

ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DU DISPOSITIF VEGETOTEM

Rapport d'étude N° SC-PES-2022-178
23/09/2022 – Stéphane DELABY





ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DU DISPOSITIF VEGETOTEM

Rapport d'étude N° SC-PES-2022-178

23/09/2022 – Stéphane DELABY

Sommaire

Avant-propos	4
1 Objectif	4
2 Matériels et méthodes	4
2.1 Description du dispositif de traitement de l'air	4
2.2 Installation expérimentale	4
2.2.1 <i>Chambre d'essais</i>	4
2.2.2 <i>Dispositif de génération de polluant particulaire</i>	5
2.2.3 <i>Dispositif de génération de polluant chimique</i>	5
2.2.4 <i>Mesure des polluants particulaires</i>	6
2.2.5 <i>Prélèvement et analyse des polluants chimiques</i>	6
2.3 Description des méthodes expérimentales	7
2.3.1 <i>Performances épuratoires vis-à-vis de polluants particulaires</i>	7
2.3.2 <i>Performances vis-à-vis de polluants chimiques</i>	8
2.4 Détermination des performances épuratoires	9
3 Résultats	10
3.1 Performances épuratoires vis-à-vis de polluants particulaires	10
3.2 Performances vis-à-vis de polluants chimiques	11
4 Conclusions	12
5 Annexes	13
5.1 Annexe 1 : Certificat de calibration et de traçabilité des billes de latex de 500 nm	13
5.2 Annexe 2 : Certificat de calibration et de traçabilité des billes de latex de 1 µm	13

Avant-propos

Ce rapport d'étude atteste uniquement des caractéristiques de l'objet soumis aux essais et ne préjuge pas des caractéristiques de produits similaires. Il ne constitue pas une certification de produits au sens du code de la consommation. La reproduction de ce rapport électronique n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 14 pages, annexes comprises.

1 Objectif

Cette étude vise à évaluer les performances du dispositif épurateur d'air, développé par Nature plus Tech, fonctionnant sur le principe de la filtration par voie humide et la phytoremédiation vis-à-vis de polluants chimiques et particulaires, selon une méthodologie s'appuyant sur les recommandations de la norme NF EN 16846-1. Les travaux proposés sont réalisés dans la chambre d'essai AIR'IN (30 m³) située sur le site du CSTB de Grenoble.

2 Matériels et méthodes

2.1 Description du dispositif de traitement de l'air

Le dispositif de traitement de l'air, dénommé le Vegetotem (Figure 1), repose sur la filtration par voie humide, correspondant à une miniaturisation du procédé de nettoyage des fumées industrielles et intègre des plantes assurant des effets de phytoremédiation et de captation de certains polluants. Le débit d'air du dispositif est réglable. Dans le cadre de nos essais, le débit de fonctionnement du système a été testé à environ 100 m³/h, selon les indications du fabricant.

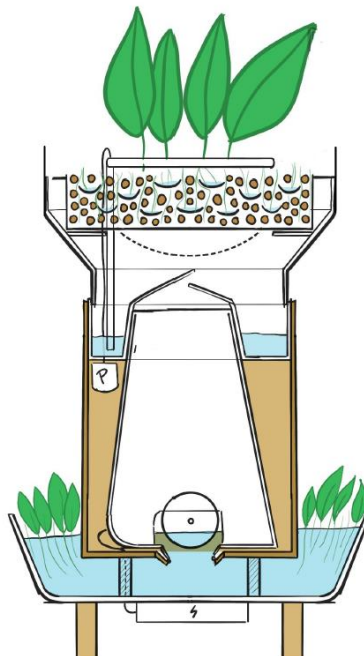


Figure 1 : Schéma de principe du dispositif Vegetotem

2.2 Installation expérimentale

2.2.1 Chambre d'essais

Les performances épuratoires du dispositif vis-à-vis des polluants particulaires et chimiques sont évaluées dans la chambre d'essais AIR'IN (Figure 2) qui est un volume de 30 m³, dont l'intérieur est totalement recouvert d'acier

inoxydable. Cette chambre d'essais assure des conditions contrôlées, notamment avec la maîtrise du taux de renouvellement d'air, de la température et de l'humidité relative.

Les travaux ont été menés sans renouvellement d'air. Le ventilateur de brassage, positionné au plafond, assure l'homogénéisation des polluants durant les essais.

Les conditions initiales d'essai sont les suivantes :

- Température à l'intérieur de l'enceinte (23 ± 2) °C,
- Humidité relative à l'intérieur de l'enceinte (40 ± 5) %.



Figure 2 : Chambre d'essais AIR'IN (CSTB Grenoble)

2.2.2 Dispositif de génération de polluant particulaire

La production d'aérosol est assurée à l'aide d'un générateur pneumatique Collison (Figure 3). Celui-ci est utilisé à 2 bars, avec 40 mL de suspension de billes de latex (10 gouttes pour les billes de $0,5 \mu\text{m}$ et 20 gouttes pour les billes de $1 \mu\text{m}$). Les certificats de calibration et de traçabilité des billes de latex de $0,5 \mu\text{m}$ et de $1 \mu\text{m}$ sont présentés en Annexes. Les billes de latex sont injectées dans la chambre d'essai sur une durée de 10 minutes.

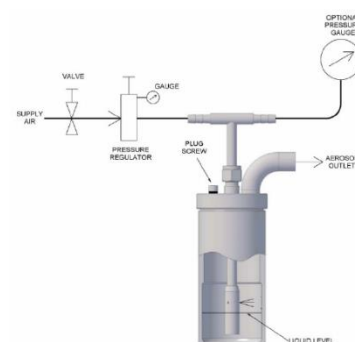


Figure 3 : Générateur pneumatique Collison et schéma de principe

2.2.3 Dispositif de génération de polluant chimique

Le dispositif de génération de polluant chimique est constitué d'une bouteille d'acétone (B50) à 33 ppm associée à un manomètre et débitmètre massique (Figure 4). Le manomètre fixé sur la bouteille est réglé à 3 bars. Tandis que le débitmètre massique est ajusté à 10 mL/min. L'acétone est ainsi injecté dans la chambre d'essai sur une durée de 2 minutes.



Figure 4 : Dispositif de génération d'acétone

2.2.4 Mesure des polluants particulaires

La mesure des aérosols est réalisée avec un compteur de particules CPC 3756 (TSI® - Figure 5). La mesure de la concentration en nombre des particules submicroniques est basée sur l'utilisation de compteurs de noyaux de condensation. Ces appareils reposent sur la détection optique de particules ayant été artificiellement grossies par de la condensation d'une vapeur adsorbée à leur surface. La taille minimale et la concentration maximale mesurées par ce compteur sont respectivement de 2,5 nm et de 300 000 particules/cm³.



Figure 5 : Compteur de particules CPC 3756 (TSI®)

2.2.5 Prélèvement et analyse des polluants chimiques

Les prélèvements et analyse des aldéhydes sont réalisées selon la norme NF ISO 16000-3 (AFNOR). Les aldéhydes sont prélevés sur des cartouches d'adsorption contenant du gel de silice et imprégnées du réactif DNPH. La méthode utilisée est basée sur la dérivation des composés carbonylés par la 2,4-dinitrophénylhydrazine (DNPH) suivie d'une séparation par chromatographie liquide haute performance (HPLC) et d'une détection par absorption dans l'UV. En présence d'un acide, une réaction spécifique entre un composé carbonylé et le DNPH aboutit à la formation de 2,4-dinitrophénylhydrazones, composés stables pouvant être analysés par HPLC. La détection UV permet ensuite

d'identifier les aldéhydes et les cétones parents de ces hydrazones dans la mesure où chaque composé carbonyle réagit spécifiquement avec le DNPH. Les cartouches d'adsorption, scellées hermétiquement, sont conservées à 4°C jusqu'à leur analyse. La cartouche de prélèvement est ensuite éluée par 5 mL d'acétonitrile avant d'être injectée dans un système HPLC à détection UV (Waters). La quantification est réalisée spécifiquement pour chaque composé. L'incertitude analytique associée à la mesure de ces composés est estimée à 10%, grâce à la participation active du laboratoire à des campagnes d'essais interlaboratoires internationales annuelles.

Les dispositifs de prélèvement, illustrés dans la Figure 6, associent un contrôleur et 4 régulateurs de débit massique et permettent de prélever l'air au débit souhaité sur les cartouches DNPH.



Figure 6 : Dispositif de prélèvement associant un contrôleur et 4 régulateurs de débit massique

Pour les cartouches DNPH, le débit de prélèvement est de 500 mL/min.

2.3 Description des méthodes expérimentales

2.3.1 Performances épuratoires vis-à-vis de polluants particulaires

La méthodologie expérimentale consiste à mesurer la décroissance naturelle et liée à l'usage de l'épurateur. Ces deux phases expérimentales sont réalisées de façon similaire. Le déroulement et les conditions d'essais sont présentés dans la Figure 7 :

	Décroissance naturelle		Décroissance lié au dispositif	
	10 min	2h	10 min	2h
Epurateur d'air	Absent		OFF	ON
Ventilation d'AIR'IN	À l'arrêt			
Ventilateur de brassage	En fonctionnement			
Aérosols cibles	Injectées	Non Injectés	Injectées	Non Injectés
Mesure de l'aérosol	ON		ON	
Conditions environnementales (T/HR)	ON		ON	

Figure 7 : Déroulement de l'essai visant à qualifier les performances épuratoires vis-à-vis de polluants particulaires

La Figure 8 illustre le schéma de principe de l'essai visant à qualifier les performances épuratoires vis-à-vis de polluants particulaires.

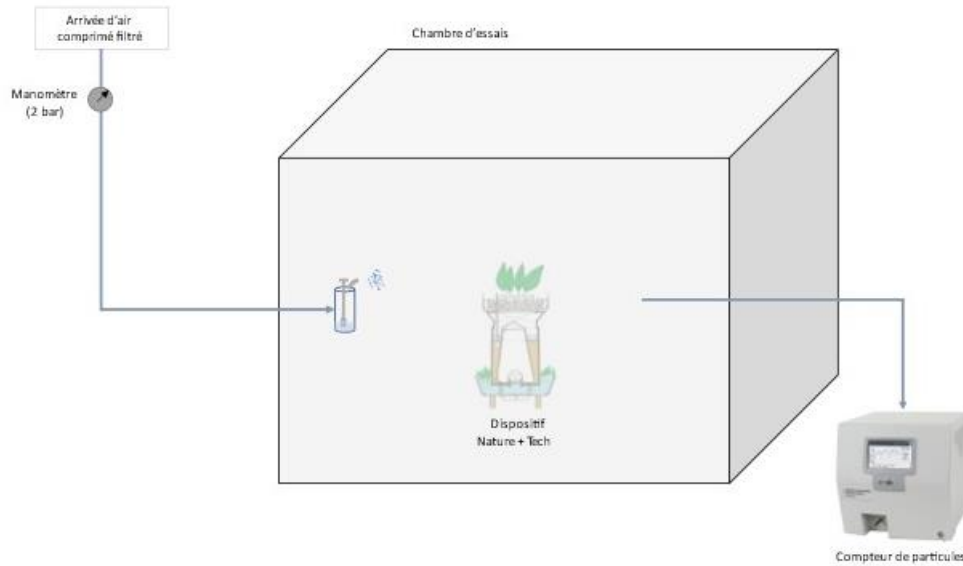


Figure 8 : Schéma de principe de l'essai visant à qualifier les performances épuratoires vis-à-vis de polluants particulaires

2.3.2 Performances vis-à-vis de polluants chimiques

Le composé organique volatil cible mis en œuvre pour l'essai est l'acétone

Ce composé est injecté à l'intérieur de la chambre d'essai à l'aide d'une bouteille étalon. L'analyse des composés organiques volatils échantillonnés dans la chambre d'essai sera réalisée à l'aide des méthodes normalisées (NF ISO 16000-3).

Le déroulement, les conditions et le schéma de principe de l'essai sont présentés dans les Figure 9 et Figure 10 :

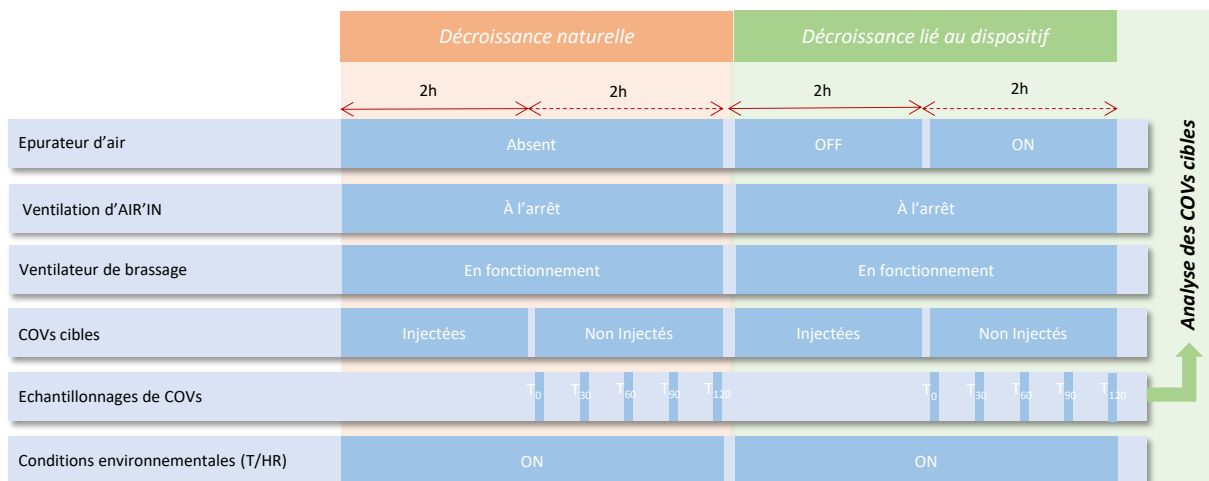


Figure 9 : Déroulement de l'essai visant à qualifier les performances épuratoires vis-à-vis de polluants chimiques

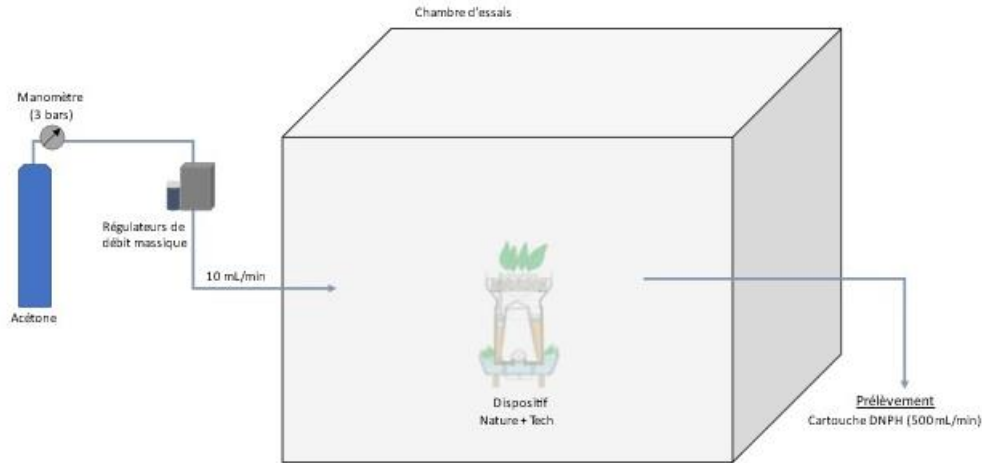


Figure 10 : Schéma de principe de l'essai visant à qualifier les performances épuratoires vis-à-vis de polluants chimiques

2.4 Détermination des performances épuratoires

La méthodologie consiste à mesurer la décroissance naturelle (sans épurateur) et liée à l'usage de l'épurateur. Les résultats obtenus avec l'épurateur seront mis en regard de la décroissance naturelle k_n , déterminée expérimentalement, de façon à qualifier ses performances :

$$CADR = V(k_e - k_n)$$

Où,

$CADR$: Débit d'air traité délivré (m^3/h),

V : Volume de la chambre d'essais (m^3),

k_e : Décroissance totale du polluant (h^{-1}),

k_n : Décroissance naturelle du polluant (h^{-1}).

3 Résultats

3.1 Performances épuratoires vis-à-vis de polluants particulaires

La Figure 11 illustre les courbes de décroissance de la concentration particulaire (particules de 0,5 μm) en absence et en présence du dispositif épurateur. Pour faciliter l'observation et l'analyse de ces courbes, celles-ci ont été normalisées.

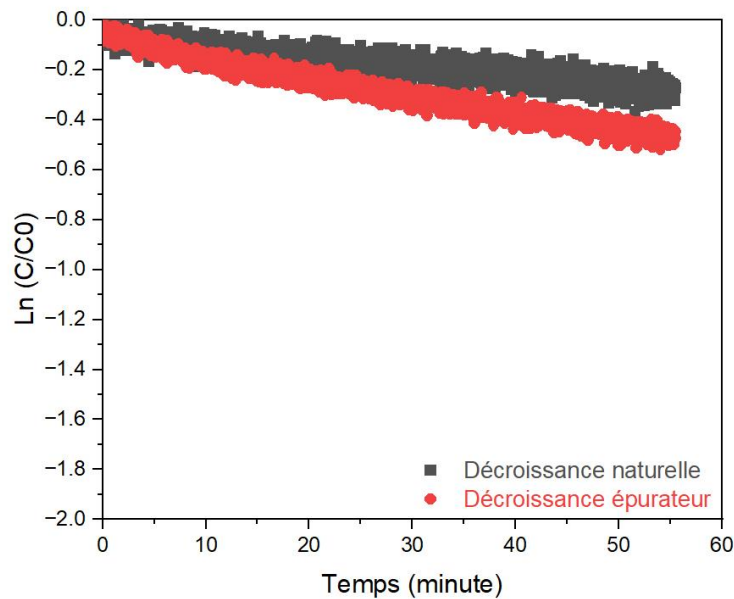


Figure 11 : Décroissance particulaire naturelle et en présence du dispositif épurateur, pour les particules de 0,5 μm

Il apparaît une différence entre les courbes de décroissance de la concentration particulaire (particules de 0,5 μm) en absence et en présence du dispositif épurateur. En considérant les pentes de décroissance de ces deux courbes, il en résulte un débit d'air épuré ($\text{CADR}_{0,5\mu\text{m}}$) de 6 m^3/h . Après une heure de mise en œuvre du dispositif épurateur, la baisse de la concentration est en moyenne de 17% par rapport à la situation de référence.

De façon similaire, la Figure 12 présente les courbes de décroissance de la concentration particulaire (particules de 1 μm) en absence et en présence du dispositif épurateur.

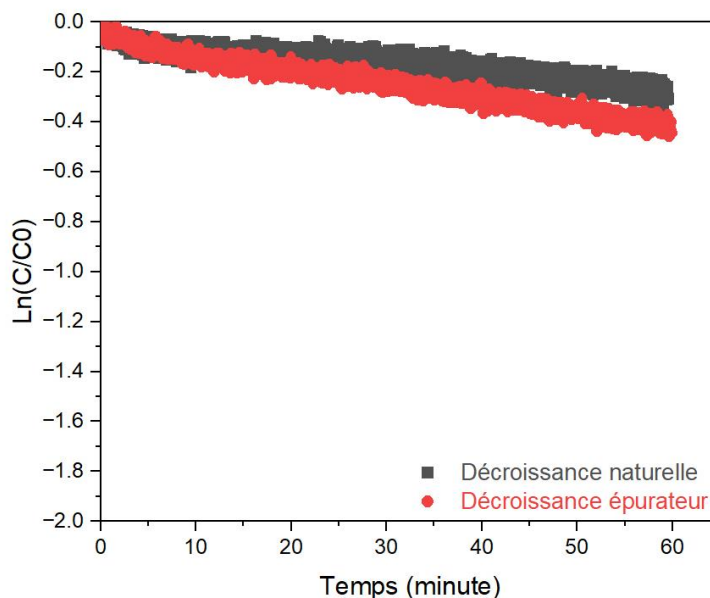


Figure 12 : Décroissance particulaire naturelle et en présence du dispositif épurateur, pour les particules de 1 µm

Pour les particules de 1 µm, le débit d'air épuré du dispositif épurateur Vegetotem ($CADR_{1\mu m}$) est de 4,7 m³/h. Après une heure de mise en œuvre du dispositif épurateur, la baisse de la concentration est au maximum de 12% par rapport à la situation de référence.

3.2 Performances vis-à-vis de polluants chimiques

La Figure 13 présente l'évolution de la concentration en acétone dans la chambre d'essai Air'in en absence et en présence du dispositif épurateur Vegetotem. Pour faciliter l'observation et l'analyse de ces courbes, celles-ci ont été normalisées.

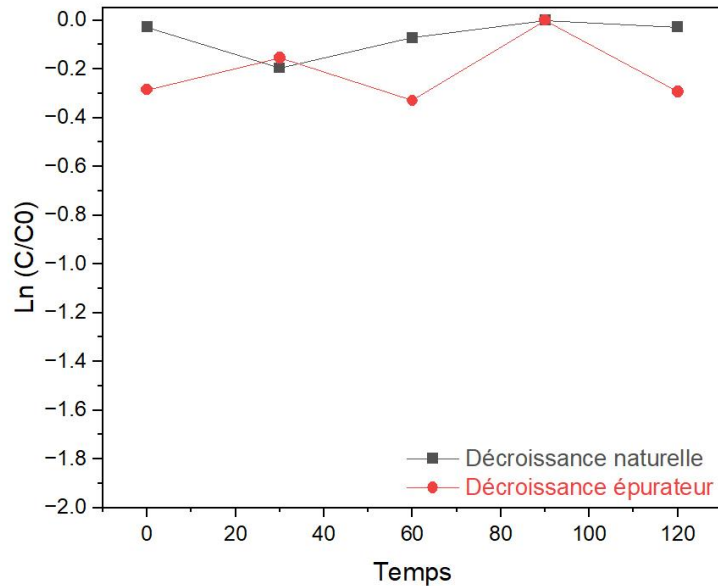


Figure 13 : Evolution de la concentration d'acétone en absence et en présence du dispositif épurateur

En comparant les niveaux de concentration d'acétone lors des deux configurations d'essais (absence et présence d'épurateur), il n'apparaît pas de différence significative, compte-tenu des incertitudes analytiques.

4 Conclusions

Dans nos conditions expérimentales, la mise en œuvre du dispositif épurateur Vegetotem conduit aux conclusions suivantes :

- Le débit d'air épuré de 6 m³/h pour les particules de 0,5 µm,
- Le débit d'air épuré de 4,7 m³/h pour les particules de 1 µm,
- Le fonctionnement du dispositif ne semble pas entraîner une diminution significative de la concentration en acétone par rapport à la situation de référence.

Signature CSTB	Signature Nature + Tech

5 Annexes

5.1 Annexe 1 : Certificat de calibration et de traçabilité des billes de latex de 500 nm

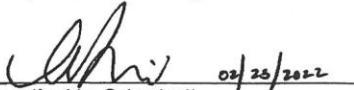



NANOSPHERE™ SIZE STANDARDS NIST Traceable Mean Diameter

1. DESCRIPTION. These particle size standards provide accurate and traceable size calibration for particle size analysis. They are part of a series of polymer microspheres with calibrated mean diameters traceable to the Standard Meter through the National Institute of Standards and Technology (NIST). Diameters from 20 nanometers (nm) to 160 micrometers (µm) are available as aqueous suspensions in dropper-tipped vials, calibrated by photon correlation spectroscopy (PCS), transmission electron microscopy (TEM) or optical microscopy. The aqueous medium has been prepared to promote dispersion and reduce clumping of the particles. The approximate particle concentration in percent solids is given to facilitate dilution for the calibration and validation of particle analyzers. Diameters from 200 µm to 1000 µm are available as dry spheres, calibrated by optical microscopy. The certified mean diameter is traceable to NIST. Other values are for information only and should not be used as calibration values.

2. PHYSICAL DATA.	Catalog Number: 3500 and 3500A, Nominal 500 nm
Certified Mean Diameter:	510 nm ± 7 nm, k=2
Standard Deviation:	9.2 nm
Coefficient of Variation:	1.8%
Microsphere Composition:	Polystyrene
Microsphere Density:	1.05 g/cm ³
Index of Refraction:	1.59 @ 589 nm
Approximate Concentration:	1% solids

- Continued on page 2

CERTIFICATE OF CALIBRATION AND TRACEABILITY	
This certifies that the calibrated mean diameter was transferred by transmission electron microscopy (TEM) from the National Institute of Standards and Technology (NIST) certified microspheres (Standard Reference Material 1963, 1691 or 1690).	
Catalog Number: 3500 and 3500A, Nanosphere™ Size Standards	
Certification Date:	March 21, 2019
Certified Batch:	3500-005
Production Batch:	3500-038
Certified Mean Diameter:	510 nm
Expanded Uncertainty:	± 7 nm, k=2
 Jennifer Liu, Scientist II Thermo Fisher Scientific Particle Technology	
	

Packaging Lot # 255494

Expiration Date: JUN'25

5.2 Annexe 2 : Certificat de calibration et de traçabilité des billes de latex de 1 µm

DUKE STANDARDS™ Microsphere Size Standards NIST Traceable Mean Diameter

DESCRIPTION. These particle size standards provide accurate and traceable size calibration for size analysis. They are part of a series of polymer microspheres with calibrated mean diameters traceable to the Standard Meter through the National Institute of Standards and Technology. Diameters from 20 nanometers (nm) to 160 micrometers (µm) are available as aqueous dispersions in dropper-tipped vials, calibrated by photon correlation spectroscopy (PCS), transmission electron microscopy (TEM) or optical microscopy. The aqueous medium has been prepared to disperse and reduce clumping of the particles. The approximate particle concentration in the solids is given to facilitate dilution for the calibration and validation of particle analyzers. Standards from 200 µm to 1000 µm are available as dry spheres, calibrated by optical microscopy. Certified mean diameter is traceable to NIST. Other values are for information only and should not be used as calibration values.

TYPICAL DATA	Catalog Number: 4010A and 4010C, Nominal 1 µm
Certified Mean Diameter:	1.036 µm ± 0.012 µm, k=2
Standard Deviation:	0.010 µm
Percent of Variation:	1.0%
Sphere Composition:	Polystyrene
Sphere Density:	1.05 g/cm ³
Index of Refraction:	1.59 @ 589 nm
Minimum Concentration:	1.0% solids

- Continued on page 2

CERTIFICATE OF CALIBRATION AND TRACEABILITY

certifies that the calibrated mean diameter dimension of this product was transferred by optical microscopy from a stage micrometer calibrated by the National Institute of Standards and Technology (SRM 2800 SN411). NIST Standard Reference Materials 1690, 1692, 1960, and 1961 were used to validate the accuracy and traceability of the calibration methods.

Catalog Number:	4010A and 4010C, Duke Standards™ Microsphere Size Standards
Certification Date:	August 7, 2019
Certified Batch:	4010-008
Production Batch:	4010-049
Certified Mean Diameter:	1.036 µm
Standard Uncertainty:	± 0.012 µm, k=2



06/11/2021

Jennifer Liu, Scientist II
Fisher Scientific Particle Technology



Shipping Lot # 251458

Expiration Date: MAR'25



Le futur en construction

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche et expertise, l'évaluation, la certification et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétence couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS