

Engommage des chaussées aéronautiques

Célien GOOSSAERT
Service technique de l'aviation civile
Crédit photo STAC

Sommaire

- 1) Etat des lieux de l'engommage
- 2) Expérimentation
- 3) Résultats
- 4) Analyse et gestion du risque
- 5) Perspectives et conclusion



ETAT DES LIEUX DE L'ENGOMMAGE

Une première enquête engommage



Quels sont les mécanismes d'usure provoquant l'engommage ?



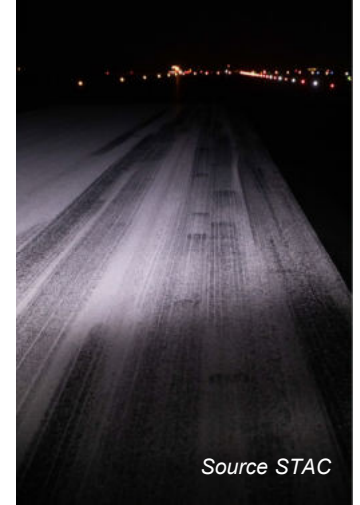
Quels sont les risques associés à l'engommage ?



Comment réduire l'usure des Bdr pneu ?



Comment prévoir mes cycles de dégommage ?

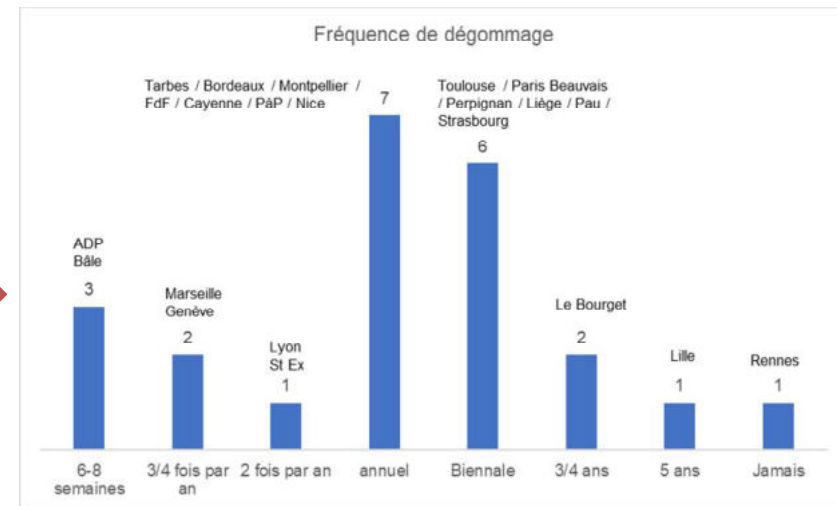


Source STAC

24 réponses pour 22 aéroports de métropole et d'outre-mer

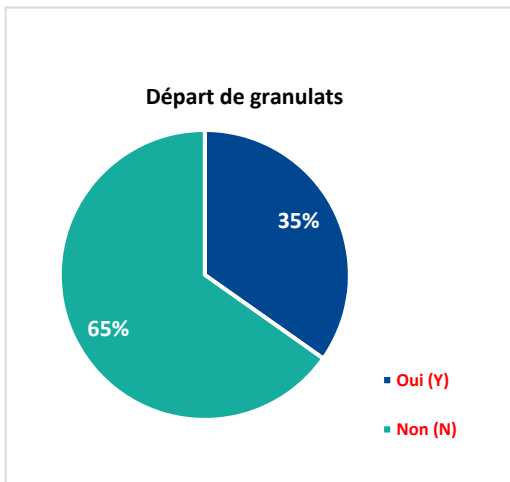
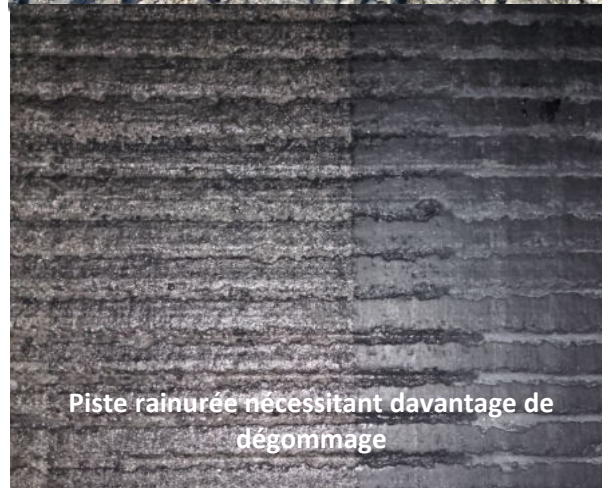
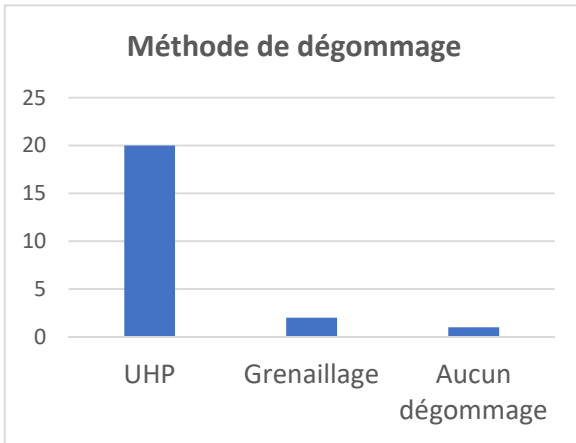
90 % des couches de roulement sont en enrobé

Aux fréquences de dégommages très variées



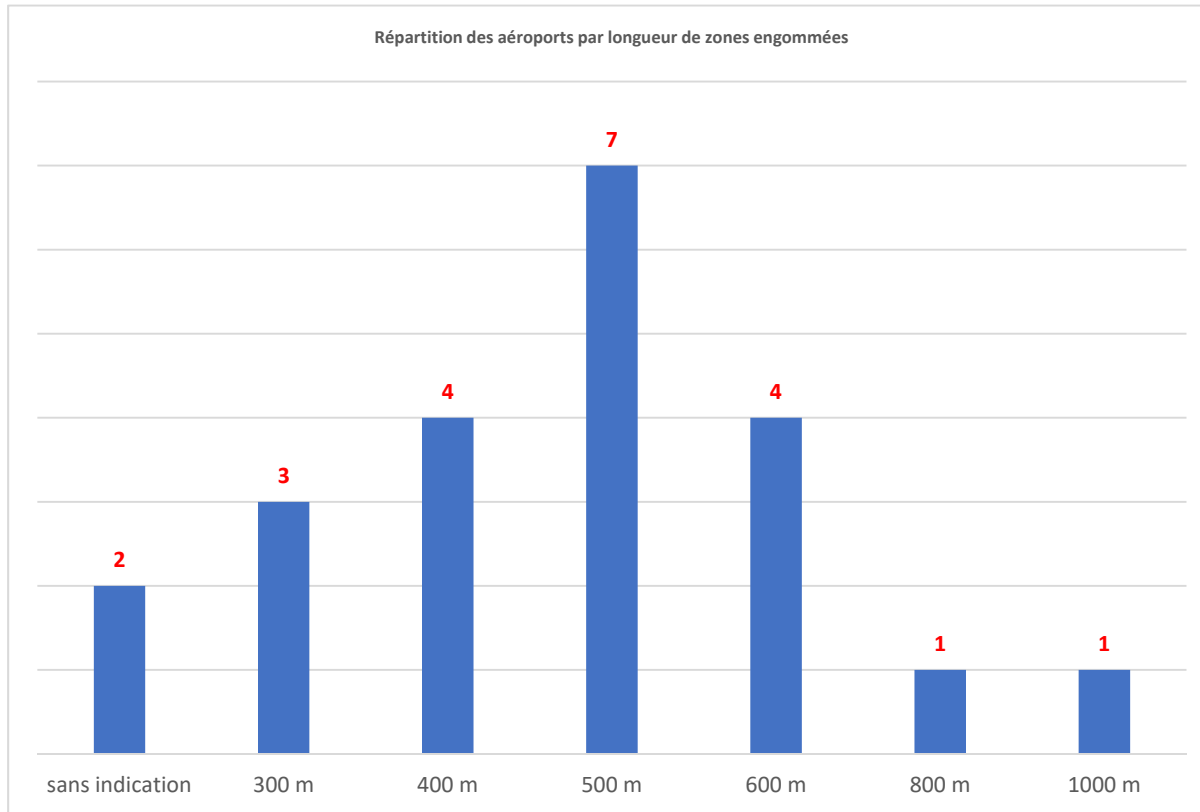
Suivi des pistes et maintenance

Techniques de dégommage



Description de l'engommage

Causes et constats



Comment quantifier ma réduction d'adhérence fonctionnelle causée par la gomme au fil du temps ?

2 enjeux liés
au suivi simultané
d'**adhérence** et de
macrotecture

Sécuritaire

- *Prévoir à partir de quel niveau d'engommage la piste mouillée devient-elle dangereuse ?*

Pratico-scientifique

- Relier CFL et PMP + outil de prévision du rythme d'engommage



EXPÉRIMENTATION

Choix des plateformes

Aéroport de Roissy CDG, piste 09L 27R

- Réalisée durant l'hiver 2021/2022
- Piste neuve
- Atterrissages aux deux seuils

- 07/10/2021 (piste neuve)
 - 17/11/2021
 - 02/12/2021
 - 15/12/2021
 - 14/01/2022
 - 27/01/2022
 - 09/02/2022
 - 24/02/2022
 - 09/03/2022
 - 12/04/2022 (avant dégommage)
- 10 dates**

Engommage présumé lent

Aéroport d'ORLY, piste 07/25

- Réalisée durant l'été 2023
- 1 sens préférentiel très marqué (seuil 25)

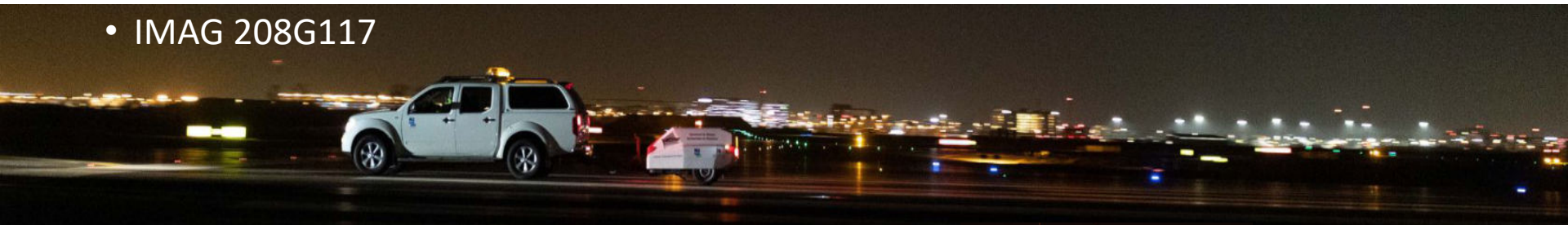
- 14/06/2023 (piste dégommée)
 - 30/06/2023 (piste dégommée)
 - 12/07/2023
 - 19/07/2023
 - 02/08/2023
 - 09/08/2023
 - 17/08/2023
 - 23/08/2023 (avant dégommage)
- 8 dates**

Engommage présumé rapide

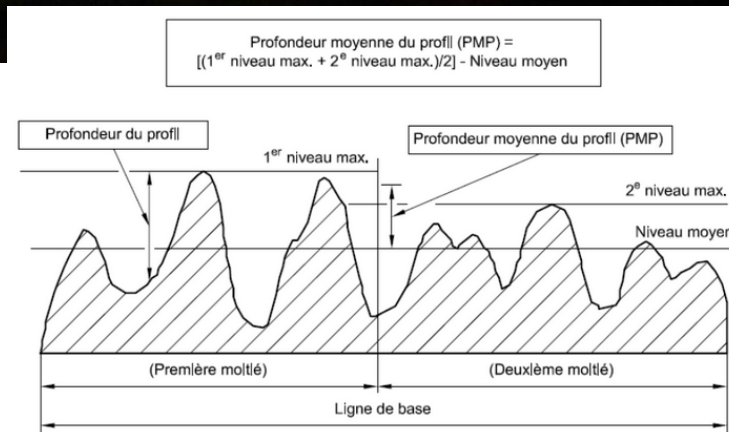
Pourquoi deux plateformes ? Rythme d'engommage différent selon le trafic aéroport, la saison et le type d'enrobé

Matériels

- IMAG 208G117



- Rugolaser2



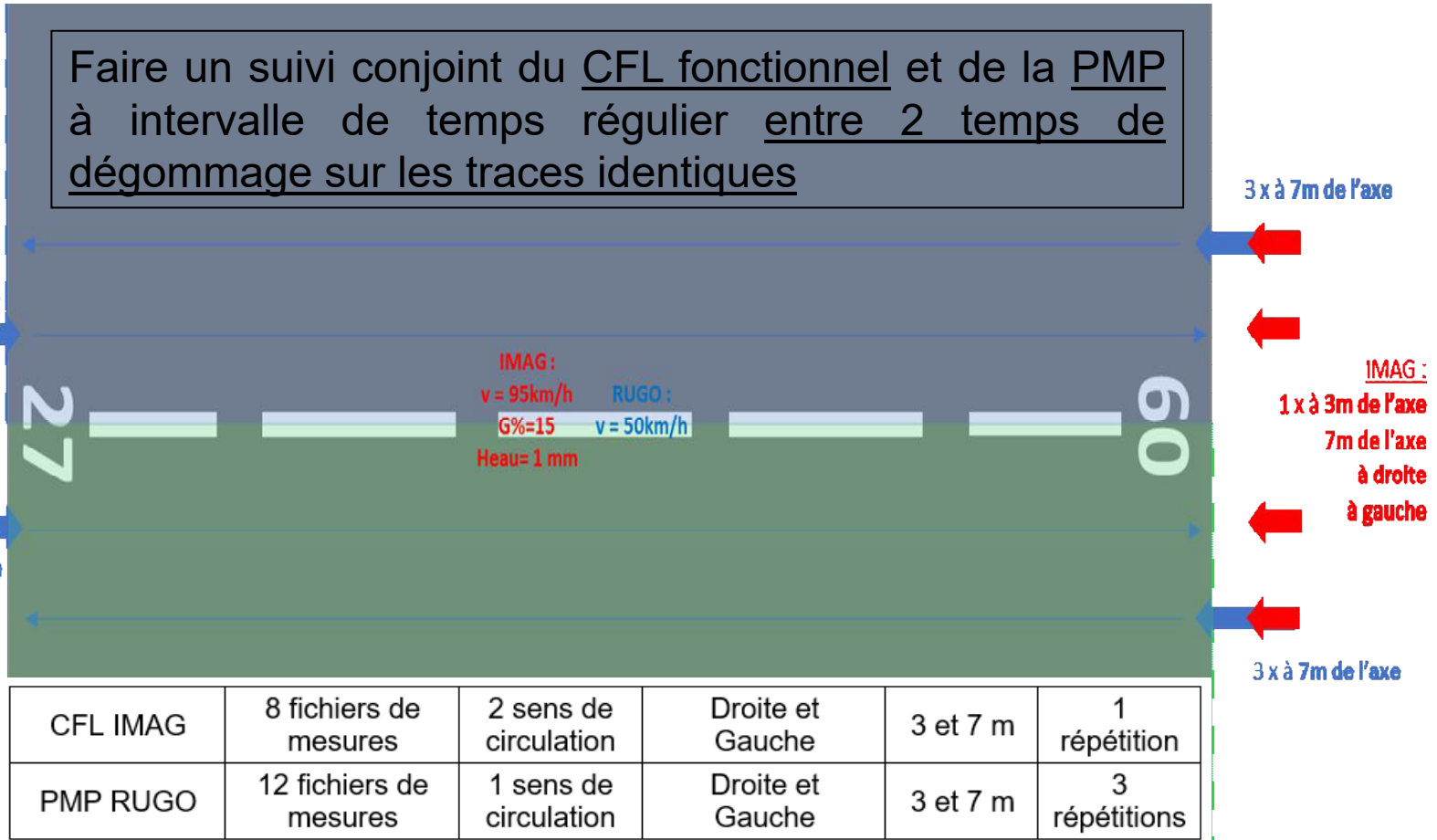
(Source) ISO 13473-1:2019



- GPS Georm F90 de précision centimétrique



Démarche





RÉSULTATS

Hypothèses d'analyse



Zones engommées

Z1 09L

Z2 27R

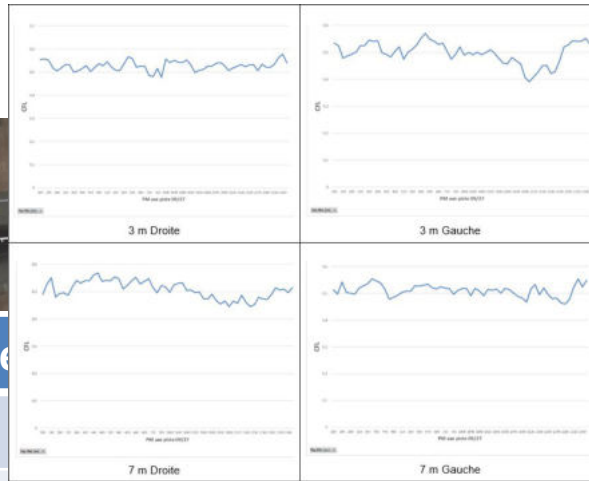
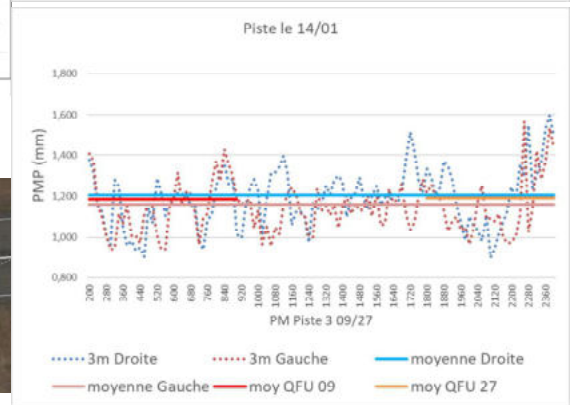
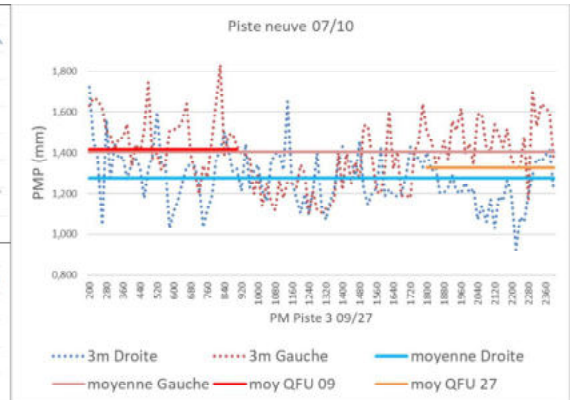
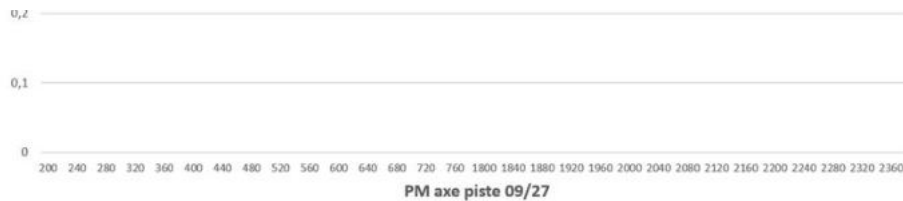


Figure 8 : Disparités du CFL sur piste neuve (07/10)
Z000-2400



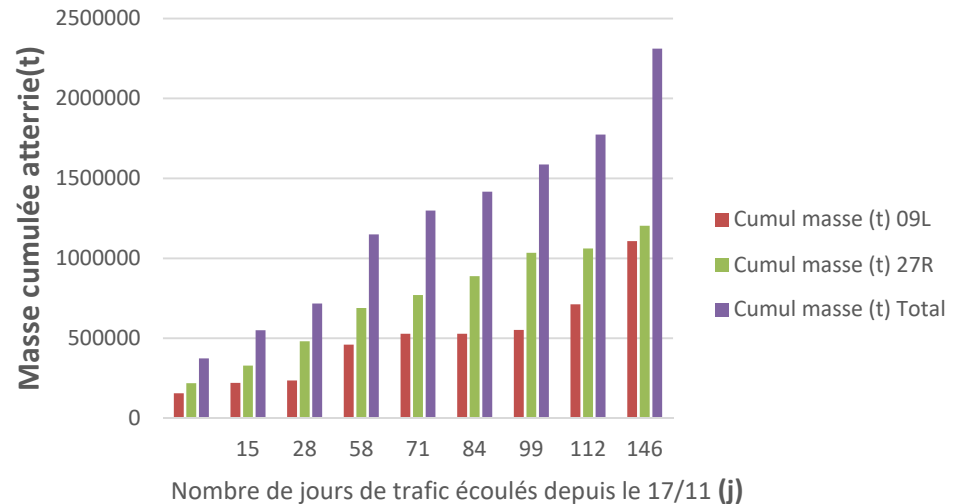
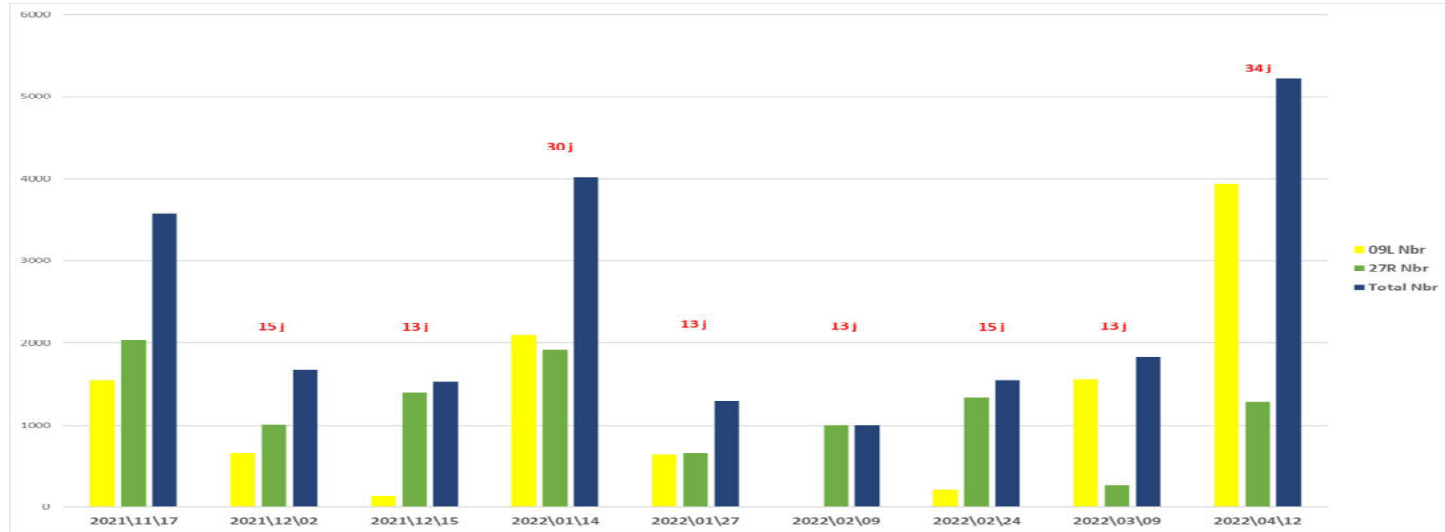
Analyse sur



Evolution du trafic

Piste 3 Roissy CDG

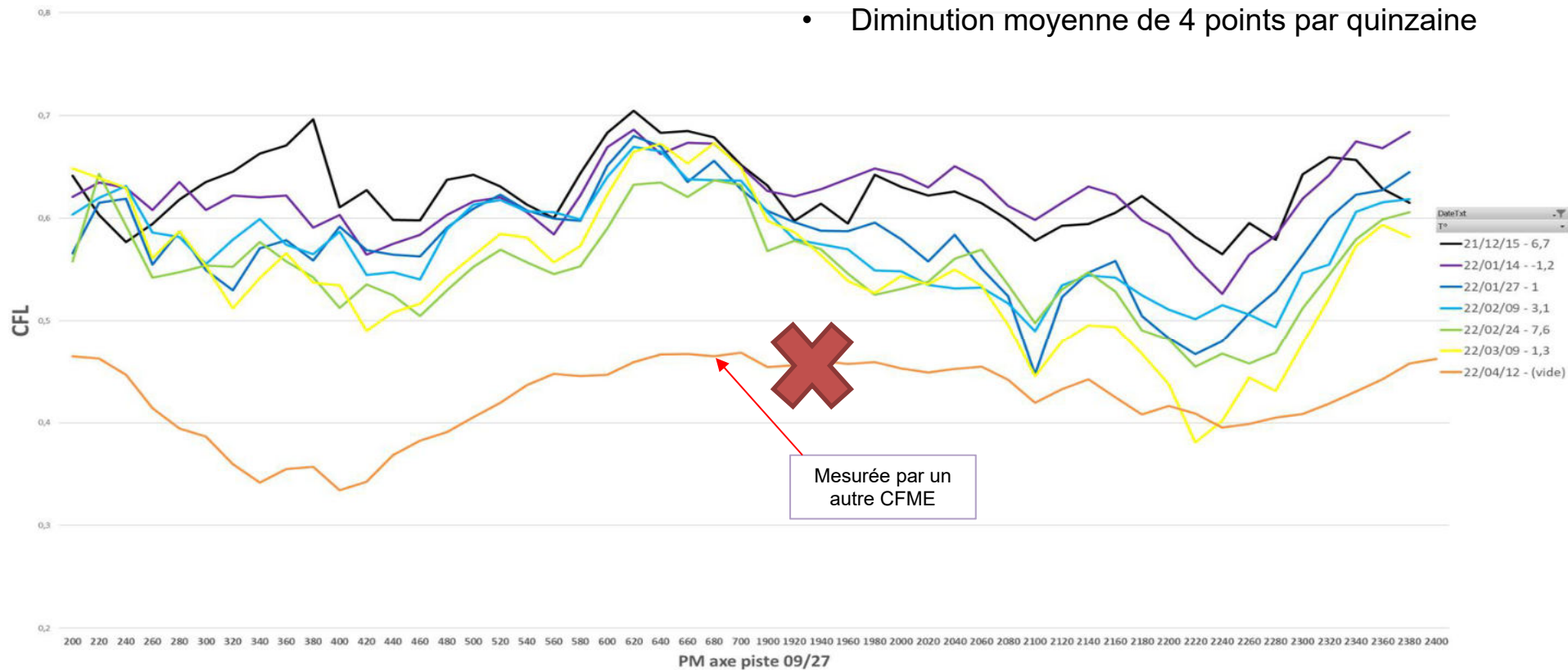
- L'avion le plus fréquent est l'A320 f=1/5
- Analyse réalisée sur la masse maximale à l'atterrissage
- 2 périodes de trafic plus faible
- Seuil 27 préférentiel avant inversion en mars



Evolution du CFL

Piste 3 Roissy CDG

- Moyenne sur zones engommées = [260-580] ET [1920-2400]
- Diminution moyenne de 4 points par quinzaine

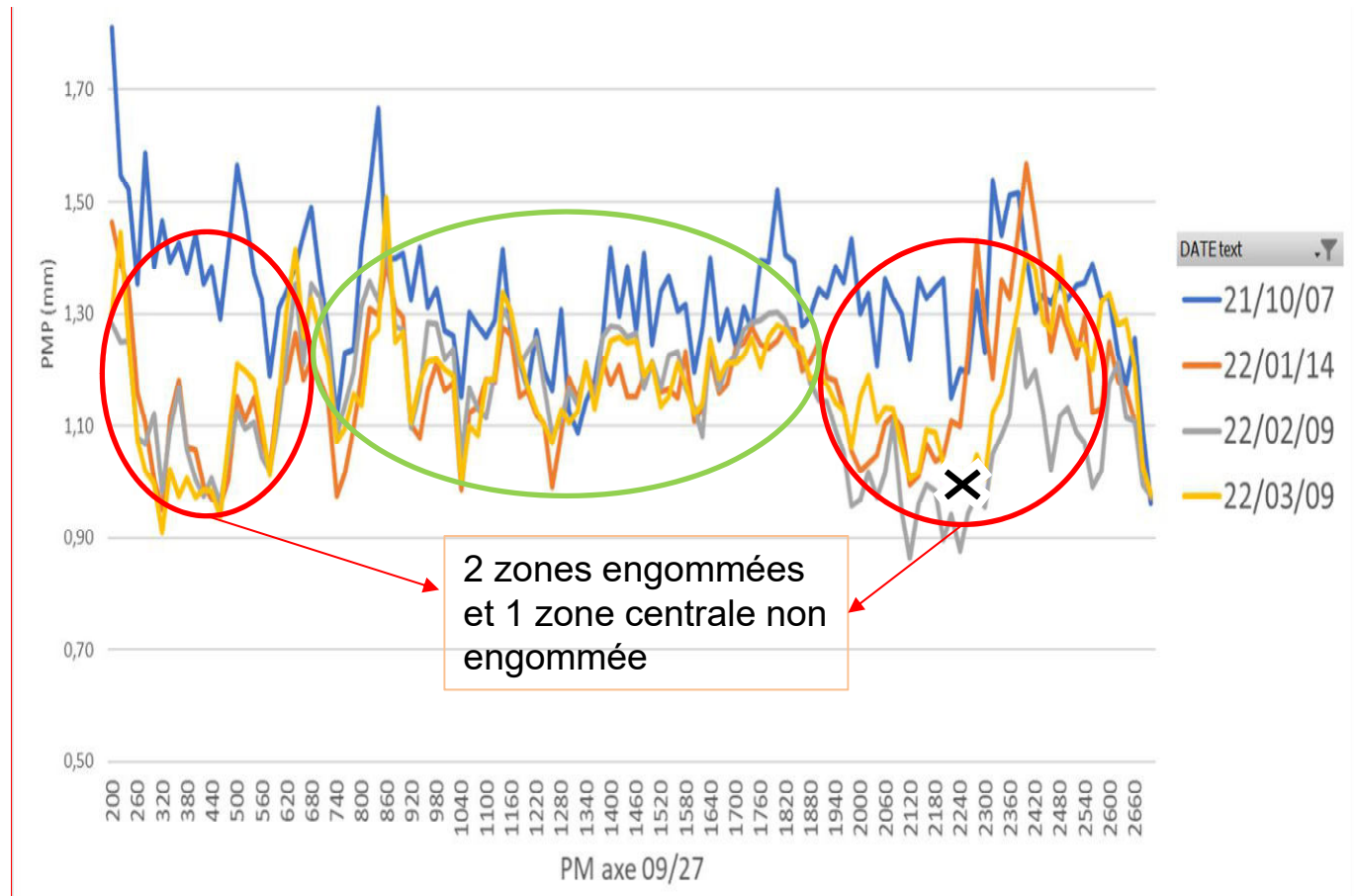


Evolution de la macrotexture

Piste 3 Roissy CDG

Bilan :

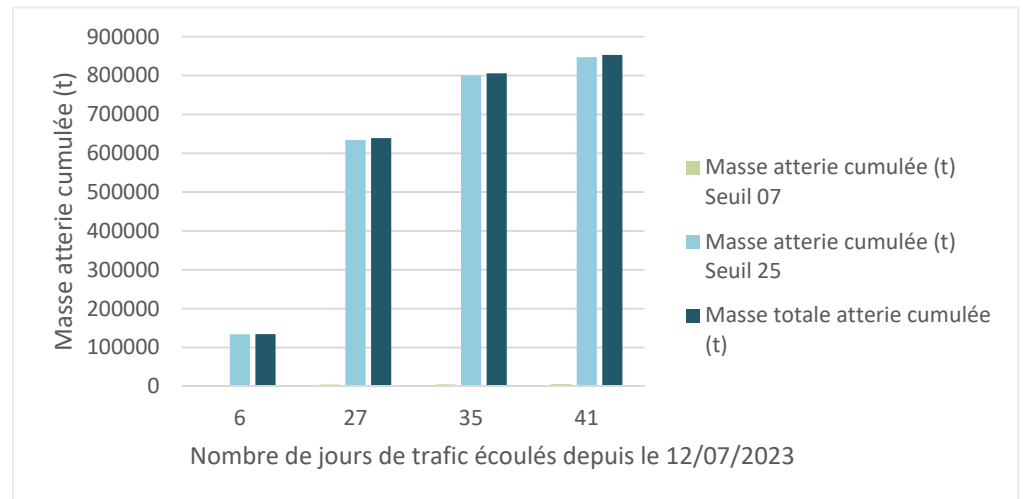
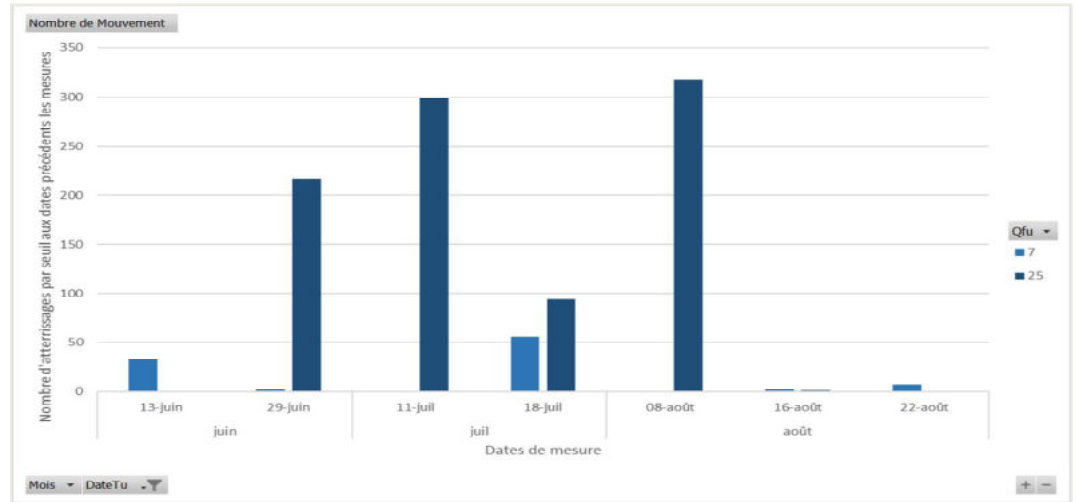
- Trace GPS entre 2 et 4 m
⇒ Représentatif du train A320
- Variations longitudinales respectées
- 1 date exploitable tous les mois



Evolution du trafic

Piste 07/25 ORY

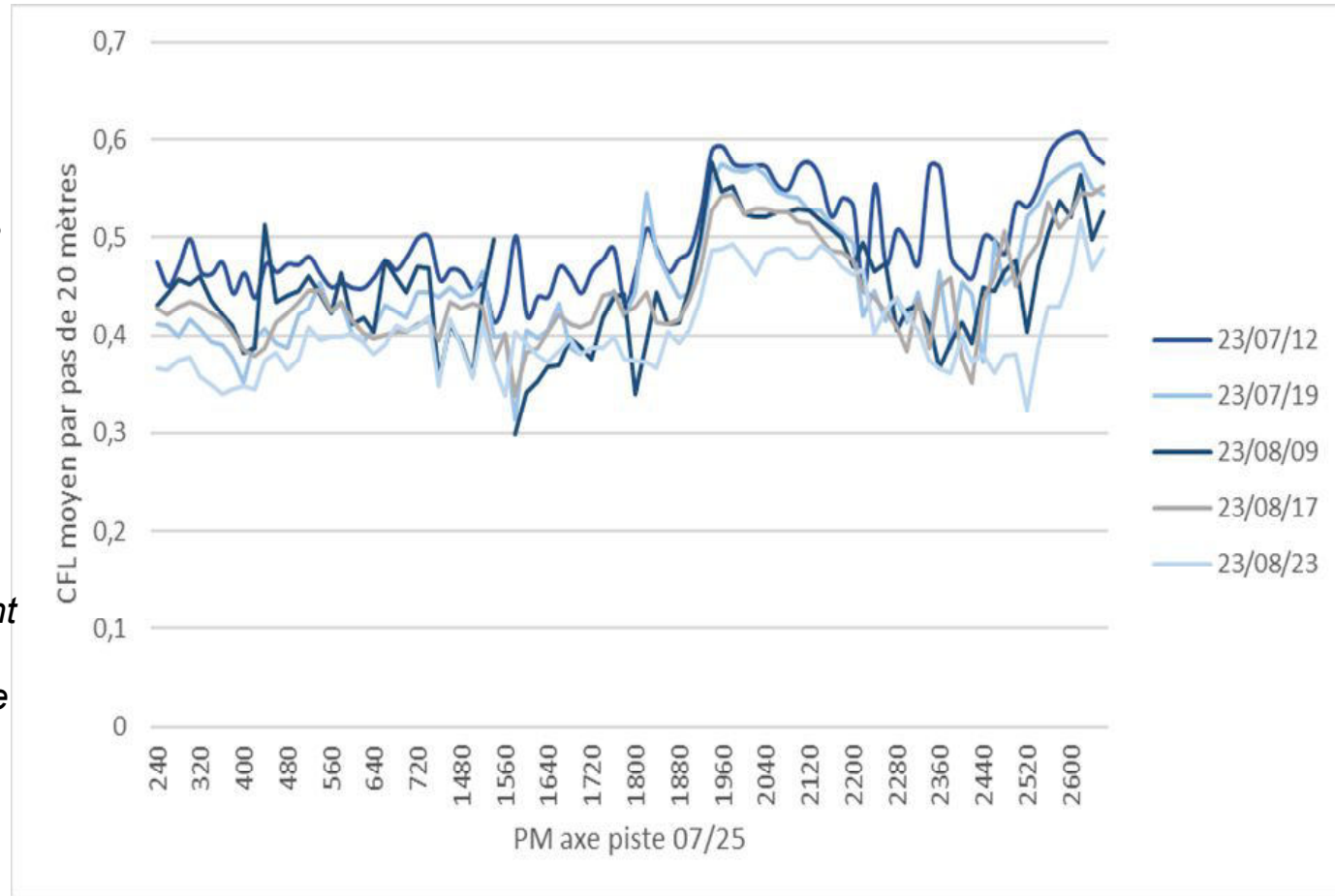
- Avion le plus fréquent : B738 (train d'atterrissage à 3 m de l'axe) et A320
- Trafic irrégulier
- Croissance linéaire jusqu'au 34^e jour
- Seuil 07 de décollage (face à l'EST) rarement utilisé et non intégré dans l'étude



Evolution du CFL

Piste 07/25 ORY

- ↓ de 3 à 4 points en moyenne sur une période de 6 à 7 jours
- Pas de diminution significative du CFL entre le 19/07 et le 08/09 **MALGRE** 6500 atterrissages
 - *Température de chaussée impactant la mesure*
 - *Indicateur physique trop isolé*

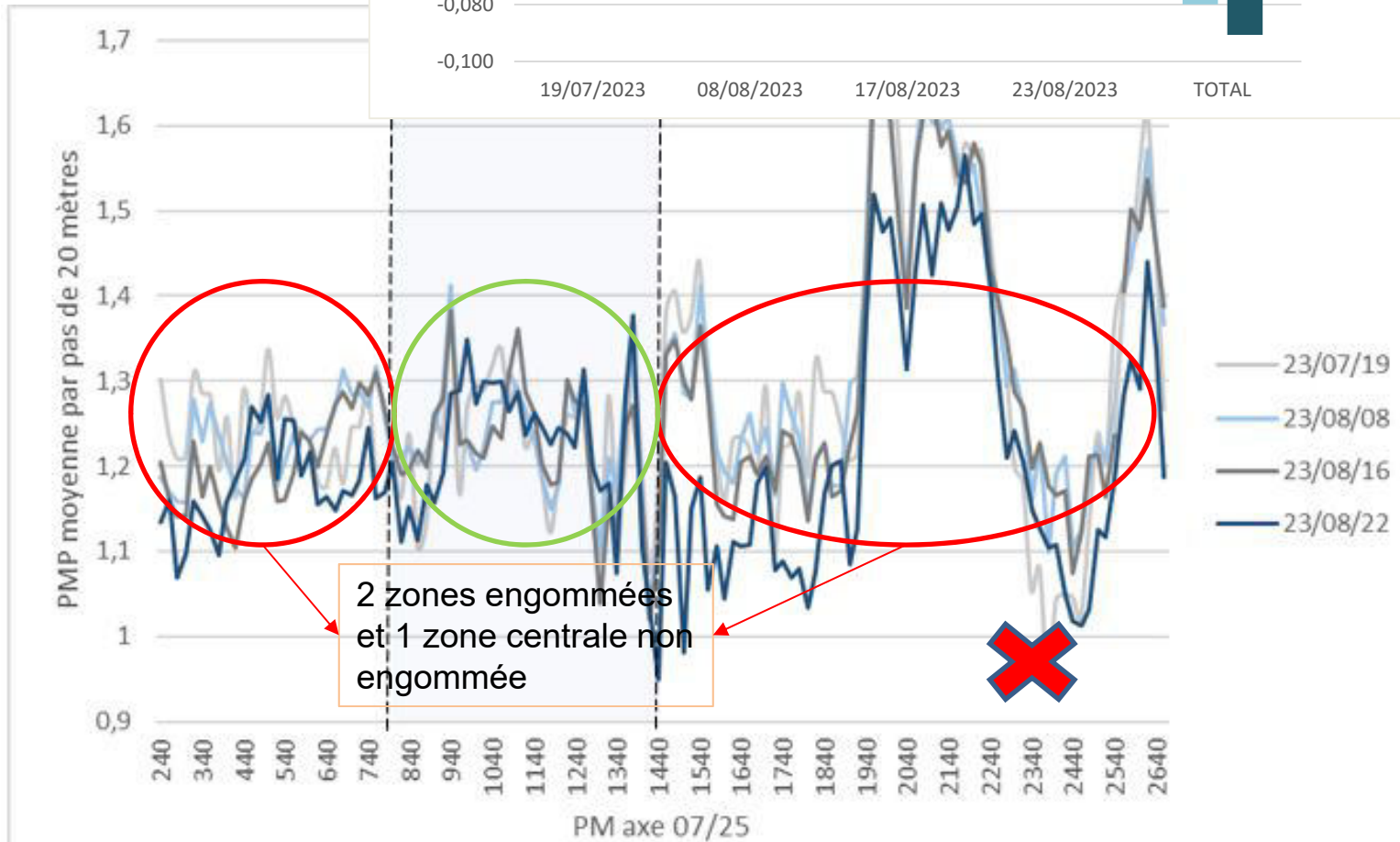
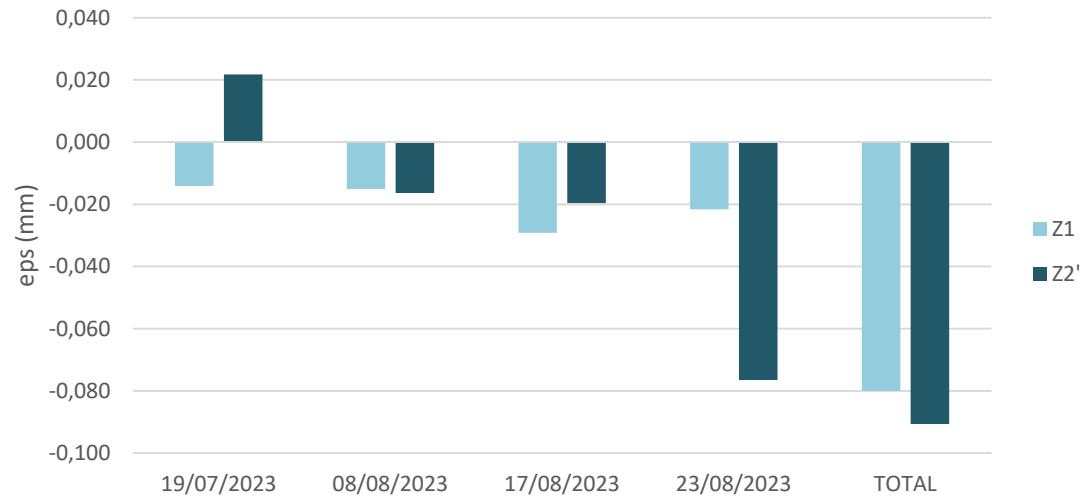


↓ **total de 10 points en 2 mois**

Evolution du CFL

Piste 07/25 ORY

- Décroissance généralisée de la PMP au fil du temps
- Définition d'une nouvelle zone engommée [2280;2500] en Z2 pour retirer l'incohérence du 19/07
- Date du 12/07 retirée pour respecter la diminution d'adhérence et l'évolution du trafic





ANALYSE ET GESTION DU RISQUE

Adhérence et Macrotexture comme une fonction du trafic établi

Objectif initial

- Développer un outil de gestion et de planification des dégivrages en fonction du risque de perte d'adhérence

Types de variables

- CFL fonctionnel 95 km/h et masse totale cumulée atterrie

Durée de l'étude

- 4 mois pour CDG et 2 mois pour ORY

Paramètres fixés

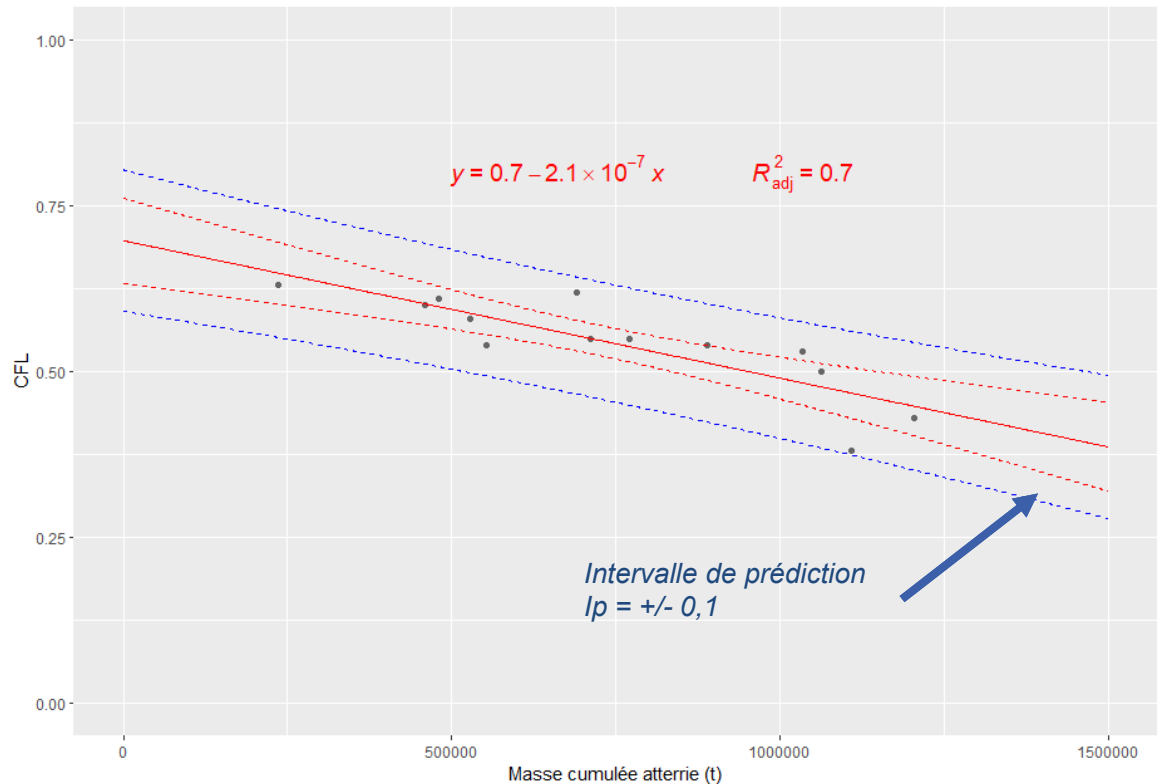
- 1) P3 CDG 09L27R, piste sèche (ou partiellement humide), climat : hiver ; T°surf moyenne stable
- 2) 07/29 ORY, piste sèche, climat : été

*Association d'un :
CFL moyen zone
engommée (Z1 ou
Z2) à une masse
cumulée atterrie*

Adhérence fonction du trafic

CDG P3 09/27

- Erreur quadratique moyenne de 0,08 < Incertitude de mesure (IMAG)
- Décroissance linéaire de l'adhérence en fonction des mouvements cumulés
- Importance de la température de surface non prise en compte
- Point 0 CFL trop éloigné par rapport au début de l'exploitation



Modèle prédictif de :
 réduction d'adhérence par
 rapport au trafic prévu



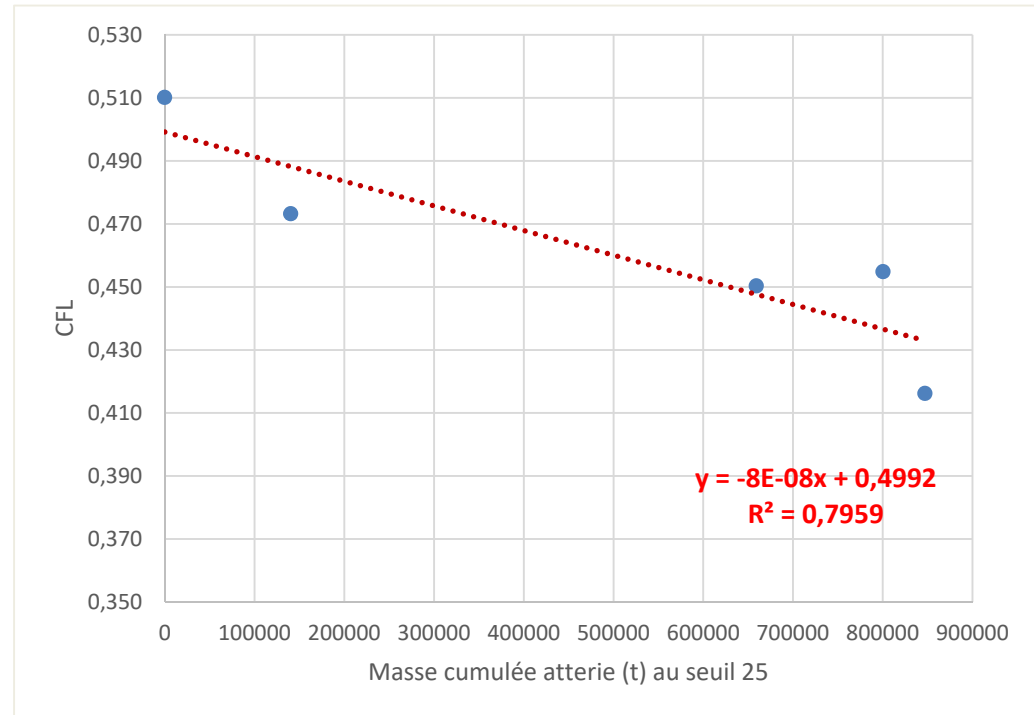
$$CFL_{\text{prédicté}} = 0,7 - 2,1 \cdot 10^{-7} \cdot Masse_{\text{cumulée atterrie}} + 0,7 \cdot st$$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{P3 CDG} \\ \text{hiver} \\ \text{fonctionnelle} \end{array} \right.$

Adhérence fonction du trafic

ORY 07/25

- Erreur quadratique moyenne de 0,08
- Diminution 100 fois plus forte sur Z2 que sur Z1
- Ex : à 1 250 000 t de masse cumulée atterrie => CFL = 0,40
- Pas de prise en compte de l'influence de la température



Modèle prédictif de :
réduction d'adhérence par
rapport au trafic prévu



$$CFL_{95km/h} = -8 * 10^{-8} Masse_{cumulée\ atterrie} + 0,499 \quad \text{si } \left\{ \begin{array}{l} 07\ 25\ ORY \\ \text{été} \\ \text{fonctionnelle} \end{array} \right.$$

Macrotexture fonction du trafic

CDG P3 09/27

- Décroissance supposée linéaire, or en réalité, la pente doit se réduire à partir d'une certaine PMP

- + ↑ niveau de gomme
- + Surface réelle de contact ↑
- Usure abrasive (indenteurs réduits)
- engommage

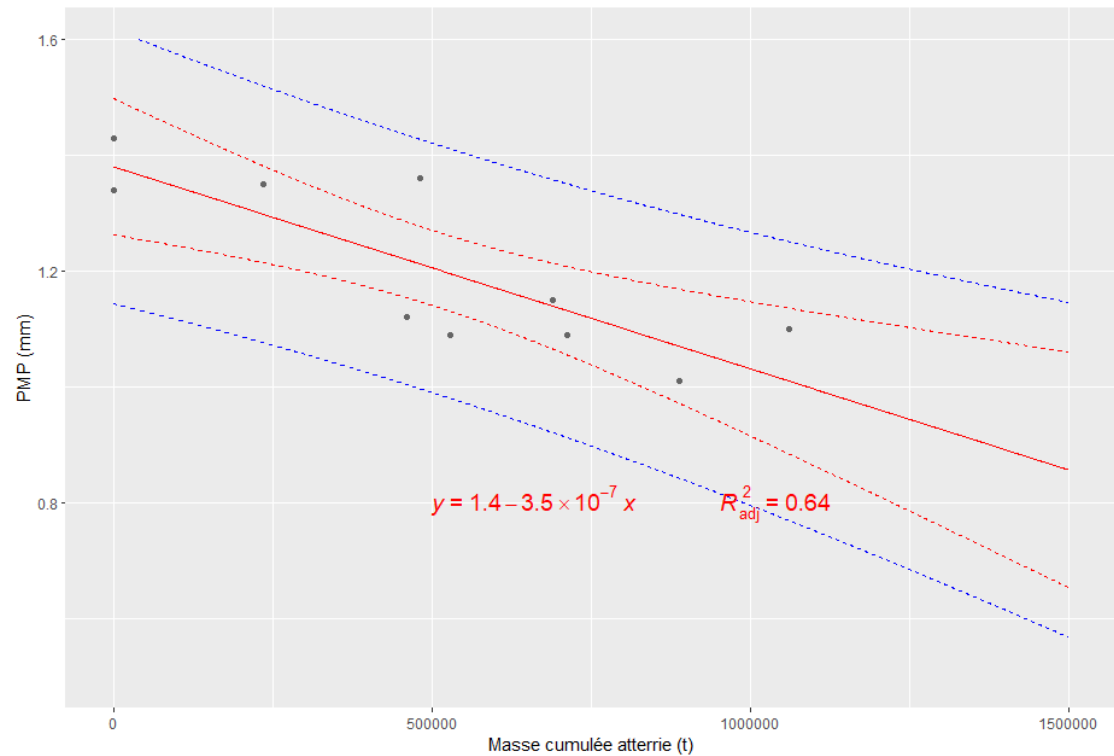
Etude usure/adhérence en cours sur carottes plus ou moins engommées (Michelin)

- Disparité à PMP points 0 qui faussent la régression

Modèle prédictif de :
réduction de texture ou
d'augmentation du niveau de
gomme



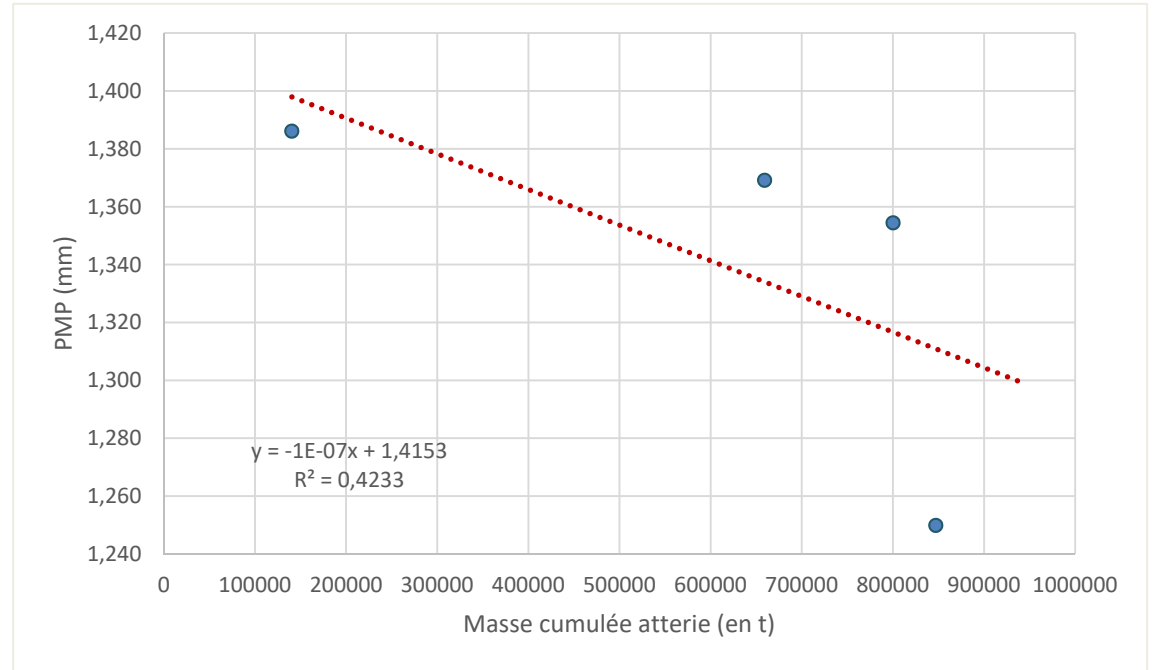
$$PMP = -3,5 \times 10^{-7} \text{ Masse}_{cumulée\ atterrie} + 1,4 \quad \text{si} \begin{cases} P3\ CDG \\ PMP \in [1; 1,45] \end{cases}$$



Macrotexture fonction du trafic

ORY 07/25

- Corrélation sur Z2' avec $R^2 = 0,42$, bien moins fiable que pour le CFL
- ↓ PMP de 0,1 mm pour 1 Million de tonnes atterries

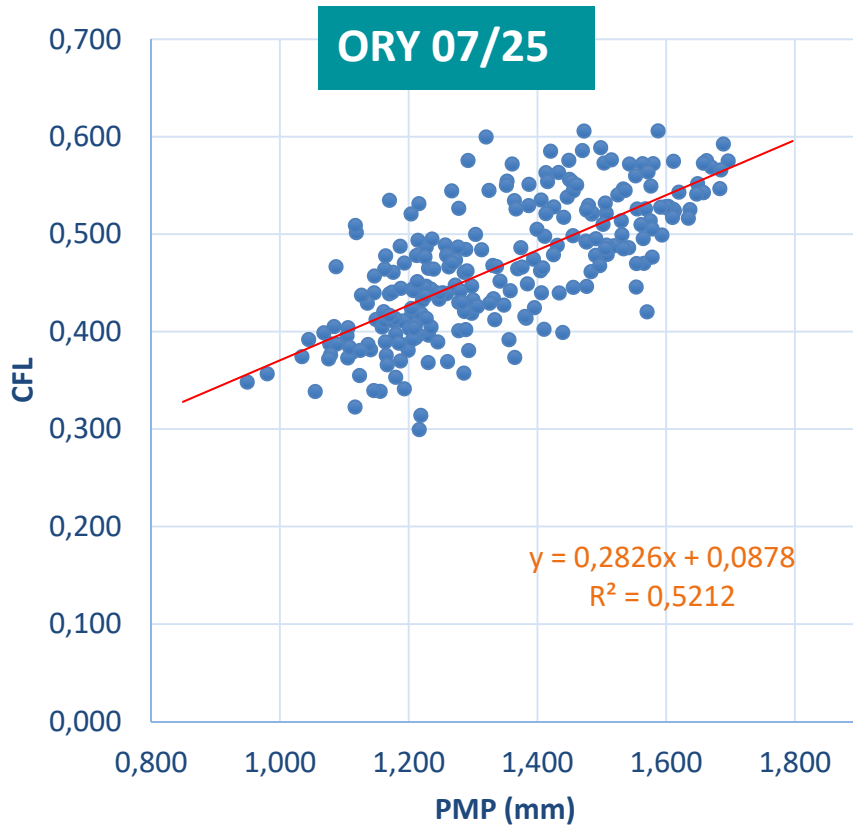


Modèle prédictif de :
réduction de texture ou
d'augmentation du niveau de
gomme



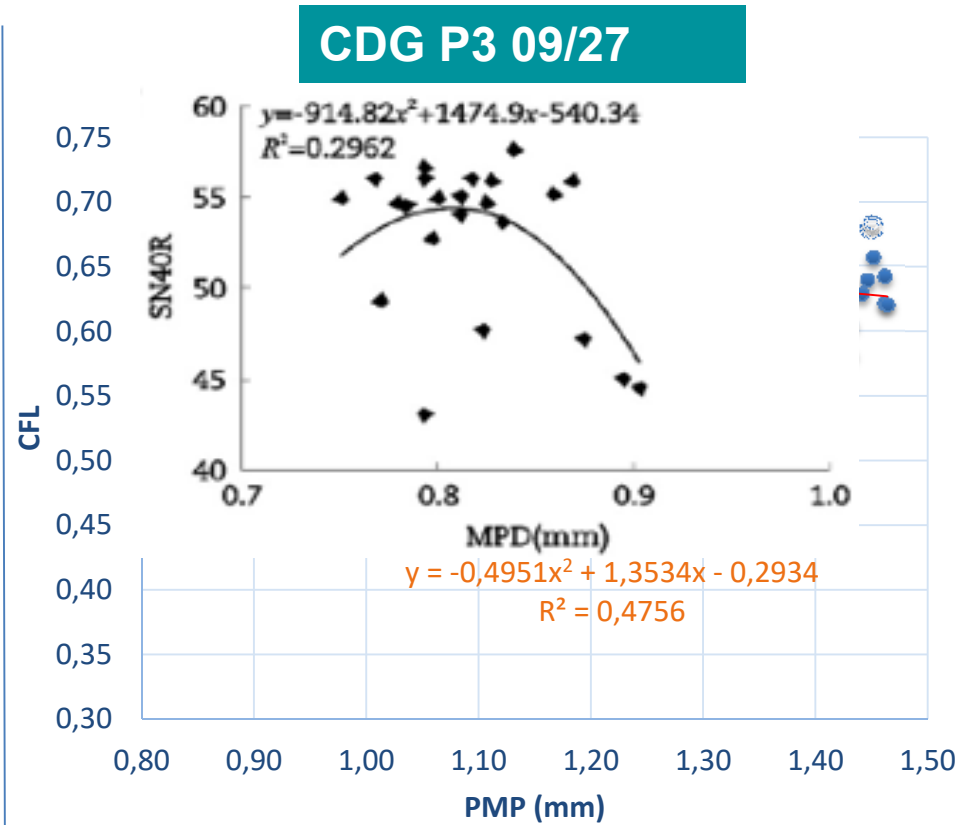
$$PMP = -1 * 10^{-7} \text{ Masse}_{cumul\acute{e}e \text{ atterrie}} + 1,4 \text{ si } \left\{ \begin{array}{l} 07 \ 25 \ ORY \\ PMP \in [1,24; 1,4] \end{array} \right.$$

Développement d'une corrélation entre CFL et PMP



$CFL_{95km/h} = 0,2826 PMP + 0,0878$

si $\left\{ \begin{array}{l} \text{ORY 07/25} \\ \text{été} \\ \text{fonctionnelle} \end{array} \right.$



$CFL_{95km/h} = -0,4951 PMP^2 + 1,3534 PMP - 0,2934$

si $\left\{ \begin{array}{l} \text{CDG P3} \\ \text{été} \\ \text{fonctionnelle} \end{array} \right.$

Synthèse

Convergence ORY/CDG

- Loi CFL/trafic du même ordre de grandeur, car pistes similaires après engommage accumulé

Affinage des programmes de dégommage en fonction de l'adhérence

- Nécessite un ajustement des relations via campagnes supp

Usage de la PMT (ou PMP) outil de surveillance supplémentaire de l'adhérence fonctionnelle

- Bon marché
- Attention aux plages de PMP mesurées par rapport à la loi établie entre CFL et PMP



PERSPECTIVES ET CONCLUSIONS

Généralisation (ou on) des relations de prévision d'adhérence sous réserve d'une piste suffisamment engommée

- Effet de la température
- Effet de la microtexture (piste en béton)
- Incertitude non connues et non maîtrisées relative aux équipements (RUGOLASER)
- Amélioration de la répétabilité par guidage trajectoire

Approfondir le modèle CFL ↔ PMP

- Elargir le champ d'équivalence pour des PMP et niveaux d'adhérence plus faibles
- Généralisation à d'autres aéroports

A la recherche de nouvelles techniques de dégommage

Merci de votre attention

**Célien GOOSSAERT, chef de projet sécurité adhérence des chaussées aéronautiques
STAC
celien.goossaert@aviation-civile.gouv.fr
Tel : 06 98 70 21 88**