
**Cosmétiques — Approche analytique
des méthodes pour l'évaluation et la
quantification des métaux lourds dans
les cosmétiques**

*Cosmetics — Analytical approach for screening and quantification
methods for heavy metals in cosmetics*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 17276:2014

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b3836446-2151-48ef-bb76-824177187363/iso-tr-17276-2014>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 17276:2014
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b3836446-2151-48ef-bb76-824177187363/iso-tr-17276-2014>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2014

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au 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
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Principes	1
2.1 Planification.....	1
2.2 Sélection d'une substance d'essai.....	2
2.3 Préparation des échantillons.....	2
2.4 Essais et méthodes de détection.....	3
Annexe A (informative) Réaction colorimétrique [3][8].....	7
Annexe B (informative) Fluorescence X	11
Annexe C (informative) Quantification des éléments présents dans les échantillons	12
Bibliographie	18

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/TR 17276:2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b3836446-2151-48ef-bb76-824177187363/iso-tr-17276-2014)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b3836446-2151-48ef-bb76-824177187363/iso-tr-17276-2014>

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 procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/CEI, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

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. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: Avant-propos — Informations supplémentaires.

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 217, *Cosmétiques*, GT 3, *Méthodes analytiques*.

Introduction

Les métaux lourds sont naturellement présents dans l'environnement. Certains métaux lourds sont utilisés dans de nombreux secteurs industriels, et d'autres, présents en très faibles quantités, sont des minéraux essentiels à la vie. Par ailleurs, les métaux lourds représentent souvent un problème en raison de leur toxicité. Même pour les minéraux essentiels, ils peuvent représenter un problème lorsque des quantités excessives sont ingérées, ou plus généralement, lorsque l'exposition humaine est trop élevée, quelle que soit la voie d'exposition.

Les métaux lourds sont partout dans la nature (notamment dans les rochers, le sol, l'eau). ces métaux lourds peuvent ainsi être présents sous forme d'impuretés dans les matières premières et peuvent également se retrouver à l'état de traces dans les produits finis, sans toutefois avoir été ajoutés intentionnellement aux cosmétiques.^{[1][2]}

Le terme «métaux lourds» est couramment utilisé sans définition unique. Les métaux lourds les plus connus sont, entre autres: le plomb, le mercure, le cadmium, l'arsenic et l'antimoine.

Même s'il est admis que les traces de métaux lourds dans les produits cosmétiques sont inévitables en raison de l'omniprésence de ces éléments, les entreprises ont mis en place de nombreuses mesures pour surveiller et contrôler la quantité susceptible d'être présente.

Le présent Rapport technique présente les méthodes et outils analytiques les plus courants et les plus classiques pour la détection des métaux lourds dans les matières premières et les produits finis cosmétiques.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/TR 17276:2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b3836446-2151-48ef-bb76-824177187363/iso-tr-17276-2014)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b3836446-2151-48ef-bb76-824177187363/iso-tr-17276-2014>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 17276:2014

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b3836446-2151-48ef-bb76-824177187363/iso-tr-17276-2014>

Cosmétiques — Approche analytique des méthodes pour l'évaluation et la quantification des métaux lourds dans les cosmétiques

1 Domaine d'application

Le présent Rapport technique présente les approches analytiques les plus courantes et les plus classiques pour détecter et quantifier les métaux lourds d'intérêt général à la fois dans les matières premières et les produits finis. Il traite des techniques allant de la réaction colorimétrique classique, qui peut être réalisée sans utiliser d'appareils coûteux, à la méthode de pointe, comme la spectrométrie par torche à plasma couplée à la spectrométrie de masse (ICP-MS), qui permet de détecter des éléments au niveau du µg/kg. Ainsi, le présent Rapport technique décrit les avantages et les inconvénients de chaque technique analytique de façon à choisir une approche appropriée.

L'objectif du présent Rapport technique n'est pas de définir ou de suggérer les limites de concentrations acceptables de métaux lourds dans les matières premières et les produits finis qui sont à déterminer par chaque autorité réglementaire.

NOTE 1 Le terme «métaux lourds» est couramment utilisé sans définition unique.

NOTE 2 Les éléments peuvent être définis comme étant des métaux lourds par une législation mais pas par d'autres.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

2 Principes

ISO/TR 17276:2014

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b3836446-2151-48ef-bb76-824177187363/iso-tr-17276-2014>

2.1 Planification

Tout d'abord, l'approche comprend deux étapes: la détection et la quantification de la teneur totale en métaux lourds. L'analyse des métaux lourds requiert non seulement des connaissances techniques et de l'expérience, mais elle nécessite également des installations coûteuses et des conditions rigoureuses de préparation des échantillons, notamment lors de la quantification de la teneur en métaux lourds. L'approche de détection peut contribuer à identifier s'il convient de déterminer les teneurs en métaux lourds en utilisant des méthodes plus quantitatives.

L'approche consistant à analyser les métaux lourds dans les produits cosmétiques et les matières premières comprend une méthode de préparation des échantillons et une méthode de détection. Il convient de déterminer les conditions des essais analytiques en combinant de manière adéquate la méthode de préparation et la méthode de détection avec des données de validation acceptables.

Méthodes de préparation des échantillons:

- lixiviation;
- minéralisation.

Essais et méthodes de détection:

- réaction colorimétrique;^{[3][4][5][6][7][8]}
- fluorescence X (XRF);
- spectrométrie d'absorption atomique (AAS);

- spectroscopie par torche à plasma couplée à la spectrométrie d'émission optique (ICP-OES), également connue sous le nom de spectroscopie par torche à plasma couplée à la spectroscopie d'émission atomique (ICP-AES);
- spectroscopie par torche à plasma couplée à la spectrométrie de masse (ICP-MS).

En principe, ces approches ne détectent aucune différence entre les composés organiques et inorganiques d'un élément. Par exemple, elles ne détectent pas de différences entre le mercure métallique et le composé du phénylmercure. Elles ne détectent pas non plus de différences en fonction des valences, par exemple entre le chrome (III) et le chrome (IV). En cas d'intérêt spécifique pour l'un d'entre eux, il convient de choisir des approches adéquates, par exemple l'ICP-MS couplée à la chromatographie.

Les approches courantes de détection et de quantification (sur matières premières et produits finis) sont présentées aux [Annexes A, B et C](#). D'autres approches que celles données dans les annexes peuvent être efficaces.

2.2 Sélection d'une substance d'essai

La détection et la quantification des métaux lourds peuvent être effectuées sur les matières premières et les produits finis.

Les métaux lourds étant présents dans la nature, certaines matières premières, telles que les matières inorganiques, peuvent naturellement contenir des métaux lourds. Connaître l'origine et les caractéristiques des matières premières permet de contrôler efficacement les teneurs en métaux lourds dans les produits finis. La surveillance au niveau des matières premières peut éviter l'utilisation de matières premières contaminées par des métaux lourds et permet de contrôler efficacement les teneurs en métaux lourds dans les produits finis.

ITEH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

2.3 Préparation des échantillons

ISO/TR 17276:2014

2.3.1 Généralités

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b3836446-2151-48ef-bb76-824177187363/iso-tr-17276-2014>

Dans de nombreuses techniques analytiques élémentaires, les échantillons sont convertis en liquides. La préparation des échantillons dépend de la nature de la matrice cosmétique. Les techniques de préparation des échantillons sont en principe classées en deux catégories: méthode de lixiviation et méthode de minéralisation.

2.3.2 Méthode de lixiviation

La méthode de lixiviation est une méthode de préparation servant à déterminer la quantité de métaux lourds extraite d'un échantillon dans des conditions acides. La méthode de lixiviation consiste à reproduire les conditions d'un liquide gastro-intestinal ou d'une sudation de façon à libérer les métaux lourds susceptibles d'être présents dans les produits. Ceci permet d'estimer la quantité de métaux lourds à laquelle les utilisateurs peuvent être exposés.

2.3.3 Méthode de minéralisation

La méthode de minéralisation est une méthode de préparation visant à déterminer la quantité totale de métaux lourds présents dans un échantillon. Lorsque la méthode de minéralisation complète est utilisée, elle révèle avec fiabilité le pire scénario d'exposition. De plus, la minéralisation complète de la matrice réduit les interférences lors de la détection, notamment l'ICP-MS.

Les échantillons sont parfois simplement chauffés jusqu'à l'obtention de cendres (calcination) pour éliminer la matière organique. La calcination peut être effectuée en utilisant du nitrate de magnésium comme adjuvant de calcination.^{[9][10]} D'autres adjuvants de calcination peuvent être utilisés, par exemple du sulfate de magnésium avec de l'acide sulfurique.^[8] La matrice cosmétique étant complexe, la matière insoluble reste souvent présente après la calcination et une nouvelle minéralisation est fréquemment réalisée.

Les échantillons sont minéralisés en les chauffant, généralement avec un seul acide, parfois avec plusieurs acides (minéralisation par voie humide), rarement avec des alcalis (fusion), dans des récipients ouverts ou fermés, et sont complètement ou presque complètement dissous. Il est souvent nécessaire d'appliquer des conditions rigoureuses et d'être vigilant en ce qui concerne la possibilité de volatilisation de certains métaux (notamment le cadmium, l'arsenic ou le mercure) pour obtenir un taux de récupération acceptable.[8][11]

Les dernières tendances sont à la minéralisation en récipient fermé avec assistance par micro-ondes, qui peut réduire les pertes d'éléments volatils et également améliorer l'efficacité de l'analyse de routine. Le choix des acides est un facteur important pour la minéralisation complète des échantillons. Pour les produits cosmétiques, l'utilisation d'acide fluorhydrique (HF) peut être considérée comme très efficace dans la minéralisation des composés de silice. Le traitement à l'acide fluorhydrique nécessite un post-traitement à l'acide borique pour masquer le HF restant. L'acide nitrique, l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique et d'autres acides sont également choisis pour minéraliser les échantillons. Chaque acide, y compris le HF, a ses propres avantages. Les acides sont donc souvent utilisés de manière combinée pour effectuer une minéralisation complète. Il existe de nombreuses publications concernant l'analyse des métaux lourds, notamment les évaluations des méthodes de minéralisation des échantillons. Une méthode de minéralisation a récemment fait l'objet d'une publication accompagnée des résultats pour le plomb, le cadmium et le mercure sur différents produits finis contenant des matières inorganiques. Cette méthode décrit un processus de minéralisation utilisant de l'acide nitrique avec de l'acide chlorhydrique dans un récipient fermé sous haute pression à une chaleur d'environ 200 °C. La méthode spécifie les conditions détaillées pour obtenir des résultats reproductibles.[12] L'étude réalisée par une autorité donne une comparaison des résultats analytiques obtenus avec l'acide nitrique et ceux obtenus avec l'acide nitrique et le HF. La minéralisation avec l'acide nitrique a permis d'obtenir de moins bons résultats qu'avec l'acide nitrique et le HF sur des produits cosmétiques identiques.[13] Toutefois, si cela est possible, il est recommandé d'éviter l'utilisation d'acide fluorhydrique pour des raisons de sécurité et d'hygiène, lors de la minéralisation.

2.4 Essais et méthodes de détection

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b3836446-2151-48ef-bb76-824177187363/iso-tr-17276-2014>

2.4.1 Réaction colorimétrique

Cette technique a été décrite en tant qu'essai de détection de métaux lourds, principalement pour les matières premières, qui forment du sulfure insoluble de couleur jaune à marron foncé lorsque le pH se situe entre 3,0 et 3,5. Les éléments qui peuvent être détectés à l'aide de cette technique sont, par exemple, le plomb, le bismuth, le cuivre, le cadmium, l'antimoine, l'étain et le mercure.[8] En raison de sa dispersion colloïdale, le sulfure insoluble produit lors de la réaction présente une couleur sombre dans les solutions diluées. En tant que source d'ion sulfure, le sulfure de sodium ou le thioacétamide est normalement utilisé. L'intensité de la couleur augmente proportionnellement à la concentration en métaux lourds. La quantité de métaux lourds est exprimée en termes de concentration en plomb, comparée à une solution de référence à base de plomb. L'avantage de cette technique est qu'elle peut être appliquée sans utiliser d'appareils coûteux. L'essai colorimétrique est uniquement applicable pour les solutions d'échantillons non colorées et exemptes de matière insoluble. Il convient de déterminer le taux de récupération de manière précise et appropriée, notamment si la calcination est utilisée pour obtenir ces solutions. Cette technique ne permet pas de détecter le sélénium et le chrome. De plus, le zinc produit un précipité blanc qui peut provoquer des interférences. Pour cette raison, il est important de confirmer la fiabilité de l'essai en réalisant une validation appropriée.

Si une différence de tonalité chromatique de la couleur développée est observée entre la solution d'échantillons et la solution étalon, il convient d'envisager d'autres techniques.

NOTE Des applications d'essais colorimétriques sont présentes dans plusieurs compendiums des produits cosmétiques et pharmaceutiques[3][4][5][6][7][8] tels que les normes japonaises sur les quasi-médicaments (JSQI) [3] et la Pharmacopée européenne.[4] De plus, les normes japonaises sur les ingrédients cosmétiques[5] et le Codex japonais des ingrédients cosmétiques[6] peuvent toujours être consultés pour les applications pratiques, notamment la description en anglais, même s'ils ne constituent plus des compendiums actifs du fait de leur consolidation selon les JSQI.

2.4.2 Fluorescence X

2.4.2.1 Généralités

Lorsqu'un échantillon est irradié avec des rayons X ayant une énergie supérieure à un certain niveau, les électrons de cœur dans les atomes sont excités et éjectés, puis des lacunes électroniques sont créées. Les électrons périphériques viennent ensuite combler les lacunes créées et l'excédent d'énergie qui correspond à la différence de niveau d'énergie est libéré sous forme d'ondes électromagnétiques dans le domaine des rayons X appelé «fluorescence X»^[14]. Étant donné que la différence de niveau d'énergie est propre à chaque élément, la fluorescence X émise est également appelée «rayonnement X caractéristique». L'identification de l'élément peut être réalisée en utilisant ces spectres de rayons X et la concentration élémentaire dans l'échantillon peut être estimée d'après l'intensité des rayons X. L'avantage de cette technique est qu'elle permet une analyse non destructive. Plusieurs formes d'échantillons, notamment solides, liquides ou en poudre, sont applicables pour le mesurage. Les mesurages sont effectués facilement et rapidement sans préparation d'échantillons complexe. Des éléments de complexité peuvent apparaître en cas d'analyse quantitative ou semi-quantitative car cette technique dépend de la matrice, une correction ou une validation appropriée s'avérant alors nécessaire. Pour certains éléments, une sensibilité suffisante ne peut pas être obtenue, en particulier avec un équipement portatif.

2.4.2.2 Types d'équipement

L'équipement peut être classé en deux catégories selon les principes de détection: l'un est à dispersion d'énergie et l'autre à dispersion de longueur d'onde. Chaque type ayant ses propres caractéristiques, il convient donc d'examiner leurs avantages et inconvénients de façon à choisir le plus adapté.

2.4.2.2.1 Équipement à dispersion d'énergie

Il possède les caractéristiques d'un détecteur à semi-conducteur. Le détecteur ayant sa propre résolution en énergie, la configuration de l'équipement peut être simplifiée par rapport à l'équipement à dispersion de longueur d'onde. Pour cette raison, cet équipement est plus petit que celui à dispersion de longueur d'onde. Les inconvénients sont une moins bonne sensibilité et, en général, une résolution plus faible que celle de l'équipement à dispersion de longueur d'onde. Les éléments détectables vont généralement du sodium à l'uranium, et la sensibilité a tendance à être moins élevée pour les éléments plus légers.

2.4.2.2.2 Équipement à dispersion de longueur d'onde

Les avantages sont une sensibilité de détection élevée et une haute résolution en énergie. L'inconvénient tient aux grandes dimensions de l'équipement. Les éléments à détecter vont généralement du béryllium à l'uranium. La fluorescence X générée par l'échantillon traverse une fente pour produire un flux lumineux parallèle. Après incidence d'un cristal analyseur elle est diffractée de manière à ce qu'une longueur d'onde spécifique soit captée par le détecteur.

Il existe plusieurs types de cristaux analyseurs. Un cristal ayant des intervalles appropriés entre les surfaces cristallines doit être choisi en fonction du domaine de longueur d'onde à analyser. En ce qui concerne un détecteur de rayons X, un tube compteur proportionnel est généralement utilisé pour les éléments légers (du béryllium au scandium) et un compteur à scintillation est généralement utilisé pour détecter une fluorescence X de courte longueur d'onde d'environ 0,2 nm à 0,3 nm ou moins (du titane à l'uranium).

2.4.3 Spectrométrie d'absorption atomique (AAS)^[15]

2.4.3.1 Généralités

Les électrons des atomes présents dans la source d'atomisation peuvent passer à un état excité en quelques nanosecondes en absorbant une quantité définie d'énergie de rayonnement d'une longueur d'onde donnée. Cette quantité d'énergie est propre à chaque transition électronique pour chaque élément. En général, chaque longueur d'onde correspond à un seul élément. Le signal sans échantillon

et avec échantillon dans la source d'atomisation est mesuré à l'aide d'un détecteur, et le rapport entre les deux valeurs (l'absorbance) est converti en concentration d'analyte d'après la loi de Beer-Lambert.

Cette technique nécessite des étalons ayant une teneur en analyte connue pour établir la relation entre l'absorbance mesurée et la concentration d'analyte. Elle repose donc sur la loi de Beer-Lambert.

L'AAS se compose d'une source de rayonnement, d'une chambre d'atomisation, d'un monochromateur, d'un détecteur et d'un dispositif indicateur. Pour analyser les constituants atomiques d'un échantillon, il doit être atomisé. Les atomiseurs les plus utilisés de nos jours sont les atomiseurs de flamme et à tube de graphite.

L'AAS est une technique très courante qui présente une bonne sensibilité et une bonne spécificité. Des interférences peuvent apparaître pour certains éléments en présence d'acide nitrique avec de grandes quantités de fer, d'aluminium et de silicium. Les principaux inconvénients sont la nécessité d'une dissolution complète des échantillons pour une application mono-élément (hormis l'application spéciale de l'AAS à four graphite avec introduction d'échantillon solide) et son coût relativement élevé.

2.4.3.2 AAS à flamme

Lors de l'AAS à flamme, la solution d'échantillon est introduite dans une flamme d'acétylène et un gaz oxydant tel que l'air ou l'oxyde nitrique, et les éléments peuvent être atomisés. L'AAS à flamme possède une haute sensibilité de détection des métaux alcalins et des métaux alcalino-terreux.

2.4.3.3 AAS à génération d'hydrure (HG-AAS)

Cette technique est efficace pour les éléments qui sont réduits en hydrures volatils par du tétrahydroborate de sodium (NaBH_4). Par conséquent, les éléments concernés sont limités, par exemple l'arsenic, le bismuth, l'antimoine et le sélénium. Les hydrures volatils sont séparés des matrices en les introduisant dans une chambre d'atomisation. La HG-AAS présente donc une haute sensibilité pour ces éléments.

[ISO/TR 17276:2014](https://standards.iso.org/standards/catalog/standards/sist/b3836446-2151-48ef-bb76-824177187363/iso-tr-17276-2014)

2.4.3.4 AAS à four graphite (GF-AAS)

<https://standards.iso.org/standards/catalog/standards/sist/b3836446-2151-48ef-bb76-824177187363/iso-tr-17276-2014>

Lors d'une GF-AAS, un échantillon liquide ou solide est introduit dans le tube de graphite où il est séché par chauffage électrique, et les résidus sont calcinés. Pour obtenir une répétabilité, une exactitude et une meilleure sensibilité, il est recommandé d'utiliser la plate-forme pour tube de graphite. Le modificateur de matrice est utilisé lorsque les éléments cibles sont hautement volatils, afin de réduire au maximum la perte des éléments pendant le chauffage. Lors d'une étape de chauffage ultérieure à très haute température, les éléments présents dans le résidu sont atomisés. Pendant cette phase, l'atténuation du rayonnement de la lampe par l'atomisation dans le volume étroit du tube de graphite peut être mesurée. La GF-AAS présente généralement une meilleure sensibilité que l'AAS par flamme pour de nombreux éléments, même si une correction de fond est requise en raison de l'utilisation d'une haute température. Une correction de fond souvent appliquée est la correction de fond Zeeman ou la correction de fond au deutérium.

2.4.3.5 AAS à vapeur froide (CV-AAS)

L'analyse du mercure requiert parfois des techniques spécifiques de préparation de l'échantillon en raison de son comportement physicochimique et nécessite une préparation spéciale de l'échantillon ou une technique dédiée. Étant donné que le mercure ne requiert pas de températures élevées pour être atomisé, la technique dite de la vapeur froide est souvent utilisée pour l'analyse et exploite cette propriété. Le mercure est atomisé soit par réduction à l'aide de réducteurs tels que le chlorure stanneux soit par chauffage. La méthode de chauffage est souvent suivie d'une amalgamation avec de l'or pour introduire de façon sélective du mercure dans une cellule afin d'obtenir une meilleure sensibilité. Les appareils dédiés à l'analyse du mercure et disponibles dans le commerce exploitent cette propriété. [10] [16] [17]