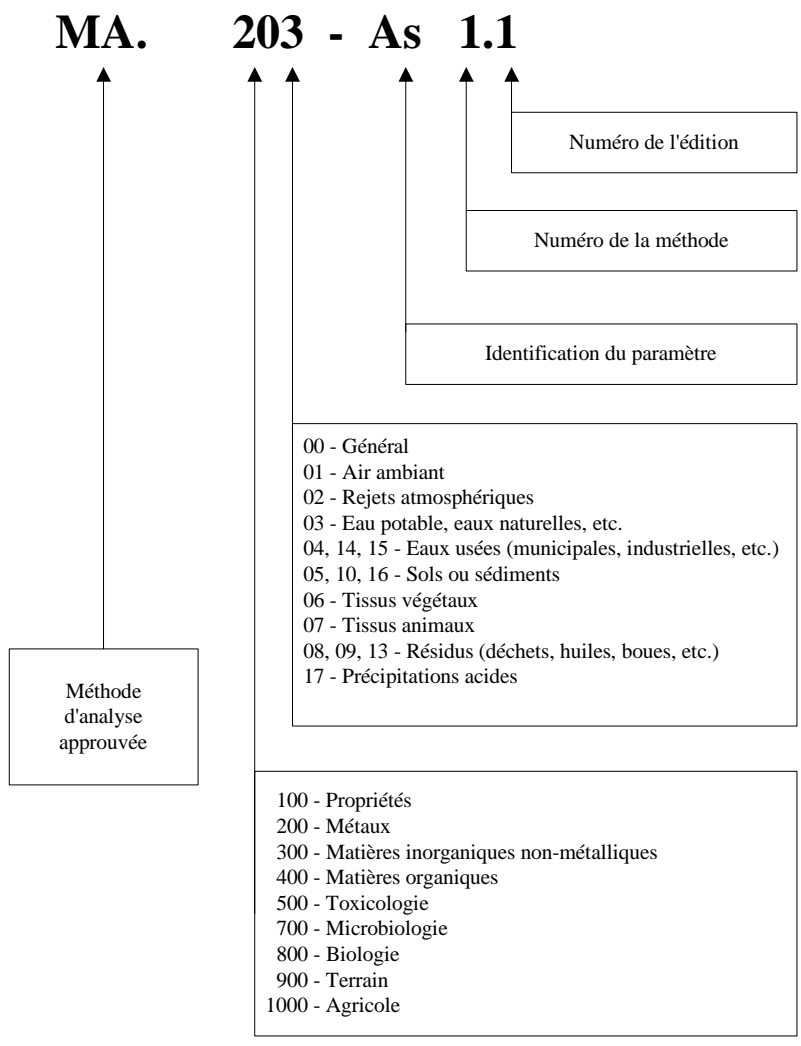


**MA. 205 – GRA 1.0**  
Édition : 2003-12-11

**Méthode d'analyse**  
Détermination de la granulométrie dans les sols  
agricoles et les sédiments : méthode Bouyoucos

# Exemple de numérotation :



**ÉDITION APPROUVÉE LE :** 11 décembre 2003

Historique de la méthode

Ce document constitue la première édition de la méthode et remplace la méthode MENVIQ 87.09/110-Gra 1.2.

**Reproduction et traduction, même partielles, interdites sans l'autorisation du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, ministère de l'Environnement du Québec.**

Ce document doit être cité de la façon suivante :

**CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, Détermination de la granulométrie dans les sols agricoles et les sédiments : méthode Bouyoucos, MA. 205 – GRA 1.0, Ministère de l'Environnement du Québec, 2003, 16 p.**



## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	7
1. DOMAINE D'APPLICATION	7
2. PRINCIPE ET THÉORIE	7
3. FIABILITÉ	7
3.1. Interférences	7
3.2. Limite de détection	8
3.3. Limite de quantification	8
3.4. Sensibilité	8
3.5. Fidélité	8
3.6. Justesse	8
3.7. Pourcentage de récupération	8
4. PRÉLEVEMENT ET CONSERVATION	8
5. APPAREILLAGE	9
6. RÉACTIFS ET ÉTALONS	9
7. PROTOCOLE D'ANALYSE	9
7.1. Préparation du matériel	10
7.2. Préparation des échantillons	10
7.3. Mesure de la granulométrie	12
7.4. Détermination du pourcentage de sable	13
8. CALCUL ET EXPRESSION DES RÉSULTATS	13
8.1. Calcul du diamètre des particules	13
8.2. Calcul de la granulométrie	14
8.3. Calcul du pourcentage de sable	15
9. CRITÈRES D'ACCEPTABILITÉ	15
10. BIBLIOGRAPHIE	15



## **INTRODUCTION**

L'analyse granulométrique d'un sédiment consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur de particules (sable, limon, argile, etc.). Il n'existe pas de méthode parfaite pour déterminer la granulométrie et l'exactitude de la méthode dépend de la nature du sédiment et, plus précisément, de la forme géométrique et du pourcentage de matière organique constituant ces particules.

L'étude granulométrique d'un sédiment permet de déterminer sa surface spécifique ( $m^2/g$ ), ce qui permet d'estimer sa capacité d'adsorption des métaux et des substances organiques. Elle permet également d'estimer la quantité de matière en suspension et la quantité de matière sédimentée lorsque des travaux de dragage sont effectués.

### **1. DOMAINE D'APPLICATION**

Cette méthode est utilisée pour la détermination de la granulométrie dans les sols agricoles et les sédiments. La granulométrie ne peut être faite que sur un sol contenant moins de 15 % de matière organique.

Le domaine d'application se situe entre 0 et 2 mm.

### **2. PRINCIPE ET THÉORIE**

Toutes les particules dont le diamètre est supérieur à 2 mm sont éliminées sur un tamis de 10 mailles. L'échantillon tamisé est homogénéisé et un poids d'environ 40 g (poids sec) est mélangé à un volume d'eau contenant un agent dispersant, puis est introduit dans un cylindre.

Par la suite, la densité du mélange est mesurée à l'aide d'un hydromètre à divers intervalles de temps (de 30 secondes à 24 heures).

La densité obtenue en fonction du temps de sédimentation permet d'obtenir la granulométrie de l'échantillon analysé.

### **3. FIABILITÉ**

Les termes suivants sont définis dans le document DR-12-VMC, intitulé « Protocole pour la validation d'une méthode d'analyse en chimie ».

#### **3.1. INTERFÉRENCES**

Aucune interférence connue n'est constatée lors de la détermination de la granulométrie dans les sédiments.

La méthode de calcul de la granulométrie tient compte de deux hypothèses, soit que les particules sont sphériques et que leur densité est de  $2,65 \text{ g/cm}^3$ . Ainsi, tout écart par rapport aux hypothèses affecte l'exactitude des résultats.

### 3.2. LIMITE DE DÉTECTION

Cette méthode s'applique à un sol ayant des particules avec un diamètre se situant entre 0 et 2 mm et contenant moins de 15 % de matière organique.

### 3.3. LIMITE DE QUANTIFICATION

Sans objet.

### 3.4. SENSIBILITÉ

Sans objet.

### 3.5. FIDÉLITÉ

#### 3.5.1. Réplicabilité

La réplicabilité sur une série de mesure ( $n = 6$ ) a été de  $\pm 0,44$  % pour le pourcentage de sable, de  $\pm 1,57$  % pour le pourcentage de limon et de  $\pm 1,76$  % pour le pourcentage d'argile.

#### 3.5.2. Répétabilité

La répétabilité sur une série de mesure ( $n = 7$ ) a été de  $\pm 0,39$  % pour le pourcentage de sable, de  $\pm 2,53$  % pour le pourcentage de limon et de  $\pm 2,60$  % pour le pourcentage d'argile.

### 3.6. JUSTESSE

Les données statistiques sont incomplètes.

### 3.7. POURCENTAGE DE RÉCUPÉRATION

Sans objet.

## 4. **PRÉLEVEMENT ET CONSERVATION**

Prélever un échantillon représentatif dans un contenant de plastique ou de verre.

Conserver à l'obscurité à environ 4 °C. Le délai de conservation entre le prélèvement et l'analyse ne doit pas excéder 6 mois.



## 5. APPAREILLAGE

Les marques de commerce apparaissant ci-dessous ne sont mentionnées qu'à titre de renseignement.

- 5.1. Hydromètre, ASTM – n° 152H, avec échelle Bouyoucos graduée en g/l
- 5.2. Balance analytique dont la sensibilité est de 0,1 mg
- 5.3. Tamis dont la porosité est de 2 mm
- 5.4. Agitateur de marque Lab-Line, modèle « Shaking Incubator »
- 5.5. Chronomètre ou horloge
- 5.6. Cylindre gradué de 1 000 ml dont le diamètre intérieur est d'environ 6,0 cm
- 5.7. Erlenmeyer de 500 ml à bouchon vissant

## 6. RÉACTIFS ET ÉTALONS

Tous les réactifs commerciaux utilisés sont de qualité A.C.S., à moins d'indication contraire.

L'eau utilisée pour la préparation des réactifs est de l'eau distillée ou déminéralisée.

- 6.1. Carbonate de sodium,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (CAS n° 497-19-8)
- 6.2. Hexamétaphosphate de sodium,  $\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6$  (CAS n° 10124-56-8)
- 6.3. Isopentanol, agent antimoussant (CAS n° 123-51-3)
- 6.4. Acide acétique glacial,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  glacial (CAS n° 64-19-7)
- 6.5. Peroxyde d'hydrogène,  $\text{H}_2\text{O}_2$  30 % V/V (CAS n° 7722-84-1)
- 6.6. Solution dispersante

Dissoudre 102,0 g de  $\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6$  (cf. 6.2) et 7,0 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (cf. 6.1) dans environ 800 ml d'eau et compléter à 1 000 ml avec de l'eau.

- 6.7. Savon Extran 300

## 7. PROTOCOLE D'ANALYSE

Pour toute série d'échantillons, les recommandations des « Lignes directrices concernant l'application des contrôles de la qualité en chimie », DR-12-SCA-01, sont suivies afin de s'assurer d'une fréquence d'insertion adéquate en ce qui concerne les éléments de contrôle et

d'assurance de la qualité (blanc, matériaux de référence, duplicata, etc.). Tous ces éléments d'assurance et de contrôle de la qualité suivent les mêmes étapes du protocole analytique que les échantillons.

### 7.1. PRÉPARATION DU MATÉRIEL

Laver toute la verrerie utilisée au savon EXTRAN 300, rincer à l'eau déminéralisée, égoutter et laisser sécher à l'air.

### 7.2. PÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

- Homogénéiser l'échantillon de sol directement dans le sac ou le contenant en le triturant ou en le mélangeant à l'aide d'une spatule.
- Dans un contenant en aluminium, mettre environ 150 g de sol ainsi homogénéisé et sécher dans une étuve bien ventilée à 105 °C pendant environ 18 heures.
- Lorsque l'échantillon est sec, défaire délicatement les agrégats au mortier.
- Tamiser sur tamis de 2 mm (10 mailles) et rejeter toutes les particules qui n'ont pas traversé le tamis.
- Déposer l'échantillon tamisé dans un gobelet de type FALCON™ d'une capacité de 240 ml et refermer hermétiquement.
- Sur une portion de l'échantillon original, procéder à la détermination du pourcentage d'humidité en pesant environ 2,0 g d'échantillon dans un gobelet en aluminium et en le déposant à l'étuve pendant environ 18 heures à 105 °C.
- Le lendemain, sur ce même aliquot qui a servi à déterminer le taux d'humidité, procéder à la détermination de la matière organique par perte au feu à 375 °C pendant 16 heures. Utiliser à cette fin un petit creuset en porcelaine.

**Note : Cette technique est satisfaisante si le taux de matière organique est supérieur à 20 %.**

- Si, par contre, le résultat est inférieur à 20 %, procéder par la méthode Walkley-Black, qui consiste en une titration de l'excès de  $K_2Cr_2O_7$  1,0 N non utilisé par la matière organique.

**Note : Si l'on obtient un taux de matière organique plus grand que 15 %, on ne peut procéder à la granulométrie, car l'échantillon n'est plus considéré comme étant un sol. On parle alors d'horizons humifiés.**

- Si la teneur en matière organique est de 5 % à 15 %, il faut la détruire avant de procéder à la granulométrie.

### 7.2.1. Préparation d'un sol ayant entre 5 % et 15 % de matière organique

- Peser 20,00 g d'échantillon tamisé tel que décrit précédemment et déposer dans un becher de 400 ml à long col.
- Ajouter 5,0 ml d'acide acétique glacial (cf. 6.4).
- À l'aide d'un cylindre gradué, ajouter au becher contenant l'échantillon 10,0 ml de peroxyde d'hydrogène (cf. 6.5) par portion de 5,0 ml.
- Après y avoir déposé 10,0 ml de peroxyde d'hydrogène (cf. 6.5), chauffer le becher sur une plaque chauffante réglée à basse température, sous une hotte.
- Un dégagement gazeux se produit. Garder la réaction bien maîtrisée en retirant le becher de la plaque chauffante et en agitant de façon concentrique.
- Attendre la fin de la réaction et ajouter 25,0 ml de peroxyde d'hydrogène (cf. 6.5) par portion de 5 ml à la fois et chauffer de nouveau.
- Lorsque les 25 ml de peroxyde d'hydrogène (cf. 6.5) requis ont été ajoutés, retirer de la plaque chauffante juste après la fin de la réaction et laisser refroidir.
- Une fois la matière organique détruite, procéder à la granulométrie en transvidant le contenu du becher dans un erlenmeyer à bouchon vissant d'une capacité de 500 ml. Par rinçage à l'eau déminéralisée, s'assurer de transvider tout le contenu sans exception dans l'erlenmeyer.
- Faire une solution témoin en ajoutant 5 ml d'acide acétique glaciale (cf. 6.4) et 25 ml de peroxyde d'hydrogène (cf. 6.5).
- Ajouter 50 ml de la solution dispersante (cf. 6.6) ainsi que 10 gouttes d'agent antimoussant (cf. 6.3) dans l'erlenmeyer.
- Compléter, avec de l'eau déminéralisée, si nécessaire, à un volume de 300 ml.

### 7.2.2. Préparation d'un sol ayant moins de 5 % de matière organique

**Note : Si l'échantillon ne contient pas plus de 5 % de matière organique, aucune destruction de cette matière n'est nécessaire afin d'effectuer la granulométrie.**

- Peser 40,00 g d'échantillon tamisé tel que décrit précédemment et mettre dans un erlenmeyer de 500 ml à bouchon vissant.
- Ajouter 50 ml de la solution dispersante (cf. 6.6) et 10 gouttes d'agent antimoussant (cf. 6.3).
- Faire une solution témoin.

- Compléter avec de l'eau déminéralisée à un volume de 300 ml.

### 7.3. MESURE DE LA GRANULOMÉTRIE

- Bien refermer les erlenmeyers et les mettre en position couchée sur l'agitateur horizontal.
- Ajuster à basse vitesse et laisser brasser en aller-retour pendant au moins 18 heures. À l'occasion, retourner les erlenmeyers d'un demi-tour et poursuivre l'agitation.
- Une fois le temps d'agitation complété, retirer les erlenmeyers de l'agitateur.
- Transvider le contenu dans un cylindre d'une capacité de 1 000 ml et bien rincer l'erlenmeyer avec de l'eau déminéralisée à la température ambiante. Compléter à environ 1 cm de la jauge sur le cylindre.
- Faire de même avec le témoin et les autres échantillons.
- Noter la température de chacun des échantillons.
- Immerger lentement un hydromètre (identifié) dans le témoin, le laisser se stabiliser et noter la valeur (à  $\pm 0,5$  g/l).
- Selon l'ordre préétabli pour chaque échantillon, lorsque le moment est venu, refermer avec un papier de paraffine et agiter en renversant durant 1 minute. Il faut s'assurer que les sédiments se dégagent complètement du fond du cylindre.
- Déposer sur le comptoir et noter exactement l'heure (appelée « H »).
- Délicatement, immerger l'hydromètre dans l'échantillon et ajouter 10 gouttes d'agent antimoussant afin de pouvoir lire la marque sur l'instrument.
- Après exactement H + 30 secondes, noter la valeur.
- Puis, après exactement H + 1 minute, noter la valeur et retirer ensuite l'hydromètre. Bien le rincer.
- À 1 minute avant H + 5 minutes, immerger délicatement l'hydromètre et à H + 5 minutes, noter la valeur.
- Refaire de même à H + 30 minutes, H + 2 heures et H + 24 heures. Retirer l'hydromètre entre chaque lecture et bien rincer.
- Procéder de même avec les autres échantillons.
- Après la lecture de H + 24 heures, déterminer le pourcentage de sable.

#### 7.4. DÉTERMINATION DU POURCENTAGE DE SABLE

- Vider le contenu d'un cylindre dans le tamis de 53 µm (270 mailles).
- Bien rincer le cylindre à l'eau déminéralisée et ensuite le tamis, jusqu'à ce que l'eau de rinçage soit claire et limpide.
- Transvider à l'aide d'un léger jet d'eau déminéralisée le contenu du tamis dans un filtre à café de type n° 12, soutenu dans un petit tamis métallique.
- Bien rincer le tamis de 53 µm afin de tout récupérer.
- Plier sur lui-même et essorer avec les mains gantées.
- Déposer à l'étuve (105 °C) pour la nuit.
- Le lendemain, retirer de l'étuve et déposer dans un dessiccateur pendant au moins 30 minutes.
- Peser et effectuer les calculs s'y rattachant pour obtenir le pourcentage de sable.

### 8. CALCUL ET EXPRESSION DES RÉSULTATS

#### 8.1. CALCUL DU DIAMÈTRE DES PARTICULES

Le diamètre maximum des particules qui demeurent en suspension après un temps de sédimentation (t) est déterminé à l'aide de l'équation suivante :

$$D = \frac{Y(N/N_{30})^{1/2}}{t^{1/2}} \quad (1)$$

où

- D : diamètre des particules en suspension (µm);
- Y : paramètre de sédimentation (fonction de la lecture de l'hydromètre);
- N : viscosité de l'eau à la température de l'échantillon;
- N<sub>30</sub> : viscosité de l'eau à 30°C;
- t : temps durant lequel la mesure est effectuée (min).

En général, les mesures sont effectuées à 22 °C et le rapport  $(N/N_{30})^{1/2}$  devient égal à 1,092.

L'équation (1) devient :

$$D = \frac{(Y)(1,092)}{t^{1/2}} \quad (2)$$

où

- D : diamètre des particules en suspension (µm);
- Y : paramètre de sédimentation (fonction de la lecture de l'hydromètre);
- t : temps durant lequel la mesure est effectuée (min).

La valeur du paramètre de sédimentation « Y » est déterminée à partir de la différence de lecture de l'hydromètre (R) pour l'échantillon et le témoin à partir du tableau ci-dessous.

R	Y	R	Y	R	Y	R	Y
-5	50,4	7	47,4	19	44,2	31	40,7
-4	50,1	8	47,2	20	43,9	32	40,4
-3	49,9	9	47,0	21	43,7	33	40,1
-2	49,6	10	46,7	22	43,4	34	39,8
-1	49,4	11	46,4	23	43,1	35	39,5
0	49,2	12	46,2	24	42,8	36	39,2
1	48,9	13	45,9	25	42,5	37	38,9
2	48,7	14	45,6	26	42,2	38	38,6
3	48,4	15	45,3	27	41,9	39	38,3
4	48,2	16	45,0	28	41,6	40	38,0
5	47,9	17	44,8	29	41,3		
6	47,7	18	44,5	30	41,0		

## 8.2. CALCUL DE LA GRANULOMÉTRIE

La différence de densité entre deux lectures à des temps différents permet de déterminer le pourcentage du matériel qui a sédimenté pendant cette période; le temps de sédimentation permet de déterminer le diamètre maximum des particules restant en suspension.

L'équation suivante permet de calculer le pourcentage de particules qui a sédimenté.

$$\% P = \frac{L_1 - L_2}{p} \times 100 \quad (3)$$

où

- % P : pourcentage de particules sédimentées (%);
- L<sub>1</sub> : lecture de l'hydromètre au temps t<sub>1</sub> (g);
- L<sub>2</sub> : lecture de l'hydromètre au temps t<sub>2</sub> (g);
- p : poids d'échantillon utilisé (g).

Pour la lecture à 24 heures, L<sub>2</sub> correspond à la lecture du témoin.

### 8.3. CALCUL DU POURCENTAGE DE SABLE

L'équation suivante permet de calculer le pourcentage de sable dans l'échantillon :

$$\% S = \frac{P_1 - P_2}{p} \times 100 \quad (4)$$

où

- % S : pourcentage de sable (%);
- P<sub>1</sub> : poids du papier filtre à café séché avec les sables (g);
- P<sub>2</sub> : poids du papier filtre à café vide (g);
- p : poids initial de l'échantillon (g).

## 9. CRITÈRES D'ACCEPTABILITÉ

Les critères d'acceptabilité sont définis au document DR-12-SCA-01 et sont appliqués comme suit :

En ce qui concerne les matériaux de référence et matériaux de référence certifiés, les critères d'acceptabilité sont définis par le responsable désigné.

Les résultats des duplicata et des replica ne doivent pas différer de plus de 15 % de la valeur moyenne.

Les résultats des échantillons de contrôle insérés dans les routines d'analyse sont acceptés par le système de gestion des analyses lorsqu'ils sont compris à l'intérieur de l'écart attendu.

Les chimistes peuvent valider les résultats des analyses à partir de l'ensemble des données du contrôle de la qualité, même s'il y a dépassement des critères.

## 10. BIBLIOGRAPHIE

CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, Lignes directrices concernant l'application des contrôles de la qualité en chimie, DR-12-SCA-01, Ministère de l'Environnement du Québec, Édition courante.

CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, Protocole pour la validation d'une méthode d'analyse en chimie, DR-12-VMC, Ministère de l'Environnement du Québec, Édition courante.

INSTITUT DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT EN AGROENVIRONNEMENT, Analyse granulométrique des sols, IRDA-AS-251-R1, 2000.

MCNEELEY, R.N., V.P. NEIMANIS et L. DWYER, Références sur la qualité des eaux : Guide des paramètres de la qualité des eaux, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Ottawa, 1980, 100 p.

ONTARIO MINISTRY OF ENVIRONNEMENT, Handbook of Analytical methods for Environmental samples, Vol. 1 and 2, December 1983.