



Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Etude n° 5 - 2004 **Test du nouvel analyseur de particules en suspension** **PM10 par radiométrie BETA MP101M** **d'environnement SA**

Décembre 2004 - version définitive

Convention : CV 04 000 088

François MATHE

avec la collaboration technique de: **Benoît HERBIN**



PREAMBULE

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué de laboratoires de l'Ecole des Mines de Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches en liaison avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA), le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et l'ADEME. Ces travaux supportés financièrement par la Direction des Préventions des Pollutions et des Risques du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable sont réalisés avec le souci constant d'apporter l'appui scientifique et technique indispensable aux AASQA et d'assurer la liaison entre la recherche en matière de pollution atmosphérique et son application sur le terrain.

L'objectif principal du LCSQA est de participer à l'amélioration de la qualité des mesures effectuées en France, depuis le prélèvement des échantillons jusqu'au traitement des données issues des mesures. Cette action est menée dans le cadre notamment des Directives européennes mais aussi dans un cadre prospectif pour fournir aux AASQA de nouveaux outils permettant d'anticiper sur les évolutions futures.

ECOLE DES MINES DE DOUAI

DEPARTEMENT CHIMIE ET ENVIRONNEMENT

Etude n°5

**TEST DU NOUVEL ANALYSEUR DE PARTICULES EN
SUSPENSION PAR RADIOMETRIE BETA MP101M
D'ENVIRONNEMENT SA**

**François MATHE
avec la collaboration technique de Benoît HERBIN
Décembre 2004**

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	6
2. MOYENS MIS EN OEUVRE	6
3. DESCRIPTION DE LA JAUGE RADIOMETRIQUE MP101M D'ENVIRONNEMENT SA	7
3. RESULTATS.....	10
3.1 COMPARAISON AVEC LA REFERENCE GRAVIMETRIQUE LVS.....	10
3.2 COMPARAISON AVEC LA REFERENCE GRAVIMETRIQUE HVS	13
3.3 COMPARAISON AVEC LA MICROBALANCE TEOM	16
3.4 INFLUENCE DU TEMPS D'ACCUMULATION DE LA JAUGE BETA	20
4. CONCLUSION	24
ANNEXE: INFORMATIONS SUR LA DETENTION DE SOURCES RADIOACTIVES ..	25

Résumé de l'étude n°5 du rapport d'activités de l'EMD 2004

Etude suivie par: François MATHE

☎ 03 27 71 26 10

TEST DU NOUVEL ANALYSEUR DE PARTICULES EN SUSPENSION PM10 PAR RADIOMETRIE BETA MP101M D'ENVIRONNEMENT SA

1. Présentation des travaux

La teneur en eau de l'aérosol atmosphérique ou la présence de substances volatiles ou semi-volatiles est la principale source de sous-estimation de la concentration massique en particules donnée par un appareil automatique de mesure. Ceci pourrait être évité sur la nouvelle version de la jauge radiométrique par absorption bêta développée par la société Environnement SA. Une présentation de cet appareil est faite dans ce rapport avec description du principe de fonctionnement qui est normalisé selon le référentiel NF ISO 10143 d'août 2000 «Air ambiant - Mesurage de la masse des matières particulaires sur un milieu filtrant - Méthode par absorption de rayons bêta »

L'étude de ce système a été effectuée sur la plate-forme de référence de l'Ecole de Mines de Douai :

- comparaison avec les références gravimétrique à bas et haut débit,
- comparaison avec la microbalance R&P TEOM en configuration classique de réseau et en configuration dotée d'un système de déshumidification de l'échantillon,
- étude de l'influence du mode de configuration de l'appareil.

2. Principaux résultats obtenus

Sur le site de l'Ecole des Mines de Douai, la nouvelle jauge bêta MP101M d'Environnement SA montre des performances intéressantes.

La modification dénommée «kit RST » installé sur cet appareil permet de réduire de façon notable l'écart avec la référence gravimétrique qui n'est plus que de l'ordre de 6 à 10% entre 50 et 100 $\mu\text{g.m}^{-3}$. De plus, le nombre de dépassements de la valeur limite journalière (critère faisant partie des objectifs de qualité des données de la 1^{ère} Directive Fille) constaté sur cet appareil est en accord avec celui observé sur la méthode de référence gravimétrique. Ce « kit RST » de faible coût et facile à mettre en œuvre peut être adaptée sur des appareils existants de génération récente.

Cependant, nous avons montré que la meilleure adéquation de cette jauge bêta avec la méthode gravimétrique est conditionnée par un mode d'utilisation particulier, à savoir un mode d'accumulation de 24h. Ce mode est suffisant pour obtenir des valeurs journalières répondant à l'objectif réglementaire de la 1^{ère} Directive Fille de communication des données au public sur une base quotidienne. Une résolution temporelle telle que celle des analyseurs de polluants gazeux traditionnels tels que SO₂, NO₂, CO ou O₃. n'est cependant pas envisageable, le temps d'accumulation le plus faible possible ne pouvant raisonnablement pas être inférieur à 6h. Ces résultats seront à confirmer lors des campagnes de démonstration de l'équivalence de la jauge MP101M prévue dans le cadre des travaux LCSQA 2005.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre des activités du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air, l'Ecole des Mines de Douai a acquis depuis 1994 une certaine expérience dans le domaine de la mesure des particules en suspension dans l'air ambiant. Elle dispose depuis 1999 d'une plate-forme de mesure de la phase particulaire implantée sur le site de l'Ecole des Mines de Douai.

La méthode de mesure la plus répandue en France est la microbalance à variation de fréquence R&P type TEOM. Cette méthode non normalisée fait l'objet de réserves techniques, notamment à cause de sa sous-estimation des concentrations en particules due principalement à la perte en eau de l'aérosol collecté et la volatilisation de substances volatiles ou semi-volatiles. La jauge radiométrique bêta est un moyen de mesure normalisée (cf. norme NF ISO 10473 d'août 2000 «Air ambiant - Mesurage de la masse des matières particulaires sur un milieu filtrant - Méthode par absorption de rayons bêta») encore utilisée en AASQA (66 appareils en novembre 2004 soit environ 15% du parc d'appareils en station de mesure de la qualité de l'air).

La dernière version de jauge bêta MP101M d'Environnement SA utilise la tête de prélèvement PM10 à bas débit (1 m³/h) américaine ou européenne (dérivée de la norme EN 12341 «Qualité de l'air - Détermination de la fraction MP10 de matière particulaire en suspension - Méthode de référence et procédure d'essai in situ pour démontrer l'équivalence à la référence de méthodes de mesurage»). L'amélioration technique proposée par le constructeur consiste en une ligne de prélèvement dont le chauffage est asservi à la température et à l'hygrométrie ambiantes, limitant l'écart de température entre l'échantillon et l'air ambiant extérieur au maximum à 5°C, permettant de minimiser à la fois les risques de condensation et les pertes en composés volatils sur le prélèvement.

Une présentation de l'appareil est effectuée (description du principe de fonctionnement, analyse technique critique de l'appareil...) avant une éventuelle utilisation en AASQA.

Un test de cet appareil en configuration PM₁₀ sur la plate-forme de mesure de l'Ecole des Mines de Douai a été réalisé, sur la base d'une comparaison avec les appareils manuels et automatiques de la plate-forme (préleveur LVS R&P Partisol 2025, préleveur HVS DIGITEL DA80, analyseur en continu R&P TEOM).

2. MOYENS MIS EN OEUVRE

Depuis août 1999, une plate-forme de mesure de la phase particulaire a été mise en place sur un site urbain de Douai, rassemblant les différents types d'analyseurs ou de préleveurs équipant actuellement les réseaux français de surveillance de la qualité de l'air. Cette plate forme est opérationnelle depuis 1999 (rapport d'activités LCSQA – EMD 1999 n°2 –partie 4).

Ce site est de type urbain et possède les caractéristiques suivantes:

- l'influence du trafic routier est forte
- le faible éloignement du Département Chimie et Environnement de l'EMD permet de réduire la durée des déplacements qui sont fréquents
- les risques de vandalisme sont minimisés dans la mesure où le site est dans l'enceinte clôturée du Centre de Recherches

Pour la présente étude, les appareillages disponibles sur le site sont les suivants:

- 1 microbalance à variations de fréquence R&P TEOM à tête PM₁₀
- 1 préleveur sur filtres à faible volume R&P Partisol Plus à tête PM₁₀
- 1 préleveur automatique sur filtre à grand volume Digitel DA80 à tête PM₁₀
- 1 jauge radiométrique Environnement SA MP101M à tête PM₁₀

L'ensemble des appareils est logé dans ensemble Portakabin climatisé transportable type Pacemaker référence PK 241.



Figure 1: Vue d'ensemble de l'abri autonome sur le site de mesure de l'EMD

3. DESCRIPTION DE LA JAUGE RADIOMETRIQUE MP101M D'ENVIRONNEMENT SA

La jauge β est un dispositif permettant de mesurer l'absorption des rayons β par la matière particulaire. Les rayons β , émis par une source radioactive (carbone 14 dans le cas de la MP101M) sont absorbés par collision avec le dépôt de particules et cette absorption est reliée à la masse de particules déposées sur le filtre, indépendamment de leur nature physico-chimique.

La jauge β est constituée d'une tête de prélèvement US PM₁₀ pour un débit d'aspiration de 1 m³.h⁻¹, d'un tube d'adduction spécifique, d'un boîtier (cf. figure 2) contenant la partie analytique (avec notamment une bande de papier filtre en fibres de verre (largeur 35 mm, longueur 30m), le système de mesure (compteur GM) et le système de régulation de débit - par vanne pressostatique -) et d'une pompe.



Figure 2 : Boîtier de commande de la jauge bêta

L'appareil mesure de manière séquentielle sur une base de temps réglable à 1/2, 1, 2, 4, 8, 12 et 24 heures. A chaque cycle, une mesure N_1 de l'intensité du rayonnement bêta est faite sur le filtre vierge, une autre N_2 sur le filtre chargé en fin de cycle, de façon à s'affranchir du risque d'hétérogénéité du ruban filtre.

La masse est reliée au rapport entre les 2 mesures selon une relation du type :

$$m = k \cdot \ln\left(\frac{N_1}{N_2}\right) \text{ avec } k \text{ constante d'étalonnage}$$

L'appareil est livré avec une cale étalon. Les données sont récupérables par voie analogique ou par RS 232 ou 422.

Le principe de mesure est rappelé dans la figure 3 :

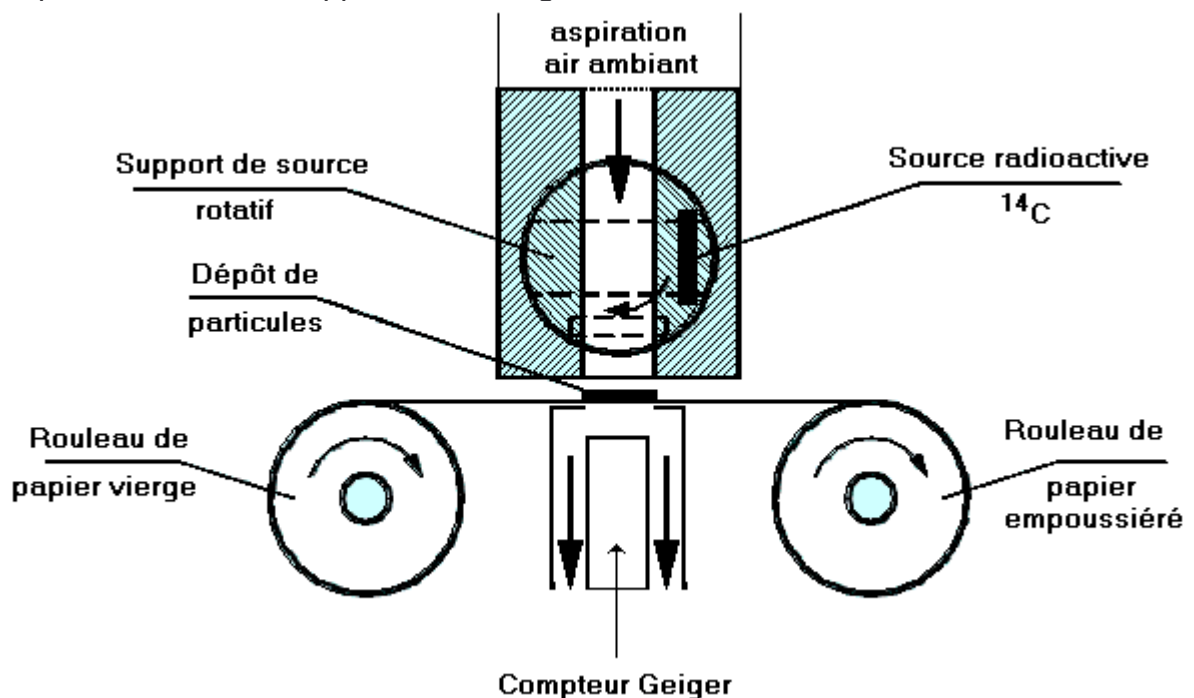


Figure 3 : principe de fonctionnement de la jauge bêta

La surface d'échantillonnage est de l'ordre de 2 cm^2

Le tableau I résume les principales caractéristiques de la jauge bêta MP101M:

Tableau I: récapitulatif des principales caractéristiques de la MP101M

Gammes de mesure	0-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 0-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 0-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0-1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 0-2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 0-5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Limite de détection (dépendante du temps de prélèvement)	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en accumulation 24h
Type de source radioactive	Carbone 14 (activité < 90 μCi , temps de $\frac{1}{2}$ vie = 5000 ans)
Type de signal de sortie	0 ou 4 – 20 mA ou 0 - 1 ou 10 V
Débit d'utilisation	1 m^3/h
Consommation	330 VA (pompe incluse)
Température d'utilisation	10 à 40°C
Dimensions et poids	L x l x H = 483 mm x 440 mm x 285 mm 21,5 kg (+ pompe de 11 kg)

Le constructeur a développé un dispositif spécifique (dénommé « kit RST ») consistant en une ligne de prélèvement régulée en chauffage assurant une température au niveau du dépôt de particules à au plus 5°C au dessus de la température ambiante (cf. figure 4). Le tube de prélèvement de longueur variable (de 1 à 2,75 m) est chauffé et régulé en température. L'appareil est fourni avec un capteur de température et d'humidité relative ambiantes afin d'asservir le chauffage de tube à ces 2 paramètres météorologiques. Ceci permet d'avoir une température de prélèvement (donc au niveau du ruban filtre de collecte) au maximum à 5°C au dessus de la température de l'air échantillonné. Les risques de condensation et d'altération de l'échantillon (perte en matières volatiles) sont alors minimisés. Le prix de vente du «kit RST» système est de l'ordre de 3000 euros TTC.

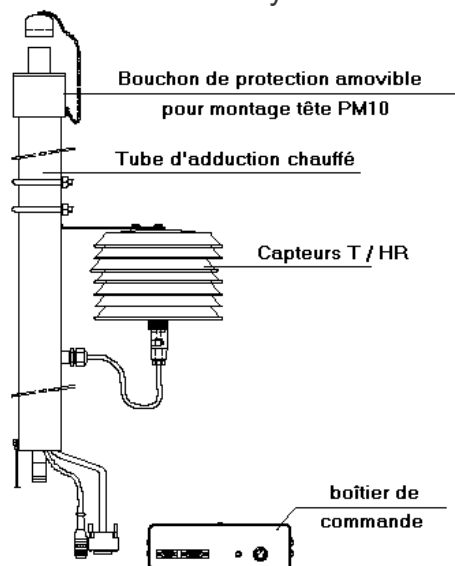


Figure 4: Ligne de prélèvement RST

Le principe de régulation de débit est basé sur la mesure des deux pressions statiques absolues P_1 et P_2 prises de part et d'autre d'un diaphragme, dans une configuration telle que l'écoulement est turbulent.

La valeur du débit Q est donnée par la relation :

$$Q = K \sqrt{P_1 - P_2} \cdot \frac{P_1 \cdot T_{\text{ambient}}}{P_{\text{ambient}} \cdot T_1}$$

La constante K est déterminée lors de l'étalonnage du débit par l'utilisateur.

T_1 est la température au niveau du filtre.

La stabilité de la régulation de débit est annoncée à $\pm 2\%$ par le constructeur.

La gestion de la source radioactive est désormais plus facile selon le constructeur. (cf. annexe). La demande d'autorisation est soumise à des critères plus souples, permettant par exemple de pouvoir disposer sur un même site de 2 appareils par radiométrie bêta à source ^{14}C sans pour autant devoir effectuer les démarches d'autorisation auprès de la DGSNR.

3. RESULTATS

3.1 COMPARAISON AVEC LA REFERENCE GRAVIMETRIQUE LVS

La configuration de la jauge bêta est en accumulation 24h, c'est à dire que le prélèvement de 24h est encadré par les 2 mesures radiométriques.

Les valeurs journalières prises en compte correspondent à une durée de fonctionnement validé de 70 jours, du 17 février au 23 mai 2004. Le profil chronologique est décrit dans la figure suivante:

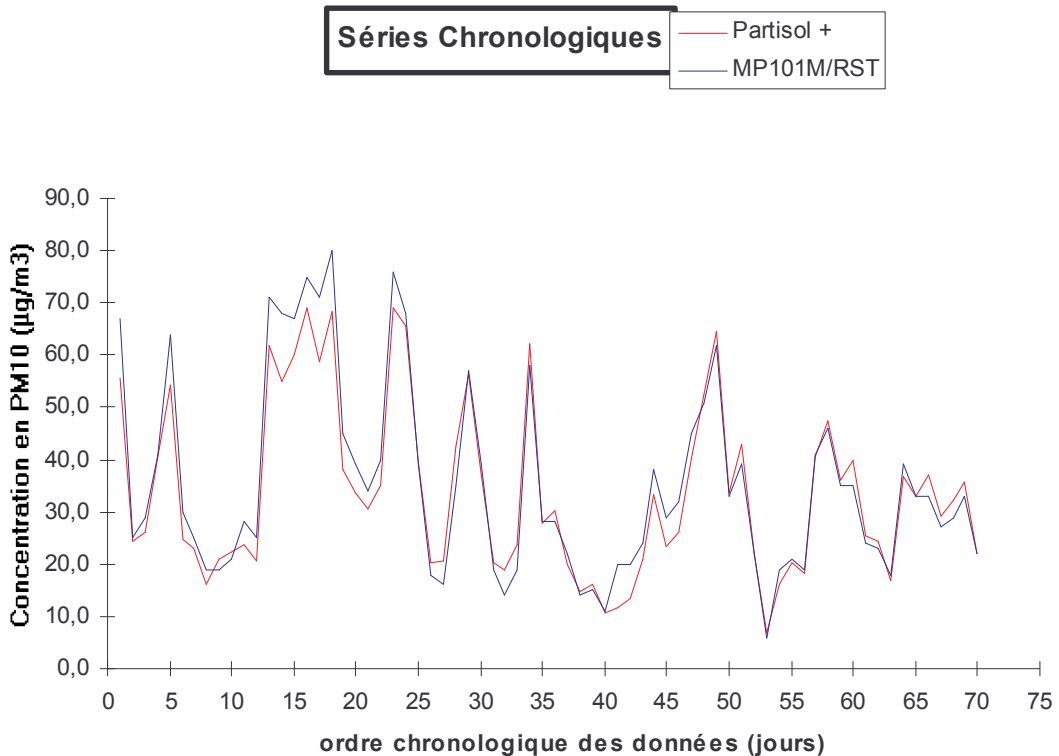


Figure 5 : Profil chronologique des valeurs journalières de la jauge bêta MP101M et du préleveur LVS R&P Partisol 2025

Le tableau II résume les résultats obtenus :

Tableau II: récapitulatif des mesures en parallèle

Appareil	Partisol +	MP101M-RST
Nombre de paires de données traitées	70	
Minimum ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	6,8	6,0
Maximum ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	69,1	80,0
Moyenne ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	33,7	35,4
IC₉₅ sur la moyenne ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	3,8	4,3
Nbre de dépassements de la VLJ ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$)	14	14
Droite de corrélation obtenue (RLC)	MP101M-RST = 1,089 LVS – 1,364	
Droite de corrélation obtenue (RLO)	MP101M –RST= 1,124 LVS – 2,545	
Coefficient de corrélation	0,972	
Rapport des moyennes $\frac{\text{MP101M-RST}}{\text{LVS}} \pm \text{IC}_{95}$	1,049 \pm 0,119	
Rapport moyen $\frac{\text{MP101M-RST}}{\text{LVS}} \pm \text{écart-type}$	1,047 \pm 0,153	

La jauge bêta montre une légère surestimation des concentrations par rapport à la référence gravimétrique (de l'ordre de 6 à 7% entre 50 et 100 $\mu\text{g.m}^{-3}$). Il est intéressant de constater que le même nombre de dépassements de la valeur limite journalière en PM₁₀ de la directive européenne du 22/04/99 (50 $\mu\text{g.m}^{-3}$) est observé sur la jauge bêta et la référence gravimétrique.

La corrélation entre les séries de mesures est décrite dans la figure suivante :

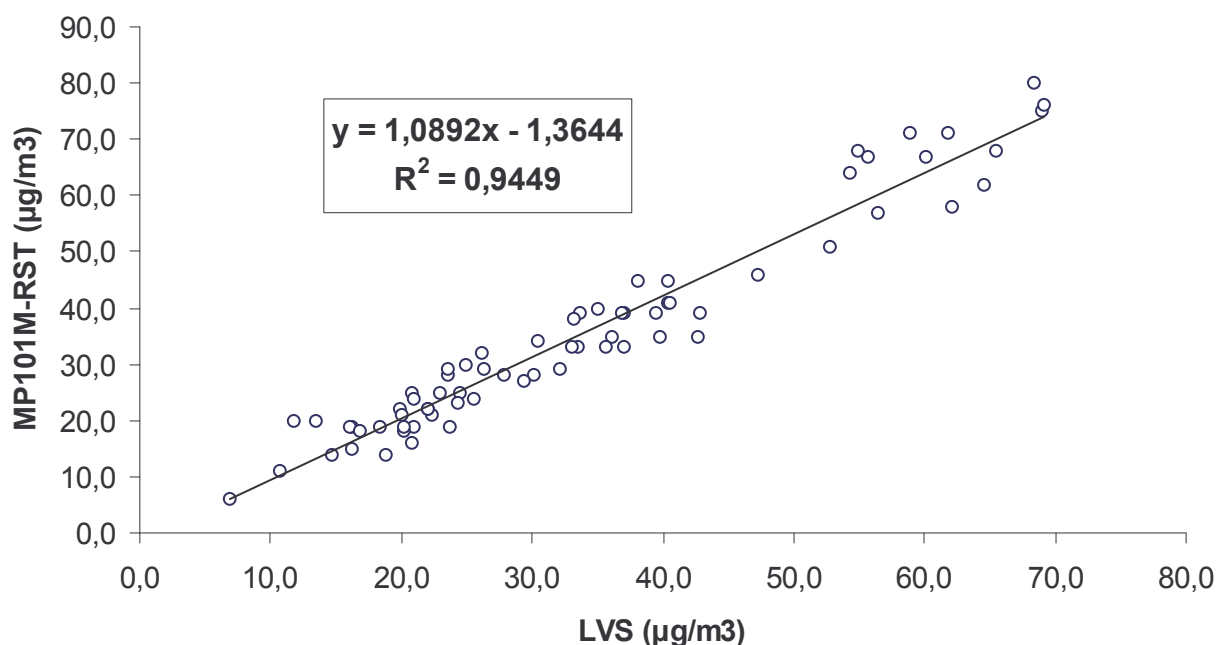


Figure 5 : Corrélation entre les valeurs journalières MP101M et référence gravimétrique LVS

Une exploitation statistique des résultats selon le protocole décrit dans la norme EN 12341 «Qualité de l'air : Détermination de la fraction MP10 de matière particulaire en suspension - Méthode de référence et procédure d'essai in situ pour démontrer l'équivalence à la référence de méthodes de mesurage» en appliquant les critères suivants :

- le seuil critique de $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ a été choisi en fonction des caractéristiques du site (la valeur moyenne sur toutes les périodes d'études menées sur le site de Douai depuis 1999 se situe entre 25 et $35\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 - en dessous de ce seuil, le critère de performance est constitué par une enveloppe de $\pm 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans laquelle les points expérimentaux doivent se placer.
 - au dessus de ce seuil, l'enveloppe est exprimée sous la forme relative de $\pm 10\%$
- La figure 6 résume les résultats obtenus :

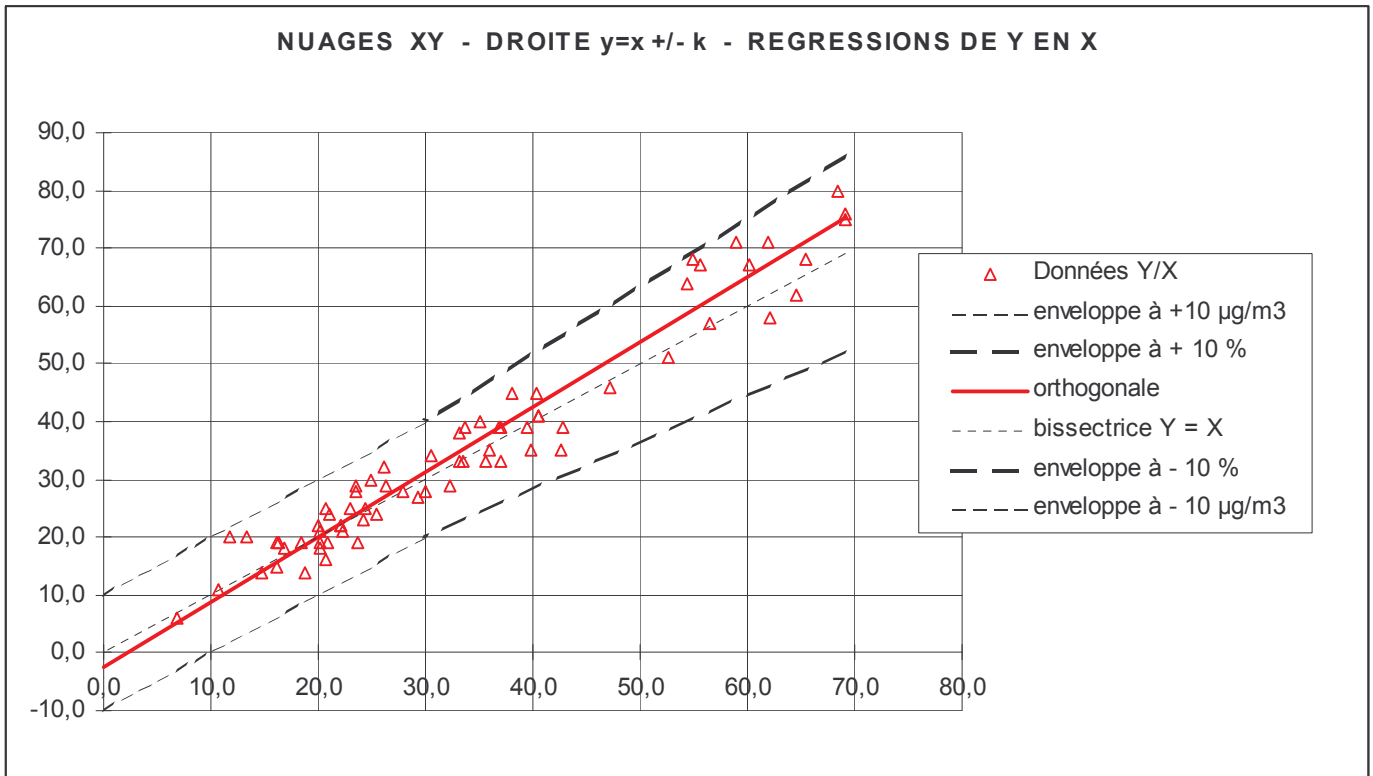


Figure 6: Exploitation statistique de la campagne de mesure entre MP101M -RST(en Y) et référence gravimétrique LVS (en X) – Concentrations en PM₁₀ (µg/m³)

Les résultats obtenus sont tout à fait acceptables : l'appareil automatique respecte les critères de performance.

Pour la période d'étude, le rapport moyen $\frac{\text{Jauge } \beta}{\text{LVS}}$ est égal à $1,047 \pm 0,153$.

L'utilisation de la modification dénommée « Kit RST » sur la jauge radiométrique MP101M dans un mode d'accumulation 24h permet d'obtenir des mesures comparables avec la méthode gravimétrique sur un préleveur à bas débit.

En utilisant la droite de régression, une concentration obtenue sur la jauge bêta modifiée MP101M de $50\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (valeur limite journalière en PM₁₀ de la directive européenne du 22/04/99) correspondrait à $47\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ sur l'appareil de référence gravimétrique à bas débit.

En utilisant la régression linéaire orthogonale, le rapport moyen $\frac{\text{Jauge } \beta}{\text{LVS}}$ ou le rapport des moyennes, une concentration obtenue sur la jauge de $50\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ équivaldrait à une valeur variant entre $46,7$ et $47,7\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ sur l'appareil gravimétrique de référence à bas débit.

3.2 COMPARAISON AVEC LA REFERENCE GRAVIMETRIQUE HVS

La configuration de la jauge bétâ est en accumulation 24h

Les valeurs journalières prises en compte correspondent à une durée de fonctionnement validé de 54 jours, du 18 février au 21 mai 2004. Le profil chronologique est décrit dans la figure suivante:

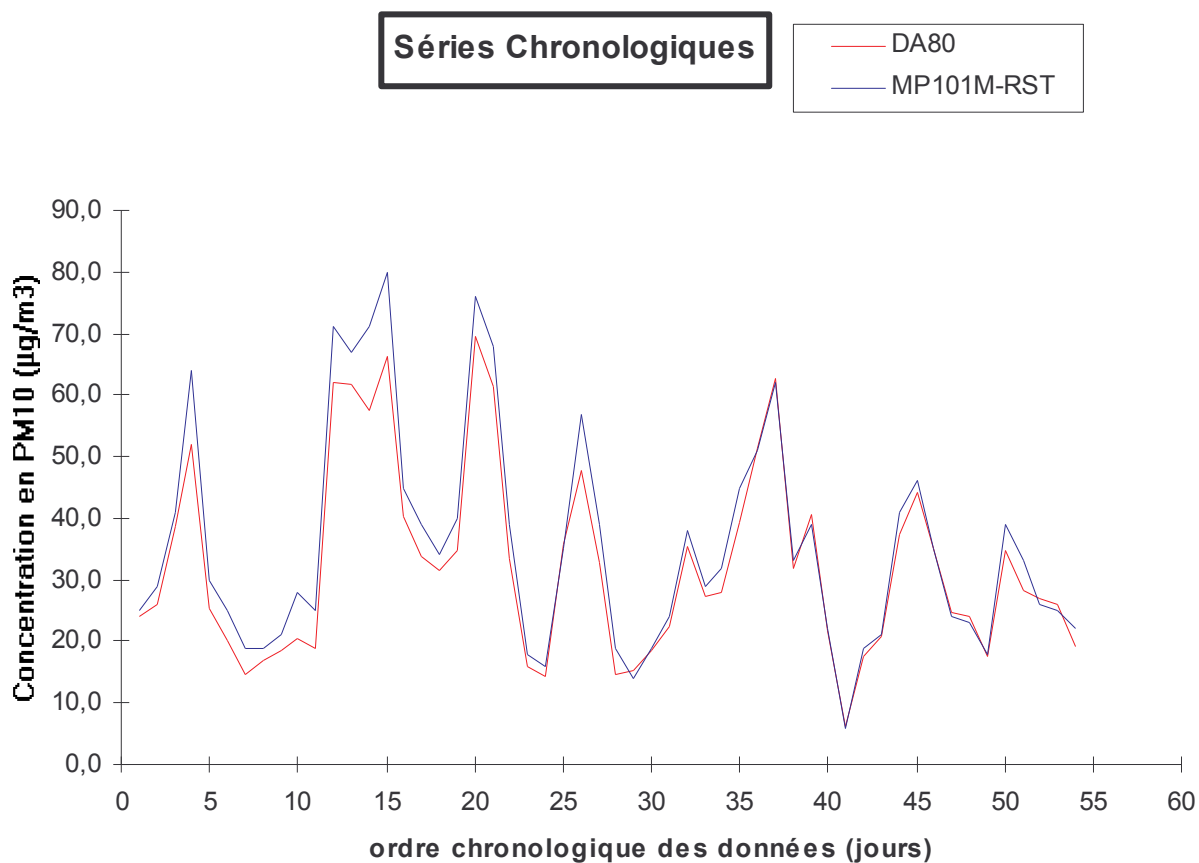


Figure 7 : Profil chronologique des valeurs journalières de la jauge bétâ MP101M et du préleveur HVS DIGITEL DA80

Le tableau III résume les résultats obtenus :

Tableau III: récapitulatif des mesures en parallèle

Appareil	HVS DA80	MP101M-RST
Nombre de paires de données traitées	54	
Minimum ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	6,2	6,0
Maximum ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	69,6	80,0
Moyenne ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	32,3	35,7
IC₉₅ sur la moyenne ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	4,1	4,7
Nbre de dépassements de la VLJ ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$)	9	10
Droite de corrélation obtenue (RLC)	MP101M-RST = 1,118 HVS – 0,483	
Droite de corrélation obtenue (RLO)	MP101M-RST = 1,138 HVS – 1,138	
Coefficient de corrélation	0,984	
Rapport des moyennes $\frac{\text{MP101M-RST}}{\text{HVS}} \pm \text{IC}_{95}$	1,103 \pm 0,133	
Rapport moyen $\frac{\text{MP101M-RST}}{\text{HVS}} \pm \text{écart-type}$	1,102 \pm 0,103	

La corrélation entre les séries de mesures est décrite dans la figure suivante :

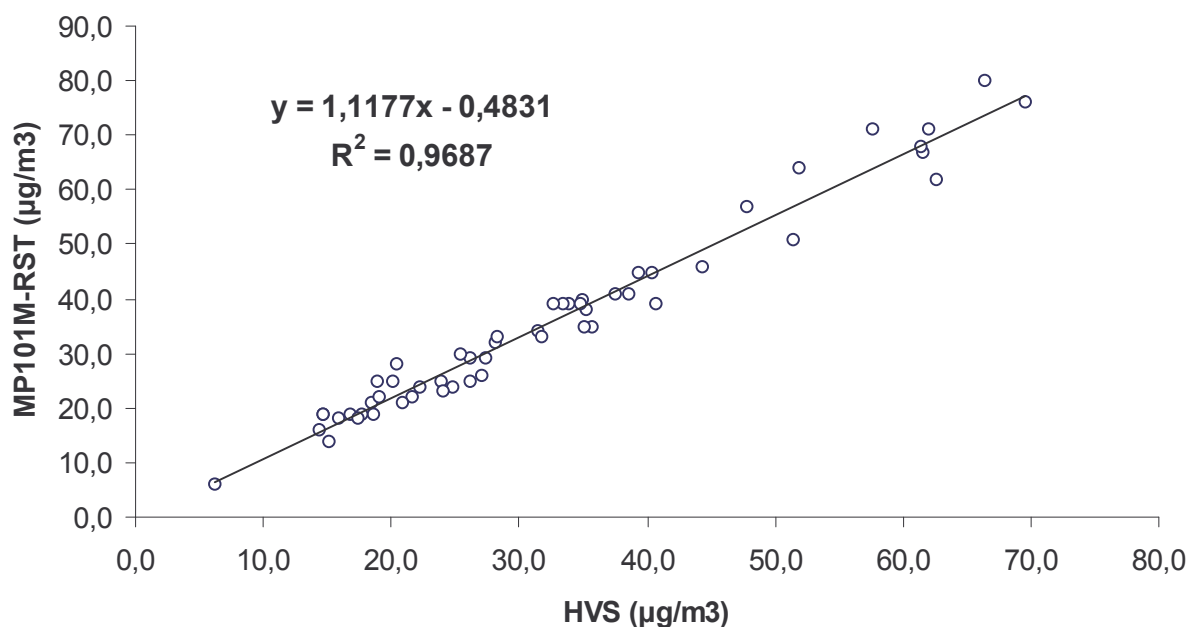


Figure 8 : Corrélation entre les valeurs journalières MP101M-RST et la référence gravimétrique HVS

Les résultats observés avec la référence gravimétrique à bas débit sont confirmés : Surestimation par rapport à la référence gravimétrique des concentrations par la jauge bêta (de l'ordre de 10% entre 50 et 100 $\mu\text{g.m}^{-3}$), même nombre de dépassements de la valeur limite journalière en PM_{10} de la directive européenne du 22/04/99 (50 $\mu\text{g.m}^{-3}$) observé sur la jauge bêta et la référence gravimétrique.

L'exploitation statistique selon le référentiel EN12341 confirme également les résultats obtenus avec le préleveur à bas débit :

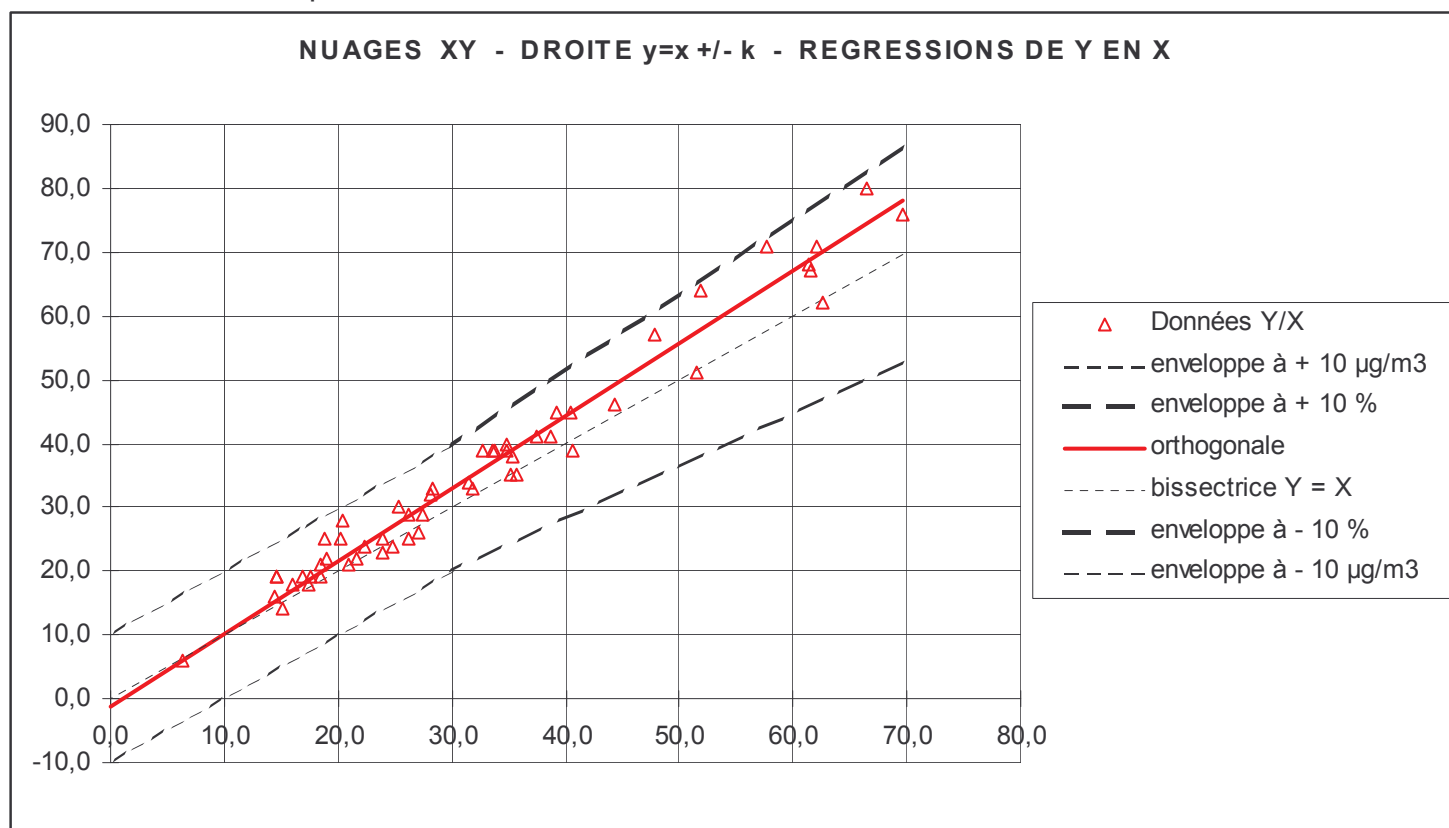


Figure 6: Exploitation statistique de la campagne de mesure entre MP101M-RST (en Y) et référence gravimétrique HVS (en X) – Concentrations en PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Les résultats obtenus restent satisfaisants : l'appareil automatique respecte les critères de performance.

Pour la période d'étude, le rapport moyen $\frac{\text{Jauge } \beta}{\text{HVS}}$ est égal à $1,102 \pm 0,103$. A titre de

comparaison, le rapport $\frac{\text{TEOM SES}}{\text{HVS}}$ était de $0,95 \pm 0,223$ lors de tests précédents entre

le TEOM (avec système SES de déshumidification de l'échantillon) et le HVS (cf. rapport d'activités LCSQA année 2001).

L'utilisation de la modification dénommée « Kit RST » sur la jauge radiométrique MP101M dans un mode d'accumulation 24h permet d'obtenir des mesures comparables avec la méthode gravimétrique sur un préleveur à haut débit.

En utilisant la droite de régression, une concentration obtenue sur la jauge bêta modifiée MP101M de $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ correspondrait à $45,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ sur l'appareil de référence gravimétrique à haut débit.

En utilisant la régression linéaire orthogonale, le rapport moyen $\frac{\text{Jauge } \beta}{\text{HVS}}$ ou le rapport des

moyennes, une concentration obtenue sur la jauge de $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ équivaldrait à une valeur de $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ sur l'appareil gravimétrique de référence à haut débit.

3.3 COMPARAISON AVEC LA MICROBALANCE TEOM

La comparaison entre les 2 méthodes automatiques utilisées actuellement en France a été effectuée. La configuration de la jauge bêtâ est en accumulation 24h. Une première comparaison a été menée avec la microbalance TEOM en version basique (dont la moyenne journalière a été calculée à partir des données 10 minutes).

Les valeurs journalières prises en compte correspondent à une durée de fonctionnement validé de 72 jours, du 17 février au 22 mai 2004. Le profil chronologique est décrit dans la figure suivante:

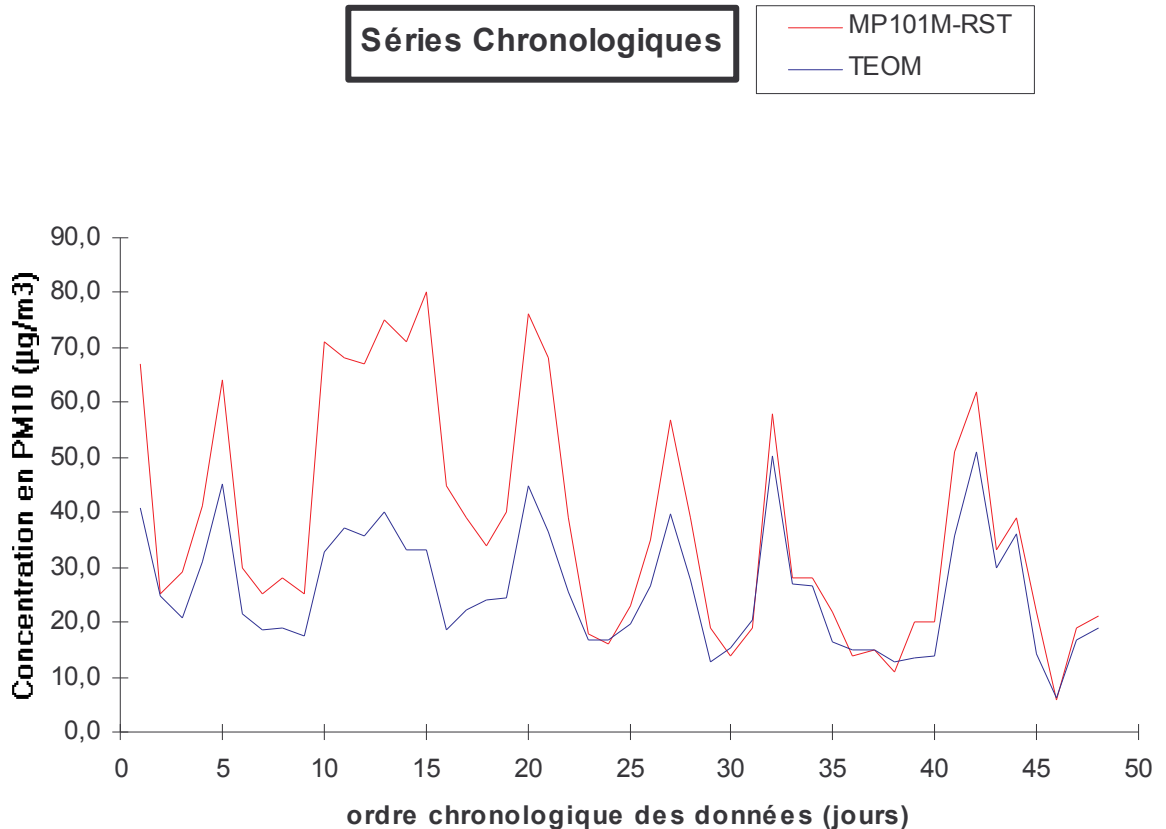


Figure 7 : profil chronologique des valeurs journalières de la jauge bêtâ MP101M et de la microbalance TEOM

Le tableau IV résume les résultats obtenus :

Tableau IV: récapitulatif des mesures en parallèle

Appareil	MP101M-RST	TEOM
Nombre de paires de données traitées	72	
Minimum ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	6,0	6,1
Maximum ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	80,0	50,9
Moyenne ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	35,7	25,3
IC ₉₅ sur la moyenne ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	4,3	2,3
Nbre de dépassements de la VLJ ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$)	15	2
Droite de corrélation obtenue (RLC)	TEOM = 0,463 MP101M-RST + 8,77	
Droite de corrélation obtenue (RLO)	TEOM = 0,489 MP101M-RST + 7,83	
Coefficient de corrélation	0,874	
Rapport des moyennes $\frac{\text{TEOM}}{\text{MP101M-RST}} \pm \text{IC}_{95}$	0,708 \pm 0,107	
Rapport moyen $\frac{\text{TEOM}}{\text{MP101M-RST}} \pm \text{écart-type}$	0,768 \pm 0,167	

La corrélation entre les séries de mesures est décrite dans la figure suivante :

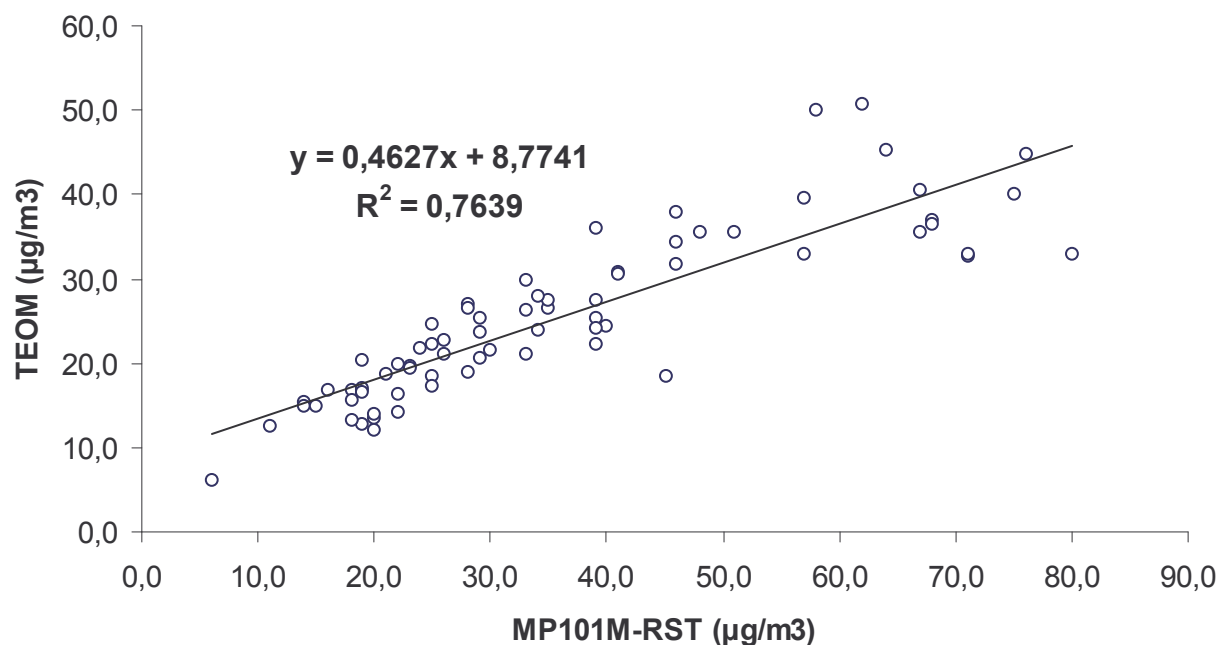


Figure 8 : Corrélation entre les valeurs journalières MP101M et TEOM

Le décalage conséquent « classique » entre le TEOM et la référence gravimétrique est également constaté avec la jauge bétâ (de l'ordre de 60% entre 50 et 100 $\mu\text{g.m}^{-3}$). Dans le cas du TEOM, le nombre de dépassements de la valeur limite journalière européenne est en nette diminution. La corrélation entre les 2 méthodes automatiques est également moins bonne.

Une autre comparaison a été effectuée avec la microbalance TEOM équipée du système SES de déshumidification de l'échantillon. Les valeurs journalières prises en compte correspondent à une durée de fonctionnement validé de 53 jours, du 23 mars au 22 mai 2004. Le profil chronologique est décrit dans la figure suivante:

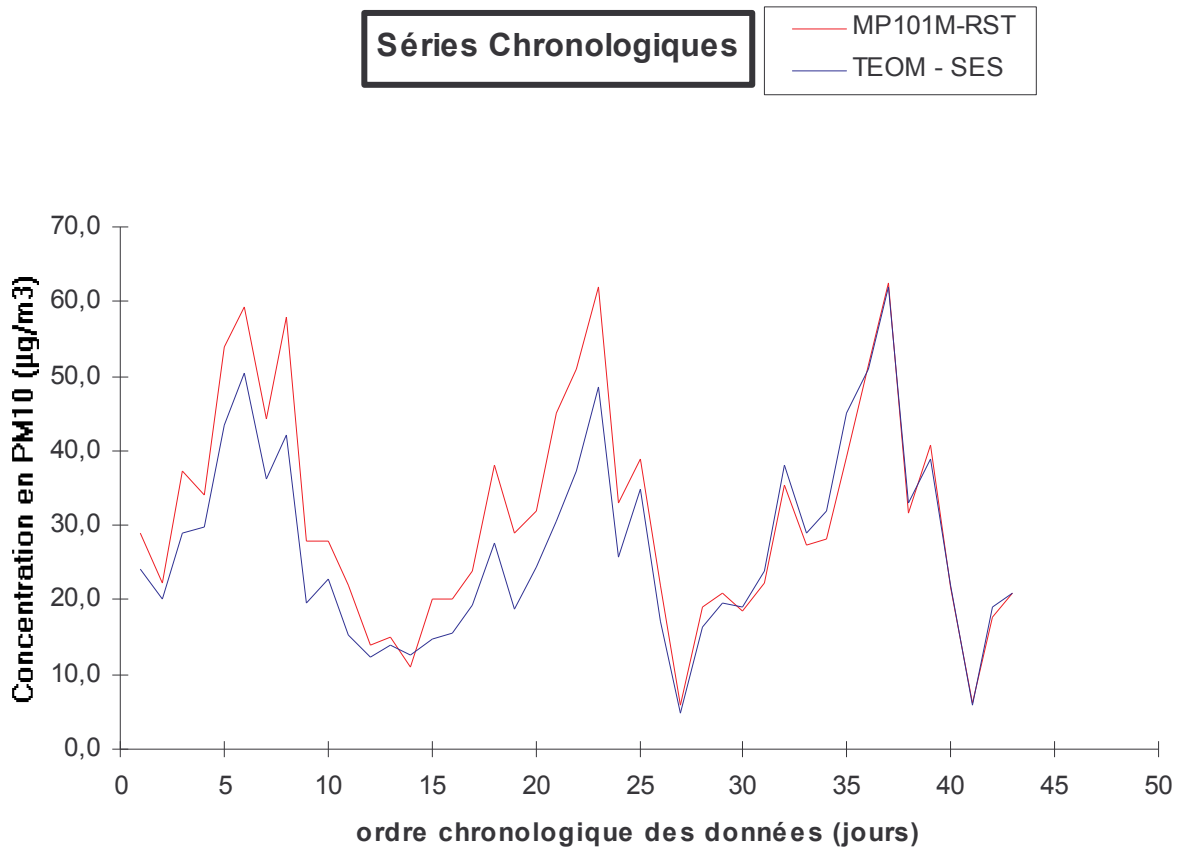


Figure 9 : profil chronologique des valeurs journalières de la jauge bêta MP101M et de la microbalance TEOM - SES

L'écart entre les 2 méthodes automatiques diminue sensiblement.

Le tableau V résume les résultats obtenus :

Tableau V: récapitulatif des mesures en parallèle

Appareil	MP101M-RST	TEOM-SES
Nombre de paires de données traitées	53	
Minimum ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	6,0	4,7
Maximum ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	62,0	51,4
Moyenne ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	31,6	25,2
IC ₉₅ sur la moyenne ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	3,6	2,8
Nbre de dépassements de la VLJ ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$)	6	2
Droite de corrélation obtenue (RLC)	TEOM-SES = 0,760 MP101M-RST + 1,196	
Droite de corrélation obtenue (RLO)	TEOM-SES = 0,861 MP101M -RST+ 0,285	
Coefficient de corrélation	0,964	
Rapport des moyennes $\frac{\text{TEOM}_{\text{SES}}}{\text{MP101M-RST}} \pm \text{IC}_{95}$	0,870 \pm 0,146	
Rapport moyen $\frac{\text{TEOM}_{\text{SES}}}{\text{MP101M-RST}} \pm \text{écart-type}$	0,807 \pm 0,094	

La corrélation entre les séries de mesures est décrite dans la figure suivante :

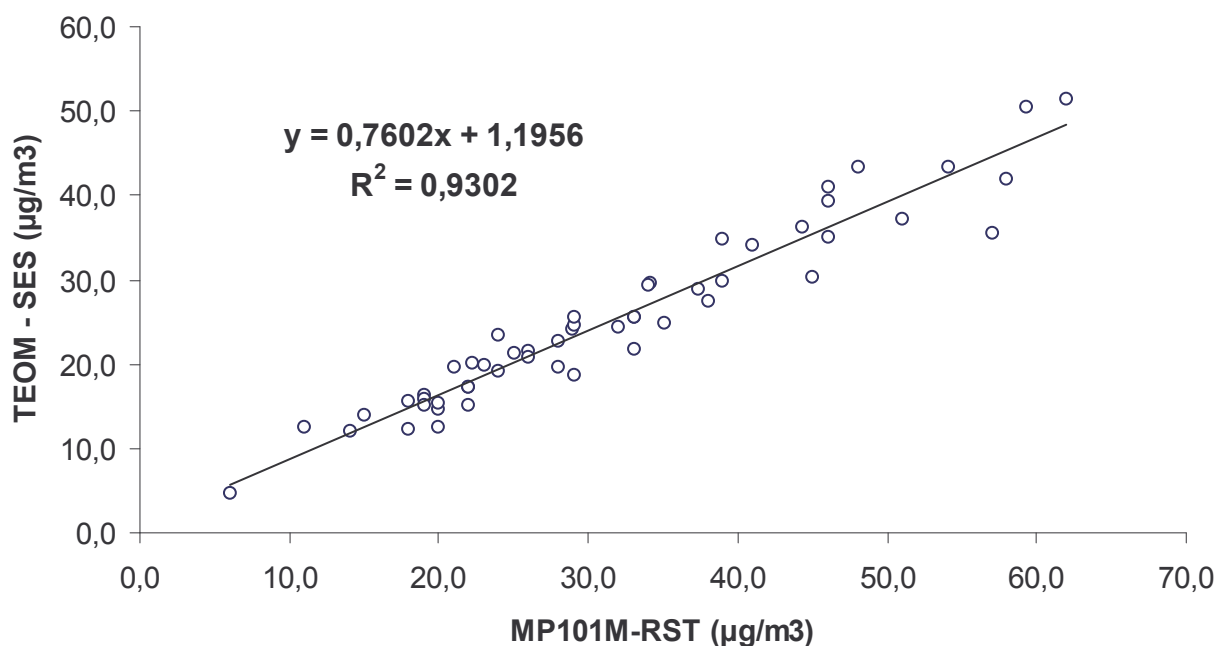


Figure 10 : Corrélation entre les valeurs journalières MP101M et TEOM-SES

Le décalage précédemment constaté avec la jauge bêta est en diminution (de l'ordre de 25% entre 50 et $100 \mu\text{g.m}^{-3}$). Dans le cas du TEOM, le nombre de dépassements de la valeur limite journalière européenne reste cependant en retrait par rapport à la jauge bêta. La corrélation entre les 2 méthodes automatiques s'améliore.

3.4 INFLUENCE DU TEMPS D'ACCUMULATION DE LA JAUGE BETA

Les AASQA utilisent habituellement la jauge bêtâ avec un temps d'accumulation de 2 heures, de façon à avoir une résolution temporelle plus proche de celle des analyseurs de polluants gazeux traditionnels. Cependant, compte tenu du principe de mesure de la jauge, ce choix est fait au détriment de l'incertitude de mesure finale, dans la mesure où la limite de détection augmente si le temps d'accumulation diminue.

L'influence du temps d'accumulation de la jauge bêtâ a été étudiée sur les pas de temps de 2 et 6h. Les moyennes journalières reconstituées prises en compte correspondent à une durée respective de fonctionnement brut de 27 jours pour la configuration 2h (du 16 juin au 12 juillet 2004) et de 30 jours pour la configuration 6h (du 14 juillet au 13 septembre 2004). Les profils chronologiques sont décrits dans les figures 11 et 12.

A chaque moyenne reconstituée de la jauge bêtâ a été associée son écart-type qui est un bon indicateur de la variation de la concentration en PM_{10} pendant la période de prélèvement de la référence:

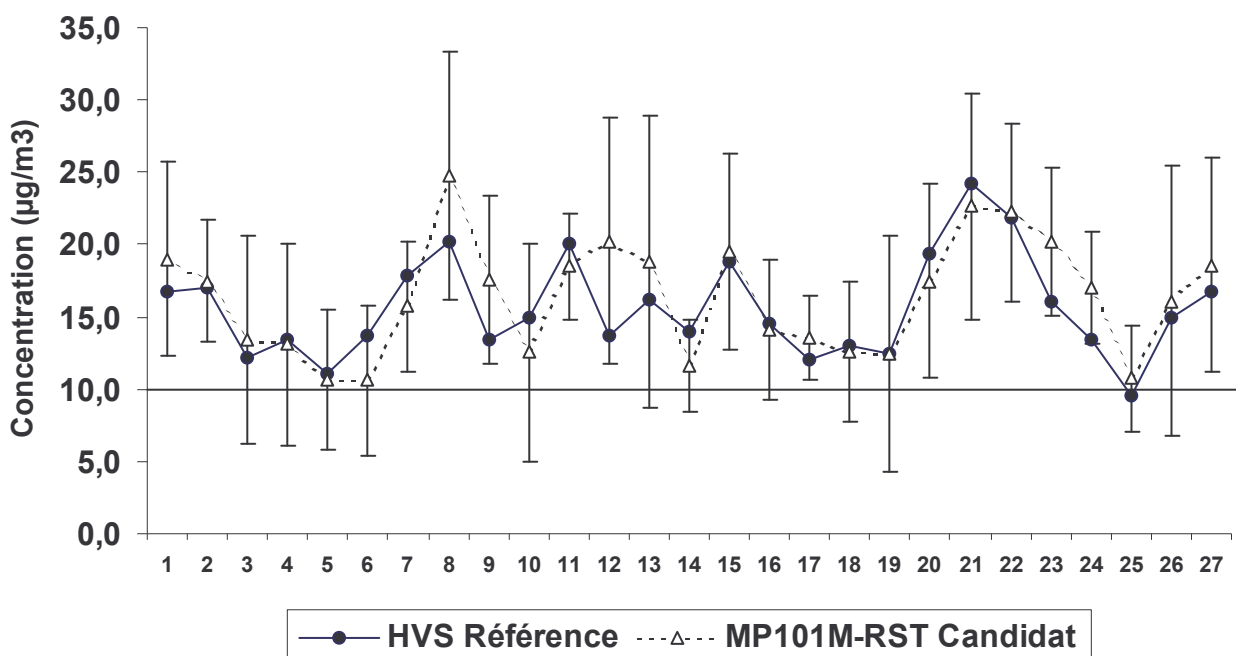


Figure 11: Profil chronologique des moyennes journalières de la jauge bêtâ MP101M-RST (accumulation 2h) et du préleveur HVS Digital DA80

Les mesures automatiques semblent être relativement bien en phase avec la référence gravimétrique. Cependant, les valeurs de la jauge bêtâ se caractérisent par une forte dispersion. Si l'on considère que la limite de détection se situe entre 5 et 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lorsque le temps d'accumulation est de 2h, il y a donc un risque d'avoir un nombre important de données inférieures à la limite de détection, ce qui peut poser un problème pour satisfaire les objectifs de qualité des données de la Directive Européenne en terme de saisie minimale des données (90%) ou en terme d'incertitude ($\pm 15\%$). Ainsi, sur la période d'étude, 18% des valeurs ont été inférieurs au seuil de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$.

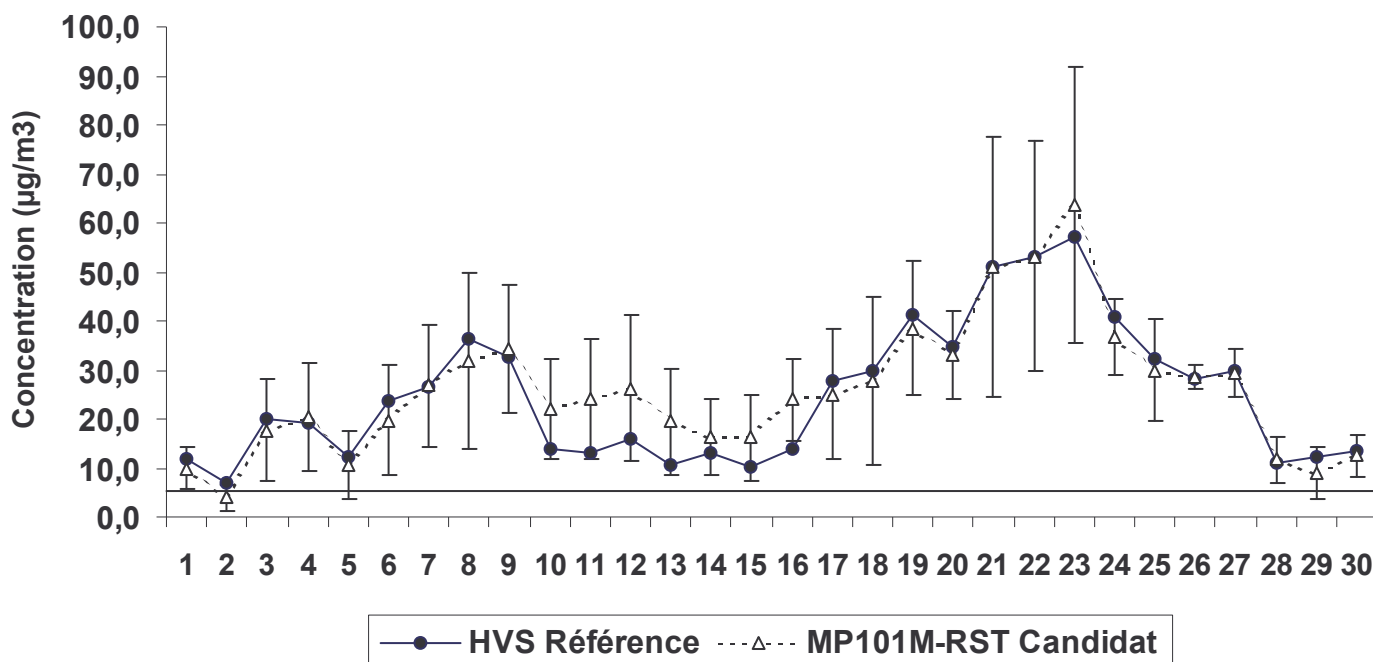


Figure 12: Profil chronologique des moyennes journalières de la jauge bêta MP101M-RST (accumulation 6h) et du préleveur HVS Digital DA80

Un mode d'accumulation plus important (6h) permet de diminuer la limite de détection et donc de limiter le nombre de données inférieures à la limite de détection. Ainsi, sur la période d'étude, 3% des valeurs sont inférieures au seuil de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les tableaux VI et VII résument les résultats obtenus :

Tableau V: récapitulatif des mesures en parallèle (MP101M-RST en accumulation 2h)

Appareil	HVS	MP101M-RST
Nombre de paires de données traitées	27	
Minimum ($\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$)	9,5	10,6
Maximum ($\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$)	24,2	24,8
Moyenne ($\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$)	15,6	16,3
IC₉₅ sur la moyenne ($\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$)	1,3	1,5
Nbre de dépassements de la VLJ ($50 \mu\text{g}.\text{m}^{-3}$)	0	0
Droite de corrélation obtenue (RLC)	MP101M-RST = 0,902 HVS + 2,262	
Droite de corrélation obtenue (RLO)	MP101M-RST = 1,173 HVS – 1,972	
Coefficient de corrélation	0,794	
Rapport des moyennes $\frac{\text{MP101M-RST}}{\text{HVS}} \pm \text{IC}_{95}$	1,047 \pm 0,092	
Rapport moyen $\frac{\text{MP101M-RST}}{\text{HVS}} \pm \text{écart-type}$	1,053 \pm 0,163	

Tableau VI: récapitulatif des mesures en parallèle (MP101M-RST en accumulation 6h)

Appareil	HVS	MP101M-RST
Nombre de paires de données traitées	30	
Minimum ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	7,0	4,0
Maximum ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	57,1	63,8
Moyenne ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	24,8	25,8
IC ₉₅ sur la moyenne ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	5,0	4,8
Nbre de dépassements de la VLJ ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$)	3	3
Droite de corrélation obtenue (RLC)	MP101M-RST = 0,911 HVS + 3,212	
Droite de corrélation obtenue (RLO)	MP101M-RST = 0,966 HVS + 1,837	
Coefficient de corrélation	0,941	
Rapport des moyennes $\frac{\text{MP101M-RST}}{\text{HVS}} \pm \text{IC}_{95}$	1,040 \pm 0,203	
Rapport moyen $\frac{\text{MP101M-RST}}{\text{HVS}} \pm \text{écart-type}$	1,093 \pm 0,333	

La corrélation entre les séries de mesures est décrite dans les figures suivantes :

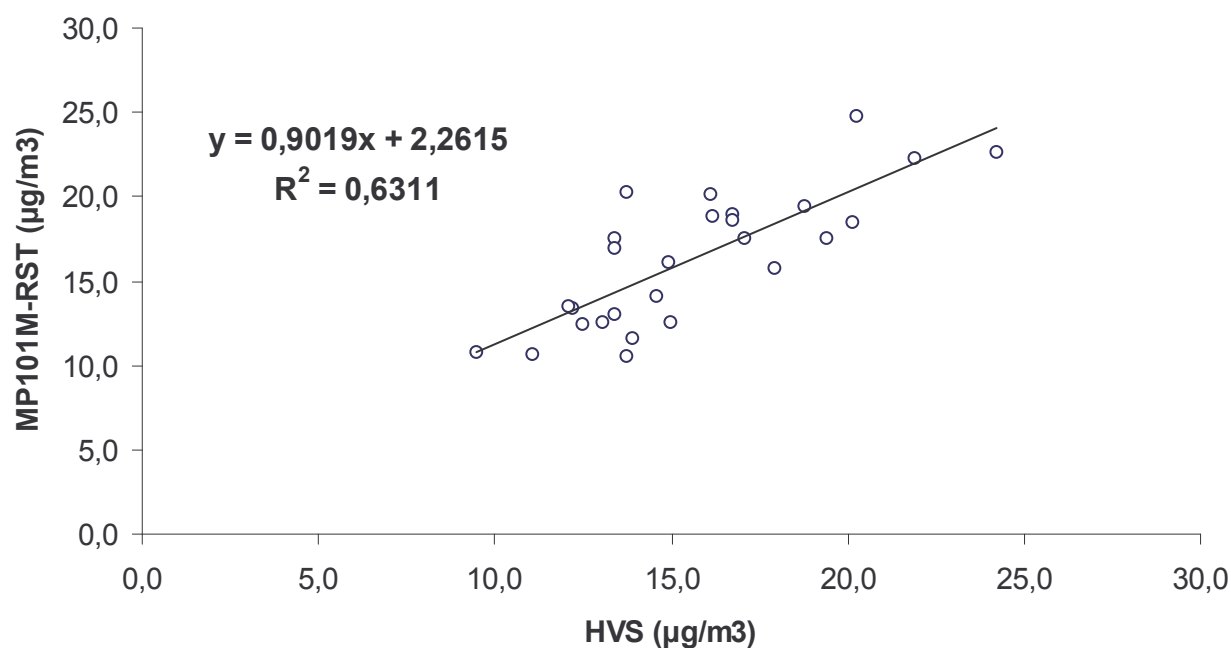


Figure 13: Corrélation entre les moyennes journalières MP101M-RST (accumulation 2h) et référence gravimétrique HVS

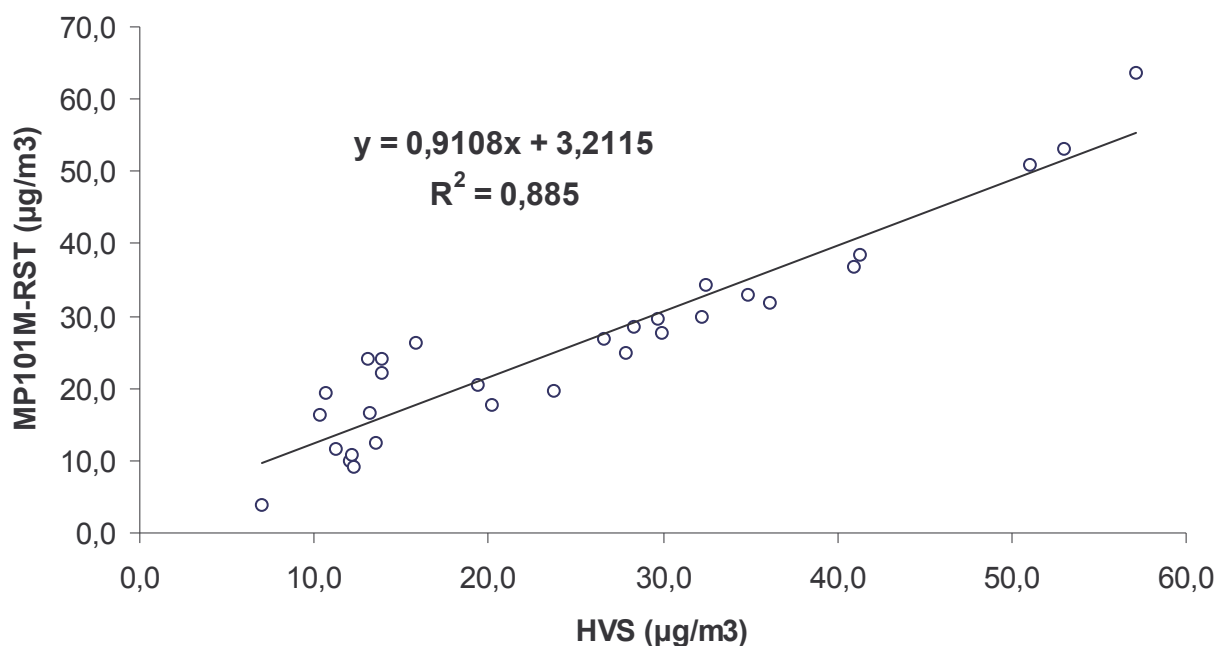


Figure 14: Corrélation entre les moyennes journalières MP101M-RST (accumulation 6h) et référence gravimétrique HVS

L'augmentation du temps d'accumulation permet d'améliorer la corrélation et de réduire légèrement l'écart entre les mesures automatiques et la référence gravimétrique (R^2 augmentant de 0,631 à 0,885, écart diminuant de 2 à 3% entre 50 et 100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Le tableau VII rassemble les résultats des différents tests de comparaison entre la jauge MP101M et la référence gravimétrique à haut volume de prélèvement :

Tableau VII: Comparaison des différents modes de fonctionnement de la jauge MP101M-RST avec la méthode de référence HVS

Appareil	HVS	MP101M-RST		
Temps de prélèvement (h)	24	2	6	24
Coefficient de corrélation		0,794	0,941	0,984
Moyenne journalière ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15,6 24,8 32,3	16,3 --- ---	--- 25,8 ---	--- --- 35,7
Nbre de dépassements de la VLJ ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	0 3 9	0 --- ---	--- 3 ---	--- --- 10
Rapport des moyennes $\frac{\text{MP101M-RST}}{\text{HVS}} \pm \text{IC}_{95}$		$1,047 \pm 0,092$	$1,040 \pm 0,203$	$1,103 \pm 0,133$
Rapport moyen $\frac{\text{MP101M-RST}}{\text{HVS}} \pm \text{écart-type}$		$1,053 \pm 0,163$	$1,093 \pm 0,303$	$1,102 \pm 0,103$

La diminution du temps d'accumulation sur la jauge bêta entraîne une diminution de la corrélation avec la méthode de référence, ce qui augmente le risque d'une dégradation de l'incertitude de la mesure automatique. En effet, en utilisant la droite de régression linéaire classique, en tenant compte des incertitudes sur la pente et l'ordonnée à l'origine, une concentration obtenue sur la jauge bêta modifiée MP101M de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ (avec un temps d'accumulation de 2h) serait entachée d'une incertitude estimée à $\pm 10,3 \mu\text{g.m}^{-3}$ (soit $\pm 21\%$ donc un non-respect des $\pm 15\%$ prescrits dans la Directive européenne). Dans le cas d'un temps d'accumulation de 6h, l'incertitude serait de $\pm 5,4 \mu\text{g.m}^{-3}$ (soit $\pm 11\%$). Enfin, pour un temps d'accumulation de 24h, l'incertitude de mesure ne serait plus que de $\pm 2,1 \mu\text{g.m}^{-3}$ (soit $\pm 4,3\%$).

L'utilisation de la jauge radiométrique MP101M avec un mode d'accumulation de 24h est donc à privilégier, notamment dans le cadre de la démonstration de l'équivalence avec la méthode de référence qui par définition est sur la base journalière. En cas d'utilisation d'un mode d'accumulation plus court, il ne devrait pas être inférieur à 6h.


4. CONCLUSION

La nouvelle jauge radiométrique MP101M de la société Environnement SA a été développée afin de limiter les phénomènes de perte en eau de l'aérosol collecté voire la volatilisation de substances volatiles ou semi-volatiles. Sur le site de l'Ecole des Mines de Douai, cet appareil a donné des résultats prometteurs. Le kit «RST » installé sur cette méthode de mesure normalisée selon le référentiel NF ISO 10473 permet de réduire de façon notable l'écart avec la référence gravimétrique qui n'est plus que de l'ordre de 6 à 10% entre 50 et $100 \mu\text{g.m}^{-3}$. De plus, l'appareil permet d'obtenir un nombre de dépassements de la valeur limite journalière de la Directive Fille en meilleur accord avec celui obtenu avec la méthode de référence gravimétrique. Ce système est relativement peu coûteux et est facile à mettre en œuvre, notamment sur des appareils existants. Ces résultats seront à confirmer dans le cadre de la démonstration de l'équivalence à la méthode de référence prévue dans le cadre des travaux LCSQA 2005.

Cependant, il convient de noter que les performances de cette jauge bêta sont conditionnées par un mode d'utilisation particulier, à savoir un mode d'accumulation de 24h. Ce mode est à privilégier pour obtenir des valeurs journalières répondant à l'objectif réglementaire de la 1^{ère} Directive Fille de communication des données au public sur une base quotidienne. Une résolution temporelle plus fine est possible mais sur une base minimale de 6h difficilement comparable à la résolution horaire des analyseurs de polluants gazeux traditionnels tels que SO_2 , NO_2 , CO ou O_3 mais restant compatible avec l'objectif de qualité des données de $\pm 15\%$ de la Directive européenne du 22 avril 1999.

ANNEXE

INFORMATIONS SUR LA DETENTION DE SOURCES RADIOACTIVES

 Environnement S.A. <small>Instrumentation de l'Environnement</small>	DOCUMENT DESTINE AUX CLIENTS	D03-07- indice : C12
	Avis sur la détention de sources radioactives	

Acquisition des sources radioactives

Pour pouvoir acquérir des sources radioactives, vous devez éventuellement réaliser un dossier d'autorisation auprès de l'organisme de tutelle gestionnaire : la DGSNR (nouvelle CIREA). Ci-dessous est détaillé dans quels cas vous devez faire ce dossier.

Si votre exploitation est une ICPE soumise à autorisation préfectorale pour l'une des différentes rubriques à caractères radiologiques (rubriques 1710, 1711, 1720 ou 1721). Aucun dossier n'est à monter auprès de la DGSNR, l'autorisation est gérée directement par le préfet.

Sinon, suivez les indications ci-après :

Dorénavant, c'est à dire, pour toute source scellée achetée **après le 1^{er} avril 2003**, la demande d'autorisation ne se fera que si l'activité radiologique du site considéré devient supérieure à un seuil prédéfini. Ainsi, vous devez donc, en premier lieu, effectuer l'inventaire sur chaque site, des équipements qui fonctionnent à l'aide de source radioactive (scellées ou non). Pour chaque site, relevez les radioéléments et leur activité respective.

Ex : Site 1 : 2 sources C^{14} d'activité 3.66MBq chacune
 Site 2 : 1 source de Cs^{137} d'activité 0,1MBq et 1 source de C14 d'activité 3.66 MBq
 Site 3 : 1 source C^{14} d'activité 3.66MBq

Dans le tableau ci-joint (tableau A de l'annexe II du décret 2002-460 du 04/04/02), retrouvez les seuils des radionucléides utilisés.

Ex : Pour le C^{14} quantité seuil : 10^7 Bq soit 10MBq ; pour le Cs^{137} , quantité seuil de 10^4 Bq soit 10kBq

Pour chaque site et par rapport à chaque radioélément faire le quotient entre le somme des activités et le seuil du radioélément.

Ex : Site 1 : Pour le C14 : $(3.66+3.66)/10 = 0,732$
 Site 2 : Pour le Cs137 : $100/10+3.66/10=10,366$
 Site 3 : pour le C14 : $3.66/10=0.366$

Par site, faites alors la somme des ratios obtenus, et comparer ce nombre à 1. Si le nombre est supérieur à 1 alors un dossier d'autorisation auprès de la DGSNR doit être effectué. Si le nombre est inférieur à 1, vous n'avez pas de demande d'autorisation à faire.

Ex : Site 1 : Nombre = 0,732 < 1, ce site n'est pas soumis à autorisation de la DGSNR,
 Site 2 : Nombre = 10,366 > 1, Ce site est soumis à autorisation de la DGSNR.
 Site 3 : Nombre=0.366<1, il n'y a pas besoin d'autorisation et vous pouvez également rajouter une seconde source du même type, sans pour autant dépasser le seuil.

N'oubliez pas de comptabiliser dans votre calcul les sources prévues dans le nouveau matériel en cours d'acquisition. De plus, pensez à calculer les regroupements éventuels

de sources en cas de maintenance : A tout moment ce nombre doit rester inférieur à 1, sinon une autorisation est à demander. Dans le cas des appareils cités en objet, cela revient à ne jamais mettre plus de deux appareils sur le même site.

Dans le cas où une autorisation serait à obtenir, vous trouverez ci-après les éléments nécessaires à la constitution du dossier. La demande doit être déposée auprès de la DGSNR :

Direction Générale de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection
10, route du Panorama
BP 83
92266 FONTENAY AUX ROSES CEDEX

Recevoir une source radioactive :

① Si vous êtes soumis à autorisation :

Pour que nous puissions vous fournir la source correspondante à votre analyseur, nous devons recevoir de votre part une lettre d'attestation sur l'honneur (un exemple de lettre type est joint ci-après), accompagnée de la demande de fourniture de radioéléments artificiels (DFRA) dûment signée par la personne responsable. Le matériel ne pourra être expédié sur le lieu d'utilisation qu'à compter de la réception du visa favorable accordé par l'IRSN.

② Si vous n'êtes pas soumis à autorisation :

Pour que nous puissions vous fournir la source correspondante à votre analyseur, nous devons recevoir de votre part une déclaration sur l'honneur que le site n'est pas soumis à autorisation DGSNR liée à la détention de sources radioactives.

Nous vous remercions par avance, de nous faire parvenir les documents nécessaires à l'adresse suivante :

Service Client,
Gestionnaire Administratif des sources
Environnement SA
111, Boulevard Robespierre
78300 POISSY

Veillez agréer, Madame, Monsieur, l'expression de nos salutations distinguées.

Tableau A de l'annexe II du décret du 04/04/02

Nucléide	Quantité (Bq)	Concentration (kBq/kg)	Nucléide	Quantité (Bq)	Concentration (kBq/kg)	Nucléide	Quantité (Bq)	Concentration (kBq/kg)	Nucléide	Quantité (Bq)	Concentration (kBq/kg)
H3	10 ³	10 ⁶	Sr 92	10 ⁶	10	Cs 132	10 ⁵	10	Po 210	10 ⁴	10
Be7	10 ⁷	10 ³	Y 90	10 ⁶	10 ³	Cs 134m	10 ⁵	10 ³	At 211	10 ⁷	10 ³
C 14	10 ⁷	10 ⁴	Y 91	10 ⁶	10 ³	Cs 134	10 ⁴	10	Rn 220 +	10 ⁷	10 ⁴
O 15	10 ⁹	10 ²	Y 91m	10 ⁶	10 ²	Cs 135	10 ⁷	10 ⁴	Rn 222 +	10 ⁵	10
F 18	10 ⁵	10	Y 92	10 ⁵	10 ²	Cs 136	10 ⁷	10	Ra 223 +	10 ⁵	10 ²
Na 22	10 ⁵	10	Y 93	10 ⁵	10 ²	Cs 137 +	10 ⁴	10	Ra 224 +	10 ⁵	10
Na 24	10 ⁵	10	Zr 93 +	10 ⁷	10 ³	Cs 138	10 ⁴	10	Ra 225	10 ⁵	10 ²
Si 31	10 ⁵	10 ³	Zr 95	10 ⁵	10	Ba 131	10 ⁶	10 ²	Ra 226 +	10 ⁴	10
P 32	10 ⁶	10 ³	Zr 97 +	10 ⁵	10	Ba 140 +	10 ⁵	10	Ra 227	10 ⁶	10 ²
P 33	10 ⁶	10 ⁵	Nb 93m	10 ⁷	10 ⁴	La 140	10 ⁵	10	Ra 228 +	10 ⁵	10
S 35	10 ⁸	10 ⁵	Nb 94	10 ⁶	10	Ce 139	10 ⁶	10 ²	Ac 228	10 ⁶	10
Cl 36	10 ⁵	10 ⁴	Nb 95	10 ⁶	10	Ce 141	10 ⁷	10 ²	Th 226 +	10 ⁷	10 ³
Cl 38	10 ⁵	10	Nb 97	10 ⁵	10	Ce 143	10 ⁵	10 ²	Th 227	10 ⁴	10
Ar 37	10 ⁸	10 ⁶	Nb 98	10 ⁵	10	Ce 144 +	10 ⁵	10 ²	Th 228 +	10 ⁴	1
Ar 41	10 ⁹	10 ²	Mo 90	10 ⁵	10	Pr 142	10 ⁵	10 ²	Th 229 +	10 ³	1
K 40	10 ⁸	10 ²	Mo 93	10 ⁸	10 ³	Pr 143	10 ⁶	10 ⁴	Th 230	10 ⁴	1
K 42	10 ⁶	10 ²	Mo 99	10 ⁶	10 ²	Nd 147	10 ⁶	10 ²	Th 231	10 ⁷	10 ³
K 43	10 ⁶	10	Mo 101	10 ⁶	10	Nd 149	10 ⁶	10 ²	Th 232sec	10 ³	1
Ca 45	10 ⁷	10 ⁴	Tc 96	10 ⁵	10	Pm 147	10 ⁷	10 ⁴	Th 234 +	10 ⁵	10 ³
Ca 47	10 ⁶	10	Tc 96m	10 ⁷	10 ³	Pm 149	10 ⁶	10 ³	Pa 230	10 ⁵	10
Sc 46	10 ⁵	10	Tc 97	10 ⁵	10 ³	Sm 151	10 ⁶	10 ⁴	Pa 231	10 ³	1
Sc 47	10 ⁶	10 ²	Tc 97m	10 ⁷	10 ³	Sm 153	10 ⁶	10 ²	Pa 233	10 ⁷	10 ²
Sc 48	10 ⁵	10	Tc 99	10 ⁷	10 ⁴	Eu 152	10 ⁶	10	U230 +	10 ⁵	10
V 48	10 ⁵	10	Tc 99m	10 ⁷	10 ²	Eu 152m	10 ⁶	10 ²	U 231	10 ⁷	10 ²
Cr 51	10 ⁷	10 ³	Ru 97	10 ⁷	10 ²	Eu 154	10 ⁶	10	U232 +	10 ³	1
Mn 51	10 ⁵	10	Ru 103	10 ⁵	10 ²	Eu 155	10 ⁷	10 ²	U233	10 ⁴	10
Mn 52	10 ⁶	10	Ru 105	10 ⁵	10	Gd 153	10 ⁷	10 ²	U 234	10 ⁴	10
Mn 52m	10 ⁵	10	Ru 106 +	10 ⁵	10 ²	Gd 159	10 ⁶	10 ³	U 235 +	10 ⁴	10
Mn 53	10 ⁹	10 ⁴	Rh 103m	10 ⁸	10 ⁴	Tb 160	10 ⁶	10	U 236	10 ⁴	10
Mn 54	10 ⁶	10	Rh 105	10 ⁷	10 ²	Dy 165	10 ⁶	10 ³	U 237	10 ⁵	10 ²
Mn 56	10 ⁵	10	Pd 103	10 ⁵	10 ³	Dy 166	10 ⁶	10 ³	U 238 +	10 ⁴	10
Fe 52	10 ⁶	10	Pd 109	10 ⁶	10 ³	Ho 166	10 ⁶	10 ³	U 238sec	10 ³	1
Fe 55	10 ⁶	10 ⁴	Ag 105	10 ⁵	10 ²	Er 169	10 ⁷	10 ⁴	U 239	10 ⁵	10 ²
Fe 59	10 ⁶	10	Ag108m +	10 ⁶	10	Er 171	10 ⁶	10 ²	U 240	10 ⁷	10 ³
Co 55	10 ⁵	10	Ag 110m	10 ⁶	10	Tm 170	10 ⁶	10 ³	U 240 +	10 ⁵	10
Co 56	10 ⁵	10	Ag 111	10 ⁶	10 ³	Tm 171	10 ⁶	10 ⁴	Np 237 +	10 ³	1
Co 57	10 ⁵	10 ²	Cd 109	10 ⁵	10 ⁴	Yb 175	10 ⁷	10 ³	Np 239	10 ⁷	10 ²
Co 58	10 ⁵	10	Cd 115	10 ⁵	10 ²	Lu 177	10 ⁷	10 ³	Np 240	10 ⁵	10
Co 58m	10 ⁷	10 ⁴	Cd 115m	10 ⁶	10 ³	Hf 181	10 ⁵	10	Pu 234	10 ⁷	10 ²
Co 60	10 ⁵	10	In 111	10 ⁵	10 ²	Ta 182	10 ⁴	10	Pu 235	10 ⁷	10 ²
Co 60m	10 ⁶	10 ³	In 113m	10 ⁶	10 ²	W 181	10 ⁷	10 ³	Pu 236	10 ⁴	10
Co 61	10 ⁶	10 ²	In 114m	10 ⁶	10 ²	W 185	10 ⁷	10 ⁴	Pu 237	10 ⁷	10 ³
Co 62m	10 ⁵	10	In 115m	10 ⁶	10 ²	W 187	10 ⁶	10 ²	Pu 238	10 ⁴	1
Ni 59	10 ⁶	10 ⁴	Sn 113	10 ⁷	10 ³	Re 186	10 ⁶	10 ³	Pu 239	10 ⁴	1
Ni 63	10 ⁶	10 ⁵	Sn 125	10 ³	10 ²	Re 188	10 ⁵	10 ²	Pu 240	10 ³	1
Ni 65	10 ⁵	10	Sb 122	10 ⁴	10 ²	Os 185	10 ⁶	10	Pu 241	10 ⁵	10 ²
Cu 64	10 ⁵	10 ²	Sb 124	10 ⁵	10	Os 191	10 ⁷	10 ²	Pu 242	10 ⁴	1
Zn 65	10 ⁶	10	Sb 125	10 ⁶	10 ²	Os 191m	10 ⁷	10 ³	Pu 243	10 ⁷	10 ³
Zn 69	10 ⁶	10 ⁴	Te 123m	10 ⁷	10 ²	Os 193	10 ⁶	10 ²	Pu 244	10 ⁴	1
Zn 69 m	10 ⁶	10 ²	Te 125m	10 ⁷	10 ³	Ir 190	10 ⁶	10	Am 241	10 ⁴	1
Ga 72	10 ⁵	10	Te 127	10 ⁵	10 ³	Ir 192	10 ⁴	10	Am 242	10 ⁵	10 ³
Ge 71	10 ⁶	10 ⁴	Te 127m	10 ⁷	10 ³	Ir 194	10 ⁵	10 ²	Am242m+	10 ⁴	1
As 73	10 ⁷	10 ³	Te 129	10 ⁵	10 ²	Pt 191	10 ⁶	10 ²	Am 243 +	10 ³	1
As 74	10 ⁶	10	Te 129m	10 ⁷	10 ³	Pt 193m	10 ⁷	10 ³	Cm 242	10 ⁵	10 ²
As 76	10 ⁶	10 ²	Te 131	10 ⁵	10 ²	Pt 197	10 ⁶	10 ³	Cm 243	10 ⁴	1
As 77	10 ⁵	10 ³	Te 131m	10 ⁶	10	Pt 197m	10 ⁶	10 ²	Cm 244	10 ⁴	10
Se 75	10 ⁶	10 ²	Te 132	10 ⁷	10 ²	Au 198	10 ⁶	10 ²	Cm 245	10 ³	1
Br 82	10 ⁶	10	Te 133	10 ⁵	10	Au 199	10 ⁶	10 ²	Cm 246	10 ³	1
Kr 74	10 ⁹	10 ²	Te 133m	10 ⁵	10	Hg 197	10 ⁷	10 ²	Cm 247	10 ⁴	1
Kr 76	10 ⁹	10 ²	Te 134	10 ⁶	10	Hg 197m	10 ⁶	10 ²	Cm 248	10 ³	1
Kr 77	10 ⁹	10 ²	I 123	10 ⁷	10 ²	Hg 203	10 ⁵	10 ²	Bk 249	10 ⁵	10 ³
Kr 79	10 ⁶	10 ³	I 125	10 ⁶	10 ³	Ti 200	10 ⁵	10	Cf 246	10 ⁶	10 ³
Kr 81	10 ⁷	10 ⁴	I 126	10 ⁶	10 ²	Ti 201	10 ⁶	10 ²	Cf 248	10 ⁴	10
Kr 83m	10 ¹²	10 ⁵	I 129	10 ⁵	10 ²	Ti 202	10 ⁶	10 ²	Cf 249	10 ³	1
Kr 85	10 ⁴	10 ⁵	I130	10 ⁶	10	Ti 204	10 ⁴	10 ⁴	Cf 250	10 ⁴	10
Kr 85m	10 ¹⁰	10 ³	I 131	10 ⁶	10 ²	Pb 203	10 ⁶	10 ²	Cf 251	10 ³	1
Kr 87	10 ⁹	10 ²	I 132	10 ⁵	10	Pb 210 +	10 ⁴	10	Cf 252	10 ⁴	10
Kr 88	10 ⁹	10 ²	I 133	10 ⁵	10	Pb 212 +	10 ⁵	10	Cf 253	10 ⁵	10 ²
Rb 86	10 ⁶	10 ²	I 134	10 ⁵	10	Bi 206	10 ⁶	10	Cf 254	10 ³	1
Sr 85	10 ⁶	10 ²	I 135	10 ⁵	10	Bi 207	10 ⁶	10	Es253	10 ⁵	10 ²
Sr 85m	10 ⁷	10 ²	Xe 131m	10 ⁴	10 ⁴	Bi 210	10 ⁶	10 ³	Es 254	10 ⁴	10
Sr 87m	10 ⁶	10 ²	Xe 133	10 ⁶	10 ³	Bi 212 +	10 ⁷	10	Es 254m	10 ⁵	10 ²
Sr 89	10 ⁶	10 ³	Xe 135	10 ¹⁰	10 ³	Po 203	10 ⁶	10	Fm 254	10 ⁷	10 ⁴
Sr 90 +	10 ⁴	10 ²	Cs 129	10 ⁵	10 ²	Po 205	10 ⁶	10	Fm255	10 ⁵	10 ³
Sr 91	10 ⁵	10	Cs 131	10 ⁶	10 ³	Po 207	10 ⁶	10			

**INFORMATIONS PERMETTANT DE REMPLIR UNE DEMANDE
D'AUTORISATION ET LA DFRA**

Réf. constructeur de l'appareil	MP101M	Bêta 5M
Marque	Environnement SA	Environnement SA
Réf. DGSNR de l'appareil	ES 0100	ES 0002
Source	Carbone 14 scellée, solide	Carbone 14 scellée, solide
Activité	3,66 MBq (< 100 µCi)	3,66 MBq (< 100 µCi)
Groupe du radioélément	III	III
Emission β d'énergie maximum	0,160 MeV	0,160 MeV
Période du radioélément	5730 ans	5730 ans
Fabricant de la source	CERCA Réf: EBRH30	CERCA Réf: EBRH30
N° d'Autorisation d'Environnement SA	F331001	F331001



**Mines
de Douai**

941, rue Charles Bourseul - BP 838 - 59508 DOUAI Cedex
Tél. 03 27 71 22 22 - Fax 03 27 71 25 25
mél : mines@ensm-douai.fr - <http://www.ensm-douai.fr>

Imprimé à l'Ecole des Mines de Douai - 59500 DOUAI