la charge calculée sur roue simple correspondant à l'épaisseur ACR de référence  $t$ . Utiliser la même structure élastique en couches que dans l'étape 1 avec une épaisseur de la couche 1 égale à 381 mm. Appliquer une charge sur roue simple avec une pression de pneu constante  $P_s$  égale à 1,50 MPa. Faire varier la valeur de la charge calculée sur roue simple jusqu'à ce que la contrainte horizontale calculée en un seul point d'évaluation situé au fond de la couche de béton soit de 2,75 MPa. La figure 4 montre le résultat du programme LEAF pour ce cas.

D'après la figure 4, la charge du pneu produisant la contrainte standard  $\sigma = 2,75$  MPa à la pression standard du pneu = 1,50 MPa est de 336,17 kN, ce qui correspond à une charge sur roue simple de 34 280 kg.

**Étape 3.** La valeur numérique de l'ACR est égale à deux fois la charge sur roue simple en kg déterminée à l'étape 2, divisée par 100. Par conséquent, l'ACR sur un terrain de fondation de résistance moyenne (« B ») est de  $2 \times 343 = 686$ . L'ACR sur la catégorie « B » de terrain de fondation sera notée 690.



Couche n°	Epaisseur (mm)	Module d'élasticité (MPa)	Coefficient de Poisson	Condition d'interface
1	381,00	27 579,03	0,1500	0,0000
2	200,00	500,00	0,3500	1,0000
3	0,00	120,00	0,4000	1,0000

Aéronef n°1 SWL-ACR :

Charge de calcul de l'aéronef : Sans objet

Fraction de la charge sur le train principal : 100,0

Charge du train (kN) : 336,17

Nombre de pneus : 1

Pneu n°	Rayon (mm)	Surface de contrôle (mm²)	Pression de contrôle (MPa)	Charge du pneu (kilonewton)	Coordonnée X (mm)	Coordonnée Y (mm)
1	267	224 114	1,50	336,17	0	0

Point d'évaluation = 1  
Coordonnée X = 0,000  
Couche n° = 1  
Coordonnée Y = 0,000  
Profondeur Z = 380,9900

DÉF. VERT.	DÉF. HOR. Y	DÉF. HOR. X	CISAILLEMENT XZ	CISAILLEMENT YZ	CISAILLEMENT XY
Contrainte -5,036809E-002	2,747433E+000	2,747433E+000	0,000000E+000	0,000000E+000	0,000000E+000
Déformation -3,171243E-005	8,495126E-005	8,495126E-005	0,000000E+000	0,000000E+000	0,000000E+000
Déplacement 7,395790E-001	0,000000E+000	0,000000E+000			

PRIN 1	PRIN 2	PRIN 3	CISAILLEMENT MAX	NORMAL OCT	CISAILLEMENT OCT
Contrainte 2,747441E+000	2,747425E+000	-5,036809E-002	1,398904E+000	1,814833E+000	1,318896E+000
Déformation 8,495158E-005	8,495094E-005	-3,171243E-005			

**Figure 4.** Données pour la charge calculée sur roue simple dans le programme LEAF dans l'exemple 1 de l'ACR (les contraintes sont en MPa)

### ❖ Exemple 2

Trouver l'ACR d'un B787-9 à 254 692 kg sur une chaussée souple reposant sur un terrain de fondation de faible résistance. La pression des pneus sur les roues principales est de 1,56 MPa. D'après les données du constructeur, on sait que, au CG arrière pour la masse maximale sur l'aire de trafic, 92,46 % de la masse de l'aéronef se trouve sur le train principal.

**Solution :** On trouve l'ACR en suivant les étapes décrites au Chapitre 3. Ces étapes sont automatiquement mises en œuvre dans le programme ICAO-ACR mentionné.

**Étape 1.** Utiliser les caractéristiques du train principal et la structure de chaussée souple standard pour un aéronef de plus de deux roues pour déterminer l'épaisseur ACR de référence t. D'après l'ordonnance 5300.7 de la FAA, « Standard Naming Convention for Aircraft Landing Gear Configurations », le train principal du B787-9 a la désignation 2D. S'agissant d'un train d'atterrissage simple (la désignation du train ne dépasse pas deux caractères), les points d'évaluation des contraintes pour l'ACR sont basés sur un seul bogie. Utiliser le programme ICAO-ACR pour trouver l'épaisseur de référence t = 796 mm pour 36 500 passages de l'aéronef évalué. La structure élastique en couches pour la catégorie de terrain de fondation C (faible résistance) avec des modules attribués est la suivante.

**Tableau 4.** Calcul ACR-Exemple 2 – Structure élastique en couche pour la catégorie de terrain de fondation C.

Couche	Épaisseur (mm)	E, MPa	$\nu$
Asphalte	127	1 379	0,35
Sous-couche 3	161	769,52	0,35
Sous-couche 2	254	680,85	0,35
Sous-couche 1	254	271,27	0,35
Terrain de fondation	Infinie	80	0,35

**Étape 2.** Déterminer la DSWL correspondant à l'épaisseur ACR de référence t. Utiliser la même structure élastique en couches qu'à l'étape 1. Appliquer une charge sur roue simple avec une pression de pneu constante  $P_s$  égale à 1,50 MPa. Faire varier la valeur de la DSWL jusqu'à ce que l'endommagement soit de 1,0 pour 36 500 passages. D'après le programme ICAO-ACR, la valeur calculée de la DSWL est de 37 522,2 kg, ce qui correspond à une déformation verticale maximale au sommet du terrain de fondation de 0,001325.

Il est à noter que pour la charge sur roue simple, il n'y a pas d'effet lié aux essieux multiples ; par conséquent, la déformation maximale peut être trouvée directement en substituant 36 500 passages dans l'équation de la loi d'endommagement élémentaire (Voir appendice 3, section 1 du manuel de l'OACI sur la conception des chaussées (Doc 9157), Partie 3.

**Étape 3.** La valeur numérique de l'ACR est égale à deux fois la charge sur roue simple en kg déterminée à l'étape 3, divisée par 100. Par conséquent, l'ACR sur un terrain de fondation de faible résistance (« C ») est de  $2 \times 375 = 750$ . L'ACR sur la catégorie « C » de terrain de fondation sera notée 750.

### ❖ Exemple 3

Trouver l'ACR d'un A380-800 à 562 000 kg sur une chaussée souple reposant sur un terrain de fondation de résistance moyenne. La pression des pneus sur les roues principales est de 1,50 MPa. D'après les données du constructeur, on sait qu'au CG arrière pour une masse maximale sur l'aire de trafic, 95,13 % de la masse de l'aéronef repose sur le train principal (57,08 % sur le train de fuselage et 38,05 % sur le train d'aile).

**Solution :** On trouve l'ACR en suivant les étapes décrites dans le présent chapitre. Ces étapes sont automatiquement mises en œuvre dans le programme ICAO-ACR.

**Étape 1.** Utiliser les caractéristiques du train principal et la structure de chaussée souple standard pour un aéronef de plus de deux roues pour déterminer l'épaisseur ACR de référence t. D'après l'ordonnance 5300.7 de la FAA, « Standard Naming Convention for Aircraft Landing Gear Configurations », le train principal de l'A380-800 a la désignation 2D/3D2. S'agissant d'un train d'atterrissage complexe (la désignation du train dépasse deux caractères), les points d'évaluation des contraintes pour l'ACR sont basés sur l'ensemble du train d'atterrissage. Utiliser le programme ICAO-ACR pour trouver l'épaisseur de référence  $t = 616$  mm. La structure élastique en couches pour la catégorie de terrain de fondation B (résistance moyenne) est la suivante.



**Tableau 5.** Calcule ACR – Exemple 3. Structure pour la catégorie de terrain de fondation B

Couche	Épaisseur (mm)	E, MPa	$\nu$
Asphalte	127	1 379	0,35
Sous-couche 2	235	698,75	0,35
Sous-couche 1	254	372,29	0,35
Terrain de fondation	Infinie	120	0,35

**Étape 2.** Déterminer la DSWL correspondant à l'épaisseur ACR de référence t. Utiliser la même structure élastique en couches qu'à l'étape 1. Appliquer une charge sur roue simple avec une pression de pneu constante  $P_s$  égale à 1,50 MPa. Faire varier la valeur de la DSWL jusqu'à ce que  $CDF = 1,0$  pour 36 500 passages.

D'après le programme ICAO-ACR, la valeur calculée de la DSWL est de 28 902,4 kg, ce qui correspond à une déformation verticale maximale au sommet du terrain de fondation de 0,001325.

Il est à noter que pour la charge sur roue simple, il n'y a pas d'effet lié aux essieux multiples ; par conséquent, la déformation maximale peut être trouvée directement en substituant 36 500 passages dans l'équation de la loi d'endommagement élémentaire.

**Étape 3.** La valeur numérique de l'ACR est égale à deux fois la charge sur roue simple en kg déterminée à l'étape 3, divisée par 100. Par conséquent, l'ACR sur un terrain de fondation de faible résistance (« B ») est de  $2 \times 289 = 578$ . L'ACR sur la catégorie « B » de terrain de fondation sera notée 580.

### 3.2.2 Utilisation du programme ICAO-ACR pour calculer les ACR.

L'utilisation du programme OACI-ACR pour calculer les valeurs ACR est visuellement interactive et intuitive :

- 1) L'utilisateur sélectionne :
  - a) Le type de chaussée, souple ou rigide.
  - b) Le groupe d'aéronefs et l'aéronef (en ajustant le poids et le pourcentage de GW si nécessaire).
- 2) Calculer l'ACR.

Le programme calcule alors les valeurs ACR pour les 4 catégories de couche de forme.

#### ❖ Exemple 1

Trouver l'ACR d'un A220-300 à 365 747 kg sur une chaussée souple. La pression des pneus sur les roues principales est de 1,47 MPa. D'après les données du constructeur, on sait que, au CG arrière pour la masse maximale sur l'aire de trafic, 93,8 % de la masse de l'aéronef se trouve sur le train principal.

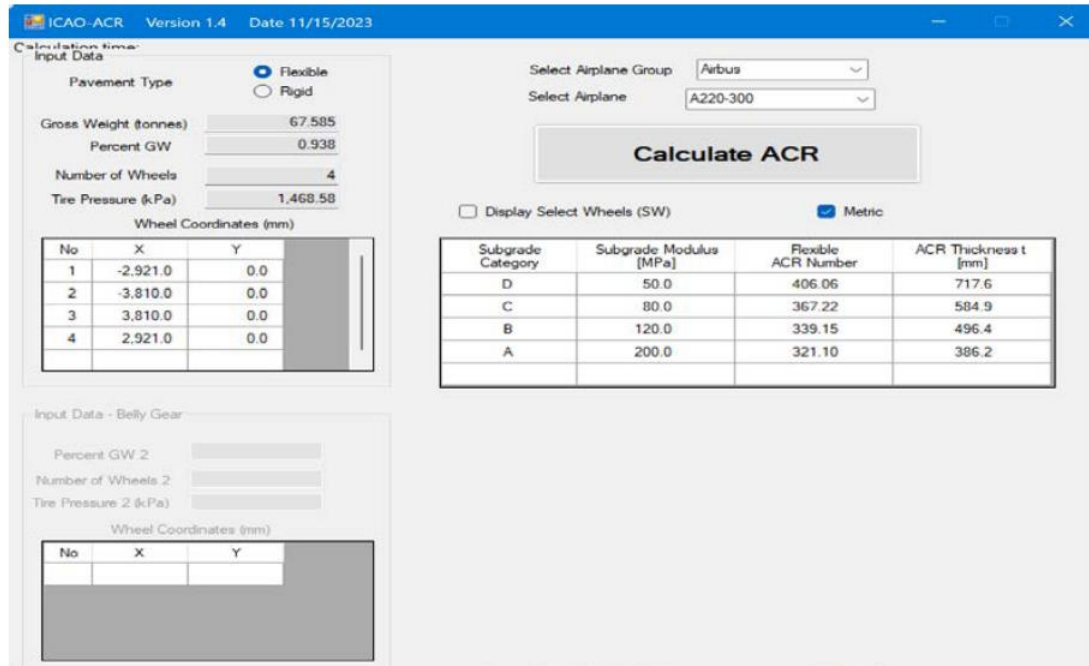
#### → Solution.

**Étape 1.** Ouvrir l'application ICAO ACR

**Étape 2.** Sélection « Flexible »

**Étape 3.** À droite, Sélectionner dans la section « Select Airplane group » Airbus sur la liste déroulante, Puis dans la section « Select Airplane » choisir A220-300. Les autres données sont renseignées directement par le programme.

**Étape 4.** Cliquez sur « Calculate ACR » pour lancer le programme de calcul. Ainsi, vous avez les valeurs ACR pour les 4 catégories de terrain de fondation.



ICAO-ACR Version 1.4 Date 11/15/2023

Calculation time: Input Data

Pavement Type:  Flexible  Rigid

Gross Weight (tonnes): 67.585  
Percent GW: 0.938  
Number of Wheels: 4  
Tire Pressure (kPa): 1,468.58

Select Airplane Group: Airbus  
Select Airplane: A220-300

**Calculate ACR**

Display Select Wheels (SW)  Metric

No	X	Y
1	-2,921.0	0.0
2	-3,810.0	0.0
3	3,810.0	0.0
4	2,921.0	0.0

Subgrade Category	Subgrade Modulus [MPa]	Flexible ACR Number	ACR Thickness t [mm]
D	50.0	406.06	717.6
C	80.0	367.22	584.9
B	120.0	339.15	496.4
A	200.0	321.10	386.2

Input Data - Belly Gear

Percent GW 2:   
Number of Wheels 2:   
Tire Pressure 2 (kPa):   
Wheel Coordinates (mm):

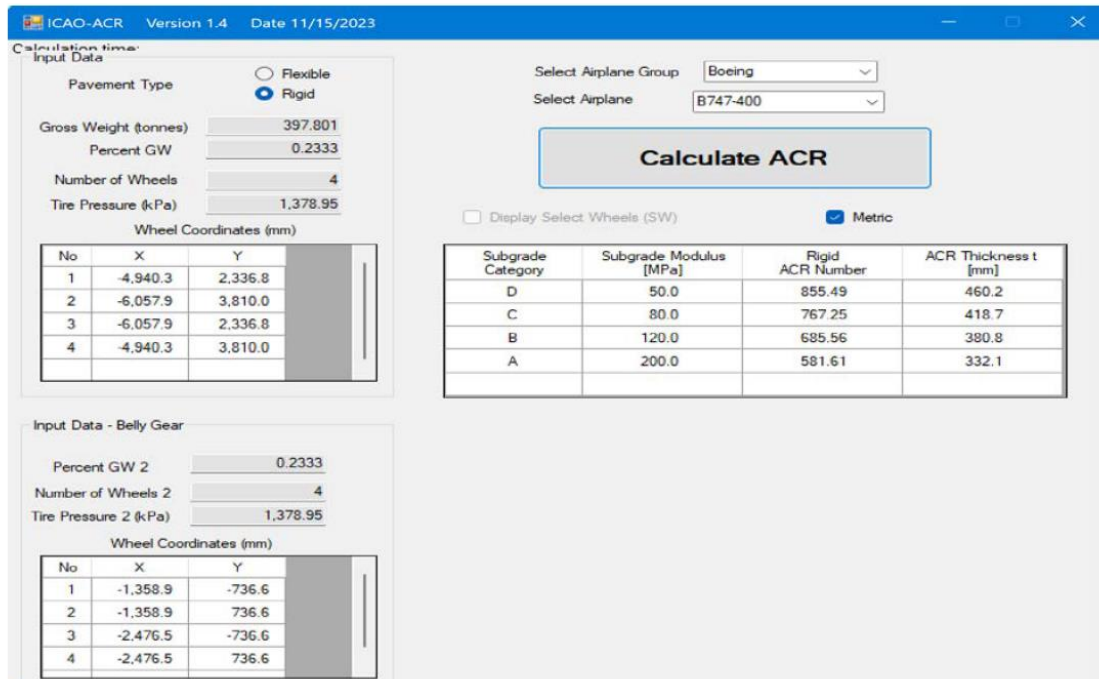
No	X	Y

❖ Exemple 2

Trouver l'ACR d'un B747-400 à 397 801 kg sur une chaussée rigide. La pression des pneus sur les roues principales est de 1,379 MPa. D'après les données du constructeur, on sait que, au CG arrière pour la masse maximale sur l'aire de trafic, 23,33 % de la masse de l'aéronef se trouve sur le train principal.

→ Solution.

En répétant les mêmes étapes que l'exemple précédent on trouve les résultats suivants pour les différents types de terrain de fondation :



ICAO-ACR Version 1.4 Date 11/15/2023

Calculation time: Input Data

Pavement Type:  Flexible  Rigid

Gross Weight (tonnes): 397.801  
Percent GW: 0.2333  
Number of Wheels: 4  
Tire Pressure (kPa): 1,378.95

Select Airplane Group: Boeing  
Select Airplane: B747-400

**Calculate ACR**

Display Select Wheels (SW)  Metric

No	X	Y
1	-4,940.3	2,336.8
2	-6,057.9	3,810.0
3	-6,057.9	2,336.8
4	-4,940.3	3,810.0

Subgrade Category	Subgrade Modulus [MPa]	Rigid ACR Number	ACR Thickness t [mm]
D	50.0	855.49	460.2
C	80.0	767.25	418.7
B	120.0	685.56	380.8
A	200.0	581.61	332.1

Input Data - Belly Gear

Percent GW 2: 0.2333  
Number of Wheels 2: 4  
Tire Pressure 2 (kPa): 1,378.95  
Wheel Coordinates (mm):

No	X	Y
1	-1,358.9	-736.6
2	-1,358.9	736.6
3	-2,476.5	-736.6
4	-2,476.5	736.6

Pour s'exercer, le lecteur peut reprendre les exemples plus haut en utilisant le logiciel ICAO ACR.

## CHAPITRE 4. ÉVALUATION DES PCR DES CHAUSSÉES AÉRONAUTIQUES

Il existe deux méthodes d'évaluation de la PCR :

- l'évaluation technique, qui s'appuie sur le concept de facteur d'endommagement cumulé (CDF) ; et
- l'évaluation basée sur l'expérience des aéronefs utilisateurs, utilisée en dernier recours lorsque, pour des raisons diverses, il n'est pas possible de réaliser une évaluation technique.

### 4.1. CONCEPT DE FACTEUR D'ENDOMMAGEMENT CUMULE (CDF)

4.1.1 Le facteur d'endommagement cumulé (CDF) est la valeur de la durée de vie en fatigue structurelle d'une chaussée qui a été utilisée.

4.1.2 Il est exprimé comme le rapport entre les répétitions de charges appliquées et les répétitions de charges admissibles jusqu'à la rupture, ou, pour un aéronef et des départs annuels constants, auquel cas une couverture est une application de la déformation ou contrainte maximale due à la charge sur un point donnée de la structure de la chaussée :

$$CDF = \frac{\text{couvertures appliquées}}{\text{couvertures jusqu'à la rupture}}$$

- Lorsque le CDF=1, le terrain de fondation de la chaussée aura utilisé toute sa durée de vie en fatigue ;
- Lorsque le CDF<1, le terrain de fondation de la chaussée conservera une certaine durée de vie et la valeur du CDF donnera la fraction de la durée de vie utilisée ;
- Lorsque CDF>1, toute la durée de vie en fatigue sera épuisée, et le terrain de fondation sera affaissé.

4.1.3 Dans cette définition, la notion de rupture renvoie à la rupture selon les hypothèses et les définitions sur lesquelles se fondent les procédures de conception. Dans ce sens, une valeur de CDF supérieure à un signifie que la chaussée sera affaissée selon la définition de la rupture utilisée dans la procédure de conception. Comme la PCR concerne la durée de vie structurelle de la chaussée, le CDF est basé sur le mode de rupture de la couche de fondation.

4.1.4 L'effet des différents types d'aéronefs sur la chaussée sont comptabilisés en utilisant la loi de Miner :

$$CDF = CDF_1 + CDF_2 + \dots + CDF_N$$

Où  $CDF_i$  désigne le facteur d'endommagement pour chaque aéronef dans le trafic composé et N le nombre d'aéronefs inclus.

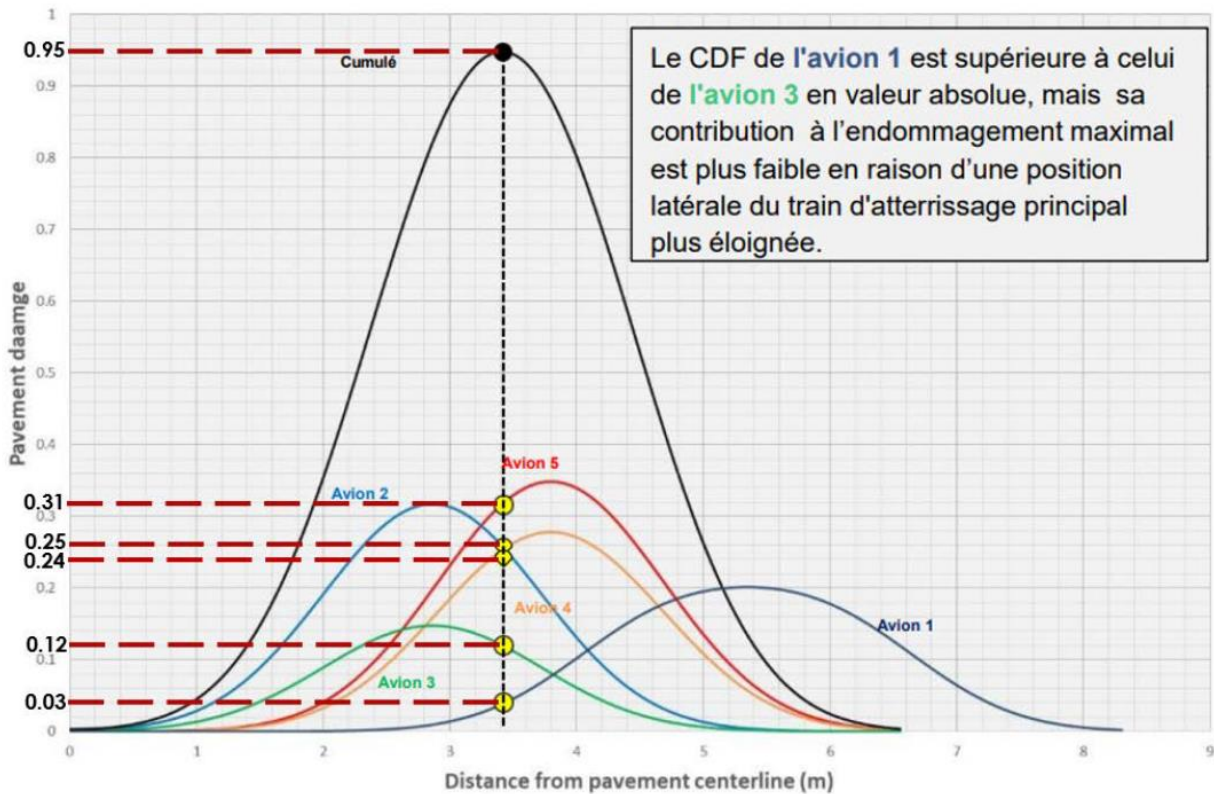


Figure 5 : Illustration de la prise en compte des différents types d'aéronefs pour l'évaluation du CDF

4.1.5 La figure ci-dessus est un exemple qui représente les CDF calculés pour un trafic comprenant cinq aéronefs (courbes de couleur bleu clair, bleu marine, vert, orange et rouge), d'un côté de l'axe de la piste (le point de coordonnées (0,0) représentant l'axe de la piste).

4.1.6 Les valeurs maximales des CDF de chaque aéronef sont obtenues aux points de passage des trains principaux de ces aéronefs. La courbe en noir représente le CDF cumulé découlant de l'application de la loi de Miner. Les points en jaune représentent les valeurs de CDF de chaque aéronef qui contribuent au CDF maximal (0.03 pour l'aéronef 1, 0.12 pour l'aéronef 2, 0.24 pour l'aéronef 3, 0.25 pour l'aéronef 4 et 0.31 pour l'aéronef 5). Dans ce sens, le CDF maximal est égal à : 0,95.

## 4.2. ÉVALUATION TECHNIQUE DE LA PCR

L'évaluation technique s'appuie sur une étude spécifique des caractéristiques de la chaussée et de sa capacité à supporter les différents types d'aéronefs qu'elle est censée desservir, en utilisant le concept de CDF par le biais d'une méthode de conception/évaluation mécaniste calibrée par rapport au comportement observé de la chaussée.

### 4.2.1 Paramètres pour l'évaluation technique

Les paramètres suivants sont nécessaires et devront être pris en compte pour la réalisation de l'évaluation technique.

#### 4.2.1.1 Caractéristiques réelles de la chaussée au moment de l'évaluation.

Il s'agit notamment de :

- la structure de la chaussée existante (épaisseur de chaque couche) ; et
- les modules d'élasticité (module de Young) et coefficients de Poisson de chaque couche de chaque couche de la chaussée et du terrain de fondation.

Pour les chaussées nouvellement construites, les données devraient être celles qui ont servi à la conception de la chaussée.

Pour les chaussées déjà en service, il est nécessaire de déterminer ces données par des essais. Les épaisseurs des couches de chaussée peuvent être obtenues par des carottages ou par auscultation radar. Les modules d'élasticité et les coefficients de Poisson peuvent être obtenus par essais en laboratoire sur des carottes ou via un essai in situ par auscultation au déflectomètre (FWD, HWD...).

Par ailleurs, les modules d'élasticité peuvent dans, certaines conditions, dépendre de la **température de l'aérodrome** ( $\theta\theta$ ) et de la **vitesse (fréquence) de passage des avions** ( $ff$ ) ( $EE = F(\theta\theta, ff)$ ).

Ces données devront également être considérées.

#### 4.2.1.2 Trafic d'avions.

Il s'agit du trafic prévu pour utiliser la chaussée pendant sa durée de vie structurelle théorique (pour les chaussées nouvellement construites) ou la durée de vie structurelle restante estimée (pour les chaussées en service).

Pour les chaussées nouvellement construites, la liste des différents types d'avions pour la détermination de la PCR est la même que celle utilisée pour la conception de la chaussée.

Pour les chaussées déjà en service, il est nécessaire de prendre en compte des données de trafic actuelles, notamment si la palette de types d'avions utilisant la chaussée a considérablement évolué par rapport aux prévisions de conception.

#### 4.2.2 Procédure d'évaluation technique

La procédure recommandée pour l'évaluation technique de la PCR est la suivante :

**Étape 1** - Recueillir toutes les données pertinentes sur la chaussée (épaisseur des couches, modules d'élasticité et coefficient de Poisson de toutes les couches) et sur les projections de trafic en utilisant les meilleures sources disponibles

**Étape 2** - Définir les différents avions par type, nombre de départs (ou d'opération conformes aux pratiques de conception de la chaussée) et masse des avions que la chaussée évaluée est censée recevoir au cours de sa durée de vie structurelle restante théorique ou estimée [en fonction de l'aire de manœuvre (piste, voie de circulation, aire de trafic), le trafic peut se voir attribuer une déviation latérale caractérisée par un écart type].

**Étape 3** - Calculer les ACR de chaque type d'avion à sa masse opérationnelle et noter l'avion affichant l'ACR maximale.

**Étape 4** - Calculer le CDF maximal des différents types d'avions et noter la valeur (le CDF est calculé au moyen de n'importe quel modèle d'endommagement/de rupture conforme à la procédure utilisée pour la conception de la chaussée)

**Étape 5** - Sélectionner l'avion dont la contribution au CDF maximal est la plus élevée comme avion critique. Cet appareil est désigné AC(i), où i est une valeur d'indice avec une valeur initiale de (1). Supprimer tous les avions autres que l'avion critique actuel AC(i) de la liste de trafic.

**Étape 6** - Ajuster le nombre de départs de l'avion critique jusqu'à ce que le CDF maximal de l'avion soit égal à la valeur notée à l'étape 4. Noter le nombre équivalent de départs de l'avion critique.

**Étape 7** - Ajuster la masse de l'avion critique pour obtenir un CDF maximal de 1,0 pour le nombre de départs obtenu à l'étape 6. Il s'agit de la masse totale maximale admissible pour l'avion critique.

**Étape 8** - Calculer l'ACR de l'avion critique à sa masse totale maximale admissible. La valeur obtenue est désignée par PCR(i).

**Étape 9** - Si AC(i) est l'avion affichant l'ACR maximale de l'étape (3), alors passez à l'étape 13.

**Étape 10** - Supprimer l'actuel avion critique AC(i) de la liste de trafic et réintroduire les autres avions qui n'étaient pas considérés auparavant comme avions critiques. La nouvelle liste d'avions, qui ne contient aucun des avions critiques précédents, est appelée la liste d'avions réduite. Augmenter la valeur de l'indice ( $i=i+1$ ).

**Étape 11** - Calculer le CDF maximal de la liste d'avions réduite et sélectionner le nouvel avion critique AC(i).

**Étape 12** - Répéter les étapes 5 à 9 pour AC(i). A l'étape 6, utiliser le même CDF maximal que celui calculé pour la composition initiale d'avions pour calculer le nombre équivalent de départs pour la liste réduite.

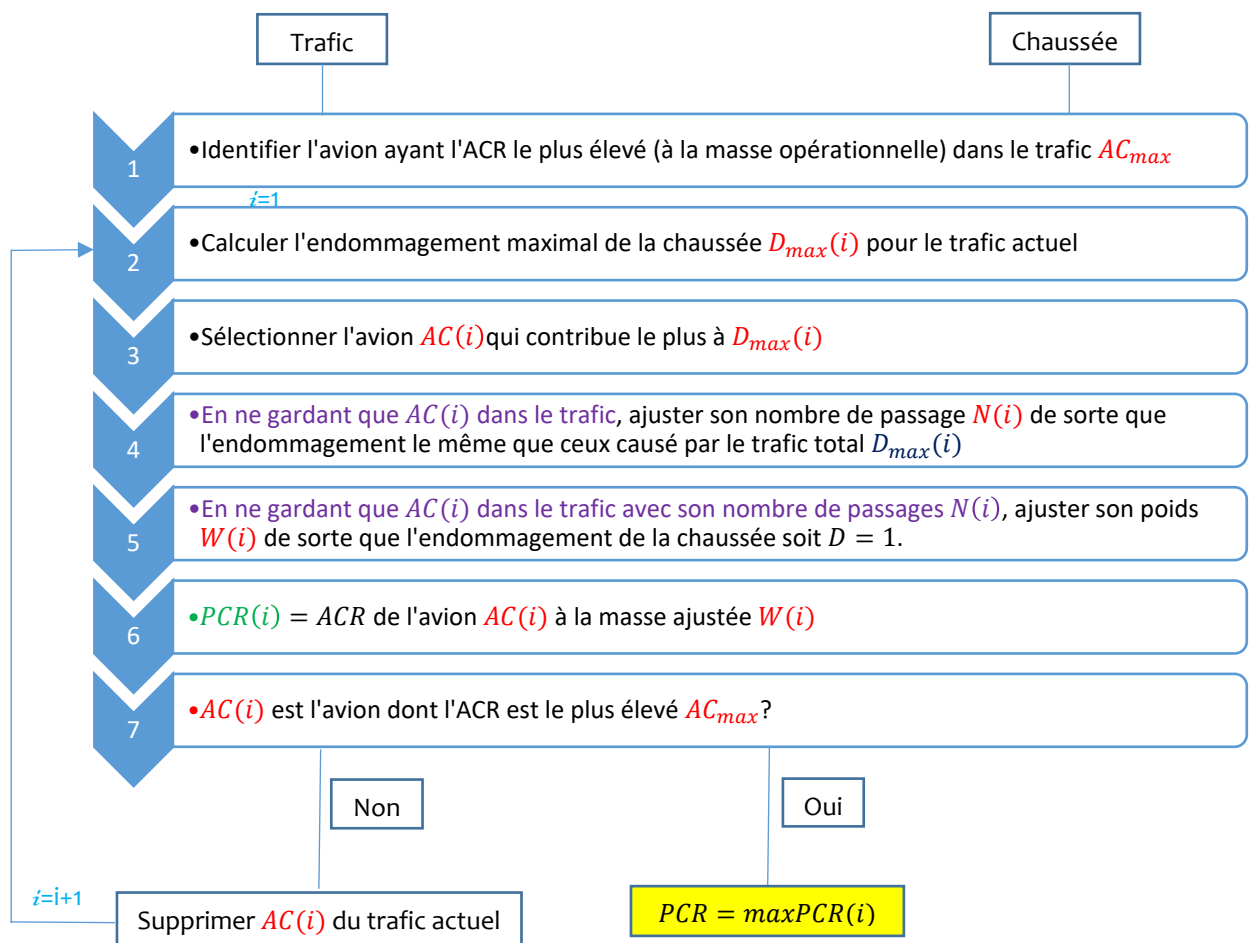


**Étape 13** - La PCR à reporter est la valeur maximale de toutes les PCR(i) calculées. L'aéronef critique est l'aéronef associé à cette valeur maximale de PCR(i).

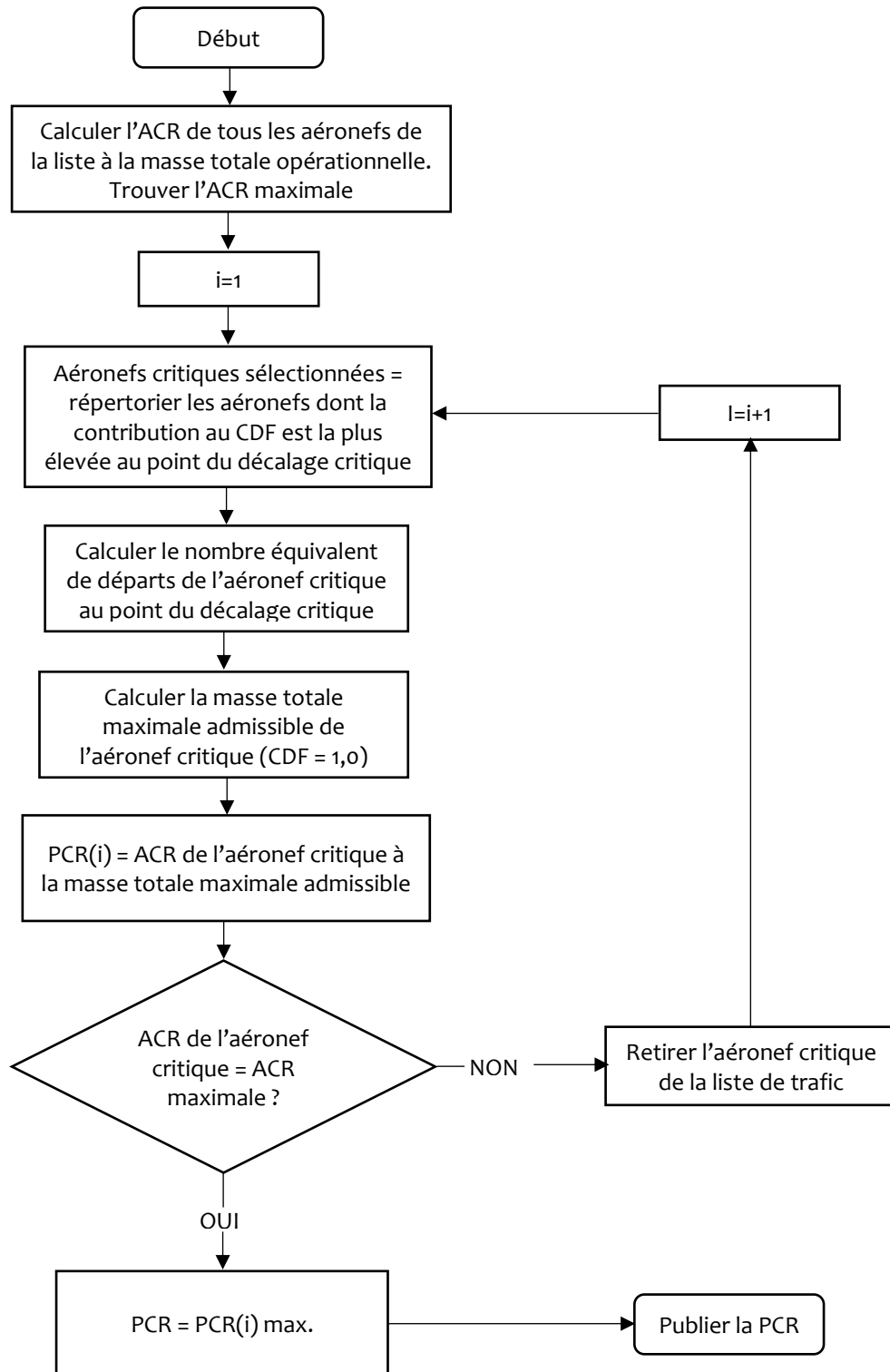
L'objectif des étapes 10 à 13 est de prendre en compte certains cas caractérisés par un grand nombre de départs d'un aéronef court/moyen-courrier (tel que le B737) et un nombre relativement faible de départs d'un aéronef long-courrier (tel que l'A350). Sans ces étapes, les aéronefs de plus faible tonnage seraient généralement définis comme critiques, avec pour conséquence que la PCR imposerait des restrictions de masse opérationnelle déraisonnables sur les aéronefs de plus gros tonnage (car le trafic de référence inclut déjà les aéronefs de gros tonnage). Il convient de noter que si l'aéronef critique initial est également l'aéronef de la liste affichant l'ACR maximal à la masse opérationnelle, la procédure est alors achevée en une seule itération.

La PCR obtenue en appliquant cette procédure ne doit être valable que pour la durée de vie et pour les hypothèses de trafic pris en compte. En cas de réfection majeure de la chaussée ou de modifications importantes du trafic par rapport au trafic initial, une nouvelle évaluation devrait être effectuée.

Les schémas ci-dessous décrivent de façon synthétique cette procédure.



**Figure 6.** Représentation schématique de la procédure d'évaluation technique de la PCR d'une chaussée ( $D_{max}$  représente le  $CDF_{max}$ )



**Figure 7.** Logigramme d'évaluation technique de la PCR

Il est important de souligner que cette procédure n'impose pas l'utilisation d'un modèle privilégié de rupture/d'endommagement du terrain de fondation ou d'une méthode pour traiter la charge sur essieux multiples. Toutefois, il est nécessaire de s'assurer de l'utilisation des paramètres initiaux de conception de la chaussée pour une cohérence entre ce que la chaussée réelle est capable de supporter et l'attribution de la PCR.

L'incohérence entre les modèles de rupture/d'endommagement utilisés pour le dimensionnement de la chaussée et la détermination de la PCR peut entraîner :

- la sous-estimation de la PCR, et donc une utilisation non optimisée de la chaussée, un refus potentiel d'acceptation des aéronefs, une perte de revenus ;
- la surestimation de la PCR, et donc une détérioration accélérée de la chaussée, une réduction de la durée de vie de la chaussée et des réparations/réhabilitations prématurées de la chaussée.

À titre d'exemple, le tableau ci-dessous présente les valeurs de PCR obtenu en utilisant les mêmes données de trafic et de chaussée, mais en exploitant deux modèles d'endommagement/de rupture différents.

Modèles d'endommagement / rupture	CDF max	PCR	Commentaires
WÖHLER	1.15	740/F/C/X/T	Cohérence avec les paramètres initiaux de conception
BLEASDALE	0.2	900/F/C/X/T	Incohérence

Dans le cas de cet exemple, il est évident qu'en utilisant le modèle BLEASDALE qui n'est pas cohérent avec les paramètres initiaux de conception de la chaussée, la PCR est surestimée, ce qui conduirait à une détérioration accélérée de la chaussée.

De ce fait, l'utilisation du même modèle de rupture/d'endommagement que pour la conception de la chaussée assurera la cohérence entre ce que la chaussée est réellement capable de supporter et le PCR obtenue.

#### 4.2.3 Exemples d'évaluation technique

##### 4.2.3.1 Exemple N°1 pour une chaussée souple

#### Étape 1 – Étape 2 : Recueil des données

Considérons les données suivantes :

- Piste d'atterrissage nouvellement construite, méthode de dimensionnement française.
- Vitesse : 100 km/h
- Température : 15°C
- Sol de catégorie C,  $E = 80$  MPa
- Structure de chaussée.

CARACTÉRISTIQUES DE LA CHAUSSÉE				
Couches	Désignation	Module E (MPa)	Coefficient de Poisson	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	EB-BBSG <sub>3</sub>	$E = f(\theta, \text{fréq.})$	0,35	6
Couche de base	EB-GB <sub>3</sub>	$E = f(\theta, \text{fréq.})$	0,35	18
Couche de fondation (1)	GNT1	600	0,35	12
Couche de fondation (2)	GNT1	240	0,35	25
Terrain de fondation		80	0,35	$\infty$

- Durée de vie théorique : 10 ans
- Trafic.



ANALYSE DES DIFFÉRENTS TYPES D'AÉRONEFS			
N°	Modèle d'aéronef	Masse maximale au roulage (t)	Départs annuels
1	A321-200	93,9	14 600
2	A350-900	268,9	5 475
3	A380-800	571	1 825
4	B737-900	79,2	10 950
5	B787-8	228,4	3 650
6	B777-300ER	352,4	4 380

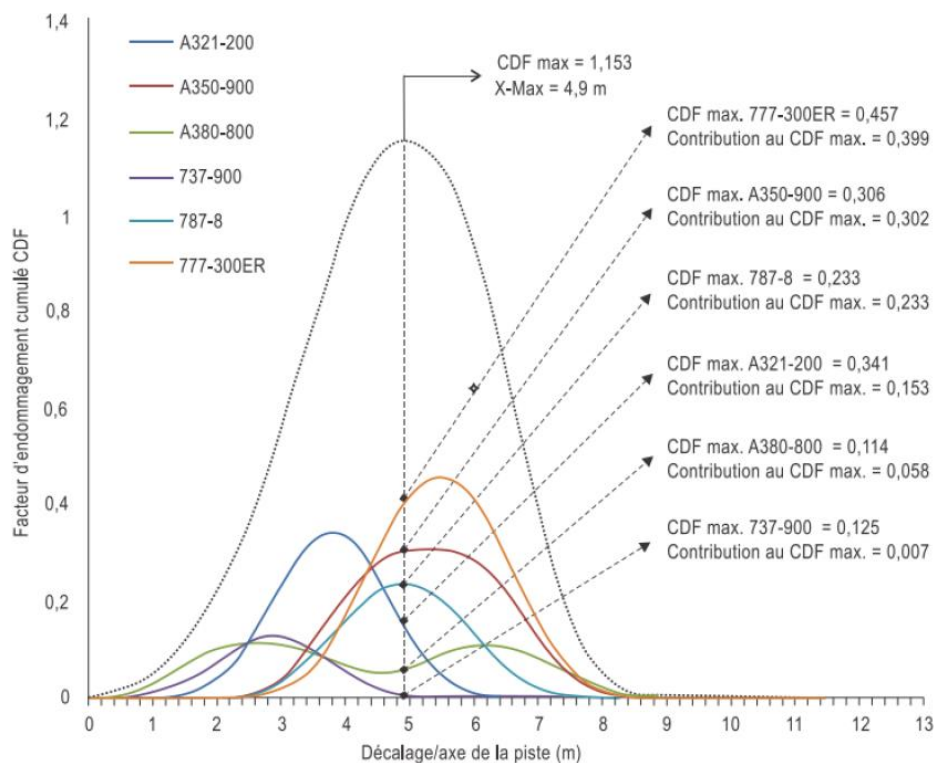
### Étape 3 – ACR des aéronefs à la masse opérationnelle

Les valeurs suivantes des ACR ont été calculées en utilisant le logiciel ICAO – ACR

	B777-300ER	A321-200	A350-900	B787-8	B737-9	A380-800
Masse opérationnelle (t)	352,4	93,9	268,9	228,4	79,2	571
ACR	790	550	720	680	450	650

L'aéronef présentant l'ACR max est le B777-300ER.

### Étape 4 - CDF de l'ensemble des différents types d'aéronefs



La figure ci-dessus ressort la contribution de chaque type d'aéronef au CDF total. La valeur maximale du CDF est de 1.153, située à un décalage de 4.9 m de l'axe de la piste. Elle est supérieure à 1.0, ce qui implique que la chaussée est sous dimensionnée pour le trafic analysé.

**Étape 5** - Sélection comme aéronef critique de l'aéronef dont la contribution au CDF maximal est la plus élevée.

La contribution la plus élevée au CDF maximal (0.399) est produite par le B777-300ER. Il est donc sélectionné comme l'aéronef qui contribue le plus au CDF maximal. Tous les autres aéronefs sont retirés.

**Étape 6** - Ajustement du nombre de départs de l'aéronef critique.

La contribution du B777-300ER au CDF maximal à son niveau initial de départ annuel est de 0.399. Le nombre de départs annuels est ajusté jusqu'à ce que le CDF soit égale à 1.153. Cette étape est réalisée par simple extrapolation linéaire soit 11 050 départs annuel équivalent du B777-300ER (110 500 départs).

**Étape 7** - Ajustement de la masse de l'aéronef critique pour obtenir un CDF maximal de 1,0.

La masse totale du B777-300ER est ajustée pour obtenir un CDF maximal de 1.0. En d'autres termes, la chaussée est maintenant correctement conçue pour accueillir le seul aéronef équivalent à sa masse ajustée et à son niveau équivalent de départs annuels. La masse totale maximale admissible est de 341.3 tonnes

**Étape 8** - Calcul de l'ACR de l'aéronef critique à sa masse totale maximale admissible.

L'ACR du B777-300ER à sa masse totale admissible est de 740/F/C.

**Étape 9** - Vérification si l'AC(i) est l'aéronef affichant l'ACR maximale de l'étape (3)

Si l'on compare avec la liste de l'étape 3, le B777-300ER est l'aéronef dont l'ACR est maximale. Par conséquent, la procédure prend fin. La PCR à publier est égal à l'ACR du B777-300ER à sa masse totale maximale admissible.

On peut directement passer à l'étape 13.

**Étape 13** - Définition de la PCR à reporter

**PCR 740/F/C/W/T**

Pour le code de pression des pneus, la lettre W est choisie puisque la chaussée évaluée est une nouvelle construction et que la composition de l'asphalte de surface a été conçue pour résister aux pressions des pneus imposées.

4.2.3.2 Exemple N°2 pour une chaussée souple

**Étape 1 - Étape 2** : Recueil des données

Considérons les données suivantes :

- piste en chaussée souple, méthode de dimensionnement FAA ;
- sol de catégorie A, E = 200 MPa ;
- structure de chaussée.

CARACTERISTIQUES DE LA CHAUSSEE				
Couches	Désignation	Module E (MPa)	Coefficient de Poisson	Epaisseur (cm)
Couche de roulement	Surface HMA P-401/P-403	1 379	0,35	10,2
Couche de base	P-401/P-403 (souple)	2 758	0,35	12,7
Couche de fondation	P-209	467	0,35	17,5
Terrain de fondation		200	0,35	infinie

- Durée de vie théorique : 20 ans

- Trafic.

COMPOSITION D'AÉRONEFS			
N°	Modèle d'aéronef	Masse maximale au roulage (t)	Départs annuels
1	A330-300	233,9	52
2	B777-300ER	352,4	52
3	A380-800	571	52
4	B737-900ER	85,4	10 950
5	A320-200	77,4	10 950
6	A321-200	93,9	1 560

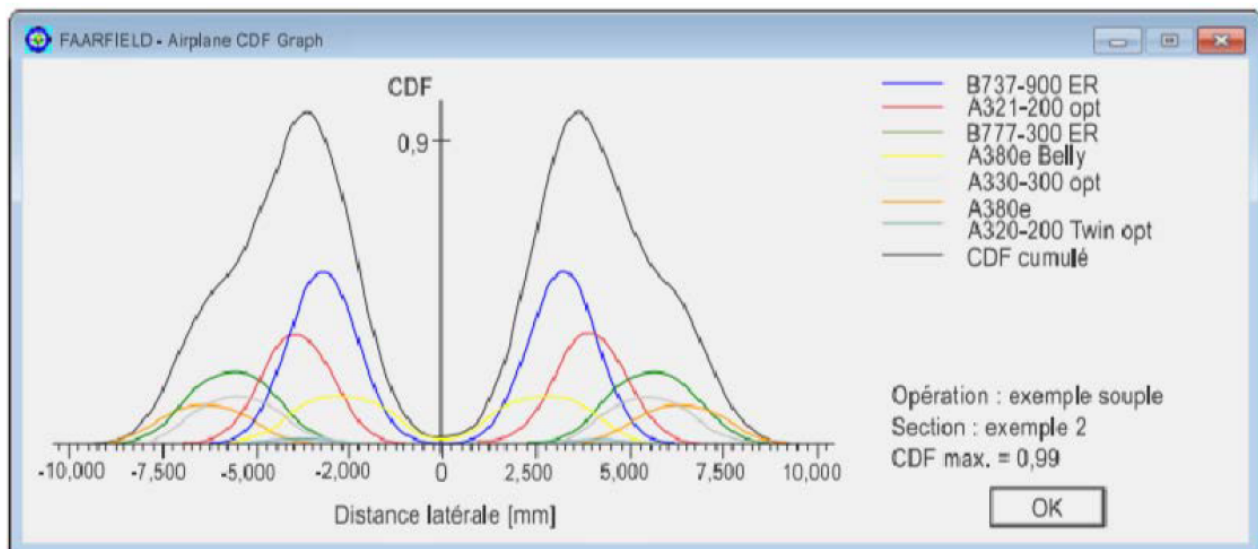
### Étape 3 - ACR des aéronefs à la masse opérationnelle

Les valeurs suivantes des ACR ont été calculées en utilisant le logiciel ICAO – ACR

	A321-200	B737-900ER	B777-300ER	A320-200	A330-300	A380-800
Masse opérationnelle (t)	93,9	85,4	352,4	77,4	233,9	571
ACR	460	420	570	360	570	550

Les aéronefs présentant les ACR max sont le B777-300ER et l'A330-300.

### Étape 4 - CDF de l'ensemble des différents types d'aéronefs



La figure ci-dessus ressort le CDF de chaque type aéronef, ainsi que le CDF total résultant de la contribution de chaque type d'aéronef. Ils sont calculés sur la base du logiciel FAARFIELD de la FAA. La valeur maximale du CDF est de 0,99, légèrement inférieure à 1,0, ce qui implique que la chaussée est correctement dimensionnée pour le trafic analysé. Ce CDF est établi sur la base des caractéristiques de l'aéronef pour la conception de l'épaisseur selon lesquels une part de 95% de la masse totale de l'aéronef agit sur le train principal. Toutefois, lorsque les caractéristiques sont ajustées pour refléter les valeurs de masse et de centres de gravité qui produisent les charges les plus élevées sur le train principal de chaque aéronef alors le CDF maximal est réduit à 0,898.

**Étape 5** - Sélection comme aéronef critique de l'aéronef dont la contribution au CDF maximal est la plus élevée.

Le B737-900ER est sélectionné comme l'aéronef qui contribue le plus au CDF maximal. Tous les autres aéronefs sont retirés.

**Étape 6** - Ajustement du nombre de départs de l'aéronef critique.

La contribution du B737-900ER au CDF maximal à son niveau initial de départs annuels est de 0.405. Le nombre de départs annuels est ajusté de manière itérative jusqu'à ce que le CDF soit égal à 0.898, soit 21 837 départs annuels équivalents du B737-900ER.

**Étape 7** - Ajustement de la masse de l'aéronef critique pour obtenir un CDF maximal de 1,0.

La masse totale du B737-900ER est ajustée pour obtenir un CDF maximal de 1.0. La chaussée est maintenant correctement conçue pour accueillir le seul aéronef équivalent à sa masse ajustée et à son niveau équivalent de départs annuels. La masse totale maximale admissible est de 85.77 tonnes

**Étape 8** - Calcul de l'ACR de l'aéronef critique à sa masse totale maximale admissible.

L'ACR du B737-900ER à sa masse totale admissible est de  $425/F/A = PCR_1$ .

**Étape 9** - Vérification si l'AC(i) est l'aéronef affichant l'ACR maximale de l'étape (3)

Si l'on compare avec la liste de l'étape 3, il s'avère que le B737-900ER n'est pas l'aéronef dont l'ACR est maximale. Par conséquent la procédure passe à l'étape 10.

**Étape 10** - Suppression de l'actuel aéronef critique AC(i) de la liste de trafic et réintroduction des autres aéronefs

Le B737-900ER est supprimé de la liste des aéronefs et tous les autres aéronefs sont réintroduits.

**Étape 11** - Calcul du CDF maximal de la liste d'aéronefs réduite et sélection du nouvel aéronef critique AC(i) ;

Dans les différents types d'aéronefs redits l'aéronef qui contribue le plus est l'A321-200 plus que l'emplacement du CDF maximal a été modifié par la suppression du .B737-900ER

**Étape 12** - Répétition des étapes 5 à 9 pour AC(i).

Les étapes 5 à 9 sont répétées jusqu'à ce que l'aéronef qui contribue le plus au CDF au décalage critique soit également l'aéronef dont l'ACR est maximale.

Dans cet exemple, la procédure récursive prend fin au 3e aéronef critique potentiel. Les valeurs PCR<sub>i</sub> qui ont été identifiés sont les suivantes :

- a) PCR<sub>1</sub> 425 F/A/W/T (premier aéronef critique, B737-900ER)
- b) PCR<sub>2</sub> 465 F/A/W/T (deuxième aéronef critique de la composition réduite d'aéronefs, A321-200)
- c) PCR<sub>3</sub> 580 F/A/W/T (troisième aéronef critique et aéronef dont l'ACR est maximale, B77-300ER)

PCR retenue = max (PCR<sub>1</sub>, PCR<sub>2</sub>, PCR<sub>3</sub>) = 580/F/A/W/T

**Étape 13** - Définition de la PCR à reporter

**PCR 580/F/A/W/T**

Comme la PCR rapportée est supérieure à l'ACR de la masse opérationnelle maximale de n'importe quel aéronef des différents types il n'y a pas de restriction de masse opérationnelle.

#### 4.2.3.3 Exemple N°3 pour une chaussée rigide

##### Étape 1 - Étape 2 : Recueil des données

Considérons les données suivantes :

- pour voie de circulation rigide, méthode de dimensionnement FAA.
- contrainte admissible de traction par flexion 4.5 Mpa
- sol de catégorie C, E = 90 Mpa
- structure de chaussée

CARACTÉRISTIQUES DE LA CHAUSSÉE				
Couches	Désignation	Module E (MPa)	Coefficient de Poisson	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	Béton au ciment Portland P-501	27 579	0,15	45,0
Couche de base	P-401/P-403 (souple)	2 758	0,35	12,5
Couche de fondation	P-209	311	0,35	30,0
Terrain de fondation	P-152	90	0,40	Infinie

- Durée de vie théorique : 20 ans
- Trafic.

ANALYSE DES DIFFÉRENTS TYPES D'AÉRONEFS				
N°	Modèle d'aéronef	Masse maximale au roulage (t)	Pourcentage de poids sur le train principal	Départs annuels
1	B747-8	440,0	94,7	365
2	A350-900	268,9	94,8	5 475
3	B787-8	228,4	91,3	3 650
4	A321-200	93,9	94,6	14 600
5	B737-900	79,2	94,6	10 950
6	EMB-190	48,0	95,0	10 950

### Étape 3 - ACR des aéronefs à la masse opérationnelle

Les valeurs suivantes des ACR ont été calculées en utilisant le logiciel ICAO – ACR

	B747-8	A350-900	B787-8	A321-200	B737-900	EMB-190
Masse opérationnelle (t)	440,0	268,9	228,4	93,9	79,2	48,0
ACR/R/C	910	920	870	660	550	290

L'aéronef présentant l'ACR max est le B777-300ER.

### Étape 4 - CDF de l'ensemble des différents types d'aéronefs

Le CDF est calculé sur l'ensemble de la flotte en additionnant les contributions au CDF maximal de chaque aéronef le long d'un axe transversal perpendiculaire à l'axe de la piste. La valeur maximale du CDF est de 1.242, et la contribution de chaque type d'aéronef est donnée dans le tableau suivant :

Contribution de l'aéronef au CDF au point de décalage critique (4,7 m)	
Aéronef	CDF
B747-8 (Train d'aile)	0,023
B747-8 (Train de fuselage)	0,001
A350-900	0,935
B787-8	0,158
A321-200	0,124
B737-900	0,001
EMB-190	0,000
Total	1,242

L'aéronef qui contribue le plus au CDF est l'A350-900.

**Étape 5** - Sélection comme aéronef critique de l'aéronef dont la contribution au CDF maximal est la plus élevée.

La contribution la plus élevée au CDF maximal (0.935) est produite par l' A350-900. Il est donc sélectionné comme l'aéronef qui contribue le plus au CDF maximal. Tous les autres aéronefs sont retirés.

**Étape 6** - Ajustement du nombre de départs de l'aéronef critique.

La contribution de l'A350-900 au CDF maximal à son niveau initial de départ annuel est de 0.935. Le nombre de départs annuels est ajusté jusqu'à ce que le CDF soit égale à 1.242, soit 7227 départs annuels équivalents de l' A350-900.

**Étape 7** - Ajustement de la masse de l'aéronef critique pour obtenir un CDF maximal de 1,0.

La masse totale de l' A350-900 est ajustée pour obtenir un CDF maximal de 1.0. La masse totale maximale admissible est de 270.4 tonnes.

**Étape 8** - Calcul de l'ACR de l'aéronef critique à sa masse totale maximale admissible.

L'ACR du A350-900 à sa masse totale admissible est de 906/R/C.

**Étape 9** - Vérification si l'AC(i) est l'aéronef affichant l'ACR maximale de l'étape (3)

Si l'on compare avec la liste de l'étape 3, le A350-900 est l'aéronef dont l'ACR est maximale. Par conséquent, la procédure prend fin. La PCR à publier est égal à l'ACR du A350-900 à sa masse totale maximale admissible.

On peut directement passer à l'étape 13.

**Étape 13**- Définition de la PCR à reporter**PCR 906/R/C/W/T**

Si l'aéroport publie cette PCR, des restrictions mineures de masse opérationnelle seront nécessaires pour l'A350-900. Par ailleurs, l'exploitation de l'A350-900 pourrait être autorisée dans le cadre des dispositions relatives à la surcharge car son ACR dépasse la PCR dans une mesure inférieure à la marge de 10%.

**4.3. ÉVALUATION BASEE SUR L'EXPERIENCE DES AERONEFS UTILISATEURS**

Lorsque, pour des raisons diverses, aucune évaluation technique n'est possible, l'évaluation peut se fonder sur l'expérience acquise avec les « aéronefs utilisateurs ». Cette évaluation s'appuie sur une connaissance du type et de la masse spécifiques des aéronefs supportés de manière « satisfaisante » dans le cadre d'une utilisation régulière.

**4.3.1 Description de la méthode**

On peut considérer qu'une chaussée qui supporte de façon satisfaisante un trafic donné peut supporter l'aéronef qui l'utilise régulièrement et tout autre aéronef qui n'est pas contraignant du point de vue de la résistance des chaussées. Par conséquent, pour évaluer une chaussée en se fondant sur les aéronefs utilisateurs, il faut commencer par déterminer le type et la masse de ces aéronefs ainsi que le nombre de fois qu'ils utilisent la chaussée au cours d'une période déterminée. Il est particulièrement important de déterminer l'aéronef le plus lourd qui utilise régulièrement la chaussée. Le fait qu'une chaussée supporte très occasionnellement une charge particulièrement lourde ne signifie pas obligatoirement qu'elle peut supporter des charges équivalentes de façon régulière.

Il faut ensuite examiner soigneusement l'effet des aéronefs sur la chaussée. Il est particulièrement important de tenir compte de l'état de chaussée en ce qui concerne la présence éventuelle de fissures, de déformation ou de traces d'usure et de l'expérience relative aux opérations d'entretien nécessaires. L'âge de la chaussée doit également être pris en considération, car les effets d'une surcharge ne sont pas toujours immédiatement apparents sur une chaussée neuve alors que l'accumulation des signes de dégradation peut être normale sur une chaussée ancienne. Cependant, on peut généralement considérer qu'une chaussée en bon état supporte de façon satisfaisante le trafic qu'elle reçoit tandis que les signes de dégradation qui s'aggravent indiquent que la chaussée est surchargée.

L'examen de l'état de la chaussée devrait porter notamment sur les différences de comportement entre les zones d'utilisation intenses et légères, par exemple dans les zones de passage des roues et à proximité de celles-ci, ou sur les voies de circulation les plus utilisées et les moins utilisées, dans les zones de freinage maximal (par exemple les embranchements de voies de circulation). Il faut aussi prendre note du comportement de toutes les zones connues comme critiques ou qui présentent des signes de faiblesse, par exemple les points bas du profil de la chaussée, les points de franchissement d'anciens cours d'eau ou de conduite lorsque le compactage initial a été insuffisant, les sections qui présentent des faiblesses de structure etc.

Ces observations permettront de prédire la vitesse de la détérioration provoquée par le trafic actuel et indiqueront par conséquent si la chaussée est surchargée ou, au contraire, si elle peut recevoir une charge supérieure. Cet examen devrait aussi porter sur les dommages provoqués par la pression des pneus des aéronefs utilisateurs afin d'évaluer la nécessité d'imposer des limites de pression.

L'étude du type de la masse des aéronefs indiquera les paramètres qui doivent être pris en compte pour caractériser l'aéronef de référence et les résultats de l'examen de l'état de la chaussée permettront de dire si la charge de l'aéronef de référence doit être inférieure à celle qui est appliquée ou si elle peut être un peu plus élevée. Étant donné que la répartition de la charge sur le terrain de fondation dépend dans une certaine mesure du type de chaussée et de la résistance du terrain de fondation l'aéronef de référence et sa masse ne peuvent être choisis tant que les éléments de la méthode ACR-PCR dont la publication doit accompagner celle de la PCR n'ont pas été établis.



Il faut d'abord déterminer si l'on a affaire à une chaussée rigide ou à une chaussée souple. Si l'élément structural principal de la chaussée est une dalle de béton Portland, la chaussée doit être considérée comme rigide, même si elle possède un revêtement bitumineux. En l'absence d'une telle dalle, on considérera qu'il s'agit d'une chaussée souple.

La résistance du terrain de fondation doit être classée dans l'une des catégories suivantes : **élevée, moyenne, faible ou ultra-faible**. Si l'on possède des données d'essai du module d'élasticité pour le terrain de fondation, celles-ci peuvent être utilisées directement pour choisir la catégorie de terrain de fondation. Toutefois, ces données doivent représenter l'état du terrain de fondation in situ. On peut également utiliser des données analogues recueillies pour des structures avoisinantes établies sur un sol de même type et de topographie analogue. Presque toutes les autres formes de données sur la résistance du sol (telles que les données CBR) peuvent être utilisées pour calculer un module d'élasticité E équivalent qui détermine la catégorie du terrain de fondation. Il est parfois possible d'obtenir des renseignements sur la résistance du terrain de fondation auprès des organismes locaux de travaux publics ou de certains organismes agricoles. La résistance du terrain de fondation peut aussi être déterminée directement, quoique de façon assez approximative, à partir de la classification du matériau qui le compose en s'aidant des nombreux tableaux d'équivalences existants. Les formules d'équivalence suivantes entre le CBR ou le module de réaction K du terrain de fondation et le module d'élasticité E pourront être utilisées :

$$EE=10 \times CCCCC (EE eeee MMMMM)$$

$$EE=20,15 \times KK1,284 (aaaaaaaEE eeee ppppppeeeeKK eeee pppppp)$$

En ce qui concerne la pression des pneus, la chaussée doit être classée dans l'une des quatre catégories suivantes : **illimitée, élevée, moyenne ou faible**. Les surfaces en béton au ciment Portland, de même que les surfaces bitumineuses dont la qualité est considérée comme bonne à excellente peuvent supporter les pressions de pneu courantes et elles devraient être classées dans la catégorie « illimitée », c'est-à-dire sans limite de pression. Les surfaces bitumineuses de qualité inférieure, de même que les surfaces granulaires ou de terre compactée correspondent aux catégories les plus basses. La catégorie de pression applicable devrait normalement être choisie en fonction de l'expérience acquise avec les aéronefs qui utilisent la chaussée. Ce choix devrait être fondé sur la pression la plus élevée qui est appliquée par les aéronefs sans provoquer de dégradation observable en excluant toutefois les aéronefs qui n'utilisent la chaussée que très rarement.

Lorsque le type de chaussée et la catégorie de terrain de fondation ont été déterminés, l'étape suivante consiste à déterminer les ACR des aéronefs utilisateurs. À cette fin, les informations nécessaires peuvent être obtenues par une analyse utilisant les méthodes ACR-PCR prescrites. La comparaison entre les aéronefs qui utilisent régulièrement la chaussée (à leur masse opérationnelle) permet de déterminer quel est l'aéronef le plus critique pour la chaussée.

Si celle-ci supporte de façon satisfaisante les aéronefs qu'elle reçoit, et si rien n'indique qu'elle pourrait recevoir un aéronef nettement plus lourd, il convient de retenir l'ACR de l'aéronef le plus critique comme mesure de la PCR de la chaussée. Ainsi, tout aéronef dont l'ACR n'est pas plus élevée que cette PCR pourra utiliser la chaussée sans en abrégier la durée de vie à condition que la fréquence d'utilisation (c'est-à-dire le nombre de mouvements par mois) ne dépasse pas celle des aéronefs qui l'utilisent déjà.

Seuls les aéronefs qui utilisent la chaussée de façon continue sans provoquer de dégradation inacceptable devraient être pris en compte pour déterminer l'aéronef critique. La présence occasionnelle d'un aéronef plus exigeant, même si elle ne s'accompagne d'aucune dégradation apparente, n'est pas suffisante pour garantir que la chaussée pourra supporter ce même aéronef de façon continue.



#### 4.3.2 Exemple

##### Données

Considérons une piste constituée essentiellement de couches en enrobés bitumineux, dont la structure a été renforcée cinq ans auparavant et ne présentant pas de dégradation d'ordre superficiel ou structurel majeure depuis cette période.

Les principaux aéronefs exploitant de façon régulière cette piste sont listés dans le tableau ci-dessous :

Aéronefs	Nombre de mouvements sur les cinq dernières années
B737-700	20 850
B737-800	12 743
A330-300	6 782
B777-200	4 941
A319-100	4 150
B737-400	3 337

La piste dispose d'une longueur suffisante pour accueillir les aéronefs indiqués dans ce tableau à pleine charge, sans restriction de masse. L'examen des données de masse et centrage montrent notamment que certains de ces aéronefs ont déjà décollé de cette piste à leur masse maximale au décollage.

Les récents travaux de renforcement réalisés sur cette chaussée ont démontré que le sol de fondation a en moyenne un CBR égal à 11.

##### Résolution

La chaussée étant constituée de couches en enrobés bitumineux, elle est considérée comme une chaussée flexible (F). Par ailleurs, compte tenu du fait qu'elle ne présente pas de dégradation majeure depuis les dernières opérations de renforcement, on peut considérer qu'elle est capable de supporter le trafic qui lui est appliqué et sans limite de pression de pneus (W).

Le CBR étant en moyenne égal à 11 dans cette zone, une approximation de son module d'élasticité peut être donnée par la formule suivante :

$$EE=10 \times CCCCCC=10 \times 11=110 \text{ MMMMMM}$$

Cette valeur correspond à un sol de fondation de catégorie de résistance moyenne (B).



En considérant les données de trafic observées sur les 5 dernières années, les valeurs d' ACR des aéronefs utilisant de façon régulière cette piste sont données dans le tableau suivant.

Elles sont calculées à partir du logiciel ICAO-ACR et en considérant leurs masses maximales au décollage comme étant leurs masses opérationnelles, compte tenu du fait que des décollages à la masse maximale ont déjà été enregistrés sur cette piste.

Aéronefs	Nombre de mouvements sur les cinq dernières années	ACR <sub>max</sub> pour la catégorie de sol de fondation B
B737-700	20 850	345
B737-800	12 743	410
A330-300	6 782	588
B777-200	4 941	248
A319-100	4 150	302
B737-400	3 337	350

Compte tenu du fait que tous ces aéronefs exploitent de façon régulière cette piste, la valeur maximale des ACR calculées peut être retenue comme étant la PCR de cette chaussée.

De ce fait, la PCR à communiquer serait : **PCR = 588/F/B/W/U.**

## CHAPITRE 5. EXPLOITATION EN SURCHARGE

### 5.1. DEFINITION

Des charges supérieures à la charge définie (par le calcul ou l'évaluation) écourtent la durée de service prévue d'une chaussée, alors que des charges plus faibles la prolongent. Sauf en cas de surcharge excessive, la résistance d'une chaussée n'est pas limitée par l'application d'une charge particulière au-delà de laquelle elle cède subitement ou de façon catastrophique.

Il peut y avoir surcharge d'une chaussée dans les 3 cas suivants :

- lorsque la charge appliquée est trop forte ;
- lorsque la fréquence d'utilisation augmente sensiblement ; ou
- lorsque ces deux éventualités se présentent en même temps.

### 5.2. CRITERES POUR L'EXPLOITATION D'UNE CHAUSSEE EN SURCHARGE

Le comportement d'une chaussée est tel que celle-ci peut supporter un certain nombre d'applications répétées d'une charge définissable pendant sa durée de service théorique. Par conséquent, on peut tolérer l'application occasionnelle d'une faible surcharge, si nécessaire, moyennant seulement une réduction limitée de la durée de service prévue de la chaussée et une accélération relativement faible du processus de détérioration de la chaussée.

Pour les cas où l'importance de la charge et/ou la fréquence d'utilisation ne justifient pas une analyse détaillée, les critères ci-après seront appliqués :

- a) pour les chaussées souples et les chaussées rigides, des mouvements occasionnels d'aéronefs seront permis si l'ACR ne dépasse pas de plus de 10 % de la PCR communiquée ;
- b) le nombre annuel de mouvements en surcharge ne dépassera pas environ 5 % du total annuel des mouvements à l'exclusion des aéronefs légers.

Ces mouvements en surcharge ne seront pas autorisés sur des chaussées qui présentent des signes de faiblesse ou de rupture. De plus, toute surcharge sera évitée pendant les périodes de dégel en profondeur ou lorsque la résistance de la chaussée et de son terrain de fondation peut être affaiblie par l'eau. En cas d'exploitation en surcharge, l'autorité appropriée vérifiera périodiquement l'état des chaussées ainsi que les critères d'exploitation en surcharge étant donné que la répétition excessive des surcharges peut abrégé fortement la durée de service de la chaussée ou exiger des travaux de réfection de grande envergure.

### 5.3. ANALYSE TECHNIQUE DE LA SURCHARGE

Les surcharges supérieures à 10 % (ACR dépasse de plus de 10 % de la PCR communiquée) peuvent être envisagées au cas par cas lorsqu'elles sont étayées par une analyse technique plus détaillée. Lorsque l'exploitation en surcharge dépasse les tolérances décrites à la section 5.2, une analyse de la chaussée est nécessaire pour admettre les charges supplémentaires proposées, qui n'étaient pas prévues dans la conception initiale de la chaussée.

Dans ces cas, l'analyse de la chaussée déterminera comment l'exploitation en surcharge contribue au CDF maximal lorsqu'elle est combinée à la composition réelle d'aéronefs. En effet, l'ACR en tant qu'indicateur relatif, même si elle dépasse la PCR rapportée, ne peut pas prédire comment l'aéronef en surcharge influera sur le comportement structurel de la chaussée et/ou sa durée de vie théorique, car cela dépendra fortement de son décalage par rapport à l'emplacement du CDF maximal produit par les différents types d'aéronefs (décalage critique).

L'analyse de la chaussée consisterait alors à déterminer le nombre d'opérations en surcharge autorisées pour que le CDF de l'ensemble des aéronefs de la composition, y compris l'aéronef en surcharge, reste dans les tolérances admises par l'autorité compétente.

## 5.4. CONSEILS SUR LES OPERATIONS DE SURCHARGE

### Surveillance et entretien

L'exploitant d'aérodrome établira des procédures spécifiques pour les opérations en surcharge.

Lorsque des opérations de surcharge sont effectuées, l'exploitant d'aérodrome inspectera régulièrement l'état de la chaussée. Il révisera périodiquement les critères pour les opérations de surcharge. La répétition excessive des surcharges peut entraîner une réduction significative de la durée de service de la chaussée ou accélérer sa dégradation.

L'exploitant d'aérodrome réparera aussi les fissures, les nids-de-poule et les zones affaissées pour maintenir la résistance de la chaussée.

Aucune exploitation en surcharge ne doit être autorisée lorsque la chaussée présente des signes de dégradations avancées.

L'exploitant d'aérodrome devra également prendre en compte les aspects suivants pour une analyse coût/bénéfice pour compléter l'analyse technique avant de permettre des exploitations en surcharge :

- identification des coûts tels que des coûts de construction et de renforcement de la chaussée, des coûts d'entretien et des coûts indirects c'est-à-dire ceux qui sont aux perturbations des opérations aéroportuaires pendant les travaux de construction et de renforcement de la chaussée, de l'impact sur les compagnies aériennes et les passagers ;
- identification des bénéfices tels que l'amélioration de la compétitivité, augmentation de la capacité en termes de trafics et de revenus, réduction des coûts opérationnels ;
- analyse des impacts environnementaux : Évaluation des effets potentiels sur l'environnement, tels que l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre ;
- évaluation des risques : identification des risques potentiels liés à l'augmentation de la charge, comme les défaillances structurelles ou les accidents ;
- évaluation du rapport coût-bénéfice : comparaison des coûts totaux avec les bénéfices attendus pour déterminer si l'opération est économiquement viable.

## 5.5. EXEMPLES D'ETUDES DE CAS

### Hypothèse générale

Une chaussée souple a été conçue (selon la méthode française de conception rationnelle) pour accueillir un trafic d'aéronefs monocouloirs/moyens de gamme/à fuselage standard pour recevoir 25 mouvements quotidiens sur 10 ans. La structure de la chaussée désignée a un CDF maximum de 0.95. La PCR calculée et publiée est PCR = 560 F/C/W/T.

#### Cas 1

**Théorie :** Une nouvelle compagnie aérienne est disposée à opérer un mouvement quotidien vers une destination long-courrier avec un A321neo LR entièrement chargé.

**Analyse :** L'ACR de l'A321neo LR à la masse maximale de roulage (97,4 t) est de 580 F/C et dépasse donc le PCR (560 F/C) de 4% (moins de 10 %). En effet,  $ACR-PCR=580-560=20$  ce qui est inférieur à  $10\% \times PCR=0.1 \times 560=56$ .

Le nombre de mouvements de surcharge de cet aéronef en une année est de  $1 \times 365 = 365$  mouvements (en raison de 1/jour) et ne doit pas dépasser 5% du nombre total de mouvements annuels, c'est-à-dire en raison de 25/jour,  $5\% \times 25 \times 365 = 456.25$  mouvements qui sont supérieurs à 365 mouvements.

**Conclusion :** Les deux critères d'exploitation en surcharge sont donc respectés. L'A321neo LR peut être accueilli sans restriction et à fortiori à 91 mouvements annuels ( $456.25-365=91.25$  mouvements/an).

## Cas 2

**Théorie :** Une nouvelle compagnie aérienne souhaite effectuer 5 rotations hebdomadaires vers une destination long-courrier avec un A330-300 entièrement chargé (1 rotation = 1 décollage + 1 atterrissage = 2 mouvements donc 5 rotations = 10 mouvements).

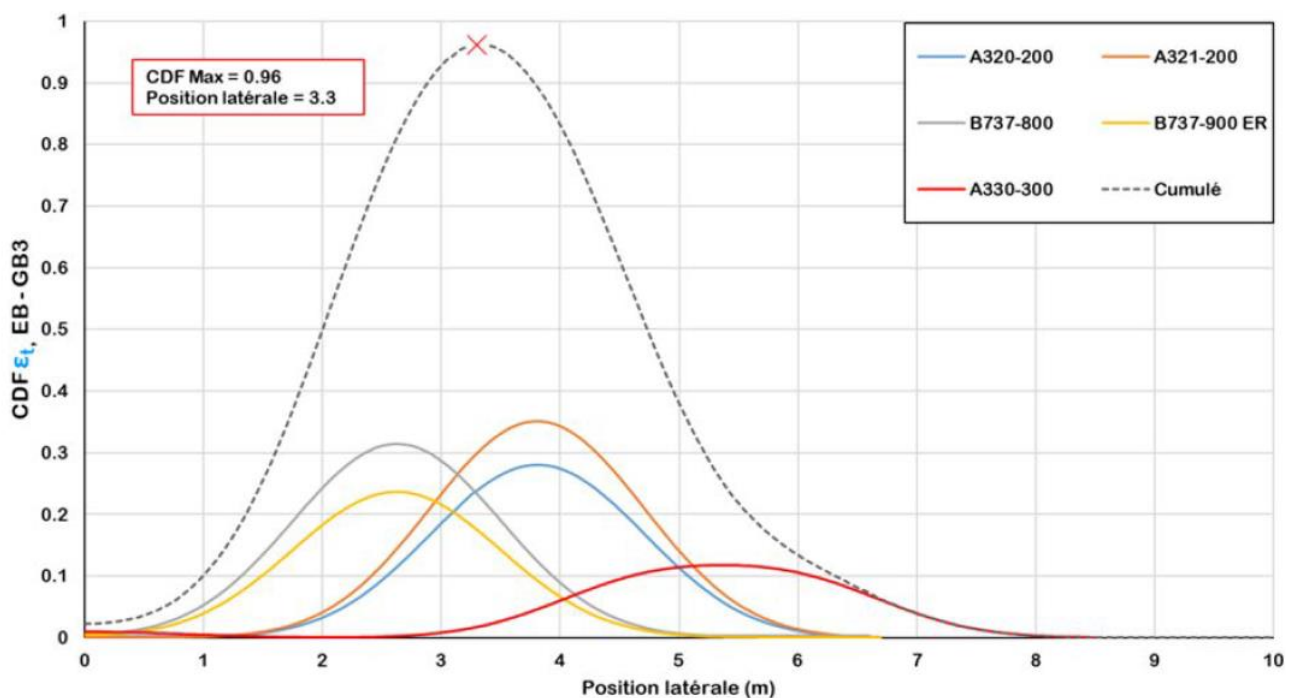
**Analyse :** L'ACR de l'A330-300 à la masse maximale de roulage (233,9 t) est de 656 F/C et dépasse donc le PCR (560 F/C) de 17% (>10%). En effet,  $(656-560)/560=17.14\%$ .

D'après l'analyse du cas 1, le nombre de mouvements annuels doit se limiter à  $5\% \times 25 \times 365 = 456.25$  mouvements. L'A330-300 effectue 5 rotations hebdomadaires donc 10 mouvements hebdomadaires, soit  $10 \times 52$  semaines = 520 mouvements annuels. Le nombre de mouvements de surcharge dépasse les 5 % du nombre total de mouvements (456.25 mouvements/an).

**Conclusion :** Le nombre de mouvements de surcharge admissible en plus des opérations de surcharge de l'A321 néo LR étant  $456.25 - 365 = 91.25$  mouvements annuels, le dépassement nécessite une évaluation technique.

En introduisant le nouvel aéronef dans le trafic, le dommage calculé reste inférieur à 1 ( $D=0.96$ ). Ceci est justifié par la position latérale de l'A330-300 qui ne coïncide pas avec la position du dommage maximale avant sa prise en compte.

L'aéronef peut donc être accueilli sans impact sur la vie résiduelle.



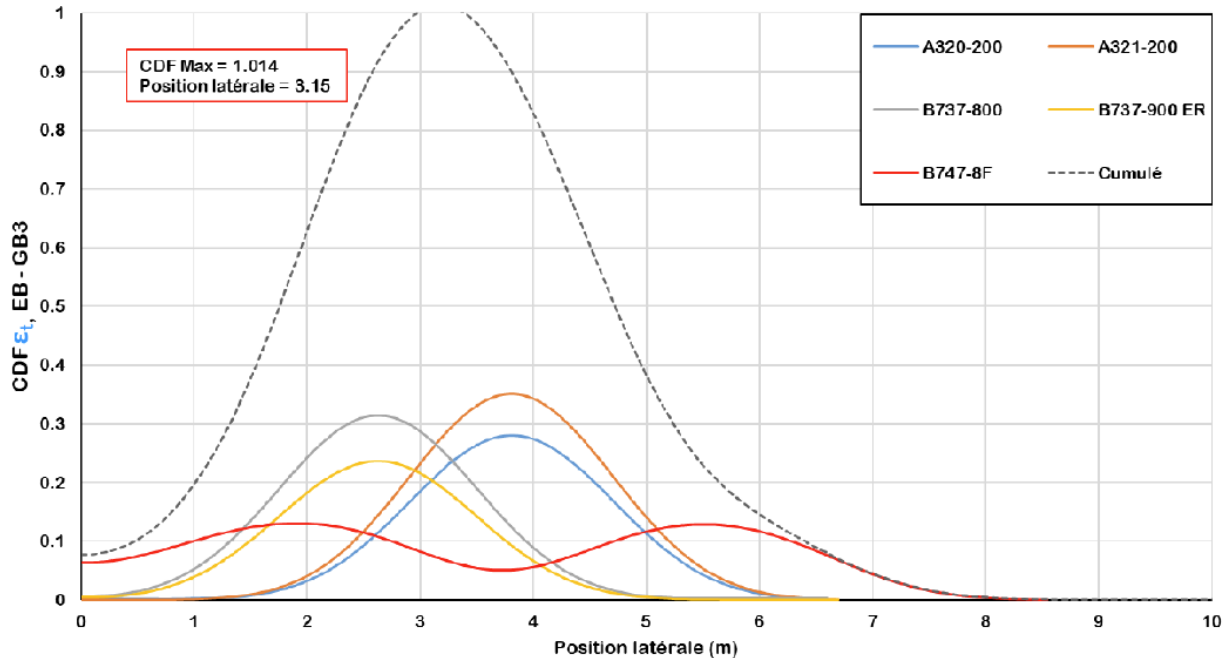
## Cas 3

**Théorie :** Une nouvelle compagnie aérienne souhaite effectuer 5 rotations hebdomadaires de fret avec un B747-8F entièrement chargé. (1 rotation = 1 décollage + 1 atterrissage = 2 mouvements)

**Analyse :** L'ACR du B747-8F à la masse maximale de roulage (449.1 t) est de 732 F/C et dépasse donc le PCR (560 F/C) de 30% (>10%). Le nombre de mouvements de surcharge (1.5/jour) dépasse les 5 % du nombre total de mouvements (25/jour).

**Conclusion :** Le dépassement nécessite une évaluation technique.

En introduisant le nouvel aéronef dans le trafic, le dommage calculé devient supérieur à 1 ( $D=1.014$ ). L'aéronef peut donc être accueilli dans les conditions proposées avec une réduction de la vie résiduelle de la chaussée. Des limitations de poids doivent être imposées (423 t au lieu de 449.1 t) ou de nombres de mouvements (4 rotations hebdomadaires au lieu de 5) pour garder la même vie résiduelle.



**\*\*FIN\*\***