

METHODE D'ESSAI LABOROUTE ME 08-002

DOMAINE 8 ESSAI IN SITU

**MELANGES BITUMINEUX - MESURE PONCTUELLE IN SITU A L'AIDE D'UN ELECTRO-DENSIMETRE DE LA
MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET CALCUL DE LA TENEUR EN VIDES**

Version	VERIFIEE par Claude GIORGI	VALIDEE par Eric BLANC
0 Date d'application: 20 mars 2023	VISA  	VISA 
1 Date application: 01/08/2025	VISA 	VISA 

0. SOMMAIRE

1. DOMAINE d'APPLICATION
2. ABREVIATIONS – SYMBOLES – REFERENCE NORMATIVE
3. PRINCIPE DE L'ESSAI
4. APPAREILLAGE
5. METHODE D'ESSAI – MESURES
6. EXPRESSION DES RESULTATS

7. RAPPORT D'ESSAI

8. RAPPEL DES CONSIGNES DE SECURITE

ANNEXE : Méthode CLaRE de calibration des appareils

1. DOMAINE D'APPLICATION

Le présent document a pour objet de définir une méthode d'essai pour la mesure ponctuelle de la masse volumique apparente en place par la mesure de la résistivité des matériaux hydrocarbonés d'une épaisseur donnée, à l'aide d'un électro-densimètre.

Cette méthode s'applique à tous les enrobés mis en œuvre en couche d'assise, de liaison et de roulement et dont l'épaisseur réelle est supérieure à 30 mm et inférieure à 100 mm (Pas de mesure possible sur des épaisseurs supérieures – limite de l'appareil).

Il s'agit d'une méthode non destructive.

La mesure de la MVA s'accompagne impérativement d'un recalage issu de la MVA de référence réalisée en laboratoire, sur carottes (diamètre minimum de 90 mm) conformément aux normes NF EN 12 697-6 – mode opératoire C et/ou NF EN 12 697-7 MVA par banc gammadensimétrique (horizontal ou vertical). (Voir annexe).

Pour les épaisseurs de mise en œuvre supérieures à 100 mm, il n'est pas possible au regard de la capacité du matériel actuel, d'utiliser ce type de matériel. L'utilisation d'un ELECTRO-DENSIMETRE ou d'un GAMMA DENSIMETRE de référence ayant été préalablement recalé comme indiqué précédemment peut également faire office de valeur de masse volumique de référence.

En cas de litige, le recalage direct par rapport à la norme NF EN 12697-6 mode opératoire C fera office de référence.

2. ABREVIATION/SYMBOLE/REFERENCE NORMATIVE

masse volumique apparente brute ρ_b

masse par unité de volume, incluant les vides d'air et l'humidité éventuelle résiduelle, brute mesurée par électro-densimètre, exprimée en Mg/m^3

masse volumique apparente recalée ρ_r

masse par unité de volume, incluant les vides d'air et l'humidité éventuelle résiduelle, mesurée par électro-densimètre et recalée par rapport à une référence, exprimée en Mg/m^3

masse volumique réelle ρ_m

masse par unité de volume, sans vide d'air, d'un matériau bitumineux à une température d'essai connue

pourcentage de vides V_m

volume de vides dans une éprouvette bitumineuse, exprimé en pourcentage du volume total de cette éprouvette

Les normes ci-après sont citées dans cette méthode d'essai :

NF P 98-150-1, NF P 98-241-1, NF EN 13108-1, NF EN 12697-6, NF EN 12697-7, NF EN 12697-8, NF EN 12697-36

3. PRINCIPE DE L'ESSAI

L'essai a pour but de déterminer la masse volumique apparente des couches d'enrobés en place.
La mesure de masse volumique apparente est basée sur la mesure de la résistivité du matériau par l'électro-densimètre.

4. APPAREILLAGE

Il existe plusieurs types d'électro-densimètres pour effectuer ces mesures.

Il est nécessaire de se conformer aux modes d'emploi de ces différents appareils pour réaliser l'essai.

Calibrage de l'appareil : Annuel (métrologiquement par le fournisseur) et vérification du calibrage à chaque intervention par le laboratoire

5. METHODE D'ESSAI

5.1 A l'arrivée sur le chantier :

Le technicien doit :

- assurer sa sécurité (accueil chantier, balisage, etc.) ;
- relever les conditions de chantier (état du support, structure, conditions météorologiques, atelier d'application, ...)

1. Allumer l'appareil et calibrer l'appareil (selon le mode d'emploi du fournisseur)
Si le comptage est non conforme, recommencer celui-ci éventuellement à un autre endroit (voir manuel du constructeur).
2. Configurer l'appareil (mode ; ρ_m de référence) selon le mode qui convient à l'épaisseur de l'enrobé à contrôler (voir notice constructeur ou méthode d'essai interne).

5.2 Echantillonnage

Les points de mesures sont situés de préférence en axe de voies circulées (pour procéder au carottage hors bande de roulement) et en bandes de roulement. Ils sont implantés en quinconce et espacés d'un pas constant sur toute la surface de la zone à réceptionner.

Doit être exclu :

- Le pourtour de la bande de répandage, sur une largeur égale à 40 cm (hors cas des chaussées aéronautiques - NF P 98-150-1 – article 12.4.2.2).

Doivent être dissociées et faire l'objet d'un recalage spécifique :

- Les zones couvrant une structure différente de celle de la chaussée courante même si ces zones font partie de la même section de répandage- (exemple : la mise en œuvre d'un BBSG reposant sur structure bitumineuse en voies circulées et sur structure souple en BAU fera l'objet de deux recalages différents) ;
- Les zones présentant des niveaux de macrotexture visuellement différents. Par exemple, si la macrotexture présente visuellement une hétérogénéité transversale régulière (ex : au niveau des rallonges, etc.).

5.3 Mesure

Les mesures de masse volumique apparente peuvent être réalisées pour des temps de comptage adaptés à la température de l'enrobé. Comme le temps de comptage n'a pas d'incidence significative sur le résultat de la mesure, sur matériau refroidi et avec recalage. Les électro-densimètres peuvent proposer plusieurs modes de mesure, c'est l'opérateur qui en détermine le choix suivant le modèle utilisé et la couche de matériau à analyser et du nombre de mesures à effectuer. (Voir notice constructeur).

1. La mesure est possible après avoir vérifié que la surface à contrôler soit propre, parfaitement plane, rugosité homogène et absence d'humidité.
2. Après avoir déterminé l'emplacement de la mesure, le localiser (profil, pk, etc...) et le noter sur la feuille d'essai.
3. Placer soigneusement l'appareil sur la surface préalablement préparée.
4. Installer l'appareil de manière à ce qu'il soit le plus en contact possible avec la surface (vérifier sa stabilité)
5. Lancer la mesure en effectuant un comptage selon le manuel du constructeur et noter la température de surface des enrobés (à vérifier pour le PAVETRACKER)
6. EFFECTUER AU MINIMUM 20 points de mesures qui devront être repérés sur la chaussée, ces mesures devront couvrir une plage de densité la plus large possible afin d'avoir une représentativité sur les mesures en direct de masses volumiques fortes et faibles.
7. A la fin de la durée de mesure, noter sur la feuille d'essai la valeur de la masse volumique apparente brute

6. EXPRESSION DES RESULTATS

- la masse volumique brute issue de l'appareil, ρ_b arrondie à 0.001 Mg/m³ le plus proche

- la masse volumique éventuelle recalée ρ_r arrondie à 0.001 Mg/m³ le plus proche, calculée suivant formule de la forme

$$\rho_r = a \times \rho_b + b$$

- la teneur en vide, exprimée à 0.1 % le plus proche, et calculée suivant la NF EN 12697-8 à partir de la masse volumique apparente recalée ρ_r .

7. RAPPORT D'ESSAI

Le rapport d'essai doit comporter au minimum les informations suivantes :

1. Le nom et adresse du laboratoire d'essai
2. Le numéro d'identification unique du rapport d'essai
3. La référence à la présente méthode d'essais
4. Le nom du client
5. La référence de l'appareil utilisé, son mode de mesure utilisé...Avoir le mode de Mesure pour le PQI
6. Les conditions météorologiques
7. La nature de l'enrobé, sa position dans la chaussée, son épaisseur théorique de mise en œuvre.
8. La masse volumique ρ_m de référence accompagnée de sa date d'établissement
9. La date de l'essai
10. La localisation des mesures (longitudinalement et/ou transversalement)
11. Les résultats des mesures de masse volumique apparente ρ_b .
12. La masse volumique apparente recalée ρ_r et le pourcentage de vides.
13. L'identification de l'opérateur ayant réalisé l'essai
14. Les incidents éventuels susceptibles d'avoir impacté les résultats
15. La signature de l'agent acceptant la responsabilité technique du rapport d'essai
16. La date d'émission du rapport

Nota :

Le rapport de recalage sera tenu à la disposition du maître d'ouvrage.

La validité de la droite de recalage d'une formule d'enrobés ($P_r = a \times P_b + b$) sera identique à la durée de la FTP (5 ans selon le marquage CE) sauf dans le cas de la reconduction d'une formule identique.

ANNEXE – RECALAGE DES APPAREILS DE MESURE

(Normatif)

L'objectif de l'établissement d'un recalage des mesures brutes obtenues avec l'électro-densimètre est de pouvoir s'approcher de la réalité des masses volumiques apparentes en place par comparaison avec d'autres mesures de masses volumiques apparentes dites de référence. Ce recalage est obligatoire quelle que soit l'une des 4 méthodes de référence choisies.

1 - Méthodes de référence

1.1 *Eprouvette étanchée*

La masse volumique apparente d'un corps d'épreuve bitumineux est déterminée à partir de la masse de l'éprouvette et de son volume. La masse du corps d'épreuve est obtenue en le pesant sec dans l'air. Le volume du corps d'épreuve s'obtient à partir de sa masse dans l'air et de sa masse dans l'eau, après étanchéisation de l'éprouvette pour que l'eau ne pénètre pas dans les vides de celle-ci.

La pesée hydrostatique est réalisée d'après la norme **NF EN 12697-6** – Mode opératoire C – Masse volumique apparente – Eprouvette « étanchée », sur des carottes ayant un diamètre minimum de 90 mm respectant la norme **NF EN 12697-27**. Le résultat est exprimé en Mg/m^3 .

1.2 *Mesure au banc gamma*

Cette mesure s'applique à des éprouvettes cylindriques, ayant un diamètre minimum de 90 mm respectant la norme **NF EN 12697-27**, extraites de la chaussée pour lesquelles l'épaisseur et le coefficient d'absorption massique, qui est fonction de la composition chimique, sont connus. L'épaisseur du corps d'épreuve traversé par le rayonnement peut être comprise entre 30 mm et 300 mm. Cette méthode ne s'applique pas aux mélanges contenant des laitiers ayant une teneur en métal ou une composition chimique variables susceptibles de modifier l'absorption des rayons gamma.

La réalisation de cette mesure se fait selon la norme **NF EN 12697-7** : Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 7 : Détermination de la masse volumique apparente des éprouvettes bitumineuses par les rayons gamma

Le résultat est exprimé en Mg/m^3 .

1.3. *Recalage par électro-densimètre ou gammadensimètre de référence*

Recaler l'ensemble des formules de son catalogue avec l'ensemble de son parc d'électro-densimètre peut devenir une tâche fastidieuse. De manière à simplifier l'organisation de ses recalages, il peut être opportun de recalibrer l'ensemble de ses formules avec un même électro-densimètre ou gammadensimètre dit « de référence », et de recalibrer en démarrage de chantier un électro-densimètre tiers qui sera employé sur ce chantier. Cette méthode présente l'avantage d'être non destructive.

Il faudra, pour que cet appareil gammadensimètre devienne un appareil de référence pour la formule d'enrobé concernée :

- qu'il ait été calibré dans l'année (métrologiquement par le fournisseur)

- que des mesures effectuées avec cet appareil aient été corrélées avec des pesées hydrostatiques sur une formule identique

- que la corrélation de cet électro-densimètre ou gammadensimètre avec cette formule dispose d'un coefficient de corrélation R^2 supérieur à 0.75

L'attention des utilisateurs est attirée sur le fait que le recalage peut tenir compte de l'influence de la couche sous-jacente. Il pourra être utile de recaler son gammadensimètre de référence en employant un mode de mesure permettant de limiter l'impact de cette couche sous-jacente.

2. Protocole adapté (issue de la méthode CLaRE version 03 du 16-01-2017)

2.1 Généralités

Le recalage trouve son intérêt lorsqu'il est pratiqué en démarrage du chantier. On pourra utilement profiter d'une planche de référence ou de la première journée de mesure pour procéder à l'établissement du recalage de son appareil pour la formule, les conditions de mise en œuvre et les conditions d'utilisation du gammadensimètre sur chantier.

NB 1 : Pour le suivi d'un chantier dont la formulation, l'épaisseur et les conditions de mise en œuvre ont déjà fait l'objet d'un calage, il est possible de se référer directement à celui-ci ou bien de le vérifier en procédant à un nombre de carottage réduit. Cette disposition est laissée à l'appréciation du technicien de laboratoire.

2.2. Méthode de calage

Lors de mesures, l'opérateur peut choisir judicieusement plusieurs zones de manière à recaler la masse volumique apparente MVA obtenue avec un électro-densimètre par rapport à des mesures de référence. Le nombre minimal de zones pour établir ce recalage doit être de 5 zones. Un choix judicieux peut consister dans le choix de zones qui présentent :

- Une valeur de MVA la plus proche possible de la moyenne mesurée,
- La valeur de MVA minimale mesurée,
- La valeur de MVA maximale mesurée,
- Une valeur comprise entre la moyenne et la valeur maximale,
- Une valeur comprise entre la moyenne et la valeur minimale.

Il est à noter que si le chantier ne se prête pas à la réalisation de cinq carottages, le cas échéant, ce nombre pourra être réduit à trois en visant les valeurs représentatives uniquement de la moyenne, du mini, et du maxi.

Trois mesures de MVA avec l'électro-densimètre à recaler doivent être réalisées autour de ce point, mesures dont l'écart mini / maxi doit être inférieur à 0.035 Mg/m³.

Une mesure de MVA suivant la méthode de référence doit être réalisée dans les zones ayant été délimitées. Si le protocole de recalage impose une mesure en laboratoire sur échantillon (échantillon étanché ou banc gamma), des dispositions permettant d'assurer la traçabilité de l'échantillon depuis son lieu de prélèvement jusqu'à l'établissement de sa MVA seront prises.

A chaque valeur de pourcentage de vides obtenue à l'électro-densimètre (moyenne de 3 mesures) correspond une valeur de pourcentage de vides obtenue par la méthode de référence (ou une moyenne de 3 mesures si la valeur de référence est issue d'un autre électro-densimètre ou gammadensimètre). Ces valeurs apparaîtront sur un graphique avec en abscisses les valeurs « lue » et en ordonnées les valeurs « de référence ». Une approximation linéaire d'ordre 1 de la forme $y = a \cdot x + b$ sera calculée.

Celle-ci permettra de corriger les valeurs brutes obtenues à l'électro-densimètre lors des contrôles occasionnels de pourcentage de vides pour la suite du chantier. Le coefficient R^2 obtenu sert à estimer la pertinence de la droite de correction. Plus ce coefficient est proche de 1, plus la correction sera fiable. Cela dit, une droite est considérée valide dès lors que la valeur de R^2 est *supérieure ou égale* à 0,65. Lorsque celle-ci est inférieure à ce seuil, il convient de compléter la population de mesures pour fiabiliser la régression linéaire.

La droite de corrélation varie en fonction de plusieurs paramètres : nature pétrographique, épaisseur de mise en œuvre, nature du support, température de l'enrobé, environnement ambiant ...

Les résultats seront formalisés dans un tableau regroupant l'ensemble des valeurs obtenues en Mg/m^3 afin de déterminer le coefficient de corrélation entre les mesures MVA obtenues par la méthode de calage sélectionnée et celles obtenues par rétrodiffusion.

NB : Si les résultats extrêmes de MVA obtenus sur carottes sont compris dans l'intervalle de conformité, la partie d'ouvrage peut être réceptionnée même si $R^2 < 0.65$. La droite de régression obtenue reste alors valable dans l'intervalle des MVA brutes mesurées in situ.

2.3. Rapport de recalage

Un rapport de recalage est établi et comprend à minima :

- Le nom et adresse du laboratoire d'essai
- Le numéro d'identification unique du rapport d'essai
- La référence à la présente méthode d'essais
- La référence de l'appareil utilisé, son mode de mesure utilisé...
- La nature de l'enrobé, sa position dans la chaussée, son épaisseur théorique de mise en œuvre
- La masse volumique ρ_m de référence accompagnée de sa date d'établissement
- La date des mesures in situ et la date de l'essai de recalage
- La localisation des mesures (longitudinalement et transversalement)
- Les résultats des mesures de masse volumique apparente [Pb.in](#) situ individuelles et moyenne, exprimées en Mg/m^3 ;
- La masse volumique apparente recalée ρ_r et le pourcentage de vides.
- Les épaisseurs d'enrobé mesurées sur chaque carotte (en cm) le cas échéant ;
- L'équation de la droite de régression et le coefficient R^2 associé. Il est précisé qu'un minimum de 3 décimales doit être employé pour l'expression de l'équation et le calcul de la masse volumique apparente recalée ρ_r (2) ;
- Le chantier sur lequel le recalage a été réalisé et toutes remarques utiles pouvant avoir une influence sur la qualité du recalage.
- L'identification et la signature de l'opérateur acceptant la responsabilité technique du rapport de recalage

Ce document doit faire l'objet d'un archivage.

2 Pour calculer les coefficients de la droite de régression, il peut être utilisé la formule « DROITEREG » disponible sur les outils bureautiques ; le coefficient R^2 Pearson peut être obtenu avec la fonction « COEFFICIENT.DETERMINATION ».