

Problèmes posés par la définition de l'état de référence des sols en santé environnementale

En santé environnementale, la comparaison entre états des sols a pour but de déterminer l'évolution de la pollution d'un territoire donné ou la part de contamination attribuable à une source de pollution spécifique. Mais sa caractérisation, tant qualitative que quantitative, est difficile...

par Côme DANIAU*, Frédéric DOR*, Sébastien DENYS**, Adeline FLOCH-BARNEAUD** et William DAB***

Introduction

En s'appuyant sur une revue de littérature, cet article a pour objectif de clarifier les différents termes utilisés pour décrire les différents états de référence des sols et d'en comprendre le bon usage. Il rappellera dans un premier temps les origines naturelles et anthropiques de la contamination des sols.

La santé environnementale concerne l'évaluation, la correction, le contrôle et la prévention des risques sanitaires, pour les générations actuelles et futures, liés aux facteurs de l'environnement [1]. Dans ce cadre, l'évaluation de l'impact sanitaire des agents chimiques est souvent réalisée en comparant des états contrastés des teneurs de ces éléments dans l'environnement. Or, le milieu sol se caractérise par la possibilité d'une accumulation des polluants au cours du temps, ce qui rend difficile la distinction des sources de contamination. L'identification de la part de contamination attribuable à une ou plusieurs sources est pourtant indispensable tant pour l'évaluation des risques que pour leur gestion.

La distinction de la part anthropique des éléments présents dans les sols de celle présente naturellement est, par exemple, requise par les réglementations américaines et européennes pour la gestion des installations industrielles réglementées [2;3]. En France, en ce qui concerne les sols, les dispositions prévues prescrivent « le recours à la comparaison aux milieux naturels : une terre est considérée comme non polluée, dès lors que ses caractéristiques sont cohérentes avec le fond géochimique naturel local... Ainsi, un sol peut être considéré comme sans danger pour les populations lorsqu'il est conforme à son état naturel initial... L'évaluation de l'état du sol peut, par conséquent, se faire par rapport à des états de référence comme l'état naturel du sol en général, ou celui destiné à l'agriculture, par exemple ».

De même, pour la surveillance environnementale, la comparaison (quand elle est possible) entre différentes situations successives permet d'interpréter l'évolution de l'état de l'environnement, afin d'identifier l'impact éventuel d'une source de pollution.

Enfin, dans les études épidémiologiques, l'attribution à une population du statut d'exposition est souvent effectuée par la caractérisation d'une zone géographique concernée par une source de contamination. La distinction des sources de contamination est donc, là aussi, nécessaire, afin de distinguer le secteur contaminé par la source étudiée de ceux qui en sont indemnes.

S'il est donc important d'apprécier l'influence de la source sur l'environnement, nombreux sont les termes qui se cachent derrière l'expression « état des sols servant à la comparaison ». En santé environnementale, on parle principalement d'état de référence environnemental, de niveau de base (*baseline level*), d'état initial environnemental (*initial environmental state*), d'environnement témoin (*control area*). Dans d'autres domaines, on parle de teneur de fond (*background level or background value*) ou de bruit de fond, de fond géochimique (*geochemical background*), de fond naturel (*natural background*), de fond ambiant (*ambient background*), de fond préindustriel ou pré-anthropique (*pre-industrial or pre-anthropogenic background*). Les premiers termes ont une finalité de comparaison, tandis que les deuxièmes ont pour finalité de décrire la constitution d'un sol selon l'origine des éléments qui le composent. Il en résulte de fréquentes incompréhensions, lors de la conduite d'études ou de l'interprétation de leurs résultats.

Le présent article a pour objectif d'explicitier les différences et les convergences entre ces différents termes, afin de faciliter leur utilisation dans le domaine de la santé environnementale. Après avoir rappelé

les éléments clés de l'origine de la contamination des sols et proposé un inventaire descriptif des termes décrivant l'état d'un sol, utiles pour effectuer des comparaisons, l'article illustrera les avantages et les limites de l'application de cette terminologie au domaine de la santé environnementale.

Origines de la contamination des sols

Un sol est constitué à partir des sources naturelles et anthropiques, dont les processus respectifs peuvent interagir entre eux. La roche-mère, formée par morphogénèse, est à l'origine des sols. La pédogénèse est l'ensemble des processus naturels de formation des sols ; elle correspond à des phénomènes physiques, chimiques et biologiques de transformation, par dégradation des matériaux de la roche-mère. Ces processus peuvent entraîner la modification des teneurs des substances initialement présentes dans la roche-mère, par différenciation pédogénétique des horizons, c'est-à-dire des différentes couches du sol [4;5].

Les processus biogéochimiques naturels correspondent à l'influence locale des organismes vivants sur la roche [6;7]. C'est, par exemple, le cycle biogéochimique des plantes et des arbres qui y contribuent de manière notable. Les caractéristiques propres à chaque plante conduisent, au niveau des sols, à des rejets ou à des extractions de substances. Ainsi, même pour des sols présentant des roches-mères similaires, des différences marquées existent entre les horizons de surface, selon la nature de la végétation, comme on peut le

constater, par exemple, entre un sol forestier de feuillu et un sol de prairie [8].

D'autres processus naturels s'ajoutent, tels que l'influence du climat, les phénomènes de dépôts et de lessivage générés par des mécanismes d'érosions éolienne et hydraulique. Ils peuvent être à l'origine de modifications significatives de la teneur des sols en certains éléments. De même, des événements

exceptionnels, comme les processus volcaniques, les feux de forêt, les tempêtes en milieu désertique ont une influence notable sur cette teneur en éléments [9].

L'état des sols est aussi perturbé par des contaminations d'origine humaine. Parmi celles-ci, on distingue les sources anthropiques conduisant à une contamination spatialement localisée, sur un territoire restreint, de celles qui sont à l'origine de contaminations diffuses. Les premières sont qualifiées de ponctuelles. Il s'agit essentiellement des activités industrielles, dont les rejets d'effluents dans l'environnement sont réglementés, notamment par l'obligation de dépôt, pour instruction, d'un dossier réglementaire d'autorisation d'exploiter [10].

Les sources anthropiques à l'origine des contaminations diffuses sont dites « non localisables » ; elles sont également qualifiées de sources non ponctuelles (*non-point sources* = NPS). Elles sont de natures très diverses [11;12;13]. Ce sont, par exemple, les rejets des activités domestiques urbaines, les retombées atmosphériques sur de longues distances des sources émettrices, les épandages agricoles, la combustion résidentielle ou la pollution liée au trafic routier. Les substances



© Ralf Kreuels/LAIF-REA

« Les substances d'origine diffuse dans l'environnement sont dues notamment à la dispersion atmosphérique... ». Ombre d'une usine sur un champ (9 mai 2005).

d'origine diffuse dans l'environnement sont dues notamment à la dispersion atmosphérique, au ruissellement, aux crues des rivières, elles proviennent également des rejets des canaux d'irrigation et des dépôts humides.

Les substances rejetées sont ubiquitaires, l'impact, s'étendant sur de larges territoires, pouvant aller d'un niveau régional à une échelle intercontinentale. Par exemple, la taille très fine des particules – d'un diamètre inférieur au micromètre – associées aux substances polluantes permet leur transport par voie éolienne sur de longues distances, par le jeu des phénomènes d'advection [14]. C'est le cas des particules fines – d'un diamètre compris entre 0,44 et 0,95 µm – présentes naturellement dans l'air, qui, associées au plomb d'origine automobile, confèrent à ce composé une mobilité à l'échelle globale [15].

Différents états des sols

A partir des rappels précédents, l'état des sols peut être décrit de plusieurs manières, selon les sources d'éléments qui y sont présentes. Une recherche bibliographique nous a permis de rassembler les termes décrivant ces états des sols pouvant servir à l'établissement d'états de comparaison, suivant la présence, ou non, d'apports anthropiques. Ces termes définissent la composition physico-chimique d'un sol.

L'état des sols exempts d'apport anthropique

Le « fond pédo-géochimique » et le « fond naturel »

Initialement issu de la géochimie minérale exploratoire, le concept de « fond géochimique » est introduit en 1962 par Hawkes et Webb pour différencier la teneur en éléments habituellement mesurée de celle d'une anomalie géochimique indicatrice de la présence de minerais, et cela, notamment à des fins d'exploitation minière. Spécifique des sols, on utilise alors le terme « fond pédo-géochimique » (*pedogeochemical background*), qui correspond à « la teneur normale d'un élément dans la roche-mère du sol (objet de l'étude) » [16].

La concentration résultant de la nature géochimique des sols est également appelée, de manière plus suggestive, le « fond produit naturellement » (*naturally occurring background*) dans le sens où il représente « la concentration d'un élément chimique dans un sol résultant des évolutions des processus naturels, géologiques et pédologiques, en dehors de tout apport d'origine humaine » [17;18].

On utilise également communément l'expression « fond naturel » pour désigner les teneurs des substances dans les sols liées à l'ensemble des processus naturels endogènes et exogènes, mais non influencées par d'autres sources. La différence qui existe entre « fond géochimique » et « fond naturel » est surtout

conceptuelle, et la distinction entre les deux reste, d'ailleurs, difficilement réalisable dans la pratique.

Le « fond préindustriel » ou « pré-anthropique »

Dans des perspectives de recherche fondamentale en géochimie, l'intérêt porte souvent sur la détermination des niveaux de concentrations indemnes de toute influence humaine. Cela implique la possibilité de distinguer, dans les sols, entre les concentrations en éléments naturels (*natural element concentration*) et les concentrations en éléments anthropiques (*man-made element concentration*), et ce, quelles qu'en soient l'origine et l'ancienneté. Cette distinction permet de déterminer les facteurs de risques de contamination de l'environnement, afin d'évaluer le degré d'anthropisation d'un territoire ou d'une région, et de comprendre l'évolution des substances dans les sols.

On utilise les expressions « fond préindustriel » ou « niveaux d'éléments pré-anthropiques » (*pre-anthropogenic element levels*) pour insister sur l'absence de toute influence anthropique, même ancienne. Ces niveaux de concentrations sont censés représenter un état de contamination datant de la pré-industrialisation. Le « fond préindustriel » est alors représentatif d'un environnement à l'état vierge (*environmental pristine state*), à des époques anciennes, antérieures à 3 000 avant JC [19;20]. Le « fond préindustriel » ne retrace pas l'évolution des concentrations liées aux processus naturels des derniers siècles, qui peuvent être à l'origine d'un enrichissement ou, au contraire, d'un appauvrissement naturels des sols en éléments. Il correspond alors, au sens strict, au « fond pédo-géochimique » équivalant à la teneur en éléments de la roche-mère d'un sol.

L'état des sols perturbé par des contributions anthropiques : le « fond ambiant »

Parce que les sols conservent les traces de leur passé, l'état naturel propre à des sols qui n'auraient jamais subi de modification anthropique, tel que défini en géochimie, est considéré comme très rarement, voire jamais, identifiable aujourd'hui sur la surface de la Terre. Ainsi, la situation idéale de la mesure directe, dans les sols, d'un état naturel de l'environnement n'existe pas.

Les transports éoliens d'éléments chimiques sur de longues distances peuvent, depuis longtemps, avoir entraîné des dépôts dans tous les sols des pays industrialisés, et ce, même sur des territoires que l'on aurait pu considérer comme exempts de toute influence humaine, comme l'Antarctique [21]. C'est le cas de nombreux polluants semi volatiles persistants, largement distribués à l'échelle globale, tels que les dioxines, les PCBs et les chlordanes, mais également de métaux comme le mercure ou le plomb [22].

Compte tenu de tous ces apports, c'est donc, le plus souvent, l'état perturbé de l'environnement qui est caractérisé et non le « fond naturel » proprement dit.

L'expression « fond ambiant » est alors utilisée pour décrire cet état anthropisé de l'environnement [23;24]. La mesure des concentrations dans les milieux étudiés permet ainsi d'estimer la concentration de « fond ambiant » (*ambient background concentration = ABC*) également appelée « concentration de fond habituel » (*usual background concentration*), représentative des concentrations couramment relevées dans les sols [25].

La concentration de « fond ambiant » se compose d'une fraction naturelle et d'une fraction anthropique [26]. La fraction naturelle est composée des apports endogènes, liés aux multiples processus naturels associés au sol et à toutes les sources naturelles exogènes, notamment les apports éoliens. La fraction anthropique de la concentration de « fond ambiant » constitue, quant à elle, le « fond anthropique » (*anthropogenic background*) lié uniquement aux apports diffus de substances rejetées dans l'environnement du fait d'activités humaines, dissociées de toutes sources de pollution localisées.

La mesure du « fond ambiant » correspond à la situation la plus courante, lors de l'élaboration d'un référentiel des teneurs dans les sols. Les mesures réalisées à la surface des sols, même à distance de toute source anthropique, caractérisent, le plus souvent, des situations de l'état naturel des sols faiblement anthropisés. Ces niveaux de « fond ambiant » sont considérés comme des niveaux de fond normaux (*normal background levels*), dans le sens où ils font référence à « une pollution mineure uniquement associée aux activités quotidiennes de la vie moderne urbaine et rurale » [27].

Terminologie utilisée dans le domaine de la santé environnementale

Pour désigner un état de référence, les textes qui régissent la santé environnementale (tels ceux relatifs aux études d'impact ou à la gestion des sols pollués) utilisent également les expressions « état initial de l'environnement » et « état d'un environnement témoin ». Ces expressions visent à énoncer la méthode employée pour décrire ces états de référence, plutôt que les sources de contamination qui les constituent.

La notion d'« état initial » renvoie à une comparaison temporelle « avant/après » par analogie avec le contexte des études épidémiologiques. Cet état permet d'analyser l'évolution de l'état de l'environnement – avant et après – la survenue du phénomène étudié. Cette expression est celle utilisée couramment dans le cadre réglementaire relatif à la prévention des pollutions et des risques autour des installations industrielles réglementées. L'établissement d'un « état initial » est requis par la réglementation, avant la mise en service de toute installation industrielle soumise à l'obligation de dépôt d'une demande d'autorisation

d'exploiter (décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour l'application de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976) [28].

Cet « état initial » est parfois appelé « état zéro » ou « point zéro », pour insister sur le préalable indispensable de la caractérisation de l'état de référence, afin de pouvoir étudier l'influence d'un événement. Ces termes sont notamment utilisés couramment pour la surveillance de l'impact d'événements accidentels.

La notion d'« environnement témoin » renvoie à une comparaison spatiale « ici/ailleurs ». Il s'agit de l'état d'un environnement comparable, mais non impacté par le phénomène étudié. Cet environnement témoin est également appelée « zone de référence » (*background reference area*). Il correspond à l'étendue géographique sur laquelle les échantillons sont collectés pour établir l'état de référence et effectuer la comparaison avec les teneurs relevées sur le site impacté par le phénomène étudié. Cet environnement témoin ou zone de référence doit présenter les mêmes caractéristiques physiques, chimiques, géologiques et biologiques que celles de la zone étudiée, sans, toutefois, être affecté par le phénomène étudié [12;29].

D'autres termes, plus génériques, sont également employés. La norme française concernant les sols utilise les expressions « teneur de fond » ou « valeurs de bruit de fond » pour décrire la « teneur d'une substance présente dans un sol du fait de processus géologiques et pédologiques naturels, comprenant également des apports dus à des sources anthropiques diffuses » [30]. Cependant, ces termes, trop génériques, sont souvent utilisés, dans la pratique, avec des acceptions différentes. On utilisera donc, de manière préférentielle, l'expression « teneur de fond ambiant » (*ambient background value*) plutôt que celles de « valeurs de bruit de fond » ou simplement de « teneur de fond ».

De la même manière, l'expression « niveau de base » ou « valeur de base » (*baseline level, baseline value*) a parfois été employée pour désigner un état de référence ou pour désigner une valeur-seuil du fond géochimique [31]. Ce terme a été remis en question, car il laisserait à penser – abusivement – que le niveau de concentration de fond est constant, alors que ce qui est mesuré dans l'environnement est une gamme de valeurs reflétant l'hétérogénéité des concentrations dans l'environnement [32].

Illustration par quelques situations particulières

Le constat est donc qu'il n'existe pas de référence environnementale absolue. On est confronté à une multitude d'états de référence, correspondant chacun à un état des sols différent, selon la situation analysée et la finalité de la comparaison réalisée.

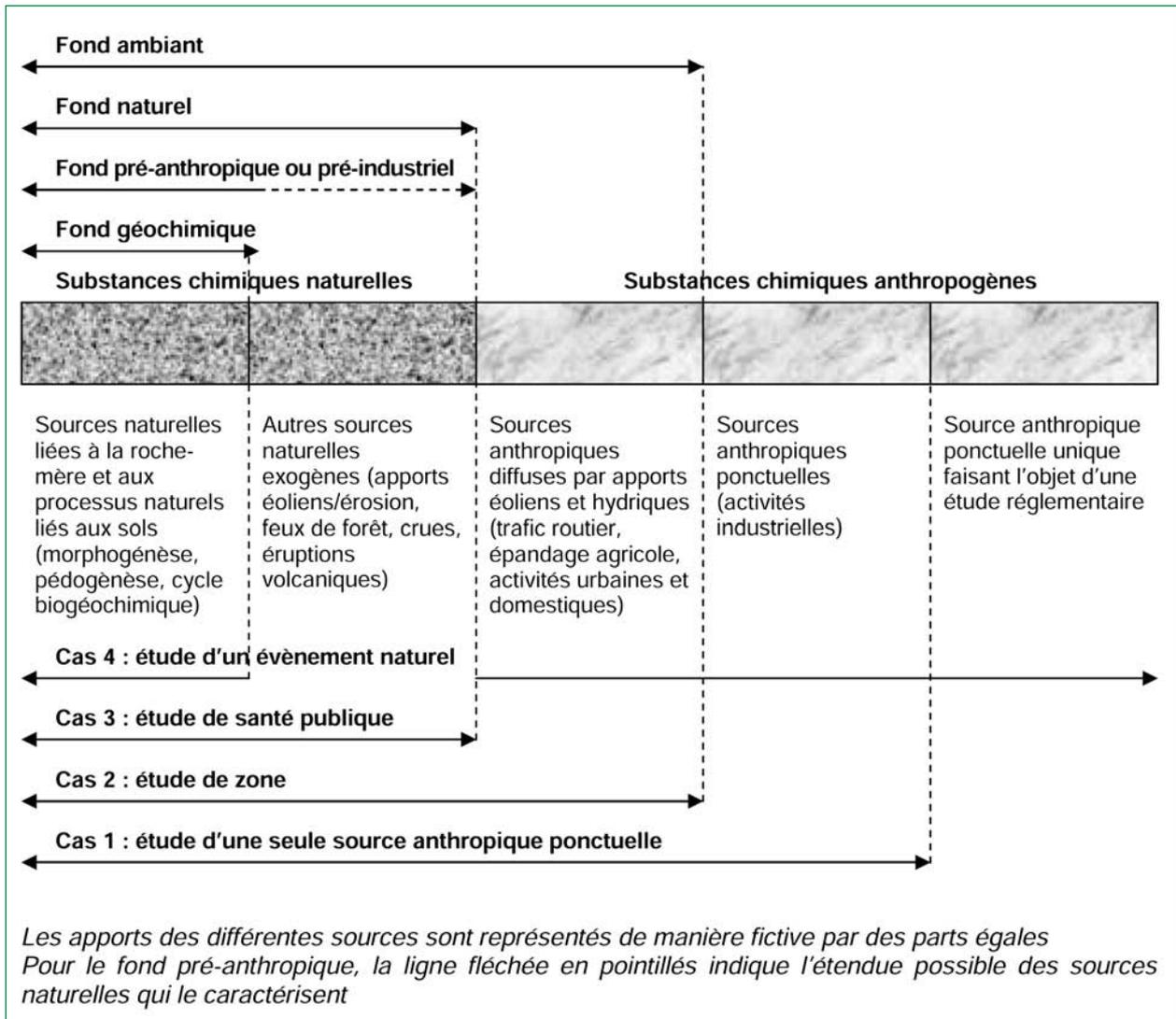


Figure 1 : Différentes qualifications de l'état de l'environnement et des états de référence, selon le cadre de l'étude.

Pour illustrer cette nécessité de procéder par comparaison, on raisonnera sur les principales situations rencontrées en santé environnementale :

1. l'impact d'une seule source anthropique ponctuelle ;
2. l'impact d'un ensemble de sources anthropiques ponctuelles ;
3. l'impact de l'ensemble des sources anthropiques ponctuelles et diffuses ;
4. et, enfin, l'impact d'un événement naturel.

La figure 1 illustre ces quatre cas, qui recouvrent une grande partie du champ des possibilités.

Les deux premiers cas, fréquemment rencontrés, du fait de la réglementation, concernent l'analyse des conséquences sanitaires de sources anthropiques polluantes à une échelle locale.

Dans le premier cas, l'estimation de la part de l'impact sur la santé des rejets d'une seule installation est requise pour permettre une gestion appropriée de cette installation. L'étude de l'impact d'un événement

accidentel lié à une source industrielle suit également le même raisonnement. La comparaison entre l'état de la contamination associée à cette source ponctuelle et l'état de l'environnement préexistant à cette contamination est alors indispensable. On peut distinguer :

- ✓ un contexte de régions historiquement polluées et donc fortement industrialisées : l'étude d'une seule source ponctuelle, parmi l'ensemble des activités anthropiques industrielles, nécessite la caractérisation d'un état de référence correspondant à un état des sols comprenant des contaminations anthropiques diffuses, auxquelles se surajoutent des contaminations dues à des sources anthropiques ponctuelles, à l'exclusion de celle faisant l'objet de l'étude. L'état de référence correspond alors à un « fond ambiant » fortement anthropisé ;
- ✓ un contexte de zones exemptes d'antécédents d'industrialisation : l'état de l'environnement, qui sert ici de référence, est un état initial correspondant au

« fond ambiant ». Cette situation (non représentée dans la figure 1) associe un contexte environnemental naturel à une contamination issue de sources anthropiques diffuses, mais ne comportant pas d'autres sources anthropiques ponctuelles que celle étudiée. Des programmes de mesures à grande échelle ont permis de renseigner les teneurs de « fond ambiant » dans les sols [33;34]. Ces programmes sont conduits afin d'alimenter des bases de données, qui permettent de produire des cartes de l'état des sols et des référentiels d'éléments présents dans les sols (*reference soil systems* = *RSS*). Ces référentiels sont construits en utilisant des échelles géographiques pertinentes au regard des caractéristiques des unités pédologiques étudiées [35;36;37].

Le deuxième cas correspond à une approche élargie par rapport au premier cas évoqué, dans la mesure où on souhaite analyser les conséquences d'un ensemble de sources ponctuelles de contamination, présentes dans un périmètre géographique déterminé. L'état de référence (par rapport à l'impact global de l'ensemble des sources ponctuelles de contamination) permet de caractériser strictement un « fond ambiant », attestant à la fois de la présence de substances naturelles et de contaminations anthropiques diffuses, mais ne prenant en compte aucune des sources anthropiques ponctuelles localisées. Ce second cas est qualifié aujourd'hui d'« étude de zone », dénomination qui n'a pas encore fait l'objet d'un encadrement réglementaire. Dans de telles situations, les valeurs de « fond ambiant » issues des référentiels d'éléments présents dans les sols, habituellement adéquates pour d'autres régions, ne peuvent pas servir de valeurs de référence (*reference values*) [38]. Un état de référence spécifique doit donc être déterminé.

Le troisième cas s'inscrit dans une approche de santé publique. L'impact sanitaire est estimé à partir de l'exposition totale de la population, toutes sources de contamination confondues. L'objectif est, ensuite, d'apprécier la part contributive de chacune des sources de contamination, et notamment celle provenant des sources anthropiques diffuses et ponctuelles et celle provenant des sources naturelles. Les efforts de gestion seront adaptés en fonction de la contribution de ces différentes sources à l'impact environnemental global. Les contextes géologiques présentant des anomalies géochimiques – c'est-à-dire des lieux où les concentrations en certains métaux sont particulièrement élevées, comme dans les zones minières – méritent une attention particulière, car le « fond naturel » est susceptible de contribuer majoritairement à l'exposition totale et donc au risque global auquel les populations sont confrontées [39]. L'état de référence devra alors être repéré dans des zones géologiques de même nature. Dans tous les cas, l'état de référence à

prendre en considération correspond aux teneurs de fond naturel.

Enfin, le quatrième cas décrit la situation spécifique de l'étude d'un événement naturel, comme l'impact de crues torrentielles ou de feux de forêt sur l'état de l'environnement. A l'exception des apports en éléments liés à l'événement naturel étudié, l'état de l'environnement, qui sert d'état de comparaison, comprend à la fois les teneurs des éléments présents naturellement et les contaminations anthropiques diffuses et ponctuelles existantes sur la zone étudiée. Aujourd'hui, il n'existe pas de terme pour désigner cet état de référence ; on propose pour le désigner le terme « état pré-événementiel ». Dans le cas particulier d'une absence d'anthropisation marquée de l'environnement, les apports de l'événement naturel viendront se surajouter aux seules contributions des processus de dégradation de la roche-mère du sol. L'état de référence servant à la comparaison correspondra alors au « fond pédo-géochimique » de la zone.

Dans tous les cas, bien cerner l'état de référence approprié requiert, pour chaque situation, d'exprimer avec la plus grande clarté possible l'origine – naturelle ou anthropique – des éléments constitutifs de l'environnement, que l'on souhaite retenir comme état de référence. Cela favorise également une formulation plus précise de l'objectif attendu de l'étude et, donc, de la comparaison avec l'état de référence, ainsi qu'un choix méthodologique plus explicite et argumenté dans la caractérisation de cet état de référence environnemental.

Ce dernier point est majeur. Les difficultés méthodologiques concernent d'abord la stratégie d'échantillonnage retenue, pour connaître la distribution spatiale de la contamination des sols. Il n'est pas rare de mettre en évidence, dans le sol étudié, des différences pouvant aller jusqu'à trois ordres de grandeurs, entre les différentes valeurs de concentrations liées aux seules propriétés naturelles du milieu [40;41]. Si les apports anthropiques n'arrivent pas, le plus souvent, à masquer l'hétérogénéité spatiale des teneurs en éléments liée aux processus géochimiques naturels (*natural geochemical processes*), ils n'en n'altèrent pas moins le « fond naturel » [42].

Ensuite, la capacité à identifier une signature spécifique des sources d'une contamination est limitée. S'il a été possible de distinguer les apports des différentes sources de plomb, en revanche, pour nombre de substances (comme les composés organiques), l'accès à cette connaissance est encore difficile. Parmi les origines exogènes des émissions de plomb dans l'atmosphère, l'origine anthropique représente de 10 à 80 % de la quantité totale émise selon les études, alors que la part de l'origine naturelle est généralement inférieure à 5 % [43;44]. De ce fait, même si la part du plomb provenant de la combustion des essences plombées dans la pollution des sols de surface français tend à

diminuer, elle peut néanmoins encore atteindre 68 %, voire 83 % de la teneur en plomb totale des sols étudiés, selon leur type [45].

Conclusion

L'évolution des concepts et des pratiques, ainsi que la pluridisciplinarité des domaines d'utilisation, ont conduit à multiplier les termes désignant les différents états de l'environnement utilisés pour établir des comparaisons. Les premiers se réfèrent à des significations précises de la composition d'un sol en éléments. Ils expriment, par là, la connaissance que l'on a des sources et des processus de contamination, qui sont caractérisés lors de la mesure des teneurs dans les sols. Il s'agit principalement des termes « fond géochimique », « fond naturel » et « fond ambiant ». Les deuxièmes traduisent plutôt la finalité attendue de l'étude : répondre à une question donnée, dans une situation donnée. On parle alors d'état de « référence environnementale », d'« état initial environnemental » et d'« état d'environnement témoin ».

Cet article entendait démontrer la nécessité d'une clarification de ces nombreux termes, d'ailleurs très souvent utilisés les uns à la place des autres. Si certains semblent trop génériques pour pouvoir être employés sans risque de confusion, la plupart d'entre eux se complètent ; mais d'autres manquent encore.

Cette clarification, dont la nécessité est illustrée par les quatre cas décrits précédemment, exige un renforcement de l'interdisciplinarité entre les sciences du sol et les sciences de la santé, et ce, dès l'analyse de la situation. En corollaire, ce rapprochement est de nature à faciliter, pour l'ensemble des acteurs, la formulation des objectifs scientifiques d'une étude, les choix méthodologiques lors de la construction du protocole correspondant et, enfin, l'interprétation des résultats, permettant une gestion éclairée de la situation.

Notes

* Institut de veille sanitaire (InVS) – Département Santé Environnement.

** Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) – Direction des Risques Chroniques.

*** Conservatoire national des arts et métiers – Chaire Hygiène et Sécurité.

Bibliographie

[1] WHO. Environmental Health Criteria 144. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 1993.

[2] CERCLA. Comprehensive Environmental Response Compensation and Liability Act (CERCLA). 1986. Report No. : Section 104 (a)(3)(A).

[3] MEEDDAT. Modalité de gestion et de réaménagement des sites pollués. Annexe 2. 7 A.D. Feb 8.

[4] Palumbo B, Angelone M, Bellanca A, Dazzi C, Hauser S, Neri R, *et al.* Influence of inheritance and pedogenesis on heavy metal distribution in soils of Sicily, Italy. *Geoderma* 2000;95:247-66.

[5] Rawlins BG, Webster R, Lister TR. The influence of parent material on topsoil geochemistry in eastern England. *Earth Surfaces Processes and Landforms* 2003;28:1389-409.

[6] Zhao FJ, McGrath SP, Merrington G. Estimates of ambient background concentrations of trace metals in soils for risk assessment. *Environ Pollut* 2007 Jul;148(1):221-9.

[7] Hassanin A, Breivik K, Meijer SN, Steinnes E, Thomas GO, Jones KC. PBDEs in European background soils : levels and factors controlling their distribution. *Environ Sci Technol* 2004 Feb 1;38(3):738-45.

[8] Hassanin A, Breivik K, Meijer SN, Steinnes E, Thomas GO, Jones KC. PBDEs in European background soils: levels and factors controlling their distribution. *Environ Sci Technol* 2004 Feb 1;38(3):738-45.

[9] Reimann C, Garrett RG. Geochemical background – concept and reality. *Sci Total Environ* 2005 Nov 1;350(1-3):12-27.

[10] USEPA. Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I : Human Health Evaluation Manual (Part A), Chapter 4.4 : Data Collection, Definition Background Sampling Needs. Washington DC: Office of Emergency and Remedial Response, U.S. Environmental Protection Agency, 1989. Report No.: EPA/540/1-89/002.

[11] USEPA. Guidance for comparing background and chemical concentrations in soil for CERCLA sites. Washington DC : Office of Emergency and Remedial Response, U.S. Environmental Protection Agency, 2002 Sep. Report No.: EPA 540-R-01-003, OSWER9285.7-41.

[12] NAVFAC. Guidance for environmental background analysis; Volume I : Soil NFESC User's Guide. Washington DC: Naval Facilities Engineering Command, 2002. Report No. : Technical Report UG-2049-ENV.

[13] Cestri R, Srivastava J, Jung S. Agriculture Non-Point Source Pollution Control: Good Management Practices – The Chesapeake Bay Experience. Washington, DC : World Bank, 2003. Report No.: World Bank Working Paper number 7.

[14] Nriagu JO, Pacyna JM. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature* 1988 May 12;333(6169):134-9.

[15] Flament P, Bertho ML, Deboudt K, Veron A, Puskaric E. European isotopic signatures for lead in atmospheric aerosols : a source apportionment based upon 206Pb/207Pb ratios. *Sci Total Environ* 2002 Sep 16;296(1-3):35-57.

[16] Hawkes HE, Webb JS. *Geochemistry in Mineral Exploration*. New York: Harper, 1962.

[17] Paustenbach DJ. The practice of exposure assessment : a state-of-the-art review. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2000 Jul;3(3):179-291.

[18] Baize D. « Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France) ». Référence et stratégies d'interprétation. Editions, Paris: Institut de recherche agronomique (Inra), 1997.

[19] Cobelo-García A, Prego R. Heavy metal sedimentary record in a Galicia Ria (NW Spain): background values and recent contamination. *Mar Pollut Bull* 2003;46(10):1253-62.

[20] Camarero L, Masqué P, Devos W, Ani-Ragolta I, Catalan J, Moor HC, *et al.* Historical variations in lead fluxes in the

- Pyrénées (northeast Spain) from dated lake sediment core. *Water, Air and Soil Pollution* 1998;105:439-49.
- [21] de Vries W, Vel E, Reinds DJ, Deelstra H, Klap JM, Leeters EEJ, *et al.* Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe, 1. Objectives, set-up and evaluation strategy. *Forest Ecol Manag* 2002;5890:1-19.
- [22] Paustenbach DJ. The practice of exposure assessment : a state-of-the-art review. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2000 Jul;3(3):179-291.
- [23] Zhao FJ, McGrath SP, Merrington G. Estimates of ambient background concentrations of trace metals in soils for risk assessment. *Environ Pollut* 2007 Jul;148(1):221-9.
- [24] Chen M, Ma JQ, Hoogeweg CG, Harris WS. Arsenic background concentrations in Florida, U.S.A. surface soils : determination and interpretation. *Environ Forensics* 2001;2:117-26.
- [25] Petterson J, Lovell GA, Cussins T. Background concentrations of selected trace elements in Canterbury soils. Tonkin and Taylor Ltd, 2006. Report No. : Environment Canterbury.
- [26] Reimann C, de CP. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment : regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Sci Total Environ* 2005 Jan 20;337(1-3):91-107.
- [27] Paustenbach DJ. The practice of exposure assessment: a state-of-the-art review. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2000 Jul;3(3):179-291.
- [28] MEEDDAT. Modalité de gestion et de réaménagement des sites pollués. Annexe 2. 7 A.D. Feb 8.
- [29] USEPA. Guidance for comparing background and chemical concentrations in soil for CERCLA sites. Washington DC : Office of Emergency and Remedial Response, U.S. Environmental Protection Agency, 2002 Sep. Report No. : EPA 540-R-01-003, OSWER9285.7-41.
- [30] ISO. Soil quality : Guidance on the determination of background values (Qualité du sol : Guides pour la détermination des valeurs de bruit de fond). 2006. Report No. : International Organisation for Standardisation ISO 19258.
- [31] Martínez-Sánchez MJ, Pérez-Survent S, García-Lorenzo ML, Mantilla W, Solano A, Agudo I, *et al.* Background and baseline values for selenium in soils from Murcia Region (SE, Spain) and their relationship with mineralogical composition. *Geophysical Research Abstracts* 2008;10(EGU2008-A-05001):-2p.
- [32] Reimann C, Garrett RG. Geochemical background – concept and reality. *Sci Total Environ* 2005 Nov 1;350(1-3):12-27.
- [33] King D, Stengel P, Jamagne M, Le Bas C, Arrouays D. Soil Mapping and Soil Monitoring: State of Progress and Use in France. *Soil Resources of Europe*. RJA Jones, Housková, Bullock P, Montanarella L (eds) ed. 2005. p. 139-46.
- [34] Darmendrail D, Baize D, Barbier J, Freyssinet P, Mouvet C, Salpéteur I, *et al.* « Fond géochimique naturel : état des connaissances à l'échelle nationale ». 2000. Report No.: BRGM/RP-50158-FR.
- [35] Colinet G, Laroche J, Etienne M, Lacroix D, Bock L. « Intérêt d'une stratification pédologique pour la constitution de référentiels régionaux sur les teneurs en éléments traces métalliques dans les sols de Wallonie ». *Biotechnol Agron Soc Environ* 2004;8(2):83-94.
- [36] Baize D, Sterckeman T. Of the necessity of knowledge of the natural pedo-geochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements. *Sci Total Environ* 2001 Jan 8;264(1-2):127-39.
- [37] Mathieu A, Baize D, Raoul C, Daniau C. « Proposition de référentiels régionaux en éléments traces métalliques dans les sols : leur utilisation dans les évaluations des risques sanitaires ». *Environnement, Risques & Santé* 2008;7(2):112-22.
- [38] Paustenbach DJ. The practice of exposure assessment: a state-of-the-art review. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2000 Jul;3(3):179-291.
- [39] Smith AH, Sciortino S, Goeden H, Wright CC. Consideration of background exposures in the management of hazardous waste sites: a new approach to risk assessment. *Risk Anal* 1996 Oct;16(5):619-25.
- [40] Hamon RE, McLaughlin MJ, Gilkes RJ, Rate AW, Zarcinas B, Robertson A, *et al.* Geochemical indices allow estimation of heavy metal background concentrations in soils. *Global Biochemical Cycles* 2004;18:GB1014.
- [41] Alloway BJ. *Heavy Metals in Soils*. Glasgow: Blackie and Son, 1990.
- [42] Reimann C, de CP. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment : regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Sci Total Environ* 2005 Jan 20;337(1-3):91-107.
- [43] Ferrand JL, Hamelin B, Monaco A. Isotopic tracing of anthropogenic Pb inventories and sedimentary fluxes in Gulf of Lions (NW Mediterranean sea). *Continental Shelf Research* 1999;19:23-47.
- [44] Flament P, Bertho ML, Deboudt K, Veron A, Puskaric E. European isotopic signatures for lead in atmospheric aerosols : a source apportionment based upon 206Pb/207Pb ratios. *Sci Total Environ* 2002 Sep 16;296(1-3):35-57.
- [45] Hernandez L, Probst A, Probst JL, Ulrich E. Heavy metal distribution in some French forest soils : evidence for atmospheric contamination. *Sci Total Environ* 2003 Aug 1;312(1-3):195-219.