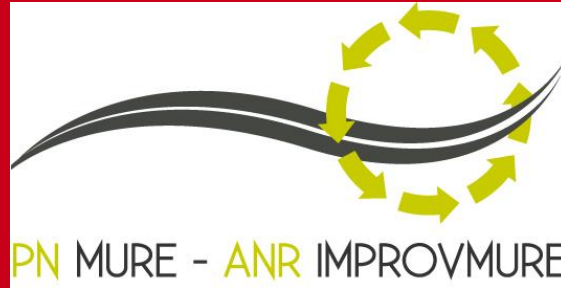


L'exploitation
et la maintenance
des infrastructures



Suites PN MURE



*Analyse de carottes chantier ATMB
Exploitation complémentaire de la base de données relative
aux essais laboratoire*

Sébastien QUIGNIOT, CORE Center
Anne DONY, ESTP

ENTPE- 7 Novembre 2023

- ▶ Rappel démarche/objectifs PN MURE
- ▶ Analyse de carottes chantier ATMB
 - Contexte et démarche
 - Plan de carottage
 - Interprétation des analyses sur liants
 - Conclusions
- ▶ Exploitation complémentaire de la base de données relative aux essais laboratoire
 - Groupe de travail
 - Constitution d'une base de données cohérente
 - Analyse par base de données
 - Principe de la méthode statistique
 - Conclusions et perspectives



► Rappel objectifs/ démarche PN MURE

- Fin 2000, développement **recyclage et enrobés tièdes** **MAIS** pratiques irrégulières → nécessité de donner confiance aux parties prenantes
- Compléter les connaissances techniques/ scientifiques
- Anticiper les questionnements « multirecyclage »

- PN de **2014 jusqu'à 2021** avec 4 tranches et 1 ANR IMPROVMURE, 35 partenaires

- Projet centré sur la réalisation de **chantiers expérimentaux** avec diverses conditions maîtrisées
 - Une couche de roulement
 - un taux de recyclage (40% ou 70%)
 - une température de production des enrobés (référence « enrobé à chaud »)
 - un procédé d'abaissement de cette température (additif ou mousse)
- Complétés par des études laboratoire

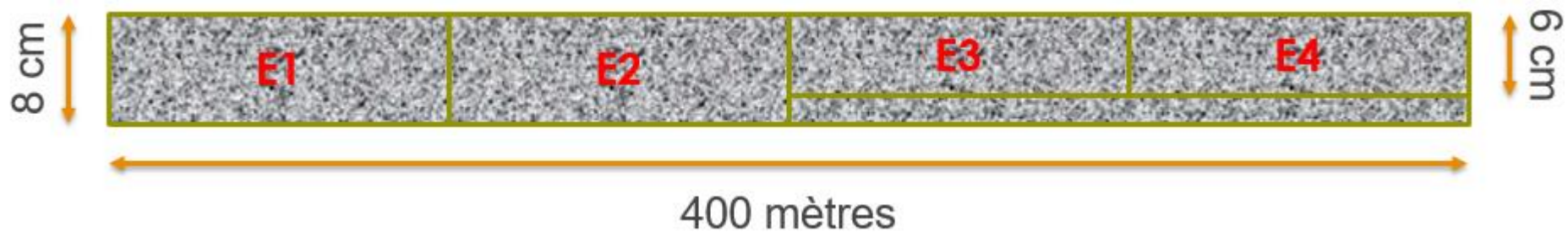


▶ Chantier type

▶ 4 planches → 4 cycles de vie

▶ Principe

- Formule : BBSG
- Stock d'AE initial : AE0



E1 : planche témoin, 1^{er} cycle : pas d'AE

E2 : planche 2^{ème} cycle : avec AE0

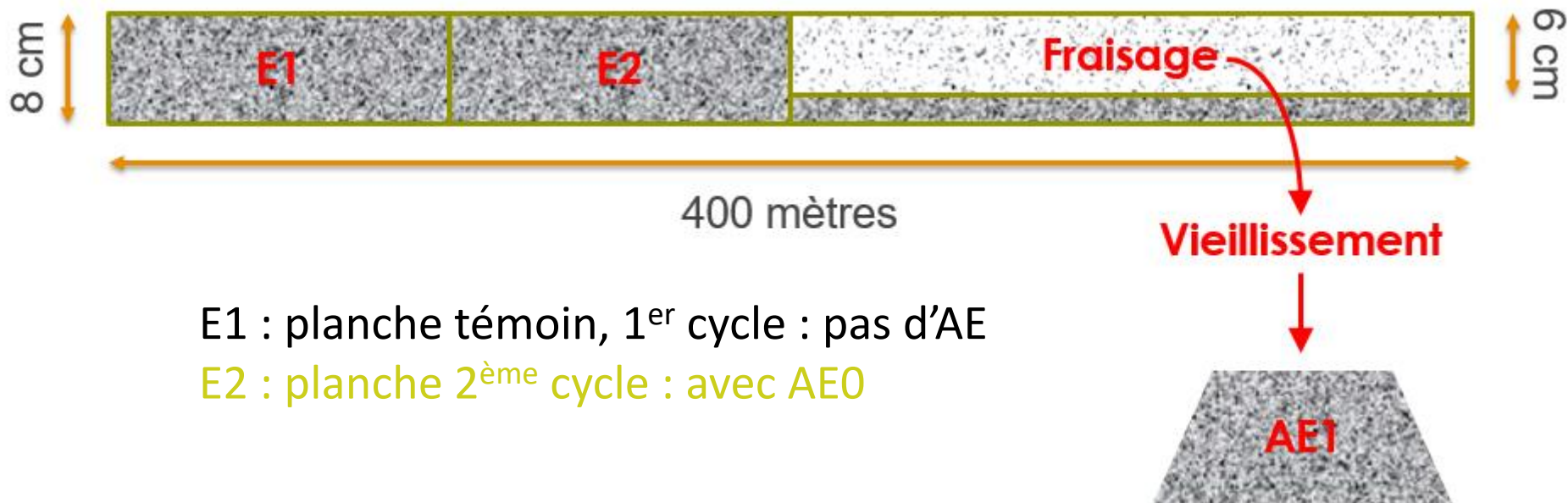
E3 : planche 3^{ème} cycle : avec AE1

E4 : planche 4^{ème} cycle : avec AE2



► **Chantier type**

- 4 planches → 4 cycles de vie
- Principe
 - Formule : BBSG
 - Stock d'AE initial : AE0



E1 : planche témoin, 1^{er} cycle : pas d'AE

E2 : planche 2^{ème} cycle : avec AE0



► Listes des chantiers réalisés

Localisation	Année	%AE	Particularité	Année Multirecyclage
Rue du Canal, Villeurbanne	2015	40%	Tiède additif	2017
RD313 Ronno (69)	2015	40%	-	-
RD909 Moriat (63)	2015	40%	Tiède mousse	-
Plateforme Abbé Roland (74)	2016	70%	AE avec polymères	2017
Aire de Passy – Le Fayet (74)	2016	70%	Tiède mousse AE avec polymères	-
Av. de la Saudrune, Portet sur Garonne (31)	2016	40%	Tiède mousse BmP	-
			BmP	2018
RD1215E, Arsac (33)	2016	30% 50%	Tiède mousse avec régénérant	-
RD908 Neuilly –sur-Seine (92)	2018	40%	Tiède mousse	-



► Interactions PN MURE /PN DVDC

Fin 2021: Nécessité d'approfondir l'exploitation des données enrôlés et liants.

- partenaires du PN MURE ~ partenaires du PN DVDC
- groupe d'experts communs entre les deux PN
- Transfert du solde bénéficiaire du budget MURE
- Validation CoDir
- Conclusions communiquées aux partenaires de MURE

Suivi des chantiers enregistrés en charge au bilan
Cerema

Prélèvement de carottes sur les chantiers R70.

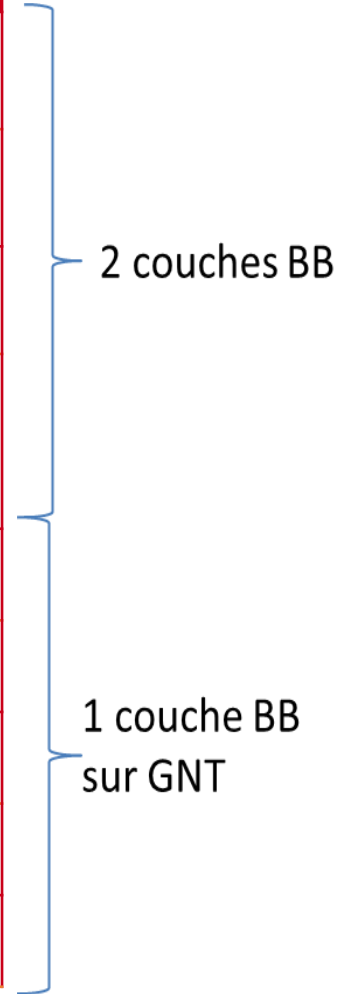


► Contexte et démarche:

- Constats fin 2021 : Apparition de fissures sur le chantier d'ATMB → rôle du liant bitumineux dans les désordres observés?
- Opération de carottage sur les deux chantiers R70 (septembre 2021)
- Sélection des analyses et laboratoire d'essais en adéquation avec le PN (GT5)
 - Carottages effectués par EUROVIA (Serge Duplaix)
 - Extraction/ récupération des liants : CEREMA AUTUN (Adso ARGHYRIS)
 - Pénétrabilité/ TBA/ Tfraass/ $G^*(15^{\circ}\text{C}/10\text{ Hz})$: CEREMA AIX (Virginie MOUILLET)
 - Indice carbonyle par spectroscopie IR : ESTP (Anne DONY)
 - Analyse/interprétation des résultats : A.DONY/S.FAUCON DUMONT (Labotech)/ V.MOUILLET



Zones	Pathologies zone de prélèvement	Procédé	Fond carottes	interface
aire Passy- Le Fayet	fissures/ fragmentation	mousse R0	GC GNT	décollé/décollé Décollé/décollé
aire Passy- Le Fayet	sain	mousse R0	GC GC	collé/ collé Collé/ décollé
aire Passy- Le Fayet	fissures/ fragmentation	mousse R70	GNT GNT	Collé/décollé
aire Passy- Le Fayet	sain	mousse R70	GC GC GC	Collé/collé Collé/décollé Collé/décollé
parking ABBE ROLAND E1	sain	chaud R0	GNT	décollé
parking ABBE ROLAND E2 cycle 1	sain	chaud R70	GNT	décollé
parking ABBE ROLAND E3 cycle 1	sain	chaud R70	GNT	décollé
parking ABBE ROLAND E4 cycle 2	sain	chaud R70	GNT	décollé
parking ABBE ROLAND E5 cycle 3	sain	parking ABBE ROLAND E5 cycle 3	GNT	décollé



► Chantier : aire Passy- Le Fayet - Enrobés tièdes mousse avec 0%AE (bitume 35/50) et 70% AE (bitume 160/220)

Sur les 2 zones : zones **saines** et zones **fissurées**.

- En 2016: caractéristiques conventionnelles comparables
- Après 5 ans : aucune différence notable entre zones saine et fissurée.
 - **Enrobé tiède mousse R0**: peu d'évolution caractéristiques conventionnelles, augmentation G^* et indice CO → léger durcissement et une oxydation du liant.
 - **Enrobé tiède mousse R70**: liant plus mou que le liant initial avec $G^* \sim$ et $I_{CO} <$ → hétérogénéité zones de prélèvements différentes.



► Chantier : parking ABBE ROLAND - Enrobés à chaud avec multi-recyclage

- Aucune zone fissurée
- Evolution logique des caractéristiques conventionnelles et rhéologiques : léger durcissement du liant et augmentation du G^*
- **MAIS** complexité des Ico : diminution systématique... allant à l'encontre du phénomène de vieillissement (essais doublés et même méthode d'essai et d'analyse)
- Différents facteurs à considérer : taux de recyclage élevé, prélèvements sur des zones ≠, par des laboratoires ≠ et des méthodes de traitement de l'enrobé certainement variables.



➤ Conclusion et perspectives:

- Définir le **rôle potentiel du liant** dans les désordres observés sur des chantiers à forts taux d'AE, avec des procédés tièdes ou chaud et/ou du multi recyclage → nécessité de passer par des étapes de **carottages**, d'**extraction / récupération** suivi d'essais définis préalablement dans le PN MURE.
- **Aucune différence** entre des zones saines et des zones fissurées.
- A noter : quelques incohérences de résultats ... malgré la pertinence des essais
MAIS diversité des zones de carottages, des pratiques de traitement des échantillons différentes ...
- Un **suivi à plus long terme** pour permettre d'amener des éléments de réponse plus précis



► Groupe de travail :

- Decamps Jacques-Antoine (Vinci Construction)
- Dony Anne (ESTP- Coordinatrice)
- Faucon Dumont Stéphane (Labotech)
- Mouillet Virginie (Cerema Méditerranée / UMR MCD Aix)
- Nicolai Aurelia (Spie Batignolles Malet)
- Quigniot Sébastien (Colas CORE)
- Van Rompu Julien (Eiffage Infrastructure)



► Constitution d'une base de données cohérente

- 12 éléments issus de l'ANR IMPROVMURE fournies par le CEREMA Aix et thèse EIFFAGE :
 - Fabrication uniquement labo
- 28 éléments issus du PN MURE et fournis par GT5 :
 - Fabrication chantier avec essais réalisés par différents labos
 - Fabrication labo (procédure unique) avec essais réalisés par un même labo
- 9 fournis par l'UGE (ex IFSTTAR) :
 - Fabrication labo semi industrielle (malaxeur UGE Nantes)
 - Un seul laboratoire pour les analyses

Tableau consolidé de 24 colonnes (15 résultats d'essais et 9 informationnelles) * 56 lignes (formules d'enrobé)



► Constitution de 3 sous-bases de données

Résultats PN MURE

- Base de 28 individus : caractéristiques du liant, sensibilité à l'eau, module de l'enrobé

Résultats PN MURE + ANR IMPROVMURE (CEREMA)

- Base de 40 individus : caractéristiques du liant, module de l'enrobé

Résultats PN MURE + IMPROVMURE (UGE)

- Base de 23 individus : caractéristiques du liant, tenue en fatigue de l'enrobé

Exploitation statistique



► Principe de la méthode statistique

Analyse univariée

- Résumé des variables + identification de point suspects

Analyse bivariée

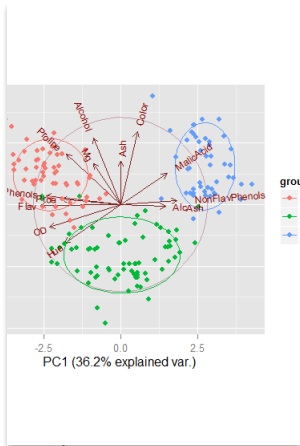
- Liens linéaires

Analyse multivariée

- Description du tableau multidimensionnel avec étude de la structure de corrélations et technique de classification

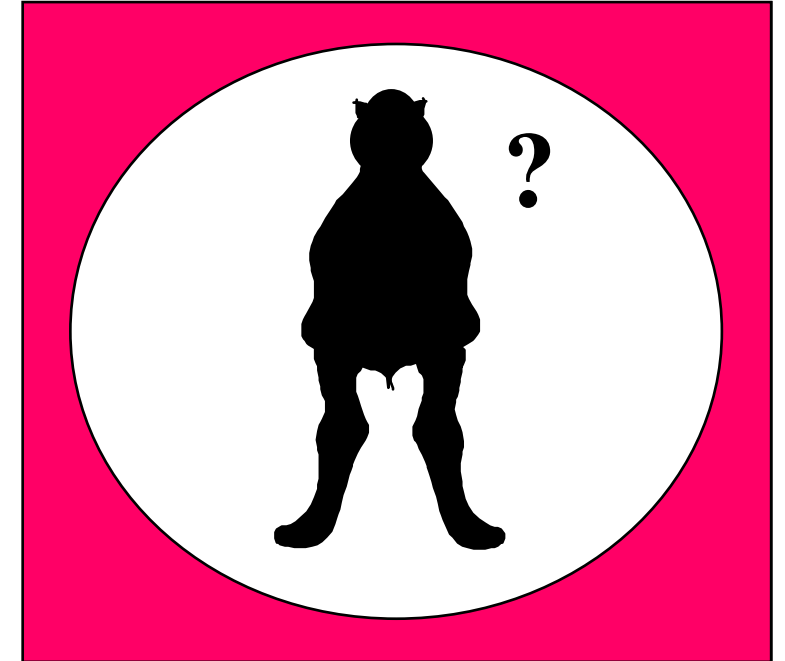


► Analyse par Composantes Principales (ACP)



ACP : technique utilisée pour décrire des tableaux multidimensionnels

- Variables : structure de liens linéaires
- Individus : observation de groupes homogènes et individus atypiques



Réduction de la dimensionnalité

- Synthèse de l'information



Nouveaux axes appelés Composantes Principales (CP)

- Combinaison linéaire des variables

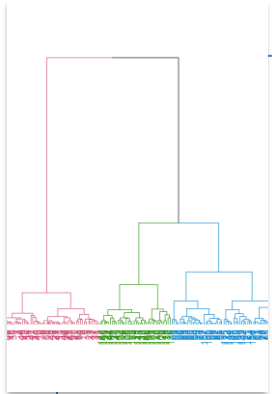


Visualisation graphique en 2 ou 3 CP

- Déformer le moins possible l'information

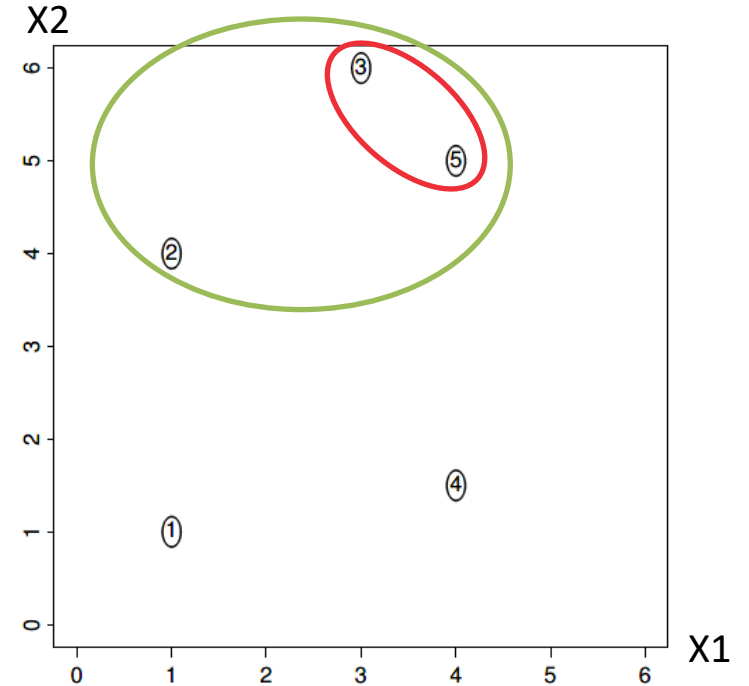


► Analyse par Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)



CAH : technique de classification itérative

- Répartition en classes (groupes) des individus ayant des caractères communs



Constitution

- Etape 1 : chaque individu constitue un groupe



Comparaison

- Agréger les 2 groupes qui se ressemblent le plus (les moins dissemblables)



Itérations

- Fin de l'algorithme : formation d'un seul groupe



► Synthèse

- Exploitation statistique partielle de la base de données en raison de :
 - données manquantes car essais non réalisés selon le programme d'études
 - diversité des méthodologies selon l'essai ou l'origine de fabrication (laboratoire/chantier)
- **Conclusions (⚠ valables dans le cadre strict de cette analyse)**
 - Aucun effet avéré du multi-recyclage des enrobés
 - Effet fabrication : laboratoire vs chantier
 - Effet du protocole de vieillissement : Rilem vs PN MURE in-situ
 - Effet des agrégats sur les performances mécaniques des enrobés (module & Fatigue)

► Perspectives

- Etablir une stratégie statistique commune (sous forme de charte) en amont du projet
 - Homogénéité des essais : mode opératoire, méthodologie
 - Stockage des données : cloud, format de fichier
 - Rationnaliser les paramètres d'entrée de la base de données



Sébastien QUIGNIOT
CORE Center by COLAS
sebastien.quigniot@colas.com

Anne DONY
ESTP
adony@estp.fr

