

Les argiles et la santé humaine :

D'hier à aujourd'hui

N. Liewig^(1,2*), M. Rautureau⁽³⁾ et C. Gomes⁽⁴⁾

1) Université de Strasbourg, IPHC, 23, rue Becquerel, 67087 Strasbourg - France

2) CNRS, UMR7178, 67037 Strasbourg - France

3) Université d'Orléans (retraité) - France

4) Université d'Aveiro - Portugal

* : Auteur correspondant : nicole.liewig@iphc.cnrs.fr

RÉSUMÉ

La géophagie est une pratique universelle, humaine et animale. Elle est à l'origine de nombreux questionnements dans le domaine des sciences humaines et sociales tout comme dans celui des sciences fondamentales. Les produits contenus dans les sols, facilement accessibles, ont été utilisés en priorité et de ce fait, la pédologie a apporté une contribution active et importante pour tenter d'expliquer la motivation d'une consommation alimentaire pour le moins surprenante.

Des avancées sont peu à peu réalisées, elles sont le résultat de coopérations pluridisciplinaires exemplaires. Un matériau géologique particulier a une place fondamentale dans la pratique de la géophagie. Il s'agit de l'argile, une composante commune des sols qui justifie l'implication de pédologues dans les études sur la géophagie. Cette discipline et l'importante contribution que Georges Pédro y a apportée ont permis d'aborder le sujet sur des bases minéralogiques solides. Les retombées de ces connaissances s'étendent à d'autres domaines et permettent par exemple des interprétations cohérentes de textes très anciens grecs, arabes, chinois ou mayas. L'importance du sujet traité ici touche directement l'impact socio-économique de la prise en charge médicale qui, à l'avenir, sera contrainte de prendre ces avancées en considération.

Mots clés

Médecine ou alimentation d'urgence, automédication, géophagie, nutrition, soins, thérapie, bien-être.

SUMMARY**CLAYS AND HUMAN HEALTH : From past to present**

Geophagy is a universal practice for humans and animals. It is the source of many questions in both humanities and scientific backgrounds. Products existing in soils, easily accessible, have been mainly used, reason why soil science has provided an active and important contribution in order to understand the motivation of such amazing food consumption.

Progress has been gradually achieved, as the result of interdisciplinary cooperative contributions. One geomaterial plays a fundamental role in the practice of geophagy. It is the clay, a common soil constituent that has justified the involvement of soil scientists in the studies on geophagy. Among them the important contribution of Georges Pedro favoured the shaping of this topic on mineralogical solid bases. The outcome of his contribution is reflected in other scientific domains, allowing, for instance, the consistent interpretation of ancient Greek, Arabic, Chinese or Mayan texts.

The importance of the subject herein dealt with directly affects the socio-economic impact in the medical field that, in the future, will be forced to take these developments into account.

Key-words

Medicine or emergency feeding, self-medication, geophagy, nutrition, care, therapy, wellness.

RESUMEN**ARCILLAS Y SALUD HUMANA: Ayer y hoy**

Geofagia es una práctica universal, humana y animal. Es la fuente de muchas preguntas en las humanidades o antecedentes científicos. Productos en los suelos, de fácil acceso, se utilizaron en prioridad y por lo tanto, la pedología ha participado activamente en tratar de entender las motivaciones de un consumo de alimentos por lo menos sorprendente.

El progreso se hizo poco a poco; se dio cuenta que es el resultado de copias de cooperación interdisciplinaria. Un material geológico particular ocupa un lugar muy importante en la práctica de la geofagia, se trata de la arcilla un componente común de los suelos que justificó la participación de científicos del suelo en estos estudios. Esta disciplina y entre ellos la importante contribución de Georges Pedro ayudaron a dar forma a este tema sobre sólidas bases mineralógicas. Este conocimiento se refleja en otras áreas y permite interpretaciones coherentes de los antiguos textos griegos, árabes, chinos o maya.

La importancia del tema toca directamente el impacto socio-económico en el campo de la medicina que será, en el futuro, obligada a tomar en cuenta esta evolución.

Palabras clave

Medicina o alimentación de emergencia, automedicación, geofagia, nutrición, cuidado, terapia, salud.

L'ARGILE ET LA SANTÉ, ENTRE EMPIRISME, TRADITION ET MODERNITÉ

Les argiles ont depuis toujours été utilisées dans le domaine de la santé. Nos connaissances sur l'origine de leur emploi remontent aux origines des civilisations. Aujourd'hui, l'expérience que les hommes ont acquise dans ce domaine s'est élargie en partie par l'observation étendue portée aux animaux.

La notion d'argile est relativement moderne. Dans les temps anciens, ce sont plutôt les mots assez mal définis, de terres et boues, qui étaient utilisés pour les usages liés à la santé. L'étude de l'argile a d'abord trouvé sa place dans le contexte scientifique plus large de l'étude des minéraux et, à ce titre, a été traitée de façon plus générale avec de nombreux autres minéraux (Carretero et Pozzo, 2007 ; Gomes et Silva, 2006).

Nos connaissances modernes font parfois oublier le long cheminement empirique qu'il a été nécessaire de parcourir pour parvenir à comprendre et exploiter les propriétés de ces matériaux singuliers. Mais les guérisseurs et les savants médecins des temps anciens nous ont transmis des écrits qui sont aujourd'hui analysés et confrontés avec les connaissances cliniques et les moyens analytiques modernes. Ces documents permettent en outre le repérage des gisements dédiés à l'extraction d'argile. Petit à petit, ces deux voies de connaissance de l'argile se rejoignent et convergent. L'argile qui a été un moyen ancestral d'aide à la guérison redevient un important agent, d'origine naturelle, de l'arsenal médical moderne (Rautureau *et al.*, 2010 ; Allègre, 2012).

Des équipes de chercheurs historiens travaillent actuellement sur de très anciens documents écrits qui nous sont parvenus de la plupart des grandes civilisations. Ainsi les écrivains grecs, arabes ou chinois ont relaté les expériences des médecins depuis la proche Antiquité jusqu'à nos jours. Ce ne sont pas les seuls car d'autres spécialistes lettrés se penchent sur les informations apportés par les hiéroglyphes égyptiens et même par les étonnantes écritures mayas. C'est désormais la réunion de plusieurs spécialités qui conforte un domaine resté longtemps marginal à cause de son caractère empirique.

Nous avons récemment apporté une contribution à cet édifice sous forme d'une description des propriétés des argiles mises en œuvre dans des usages médicaux et paramédicaux connus, avec en particulier, un chapitre entier dédié à cet aspect historique de l'usage de l'argile par les médecins grecs et arabes (Katouzian, *in* Rautureau *et al.*, 2010). L'argile décrite dans le chapitre historique de cette étude n'a pas les mêmes précision ni signification qu'aujourd'hui. Elle est presque synonyme de « terre » dont on retient l'origine géographique, la description d'aspect, son usage spécifique ou encore le respect d'une réglementation. Un élément typique de ce chapitre, en liaison avec la géophagie est celui de l'art culinaire associé à l'argile et à ses implications thérapeutiques.

L'argile, matériau familier universellement utilisé, est restée scientifiquement très mal connue jusqu'à une époque récente, tout simplement parce qu'elle est formée de particules de très petites dimensions. Lors des premières études scientifiques, cette matière minérale s'est avérée être « formée de particules élémentaires dont les dimensions, en règle générale, sont inférieures à deux micromètres ». Ce critère dimensionnel reste de nos jours une valeur admise et souvent citée bien qu'elle ne soit pas exclusive de la présence d'autres minéraux ayant des dimensions semblables. Contrairement aux minéraux courants, l'argile a très rarement une forme caractéristique visible à l'œil nu, ni même un état solide permanent. Mais malgré des particularités *a priori* peu favorables à son emploi, l'argile se reconnaît aisément et son utilisation s'est généralisée alors même que les propriétés de nombreux autres minéraux, pourtant plus faciles à manipuler, n'ont été reconnues que plus tardivement. Sur ce sujet, deux livres récents présentent une excellente synthèse de l'utilisation médicale des minéraux en général et de l'argile en particulier (Gomes et Silva, 2006 ; Carretero et Pozo, 2007).

La présence d'argile dans les zones géologiques sédimentaires confère à cette matière un statut particulier par rapport à l'eau : elle est composée par des minéraux qui sont des phyllosilicates hydratés, c'est-à-dire des minéraux souvent issus de l'action dégradante de l'eau sur les roches silicatées des couches terrestres superficielles. De ce fait, il existe dans la nature différentes espèces de « minéraux argileux », très souvent présents sous forme d'un mélange (avec d'autres minéraux éventuellement) pour constituer l'argile au sens large. Nous utilisons donc, dans la suite de cet ouvrage, soit le *singulier* pour désigner indistinctement les minéraux argileux dans leur ensemble, soit le *pluriel* pour permettre, éventuellement, un choix plus précis dans la détermination d'une famille ou d'une espèce particulière. Les noms de ces espèces d'argiles qui se déclinent en variétés répondent à des règles complexes (Pédro, 1965 ; Caillère *et al.*, 1963 et 1982 ; Guggenheim *et al.*, 2006).

Avec le temps, les connaissances traditionnelles ont pu être progressivement revisitées et actualisées. Ainsi la minéralogie, la chimie, la cristallographie, la pédologie et la pharmacologie entrent aujourd'hui dans une démarche intégrée visant à une compréhension scientifique moderne de ces usages. Dans cette approche, l'apport spécialisé des pédologues et agronomes (Pédro, 1965) a été tout-à-fait déterminant et a servi de base pour ouvrir la voie des explorations futures. L'homme a toujours su trouver dans le sol de nombreux moyens d'existence, pour se nourrir d'abord, s'abriter ensuite mais aussi pour se soigner. Toutefois, la composition des sols est généralement très complexe alors que les argiles destinées aux besoins alimentaires ou médicaux doivent être des matériaux relativement purs qui ne se trouvent pas nécessairement tels quels dans tous les sols. De nombreux cas de géophagie portent sur des sols (acides, sableux, argileux). Des emplois similaires sont développés dans les instituts thermaux par la reconstitution de mélanges tels que les

péloïdes, utilisés actuellement surtout par voie dermatologique mais également parfois en ingestion.

N.B. : Les mots « argile(s), sol(s), terre(s), matériau(x), produit(s) » sont plusieurs termes proches employés au cours de notre présentation. La multiplicité de ces termes tient à la complexité du sujet et à l'évolution des connaissances. Ainsi, un géologue utilisera la notion d'argile (au singulier) pour désigner un matériau grâce à ses propriétés générales : l'argile en se mélangeant à l'eau acquiert des propriétés variables qui vont d'une masse solide et dure à une suspension liquide en passant par l'état bien connu de boue. Ces états peuvent être décrits par des propriétés physico-chimiques très complexes, mais en tout premier lieu c'est la perception que nous en avons qui importe. Par ailleurs, les minéralogistes aidés par des appareils puissants (Rayons X et microscopes) ont mis en évidence que cette masse dite argileuse est en réalité composée de petites particules dont la nature minéralogique peut se décrire et conduit à établir l'existence de familles minéralogiques et d'espèces. Dans ce cas nous utilisons le terme « argiles » au pluriel ou, si la nature de l'espèce est connue, directement le nom de l'espèce (par exemple kaolinite qui est l'espèce du minéral argileux contenu dans la roche kaolin).

Pour le sol, la situation est plus complexe à cause du mélange minéral / organique. Le pluriel se rapporte à la notion basique de sol mais le singulier à un sol particulier pour lequel des caractères de composition et de propriétés sont connus.

Le terme de terre recouvre des notions très diverses. Pour notre sujet, c'est surtout la relation avec notre support de vie sur lequel nous marchons, où nous posons ou construisons des objets et des maisons ou encore, qui permet aux plantes de pousser. Ce terme recouvre aussi une matière qui a été transformée tel un plat en terre. C'est donc dans un contexte très simple que nous employons ce terme qui est ainsi relié à la notion de géophagie telle qu'elle a été primitivement perçue.

Le terme de matériau est à prendre dans son sens basique ; ainsi une argile est un matériau qui devient un produit après épuration ou modification par associations de diverses natures.

Il n'y a pas de règle bien définie et le sens du sujet traité confirme l'utilisation de tel ou tel terme ; cette confusion ou liberté d'expression reflète bien les difficultés rencontrées pour traiter le sujet de la géophagie en général et sous ses différents aspects. Notre propos n'est pas de cibler une recherche aboutie et concrète mais plutôt d'aborder la position actuelle et parfois encore très confuse du sujet.

ARGILES, MINÉRAUX ARGILEUX ET SOLS : DES MATÉRIAUX COMPLEXES LIÉS À LA SANTÉ HUMAINE PAR DES PROPRIÉTÉS MULTIPLES, DES USAGES DIVERSIFIÉS ET DES EFFETS CONTRASTÉS

Des matériaux complexes

Les argiles, et le cortège de minéraux argileux associés, occupent une situation particulière tant du point de vue de leur origine et de leur répartition géologique (Milot, 1964) que de celui de leur constitution (Caillère *et al.*, 1982, Rautureau *et al.*, 2004). Au sens strict, ces propriétés minéralogiques n'ont été identifiées que très tardivement. Pour autant, leurs propriétés macroscopiques n'avaient pas échappé aux divers utilisateurs qui ont su les exploiter depuis longtemps pour des applications liées à la santé. Parallèlement aux nombreux usages humains auxquels ont recouru les sociétés primitives ou défavorisées, les animaux eux aussi savent utiliser les argiles car ils les trouvent en abondance dans les couches superficielles des sols et peuvent y accéder facilement. L'affinité des argiles pour l'eau a favorisé et rendu cette utilisation encore plus aisée et efficace.

Une longue pratique, reconnue depuis la préhistoire, permet aujourd'hui de suivre le cheminement des différentes utilisations et d'inventorier les propriétés qui les justifient (Abrahams, 2010 ; Limpitlaw, 2010 ; Young *et al.*, 2010). Nous pouvons ponctuer ce chemin par les présentations générales qui en ont été faites à l'initiative d'un laboratoire pharmaceutique (Beaufour, 1964) et plus récemment par un groupe de sociétés scientifiques (Villieras, 2009).

Des usages diversifiés parfois encore mal compris

Les groupes humains se sont développés en sociétés dont les pratiques ont suivi des évolutions souvent indépendantes, ne serait-ce que suite à un éloignement géographique. Ainsi les argiles se sont trouvées associées à des pratiques culturelles et culturelles très distinctes. Ces convergences et divergences des pratiques entre les différentes sociétés ont laissé des traces que les anthropologues et les historiens mettent actuellement nettement en évidence.

Les conditions de vie, voire de survie, peuvent être la cause d'emplois très particuliers de l'argile, tels que la **géophagie** par exemple, comme en témoignent de nombreuses observations rapportées par des médecins de terrain (Strobel, 2003). S'agissant de pratiques humaines, il n'est pas toujours aisé de trouver la limite entre les utilisations favorables ou nécessaires à la qualité de la vie, et celles qui peuvent dans certaines circonstances

apparaître comme malades et anormales, par exemple certains cas de **pica** (étymologie : « pie » (latin : *pica*), oiseau qui avale tout).

De nos jours, les approches et justifications scientifiques apportées sont à l'origine de nouvelles applications mais qui restent largement inspirées de ces pratiques ancestrales qui perdurent.

Des effets contrastés préventifs ou curatifs (voire toxiques) en termes d'impact sur la santé

Dans le domaine de la santé, les usages impliquant l'argile se distinguent par leur objectif : préventif ou curatif.

A titre préventif, c'est-à-dire pour préserver une bonne santé, on utilise l'argile dans des soins de confort ou de bien-être qui ont largement débouché sur une utilisation en cosmétologie ou sur des pratiques développées par les établissements balnéaires.

Par contre, l'usage curatif consiste à apporter un traitement pour soigner une pathologie clairement définie qui ressort du domaine de la médecine et nécessite préalablement de recourir aux conseils d'une personne avisée et expérimentée. La position sociale et le rôle de ces conseillers ont beaucoup évolué au cours des âges. Néanmoins, la tradition orale est très forte et elle perdure sans prise de conscience réelle des risques individuels. Les pratiques populaires de soins conduisent ainsi à mettre sur le marché tout-à-fait librement des produits à base d'argile dont il conviendrait de ne faire que des usages temporaires et contrôlés, ne serait-ce que sur la nature minérale argileuse employée. En effet, presque tous les phyllosilicates mélangés à l'eau forment une masse plastique dont l'apparence est peu caractéristique de leur nature. Cette confusion amène des consommations incontrôlées. Par exemple l'ingestion trop répétée de certaines smectites gonflantes ou de kaolinite non séparée des composants siliceux ou d'oxydes associés peut s'avérer très dangereux. De même, l'ingestion d'argiles en association avec d'autres matières (huiles de paraffine par exemple) peut être très dangereuse et conduire à des obstructions intestinales sévères. L'association d'argiles absorbantes (montmorillonite, illite) à la prise de médicaments conduit à neutraliser ceux-ci par fixation des molécules actives sur la surface des feuillettes.

Au sujet du contrôle de l'usage le plus approprié qu'il convient de pratiquer dans un cas donné, il est important de rappeler qu'il faut être très vigilant et ne pas sous-estimer un éventuel risque de toxicité lié à un emploi abusif de l'argile sur des périodes trop longues ou dans des situations inadéquates (par exemple en utilisant simultanément des médicaments). En effet, au-delà d'une pratique généralement saine et profitable, le défaut de connaissances peut aboutir à une dérive non souhaitable de l'automédication. Il devient en conséquence nécessaire aux spécialistes d'apporter à l'utilisateur un maximum

d'éléments de connaissance et d'information sur ces minéraux si largement répandus et disponibles au voisinage de la plupart des lieux de vie.

Une évolution des utilisations marquée par l'évolution des connaissances

S'agissant de soins, l'argile est toujours appliquée à l'extérieur des tissus et des organes que l'on traite. Qu'elle soit utilisée de manière interne (ingestion) ou externe (crème, cataplasme, boue), elle ne traverse pas pour autant les barrières du corps constituées par les muqueuses gastriques et intestinales et par la peau. Le traitement des muqueuses nasales est exclu. Tout accès interne à partir des voies respiratoire doit même être systématiquement proscrit et ne devrait résulter que d'inhalations accidentelles passives.

Les applications internes concernent ainsi essentiellement la gastroentérologie. Les argiles ingérées ne sont pas destinées à se propager à l'intérieur de l'organisme mais agissent depuis la lumière du tube digestif via la muqueuse gastrique ou intestinale. Les principales applications externes concernent la dermatologie et la rhumatologie. En général, l'application d'argile par l'intermédiaire de cataplasmes, de bains de boue ou de péloïdes a toujours des effets bénéfiques qui peuvent atteindre et s'étendre à des zones internes proches de celle traitées. Une application externe pour soulager l'inflammation des voies pulmonaires, en cas de tuberculose par exemple, peut ainsi s'avérer très bénéfique. Nous savons aujourd'hui que cet effet s'explique grâce aux propriétés d'échanges transcutanés d'ions ou de molécules. Les illites et les smectites sont employées dans ces cas.

Les propriétés recherchées et mises en avant dans l'utilisation des terres et des argiles retracent l'évolution des connaissances diffusées par le langage des anciens savants et des scientifiques modernes. Il suffit pour s'en convaincre de consulter les informations très approximatives, souvent fort confuses qui sont répandues dans les ouvrages de vulgarisation et même sur les documents publicitaires et les prescriptions associées aux produits commercialisés. Par exemple, les vertus miraculeuses attribuées à la radioactivité ou au magnétisme de boues argileuses sont des avantages souvent vantés au début du XX^e siècle dont on ne peut plus parler aujourd'hui. Ces propriétés bien réelles ne proviennent pas des argiles elles-mêmes et doivent tout simplement être rapportées à des minéraux uranifères associés (par exemple les uranides fréquemment présents aux côtés des argiles du fait de leur origine détritique). L'étude du langage associé aux utilisations populaires est donc très instructif car l'évolution de la signification des termes est parallèle à celle des sciences, et révélatrice du décalage temporel indiscutable nécessaire au transfert des connaissances. L'usage empirique retenait le plus souvent les effets physiques bénéfiques.

Nous pouvons citer aussi la *terra negra*, particulièrement fertile, aux propriétés longtemps mal expliquées mais au-

jourd'hui mieux connues des pédologues (Kern et Kämpf, 2008). Des terres de compositions voisines sont ingérées pour palier des difficultés gastro-intestinales particulièrement en Afrique ou à Madagascar. Leurs propriétés remarquables proviennent des actions simultanées d'argiles du sol (le plus souvent kaolinite ou smectites) ainsi que de chamotte¹ et de charbon de bois pulvérisé provenant pour partie du brûlage de végétaux sur le sol. Dans ce cas, ce sont les propriétés d'échange des argiles et les fortes surfaces spécifiques des différents ingrédients qui sont responsables des propriétés recherchées.

UN PRODUIT NATUREL, OMNIPRÉSENT ET ABORDABLE, UTILISABLE DANS DES CONTEXTES SOCIO-ÉCONOMIQUES VARIÉS

Argile, omniprésente dans la nature

Qu'elles soient issues de l'altération des massifs montagneux ou de processus pédogénétiques, l'origine naturelle des argiles leur confère deux attraits : les qualités supposées, recherchées et attribuées aux produits d'extraction naturelle, et la proximité et facilité d'accès des zones d'approvisionnement. Ces deux critères sont porteurs de nombreux espoirs même si évidemment il convient parfois de les moduler. Néanmoins, la prévision du développement croissant de l'utilisation sur une population de plus en plus nombreuse impose d'arriver à satisfaire des critères de commercialisation et de distribution en quantité et pureté qui sont très différents de ceux qui pouvaient être acceptés pour de petites populations locales ou disséminées sur de grandes distances.

Nous savons aujourd'hui que les argiles résultent essentiellement de l'altération des roches silicatées mais cette connaissance est récente. Au préalable, on se référait à l'argile quasi pure rencontrée dans des grands gisements (kaolinite, montmorillonite, bentonite), connue par sa propriété de plasticité et de changement d'état thixotropique. Ces propriétés ne pouvaient échapper à l'observation et étaient de plus observées de façon homogène pour différents gisements. Ces argiles ont pu être commercialisées en étant distribuées sur de grandes distances et être employées pour des usages spécifiques par des savants médecins pratiquant en différentes localités lors de leurs incessants déplacements. Cependant, pour les usages locaux coutumiers et journaliers, on utilisait rarement ces produits de luxe au prix élevé du fait de leur degré de pureté et de leur rareté.

¹ Chamotte - terme utilisé en céramique : argile chauffée puis broyée. Une élévation de température sur un sol argileux permet la cuisson de petites particules d'argile que l'on peut assimiler à de la chamotte.

Localement, ce sont des terres du voisinage qui étaient employées, dont les propriétés physicochimiques sont souvent bien éloignées de celles des véritables argiles, à cause des nombreuses impuretés qu'elles contiennent. Néanmoins, la présence d'argiles est quasi permanente dans ces terres.

Parmi les propriétés justifiant leur emploi pour la santé, comment différencier le rôle des argiles et celui des impuretés ? Nous commençons depuis peu à discerner les mécanismes d'action des différentes composantes et à leur attribuer progressivement des rôles individualisés. Ce qui est indiscutable, c'est l'universalité de l'emploi de ces terres utilisées à présent dans des établissements de cure et de thermalisme. Certains péloïdes et les cures de boues mettent ainsi en jeu un ensemble très complexe de composants où les argiles sont toujours présentes. Nous pouvons considérer que cet univers complexe est proche de celui de la pédologie où minéraux et bioéléments libérés ou libérables se côtoient en permanence. Un fait est certain : l'ingestion porte quasiment toujours sur des matériaux très finement divisés ou sur des poudres.

Argile, matériau facilement disponible utilisé dans des contextes socio-économiques variés

La relation entre l'argile et le contexte socio-économique est un problème toujours d'actualité et qui est une des clefs du succès de l'emploi de l'argile pour soigner.

L'argile est un matériau naturel très actif, efficace et peu coûteux face aux médicaments d'origine chimique. Les anciennes populations y ont trouvé une technique de soin très appréciable par son universalité et sa disponibilité. Facilement accessible même pour de très faibles revenus, à la fois médecine du pauvre et du riche, l'argile a conquis un statut incontournable mais peu adapté à notre civilisation moderne conditionnée par l'attrait financier et la mainmise de l'industrie alimentaire et pharmaceutique.

Par son coût réduit, elle se positionne très favorablement sur le plan commercial. Une interrogation se pose toutefois quant aux quantités disponibles et au suivi de la qualité des approvisionnements. Les techniques d'identification sont déjà bien au point, en particulier avec les méthodes développées par les physiciens et les pédologues. Il reste encore à faire des progrès pour mieux organiser l'extraction des produits et le suivi de leur qualité dans le processus de distribution.

Dans le domaine de la réglementation, il existe déjà des agréments qui portent sur les normes applicables à l'alimentation. Toutefois il faut continuer de faire évoluer la législation qui n'est pas encore en mesure d'assimiler toutes les normes nécessaires pour faire entrer sur le marché médical un produit naturel. Introduire l'argile dans un processus de soin médical est encore trop souvent jugée comme une tentative d'exercice illégal de la médecine. Sur ce point essentiel de qualité et de sécurité,

quelques états commencent à évoluer et à mettre en place une politique concrète. C'est le cas du Mexique où le District Fédéral de Mexico mène une action de développement pour promouvoir l'emploi des médecines naturelles, plantes et argiles. Le principe en a été inscrit dans la loi et les résultats sont très positifs.

Argile, produit incontournable en médecine humanitaire, d'urgence ou de situations extrêmes

Pour pouvoir intervenir efficacement dans des situations gravissimes de catastrophes naturelles ou humaines, un des aspects actuels les plus critiques est de mettre à la disposition des médecins ou des populations touchées des moyens d'intervention simples et locaux. Les besoins sont presque toujours les mêmes : assurer l'hygiène, pourvoir à l'alimentation et à l'approvisionnement en eau et donner des soins face aux risques épidémiques. Sur chacun de ces points, l'argile présente des avantages pour sa simplicité d'emploi. Cette opération nécessite des moyens de formation adaptés aux personnels concernés.

De nombreuses connaissances, simples d'application, sont déjà acquises. Par exemple, nous connaissons le pouvoir filtrant de l'argile et les résultats apportés par la filtration de l'eau à travers un sable argileux, méthode qui a permis d'éradiquer de grandes épidémies (telle que le choléra) dans les grandes villes à la fin du XIX^e siècle. Ces propriétés restent valables aujourd'hui dans les régions ne disposant pas d'accès à l'eau potable. La médecine de proximité et d'urgence s'adapte progressivement à ces méthodes (Charrié, 2007 ; Allègre, 2012).

Pour des opérations d'urgence sur le terrain et en l'absence de moyens de communication, l'argile permet de purifier l'eau et de combattre ainsi les infections de façon très significative, ce qui permet de la consommer et même d'utiliser cette eau purifiée dans le cadre de la préparation de certains actes chirurgicaux. Parallèlement, l'ingestion d'argile, souvent de l'illite, permet de vaincre rapidement des maladies telles que le choléra.

Le domaine alimentaire est particulièrement sensible lui aussi et chacun se remémore ces images d'enfants Haïtiens consommant des galettes de terre faute d'aliments normaux. Ces situations sont malheureusement trop fréquentes et l'argile dans ces cas permet de compléter des alimentations défaillantes. Nous reviendrons ci-dessous sur l'alimentation avec la coutume de la géophagie.

Enfin il faut aussi signaler ici les cas de situations médicales extrêmes où il est possible de recourir aux argiles avec succès face à des pathologies pour lesquelles les moyens médicaux et chirurgicaux classiques restent impuissants et aboutissent à des amputations. C'est le cas de certains ulcères profonds ou encore de pathologies dermatologiques complexes (Charrié, 2007). En Côte d'Ivoire, des résultats spectaculaires ont été obtenus sur des ulcères de Buruli grâce à l'emploi d'argile de type illite et montmorillonite (Amin *et al.*, 2008).

LA GÉOPHAGIE HUMAINE : PICA, PHARMACOPHAGIE OU NÉCESSITÉ VITALE, UN COMPORTEMENT MAL COMPRIS DONT LES JUSTIFICATIONS ÉVOLUENT

Un comportement ancien qui perdure

De tout temps l'homme a été tenté de consommer directement des terres, essentiellement argileuses. Les sites habités par Homo erectus et Homo sapiens en témoignent. Les argiles étaient utilisées également en thérapeutique. Dans la mythologie grecque, Héphaïstos (Vulcain), chassé de l'Olympe par son père Zeus, tomba sur l'île de Lemnos. Il se fractura un membre, et se soigna avec l'argile locale. Pour vérifier les propriétés thérapeutiques de ce minéral, le célèbre médecin et physiologiste grec, Galien (130-200 après J.C.), établi à Rome, effectua deux longs voyages vers Lemnos et se procura 5.000 médaillons de cette argile commercialisée dans le monde antique sous le nom « *terra sigillata* », la terre marquée d'un sceau. De nos jours on peut encore acheter des plaquettes d'argiles sur les marchés de nombreux pays, par exemple au Guatemala. En Amérique Centrale et du Sud, en Afrique noire et maghrébine, en Inde et dans plusieurs pays d'Asie, sur les marchés on peut acheter « les pierres que mangent les femmes enceintes » pour se procurer ainsi des argiles destinées à la consommation.

Jusqu'aux années 80, les scientifiques considéraient la géophagie comme un *pica*, une déviation alimentaire engendrée par une carence en éléments minéraux et plus particulièrement en fer. Dès lors, l'étude de la pharmacophagie humaine et animale a pris son essor, médecins et éthologues ont cherché à comprendre les raisons de cette pratique ; ils ont développé de concert de nouveaux concepts fondés en particulier sur la réactivité fonctionnelle des argiles. Les silicates d'alumine, qui en cas de disette constituent un bol alimentaire palliatif mais peu nutritif, ont également des actions plus complexes permettant de modifier le métabolisme, voire de faciliter l'assimilation des nutriments.

A ce propos, il est important de souligner que des peuples traditionnels peuvent parcourir de nombreux kilomètres pour se procurer des argiles d'un type particulier. Cette quête de minéraux argileux spécifiques est observée dans le monde animal avec des utilisations très diversifiées. Il est donc essentiel de déterminer avec précision les particularités des espèces minérales choisies et une collaboration étroite avec les spécialistes des géomatériaux s'avère indispensable. Une collaboration pluridisciplinaire est incontournable si l'on désire approcher la complexité des mécanismes mis en jeu par cette pratique (Rau-tureau *et al.*, 2008).

Des hypothèses multifactorielles

Parmi les bienfaits les plus couramment cités pour justifier la géophagie, on trouve :

- 1/ lutter contre la diarrhée ;
- 2/ combler une carence éventuelle en macro et oligo-éléments ;
- 3/ obtenir une sensation de satiété en cas de famine ;
- 4/ soulager et supprimer des brûlures d'estomac et des douleurs coliques ;
- 5/ lutter contre les parasites intestinaux ;
- 6/ ôter des toxiques de la ration alimentaire ;
- 7/ obtenir des effets pharmacologiques plus complexes ;
- 8/ protéger la peau des agressions extérieures.

Dans le cas de la carence en minéraux, prenons l'exemple du fer. On peut bien admettre qu'une appétence spontanée guide le consommateur, supposé anémié, vers une argile particulièrement riche en fer. La couleur rouge guide empiriquement le choix, nous savons aujourd'hui la faiblesse de ce critère. Pour autant cela ne signifie pas que le fer ingéré sera nécessairement présent sous une forme assimilable. De plus, l'ingestion simultanée d'autres aliments peut avoir un effet de chélation sur le fer, ce qui peut entraîner son élimination et fortement limiter son passage à travers les cellules intestinales. Dans le cas d'une infestation par des parasites intestinaux, la fonction des argiles est-elle plutôt de faire disparaître les crampes et les douleurs abdominales résultant de l'infestation, ou de supprimer les microsaignements de la paroi digestive ? Les hypothèses sont multiples. Faut-il privilégier la capacité de certaines argiles à stimuler les facteurs de la coagulation sanguine ou leur aptitude à chasser les parasites eux-mêmes ? Dans ce cas s'agit-il d'un effet d'entraînement par des milliers de particules argileuses qui se fixent aux éléments néfastes, les isolent et les transportent sous forme inactive ou du renforcement des défenses naturelles de l'hôte par l'induction d'une production accrue de facteurs antiparasitaires de nature chimique ? Les réponses à toutes ces questions demandent des études cliniques adaptées pouvant ensuite s'appuyer sur les travaux scientifiques.

Autant la pratique de la géophagie est ancienne, autant l'étude de son étiologie est récente. La cause est très probablement multifactorielle. Les approches scientifiques anciennes de la géophagie – traitée comme désordre psychiatrique ou séquelle de famine et de pauvreté – qui sont pourtant bien documentées, n'ont pas apporté de réponses satisfaisantes sur les motivations et conséquences de cette pratique. Quoi qu'il en soit, la géophagie existait déjà lorsque les premiers textes médicaux ont été écrits, elle n'est pas confinée à un environnement culturel particulier et peut être observée en absence de sensation de faim et cela à tous les niveaux de la société. Peut-être est-elle un mode atavique de comportement d'alarme et de survie lorsque les minéraux et éléments en traces sont rares.

Aujourd'hui, au fur et à mesure que progressent les approches intégrées, la géophagie apparaît sous des aspects nouveaux et plurifactoriels. Elle n'est pas seulement un comportement aberrant symptomatique de dysfonctionnement métabolique mais est capable de contribuer à maintenir la santé, ce qui expliquerait sa persistance au cours du temps. Nous en sommes encore au tout début des recherches pluridisciplinaires sur ce sujet.

Des études à l'interface de disciplines majeures, telles que la géologie, la biologie et la biochimie, comme celle tentée à Strasbourg (Reichardt, 2008), tout comme les démarches de médecins (Yersin *et al.*, 2012) et de sociologues (Crawford et Bodkin, 2011) convergent pour témoigner d'un nouvel éclairage sur cette pratique ancestrale et empirique, et ouvrent de nouvelles perspectives d'applications médicales.

Les écrits grecs et arabes anciens témoignent des connaissances empiriques des médecins et savants sur les rapports entre l'utilisation de certaines argiles et la guérison de certains troubles. Progressivement ces connaissances sont comparées aux acquis scientifiques modernes et se révèlent, pour certaines en bon accord, voire parfois très proches des connaissances actuelles. Les chercheurs apportent sur ces écrits un éclairage nouveau et assurent peu à peu une liaison entre les sciences propres aux géomatériaux et celles du domaine biologique et médical plus délicates à quantifier.

UNE AUTOMÉDICATION ANIMALE REVISITÉE, UN REGAIN D'INTERET SUR L'IMPACT DES ARGILES

La consommation de sols par l'homme est un curieux comportement, parfois pratiqué en secret et considéré par les médecins coloniaux comme un signe de faiblesse mentale et un manque d'hygiène (Geissler *et al.*, 1999), comme un trouble de l'alimentation tel que l'anorexie ou la boulimie (Ziegler, 1997). Elle a été parfois attribuée à un stress psychosocial (Geissler, 2000). La géophagie n'est toutefois pas limitée à l'homme. Elle semble ancrée dans l'évolution et est largement répandue dans le règne animal : oiseaux (Gilardi *et al.*, 1999) ; chevaux (Laufer, 1930) ; éléphants (Houston *et al.* 2001) ; primates tels que colobes (Oates, 1978), macaques (Mahaney *et al.*, 1993), babouins et orangs-outans (Krishnamani *et al.*, 2000), gorilles (Mahaney *et al.*, 1995), chimpanzés (Mahaney *et al.*, 1997, 2005 ; Ketch *et al.*, 2001 ; Aufreiter *et al.*, 2001). Chez l'homme, la géophagie est signalée parmi les sociétés traditionnelles contemporaines (Laufer, 1930 ; Vermeer, 1971 ; Johns, 1986), et a été probablement pratiquée par *Homo erectus* et plus récemment par les humains (Johns et Duquette, 1991).

Des facteurs alimentaires, médicaux et culturels jouent un rôle important dans la compréhension de la géophagie. Au-delà

des projections anciennes plutôt négatives sur cette pratique, il faut savoir reconnaître que des propriétés bénéfiques lui sont de plus en plus souvent attribuées aujourd'hui. Diverses études récentes apportent des éléments très positifs sur les conséquences de la géophagie pour le consommateur. Traditionnellement, la géophagie a été considérée comme un moyen d'ingérer des minéraux rares (Vermeer, 1971 ; Hooda *et al.*, 2004) et de lutter contre les troubles digestifs (Reid, 1992 ; Vermeer et Ferrel, 1985 ; Wiley et Katz, 1998). Depuis 1974, elle a alternativement été vue comme un mécanisme permettant de réduire l'effet de toxines dérivées des produits alimentaires ou celui de composés réduisant la digestibilité (Hladik et Gueguen, 1974).

Au cours des dernières décennies, les analyses des minéraux argileux consommés ont confirmé plusieurs propriétés, telles que l'adsorption de tanins, l'amélioration du goût des éléments ingérés (pommes de terre au Pérou et en Bolivie, racines en Australie et tubercules au Japon) grâce à une réduction de leur amertume et une détoxification (Johns, 1986 ; Johns et Duquette, 1991 ; Gilardi *et al.*, 1999 ; Laufer, 1930). Ces hypothèses peuvent partiellement justifier l'effet anti-diarrhéique de la géophagie, par adsorption des toxines bactériennes et des composés toxiques causant des diarrhées, et par un effet pansement sur la muqueuse du tube digestif. Cela suggère que des avantages thérapeutiques peuvent être associés à la géophagie, comme l'ont confirmé les analyses soulignant la similitude entre les produits pharmaceutiques et les matériaux argileux ingérés par les chimpanzés (Mahaney *et al.*, 1997, 2005). L'ingestion de sol permet également d'induire un sentiment de satiété expliquant son utilisation comme aliment de substitution en période de famine (Laufer, 1930 ; Johns, 1986). Enfin, l'ingestion d'argile a souvent été liée à l'anémie (Reid, 1992) et à l'infestation par des vers intestinaux (Luoba *et al.*, 2005), sans aucune réponse claire quant aux relations de causes à effets. L'ingestion de sol, commune chez les chimpanzés Kanyawara du parc national de Kibale en Ouganda (Mahaney *et al.*, 1997, 2005), survient parfois très peu de temps avant ou après l'ingestion de plantes telles que les feuilles de *Trichillia rubescens*, dont l'étude phytochimique a révélé des propriétés antipaludiques *in vitro* (Krief *et al.*, 2004, 2006). Les résultats de l'étude de l'interaction des sols et des plantes dans les compartiments gastriques et intestinaux suggèrent que les sols optimisent les propriétés pharmacologiques de la fraction gastrique bio-disponible (Klein, 2008). Ces travaux importants sur l'animal ouvrent la voie à leur adaptation humaine et sont très prometteurs (Abrahams, 2003 ; Wilson, 2003 ; Choy *et al.*, 2007 ; Carretero et Lagaly, 2007 ; Viseras, 2007 ; Centi et Perathoner, 2008 ; Phillips *et al.*, 2008).

LES GISEMENTS D'ARGILES, UN STOCK PRÉCIEUX DONT IL FAUT AMÉLIORER ET ENCADRER L'EXPLOITATION

Divers gisements de « terres » connus depuis la plus haute antiquité ont été exploités au cours des siècles. Les plus courants, à savoir des petits gisements utilisés localement par des populations peu nombreuses, sont des mélanges de plusieurs matériaux avec une dominante argileuse constituée le plus souvent de kaolinites, smectites, illites, chlorites et divers interstratifiés. Par contre, des gisements plus importants ont été exploités d'abord pour leurs caractères techniques, puis progressivement par des médecins qui s'y sont intéressés au gré de leurs voyages et qui ont contribué par la suite à les exporter de plus en plus loin. Parmi les caractères simples justifiant l'utilisation, sans raison vraiment scientifiquement déterminante, la couleur a été et reste encore de nos jours un paramètre important, ce qui a parfois conduit à des confusions notoires entre argiles et oxydes. Des minéraux fibreux comme la sépiolite ou les palygorskites sont sûrement utiles mais ne peuvent être utilisés qu'à doses modérées dans le domaine médical.

Un gros effort de transmission des connaissances doit être réalisé par les scientifiques en direction des utilisateurs. Dans le cas de la géophagie populaire, les consommateurs sont souvent leurs propres pourvoyeurs de terre argileuse ce qui impose que le contact soit établi sur la base d'une vulgarisation efficace mais scientifiquement simple. Par contre, une formation technique nettement plus spécialisée doit être accessible et transmise aux fournisseurs de produits sélectionnés et destinés à être commercialisés. La tâche n'est pas obligatoirement simple car les gisements ne sont pas homogènes mais elle devrait faire partie de la mission des membres des sociétés comme le GFA (Groupe français des argiles) et l'AIPEA (Association Internationale Pour l'Etude des Argiles). Au-delà de cette formation par la science il y a l'acquisition des garanties apportées par la législation. La DGS (Direction Générale de la Santé), l'AFSSAPS (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé), la DGCCRF (Direction Générale de la Consommation, de la Concurrence et de la Répression des Fraudes) et les instances européennes, apportent des garanties recherchées mais pas toujours faciles à obtenir pour labéliser les argiles comme produits cosmétiques, alimentaires ou pharmaceutiques.

Pour les spécialistes des sciences de la terre et des sols, l'origine et la nature des réserves en géomatériaux commercialisables, aptes à être consommés (géophagie) ou utilisables pour la santé (géothérapie), ne sont pas infinies ni facilement renouvelables. Ils doivent être bien définis en qualité et en quantité pour distinguer et préserver ceux qui sont d'importance vitale dans les années futures. La détermination analytique doit être menée par des laboratoires spécialisés réalisant un flux d'analyses important pour être fiables. Parallèlement la formation de per-

sonnels très variés, concrétisée en 2010 par un enseignement universitaire spécialisé devenu nécessaire au niveau *master* (International Master of Advanced Clay Science - IMACS, Poitiers) est essentielle. Cette organisation autour d'une approche pluridisciplinaire est indispensable non seulement pour préparer les étudiants aux diverses spécialités doctorales en devenir mais aussi pour former spécifiquement des techniciens à ce délicat domaine. Cette politique d'information et de formation doit s'adresser également aux fournisseurs de minéraux argileux afin qu'ils puissent commander et exploiter les études des produits qu'ils distribuent et ainsi mieux associer leurs spécifications aux propriétés physicochimiques.

Néanmoins, quelle que soit la qualité de l'approche scientifique dans ce domaine, il convient toujours de ne pas oublier le point de vue humain d'une part et le point de vue culturel d'autre part.

CONCLUSION

L'impact de l'utilisation des argiles dans le domaine de la santé pour des actions curatives ou préventives est réel et prend une importance croissante. Ce contexte permet à la fois de répondre aux demandes d'utilisation de produits de soins d'extraction naturelle, et d'aller dans le sens des contraintes économiques subies par les responsables des systèmes de santé, appelés à développer des produits performants en minimisant les coûts.

Avec les progrès scientifiques actuels, il est réaliste de prendre en considération les acquis de la science empirique, longtemps transmise par la tradition orale puis plus récemment écrite, et d'évoluer vers une compréhension scientifique des mécanismes impliqués.

Cette mutation, qui commence seulement à être acceptée dans le monde scientifique et subit encore de nombreuses réticences dans le monde médical, n'aurait pas pu être initiée sans les apports fondamentaux de chercheurs qui ont su donner des lettres de noblesse à ces matériaux particulièrement étonnants que sont les argiles. L'école française a été très active dans ce domaine et nous devons beaucoup aux précurseurs tels G. Pédro, S. Caillère, S. Hénin et G. Millot qui ont laissé leur marque dans l'acquisition de la connaissance pédologique, minéralogique et géologique. Grâce à ces fondements solides, nous pouvons aujourd'hui poursuivre des recherches très fines et efficaces dans de nombreux domaines. Pour ce qui touche au sujet que nous avons abordé, à savoir les relations et interactions entre les domaines des minéraux argileux et celui de la santé, elles sont prometteuses d'un avenir très riche et ouvrent une nouvelle voie vers la connaissance et l'utilisation des nanomatériaux poreux.

BIBLIOGRAPHIE

- Abrahams P.W., 2003 - Human geophagy : A review of its distribution, causes and implications, pp. 31-35 in Skinner H.C.W. & Berger A.R. (eds), *Geology and Health : closing the gap*. Oxford University Press, 179 p.
- Abrahams P.W., 2010 - Earth eaters : ancient and modern perspectives on human geophagy, pp. 369-398 (Chapter 23) in Landa E.R. & Feller C. (eds), *Soil and culture*. Springer, Dordrecht, 488 p.
- Aufreiter S.W.C., Mahaney W.C., Milner M.W., Huffman, M.A., Hancock R.G.V., Winck M. et Reich M., 2001 - Mineralogical and chemical interactions of soils eaten by chimpanzees of the Mahale Mountains and Gombe stream National Parks, Tanzania. *J. Chem. Ecol.*, 27, 2: 285-311.
- Allègre J., 2012 - Les silicates d'alumine (argiles) en thérapeutique, une pratique coutumière ancienne relayée dans la médecine moderne. Mémoire de thèse, Faculté de Médecine de Bobigny, Léonard de Vinci, Université Paris XIII.
- Amin N.C., Andji J.Y.Y., Ake M., Abba T., Kra G. et Yvon J., 2008 - Argiles utilisées dans la guérison de l'ulcère de Buruli en Côte d'Ivoire : minéralogie et hypothèse sur le mode d'action. 22^{es} Réunion des Sciences de la Terre et 6^e Colloque GFA, 21-24 avril 2008, Nancy.
- Beaufour (collectif), 1994 - Recueil collectif sur l'Argile, éd. du Laboratoire Beaufour, Paris, 204 p.
- Caillère S., Hénin S., Rautureau M., 1982 - Minéralogie des Argiles, Masson, 2 tomes, 184 p. et 189 p. (1^{ère} édition 1963).
- Carretero M.I. et Lagaly G., 2007 - Clays and Health : an introduction. *Applied Clay Science*, 36: 1-3.
- Carretero M.I. et Pozo M., 2007 - *Mineralogia Aplicada*. Salud y Medio Ambiente, Thomson, Madrid, 406 p.
- Centi G. et Perathoner S., 2008 - Catalysis by layered materials : a review. *Microporous and Mesoporous Materials*, 107 (1-2): 3-15.
- Charrié J.C., 2007 - ABC de l'argile. Grancher, Paris, 240 p.
- Choy J.-H., Choi S.-J., Oh J.-M. et Park T., 2007 - Clay minerals and layered double hydroxides for novel biological applications. *Applied Clay Science*, 36 (1-3): 122-132.
- Crawford L. et Bodkin K., 2011 - Health and social impacts of geophagy in Panama. *McGill Science Undergraduate Research Journal*, 6 (1): 31-37.
- Geissler P.W., Prince R.J., Levene M., Poda C., Beckerleg S.E., Mutemi W. et Shulman C.E., 1999 - Perceptions of soil-eating and anaemia among pregnant women on the Kenyan coast. *Social Science and Medicine*, 48 (8): 1069-1079.
- Geissler P. W., 2000 - The significance of earth-eating : social and cultural aspects of geophagy among Luo children. *Africa*, 70 (4): 652-681.
- Gilardi J.D., Duffey S.S., Munn C.A. et Tell L.A., 1999 - Biochemical functions of geophagy in parrots : detoxification of dietary toxins and cytoprotective effects. *Journal of Chemical Ecology*, 25 (4): 897-922.
- Gomes C. et Silva J., 2006 - *Minerals and Human Health : Benefits and Risks / Os Minerais e a Saúde Humana : Benefícios e Riscos*. Multiponto, Porto. Édition bilingue des auteurs, 142 p./158 p.
- Guggenheim S., Adams J.M., Bain D.C., Bergaya F., Brigatti M.F., Drits V.A., Formoso M.L.L., Galán E., Kogure T. et Stanjek H., 2006 - Summary of recommendations of nomenclature committees relevant to clay mineralogy : report of AIPEA for 2006, *Clays Minerals*, 41: 863-877.
- Hladik C.M. et Gueguen L., 1974 - Géophagie et nutrition minérale chez les primates sauvages. *C.R. Acad. Sci. Paris*, D279, 16: 1393-1396.
- Hooda P.S., Henry C.J.K., Seyoum T.A., Armstrong L.D.M. et Fowler M.B., 2004 - The potential impact of soil ingestion on human mineral nutrition. *Science of the Total Environment*, 333 (1-3): 75-87.
- Houston D.C., Gilardi J.D. et Hall A.J., 2001 - Soil consumption by Elephants might help to minimize the toxic effects of plant secondary compounds

- in forest browse. *Mammal Review*, 31 (3-4): 249-254.
- Johns T., 1986 - Detoxification function of geophagy and domestication of the potato. *J. Chem. Ecol.*, 12 (3): 635-646.
- Johns T. et Duquette M., 1991 - Detoxification and mineral supplementation as functions of geophagy. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 53 (2): 448-456.
- Ketch L.A., Malloch D., Mahaney W.C. et Huffman M.A., 2001 - Comparative microbial analysis and clay mineralogy of soils eaten by chimpanzees (*Pan troglodytes schweinfurthii*) in Tanzania. *Soil Biology and Biochemistry*, 33 (2): 199-203.
- Kern D.C. et Kämpf N., 2008. Les terres noires des indiens en Amazonie. In : Mollard Eric et Walter Annie (ed.). *Agricultures singulières*. Paris, IRD, pp. 274-278.
- Klein N., Fröhlich F. et Krief S., 2008 - Geophagy : soil consumption enhances the bioactivities of plants eaten by chimpanzees. *Naturwissenschaften*, 95 (4): 325-331.
- Krief S., Martin M.-T., Grellier P., Kasenene J. et Sévenet T., 2004 - Novel antimalarial compounds isolated in a survey of self-medicative behavior of wild chimpanzees in Uganda. *Antimicrob. Agents Chemother.*, 48 (8): 3196-3199.
- Krief S., Huffman M.A., Sévenet T., Hladik C.-M., Grellier P., Loiseau P.M. et Wrangham R.W., 2006 - Bioactive properties of plant species ingested by chimpanzees (*Pan troglodytes schweinfurthii*) in the Kibale National Park, Uganda. *Am. J. Primatol.*, 68 (1): 51-71.
- Krishnamani R. et Mahaney W.C., 2000 - Geophagy among primates : adaptive significance and ecological consequences. *Anim. Behav.*, 59 (5): 899-915.
- Laufer B., 1930 - Geophagy, Field Museum of Natural History, Chicago, Anthropological Series Publication n° 280, 8 (2): 99-198.
- Limpitlaw, U. G. (2010) - Ingestion of Earth materials for health by humans and animals. *International Geology Review*, 52 (7-8): 726-744.
- Luoba A.I., Geissler P.W., Estambale B., Ouma J.H., Alusala D., Ayah R., Mwaniki D., Maggnussen P. et Friis H., 2005 - Earth-eating and reinfection with intestinal helminths among pregnant and lactating women in western Kenya. *Trop. Med. Int. Health*, 10 (3): 220-227.
- Mahaney W., Hancock R., Inoue M., 1993 - Geochemistry and clay mineralogy of soils eaten by Japanese macaques. *Primates*, 34 (1): 85-91.
- Mahaney W., Aufreiter S. et Hancock R.G.V., 1995 - Mountain gorilla geophagy : a possible seasonal strategy for dealing with the effects of dietary changes, *Intern. J. Primatol.*, 16 (3): 475-488.
- Mahaney W.C., Milner M.W., Sanmugadas K., Hancock R.G.V., Aufreiter S., Wrangham R. et Pier H.W., 1997 - Analysis of geophagy soils in Kibale Forest, Uganda. *Primates*, 38 (2) pp. 159-176.
- Mahaney W.C., Milner M.W., Aufreiter S., Hancock R.G.V., Wrangham R. et Campbell S., 2005 - Soils consumed by chimpanzees of the Kanyawara community in the Kibale Forest, Uganda. *Intern. J. Primatol.*, 26 (6): 1375-1398.
- Millot G., 1964 - Géologie des argiles. Masson, 500 p.
- Oates J.F., 1978 - Water-plant and soil consumption by guereza monkeys (*colobus guereza*) : a relationship with minerals and toxins, in the Diet. *Biotropica*, 10 (4): 241-253.
- Pédro G., 1965 - La classification des minéraux argileux (phyllosilicates). Ed. INRA, Paris, 108 pp.
- Phillips T.D., Afriyie-Gyawu E., Williams J., Huebner H., Ankrah N.A., Ofori-Adjei D., Jolly P., Johnson N., Taylor J., Marroquin-Cardona A., Xu L., Tang L. et Wang J.S., 2008 - Reducing human exposure to aflatoxin through the use of clay : A review. *Food Additives and Contaminants*, 25 (2): 134-145.
- Rautureau M., Caillère S. et Hénin S., 2004 - Les argiles (2^e éd.). Société de l'industrie minérale, Paris, 97 p.
- Rautureau M., Liewig N., Allègre J. et Katouzian-Safadi M., 2008 - Géophagie : pica, pharmacophagie ou nécessité vitale. 22^{ème} Réunion des Sciences de la terre, et 6^{ème} Colloque GFA Nancy, 21-24 avril 2008, résumé, 2 p.
- Rautureau M., Liewig N., Gomes C. et Katouzian-Safadi M., 2010 - Argiles et santé. Editions Lavoisier, collection EMI, Paris, 184 p.
- Reichardt F., 2008 - Ingestion spontanée d'argile chez le rat : rôle dans la physiologie intestinale. Thèse de l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, 222 p.
- Reid R.M., 1992 - Cultural and medical perspectives on geophagia. *Medical anthropology*, 13 (4): 337-351.
- Strobel M., 2003 - Géophagie. Institut francophone de Médecine Tropicale en Asie, <http://www.ifmt.auf.org/IMG/pdf/Geophagie.pdf>
- Vermeer D.E., 1971- Geophagy among the Ewe of Ghana. *Ethnology*, 10 (1): 56-72.
- Vermeer D.E. et Ferrell R.E. Jr, 1985 - Nigerian geophagical clay : a traditional antidiarrheal pharmaceutical. *Science*, 227 (4687): 634-636.
- Villieras F. (sous la direction de), 2009 - Argiles, histoire d'avenir. Actes Sud, 96 p.
- Viseras C., Aguzzi C., Cerezo P. et Lopez-Galindo A., 2007 - Uses of clay minerals in semisolid health care and therapeutic products. *Applied Clay Science*, 36 (1-3): 37-50.
- Wiley A.S. et Katz S.H., 1998 - Geophagy in pregnancy : Test of a hypothesis. *Curr. Anthropol*, 39 (4): 532-545.
- Wilson M.J., 2003 - Clay mineralogical and related characteristics of geophagic materials. *J. Chem. Ecol.*, 29 (7): 1525-1547.
- Yersin S., Favrat B., Bodenmann P. et Cheseaux M., 2012 - Anémie ferriprive sur géophagie dans un pays riche ? *Revue Médicale Suisse*, 8: 604-606.
- Young S.L., Wilson M.J., Hillier S., Delbos E., Ali S.M. et Stoltzfus R.J., 2010 - Differences and commonalities in physical, chemical and mineralogical properties of Zanzibari geophagic soils. *Journal of Chemical Ecology*, 36 (1): 129-140.
- Ziegler J.L., 1997 - Geophagy : a vestige of palaeonutrition ? *Tropical medicine and international health*, 2 (7): 609-611.

