

---

---

**Qualité du sol — Dosage de certains  
chlorophénols — Méthode de  
chromatographie en phase gazeuse avec  
détection par capture d'électrons**

*Soil quality — Determination of some selected chlorophenols —  
Gas-chromatographic method with electron-capture detection*

*iteh Standards*  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO 14154:2005](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/cfa58d05-4c5d-43be-abf1-51746ead5059/iso-14154-2005)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/cfa58d05-4c5d-43be-abf1-51746ead5059/iso-14154-2005>



**PDF – Exonération de responsabilité**

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO 14154:2005](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/cfa58d05-4c5d-43be-abf1-51746ead5059/iso-14154-2005)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/cfa58d05-4c5d-43be-abf1-51746ead5059/iso-14154-2005>

© ISO 2005

La reproduction des termes et des définitions contenus dans la présente Norme internationale est autorisée dans les manuels d'enseignement, les modes d'emploi, les publications et revues techniques destinés exclusivement à l'enseignement ou à la mise en application. Les conditions d'une telle reproduction sont les suivantes: aucune modification n'est apportée aux termes et définitions; la reproduction n'est pas autorisée dans des dictionnaires ou publications similaires destinés à la vente; la présente Norme internationale est citée comme document source.

À la seule exception mentionnée ci-dessus, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

**Sommaire**

Page

<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>2</b>
<b>4</b> <b>Principe</b> .....	<b>2</b>
<b>5</b> <b>Réactifs</b> .....	<b>2</b>
<b>6</b> <b>Appareillage</b> .....	<b>4</b>
<b>7</b> <b>Échantillonnage</b> .....	<b>4</b>
<b>8</b> <b>Mode opératoire</b> .....	<b>5</b>
<b>9</b> <b>Calcul</b> .....	<b>7</b>
<b>10</b> <b>Fidélité</b> .....	<b>8</b>
<b>11</b> <b>Contrôle et assurance qualité</b> .....	<b>8</b>
<b>12</b> <b>Rapport d'essai</b> .....	<b>8</b>
<b>Annexe A</b> (informative) <b>Concentrations types des solutions étalons</b> .....	<b>9</b>
<b>Annexe B</b> (informative) <b>Conditions de chromatographie en phase gazeuse</b> .....	<b>10</b>
<b>Annexe C</b> (informative) <b>Résultats de l'essai interlaboratoires</b> .....	<b>11</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>14</b>

[ISO 14154:2005](https://standards.iteh.ai/standards/iso/cfa58d05-4c5d-43be-abf1-51746ead5059/iso-14154-2005)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/cfa58d05-4c5d-43be-abf1-51746ead5059/iso-14154-2005>

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO 14154 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 190, *Qualité du sol*, sous-comité SC 3, *Méthodes chimiques et caractéristiques du sol*.

iteh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO 14154:2005](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/cfa58d05-4c5d-43be-abf1-51746ead5059/iso-14154-2005)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/cfa58d05-4c5d-43be-abf1-51746ead5059/iso-14154-2005>

# Qualité du sol — Dosage de certains chlorophénols — Méthode de chromatographie en phase gazeuse avec détection par capture d'électrons

**AVERTISSEMENT** — Les chlorophénols sont toxiques et éventuellement cancérigènes. Lors de la manipulation d'échantillons contenant du chlorophénol, le contact avec la peau doit être évité. Il faut porter des gants et des vêtements protecteurs. Si une quantité importante d'aérosols et de poussière se répand pendant l'échantillonnage, il peut être nécessaire d'utiliser un masque.

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale décrit le dosage par chromatographie en phase gazeuse de 15 chlorophénols (2,3-, 2,4-, 2,5-, 2,6-, 3,4- et 3,5-dichlorophénol, 2,3,4-, 2,3,5-, 2,3,6-, 2,4,5-, 2,4,6- et 3,4,5-trichlorophénol, 2,3,4,5-, et 2,3,4,6-tétrachlorophénol et pentachlorophénol) dans des échantillons de sol. Cette méthode peut également être utilisée pour d'autres échantillons solides tels que les sédiments et les déchets solides.

La présente Norme internationale décrit une extraction liquide acide-base, suivie d'une acétylation, puis d'une extraction liquide/liquide. Le dosage est réalisé par chromatographie en phase gazeuse avec une détection par capture d'électrons.

Cette méthode permet de doser des chlorophénols à des concentrations minimales comprises approximativement entre 0,01 mg/kg et 0,05 mg/kg, en fonction de la sensibilité du composé et de la quantité d'échantillon utilisée. Dans certains cas, il est impossible de parvenir à une séparation complète des isomères. La somme est alors consignée dans le rapport d'essai (par exemple: 2,4- et 2,5-dichlorophénol).

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/cfa58d05-4c5d-43be-abff-51746ead5059/iso-14154-2005>

## 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 3696:1987, *Eau pour laboratoire à usage analytique — Spécification et méthodes d'essai*

ISO 10381-1, *Qualité du sol — Échantillonnage — Partie 1: Lignes directrices pour l'établissement des programmes d'échantillonnage*

ISO 11465:1993, *Qualité du sol — Détermination de la teneur pondérale en matière sèche et en eau — Méthode gravimétrique*

ISO 14507, *Qualité du sol — Prétraitement des échantillons pour la détermination des contaminants organiques*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

#### 3.1

##### **chlorophénol**

composé aromatique hydroxyle (phénol) porteur d'un à cinq atomes de chlore

### 4 Principe

La méthode décrite ici se déroule en deux étapes. La première comporte une extraction solide/liquide: les chlorophénols sont extraits du sol par un mélange acétone-hexane à faible pH. La seconde est une étape de purification basée sur des extractions successives en milieux aqueux basique et acide en présence d'hexane. Enfin, les chlorophénols isolés dans une solution aqueuse de carbonate sont dérivés avec de l'anhydride acétique, et les dérivés ainsi formés sont extraits de l'échantillon avec de l'hexane. La fraction hexane est analysée par chromatographie en phase gazeuse avec détection par capture d'électrons ou détection de masse.

### 5 Réactifs

Pendant l'analyse utiliser, sauf indication contraire, uniquement des réactifs de qualité analytique reconnue.

Les gaz pour chromatographie en phase gazeuse doivent être d'une pureté équivalente à celle recommandée par le fabricant du chromatographe.

Seuls des étalons certifiés, de haut niveau de pureté, disponibles dans le commerce doivent être utilisés.

**5.1 Eau**, conforme à la qualité 1 spécifiée dans l'ISO 3696:1987

**5.2 Éthanol**,  $C_2H_5OH$ , 99,5 % (fraction massique)

**5.3 Hexane**,  $C_6H_{14}$

**5.4 Acétone**,  $CH_3COCH_3$

**5.5 Acide chlorhydrique**, HCl, concentré, 37 % (fraction massique)

**5.6 Hydroxyde de sodium**, NaOH

**5.7 Carbonate de potassium**,  $K_2CO_3$

**5.8 Anhydride acétique**,  $(CH_3CO)_2O$

**5.9 Sulfate de sodium**, anhydre,  $Na_2SO_4$

Peser des prises d'essai de 2 g de sulfate de sodium et les placer dans des tubes à essai munis d'un bouchon revêtu de polytétrafluoréthylène (PTFE). Sécher les tubes à essai à  $500\text{ °C} \pm 20\text{ °C}$  pendant  $4\text{ h} \pm 30\text{ min}$  sans le bouchon. Puis placer les tubes à essai dans un dessiccateur et les laisser refroidir. Une fois refroidis, obturer les tubes et les conserver à température ambiante. Le sulfate de sodium peut également être séché en plus grande proportion et conservé dans un dessiccateur après refroidissement. Peser ensuite des prises d'essai de 2 g et les placer dans les tubes au moment de leur utilisation.

**5.10 2,4,6-tribromophénol**,  $C_6H_2Br_3OH$ , CAS 118-79-6, utilisé comme étalon interne

### 5.11 Chlorophénols (étalons)

- 2,3-dichlorophénol,  $C_6H_3Cl_2OH$ , CAS 576-24-9
- 2,4-dichlorophénol,  $C_6H_3Cl_2OH$ , CAS 120-83-2
- 2,5-dichlorophénol,  $C_6H_3Cl_2OH$ , CAS 583-78-8
- 2,6-dichlorophénol,  $C_6H_3Cl_2OH$ , CAS 87-65-0
- 3,4-dichlorophénol,  $C_6H_3Cl_2OH$ , CAS 95-77-2
- 3,5-dichlorophénol,  $C_6H_3Cl_2OH$ , CAS 591-35-5
- 2,3,4-trichlorophénol,  $C_6H_2Cl_3OH$ , CAS 15950-66-0
- 2,3,5-trichlorophénol,  $C_6H_2Cl_3OH$ , CAS 933-78-8
- 2,3,6-trichlorophénol,  $C_6H_2Cl_3OH$ , CAS 933-75-7
- 2,4,5-trichlorophénol,  $C_6H_2Cl_3OH$ , CAS 95-95-4
- 2,4,6-trichlorophénol,  $C_6H_2Cl_3OH$ , CAS 88-06-2
- 3,4,5-trichlorophénol,  $C_6H_2Cl_3OH$ , CAS 609-19-8
- 2,3,4,5-tétrachlorophénol,  $C_6HCl_4OH$ , CAS 4901-51-3
- 2,3,4,6-tétrachlorophénol,  $C_6HCl_4OH$ , CAS 58-90-2
- Pentachlorophénol,  $C_6Cl_5OH$ , CAS 87-86-5

**5.12** Solution d'**hydroxyde de sodium**,  $c(NaOH) = 0,1 \text{ mol/l}$

**5.13** Solution d'**hydroxyde de sodium**,  $c(NaOH) = 0,5 \text{ mol/l}$

**5.14** Solution de **carbonate de potassium**,  $c(K_2CO_3) = 0,1 \text{ mol/l}$

**5.15** Solution de **carbonate de potassium**,  $c(K_2CO_3) = 5,2 \text{ mol/l}$

### 5.16 Solutions d'étalon interne

#### 5.16.1 Solution mère

Préparer la solution mère d'étalon interne en pesant le 2,4,6-tribromophénol (5.10) et en le dissolvant dans de l'éthanol (5.2.). Le Tableau A.1 de l'Annexe A indique la concentration type de la solution mère d'étalon interne. Répartir la solution mère dans des flacons de 5 ml munis d'un bouchon étanche, 1,5 ml dans chaque flacon, et conserver à  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ .

La stabilité de la solution mère est d'au moins six mois lorsque celle-ci est conservée à l'abri de la lumière à  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  et d'au moins un an lorsqu'elle est conservée à  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ .

NOTE Le 2,4-dibromophénol ou le 2,6-dibromophénol peuvent être également utilisés comme étalon interne.

#### 5.16.2 Solution de travail

Préparer la solution de travail d'étalon interne en diluant la solution mère (5.16.1) avec de l'eau (5.1) et ajouter quelques gouttes de solution d'hydroxyde de sodium (5.13) pour empêcher la précipitation. Le Tableau A.1 de l'Annexe A indique la concentration type de la solution de travail d'étalon interne.

## 5.17 Solutions d'étalonnage (voir Tableau A.2 de l'Annexe A)

### 5.17.1 Solution(s) mère(s)

Peser chaque étalon de chlorophénol (5.11) dans la même fiole jaugée ou dans des fioles jaugées séparées, puis les dissoudre dans de l'éthanol (5.2). Répartir la (les) solution(s) mère(s) dans des flacons de 5 ml munis d'un bouchon étanche revêtu de PTFE, 1,5 ml dans chaque flacon, et conserver à  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 5.17.2 Solutions de travail

Diluer la (les) solution(s) mère(s) (5.17.1) dans de l'eau (5.1) pour obtenir une solution de travail et ajouter quelques gouttes de solution d'hydroxyde de sodium (5.13) pour empêcher la précipitation.

## 5.18 Solution d'acétone-hexane, 1:1 (fraction volumique)

## 6 Appareillage

Matériel courant de laboratoire et ce qui suit.

### 6.1 Verrerie, normalisée, nettoyée correctement de façon à éliminer tout composé interférent.

Ne pas utiliser de récipient en plastique car les chlorophénols peuvent y être retenus par adsorption; les matières plastiques peuvent également contaminer l'échantillon par apport d'impuretés.

### 6.2 Chromatographe capillaire en phase gazeuse, équipé, de préférence, de deux détecteurs à capture d'électrons et du dispositif permettant de relier deux colonnes capillaires soit au même système d'injection, soit à deux injecteurs différents.

Il est recommandé que les résultats obtenus avec des systèmes CPG-DCE à une seule colonne soient confirmés par une analyse CPG-DCE supplémentaire utilisant une autre colonne de polarité différente ou par une analyse CPG-SM.

### 6.3 Colonnes capillaires, au moins au nombre de deux, avec des phases stationnaires de polarités différentes.

### 6.4 Bain d'ultrasons.

## 7 Échantillonnage

**AVERTISSEMENT** — Les sols contaminés avec des mélanges commerciaux de chlorophénols contiennent souvent des impuretés de phénoxyphénols polychlorés (PCPP), de polychlorodibenzodioxines et de polychlorodibenzofuranes, ainsi que des polychlorobiphényles (PCB) en concentrations mineures. Il y a donc un risque de contamination du laboratoire.

Prélever des échantillons conformément à l'ISO 10381-1 et leur appliquer un prétraitement conformément à l'ISO 14507.

Les échantillons doivent être placés dans des flacons en verre munis d'un bouchon en PTFE. Il est recommandé de remplir les flacons à ras bord.

Conserver les échantillons en laboratoire, à l'abri de la lumière, à  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  ou à  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Les chlorophénols peuvent se dégrader par voie microbologique dans certaines conditions. Il est recommandé de congeler les échantillons s'ils doivent être conservés plus de deux jours.



## 8 Mode opératoire

### 8.1 Prise d'essai

Prélever une quantité minimale de 10 g de sol brut humide, pesée à 0,01 g près, directement dans le flacon à l'aide d'une cuillère ou d'une spatule, après homogénéisation du sol.

### 8.2 Teneur en matières sèches

Déterminer la teneur du sol en matières sèches sur un sous-échantillon du même flacon conformément à l'ISO 11465.

### 8.3 Échantillon à blanc

Traiter les échantillons à blanc exactement de la même façon que des échantillons normaux, mais remplacer la prise d'essai (8.1) par 10 g de matrice représentative de l'échantillon, sans chlorophénol.

### 8.4 Échantillon étalon

Traiter les échantillons étalons exactement de la même façon que des échantillons normaux, mais remplacer la prise d'essai (8.1) par 50 µl de solution de travail étalon (5.17.2) et 10 g de matrice représentative de l'échantillon sans chlorophénol.

### 8.5 Extraction

**AVERTISSEMENT — Chaque étape de procédure d'extraction doit être conduite avec grande précaution et sous une hotte aspirante. Tous les déchets de solvants doivent être collectés et traités comme des déchets dangereux.**

Prélever une prise d'essai (ou bien un échantillon à blanc ou un échantillon étalon) et la placer dans une fiole conique. Ajouter 50 µl de solution étalon interne de travail (5.16.2), 75 ml d'acétone-hexane (5.18) et 0,5 ml d'acide chlorhydrique (5.5).

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/cfa58d05-4c5d-43be-abf1-51746ead5059/iso-14154-2005>

En cas de fortes concentrations, il convient d'ajouter une plus grande quantité d'étalon interne.

Procéder à une sonication de l'échantillon pendant 2 min toutes les 10 min durant 1 h. Laisser reposer l'échantillon et transvaser la solution quantitativement dans une ampoule à décanter, puis procéder à l'extraction deux fois avec 40 ml de solution d'hydroxyde de sodium (5.12).

Certains types de sols sont acides, ou ils contiennent des carbonates ou ils ont un fort pouvoir tampon. Dans ces cas, la quantité d'acide ou de base ajoutée est insuffisante pour atteindre des pH suffisamment bas ou hauts, respectivement. Dans le doute, lorsque les chlorophénols doivent être analysés dans de tels types de sols, vérifier que la valeur du pH est inférieure à 3 à l'étape d'extraction et supérieure à 12 après ajout de la solution d'hydroxyde de sodium.

Recueillir l'extrait d'hydroxyde de sodium dans une deuxième ampoule à décanter. Acidifier les extraits d'hydroxyde de sodium combinés avec de l'acide chlorhydrique (5.5) pour obtenir un pH inférieur à 3 et procéder à l'extraction deux fois avec 50 ml d'hexane (5.3). Recueillir l'extrait d'hexane dans une troisième ampoule à décanter. Enfin, procéder à l'extraction de la solution d'hexane deux fois avec 35 ml de solution de carbonate de potassium (5.14) et recueillir les solutions de carbonate de potassium dans une quatrième ampoule à décanter.

## 8.6 Acétylation

### 8.6.1 Acétylation des échantillons

Procéder à l'acétylation des chlorophénols contenus dans la solution de carbonate de potassium combinée (8.5) comme suit: ajouter 1 ml d'anhydride acétique (5.8) à l'extrait et agiter vigoureusement le mélange pendant 2 min pour permettre le dégagement du dioxyde de carbone formé dans l'ampoule à décanter. Laisser reposer le mélange pendant 10 min en agitant de temps en temps, puis ajouter 5 ml d'hexane (5.3). Agiter l'ampoule à décanter et laisser les deux phases se séparer. Transvaser le plus possible de la phase d'hexane dans un tube contenant 2 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (5.9) pour séchage. Après avoir agité, transvaser la solution d'hexane dans un autre flacon contenant du  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  et conserver à 4 °C. Procéder le plus tôt possible (sous 48 h) à l'analyse des chlorophénols car les acétates sont hydrolysables.

### 8.6.2 Acétylation des échantillons témoins

Prélever 50 µl de solution étalon de travail et transférer cette prise d'essai dans une ampoule à décanter contenant 100 ml d'eau (5.1). Ajouter 2 ml de la solution de carbonate de potassium (5.15) et agiter. Ajouter 1 ml d'anhydride acétique (5.8) dans l'ampoule à décanter et agiter vigoureusement le mélange pendant 2 min pour permettre le dégagement du dioxyde de carbone éventuellement formé. Laisser reposer le mélange pendant 10 min en agitant de temps en temps, puis ajouter 5 ml d'hexane (5.3). Agiter l'ampoule à décanter et laisser les deux phases se séparer. Transvaser le plus possible de la phase d'hexane dans un tube contenant 2 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (5.9) pour séchage. Après avoir agité, transvaser la solution d'hexane dans un autre flacon contenant du sulfate de sodium et conserver à 4 °C. Procéder dès que possible (sous 48 h) à l'analyse des échantillons témoins.

## 8.7 Analyse par chromatographie en phase gazeuse

Préparer le chromatographe en phase gazeuse équipé des colonnes appropriées (6.3) conformément aux instructions du fabricant. Optimiser les débits de gaz pour obtenir une séparation satisfaisante. S'assurer de sa stabilité. L'Annexe B fournit un exemple des conditions d'utilisation et des programmes de températures de la chromatographie en phase gazeuse.

## 8.8 Étalonnage

Utiliser les extraits acétylés des échantillons étalons (8.4) comme solutions d'étalonnage. Il convient de préparer ces solutions d'étalonnage conformément à 8.4 en ajoutant différents volumes de solution de travail (5.17.2). Pour chaque composé, établir une fonction d'étalonnage séparée comportant au moins cinq points de mesure. Il est possible d'étalonner plusieurs composés dans la même opération. Il est indispensable de connaître les temps de rétention de chaque composé. Les temps de rétention peuvent être déterminés en injectant séparément des solutions étalons de chaque composé isolé et en les analysant dans des conditions analytiques définies.

La fonction d'étalonnage obtenue pour un composé particulier s'applique uniquement dans la gamme de concentration établie, associée avec la méthode utilisée pour la préparation de l'échantillon. La fonction d'étalonnage dépend des conditions de fonctionnement de l'ensemble du système analytique.

L'étalonnage doit être basé sur la hauteur ou sur la surface du pic et sur la réponse de l'étalon interne.

En général, il est recommandé d'utiliser la hauteur des pics plutôt que leur surface.

Déterminer la fonction d'étalonnage par régression à l'aide du rapport  $y_{ie}/y_{se}$  en fonction du rapport  $\rho_{ie}/\rho_{se}$ , selon l'Équation (1):

$$\frac{y_{ie}}{y_{se}} = a_{is} \cdot \frac{\rho_{ie}}{\rho_{se}} + b_{is} \quad (1)$$