

# Rapport

## **Essais sur les roches - granulats et matériaux**

Facteurs d'influence et estimation des  
incertitudes d'essais, organisation qualité

**Décembre 2015**

Rapport établi par : Sébastien Liandrat

Vu et vérifié par Mme Dominique DELOUIS

Date	Version	Commentaires
01/12/10	v1	Première synthèse : rapport à faire évoluer en fonction des campagnes d'essais croisés
08/03/11	v2	Changement de portée COFRAC, évolution du personnel, précisions sur la réception des échantillons
27/03/12	v3	Évolution du personnel, résultats essais croisés
22/10/13	v4	Évolution du personnel, résultats essais croisés
22/04/14	v5	Ajouts de résultats d'essais croisés
19/08/15	v6	Ajouts des résultats d'essais croisés ou d'essais sur matériau de référence obtenus en 2015. Utilisation de la méthode dite du « Score z », détails des calculs et hypothèses présentés en annexe.
14/12/15	v6.1	Relecture par la directrice.

## Récapitulatif de l'affaire

Client : Document interne confidentiel - diffusion à la demande des clients

Objet de l'étude : Essais sur les roches - granulats et matériaux - Facteurs d'influence et estimation des incertitudes d'essais, organisation qualité

Résumé de la commande : Réflexion sur la qualité de réalisation des essais. Appréciation des incertitudes d'essais en particulier dans le cadre de l'accréditation COFRAC.

Référence dossier : Affaire Qualité - Essais

Diffusion/Archivage : Confidentiel – Documentation CEREMA – DTerCE

Chargé d'affaire : Sébastien Liandrat –Département Laboratoire de Clermont-Ferrand –  
Tél. +33 (0)4 73 42 10 10 / Fax +33 (0)4 73 42 10 01  
Courriel : sebastien.liandrat@cerema.fr

Mots Clés : Laboratoire, Essais, Granulats, COFRAC, Incertitudes, Échantillons, Matériaux

## Liste des destinataires

Contact	Adresse	Nombre - Type
Document interne	-	2 ex papier – archives MI
Clients essais	-	-
COFRAC	-	-

## Conclusion – Résumé

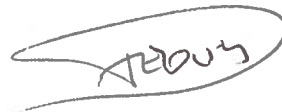
Dans le cadre de l'accréditation COFRAC des essais sur les roches et granulats (programme 23), et pour améliorer la connaissance de la qualité de nos essais (accrédités ou non) il est nécessaire de qualifier et de quantifier les incertitudes liées à la réalisation de ces essais.

Ce travail n'est pas définitif, il doit être remis en cause régulièrement et en particulier lors d'évolutions au sein du laboratoire (nouveaux chargés d'essais, évolutions normatives, nouveau matériel....) ou lors de la participation à des campagnes d'essais comparatifs.

Dans un premier temps, on s'attachera à définir pour chaque essai, les facteurs d'influences et nous déterminerons pour les essais les plus pratiqués ou ayant fait l'objet de campagnes d'essais récentes, notre niveau d'incertitude afin de la comparer aux incertitudes d'essais proposées par la norme XP P 18-545 pour les granulats.

Clermont-Ferrand, le 18 Décembre 2015

La Directrice du Département Laboratoire de Clermont-Ferrand



Mme Dominique DELOUIS

## Sommaire

<b>Objet.....</b>	<b>5</b>
<b>Accréditation.....</b>	<b>5</b>
<b>Qualité.....</b>	<b>5</b>
<b>Organisation qualité du DLCF pour la réalisation des essais granulats.....</b>	<b>6</b>
<b>Généralités.....</b>	<b>6</b>
<b>Validation des échantillons.....</b>	<b>7</b>
<b>Procès Verbaux (PV).....</b>	<b>8</b>
<b>Gestion du matériel et consommables.....</b>	<b>8</b>
<b>Facteurs d'influence des essais.....</b>	<b>10</b>
<b>Généralités.....</b>	<b>10</b>
<b>Prélèvement et échantillonnage.....</b>	<b>10</b>
<b>Analyse granulométrique et coefficient d'aplatissement.....</b>	<b>11</b>
<b>Écoulement des sables.....</b>	<b>11</b>
<b>Équivalent de sable.....</b>	<b>12</b>
<b>Essai au bleu.....</b>	<b>13</b>
<b>Essais MDE et LA.....</b>	<b>13</b>
<b>Masse volumique réelle et coefficient d'absorption d'eau.....</b>	<b>14</b>
<b>Fragmentation dynamique.....</b>	<b>15</b>
<b>Coefficient de friabilité des sables.....</b>	<b>15</b>
<b>Abrasivité.....</b>	<b>16</b>
<b>Incertitudes d'essais déterminées au DLCF.....</b>	<b>17</b>
<b>Normalisation européenne.....</b>	<b>17</b>
<b>Réseau des laboratoires.....</b>	<b>17</b>
<b>DLCF.....</b>	<b>17</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>20</b>
<b>Signatures.....</b>	<b>21</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>22</b>
<b>Annexe A – Résultats de la campagne d'essais croisés LRLD 2014.....</b>	<b>22</b>
<b>Annexe B – Résultats de la campagne d'essais croisés LRLD 2015.....</b>	<b>23</b>

## Objet

### Accréditation

Accréditation n°1-5702, anciennement 1-0012 jusqu'à fin 2013.

**Organisme** Le Département Laboratoire de Clermont-Ferrand (DLCF) est accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC).

**Programme** L'accréditation porte sur certains essais sur les roches et granulats (programme 23).

**Portée** La portée des essais soumis à cette accréditation a été modifiée à notre demande en fin d'année 2010 (souhaits de conserver l'accréditation COFRAC seulement pour les essais les plus pratiqués).

La portée actuelle des essais COFRAC, est la suivante :

Code	Propriétés mesurées	Principe de la méthode	Référence de la méthode
G6	Granularité	Analyse granulométrique par tamisage	EN 933-1 + A1
G7	Coefficient d'aplatissement	Dimensions des éléments plats, longs et épais	EN 933-3 + A1
G12	Essai Micro-Deval (MDE)	Résistance à l'usure d'un granulat par billes INOX dans un cylindre en présence d'eau	EN 1097-1 + A1
G13	Essai Los Angeles (LA)	Résistance à la fragmentation d'un granulat soumis aux chocs de boulets dans un cylindre soumis à des rotations	EN 1097-2 + A1 article 5
G23	Essai au Bleu (MB)	Méthode à la tâche jusqu'à saturation des argiles	EN 933-9 + A1
G30	Échantillonnage	Prélèvement au hasard dans toutes les parties du lot et constitution d'un échantillon global	EN 932-1
G30	Méthodes de réduction	Réduction des échantillons par un diviseur à couloir	EN 932-2

Pour l'ensemble de ces essais, la portée d'accréditation est A2.

Les essais **non couverts** par l'accréditation peuvent être réalisés au DLCF mais sans possibilité d'affichage du logo COFRAC sur les procès verbaux (PV) d'essais.

### Qualité

Pour chacun des essais, le DLCF a mis en évidence les facteurs d'influence pouvant affecter le résultat d'essai.

Des procédures ont été mises en place afin de réduire l'influence de ces facteurs et lorsque c'était possible (résultats récents et exploitables, population de résultats suffisante, campagnes d'essais inter-laboratoires) des incertitudes ont été déterminées.

Des mises à jour seront nécessaires à ce rapport en fonction de l'évolution des pratiques (méthodes d'essais), du personnel (chargés d'essais) et suite à des résultats nouveaux de campagnes d'essais inter-laboratoires.

# Organisation qualité du DLCF pour la réalisation des essais granulats

## Généralités

**Environnement d'essais** Les essais granulats cités dans le tableau 1 sont confiés à la responsabilité de l'unité technique Matériaux Infrastructures (MI).

Hormis l'essai EN 932-1 (échantillonnage) qui peut être réalisé sur site extérieur (lieu de prélèvement), tous les essais sont effectués dans l'enceinte du DLCF, ce qui permet de justifier un environnement d'essai maîtrisé.

**Expérience des personnels concernés** Le personnel en charge des essais ou lié aux résultats d'essais est répertorié en précisant l'expérience de chaque agent :

- Loïc BLACHERE : chargé d'essai granulats avec 1 an et demi d'expérience. Correspondant matériel pour la partie matériaux/granulats de l'unité MI.
- Martine TRAUCHESSEC : responsable d'essais et auditrice marquage CE des sites de production de granulats avec plus de 6 ans d'expérience dans l'activité granulats.
- André BAPT : chargé d'essai granulats. Agent technique avec plus de 30 ans d'expérience au DLCF (activité Géotechnique).
- Sébastien LIANDRAT : responsable de l'activité Matériaux de l'unité MI, 3 ans d'expérience. Responsable d'unité COFRAC et responsable d'essais en formation.

**Chargés d'essai** L'essai EN 932-1 (échantillonnage) est effectué par tout agent du DLCF ayant suivi une formation spécifique.  
Exceptionnellement, tout agent de l'unité MI (y compris stagiaire / vacataire) peut apporter une aide aux chargés d'essai, en particulier lors de la préparation / échantillonnage impliquant des volumes de matériaux importants. Dans ce cas, les prestations sont réalisées sous contrôle permanent d'un chargé d'essai habilité.

**Matériel** André BAPT a été désigné en 2010, responsable du matériel de l'unité alors nommée MTV. Bien que n'étant plus dans l'unité COFRAC du DLCF (MI), il a conservé ce rôle jusqu'à janvier 2015. C'est désormais Loïc BLACHERE qui est correspondant matériel pour l'activité matériaux/granulats de l'unité MI.

**Procès Verbaux** L'édition de chaque procès verbal (PV) d'essai est réalisé par le chargé d'essai. Les PV ainsi que les minutes sont vérifiés par le responsable d'unité COFRAC et par la responsable d'essai. Le PV est ensuite signé par le responsable de l'unité COFRAC. Le DLCF réalise majoritairement des essais sur sa zone d'action (carrières et chantiers), ce qui lui permet de justifier d'une connaissance importante des caractéristiques habituelles des granulats ou roches testés.

**Animation COFRAC** Martine TRAUCHESSEC assiste les responsables d'unité MI au suivi du COFRAC en programmant des réunions de travail et en alertant sur les points d'amélioration de notre organisation (fiches d'anomalie, fiches de non conformité, alerte sur les évolutions normatives, définition des modalités de contrôle avec la cellule étalonnage du DLCF).  
Elle organise également la revue annuelle.

---

## Validation des échantillons

Aucun essai n'est réalisé sans validation de l'échantillon livré et donc renseignement de la fiche de réception et de demande d'essais granulats.

Le chargé d'essai vérifiera visuellement l'homogénéité des matériaux livrés (dans chacun des contenant livrés) les quantités minimales et informations suivantes.

### Analyse granulométrique et aplatissement

Quantité en fonction du Dmax :

- Sable : **au minimum 10 kg**,
- Gravillons 2/4 à 10/14 : **au minimum 40 kg**,
- GNT 0/31,5 à 0/60 : **au minimum 40 kg**,
- GNT avec un Dmax > 60 mm : quantité suffisante permettant l'extraction des masses minimales d'échantillons d'essais selon les normes. Le demandeur est alors le seul responsable de la représentativité du prélèvement livré au DLCF (quantités des échantillons trop importantes nécessitant un écrêtement sur site).

### Essais LA et MDE

Essais sur la fraction 4/6 – 6/10 ou 10/14 à préciser – parfois sur la fraction 25/50 (pour une application terrassement, hors COFRAC) ou 31,5/50 (ballasts)

Mode de préparation à préciser : fractions extraites par tamisage ou par concassage de blocs

Quantités en fonction du Dmax :

- Gravillons (4/6 à 10/14) : **20 kg par essai** (LA ou MDE),
- GNT 0/31,5 à 0/60 : **20 kg par essai** (LA ou MDE),
- Autres matériaux (blocs, Dmax > 150 mm) : quantité suffisante permettant l'extraction des masses minimales d'échantillons d'essais selon les normes. Le demandeur est alors le seul responsable de la représentativité du prélèvement livré au DLCF (quantités des échantillons trop importantes nécessitant un écrêtement sur site).

### Essai MB

Sables : **au minimum 20 kg** pour extraction du 0/2.

GNT 0/31,5 à 0/60 : **au minimum 40 kg** pour extraction du 0/2.

Autres : écrêtement nécessaire sur site, livraison **au minimum de 40 kg** de matériaux 0/50 pour extraction du 0/2.

### Masse volumique

**Au minimum 20 kg.**

### Écoulement des gravillons et sables

Préciser la masse volumique réelle des matériaux en recommandant une détermination sur l'échantillon par le DLCF.

**Au minimum 20 kg** de matériaux.

<b>Fragmentation dynamique</b>	Blocs ou gravillons en quantité suffisante pour des <b>prises d'essais de 350g</b> de classe 4/6,3 ou 6,3/10
<b>Friabilité des sables</b>	<b>Au minimum 20 kg</b> de matériaux.
<b>Coefficient de polissage accéléré (PSV)</b>	Échantillon représentatif de 6,3/10 avec <b>un minimum de 40 kg</b> de matériaux.
<b>Abrasivité et broyabilité</b>	Essais sur blocs après concassage : quantité suffisante pour extraction de la fraction soumise à essai. Le demandeur est eul responsable de la représentativité du prélèvement livré au DLCF. Sur fraction d'essai : <b>au minimum 20 kg</b>
<hr/>	
<b>Procès Verbaux (PV)</b>	Les essais sont confiés en priorité à Loïc BLACHERE puis en cas d'absence à André BAPT.
<b>Édition</b>	Le PV est édité par le chargé d'essai, on retrouvera sur le PV toutes les informations utiles avec en particulier le numéro permettant de retracer les minutes du ou des essais réalisés et dont les résultats apparaissent sur le PV. Ce numéro est unique au PV (indiqué lors de la réception du ou des échantillons) et peut impliquer une ou plusieurs minutes d'essai. Le PV est soumis au responsable d'essai (Martine TRAUCHESSEC) pour validation puis au responsable d'unité COFRAC pour signature.
<b>Validation</b>	À ce stade une vérification des minutes d'essais est réalisée et éventuellement une critique du résultat d'essai peut être engagée (résultat anormal). En cas de doute, l'essai peut être reproduit, les échantillons d'essai témoins peuvent être conservés si le demandeur en fait la demande.  Dès validation du PV d'essai, il est transmis officiellement au demandeur (chargé d'affaires de la DTerCE ou demandeur extérieur).
<b>Archivage</b>	Toutes les minutes d'essais sont conservées et archivées dans des classeurs par type d'essai et par année sur une période de 5 ans.  Les PVs d'essais peuvent être retrouvés numériquement dans le dossier de l'affaire correspondante sur le serveur du DLCF et depuis 2011 en version papier dans un classeur annuel conservé par Martine TRAUCHESSEC.
<hr/>	
<b>Gestion du matériel et consommables</b>	Le matériel devra être au minimum vérifié ou étalonné selon les recommandations normatives.
<b>Étalonnage</b>	Le DLCF peut assurer des prestations d'étalonnage (étuves, tamis, balances, vitesses de rotation, mesures de longueurs, températures) ou de vérification (contrôle des longueurs, épaisseurs du matériel utilisé). Des interventions extérieures sont possibles (CONTROLAB).
<b>Référencement</b>	Le matériel de l'unité est référencé sous informatique (logiciel OPTIMU) avec systèmes d'alertes sur les dates de vérification ou d'étalonnage. La



gestion du matériel était suivie de fin 2010 à 2014 par André BAPT et elle a été attribuée à Loïc BLACHERE depuis 2015.

Les consommables pour essais sont répertoriés dans un classeur sous forme papier avec conservation des bons de livraisons.

**Réception de matériels** La réception d'un matériel d'essai et d'un consommable doit faire l'objet d'une validation avec constats de vérification ou d'étalonnages. Des demandes de compléments par écrit peuvent être demandées au fournisseur si les renseignements fournis sont jugés insuffisants.

**Fournisseurs** Une évaluation des fournisseurs est faite annuellement par le système qualité du DLCF.

## Facteurs d'influence des essais

### Généralités

Pour chacun des essais listés dans le tableau 1, nous avons effectué une analyse afin de hiérarchiser les facteurs influant sur le résultat.

Nous considérons (sauf pour la norme EN 932-1) que le prélèvement apporté au laboratoire pour essai, est bien représentatif du lot de production à qualifier. Quand le prélèvement a été effectué par un agent du DLCF (qui a suivi le stage interne EN 932-1), c'est effectivement le cas, mais lorsque le prélèvement est apporté par un Tiers, nous signalons systématiquement sur le PV que « le prélèvement n'a pas été effectué par le DLCF » afin de dégager éventuellement notre résultat d'essai d'un jugement de conformité de production.

Nous avons identifié 5 facteurs pouvant apporter une incertitude sur notre résultat d'essai :

1. Préparation de l'échantillon soumis à l'essai
2. Méthode d'essai
3. Matériels d'essai
4. Environnement de réalisation de l'essai
5. Opérateur en charge de l'essai

### Prélèvement et échantillonnage

Ces deux essais correspondent aux normes EN 932-1 et EN 933-2.

Pour ces deux essais concernant le prélèvement et l'échantillonnage, nous avons conclu que le facteur d'influence majeur est l'opérateur. Aucune incertitude n'est spécifiée pour ces deux normes car elles restent des méthodes de qualification d'un lot de production ou de préparation d'un échantillon, mais elles n'aboutissent pas à une valeur chiffrée.

Ces deux normes sont cependant fondamentales, elles sont nécessaires au préalable de tous les essais de qualification d'un granulat et elles peuvent influencer très fortement sur le résultat final. Il est donc essentiel de mentionner systématiquement sur les PV d'essais toutes informations sur la qualité du prélèvement et le mode de préparation de l'échantillon avec par exemple les indications suivantes :

- Prélèvement non effectué par le DLCF
- Échantillon soumis à essai présentant une hétérogénéité de faciès, des éléments altérés, une proportion d'éléments plats pouvant affecter la qualité d'échantillonnage.

---

## Analyse granulométrique et coefficient d'aplatissement

### *Préparation de l'échantillon soumis à l'essai*

L'essai d'analyse granulométrique correspond à la norme EN 933-1.  
L'essai d'aplatissement correspond à la norme EN 933-3.

### *Méthode d'essai*

La méthode utilisée est un diviseur à couloirs (EN 932-2), la répartition massique constatée peut être inégale de l'ordre de quelques grammes au fur et à mesure des divisions. Pour l'analyse granulométrique, ce facteur est jugée très faible car le choix de l'échantillon divisée reste aléatoire et on prépare systématiquement une masse d'essai supérieure à l'exigence minimale de la norme.

### *Matériels d'essai*

Pour cet essai, tout le matériel est étalonné par l'unité du DLCF sans contraintes majeures (étuve, tamis, balances). Les incertitudes d'étalonnage du matériel entrent toutefois dans le résultat final.

### *Environnement d'essai*

Tous les essais sont réalisés dans l'enceinte maîtrisée du DLCF et la norme d'essai n'implique pas de contraintes majeures.

### *Opérateur*

Le chargé d'essai apporte une incertitude sur le résultat d'essai sur les opérations suivantes :

- Arrondis des pesées.
- Gestion de la surcharge des tamis.
- Vérification de l'état sec des matériaux (en particulier pour des granulats particulièrement poreux).

### *Conclusions et remarques*

En conclusion pour cet essai, nous considérons que le facteur d'influence majeur sur le résultat d'essai EN 933-1 est l'opérateur. Les 4 autres facteurs sont soit maîtrisés soit négligeables en termes d'effet.

Des essais de répétabilité et de reproductibilité sont nécessaires pour qualifier l'incertitude de cet essai. Des campagnes d'essais croisés peuvent facilement être organisées grâce à la pratique courante de cet essai dans de nombreux organismes.

---

## Écoulement des sables

### *Préparation de l'échantillon soumis à l'essai*

L'essai d'écoulement des sables correspond à la norme EN 933-6, article 8. Cet essai n'est pas dans la portée COFRAC du DLCF.

### *Méthode d'essai*

La méthode utilisée est un diviseur à couloirs (EN 932-2), la répartition massique constatée peut être inégale de l'ordre de quelques grammes au fur et à mesure des divisions. Pour l'analyse granulométrique, ce facteur est jugé très faible car le choix de l'échantillon divisée reste aléatoire et on prépare systématiquement une masse d'essai supérieure à l'exigence minimale de la norme.

Le texte de norme n'est pas très explicite pour l'introduction de la prise d'essai dans le cône d'écoulement du sable. Pour faciliter cette opération, nous utilisons un alimentateur prototype MLPC.

### *Matériels d'essai*

Pour cet essai, nous utilisons du matériel MLPC, il est cependant difficile de vérifier les dispositions géométriques de la norme (mesures des dimensions

du cône).

**Environnement d'essai** Tous les essais sont réalisés dans l'enceinte maîtrisée du DLCF et la norme d'essai n'implique pas de contraintes majeures.

**Opérateur** Le chargé d'essai apporte une incertitude sur le résultat d'essai sur les opérations suivantes : l'arrêt du chronomètre à l'atteinte de la masse normalisée peut être variable selon la réactivité de l'opérateur.

**Conclusions et remarques** En conclusion, pour cet essai nous mettons en évidence deux facteurs d'influence que nous hiérarchisons (du + fort au + faible) :

1. Opérateur
2. Méthode d'essai

Un sable de référence dont le temps d'écoulement est connu et donc stable est utilisé pour cet essai, la valeur obtenue sur ce matériau est un bon moyen de s'assurer que l'opérateur réalise les mesures de manière comparable d'un essai à l'autre.

Cet essai est pratiqué par un seul opérateur au DLCF, il serait opportun de participer à une campagne d'essai croisé afin de s'assurer de la maîtrise de tous les facteurs d'influence.

---

**Équivalent de sable** L'essai d'équivalent de sable correspond à la norme EN 933-8.

**Préparation de l'échantillon soumis à l'essai** La méthode utilisée est un diviseur à couloirs (EN 932-2), la répartition massique constatée peut être inégale de l'ordre de quelques grammes au fur et à mesure des divisions. Pour cet essai, nous jugeons que ce facteur peut avoir une influence sur le résultat final car l'échantillonnage doit aboutir à une masse fixe (avec tolérances) impliquant de multiplier les opérations de divisions du matériau.

**Méthode d'essai** Le texte de norme ne présente pas d'ambiguïté.

**Matériels d'essai** Pour cet essai, il est difficile de vérifier les dispositions géométriques de la norme (dimensions du piston, géométrie de l'extrémité du tube laveur) et l'amplitude de l'agitateur.

**Environnement d'essai** Tous les essais sont réalisés dans l'enceinte maîtrisée du DLCF. Les exigences normatives de température pour la solution lavante sont maîtrisées (enceinte climatisée).

**Opérateur** Le chargé d'essai apporte une incertitude sur le résultat d'essai sur l'opération de lavage au tube laveur qui nécessite une expérience.

**Conclusions et remarques** Actuellement cet essai n'est plus réalisé au DLCF et la maîtrise des facteurs d'influence identifiés n'est donc pas d'actualité.  
Cet essai est de moins en moins pratiqué (remplacé par l'essai MB) et une campagne d'essais inter-laboratoire serait difficile à organiser. Néanmoins le DLCF avait participé aux campagnes inter-laboratoires lors de la normalisation Européenne des granulats, ce qui permettrait de valider le matériel.

---

## Essai au bleu

### *Préparation de l'échantillon soumis à l'essai*

L'essai au bleu de méthylène (MB) correspond à la norme EN 933-9 +A1.

La méthode utilisée est un diviseur à couloirs (EN 932-2), la répartition massique constatée peut être inégale de l'ordre de quelques grammes au fur et à mesure des divisions. Pour cet essai, la préparation de l'échantillon l'influence de ce facteur n'est pas jugée importante.

### *Méthode d'essai*

Le texte de norme ne présente pas d'ambiguïté.

### *Matériels d'essai*

Les contrôles et étalonnages du matériel d'essai ne présentent pas de contraintes majeures à l'exception des pipettes dont le volume d'injection doit être contrôlé et maîtrisé.

Il est indispensable de respecter le délai et les conditions de conservation de la solution de bleu. Afin de maîtriser davantage ce paramètre, un suivi avec de la kaolinite utilisée comme matériau de référence a été instauré en 2015.

### *Environnement d'essai*

Tous les essais sont réalisés dans l'enceinte maîtrisée du DLCF. Il n'y a pas d'exigence normative contraignante.

### *Opérateur*

Le chargé d'essai apporte une incertitude sur le résultat d'essai en fonction de son appréciation de l'essai à la tâche.

### *Conclusions et remarques*

Cet essai est courant au DLCF, il est totalement maîtrisé tout comme l'ensemble des facteurs d'influence.

Des campagnes d'essais croisés peuvent être organisées facilement et le sont régulièrement. Le DLCF contrôle régulièrement (voir tableaux 1&2) son incertitude liée à la répétabilité et la reproductibilité de cet essai.

---

## Essais MDE et LA

### *Préparation de l'échantillon soumis à l'essai*

L'essai MDE correspond à la norme 1097-1 et l'essai LA correspond à la norme 1097-2.

La méthode utilisée est un diviseur à couloirs (EN 932-2), la répartition massique constatée peut être inégale de l'ordre de quelques grammes au fur et à mesure des divisions. Pour cet essai, l'influence de ce facteur n'est pas jugée importante au départ (échantillon avec masse minimale à vérifier) mais il devient majeur lors de la recomposition des fractions granulaires. Pour l'essai MDE il faut de plus être vigilant pour la constitution de deux échantillons présumés identiques.

### *Méthode d'essai*

Pour ces deux essais, les textes de norme ne présentent pas d'ambiguïté sauf pour la recomposition de l'échantillon soumis à l'essai, qui peut impliquer une incertitude liée à l'appréciation de l'opérateur, en particulier avec des granulats hétérogènes ou altérés.

Un matériau de référence est fourni par le Département Laboratoire d'Angers, il permet entre autre de valider la méthode d'essai.

### *Matériels d'essai*

Le matériel d'essai peut être contrôlé ou étalonné selon les prescriptions normatives.

Le matériau de référence cité ci-dessus permet également de valider la conformité du matériel.

### *Environnement d'essai*

Tous les essais sont réalisés dans l'enceinte maîtrisée du DLCF. Les normes n'imposent pas d'exigence particulière.

<b>Opérateur</b>	Une fois l'échantillon (ou les échantillons) constitué(s), l'opérateur n'implique pas d'incertitude sur le résultat. En revanche, l'opérateur est un facteur influant de manière majeure pour la constitution des échantillons par recomposition.
<b>Conclusions et remarques</b>	Ces essais sont courants au DLCF, ils sont totalement maîtrisés tout comme l'ensemble des facteurs d'influence. Le laboratoire participe à des campagnes inter-laboratoire pour vérifier son niveau d'incertitude.
<hr/>	
<b>Masse volumique réelle et coefficient d'absorption d'eau</b>	Ces essais correspondent à la norme EN 1097-6. On s'intéresse plus particulièrement aux articles 8 et 9 qui sont des méthodes au pycnomètre.
<b>Préparation de l'échantillon soumis à l'essai</b>	La méthode utilisée est un diviseur à couloirs (EN 932-2), la répartition massique constatée peut être inégale de l'ordre de quelques grammes au fur et à mesure des divisions. Pour cet essai, l'influence de ce facteur n'est pas jugée importante (échantillon avec masse minimale à vérifier).
<b>Méthode d'essai</b>	Le texte de norme ne présente pas d'ambiguïté pour les gravillons. Pour les sables, le respect de la forme du niveau d'affaissement du cône de sable reste difficile à appréhender.
<b>Matériels d'essai</b>	Les exigences géométriques de la norme pour le cône et le pilon sont difficiles à vérifier.
<b>Environnement d'essai</b>	Tous les essais sont réalisés dans l'enceinte maîtrisée du DLCF. La norme de cet essai impose des exigences de température du bain thermostatique. Le DLCF effectue cet essai dans une enceinte climatisée.
<b>Opérateur</b>	Les deux essais nécessitent une forte expérience de l'opérateur, l'expérience régionale du DLCF (nature géologique du granulat, site de carrière connue) permet de repérer des résultats aberrants.
<b>Conclusions et remarques</b>	Ces essais sont pratiqués par peu de laboratoires avec une fréquence faible (moins de 5 essais par an). L'incertitude vraie est alors difficile à appréhender.

---

## Fragmentation dynamique

L'essai de fragmentation dynamique n'est plus pratiqué depuis la normalisation de l'essai LA.

L'essai de fragmentation dynamique correspond à la norme P 18-574

### *Préparation de l'échantillon soumis à l'essai*

La méthode utilisée est un diviseur à couloirs (EN 932-2), la répartition massique constatée peut être inégale de l'ordre de quelques grammes au fur et à mesure des divisions. Pour cet essai, l'influence de ce facteur n'est pas jugée importante (échantillon avec masse minimale à vérifier).

### *Méthode d'essai*

Le texte de norme n'est pas européen mais la méthode d'essai décrite ne présente pas d'ambiguïté.

### *Matériels d'essai*

Matériels uniquement MPLC.

### *Environnement d'essai*

Tous les essais sont réalisés dans l'enceinte maîtrisée du DLCF. Il n'y a pas d'exigence normative particulière.

### *Opérateur*

Il y a peu d'incertitude lié à l'exécution de cet essai.

### *Conclusions et remarques*

Cet essai n'est actuellement plus réalisé au DLCF.

Il n'existe pas de spécification d'usage selon le résultat d'essai. Une campagne inter-laboratoires semble difficile à organiser et présente peu d'intérêt.

---

## Coefficient de friabilité des sables

Cet essai correspond à la norme P 18-576.

### *Préparation de l'échantillon soumis à l'essai*

La méthode utilisée est un diviseur à couloirs (EN 932-2), la répartition massique constatée peut être inégale de l'ordre de quelques grammes au fur et à mesure des divisions. Pour cet essai, l'influence de ce facteur n'est pas jugée importante (échantillon avec masse minimale à vérifier).

### *Méthode d'essai*

Le texte de norme n'est pas européen mais la méthode d'essai décrite ne présente pas d'ambiguïté.

### *Matériels d'essai*

Matériels uniquement MPLC.

### *Environnement d'essai*

Tous les essais sont réalisés dans l'enceinte maîtrisée du DLCF. Il n'y a pas d'exigence normative particulière.

### *Opérateur*

Il y a peu d'incertitude lié à l'exécution de cet essai.

### *Conclusions et remarques*

Cet essai est peu pratiqué. Il n'existe pas de spécification d'usage selon le résultat d'essai. Une campagne inter-laboratoires paraît difficile à organiser et présente peu d'intérêt.

---

## Abrasivité

Cet essai correspond à la norme P 18-579.

### *Préparation de l'échantillon soumis à l'essai*

La méthode utilisée est un diviseur à couloirs (EN 932-2), la répartition massique constatée peut être inégale de l'ordre de quelques grammes au fur et à mesure des divisions. Pour cet essai, l'influence de ce facteur n'est pas jugée importante (échantillon avec masse minimale à vérifier).

### *Méthode d'essai*

Le texte de norme n'est pas européen mais la méthode d'essai décrite ne présente pas d'ambiguïté.

### *Matériels d'essai*

Exigences géométriques de la norme difficiles à vérifier (en particulier hauteur de la palette en acier).

### *Environnement d'essai*

Tous les essais sont réalisés dans l'enceinte maîtrisée du DLCF. Il n'y a pas d'exigence normative particulière.

### *Opérateur*

Il y a peu d'incertitude lié à l'exécution de cet essai.

### *Conclusions et remarques*

Cet essai est peu pratiqué mais il est particulièrement connu et maîtrisé au DLCF. Il n'existe pas de spécifications d'usage en granulats. Cet essai présente un intérêt pour répondre à des risques de réclamations d'entreprise par rapport à l'usure du matériel (en particulier pour les problématiques Terrassement, traitement couche de forme).

Une campagne d'essais inter-laboratoires est difficile à organiser.



## Incertitudes d'essais déterminées au DLCF

### Normalisation européenne

Le DLCF a participé aux campagnes d'essais inter-laboratoires du réseau scientifique et technique du ministère, lors du passage à la normalisation européenne des essais granulats. À ce titre, le DLCF peut proposer les incertitudes déterminées lors de ces campagnes et qui ont été reprises par la norme XP P 18-545.

### Réseau des laboratoires

Le réseau des Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées (RLPC) a publié en Octobre 2003 (G DELALANDE) un guide pour l'estimation des incertitudes des essais sur granulats proposant les résultats suivants suite aux campagnes inter-LPC, pour les normes d'essais considérées dans le tableau 1 :

*Tableau 1: Incertitude d'essai proposée par le RLPC (2003)*

Norme	Objet	Mesurande	Incertitude d'essai DLCF
EN 933-1	Granulométrie	% passant	15% : +/- 2 50% : +/- 3 85% : +/- 2
EN 933-3	Aplatissement	% en masse	15% : +/- 4,3 25% : +/- 6,6
EN 933-6 article 8	Écoulement des sables	Temps en secondes	38 : +/- 2 30 : +/- 2
EN 933-8	Équivalent de sable	%	40 : +/- 7,8 50 : +/- 7 60 : +/- 5,6
EN 933-9	Essai au Bleu de Méthylène	g. bleu / 1 kg de sable g. bleu / 1 kg de fines < 0,125 mm	2 : +/- 0,55 10 : +/- 2,79
EN 1097-1	Essai Micro Deval	% en masse	15 : +/- 1,6 25 : +/- 2,6 35 : +/- 3,6
EN 1097-2	Los Angeles	% en masse	20 : +/- 2,4 30 : +/- 3,6 40 : +/- 4,8
EN 1097-6	Masse volumique	Mg/m3	+/- 0,015
P 18-574	Fragmentation dynamique	%	20% : +/- 3,7 30% : +/- 4,4
P 18-576	Friabilité des sables	%	+/- 4,2
P 18-579	Abrasivité Broyabilité	g. d'acier par Tonne	100 : +/- 50 1000 : +/- 89 2000 : +/- 132

### DLCF

Le DLCF participe à des campagnes d'essais inter – laboratoires et peut

effectuer des mesures de répétabilité pour vérifier son niveau d'incertitudes. Ces campagnes sont toutefois difficiles à organiser pour les essais peu pratiqués.

On utilisera à partir de 2011, les résultats d'essais croisés lors des audits NF ou CE des carrières où des essais peuvent être demandés au DLCF. Également, le DLCF a pris l'initiative en 2011 d'organiser des essais comparatifs entre les trois laboratoires COFRAC de la DTerCE. Le DLCF participe aux campagnes EAPIC et à des essais comparatifs avec les laboratoires départementaux.

**Références  
normatives**

Les dernières analyses statistiques sur les essais les plus courants (granulométrie, MB, aplatissement, LA et MDE) ont été réalisées selon les documents suivants :

- FD X 07-021 : Métrologie et applications de la statistique – Aide à la démarche pour l'estimation et l'utilisation de l'incertitude des mesures et des résultats d'essais
- NF ISO 5725-2 : Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure – Méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée
- FD ISO/TR 22971 : Lignes directrices pratiques pour l'utilisation de l'ISO 5725-2:1994 pour la conception, la mise en œuvre et l'analyse statistique des résultats de répétabilité et de reproductibilité interlaboratoires

**Résultats  
d'incertitude**

Les résultats des essais croisés de 2014 sont disponibles en Annexe A. Des fiches spécifiques d'analyses sont consultables pour justification des résultats.

Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus.

*Tableau 2: Résultats d'incertitudes déterminés récemment au DLCF*

Essai	Campagne	Incertitude déterminée	Remarques
EN 933-1	1999 Inter. LD Sable 0/5	D : +/- 1,97 1,4D : +/- 3,36	Incertitude trop élevée au 1,4D
EN 933-1	2005 Inter. LD Sable 0/5	D : +/- 1,21 1,4D : 0	Incertitudes 18-545 confirmées D : +/- 2 1,4D : +/- 1 Pass. > 66% : +/- 3 20%<Pass.<66%: +/- 4
EN 933-1	2012 répétabilité DLCF sur 0/31,5	D : +/- 1,6 1,4D : 0 Pass 8 mm : moy 33% et U=+/- 2	Incertitudes répétabilité 18-545 confirmées D : +/- 2 1,4D : +/- 1 Pass. > 66% : +/- 3 20%<Pass.<66%: +/- 4
EN 933-1	2013 Inter. LD + LR	D : +/- 0,8 1,4D : 0 Pass > 66 % : 3,09 – 2,58 – 1,60 20 % < Pass < 66 % : 2,33 – 0,47 – 0,85 5 % < Pass < 20 % : 0,59	Incertitudes répétabilité 18-545 confirmées D : +/- 2 1,4D : +/- 1 Pass. > 66% : +/- 3 20%<Pass.<66%: +/- 4 5 % < Pass < 20 % : +/- 2
EN 933-1	<b>2015 Campagne Interlaboratoires LR / LD 3 essais – 2 répétitions 0/2 – 2/6 – 6/10</b>	<b>Analyse directe par rapport aux courbes moyennes</b>	<b>Incertitudes NF P18-545 confirmées</b> D : +/- 2 1,4D : +/- 1 Pass. > 66% : +/- 3 20%<Pass.<66%: +/- 4 5 % < Pass < 20 % : +/- 2
EN 933-3	2005 Inter. LD	+/- 4,77	Incertitude légèrement supérieure à 18-545 (+/- 4)
EN 933-3	2009 DLCF Gravillons 4/6	+/- 0,4 grille non conforme +/- 0,15 grille conforme	Répétabilité du DLCF vérifiée avec deux types de grilles Résultat très inférieure à l'incertitude 18-545 (+/- 4)
EN 933-3	<b>2015 Campagne interlaboratoires LR / LD 2 essais (2/6 et 6/10) et 2 répétitions</b>	<b>Score z DLCF : 0,1 et 0,8</b>	<b>Incertitude NF P18-545 confirmée (+/- 4)</b>
EN 933-9	2010 Inter. LD	+/- 0,42 +/- 0 (DLCF)	Incertitude 18-545 confirmée (+/- 0,5)
EN 933-9	2008 Inter. LD + LR + entreprises	+/- 0,52 (14 laboratoires) +/- 0,26 (LRPC Cete LYON) +/- 0,02 (DLCF)	Incertitude 18-545 confirmée (+/- 0,5)
EN 933-9	2012 répétabilité DLCF sur 0/31,5	+/- 0,1	Incertitude 18-545 confirmée (+/- 0,5)
EN 933-9	2013 Inter LD + LR	+/- 0,7 (8 laboratoires) +/- 0,5 (4 laboratoires) +/- 0,00 (DLCF)	Incertitude 18-545 confirmée (+/- 0,5)
EN 933-9 Annexe D	2014 Inter LD + LR	Répétabilité = 0,00343 Reproductibilité = 0,013708 (DLCF : +/- 0,00)	Incertitude 18-545 confirmée (+/- 0,5)
NF EN 933-9	<b>2015 Campagne interlaboratoires LR / LD 1 essai 2 répétitions</b>	<b>Score z DLCF : -0,5</b>	<b>Incertitude NF P18-545 confirmée (+/- 0,5)</b>

Essai	Campagne	Incertitude déterminée	Remarques
EN 1097-1	EAPIC Nov. 2006	+/- 3,42	Incertitude 18-545 confirmée
EN 1097-1	2011 inter-labo DLA et DLCF	+/- 1,1	Incertitude 18-545 confirmée
EN 1097-1	2012 répétabilité DLCF sur 0/31,5	+/- 2	Incertitude 18-545 confirmée
<b>NF EN 1097-1</b>	<b>2015 Essais sur matériau de référence</b>	<b>Acceptation du résultat d'essai : 19,7 à 23,5 Résultat DLCF : 23,5</b>	<b>Résultats vérifiés mais répétabilité du laboratoire non testée Incertitude NF P18-545 confirmée</b>
EN 1097-2	EAPIC Nov. 2006	+/- 1,80	Incertitude 18-545 confirmée
EN 1097-2	2011 inter-labo DLA et DLCF	+/- 1,1	Incertitude 18-545 confirmée
EN 1097-2	2012 répétabilité DLCF sur 0/31,5	+/- 3	Incertitude 18-545 confirmée
<b>NF EN 1097-2</b>	<b>2015 Essais sur matériau de référence</b>	<b>Acceptation du résultat d'essai : 10,4 à 13,0 Résultat DLCF : 12</b>	<b>Résultats vérifiés mais répétabilité du laboratoire non testée Incertitude NF P18-545 confirmée</b>

## Conclusion

En 2015, les dernières campagnes d'essais croisés organisées par le DLCF ont permis de confirmer les incertitudes sur les essais suivants :

- Analyse granulométrique
- Aplatissement
- Essai au bleu (MB)

Ces résultats permettent également de conserver l'habilitation des chargés d'essais.

De plus, des essais sur matériau de référence ont été effectués pour les essais suivants :

- Los Angeles (LA)
- Micro Deval en présence d'eau (MDE)

Ces résultats permettent de conserver l'habilitation des chargés d'essai et de vérifier les matériels utilisés.

En 2015 ont été utilisés pour la première fois des outils statistiques plus évolués :

- Test de Cochran
- Test de Grubbs
- Estimation du biais de laboratoire par la méthode des « Scores z »,

Pour la méthode des « Scores z », la valeur assignée est obtenue à l'aide d'un algorithme programmé sur le logiciel Matlab. L'écart-type pour l'évaluation d'aptitude est soit calculé à partir des résultats des essais croisés, soit fixé arbitrairement.

## Signatures

Rédigé, le 16/12/15

Vu et approuvé, le 16/12/15

Le responsable COFRAC de l'unité  
Matériaux InfrastructuresLe responsable de l'unité Matériaux -  
Infrastructures  
Sébastien Liandrat  
Jérôme Albaret

Vu et approuvé, le 16/12/15

Le responsable du groupe Risques  
Environnement Infrastructures  
Sylvain Moreira

## Annexes

### Annexe A – Résultats de la campagne d'essais croisés LRLD 2014

Les essais ont été réalisés selon la norme NF EN 933-9 Annexe D, en faisant varier la solution de bleu et le papier filtre.

Laboratoires	Rép 1	Rép 2	Rép 3	Rép 4	Rép 5	Rép 6	Rép 7	Rép 8	Rép 9
DLCF	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
LD 03	1,3	1,3	1,3	-	-	-	-	-	-
LD 15	1,2	1,2	1,2	-	-	-	-	-	-
LGR 17	1,5	1,3	1,3	-	-	-	-	-	-
LD 19	1,3	1,3	1,3	-	-	-	-	-	-
LD 23	1,2	1,2	1,2	-	-	-	-	-	-
LD 42	1,2	1,2	1,2	-	-	-	-	-	-
LD 43	1,2	1,2	1,2	-	-	-	-	-	-

## Annexe B – Résultats de la campagne d'essais croisés LRLD 2015

### Aplatissements

Les résultats des essais sont présentés ci-dessous. Aucune valeur n'a été retirée de l'analyse statistique suite aux tests de Cochran et de Grubbs, réalisés conformément à la NF ISO 5725-2:1994-12 paragraphes 7.3.3 et 7.3.4.

Faction 2/6				
Laboratoires	Rép 1	Rép 2	Scores z $\sigma = 1$	Scores z $\sigma = 2$
DLCF (LB)	20	22	0,2	0,1
DLCF (AB)	20	20	Non pris en compte	Non pris en compte
LD 03	21	19	-0,8	-0,4
LD 15	20	18	-1,8	-0,9
LGR 17	23	23	2,2	1,1
LD 19	22	22	1,2	0,6
LD 23	20	19	-1,3	-0,7
LD 42	21	21	0,2	0,1
LD 43	26	25	4,7	2,3
Carrière Malavaux	14	16	-5,8	-2,9

Fraction 6/10			
Laboratoires	Rép 1	Rép 2	Scores z $\sigma = 1,678$
DLCF (LB)	14	13	0,8
DLCF (AB)	13	12	Non pris en compte
LD 03	12	14	0,5
LD 15	11	12	-0,4
LGR 17	10	10	1,3
LD 19	13	14	0,8
LD 23	14	14	1,1
LD 42	12	10	-0,7
LD 43	12	13	0,2
Carrière Malavaux	11	11	-0,7

La valeur assignée est obtenue en utilisant un algorithme d'analyse robuste défini dans la NF ISO 13528:2005-12 Annexe C.1. Pour la classe granulaire 2/6, les valeurs d'écart-type pour l'évaluation d'aptitude ont été choisies arbitrairement en fonction de l'incertitude de cet essai donné dans la NF P18-545. Pour la classe granulaire 6/10, l'écart-type pour l'évaluation d'aptitude est obtenu à partir des résultats de l'expérience de fidélité tel que décrit dans la norme citée ci-dessus, paragraphe 6.5 ( $\Phi = 1$ ).

### **Essai au bleu (MB)**

Les résultats des essais sont présentés ci-dessous. La valeur en jaune a été retirée de l'analyse statistique suite aux tests de Cochran et de Grubbs, conformément à la NF ISO 5725-2:1994-12 paragraphes 7.3.3 et 7.3.4.

<b>Essai au bleu</b>				
<b>Laboratoires</b>	<b>Rép 1</b>	<b>Rép 2</b>	<b>Scores z</b>	<b>Scores z (bis)</b>
DLCF (LB)	1,3	1,3	-1,7	-0,5
DLCF (AB)	1,2	1,3	Non pris en compte	Non pris en compte
LD 03	1,2	1,2	-5,4	-1,5
LD 15	1,6	1,6	9,3	2,5
LGR 17	2,3	1,8	16,6	4,5
LD 19	1,5	1,5	5,6	1,5
LD 23	1,3	1,2	-3,5	-1,0
LD 42	1,1	1,3	-5,4	-1,5
LD 43	1,3	1,3	-1,7	-0,5
Carrière Malavaux	1,6	1,4	5,6	1,5

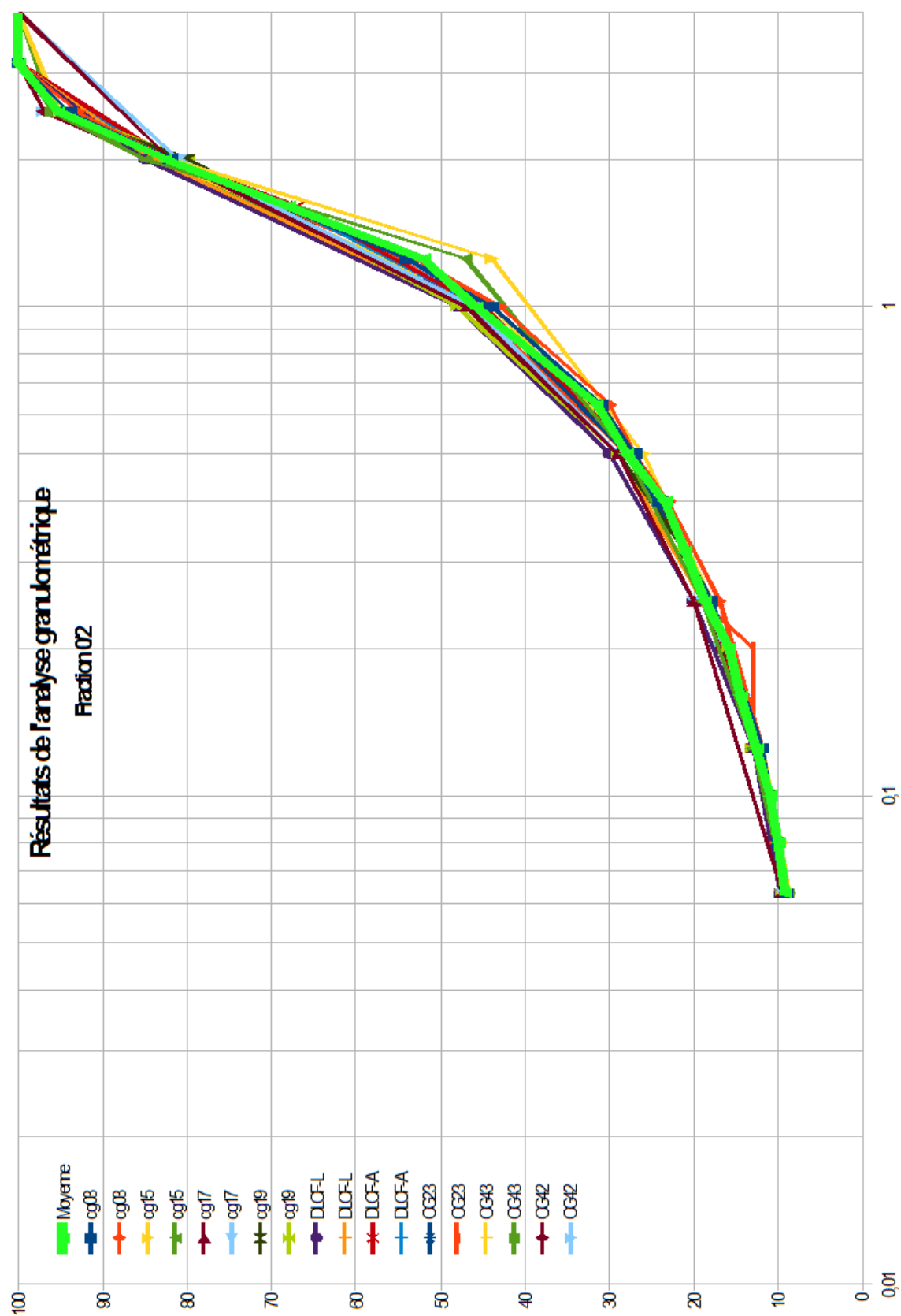
La valeur assignée est obtenue en utilisant un algorithme d'analyse robuste défini dans la NF ISO 13528:2005-12 Annexe C.1. L'écart-type pour l'évaluation d'aptitude est obtenu à partir des résultats de l'expérience de fidélité tel que décrit dans la norme citée ci-dessus, paragraphe 6.5 ( $\Phi = 1$ ). L'écart-type dit « bis » a été défini arbitrairement car le précédent était jugé très bas et très discriminant pour beaucoup de laboratoires, cela en partie dû au trop faible nombre de laboratoires dans cette étude.

Valeur assignée	1,346
Écart-type pour l'éval. d'aptitude	0,027293
Écart-type pour l'éval. d'aptitude (bis)	0,1



**Analyse granulométrique (Fraction 0/2)**

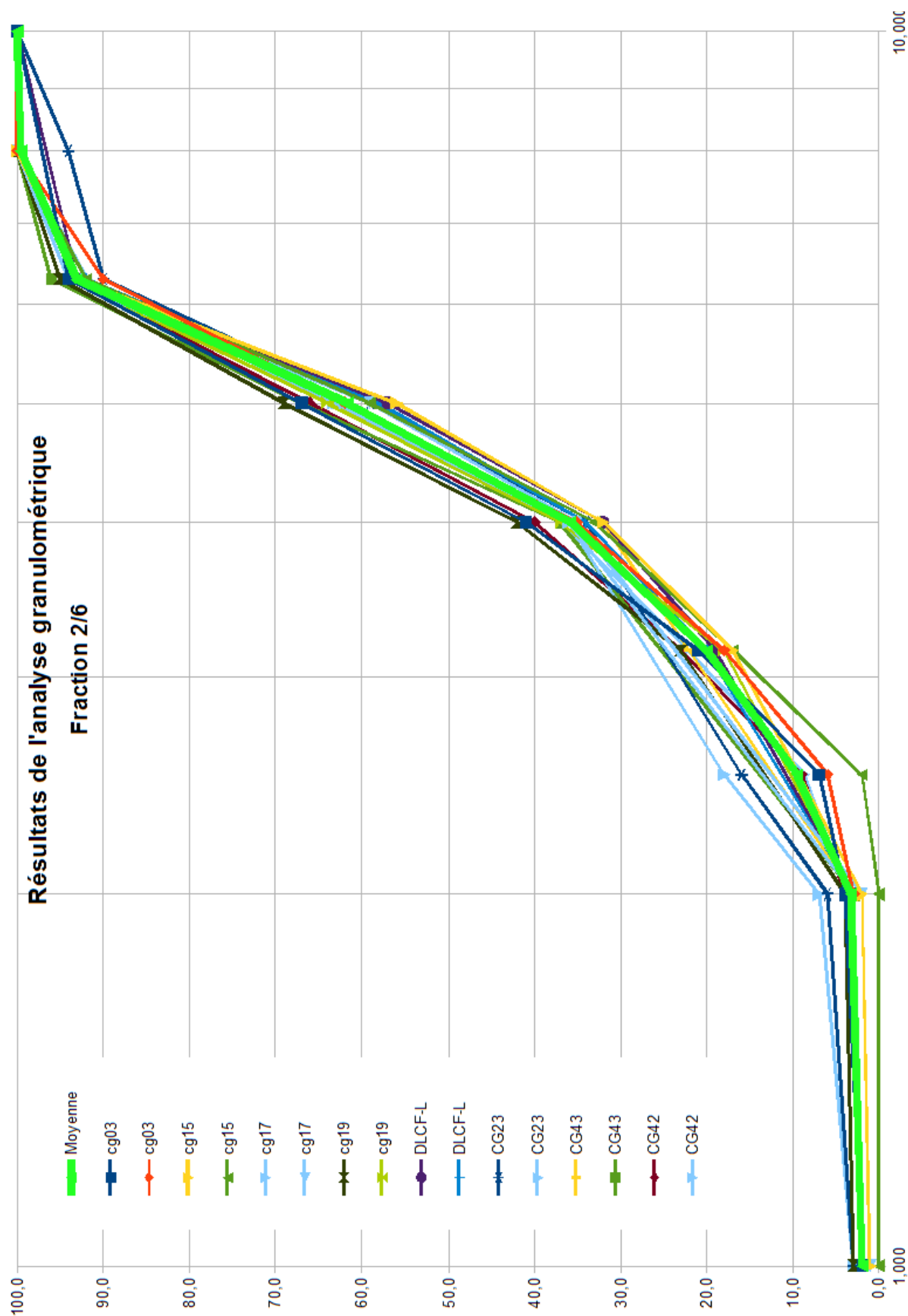
Analyse granulométrique – Fraction 0/2																			
Tamis	4	3,15	2,5	2	1,6	1,25	1	0,63	0,5	0,4	0,315	0,25	0,2	0,16	0,125	0,1	0,08	0,063	Fond)
cg03	100	100	94	82		54	44	31	27	24		18			12		10	9,1	
cg03		100	93	82		53	43	30	27	23		17			12		10,2	9,2	
cg15		100	95	82		44			26			18			12			9	
cg15		100	96	85		47			28			19			13			9	
cg17	100			82			47		29			20						9,6	
cg17	100			81			46		29			20						9,6	
cg19		100	95	80			47		29		21	18	16		12	11	9,9	9,7	
cg19		100	94	80			48		29		21	19	16		13	11	10	9,5	
DLCF-LB		100		85			48		30			20			13			9,7	
DLCF-LB		100		84			47		29			19			13			9,3	
DLCF-AB		100		82	67		45		27			18			13			9,2	
DLCF-AB		100		83	68		45		27			18			13			9,1	
CG23				82		54	45		28		21	19	16		13		9,86	8,84	8,59
CG23				82		55	46		28		21	19	13		13		10,04	9,06	8,88
CG43	100		95	83			44		27			18			12		9,8	8,8	
CG43	100		96	84			46		29			19			13		10,4	9,5	
CG42		100	97	84	69	55	47	33	28		21	19	17	15	13		10	9	
CG42		100	97	84	68	54	46	32	28		21	18	17	14	12		10	9	
Moyenne	100,0	100,0	95,2	82,6	68,0	52,0	45,9	31,5	28,1	23,5	21,0	18,7	15,8	14,5	12,6	11,0	10,0	9,2	8,7
Ecart-type	0,00	0,00	1,32	1,50	0,82	4,14	1,45	1,29	1,06	0,71	0,00	0,84	1,47	0,71	0,50	0,00	0,17	0,29	0,21



Analyse granulométrique (Fraction 2/6)

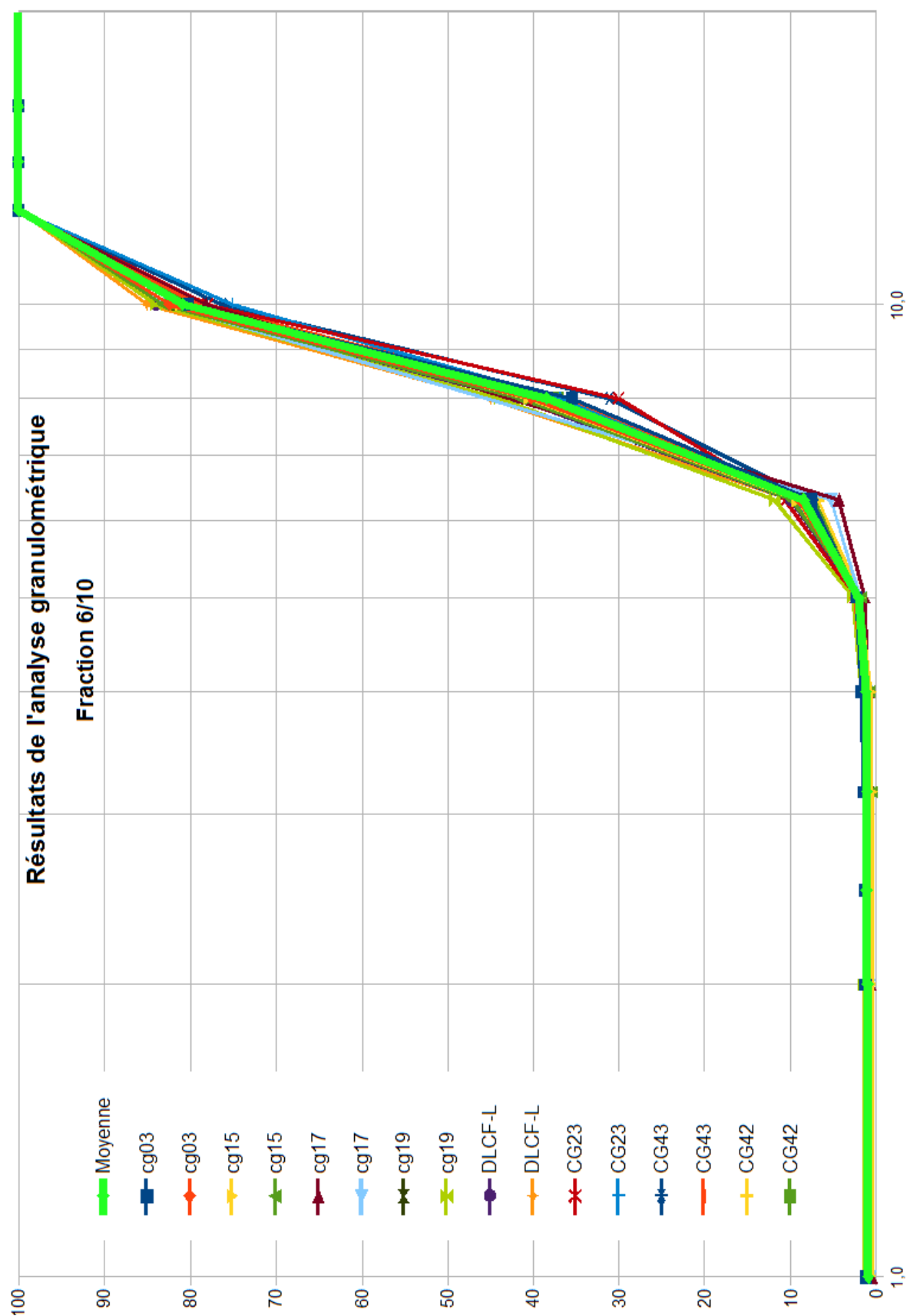
	Analyse granulométrique - Fraction 2/6																Fond		
	10	8	6,3	5	4	3,15	2,5	2	1	0,5	0,315	0,25	0,2	0,15	0,125	0,063			
CG42	100	100	100	94	66	40	23	9	4	2	1								
CG42	100	100	100	92	63	37	22	9	4	2	2								
Moyenne	100,0	99,6	92,9	61,6	35,7	20,0	9,5	3,3	2,0	1,4									
Ecart-type	0,00	1,50	1,59	3,97	2,96	2,18	5,63	1,49	0,73	0,96									
Tamis	10	8	6,3	5	4	3,15	2,5	2	1	0,5	0,315	0,25	0,2	0,15	0,125	0,063			
cg03	100			94	67	41	21	7	4	2	2								
cg03	100	100		90	62	35	18	6	3	2	2								
cg15	100	100	100	93	56	32	17		2	1	0								
cg15	100	100	100	92	59	33	17	2	0	0	0								
cg17	100	100	100	94	62	36			3	2	2								
cg17	100	100	100	94	59	35			2	1	1								
cg19	100	100	100	95	69	42	23		4	3	3								
cg19	100	100	100	94	64	37	18		3	2	2								
DLCF-LB	100			93	57	32	19		3	2	0								
DLCF-LB	100	100	100	92	58	34	20		3	2	0								
DLCF-AB	100	100	100	92	62	36	21		3	2									
DLCF-AB	100	100	100	92	59	34	19		3	2									
CG23	100	94	90	59	34		16	6	3	2									
CG23	100	100	100	92	63	36	18	7	3	2									
CG43	100	100	100	94	56	32	22		3	2	2								
CG43	100	100	100	96	67	37			3	2	2								





**Analyse granulométrique – Fraction 6/10**

Tamis	20,0	16,0	14,0	12,5	10,0	8,0	6,3	5,0	4,0	3,15	2,50	2,00	1,00	0,50	0,32	0,25	0,20	0,13	0,06
cg03	100	100	100	100	80	35	8	2	2	2	1	1	1	1	0	1	1	1	1,0
cg03	100	100	100	100	82	40	9	2	2	2	1	1	1	1	0	1	1	1	0,9
cg15	100	100	100	100	81	41	9	2	1	1				0					
cg15	100	100	100	100	83	42	10	2	1	1				0					0,0
cg17	100	100	100	100	78		5	1	1			1	1	1		1			0,4
cg17	100	100	100	100	83		5	2	1			1	1	1		1			0,5
cg19	100	100	100	100	82	40	9	2	1	1		1		1					0,8
cg19	100	100	100	100	84	44	12	3	2	2		1		1					1,1
DLCF-LB	100	100	100	100	84	42	10	2	1	1									0,5
DLCF-LB	100	100	100	100	85	45	10	2	1	1									0,8
DLCF-AB		100		100	82	46	12	3	2	1			1						0,8
DLCF-AB		100	100	100	82	43	12	3	2	1			1						0,9
CG23	100	100	100	100	78	30	11	2		1				1					0,5
CG23	100	100	100	100	75	37	9	2		1				1					0,5
CG43	100	100	100	100	76	31	8	2	2	2				1					0,8
CG43	100	100	100	100	79	36	8	2	1	1				1					0,8
CG42	100	100	100	100	84	39	7	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5
CG42	100	100	100	100	80	37	7	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,4
Moyenne	100,0	100,0	100,0	100,0	81,0	39,2	8,9	2,2	1,3	1,1	1,2	1,0	0,9	0,8	0,4	0,8	0,9	0,8	0,7
Ecart-type	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	4,6	2,1	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,5	0,2	0,2	0,2	0,3





Connaissance et prévention des risques – Développement des infrastructures – Énergie et climat – Gestion du patrimoine d'infrastructures  
Impacts sur la santé – Mobilités et transports – Territoires durables et ressources naturelles – Ville et bâtiments durables

**Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement**

Département Laboratoire de Clermont-Ferrand - ZI du Brézet

8 à 10, rue Bernard-Palissy

63 017 CLERMONT-FERRAND CEDEX 2 - +33 (0)4 73 42 10 10

Siège social : Cité des mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F 63674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 73 44 30 30