

Sources de variations et d'incertitudes dans l'estimation des expositions lors des études santé de Sites et Sols Pollués : caractérisation, étude comparative et voies d'amélioration des prises en compte.

Etude commanditée par RECORD
Réalisée par SEPIA-Santé



Pascal De Giudici
Marie-Thérèse Guillam
Sylvie Martin
Claire Ségala



Evaluations quantitatives des risques sanitaires de sites et sols pollués

*Analyse des sources de variations et d'incertitudes
dans l'estimation des expositions*



C4H5O2 5 2/ 9/99 THERMC 4H SO 2 OG 300.000 5000.000 1392.000 1
1.64121890E+01 1.20184883E-02-4.40469566E-06 7.30124728E-10-4.42784365E-14 2

RECORD 12-0675/1A

décembre 2014



<http://www.record-net.org/rapports>

SEPIA SANTÉ

RAPPEL DES OBJECTIFS

1. Etudier les **sources** de variations et d'incertitudes concernant les exposition lors des évaluations des risques sanitaires de **sols pollués**
2. Proposer des **recommandations** destinées à guider l'utilisateur ou le commanditaire d'ERS dans la conduite des études
3. Proposer des voies d'**amélioration** et de **recherches** complémentaires afférentes à cette problématique

Exigences sur le traitement des incertitudes dans les études santé des Sites et Sols Pollués (SSP)

- Traitement des incertitudes **demandé** dans les procédures SSP internationales (OMS), étrangères (US-EPA, RIVM, etc.) et françaises (norme NF X 31-620-2011, guides MEDD, InVS, INERIS)
- Principe : approfondissement proportionné aux enjeux de l'étude
- Trois niveaux
 - Qualitatif : tendances à la maximisation/minimisation de l'exposition
 - Semi-quantitatif : analyse de sensibilité sur 1 ou plusieurs paramètres
 - Quantitatif : prise en compte combinée des valeurs possibles de chaque paramètre
 - Distribution connue (paramétrique) : approche probabiliste, par exemple : poids corporel)
 - Distribution non connue : approche possibiliste (logique floue ou probabilités incertaines), par exemple : concentration d'un polluant sur un site hétérogène, estimation à dires d'experts
 - Paramètres de distribution connue + non connue : approche mixte : didacticiel Hyrisk développé par le BRGM

Grands types d'incertitudes dans les études SSP

- **Variabilité** : peu décrite et estimée, mais non réduite.
 - Description par une distribution statistique
 - Exemples : facteurs humains d'exposition tels que le poids corporel, la consommation d'eau
 - la variabilité de certains paramètres (variations saisonnières, interannuelles du niveau des nappes phréatiques, etc.) reste difficile à décrire par des fonctions de distribution.
- **Erreur humaine ou technologique, réductible**
 - Exemple : analyses de laboratoire et autres mesures physiques ou chimiques, prélèvements d'échantillons, géolocalisation, report de données, etc..
 - Une grande partie de ces erreurs, en particulier les erreurs analytiques, sont quantifiables en amplitude par des techniques adaptées.
- **Ignorance** (ou connaissance limitée), réductible
 - Exemple : phénomènes complexes encore peu connus, inexistence de documents, impossibilité de mesurer les concentrations en tout point d'un site
 - Peut être réduite par augmentation du nombre d'échantillons prélevés, retours d'expérience, les jugements d'experts, des approches statistiques particulières (géostatistiques)

Critères de caractérisation des sources d'incertitudes

- La **nature** de d'incertitude : ignorance, erreur, variabilité
- La **tendance** résultant de la non-prise en compte de l'incertitude.
 - Une tendance positive (+) signifie que les valeurs retenues sans réduction de l'incertitude ont tendance à surestimer l'exposition,
 - Les sources d'incertitude peuvent produire une tendance positive ou négative (+/-), ou alors plus fréquemment positive (+/-) ou plus fréquemment négative (+/-).
- **L'amplitude** :
 - écart, ou proportion, entre les valeurs de paramètres d'exposition acquises ou déterminées d'une part selon l'application minimales des règles de l'art et d'autre part après réduction volontaire des incertitudes (C).
 - **indices d'amplitude** é élabores soit par le **calcul**, soit par **jugement d'experts** membres du comité de suivi RECORD (E).
- La **répercussion** sur les critères de décision
 - indices de risques, catégorisation des milieux en « pollué » ou « non pollué »
- La **site dépendance**.
- Les **pratiques actuelles**
 - sur la base de l'examen d'une sélection de 8 rapports d'études, fournis par les membres de RECORD, réalisées entre 2011 et 2013, et tous ont été validés par les autorités sanitaires et environnementales.

Caractérisation des sources d'incertitudes (1)

Incertitudes liées à l'échantillonnage

Source d'incertitude	Type d'incertitude	Tendance	Amplitude (indice)	Règles de l'art applicables ou pratiques courantes	Autres moyens de réduction ou traitement
Connaissance des substances d'intérêt	Ignorance	(-)	10 (E)	Guides techniques et méthodologiques	Etude bibliographique
Echantillonnage sol	Ignorance	(-)	100 (E) ou 10 ⁽²⁾ (E)	Guides techniques et méthodologiques	Géostatistique appliquée à l'échantillonnage, détermination de la concentration représentative
Echantillonnage déchets	Ignorance	(-)	10 (E)	Guides techniques et méthodologiques	Idem
Echantillonnage eaux de surface	Ignorance	(-)	10 (E)	Normes Guides techniques et méthodologiques	Géostatistique, connaissance du régime hydrologique
Echantillonnage eaux souterraines	Ignorance	(+/-)	20 (E)	Normes Guides techniques et méthodologiques	Géostatistique, connaissance de l'aquifère et des battements saisonniers
Echantillonnage plantes potagères	Ignorance	(+/-)	10 (C)	Guides techniques et méthodologiques	Vérifier cohérence concentrations sol/végétal Eviter le chou pour les HAP
Echantillonnage air intérieur	Ignorance	(+/-)	10 (E)	Normes Guides techniques et méthodologiques	-
Echantillonnage gaz du sol	Ignorance	(+/-)	20 (E)	Normes Guides techniques et méthodologiques	Utilisation chambre de captage

Caractérisation des sources d'incertitudes (2)

Incertitudes liées aux mesurages

Source d'incertitude	Type d'incertitude	Tendance	Amplitude (indice)	Règles de l'art applicables ou pratiques courantes	Autres moyens de réduction ou traitement
Mesurages <i>in situ</i>	Erreur	(+/-)	10 (E)	Normes Guides techniques et méthodologiques	-
Gestion des échantillons	Erreur	(+/-)	2 (E)	Normes Guides techniques et méthodologiques	-
Choix de méthode de mise en solution des ETM	Ignorance	(+)	3 (C) (Cr et Ni)	-	Utilisation de la méthode Eau Régale
Analyse instrumentale	Erreur	(+/-)	3 (C)	Normes. Choix de laboratoire accrédité.	-
Situation de référence (sols pollués)	Ignorance	-	-	Consultation des référentiels nationaux	Consultation/élaboration de référentiels locaux avec mêmes méthodes de solubilisation ETM
Prises en compte des hydrocarbures totaux et fractions	Erreur	(+)	10 (E)	Représentants et substituts proposés par MADEP, TPHCWG, RIVM	Eviter d'utiliser de substituts à VTR avec FI >> 1000 Eviter le double emploi des VTR de HAP

Caractérisation des sources d'incertitudes (3)

Incertitudes liées aux facteurs humains d'exposition

Source d'incertitude	Type d'incertitude	Tendance (')	Amplitude (indice)	Règles de l'art applicables ou pratiques courantes	Autres moyens de réduction ou traitement
Masse corporelle Débit respiratoire Surface corporelle	Variabilité	(+/-) (+/-) (+/-)	2 (C) 2 (C) 2 (C)	Valeurs standards recommandées par les institutions	Exploitation de données françaises actualisées.
Fréquence d'exposition	Ignorance	(+/-)	2 (C)	Valeurs standards recommandées par les institutions	Exploitation de données françaises actualisées. Scénarios réalistes
Durée d'exposition	Ignorance	(+/-)	2 (C)	Valeurs standards recommandées par les institutions	Scénarios réalistes
Ingestion de terre (enfants et adultes)	Ignorance	(+/-)	5 (E)	Valeurs standards recommandées par les institutions	Exploitation de données actualisées
Consommation eau de boisson	Variabilité	(+/-)	2(C)	Enquête nationales consommation	-
Consommation des légumes autoproduits	Ignorance	(+)	5 (E)	Enquête nationales consommation	Enquêtes spécifiques. Enquête actualisées et proches du site

Caractérisation des sources d'incertitudes (4)

Incertitudes liées à la prise en compte de la biodisponibilité et la bioaccessibilité

Définitions :

- fraction **bioaccessible** par voie orale : fraction massique du contaminant extraite de la matrice et mise en solution par l'action mécanique et chimique du passage dans le tractus gastro-intestinal (mesurée par tests *in vitro*).
- la fraction **biodisponible** par voie orale : la fraction massique qui atteint la circulation sanguine (mesurée par test *in vivo*).

Source d'incertitude	Type d'incertitude	Tendance (')	Amplitude (indice)	Règles de l'art applicables ou pratiques courantes	Autres moyens de réduction ou traitement
Biodisponibilité, bioaccessibilité	Ignorance	(+/-)	100 (E)	Valeur de 100% par défaut	Utilisation de tests in vitro avec sol du site ou par défaut de valeurs validées par US-EPA

Conclusions sur les incertitudes

- Les études santé de SSP sont basées sur des **concentrations** de polluants dans les différents milieux d'exposition (sols, eaux de surface et souterraines, gaz du sol, air intérieur, plantes potagères, etc.) : leurs incertitudes se **propagent** donc le long de la chaîne de calcul des risques sanitaires.
- En début de chaîne, les concentrations de polluants dans les sols présentent les plus fortes amplitudes d'incertitude (coût des prélèvement et analyses => nombre limité). Réduction par :
 - méthodes **d'analyses *in situ*** : nombreux polluants, grande surface mais précision limitée : « débroussaillage »
 - méthodes de **géostatistique** : incertitudes afférentes aux concentrations mesurées en fonction du lieu de prélèvement,
 - Non recours systématique à la concentration maximale observée sur un site mais indicateur statistique (**maximum raisonnable**)
- En bout de chaîne : biodisponibilité des polluants dans les sols montre également une forte amplitude d'incertitude. Réduction par tests de bioaccessibilité *in vitro* (validés ou validation en cours).
- Niveau intermédiaire, les facteurs humains : incertitudes de moindre amplitude, mais nécessité de réduction pour éviter la multiplication des erreurs. Nécessité d'une meilleure connaissance du taux d'ingestion de terre par l'enfant et surtout par l'adulte.

Application aux procédures pour les commanditaires d'études SSP

- En fonction de la complexité du site :
 - mobilisation d'un géostatisticien-conseil assistant du commanditaire
- Au niveau du cahier des charges du DCE :
 - description précise des exigences afférentes au traitement des incertitudes (avec nombre minimal d'échantillons)
- Au niveau de la réalisation de l'étude :
 - revue du plan d'investigation soumis par le prestataire
- Au niveau du rapport provisoire :
 - validation du traitement des incertitudes

Pistes de recherche proposées

Les critères retenus :

- Le poids actuel de l'incertitude visée dans les décisions relative à l'évaluation sanitaire et la gestion des Sites et Sols Pollués (SSP),
- La possibilité de réduire cette incertitude par une action de recherche à court terme (moins de 5 ans) nécessitant un budget relativement limité (moins de 150 000 euros),
- La possibilité d'appliquer directement des résultats de la recherche dans la méthodologie actuelle des études santé des SSP.

Quatre pistes de recherches proposées :

- Mise au point de **tests standardisés de phyto-disponibilité** pour les SSP,
- Faisabilité d'une systématisation de la **prospection par sondes de mesure in situ couplée à la géostatistique** dans le but de réduire les incertitudes sur les sites répondant à certains critères,
- Mise au point d'un **logiciel d'analyse géostatistique évaluant les incertitudes** d'échantillonnage directement du point de vue des risques sanitaire (étude pilote),
- Mise au point d'un **guide méthodologique pour l'application de l'approche possibiliste** dans le traitement des incertitudes liées aux études santé des Sites et Sols Pollués et la communication autour des résultats qui en découlent

Merci de votre attention !

Remerciements aux membres du Comité de Pilotage

M. CAZALETZ Jean-Paul, TOTAL
Mme CHARTON-BISSETTA Julie, EDF
M. CIMOLINO Lauro, SOCOTEC
Mme COUFFIGNAL Bénédicte, RECORD
Mme GENEAU Laetitia, GRS VALTECH
Mme GREGORI Patrizia, SNCF
M. KECK Gérard, VETAGRO SUP
M. MAROT Frank, ADEME
M. ZAGURY Gérard, TOTAL

Les membres de RECORD :

