

**METHODE D'ESSAI LABOROUTE ME 08-001**

**DOMAINE 8**

**MELANGES BITUMINEUX - MESURE PONCTUELLE IN SITU EN RETRODIFFUSION DE LA  
MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET CALCUL DE LA TENEUR EN VIDES**

|  |   |  |
|--|---|--|
| Version                                  | <b>VERIFIEE par</b><br>Claude GIORGI  | <b>VALIDEE par</b><br>Eric BLANC   |
| 0<br>Date d'application:<br>20 mars 2023 | <b>VISA</b><br> | <b>VISA</b><br> |

**RAPPEL :**

La législation concernant l'utilisation de matériaux radioactifs impose la désignation d'une personne compétente au sein de l'entreprise ayant suivi une formation concernant la radioactivité et la protection des travailleurs.  
De plus, l'entreprise doit être autorisée par l'ASN à détenir des sources radioactives.

**0. SOMMAIRE**

1. DOMAINE d'APPLICATION
2. ABBREVIATIONS – SYMBOLES
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 1 : DESCRIPTIF DES DIFFERENTS MODES DE MESURE

ANNEXE 2 : 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 en rétrodiffusion de matériaux hydrocarbonés d'une épaisseur donnée, à l'aide d'un gammadensimètre à pointe.

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 une épaisseur de l'ordre de 100mm différente suivant les appareils. (Note : Sur des épaisseurs supérieures on travaillera **préférentiellement** en transmission directe mais on pourra envisager de travailler en rétrodiffusion). Pour les deux méthodes, il sera nécessaire de réaliser un calage par rapport à un point de référence (cf. Annexe 2 du présent document).

Il s'agit d'une méthode non destructive.

L'utilisation d'un gammadensimètre de référence ayant été préalablement recalé comme indiqué précédemment ou conformément à la norme NF P 98-241-1 peut également faire office de valeur de masse volumique de référence par transmission directe.

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

### **masse volumique apparente brute** $\rho_b$

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

### **masse volumique apparente recalée** $\rho_r$

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

### **masse volumique réelle** $\rho_m$

masse par unité de volume, sans vide d'air, d'un matériau bitumineux à une température d'essai connue, obtenue suivant la NF EN 12697-5.

### **pourcentage de vides** $V_m$

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

### 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 densité est basée sur l'absorption par le matériau des photons gamma d'énergie donnée, émis par une source de Cs137 posée sur la couche soumise à l'essai.

### 4. APPAREILLAGE

Il existe plusieurs types d'appareils gammadensimètres à pointe équipés d'une source de Cs 137 permettant d'effectuer des mesures en rétrodiffusion.

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

Calibration (blocs fournisseurs) « et / ou » Etalonnage (blocs d'Angers) de l'appareil : Annuel

### 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 sur le bloc de calibration et lancer un comptage standard (prévoir un éloignement de l'appareil de plus de 10 mètres d'autres sources radioactives éventuelles et de 2 mètres de toutes parois verticales). Ce comptage doit être noté pour permettre une vérification du bon fonctionnement de l'appareil et en fournir, si nécessaire, un historique).
2. Noter les résultats du comptage (même NON CONFORME) sur la feuille d'essai.  
Si le comptage est non conforme, recommencer celui-ci éventuellement à un autre emplacement (voir manuel du constructeur).
3. Configurer l'appareil (mode de mesure, masse volumique réelle de référence, durée de l'essais.) 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).

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 macrotecture visuellement différents. Par exemple, si la macrotecture présente visuellement une hétérogénéité transversale régulière (ex : au niveau des rallonges, etc.).

### 5.3 Mesure

Les mesures de  $\rho_b$  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 mesures à 15s et 30s peuvent être privilégiées pour des questions de rendement. Les gammadensimètres 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 (voir annexe 1).

1. La mesure est possible après avoir vérifié que la surface soit propre, parfaitement plane, de rugosité homogène et sèche (absence d'humidité).
2. Suivant le protocole suivi pour l'établissement du recalage, le cas échéant, répandre une très légère couche de sable fin pour combler les vides de surface et dans ce cas, c'est l'ensemble des mesures qui doit être fait avec la même méthodologie.
3. Après avoir déterminé l'emplacement de la mesure, le localiser (profil, pk, etc...) et le noter sur la feuille d'essai.
4. Placer soigneusement l'appareil sur la surface préalablement préparée.
5. Installer l'appareil de manière à ce qu'il soit le plus en contact possible avec la surface (vérifier sa stabilité)
6. Descendre la tige porte-source au contact du support et s'assurer qu'elle soit bien bloquée : **Ne jamais sortir la tige porte-source avant que l'appareil ne soit posé sur le sol support**
7. Lancer la mesure en effectuant un comptage selon le manuel du constructeur (On choisira en général un comptage de 1 minute sur matériaux froids, et de 15 / 30 secondes, sur matériaux qui ne sont pas refroidis).
8. EFFECTUER AU MINIMUM 20 points de mesures qui devront être repérés sur la chaussée, ces mesures devront couvrir une plage de  $\rho_b$  la plus large possible afin d'avoir une représentativité sur les mesures en direct de  $\rho_b$  forte et  $\rho_b$  faible.
9. A la fin de la durée de mesure, noter sur la feuille d'essai la valeur de  $\rho_b$

## 6. EXPRESSION DES RESULTATS

- la masse volumique apparente brute issue de l'appareil  $\rho_b$ , arrondie à 0.001 Mg/m<sup>3</sup> le plus proche
- la masse volumique apparente recalée  $\rho_r$ , arrondie à 0.001 Mg/m<sup>3</sup> 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 recalée.

## 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 de série unique pour le 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 d'utilisation et la présence ou non d'un éventuel sablage préalable
6. La référence au rapport de recalage utilisé, sa date, le mode d'utilisation du gammadensimètre pendant le recalage, les paramètres a et b de recalage utilisés (voir annexe 2)
7. Les conditions météorologiques
8. La nature de l'enrobé, sa position dans la chaussée, son épaisseur théorique de répannage.
9. La masse volumique réelle de référence de l'enrobé accompagnée de sa date d'établissement
10. La date de l'essai
11. La localisation des mesures (longitudinalement et/ou transversalement)
12. La masse volumique apparente recalée  $\rho_r$  et % de vides in situ  $V_m$ .

13. L'identification de l'opérateur ayant réalisé l'essai
14. Les incidents éventuels susceptibles d'avoir impacté les résultats
15. Les écarts à la méthode d'essai
16. La signature de l'agent acceptant la responsabilité technique du rapport d'essai
17. La date d'émission du rapport

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

**8-RAPPEL SECURITAIRE :**

Lors des mesures réalisées en rétrodiffusion se tenir éloigné de l'appareil et s'assurer que personne ne se déplace OU circule près de l'appareil.

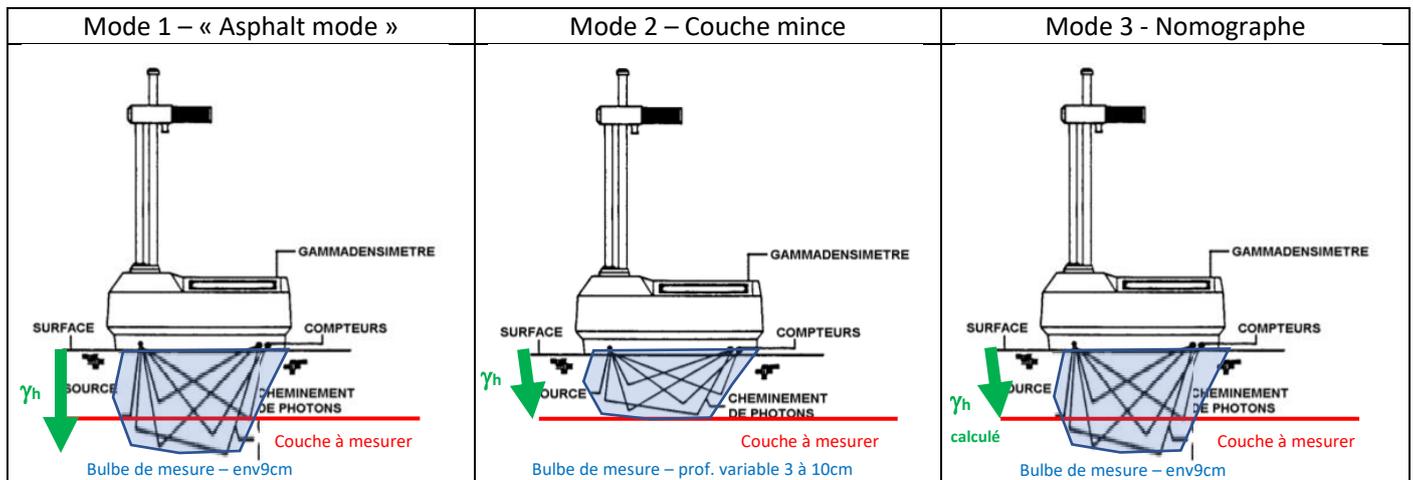
Le matériel, le procédé et l'organisation du travail doivent être conçus de telle sorte que les expositions professionnelles individuelles et collectives soient maintenues aussi bas qu'il est raisonnablement possible en dessous des limites prescrites par la réglementation ;

**En cas d'incident radiologique,  
numéro vert ASN d'urgence : 0800 804 135  
24 h/24 h - 7 j/7 j**

## ANNEXE 1 – DESCRIPTION DES MODES DE MESURES

### (Informatif)

Les mesures en rétrodiffusion couvrent plusieurs réalités qu'il convient d'identifier de manière à améliorer la précision des mesures.



#### Mode 1 – « Asphalt mode »

Le mode de mesure le plus commun sur les gammadensimètres. Il consiste à intégrer la densité des matériaux sous-jacents la semelle de l'appareil sur une profondeur fixe d'environ 9cm, quelle que soit l'épaisseur de la couche d'enrobés à mesurer. La profondeur de mesure importante permet d'obtenir une valeur de densité relativement stable moins impactée par l'aspect de surface, même si une part de densité des matériaux sous-jacents la couche à mesurer est d'autant plus importante que la couche à mesurer est d'épaisseur faible. La fiabilité de ce mode de mesure est augmentée lorsque l'épaisseur de matériaux à mesurer est importante.

#### Mode 2 – Couche mince

Construit avec des compteurs plus précis, les photons intégrés dans le calcul de la densité sont limités à une profondeur déterminée par l'utilisateur (usuellement 3 à 10cm). La précision de mesure est cependant impactée par l'effet de la macrotecture, qui est d'autant plus importante que la couche à mesurer est faible. Le recalage est d'autant plus important de manière à obtenir des densités représentatives.

#### Mode 3 – Nomographe

Le mode nomographe présent sur certains appareils a été développé pour essayer de combiner les avantages / inconvénients des deux modes de mesure précédents. La mesure est toujours réalisée sur 9cm, mais l'opérateur saisit une profondeur de mesure et la densité des matériaux sous la couche à mesurer. L'appareil retire alors la part de densité des matériaux situés sous la couche de la densité à mesurer. Ce mode de mesure est cependant tributaire de la variabilité d'épaisseur de mise en œuvre de la couche à contrôler et de la variabilité de la densité des couches sous-jacentes.

## ANNEXE 2 – RECALAGE DES APPAREILS DE MESURE

### (Normatif)

De manière plus importante que les mesures en transmission directe, les mesures en rétrodiffusion sont impactées par l'aspect de surface du matériau, par la couche sous-jacente lorsque celle-ci se trouve dans le bulbe de diffusion du rayonnement gamma, ou à l'inverse ne mesurent pas la totalité de l'épaisseur du matériau appliqué lorsque celui-ci a une épaisseur supérieure au bulbe de diffusion du rayonnement gamma. L'objectif de l'établissement d'un recalage des mesures brutes obtenues en rétrodiffusion est de pouvoir s'approcher de la réalité des masses volumiques apparentes brutes en place par comparaison avec d'autres mesures de masses volumiques apparentes dites de référence.

#### 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  $\text{Mg/m}^3$ .

##### 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  $\text{Mg/m}^3$ .

##### 1.3. Recalage par gammadensimètre de référence

Recaler l'ensemble des formules de son catalogue avec l'ensemble de son parc de gammadensimètre peut devenir une tâche fastidieuse. De manière à simplifier l'organisation de ses recalages, il peut être opportun de recalcr l'ensemble de ses formules avec un même gammadensimètre dit « de référence », et de recalcr en démarrage de chantier un gammadensimètre 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

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

- que la corrélation de ce 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 prendre en compte l'influence de la couche sous-jacente. Il pourra être utile de recalibrer son gammadensimètre de référence en employant un mode de mesure permettant de limiter l'impact de cette couche sous-jacente.

## 2. Protocole

### 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.

*Il sera recherché la documentation d'une corrélation sur la totalité de la plage de densités visées y compris pour les valeurs de masse volumique minimum et maximum*

*NB 1 : Pour le suivi d'un chantier dont la formulation, l'épaisseur, le support 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.*

*NB 2 : Parfois, le carottage n'est pas réalisable (petit chantier, demande du maître d'œuvre, ...).*

*Il pourra être utile de documenter de manière plus ou moins continue, en profitant en particulier des chantiers sur lesquels il est possible de pratiquer des investigations, l'évolution de la droite de corrélation entre pb et pr, obtenue en conditions d'utilisation d'une formule différente, si les caractéristiques de la droite de régression obtenue répondent aux exigences de validité formulées dans la présente annexe. Il conviendra de documenter que cette corrélation est obtenue par agrégation de chantiers variables.*

### 2.2. Méthode de calage

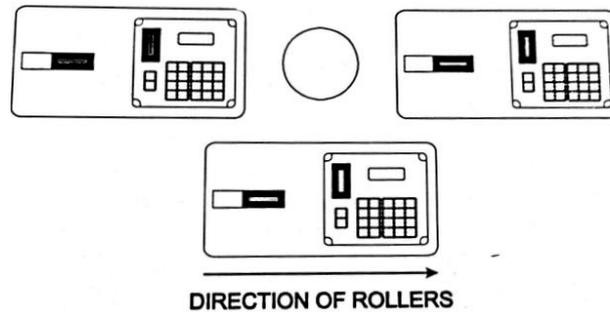
Lors de mesures en rétrodiffusion, l'opérateur peut choisir judicieusement plusieurs zones de manière à recalibrer la masse volumique apparente obtenue au gammadensimètre par rapport à des mesures de référence. Le nombre minimal de zones pour établir ce recalage doit être de 5 zones. Un choix judicieux peut consister dans le choix de zones qui présentent :

- Une valeur de masse volumique apparente la plus proche possible de la moyenne mesurée,
- La valeur de masse volumique apparente minimale mesurée,
- La valeur de masse volumique apparente 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 en rétrodiffusion avec le gammadensimètre à recalcr doivent être réalisées autour de ce point, mesures dont l'écart mini / maxi doit être inférieur à 0.035 Mg/m<sup>3</sup>.



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 au gammadensimètre (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 gammadensimètre). Ces valeurs apparaîtront sur un graphique avec en abscisses les valeurs « rétrodiffusion » 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 au gammadensimètre 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<sup>3</sup> 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 de série unique pour le rapport d'essai
- La référence à la présente méthode annexe
- La référence de l'appareil utilisé, sa date d'étalonnage, son mode d'utilisation (Asphalt, thin layer, ...), la présence ou non d'un éventuel sablage préalable, les conditions de température de l'enrobés lors de sa mesure
- Les conditions météorologiques
- La nature de l'enrobé, sa position dans la chaussée, son épaisseur théorique de répandage.
- La masse volumique réelle de référence de l'enrobé accompagnée de sa date d'établissement
- La date des mesures in situ
- La localisation des mesures (longitudinalement et transversalement)
- la référence éventuelle des échantillons analysés en laboratoire ou la référence au rapport ayant servi au recalage
- Les valeurs de  $\rho_b$  in situ individuelles et moyenne, exprimées en  $Mg/m^3$  ;
- Les valeurs de  $\rho_r$ , exprimées en  $Mg/m^3$  ;
- 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 que 3 décimales doivent être utilisées pour l'expression de l'équation et le calcul de la  $\rho_r$  ;
- Le chantier sur lequel le recalage a été réalisé et toutes remarques utiles pouvant avoir une influence sur la qualité du 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 ».