

JUIL.
2017

TROPHÉ

TRANSFERTS ET RISQUES DES ORGANIQUES PERSISTANTS POUR L'HOMME ET LES ECOSYSTEMES

Livrable n°6 : Analyse croisée des démarches ERS et éRé dans le cadre des Sites et Sols Pollués

Rapport

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

En partenariat avec :

INERIS
maîtriser le risque |
pour un développement durable

REMERCIEMENTS

Comité de pilotage :

Cécile GRAND (ADEME)

Franck MAROT (ADEME)

Marina GUEDARD et Jean Jacques BESSOULE (LEB Aquitaine Transfert – Université de Bordeaux)

Olivier FAURE (Ecole des Mines de Saint-Etienne (EMSE))

Benjamin PAUGET et Annette DEVAUFLEURY (Laboratoire Chrono Environnement - Université de Franche Comté)

Blandine CLOZEL (BRGM Rhône-Alpes)

Muriel ISMERT (EDF R&D)

Jean François NAU (EODD – bureau d'études)

Antoine RICHARD (INRA)

Matthieu GROSSEMY (TOTAL – PERL)

Matthieu DELANNOY (UR-AFPA – Université de Lorraine)

Contrôle Qualité INERIS :

Nicolas Pucheux, Rédaction

Emmanuelle Boulvert, Rédaction

Nathalie Velly, Vérification

Karen Perronnet, Vérification

Martine Ramel, Approbation

CITATION DE CE RAPPORT

ADEME, INERIS. 2017. TROPHÉ : Analyse croisée des démarches ERS et éRé dans le cadre des Sites et Sols Pollués - Rapport. 39 pages

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque et www.ineris.fr

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé

BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1372C0062

Référence INERIS : DRC-17-138302-05457A

Étude réalisée par l'INERIS pour ce projet cofinancé par l'ADEME et l'INERIS

Projet de recherche coordonné par : Karen Perronnet - INERIS

Appel à projet de recherche : GESIPOL 2013

Coordination technique - ADEME : Marot Franck

Direction Villes et Territoires Durables

Services Friches Urbaines et Sites Pollués – ADEME (Angers)



Sommaire

I	Introduction.....	9
II	Cadre des démarches	10
III	Méthodologie des démarches.....	15
1.	L'évaluation des enjeux et des voies d'exposition.....	15
2.	L'identification des dangers.....	21
3.	L'identification des relations « dose-réponse ».....	23
4.	L'évaluation des expositions	28
5.	La caractérisation des risques	34
IV	Conclusions de la comparaison des démarches.....	37



Table des Figures

Figure 1 : Exemple de schéma conceptuel d'exposition dans le cadre d'une EQRS	17
Figure 2 : Exemple de schéma conceptuel d'exposition dans le cadre d'une éRé	18
Figure 3 : schéma conceptuel d'exposition pour des populations humaines exposées à l'ingestion de la substance 2,3,7,8 -TCDD contenu dans un sol de maille P4.....	19
Figure 4 : Schéma d'exposition pour une chaîne de transfert via le réseau trophique (écosystème) à l'ingestion de la substance 2,3,7,8-TCDD contenu dans un sol de maille P4.....	20

Table des Tableaux

Tableau 1 : Comparaison du cadre et du contexte des démarches EQRS et éRé.....	11
Tableau 2 : Comparaison des enjeux et des voies d'exposition possibles dans le cadre des démarches EQRS et éRé	16
Tableau 3 : Comparaison de l'étape d'identification des dangers des démarches EQRS et éRé.....	22
Tableau 4 : Comparaison de l'étape d'identification des relations « dose-réponse » des démarches EQRS et éRé	24
Tableau 5 : Comparaison de l'étape d'évaluation des expositions des démarches EQRS et éRé	29
Tableau 6 : Comparaison de l'étape de caractérisation des risques des démarches EQRS et éRé....	35



Abréviations

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
BCF	<i>BioConcentration Factor</i> (Facteur de Bioconcentration)
BMD	BenchMark Dose
BMF	<i>Biomagnification factor</i> (Facteur de Bioamplification)
DCE	Directive Cadre sur l'Eau
DGS	Direction Générale de la Santé
DJE	Dose Journalière d'Exposition
EC10	Concentration susceptible de provoquer des effets sur 10% de la population testée
EC50	Concentration susceptible de provoquer des effets sur 50% de la population testée
éRé	évaluation des Risques pour les écosystèmes
EQRS	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
ERI	Excès de Risque Individuel
ERS	Evaluation des Risques Sanitaires
ERU	Excès de Risque Unitaire
HEROIC	Projet européen " <i>Health and Environmental Risks : Organisation, Integration and Cross-fertilisation of Scientific Knowledge</i> "
INERIS	Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des risques
LOAEL	<i>Lowest Observable Adverse Effect Level</i>
LOEC	<i>Low Observable Effect Concentration</i>
MEEM	Ministère en charge de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer. Actuellement Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire.
NOAEL	<i>No Observable Adverse Effect Level</i>
NOEC	<i>No Observable Effect Concentration</i>
NRC	<i>National Research Council</i>
pc	Poids corporel
PCB	PolyChloroBiphényle
PCDD	PolyChlorodibenzoDioxine
PCDF	PolyChlorodibenzoFuranne
PEC	<i>Predicted Exposure Concentration</i>
PNEC	<i>Predicted No Effect Concentration</i>
POP	Polluant Organique Persistant
QD	Quotient de Danger
REACH	<i>Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals</i> (Règlement européen pour l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction des substances chimiques entré en vigueur le 1er juin 2007)
SSP	Sites et Sols Pollués
I-TEQ	Conversion de la concentration selon les facteurs toxiques équivalents (TEF)
TEF	Facteur de Toxicité Equivalente
TEQ	Quantité Equivalente Toxique. Permet d'exprimer la quantité de l'ensemble des congénères PCCD/F et PCB-dl par rapport à leur toxicité
TGD	<i>Technical Guidance Document</i>
TROPHé	Transferts et Risques des Organiques Persistants pour l'Homme et les écosystèmes
USEPA	<i>Environmental Protection Agency of United States</i>
VTR	Valeur Toxicologique de Référence ; AS : A Seuil de dose ; SS : Sans Seuil de dose



Synthèse du projet

Le projet TROPHé, **T**ransferts et **R**isques des **O**rganiques **P**ersistants pour l'**H**omme et les **é**cosystèmes, repose sur trois principaux objectifs :

- améliorer les connaissances sur les transferts, la bioaccumulation et la biodisponibilité des polychlorobiphényles (PCB) et des polychlorodibenzo-dioxines/-furannes (PCDD/F) au sein de la chaîne alimentaire et des réseaux trophiques, dans le but d'avoir une meilleure prise en compte de ces mécanismes dans les évaluations des risques sanitaires (ERS) et les évaluations de risques pour les écosystèmes (éRé) dans le cadre de la gestion des sites et sols pollués ;
- évaluer les expositions et les risques à l'aide des outils de modélisation MODUL'ERS dans le cadre des ERS et Terrasys dans le cadre des éRé ;
- identifier des étapes et des outils communs entre les études ERS et éRé afin d'améliorer les analyses environnementales qui nécessitent aujourd'hui d'être développées et structurées.

Dans un premier temps, des expérimentations en laboratoire ont permis de déterminer des facteurs de bioconcentration (BCF) pour les végétaux potagers couramment cultivés en France, ainsi que pour les invertébrés (réseau trophique). Les terres utilisées proviennent d'anciennes parcelles agricoles situées autour d'un ancien site industriel, ayant subi une pollution par dispersion de polluants organiques persistants (POPs) dans l'environnement suite à un incendie.

La culture de végétaux potagers et l'exposition de vers de compost à des terres plus ou moins contaminées aux PCB et aux PCDD/F permettent de mettre en évidence un transfert de ces substances dans le réseau trophique, et dans une moindre mesure, dans la chaîne alimentaire au travers de la consommation de légumes cultivés.

Les facteurs de bioconcentration (BCF) sont globalement plus élevés pour les PCB que pour les PCDD/F à la fois pour les végétaux et les invertébrés, avec des valeurs de BCFmoyen comprises entre 10^{-2} et 2 pour les vers de compost, et entre 10^{-4} et 1 pour les végétaux potagers (pomme de terre, carotte, salade, haricot, courgette) pour des concentrations de sol comprises entre 3,5 et 37,5 µg/kg de PCB, et entre 0,05 et 5,4 µg/kg de PCDD/F. Quelques valeurs de BCFmoyen sont comprises entre 1 et 15 pour les PCB les moins chlorés (moins de 5 atomes de chlore) au niveau des laitues cultivées, ainsi que pour la majorité des PCB au niveau des courgettes.

Les valeurs de BCF peuvent varier, pour les végétaux, jusqu'à deux ordres de grandeur selon le niveau de contamination des sols, alors que cette variation est inférieure à un ordre de grandeur pour les vers de compost. Pour les végétaux et les vers de compost, les PCB coplanaires non-ortho substitués (PCB 77, PCB 81, PCB 126 et PCB 169) présentent des valeurs de BCF inférieures à celles concernant les PCB de même degré de chloration.

Dans un second temps, une ERS a été menée sur la base des BCF obtenus expérimentalement pour modéliser les transferts des dioxines/furannes et des PCB dans la chaîne alimentaire et étudier la sensibilité de certains paramètres tels que la concentration des POPs spécifique à la fraction adhérente aux mains susceptible d'être ingérée par contact main-bouche *versus* la concentration pour l'échantillon de terre non tamisé, la prise en compte de facteurs de bioconcentration estimés tenant compte des valeurs inférieures aux limites de quantification, et la considération de la biodisponibilité relative des POPs dans le sol. En parallèle, une éRé a été conduite sur la base des facteurs de bioconcentration obtenus sur les vers de compost exposés aux terres impactées, et de réseaux trophiques plus ou moins complexes.

Conclusions de l'Évaluation des expositions et des risques sanitaires chez l'Homme :

Concernant le niveau d'exposition lors de l'ingestion non intentionnelle de sol, l'étude de sensibilité des paramètres montre l'influence notable de la quantité ingérée retenue et de la concentration des polluants organiques sur la fraction adhérente aux mains (fraction granulométrique inférieure à 250 µm), et dans une moindre mesure, celle de la biodisponibilité relative en raison des pourcentages élevés obtenus pour les PCB indicateurs (> 80%).

Quant à la consommation de végétaux, l'exposition diffère selon les classes d'âge, en raison du bol alimentaire spécifique à chaque classe d'âge et d'une contribution de chaque congénère variable en fonction du végétal considéré, avec une proportion plus élevée de PCB apportés par l'alimentation. Il en résulte que l'ingestion de POPs via les sols et les végétaux cultivés sur des sols contaminés constitue une voie prépondérante pour l'exposition des populations, notamment des enfants. L'exposition par ingestion non intentionnelle de sol pour les PCDD/F est, pour les enfants, sensiblement équivalente à celle par ingestion de végétaux cultivés.



La considération de valeurs de BCF estimés pour les polluants disposant de concentrations inférieures aux limites de quantification (LQ) du laboratoire constitue une approche conservatoire qui apparaît ici peu sensible pour les risques sanitaires calculés. Sur la base des scénarios retenus et des LQ fournies par le laboratoire d'analyse, cette considération induit une surestimation du risque sanitaire jusqu'à 30% au maximum.

Concernant le risque, ce sont majoritairement les PCDD/F et le PCB126 qui tirent le risque sanitaire en cas de consommation de végétaux cultivés sur des sols pollués, notamment pour les enfants, en raison des valeurs toxicologiques élevées alors que ces polluants sont peu transférés dans les végétaux par rapport aux autres PCB.

Conclusions de l'Évaluation des risques pour les écosystèmes :

Le retour d'expérience de l'application du logiciel TerraSys pour évaluer les risques pour les écosystèmes met en évidence la sensibilité de certains paramètres. En l'absence de PNEC¹ (concentration sans effet prévu) pour les PCB et les PCDD/F, l'évaluation du risque pour les écosystèmes n'a pas pu être menée jusqu'à son terme, seule l'exposition a pu être évaluée. Les BCF peuvent être considérés comme les paramètres essentiels de l'évaluation des transferts de substances. Seules les valeurs de BCF avec un indice de confiance élevé (par exemple ne pas retenir des valeurs estimées à partir de concentrations mesurées inférieures à la limite de quantification) devraient être retenues. De plus, la valeur maximale du BCF, et non sa valeur moyenne, permet de ne pas sous-estimer le transfert de la substance aux maillons les plus élevés du réseau trophique.

En ce qui concerne la description du réseau trophique, il semble suffisamment protecteur de constituer un modèle conceptuel simplifié à la condition d'y intégrer des organismes situés à plusieurs niveaux de relations trophiques. Un premier prédateur suivi d'un prédateur supérieur semble constituer un minimum pour ne pas sous-estimer le transfert de ces contaminants dans l'écosystème.

Les suites du projet TROPHé portent à la fois sur l'acquisition de nouvelles valeurs de transfert dans d'autres contextes que ceux rencontrés ici (multi-pollution en PCB et PCDD/F, sol sableux, 5 espèces végétales et 1 invertébré terrestre), et sur la compréhension des phénomènes influant sur les transferts sol-plante / sol-invertébré et, par conséquent sur les risques pour l'Homme et pour les écosystèmes. A ce jour, les risques pour l'Homme sont davantage évalués que ceux pour les écosystèmes en raison des outils existants, de la connaissance des scénarii d'exposition et des valeurs toxicologiques de référence disponibles dans la littérature. Les approches d'évaluation du risque sanitaire pour l'Homme et du risque pour les écosystèmes restent complémentaires pour appréhender l'impact des PCB et des PCDD/F sur l'Environnement. Les études de sensibilité des paramètres restent essentielles pour appréhender leur influence sur l'évaluation des risques, notamment pour les écosystèmes en raison de l'absence d'outils méthodologiques.

Le projet TROPHé a fait l'objet de 6 livrables :

- **Livrables 1 et 2** : Synthèse des travaux expérimentaux menés sur le transfert des POPs dans les végétaux et les vers de compost
- **Livrable 3** : Evaluation des expositions et des risques sanitaires chez l'Homme
- **Livrable 4** : Evaluation des risques pour les écosystèmes – REX sur l'application des outils et méthodes sur un site pollué avec des POPs
- **Livrable 5** : Fiche technique sur l'approche graduée exemplifiée sur l'évaluation de l'empoisonnement secondaire
- **Livrable 6** : Analyse croisée des démarches ERS et éRé dans le cadre des Sites et Sols Pollués

¹ PNEC : *Predicted No Effect Concentration*



Résumé du livrable 6

La démarche d'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) s'appliquant à l'Homme et celle d'évaluation des Risques pour les écosystèmes (éRé) suivent une même structure méthodologique avec une phase d'identification des enjeux et des voies de transfert suivie de 4 étapes successives pour quantifier les risques : l'identification des dangers, l'identification des relations « dose-réponse », l'évaluation des expositions et la caractérisation des risques. Cependant, les deux démarches présentent des différences notables et pas seulement au niveau des objectifs de protection.

L'EQRS a pour but de préserver la santé des populations d'effets indésirables de polluants ayant des effets à seuil (effets systémiques, tels que les effets sur la reproduction et les effets cancérigènes non génotoxiques) et sans seuil (effets cancérigènes génotoxiques), en identifiant les voies et les substances porteuses des risques pour assurer l'acceptabilité d'un projet d'aménagement, par exemple. L'éRé a, quant à elle, l'objectif de préserver la structure, le fonctionnement et la biodiversité d'un écosystème, dans sa globalité. Tandis que l'EQRS s'intéresse aux effets néfastes sur un individu liés à la présence de substances chimiques dans les milieux environnementaux, l'éRé considère les espèces présentes dans les milieux ainsi que les relations qui les relie, notamment trophiques.

Ces deux démarches toutefois permettent d'adapter et de proportionner des mesures de gestion en identifiant les substances et les voies de transfert qui portent le risque.

Les approches d'évaluation du risque sanitaire pour l'Homme et du risque pour les écosystèmes restent complémentaires pour appréhender l'impact des PCB et des PCDD/F sur l'Environnement. Ainsi peut être envisagée une exploitation mutuelle des données liées au contexte local, telles que les résultats de mesures dans les compartiments environnementaux (caractérisation physico-chimique des sols, de l'eau, etc.) mais aussi la confrontation des paramètres modélisés par les outils propres à chaque démarche (TerraSys pour l'éRé, MODUL'ERS pour les EQRS) dès lors que les concentrations dans les milieux d'exposition ne sont pas disponibles. Enfin, il est possible de passer d'une VTR (voie d'exposition alimentation) à la valeur seuil pour l'empoisonnement secondaire des vertébrés terrestres avec un ajustement allométriques puisqu'elles sont issues de mêmes types de résultats de bioessais (essais sur rats par exemple).



I Introduction

Le projet **TROPHÉ** est issu de l'appel à projets de recherche GESIPOL lancé en 2013 (Recherche pour la gestion intégrée des sites pollués) et a démarré le 20 décembre 2013.

Il est financé par l'ADEME et co-financé par l'INERIS, porteur intégral du projet, dans le cadre de ses programmes d'appui au ministère chargé de l'environnement.

Ce projet porte sur les **T**ransferts et **R**isques des **O**rganiques **P**ersistants chez l'**H**omme et les **é**cosystèmes, à savoir les dioxines/furannes (PCDD/F) et les polychlorobiphényles (PCB : PCB_i et PCB_{-dl}).

Les terres utilisées pour cette étude proviennent de parcelles situées autour d'un ancien site industriel localisé à Saint Cyprien (42), et ayant subi une pollution par dispersion de Polluants Organiques Persistants (POPs) dans l'environnement suite à un incendie.

Ce projet a trois objectifs principaux :

- améliorer les connaissances sur les transferts, la bioaccumulation et la biodisponibilité des PCB et des PCDD/F au sein de la chaîne alimentaire et des réseaux trophiques, dans le but d'avoir une meilleure prise en compte de ces mécanismes dans les évaluations des risques sanitaires (ERS) et les évaluations de risques pour les écosystèmes (éRé) dans le cadre de la gestion des sites et sols pollués ;
- évaluer les expositions et les risques à l'aide des outils de modélisation MODUL'ERS, outil multi-compartiment créé et développé par l'INERIS pour l'évaluation des risques sanitaires chez l'Homme et Terrasys, développé par SANEXEN et utilisé lors des éRé ;
- identifier des étapes et des outils communs entre les études ERS et éRé afin d'améliorer les analyses environnementales qui nécessitent aujourd'hui d'être développées et structurées.

Le présent document, correspondant au Livrable n°6, fait état de la comparaison de la démarche d'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) et d'évaluation des Risques pour les écosystèmes (éRé) dans le cadre d'une problématique de gestion des Sites et Sols Pollués (SSP).

L'objectif est ainsi de mettre en évidence les liens et les différences entre ces deux démarches pour mettre en avant d'éventuels ponts entre les deux méthodologies dans le cadre des SSP.

La convergence des deux démarches fait l'objet d'autres travaux plus globaux, menés en amont du projet TROPHÉ, tel que le projet européen HEROIC² (*Health and Environmental Risks : Organisation, Integration and Cross-fertilisation of Scientific Knowledge*), dont l'objectif était d'harmoniser et d'intégrer les outils et les méthodologies existantes des évaluations des risques pour l'Homme et les écosystèmes pour le développement d'une méthodologie intégrative.

² Projet HEROIC : *Health and Environmental Risks: Organisation, Integration and Cross-fertilisation of Scientific Knowledge*. Site Internet : <http://www.heroic-fp7.eu/en/home/>



II Cadre des démarches

La démarche d'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) est historiquement antérieure dans les textes réglementaires dans le cadre des Sites et Sols Pollués (SSP)³ et de la gestion des installations classées, ayant été jugée prioritaire par rapport à la démarche d'évaluation des Risques pour les écosystèmes (éRé). De nombreux outils de recherche sont disponibles pour l'éRé, cités dans plusieurs guides, mais ne sont pas à l'heure actuelle inclus dans un cadre réglementaire structurant en France.

L'évaluation des risques pour les écosystèmes peut s'appréhender selon trois approches différentes :

- l'approche chimique, « par substance » qui correspond à la méthode miroir de la démarche EQRS. Elle oppose une concentration de danger à une concentration d'exposition pour obtenir un indice de risque ;
- l'approche écotoxicologique qui considère la toxicité d'une matrice complète (effluent, sédiment ou sol) avec tout ce qu'elle contient ;
- et l'approche écologique qui consiste à étudier la variation de la biodiversité dans les habitats exposés.

Dans le cadre de ce rapport, la comparaison des méthodes concerne principalement l'approche par substance bien qu'il soit parfois fait référence aux deux autres approches.

Le Tableau 1 suivant fait la comparaison du cadre et du contexte des démarches EQRS et éRé.

³ Textes réglementaires pour la gestion des sites et sols pollués publiés en 2007 puis mis à jour en 2017.



Tableau 1 : Comparaison du cadre et du contexte des démarches EQRS et éRé

	Démarche EQRS	Démarche éRé
Fondement(s) méthodologique(s)	<p>La démarche a été définie et décrite par l'USEPA en 1983 dans un rapport du NRC (National Research Council⁴).</p> <p>En France, la démarche est notamment citée dans le guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact (InVS, 2001⁵) et le guide pour les installations classées (INERIS, 2013⁶).</p>	<p>Plusieurs guides formulent des recommandations pour conduire une évaluation des risques sur les écosystèmes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guidelines for Ecological Risk Assessment, (USEPA, 1998⁷); • Technical guidance Document, EC 2003⁸ ; • Procédure d'évaluation des risques écologiques spécifiques au site de la contamination des sols (approche TRIADE de la qualité du sol, ISO19204 : 2017)⁹.

⁴ National Research Council. 1983. Risk assessment in the federal government. Managing the process. National Academy Press, Washington, DC.

⁵ InVS, 2001. Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact - Etude d'impact et volet sanitaire.

⁶ INERIS, 2013. Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires. Démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées. Première édition. DRC-12-125929-13162B.

⁷ US-EPA, 1998. Guidelines for ecological risk assessment. Washington, DC, U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum : 124 p.

⁸ EC, 2003 Technical Guidance Document on Risk Assessment (Part II), European Commission Joint Research Centre

⁹ ISO, 2017. Qualité du sol - Procédure d'évaluation des risques écologiques spécifiques au site de la contamination des sols (approche TRIADE de la qualité du sol) ISO 19204 :2017



Réglementation	<p>La démarche figure dans le cadre de la circulaire du 8 février 2007 en lien avec la gestion des sites et sols pollués et de sa récente actualisation (MEEM, avril 2017¹⁰), encadrée par la note du 19 avril 2017¹¹.</p> <p>S'agissant de la réglementation des installations classées, l'EQRS figure également comme élément de l'étude d'impact requis par le Code de l'environnement (articles R.512-6 et R.122-5), plus précisément dans l'« analyse des effets sur la santé », ainsi que dans la circulaire du 9 août 2013¹² sur la démarche de prévention des risques sanitaires des ICPE.</p>	<p>Les méthodes citées sont perçues comme trop peu prescriptives mais il manque actuellement surtout un cadre réglementaire formalisé pour une éRé sur site.</p> <p>Il en est fait mention dans le cadre de l'évaluation des incidences Natura 2000.</p> <p>Les réglementations sur les substances (REACH¹³, biocides, produits de protection des plantes, etc.) ainsi que la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) incluent la nécessité de réaliser une éRé.</p>
Objectif	<p>L'objectif est de protéger, préserver et de garantir la santé des populations riveraines.</p>	<p>L'objectif de protection est double :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1/ la protection « structurelle », soit le maintien de la biodiversité ; • 2/ la protection « fonctionnelle », soit le maintien des fonctions d'un écosystème telles que les capacités de dégradation dans les sols ou de pollinisation par exemple.

¹⁰ MEEM (Ministère en charge de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer), Avril 2017. Disponible sur le site Internet : <http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites-et-sols-pollues>

¹¹ DGPR. Note du 19 avril 2017, relative aux sites et sols pollués – Mise à jour des textes méthodologiques de gestion des sites et sols pollués de 2007. NOR : DEVP1708766N

¹² DGPR et DGS. Circulaire du 9 AOÛT 2013 relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations classées soumises à autorisation.

¹³ REACH : *Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals* (Règlement européen pour l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction des substances chimiques entré en vigueur le 1er juin 2007).



Comparaison du cadre et du contexte des démarches EQRS et éRé (suite)

<p>Bénéficiaires de la démarche</p>	<p>Les bénéficiaires de la démarche sont les populations humaines ayant des usages des milieux sur des Sites et Sols Pollués ou au voisinage de ces derniers.</p>	<p>Les bénéficiaires de la démarche (les enjeux écologiques ou objectifs de protection) sont multiples, soit les biotopes et biocénoses, et plus spécifiquement :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les espèces « protégées » ; • Les espèces « patrimoniales » ; • Les espèces « architectes » ; • Les espèces « clef de voûte », • Les habitats écologiques remarquables ; • Les corridors écologiques.
<p>Enjeux de la démarche</p>	<p>Il s'agit de s'assurer de la compatibilité entre l'état des milieux et l'usage de ces milieux (usage actuel ou futur).</p> <p>La démarche est un outil d'aide à la décision et à la gestion <i>via</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1/ la hiérarchisation des substances chimiques, des sources et des voies de transfert ; • 2/ l'identification des usages et des populations les plus exposés et/ou les plus vulnérables. 	<p>Il s'agit de s'assurer que les éventuels impacts des activités industrielles présentes ou prévisibles sur les écosystèmes sont négligeables.</p> <p>C'est un outil d'aide à la décision et à la gestion <i>via</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1/ la hiérarchisation des nuisances (chimiques et physiques) ; • 2/ l'identification des objectifs de protection (habitat et espèces) les plus exposés et/ou les plus vulnérables.
<p>Structure méthodologique</p>	<p>La première phase de la démarche consiste à identifier les enjeux et les voies d'exposition des populations <i>via</i> un schéma d'exposition, puis dans une seconde phase de dérouler les 4 étapes successives de la démarche calculatoire :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1/ l'identification du danger ; • 2/ l'identification des relations « dose-réponse » ; • 3/ l'évaluation des expositions des populations ; • 4/ la caractérisation des risques sanitaires. 	<p>La première phase de la démarche consiste à identifier les enjeux et les voies d'exposition des écosystèmes <i>via</i> un schéma d'exposition, puis dans une seconde phase de dérouler les 4 étapes successives de la démarche calculatoire :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1/ l'identification des compartiments environnementaux¹⁴ possiblement affectés ; • 2/ l'identification des valeurs seuil par l'étude de la relation « dose-réponse » des substances • 3/ l'évaluation de l'exposition des organismes ; • 4/ la caractérisation du risque écologique.

¹⁴ Les compartiments environnementaux désignent les subdivisions de l'environnement à savoir le milieu terrestre, aquatique, sédimentaire, marin, sédimentaire marin, aérien et le biote pour l'empoisonnement secondaire.



Points communs

Les deux démarches s'inscrivent dans une logique de protection. Ce sont des outils d'aide à la décision et à la gestion des pollutions. Face à un nouveau projet, elles permettent de hiérarchiser des substances chimiques problématiques, les sources et les voies de transferts ainsi que les populations ou espèces les plus impactées (localisation et usages). Leur structure méthodologique est semblable et s'applique à un contexte local.

Divergences

La démarche de l'EQRS, historiquement antérieure et priorisée par rapport à celle de l'éRé, est réglementée dans le cadre de la gestion des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et des Sites et Sols Pollués (SSP) tandis que l'éRé n'est définie par aucun texte réglementaire.

L'EQRS considère un large panel d'effets néfastes à l'échelle de l'individu alors que l'éRé ne s'intéresse qu'aux effets susceptibles d'avoir un impact à l'échelle de la population d'organismes.

L'EQRS a pour seul objectif la protection de la santé humaine, tandis que l'éRé a un objectif de protection globale de l'ensemble d'un réseau trophique, que ce soit au niveau structurel ou fonctionnel.



III Méthodologie des démarches

Comme vu précédemment, après une première phase d'évaluation des enjeux et des voies d'exposition, la structure méthodologique de l'EQRS et de l'éré est divisée en quatre étapes successives de démarche calculatoire. Les points de convergence et de divergences entre les étapes sont présentés au sein de cette partie.

Pour illustrer la comparaison des différentes étapes, les 2 démarches ont été appliquées à un cas d'étude d'évaluation des expositions et des risques chez l'Homme et pour les écosystèmes, exposés à des concentrations en 2,3,7,8-TCDD (appelée également « dioxine SEVESO ») contenue dans le sol issu de la maille la plus polluée parmi les mailles retenues dans le cadre des études du projet TROPHé (maille P4, cf. livrables TROPHé 1 et 2 sur la synthèse des travaux expérimentaux menés sur le transfert des POPs dans les végétaux et les vers de compost).

1. L'évaluation des enjeux et des voies d'exposition

La première phase des démarches EQRS et éRé est d'identifier le contexte de l'étude, ses enjeux et les voies d'exposition auxquelles sont soumises les populations humaines dans le cadre de l'ERS et les écosystèmes dans le cadre de l'éré. Le Tableau 2 compare les enjeux et voies de transfert entre les deux démarches.



Tableau 2 : Comparaison des enjeux et des voies d'exposition possibles dans le cadre des démarches EQRS et éRé

	Démarche ERS	Démarche éRé
Identification des milieux d'exposition	Les milieux d'exposition sont définis au regard des usages constatés des milieux (actuels ou futurs) par les populations locales : sol, air ambiant, air intérieur, eaux souterraines, eaux de surface, sédiments, denrées alimentaires, en tenant compte, entre autres, des caractéristiques des sources, des caractéristiques physico-chimiques des polluants (mobilité, solubilité, volatilité, etc.) et des conditions relatives à l'environnement (caractéristiques topologiques et hydrogéologiques par exemple).	Les milieux d'exposition possibles sont les compartiments environnementaux terrestre, aérien, aquatique y compris les sédiments, et les composants du régime trophique des prédateurs (« empoisonnement secondaire »). Ils sont définis en tenant compte, entre autres, des caractéristiques physico-chimiques des polluants (mobilité, solubilité, volatilité, etc.).
Identification des voies d'exposition des « populations »	Les voies d'exposition sont identifiées au regard des usages des milieux par les populations locales : <ul style="list-style-type: none"> • L'ingestion non intentionnelle de sol ; • L'ingestion de végétaux potagers autoproduits contaminés, via l'air, l'eau de surface, les eaux souterraines et/ou le sol ; • L'ingestion de produits d'élevage (produits animaux : viande, lait, œufs, sous-produits : produits laitiers, etc.) • L'ingestion de produits issus de la pêche et de la chasse ; • L'ingestion d'eau contaminée (captage, puits, baignade) ; • L'inhalation d'air (intérieur et ambiant) et de poussières ; • Le contact cutané. 	Les organismes sont exposés aux polluants d'une part par les milieux <i>via</i> le contact direct, tégumentaire ou par inhalation. Ils peuvent être exposés d'autre part <i>via</i> leur régime alimentaire et par les relations proie/prédateur. Cette exposition dépend : <ul style="list-style-type: none"> • De l'ingestion de sol (et/ou de sédiment) et d'eau ; • De la composition de la diète, • Des variations saisonnières de la diète ; • De l'aire de chasse ; • De la compétition entre espèces pour la prise de nourriture.
Identification des « populations » exposées (enjeux)	Les populations potentiellement exposées sont localisées sur la zone d'étude selon les voies de transfert retenues, et décrites (âge, activités de jardinage, paramètres d'exposition etc.).	Les cibles de l'évaluation peuvent être multiples en fonction de l'importance écologique, du statut de protection et de la sensibilité au type de pollution, soit : <ul style="list-style-type: none"> • Des producteurs primaires (<i>exemple : plantes</i>) ; • Des consommateurs primaires (<i>exemple : escargots, mulot</i>) et prédateurs (<i>exemple : renard, hibou</i>) ; • Des organismes assurant une fonction (<i>exemple : fonction sur la pollinisation – abeilles</i>).



Un schéma conceptuel (ou matrice d'exposition) est construit afin de préciser les relations entre :

- les sources de pollution,
- les milieux et voies de transfert,
- les milieux d'exposition, et leurs usages.

La Figure 1 illustre un schéma conceptuel-type attendu pour une EQRS, qui représente l'ensemble des éléments de la chaîne de transfert.

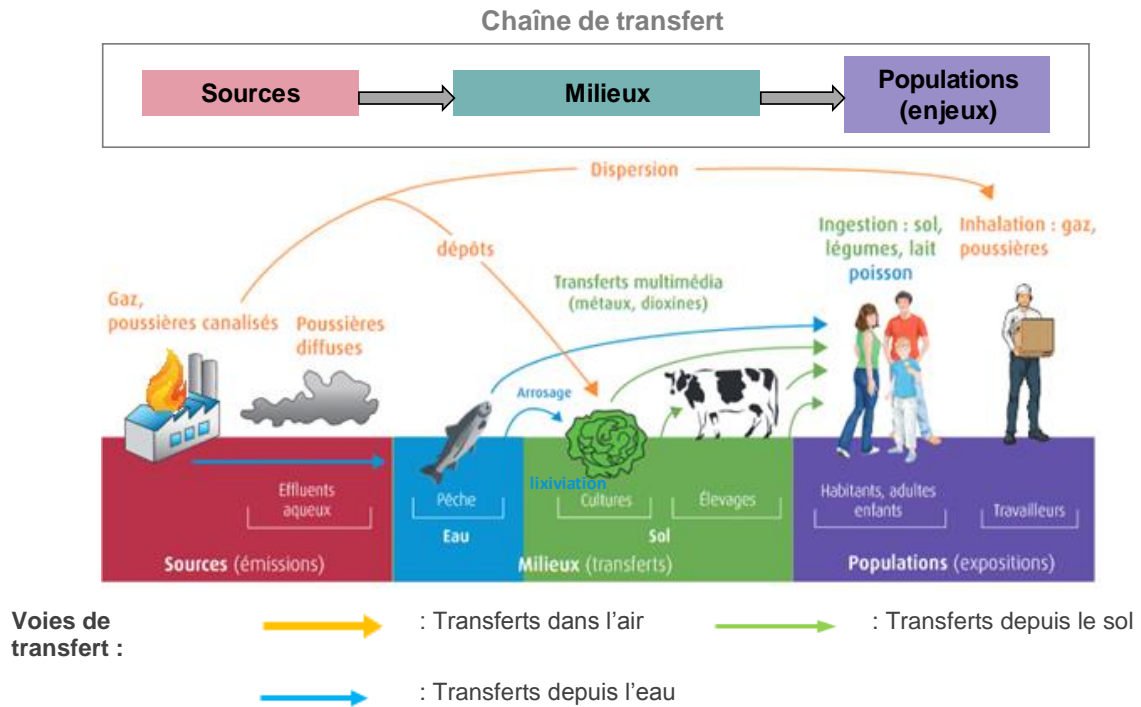


Figure 1 : Exemple de schéma conceptuel d'exposition dans le cadre d'une EQRS



La Figure 2 illustre un schéma conceptuel-type attendu pour une éRé.

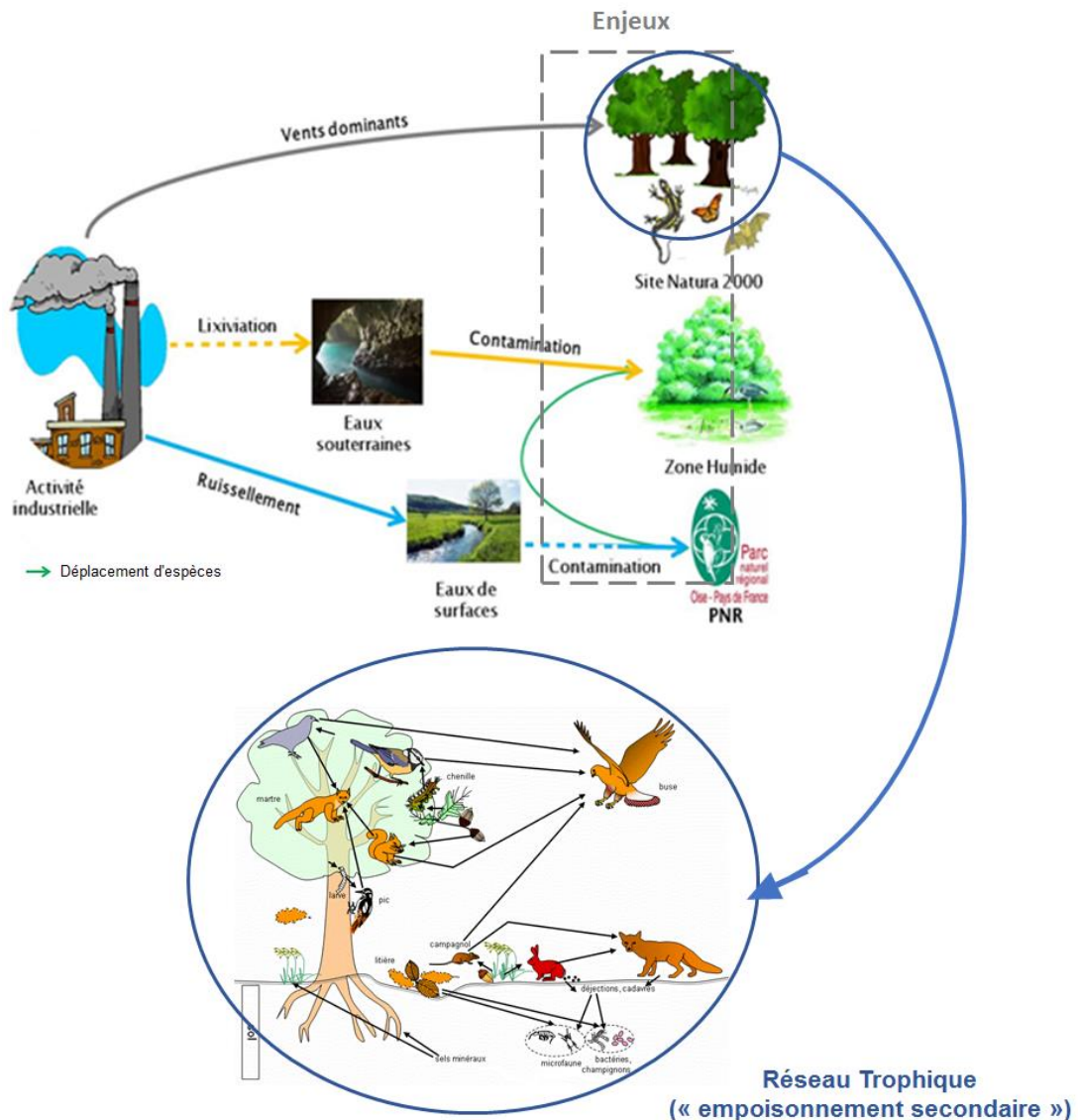


Figure 2 : Exemple de schéma conceptuel d'exposition dans le cadre d'une éRé



Application au cas d'étude

Pour illustrer la comparaison des deux démarches, un cas d'étude commun et simple a été défini pour évaluer les expositions et les risques chez l'Homme d'un côté *via* une EQRS, et pour des écosystèmes *via* une éRé pour une exposition à un sol issu de la maille la plus polluée parmi les mailles retenues dans le cadre des études du projet TROPHé (maille P4, cf. livrables TROPHé 1 et 2). La voie d'exposition considérée est celle de l'ingestion, avec comme premier maillon de la chaîne de transfert les vers de terre, suivi par un consommateur dit « primaire » (la poule domestique pour l'EQRS et le Grand Tétrás pour l'éRé, équivalent en taille) et un consommateur « secondaire » ou « prédateur » (l'Homme pour l'EQRS, le renard roux pour l'éRé).

Les expositions et les risques pour l'Homme et les écosystèmes sont comparés à titre d'exemple pour une substance représentative, la 2,3,7,8-TCDD (bien connue sous le nom de « dioxine SEVESO »). Il s'agit du seul congénère, parmi les familles de substances PCDD/F et PCB, disposant de données écotoxicologiques dans la base de TerraSys.

➤ Démarche EQRS

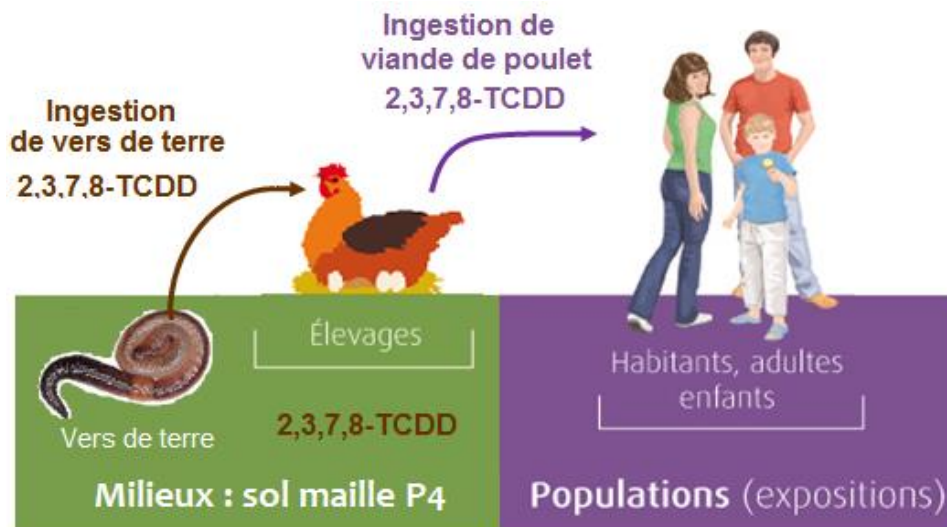


Figure 3 : schéma conceptuel d'exposition pour des populations humaines exposées à l'ingestion de la substance 2,3,7,8 -TCDD contenue dans un sol de maille P4

➤ Démarche éRé

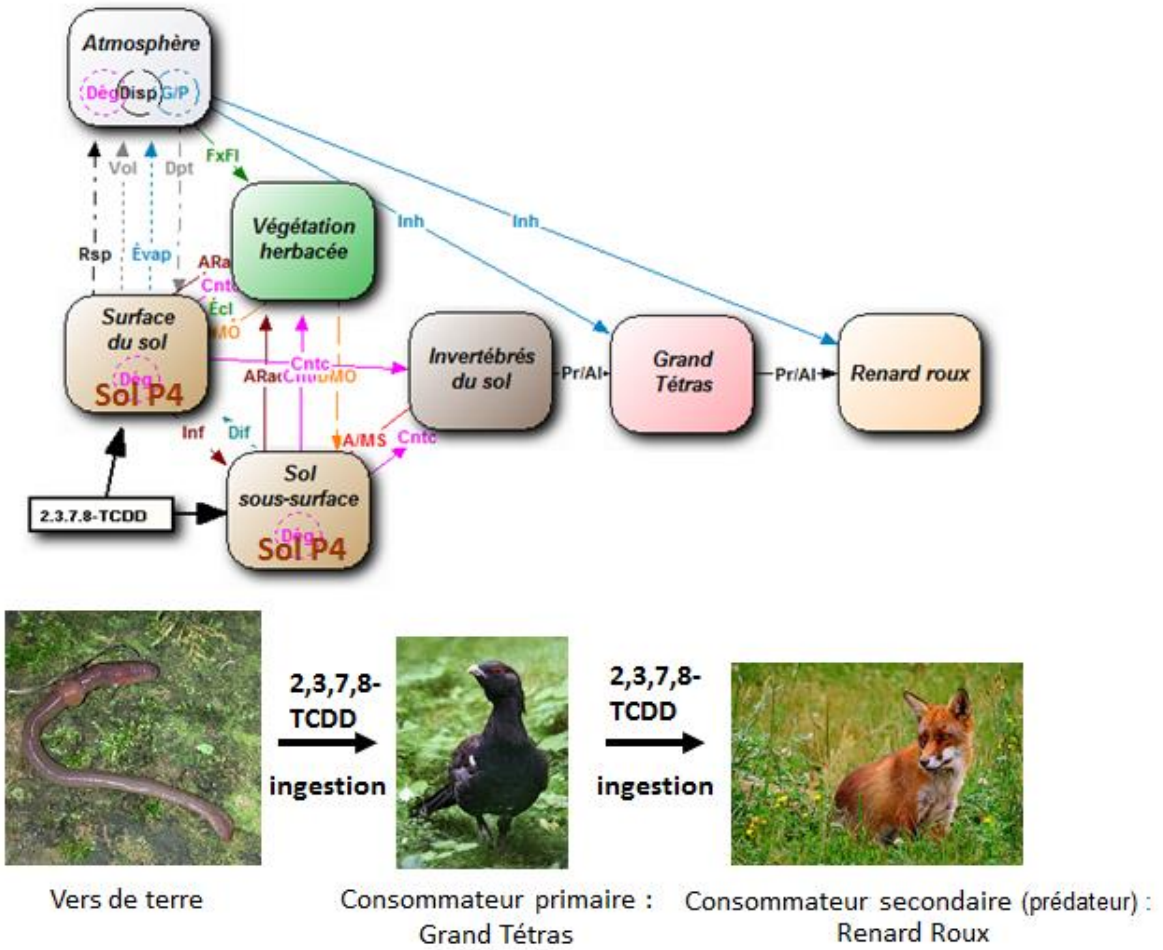


Figure 4 : Schéma d'exposition pour une chaîne de transfert via le réseau trophique (écosystème) à l'ingestion de la substance 2,3,7,8-TCDD contenu dans un sol de maille P4



Points communs

Les populations humaines et les écosystèmes sont exposés aux substances chimiques via les sols, l'air, l'eau et leur régime alimentaire et selon trois voies d'exposition possibles tels que l'ingestion, l'inhalation ou le contact cutané.

Un schéma conceptuel identifiant les sources de pollutions, les vecteurs de transfert, les milieux d'exposition et les cibles (enjeux) permet de synthétiser le contexte local des démarches.

Divergences

L'exposition par voie aérienne en éRé ne s'opère que par la prise en compte de la fraction adsorbée, soit lors des retombées particulaires sur le sol ou dans l'eau. C'est une limite méthodologique liée à l'absence de concentration sans effet dans l'air (voir §3. L'identification des relations « dose-réponse »). Pour l'EQRS, l'exposition par voie aérienne peut également être prise en compte par l'inhalation pour l'exposition de l'Homme.

Dans le cadre d'une EQRS, il s'agit d'identifier les maillons d'une chaîne de transfert (source/milieux d'expositions/populations) alors que dans le cadre d'une éRé, il s'agit de d'identifier les relations au sein d'un écosystème, c'est-à-dire d'un réseau trophique (soit un ensemble de plusieurs chaînes de transfert).

Ainsi, la réflexion au moment de conceptualiser les voies d'exposition est différente :

- En EQRS la réflexion porte sur la cible (l'homme). Elle détermine les différentes voies d'exposition à considérer ;
- En éRé, la réflexion porte sur la source de contamination. Les différentes voies de transfert possibles détermineront le nombre de compartiments environnementaux exposés et ainsi les espèces exposées.

2. L'identification des dangers

L'étape d'identification des dangers correspond à une étude bibliographique des propriétés toxicologiques des substances d'intérêt. Les effets néfastes sur la santé humaine (EQRS) ou sur les écosystèmes (éRé) sont à décrire dans ces études. Le Tableau 3 compare les démarches EQRS et éRé pour cette étape.



Tableau 3 : Comparaison de l'étape d'identification des dangers des démarches EQRS et éRé

	Démarche EQRS	Démarche éRé
Substances	<p>Toute substance chimique peut être considérée dans le cadre d'une EQRS.</p> <p>Dans le contexte du projet TROPHé, les substances étudiées sont les congénères de la famille dioxines et furannes (PCDD/F) et les congénères de la famille des polychlorobiphényles (PCB).</p>	<p>Toute substance chimique peut être considérée à l'exception des contaminants volatils non susceptibles de se redéposer. L'absence de relation dose-effet établie dans l'air pour les organismes terrestres constitue en effet un frein méthodologique pour appréhender le risque lié à l'inhalation de ce type de substances.</p>
Dangers	<p>Une substance peut avoir plusieurs effets sur l'organisme humain mais l'intérêt sera particulièrement porté sur le premier effet spécifique physiologique observé chez l'Homme (étude épidémiologique) ou chez l'animal (étude expérimentale, extrapolée à l'Homme par la suite).</p>	<p>Les effets sont recherchés pour définir le danger vis-à-vis des organismes de chaque compartiment environnemental, c'est-à-dire chez les organismes aquatiques, les organismes benthiques (sédiment), les organismes du sol et les organismes plus directement concernés par le phénomène du risque d'empoisonnement secondaire (vertébrés terrestres et oiseaux).</p> <p>On distingue l'effet aigu (la mort par exemple), qui s'observe suite à une exposition courte au regard de la durée de vie de l'organisme étudié, et l'effet chronique (subléta), qui est recherché suite à une exposition prolongée ou répétée aux substances.</p> <p>Cette étape s'intéresse en premier lieu sur l'identification du taxon le plus sensible au sein de chaque compartiment environnemental.</p> <p>L'effet sélectionné est le premier effet ayant un impact long terme à l'échelle de la population (et non de l'individu) et donc <i>in fine</i> sur la biodiversité du milieu : mortalité, modification de la croissance, réduction du succès de la reproduction, etc.</p>



Application au cas d'étude

Les dangers de la 2,3,7,8-TCDD pour l'Homme et les écosystèmes font l'objet d'une synthèse bibliographique dans la fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques¹⁵.

➤ **Démarche EQRS**

Ces substances ont notamment émergé par le passé dans les ERS suite à des problématiques industrielles liées aux émissions d'incinérateurs (dépôts au sol de PCDD/F). Les principaux congénères des familles PCDD/F et PCB sont renseignés par défaut dans le logiciel de transfert MODUL'ERS pour l'évaluation des expositions et des risques sanitaires, car ils sont couramment étudiés.

➤ **Démarche éRé**

Seule la 2,3,7,8-TCDD figure dans la liste des 134 substances renseignées dans le logiciel TerraSys. En général, il existe des valeurs repères pour la somme de ces substances en mélange, telles que présentes dans l'environnement. La relative méconnaissance de l'écotoxicité individuelle des PCDD/F et des PCB vient probablement du fait que les PCDD/F résultent d'activités humaines et que la production des PCB n'est plus autorisée¹⁶. Il n'y a donc pas de levier réglementaire pour financer la réalisation d'essais et permettre la construction d'une concentration sans effet sur l'environnement (PNEC pour *Predicted No Effect Concentration*).

Points communs

Pour l'EQRS et l'éRé, une étude bibliographique est menée pour recenser les différents effets néfastes. Les doses sans apparition d'effet ou avec apparition des premiers effets sont recherchées dans la littérature.

Divergences

L'EQRS porte sur une seule cible, l'Homme, bien que cette dernière puisse être caractérisée selon plusieurs critères (enfant, femme enceinte, travailleur par exemple). Pour l'éRé, les cibles sont multiples. Ainsi, la toxicité de la substance doit être caractérisée pour les organismes de chaque compartiment environnemental, selon la sensibilité différente des espèces à la substance, le comportement de la substance dans les divers compartiments et le transfert spécifique de la substance lors de l'empoisonnement secondaire.

Dans le cadre d'une EQRS, les effets néfastes sur l'intégrité physiologique des individus sont recherchés. Pour l'éRé, seuls les effets néfastes pour l'intégrité à l'échelle d'une population sont retenus.

Les effets à seuil sont considérés dans les deux démarches, à la différence des effets sans seuil qui ne sont pas considérés en éRé. Il est considéré qu'en environnement naturel ces effets sont négligeables, du point de vue d'une population d'organismes.

Les familles de substances PCDD/F et PCB, héritées de notre passé industriel, sont usuellement étudiées lors d'une EQRS pour des raisons historiques (problématique passée des incinérateurs, etc.) mais n'ont pas de valeurs seuils individuelles pour les écosystèmes terrestres (il n'y a pas de levier réglementaire pour déterminer une valeur sans effet pour les organismes terrestres).

3. L'identification des relations « dose-réponse »

L'identification des relations « dose-réponse » correspond à l'étape d'identification des relations quantitatives entre un niveau d'exposition (la « dose ») à une substance chimique et l'incidence observée (la « réponse ») d'un effet indésirable donné (généralement « l'effet critique »). Cette relation se traduit sous la forme d'une valeur de repère toxicologique. Le Tableau 4 compare les démarches EQRS et éRé pour cette étape.

¹⁵ INERIS, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. PCDD/F : DRC-02-25590-00DF045.doc Version n°2-1, avril 2005. Polychlorobiphényles : DRC-02-25590-00DF045.doc Version n°2-1, novembre 2005.

¹⁶ Les PCB sont interdits depuis 1987 alors que les PCDD/F sont issus de la combustion d'autres composés (ils ne sont pas « produits industriellement »)



Tableau 4 : Comparaison de l'étape d'identification des relations « dose-réponse » des démarches EQRS et éRé

	Démarche EQRS	Démarche éRé
Effet critique	<p>L'« effet critique » peut être à Seuil de dose (AS, pour les effets systémiques, reproductifs et cancérigènes non génotoxiques) et/ou Sans Seuil de dose (SS, pour les effets cancérigènes génotoxiques).</p> <p>Les effets AS et SS sont recherchés pour les voies ingestion et inhalation. La prise en compte des effets cutanés dans la démarche EQRS est encore à l'étape exploratoire.</p>	<p>L'éRé ne considère que les effets susceptibles de perturber le maintien de la population des organismes testés. Ainsi, certains effets ne sont pas pris en compte :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'irritation cutanée ou oculaires ne sont pas retenues ; • Les effets dus à l'inhalation des substances ; • Les effets cancérogènes qui le plus souvent, arrivent tardivement sans affecter la reproduction (ils pourraient être pris en compte le cas échéant si leur impact est démontré). <p>Afin de prendre en compte la physiologie très différentes des organismes qui constitue un écosystème, les critères d'effet pertinents peuvent différer en fonction des substances et des bioessais (les critères d'effet pertinents pour l'étude de la relation dose-effet d'un herbicide (inhibition de la photosynthèse par exemple) ne sont pas les mêmes que pour celle d'un insecticide (inhibition de la mue)).</p>
Construction des valeurs seuils toxicologiques	<p>Le résultat d'essai retenu pour la construction d'une VTR¹⁷ est la dose critique la plus protectrice pour l'effet critique le plus sensible (soit une BMD¹⁸ retenue devant une NOAEL¹⁹ et devant une LOAEL²⁰).</p> <p>Dans le cas de l'élaboration d'une VTR pour les effets à seuil, des facteurs d'incertitude sont appliqués à la dose pour tenir compte :</p> <ul style="list-style-type: none"> • De la variabilité inter-espèce (estimation de la dose pour la population humaine générale à partir d'une étude source animale) ; 	<p>Le résultat d'essai retenu pour la construction d'une PNEC est celui obtenu sur l'espèce la plus sensible du compartiment considéré. En protégeant cet organisme, il est estimé que les organismes moins sensibles du même compartiment sont protégés.</p> <p>A cette valeur sont ensuite appliqués des facteurs d'incertitude pour tenir compte :</p> <ul style="list-style-type: none"> • De la variabilité-inter espèce (espèces dans le milieu naturels qui pourraient être plus sensible que celles testées en bioessais) ; • De la variabilité intra-espèce (individus plus ou moins sensible au sein d'une même espèce) ;

¹⁷ INERIS, 2015. Choix de valeurs toxicologiques de références. Dioxines et Furanés. DRC-15-148754-12590A

¹⁸ BMD : BenchMark Dose

¹⁹ NOAEL : *No Observable Adverse Effect Level*

²⁰ LOAEL : *Lowest Observable Adverse Effect Level*



	<ul style="list-style-type: none"> • De la variabilité intra-espèce (individus plus ou moins sensible au sein d'une population humaine) ; • De l'extrapolation du labo au terrain (tel que la différence de durée d'exposition entre l'étude source et la VTR élaborée) ; • De la qualité du jeu de données de l'étude source. <p>Dans le cas de l'élaboration d'une VTR pour les effets sans seuil, les données de l'étude source sont modélisées pour extrapoler les résultats à des faibles doses (calcul d'un POD ou <i>Point of Departure</i>).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • De l'extrapolation du labo au terrain (facteurs stressants supplémentaires) ; • Facteur de sécurité lié à la qualité du jeu de donnée.
<p>Repères toxicologiques</p>	<p>Les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) à Seuil (AS) et sans Seuil (SS) sont recensées pour chaque substance et voie d'exposition (ingestion et/ou inhalation) et ce, pour la durée et la fréquence d'exposition adéquate (exposition chronique sur le long terme) parmi les bases de données de plusieurs organismes nationaux et internationaux²¹.</p> <p>Une VTR permet d'exprimer la relation quantitative entre un niveau d'exposition (« dose ») à un agent dangereux et l'incidence observée (« réponse ») d'un effet désirable donné. Elle est construite sur la base d'études épidémiologiques et expérimentales sur les animaux (NOAEL - <i>No Observable Adverse Effect Level</i> -, LOAEL - <i>Lowest Observable Adverse Effect Level</i> -, etc.).</p> <p>Le choix des VTR tient compte des modalités explicitées dans la note d'information de la DGS (Direction Générale de la Santé) du 31/10/2014²². Dans cette dernière est précisé qu'« <i>en l'absence de procédures établies pour la construction de VTR pour la voie cutanée (...) aucune transposition à cette voie de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire</i> » n'est envisageable.</p>	<p>Les valeurs PNEC (soit <i>Predicted No Effect Concentration</i>) sont recensées par substance et par compartiment environnemental exposé (PNECeau, PNECsol, ...). La PNEC est définie de manière à être protectrice pour l'ensemble des organismes vivant d'un compartiment environnemental. Dans le cas où il n'y a pas de valeur PNEC, cette dernière est calculée d'après les résultats d'essais d'écotoxicité disponibles ou par modélisation de type QSAR.</p> <p>Une PNEC est construite sur la base d'études d'écotoxicité menées sur des organismes (NOEC – <i>No Observable Effect Concentration</i>, LOEC – <i>Low Observable Effect Concentration</i>, EC10 – <i>Effect Concentration 10%</i>, EC50 – <i>Effect Concentration 50%</i>), la donnée la plus pertinente est associée à un facteur d'incertitude et d'extrapolation dont la dimension dépend de la qualité du jeu de donnée.</p>

²¹ INERIS, décembre 2016. Choix de VTR. Méthodologie appliquée par l'INERIS. Impact des activités humaines sur la santé. DRC-16-156196-11306A. Première édition.

²² Note d'Information N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués.





Application au cas d'étude

➤ Démarche EQRS

Dans le cadre d'une démarche EQRS, les VTR pour la 2,3,7,8-TCDD, pour une exposition chronique par ingestion, sont recensées parmi les bases de données indiquées dans la note d'information de la DGS du 31/10/2014. Un choix parmi ces VTR, en accord avec cette même note et selon la méthodologie INERIS²³, est ensuite réalisée tel que :

- ✓ VTR AS pour une exposition chronique par la voie ingestion : $7,0 \cdot 10^{-10}$ mg I-TEQ/kg pc/j (VTR défini par l'USEPA en 2012) ;
- ✓ VTR SS pour une exposition chronique par la voie ingestion : pas de VTR retenue²⁴.

Remarque : De par leur mécanisme d'action similaire de toxicité chez l'Homme, les concentrations pour la somme des PCDD/F et PCB-dl peuvent être exprimées en fonction d'un système de facteurs d'équivalent toxique (TEF) par rapport à la toxicité de la 2,3,7,8-TCDD. La valeur TEF pour la 2,3,7,8-TCDD est donc de 1.

➤ Démarche éRé

Dans le cadre d'une démarche éRé, les PNEC nécessaires sont recensées.

En l'absence de PNEC renseignée par l'utilisateur, c'est la base de données de TerraSys qui est considérée. En l'occurrence, pour le 2,3,7,8-TCDD, les données disponibles correspondent à des résultats d'essais d'écotoxicité obtenus lors d'essais réalisés sur des oiseaux et des petits mammifères. Ces valeurs sont utilisées pour établir une « dose de référence » pertinente pour l'espèce choisie dans le modèle conceptuel

Les valeurs toxicologiques sont :

- ✓ Pour le grand tétras (*consommateur primaire*) : ingestion
 - ✓ Dose de référence = $1,4 \cdot 10^{-5}$ mg/kg/j (pas de conversion)
- ✓ Pour le renard roux (*consommateur secondaire, prédateur*) : ingestion
 - ✓ Dose de référence brute (NOAEL, essai sur rat) = $1,0 \cdot 10^{-6}$ mg/kg/j
 - ✓ Dose de référence convertie pour l'espèce en cours = $5,3 \cdot 10^{-7}$ mg/kg/j

²³ INERIS, décembre 2016. Choix de VTR. Méthodologie appliquée par l'INERIS. Impact des activités humaines sur la santé. DRC-16-156196-11306A. Première édition.

²⁴ VTR disponibles depuis le **Portail Substances Chimiques**, géré par l'INERIS, à l'adresse internet suivante : <http://www.ineris.fr/substances/fr/> et rapport INERIS, 2015. Choix de valeurs toxicologiques de références. Dioxines et Furanés. DRC-15-148754-12590A.



Points communs

Les valeurs de référence sans seuil utilisées en ERS sont construites selon différentes voies d'exposition (ingestion, inhalation) d'après des études épidémiologiques et/ou expérimentales. Comme pour l'écotoxicologie, l'origine des données est très majoritairement expérimentale. Pour quelques substances bien étudiées toutefois, la PNEC pour l'éRé est déduite des observations de terrain, ce qui peut être assimilé à une étude épidémiologique²⁵.

La démarche de constructions des valeurs seuils toxicologiques pour l'éRé et l'EQRS (pour les effets à seuil spécifiquement) sont semblables avec l'application de divers facteurs d'incertitude.

Il existe des valeurs de référence propres aux deux démarches disponibles dans des bases de données référencées pour les VTR et pour les PNEC. Ces valeurs de référence sont toutes deux établies en tenant compte des incertitudes et en appliquant des facteurs d'extrapolation sur des résultats d'essais réalisés en laboratoire.

Par ailleurs, les données de toxicité qui concernent la voie d'exposition par ingestion utilisées pour construire les VTR utilisées en EQRS (notamment essai sur rat, chien) correspondent aux données utilisées en éRé pour construire les PNEC relatives au risque d'empoisonnement secondaire. Les deux valeurs seuil peuvent être déduites l'une et l'autre par l'utilisation d'ajustements allométriques.

Divergences

L'éRé ne considère pas de valeur de référence sans seuil car les critères concernés ne sont pas estimés pertinents du point de vue du maintien de la population d'organismes et donc du maintien de la biodiversité.

4. L'évaluation des expositions

L'évaluation des expositions correspond à l'étape où :

- Les concentrations dans les milieux sont estimées (par la modélisation ou la mesure) ;
- Les scénarios d'exposition pour les populations humaines (EQRS) et les espèces (éRé) sont caractérisés ;
- L'exposition est estimée quantitativement au regard des informations collectées lors des étapes précédentes (par la modélisation) : une dose journalière d'exposition (DJE) pour l'Homme, et une concentration pour laquelle existe un effet prévu (PEC pour *Predicted Effect Concentration*) pour chacun des compartiments environnementaux exposés.

Le Tableau 5 compare les démarches EQRS et éRé pour cette étape.

²⁵ INERIS, avril 2017. Revue des principales méthodologies existantes et analyse de leur portée en vue de l'amélioration de la définition des valeurs guides nationales pour le sédiment. DRC-17-158732-03640A.



Tableau 5 : Comparaison de l'étape d'évaluation des expositions des démarches EQRS et éRé

	Démarche EQRS	Démarche éRé
Evaluation des concentrations dans les milieux	<p>L'évaluation des transferts des substances polluantes se fait selon une approche « par substance ».</p> <p>Les concentrations des substances polluantes dans les milieux sont estimées par 1) la mesure et/ou 2) la modélisation des concentrations dans les compartiments environnementaux d'exposition :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les sols surfaciques et/ou racinaires (horizon de culture) ; • Les eaux de surface ; • Les eaux souterraines ; • Les sédiments (pêche) ; • L'air intérieur (transfert des vapeurs) et ambiant ; • Les denrées alimentaires : parties consommables des végétaux (spécifiques aux types de végétaux consommés), parties consommables des matrices animales (produits animaux et sous-produits). 	<p>L'évaluation des transferts des substances polluantes se fait selon une approche « par substance », « matrice » ou « écologique ».</p> <p>Pour l'approche par substance, les concentrations des substances polluantes dans les milieux sont estimées par 1) la mesure et/ou 2) la modélisation des concentrations dans les compartiments environnementaux d'exposition :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les sols surfaciques ; • Les eaux de surface ; • Les sédiments ; • Les éléments de la diète pour le risque d'empoisonnement secondaire. <p>Il est possible de mesurer les concentrations de substance directement dans des organismes sur le terrain, soit dans des prédateurs retrouvés morts sur le terrain (indication sur le BAF²⁶) ou bien en mettant en place des organismes engagés.</p> <p>L'approche fondée sur les bioessais (matrice) permet de s'affranchir de l'information sur les concentrations dans les milieux.</p>
Evaluation des concentrations par modélisation dans les milieux - paramétrisation des modèles de transfert	<p>Les modèles utilisés se basent sur une représentation simplifiée des compartiments environnementaux et des transferts (par exemple, via l'outil de modélisation Modul'ERS).</p> <p>Les données nécessaires pour modéliser les transferts entre les compartiments environnementaux sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les propriétés physico-chimiques des substances ; • Les propriétés des matrices environnementales : <ul style="list-style-type: none"> ○ Sol : le taux de matière organique, la granulométrie, le pH, etc. ; ○ Végétaux ; ○ Matrices animales ; 	<p>Les modèles utilisés se basent sur une représentation simplifiée des compartiments environnementaux et des transferts (par exemple, via l'outil de modélisation TerraSys).</p> <p>Les données nécessaires pour modéliser les transferts entre les compartiments environnementaux sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les propriétés physico-chimiques des substances (partition, mobilité et dégradation dans les milieux) ; • Les propriétés des matrices environnementales : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sol / sédiment : le taux de matière organique, la granulométrie, le pH, couverture végétale, etc. ▪ Eau : Dureté de l'eau, pH, etc. • Des informations sur la biodisponibilité des substances grâce à des analyses chimiques (du type de celles qui sont conduites en EQRS) ou en

²⁶ BAF : Facteur de bioaccumulation. Il est obtenu en faisant le rapport entre la concentration de la substance dans le milieu et la concentration dans l'organisme. Il tient compte à la fois de la quantité de polluant transféré depuis le milieu et de la quantité de polluant transféré par la consommation de proie ou de végétaux contaminés.



	<ul style="list-style-type: none"> • La biodisponibilité relative des polluants dans les sols (matrice sol / substance). <p>Les relations entre les concentrations dans les compartiments environnementaux peuvent s'exprimer sous la forme de facteurs de transfert comme :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le BCF poisson pour le milieu aquatique ; • Le BCF sol-vers de terre ; • Le BCF sol-plante : transfert du sol vers les parties consommables selon le type de végétal : légumes-racines, tubercules, fruits, légumes-fruits, légumes-feuilles, légumes-tiges. 	<p>interprétant les résultats des bioessais qui sont ajoutés à la modélisation (module « estimation des risques à partir des biotests » de TerraSys).</p> <p>Les relations entre les concentrations dans les compartiments environnementaux peuvent s'exprimer sous la forme de facteurs de transfert comme par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le BCF poisson pour le transfert eau/organisme aquatique ; • Le BCF vers de terre pour le transfert sol/organisme terrestre ; • Le BCF plante pour le transfert sol/plante, par absorption racinaire • Le BMF, facteur de bioamplification traduit le transfert entre la proie et son prédateur. <p>Le FCM, facteur multiplicatif de niveau trophique traduit le transfert en fonction du niveau trophique, il est l'équivalent du BMF dans TerraSys.</p>
<p>Comparaison des concentrations des milieux à des valeurs de référence</p>	<p>Les concentrations mesurées/modélisées dans les milieux d'exposition sont comparées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • A des valeurs de référence telles que celles issues de l'Environnement Local Témoin »²⁷ et autres référentiels disponibles²⁸ ; • A des valeurs de gestion réglementaires. <p><i>Il existe notamment des valeurs réglementaires de :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Qualité des eaux destinées à la consommation humaine</i>²⁹; 	<p>Avant l'étape de calcul du risque, les concentrations mesurées/modélisées dans les milieux d'exposition peuvent être comparées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • A des valeurs environnementales (ou concentration bruit de fond, ce sont des concentrations normales dans le milieu naturel), c'est particulièrement pertinent pour les métaux qui font naturellement partie des composants de la croûte terrestre. Ces valeurs peuvent correspondre à celles mesurées sur un site témoin exempt de contamination ou obtenues via une recherche bibliographique. • A des valeurs réglementaires comme par exemple les NQE définies dans le contexte de la DCE³² ou les autorisations de rejets définies par arrêtés dans le cas de certaines ICPE³³.

²⁷ Environnement Local Témoin : « un site ou un ensemble de sites, comprenant les mêmes milieux d'exposition (par exemple des sols de même nature) mais dont l'étude historique a démontré l'absence d'influence du site étudié ou d'un autre contributeur ». Définition issue de la mise à jour de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués en 2017. La caractérisation et l'utilisation de l'environnement local témoin sont illustrées à travers différents contextes d'application (sites et sols pollués, installation classée, situation post-accidentelle et anciens sites miniers) dans le rapport INERIS, 2017. DRC-15-151883-01265B. « Caractérisation de l'état des milieux sols, eaux et végétaux dans l'environnement des installations industrielles. Utilisation de l'environnement local témoin ».

²⁸ Les référentiels suivants peuvent, entre autres, être cités :

- Pour les retombées atmosphériques autour des installations classées et dans l'environnement : INERIS, 2016. Guide pour la surveillance dans l'air autour des installations classées. DRC-16-158882-12366A. Première édition.
- Pour les différentes valeurs d'objectifs ou de recommandations dans les compartiments environnementaux : INERIS, 2017. Synthèse des valeurs réglementaires pour les substances chimiques, en vigueur dans l'eau, les denrées alimentaires et dans l'air en France au 31 décembre 2015. DRC-15-151883-12362C

²⁹ Décret n° 2007-49 du 11 janvier 2007 relatif à la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine.

³² Directive n° 2000/60/CE du 23 Octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau

³³ Installation Classée pour la Protection de l'Environnement



	<ul style="list-style-type: none"> • De niveaux d'intervention pour les végétaux potagers³⁰ ; • Teneurs maximales admissibles européennes dans les denrées alimentaires d'origine animale³¹ (œuf, lait, poisson). 	
Scénarios et paramètres d'exposition	<p>Les scénarios d'exposition sont définis, pour les différentes sous-populations telles que les adultes et les enfants, par :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les Valeurs Humaines d'Exposition (VHE) telles le poids corporel selon les âges, etc. ; • La localisation des sous-populations d'individus ; • Le Budget Espace-Temps (fréquence, temps passé sur site et hors site) ; • La consommation alimentaire (enquêtes alimentaires nationales), l'autoproduction d'aliments (population urbaine ou rurale) ou activité de pêche ou de chasse ; • Etc. <p>Il est ainsi possible de définir :</p> <ul style="list-style-type: none"> • un scénario « pire-cas » (<i>Worst Case</i>) en sélectionnant des paramètres conservateurs ; • un scénario protecteur mais plus représentatif du milieu considéré, le « <i>reasonable worst case</i> ». 	<p>Les scénarios d'exposition des différents compartiments environnementaux sont définis selon certains paramètres comme par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le débit représentatif d'un cours d'eau qui reçoit un effluent contaminé • La biodisponibilité des contaminants dans le sol • L'aire de chasse du prédateur ; • La composition de la diète du prédateur ; • La période et la durée de l'exposition du prédateur au milieu contaminé ; • Etc. <p>Il est ainsi possible de définir :</p> <ul style="list-style-type: none"> • un scénario « pire-cas » (<i>Worst Case</i>) en sélectionnant des paramètres conservateurs ; • un scénario protecteur mais plus représentatif du milieu considéré, le « <i>reasonable worst case</i> » en sélectionnant les paramètres prenant en compte par exemple la notion de biodisponibilité et des hypothèses globalement plus réalistes (couvrent 90% des situations, considérant que les 10% restants correspondent à des événements exceptionnels et donc non représentatifs)³⁴.

³⁰ Règlement (UE) n°1259/2011 de la Commission du 2 décembre 2011 modifiant le règlement (CE) n° 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales en dioxines, en PCB de type dioxine et en PCB autres que ceux de type dioxine des denrées alimentaires et le Règlement (UE) n°1067/2013 de la Commission du 30 octobre 2013 modifiant le règlement (CE) n°1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales en dioxines, PCB de type dioxine et PCB autres que ceux de type dioxine dans le foie des animaux terrestres.

³¹ Arrêté du 30 octobre 2013 modifiant l'arrêté du 12 janvier 2001 fixant les teneurs maximales pour les substances et produits indésirables dans l'alimentation des animaux.

³⁴ C.E., 1999. OECD Series on testing and assessment, Number 17. Environmental Exposure Assessment Strategies for Existing Industrial Chemicals in OECD Member Countries.



Echelle temporelle de l'exposition	La démarche a pour but d'évaluer les risques sanitaires pour une exposition chronique (supérieure à un an d'exposition) et sur le long terme.	La démarche a pour but d'évaluer le risque aigu et chronique. Etant donné la diversité des organismes qui coexistent dans un milieu, il n'existe pas de durée de vie moyenne des organismes et il n'existe pas de durée conventionnelle pour définir le risque à long terme. Le risque long terme est défini par le type d'effet (voir effet chronique) pris en compte et au caractère prolongé de l'exposition (plus de 24h, ou plus de dix fois par an selon le TGD ³⁵ , voir Tableau 1).
Echelle spatiale de l'exposition	L'échelle de l'étude, généralement de quelques hectares, est définie au début de l'étude, au regard des zones de pollutions constatées et selon les usages des milieux conduisant à une exposition.	L'échelle de l'étude est délimitée au début de cette dernière au regard des zones de pollutions constatées et suspectées. Elle englobe les objectifs de protection possiblement impactés (par exemple une zone Natura 2000 ou un corridor écologique).

³⁵ EC, 2003 Technical Guidance Document on Risk Assessment (Part II), European Commission Joint Research Centre



Application au cas d'étude

Les transferts ont été modélisés *via* le logiciel Modul'ERS pour l'Homme et *via* le logiciel TerraSys pour les écosystèmes, pour une concentration dans un sol issu de la maille P4 (cf. Livrables TROPHÉ 1 et 2) de $3,5 \cdot 10^{-6}$ mg/kg (en poids sec) en 2.3.7.8-TCDD.

Les concentrations en 2,3,7,8 TCDD sont précisées dans chacune des matrices en pf ou ps (poids frais/sec). La dose pour l'homme est exprimée en mg/ kg poids corporel/jour.

Démarche EQRS			Démarche éRé			
Maillon	Concentration ou Dose	BCF	Maillon	Concentration ou Dose	BCF	FCM
Invertébrés du sol	Concentration dans le tissu animal : $2,8 \cdot 10^{-7}$ mg/kg pf	$8 \cdot 10^{-2}$ (BCF moyen en poids frais pour une exposition à P4 ³⁶)	Invertébrés du sol	Concentration dans le tissu animal : $2,8 \cdot 10^{-7}$ mg/kg pf	$8 \cdot 10^{-2}$ (BCF moyen en poids frais pour une exposition à P4)	
Poulet	Concentration dans le tissu animal : $8 \cdot 10^{-4}$ mg/kg pf Dose journalière alimentaire : $7,9 \cdot 10^{-6}$ mg/j	21 (Source Modul'ERS)	Grand téttras	Concentration dans le tissu animal : $1,9 \cdot 10^{-8}$ mg/kg pf Dose journalière alimentaire : $7,8 \cdot 10^{-8}$ mg/kg pc/j		14,08
Homme - Enfant ³⁷ (1-3 ans) - Adulte ³⁸	Dose Journalière d'Exposition : $1,1 \cdot 10^{-7}$ mg/kg pc/j $5,6 \cdot 10^{-8}$ mg/kg pc/j		Renard Roux	Concentration dans le tissu animal : $1,6 \cdot 10^{-9}$ mg/kg pf Dose journalière alimentaire : $3,3 \cdot 10^{-9}$ mg/kg pc/j		25,94

pf : poids frais, kg pc : kilogramme de poids corporel
BCF : facteur de bioconcentration

Points communs

Lors de cette étape, les doses/concentrations d'exposition pour l'Homme (DJE, Dose Journalière d'Exposition) et pour les écosystèmes (PEC, *Predicted Environmental Concentration*) sont quantifiées, au regard de scénarios d'exposition construits et adaptés au contexte local des études.

Dans le cas de la modélisation des transferts entre les compartiments environnementaux, les outils des ERS et éRé se basent sur les valeurs communes des paramètres physico-chimiques des substances et des compartiments environnementaux.

Divergences :

Il n'y a pas de divergences majeures entre les deux démarches pour cette étape.

³⁶ Valeur extraite des livrables TROPHÉ 1 et 2 : Synthèse des travaux expérimentaux menés sur le transfert des POPs dans les végétaux et les vers de compost

³⁷ Masse corporelle moyenne d'un enfant de 1 à 3 ans : 12,4 kg (source MODUL'ERS)

³⁸ Masse corporelle moyenne d'un adulte : 70 kg (source MODUL'ERS)



5. La caractérisation des risques

La caractérisation des risques correspond à l'étape où les risques pour l'Homme (EQRS) et les écosystèmes (éRé) sont estimés quantitativement en comparant les doses d'exposition estimées dans l'étape précédente avec les valeurs de référence toxicologiques. Le Tableau 6 compare les démarches EQRS et éRé pour cette étape.



Tableau 6 : Comparaison de l'étape de caractérisation des risques des démarches EQRS et éRé

	Démarche EQRS	Démarche éRé
Indicateurs de risque (IR)	<p>Les risques sont calculés pour chaque substance et chaque voie d'exposition identifiées lors de l'étape précédente d'évaluation des expositions :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pour les <u>effets à seuil</u> (exposition sur 1 an) : calcul d'un Quotient de Danger (QD) tel que $QD = DJE / VTR_{AS}$; <p>Pour les effets sans seuil (exposition de 30 ans sur la vie entière, conventionnellement de 70 ans) : calcul d'un Excès de Risque Individuel (ERI) tel que $ERI = DJE \times VTR_{SS} \times (30/70)$</p> <p>L'additivité des risques (somme des indicateurs de risque (IR)) « multi substance » et « toutes voies » est considérée pour l'Homme.</p>	<p>Ils sont calculés pour chaque substance et pour chaque compartiment environnemental identifié lors de l'étape précédente d'évaluation des expositions :</p> <p>RCR (Ratio de Caractérisation du Risque) = $PEC / PNEC$</p> <p>L'additivité des risques (somme des indicateurs de risque (IR) de toutes les substances) est considérée au sein de chaque compartiment environnemental.</p> <p>Il est possible de discuter l'additivité des risques si des résultats obtenus avec d'autres approches sont disponibles. Par exemple, des résultats de bioessais (approche écotoxicologique) peuvent compléter la somme des IR des substances pour prendre en compte la biodisponibilité des contaminants ou la présence de substances non identifiées (cas de pollutions historiques et méconnues du site).</p>
Valeurs repères	<p>Pour apprécier les résultats de la caractérisation des risques au regard des expositions aux milieux, les IR sont comparés aux critères d'acceptabilité suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si $QD < 1$ et $ERI < 10^{-5}$: les risques sont jugés acceptables, au vu des usages constatés ou projetés ; • Si $QD > 1$ et $ERI > 10^{-5}$: les risques sont jugés non acceptables, au vu des usages constatés ou projetés. 	<p>Pour apprécier les résultats de la caractérisation des risques, l'IR est interprété dans chaque compartiment environnemental comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si $RCR \ll 1$, alors le risque pour les organismes n'est pas significatif ; • Le $RCR < 1$, alors le risque pour les organismes ne peut pas être écarté sans discuter les incertitudes liées aux différentes hypothèses de travail énoncées durant l'étude • Le $RCR \geq 1$, alors le risque pour l'écosystème n'est pas écarté.
Conclusions de la démarche	<p>Calculer des valeurs d'indices de risque n'est pas une fin en soi, mais permet d'identifier la/les substance(s) et la/les voie(s) tirant les risques sanitaires potentiels. La démarche contribue à l'identification de mesures de gestion adaptées et proportionnées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quant à l'acceptabilité sanitaire d'un projet d'aménagement ; • Quant au plan de gestion à mettre en œuvre pour assurer et/ou rétablir la compatibilité entre l'état des milieux et leurs usages. 	<p>L'évaluation doit permettre d'indiquer si l'écosystème (dans sa globalité) est pérenne ou indiquer si les mesures de gestion mises en place sont efficaces.</p> <p>Elle permet aussi d'identifier les milieux et le type de rejet qui nécessitent une intervention de type « plan de gestion » (démarche ERC³⁹).</p>

³⁹ ERC : La démarche ERC définit les mesures pour éviter, réduire et, lorsque c'est nécessaire et possible, compenser leurs impacts négatifs significatifs sur l'environnement. (<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/eviter-reduire-et-compenser-impacts-sur-lenvironnement>)



Application au cas d'étude

➤ Démarche EQRS

Estimation des risques	Dose de référence (mg I-TEQ/kg/j)	Dose d'exposition (mg/kg pc/j)	Indice de risque
Enfant (1 à 3 ans)	7,0.10 ⁻¹⁰	1,1.10 ⁻⁷	QD = 152 Supérieur à la valeur repère de 1. Milieu non compatible avec les usages.
Adulte		5,6.10 ⁻⁸	QD = 79 Supérieur à la valeur repère de 1. Milieu non compatible avec les usages.

➤ Démarche éRé

Estimation des risques	Dose de référence (mg/kg/j)	Dose d'exposition (mg/kg pc/j)	Indice de risque
Invertébrés du sol	-	-	Calcul impossible
Grand tétras ⁴⁰	1,4.10 ⁻⁵	7,8.10 ⁻⁸	RCR = 0,0055 Risque non préoccupant
Renard roux ⁴¹	5,3.10 ⁻⁷	3,3.10 ⁻⁹	RCR = 0,0062 Risque non préoccupant

kg pc : kilogramme de poids corporel

Points communs

Les doses d'exposition quantifiées lors de l'étape précédente sont comparées aux valeurs de référence toxicologiques et écotoxicologiques. Les indices de risques ainsi calculés ne sont pas une fin en soi. Les deux démarches statuent sur l'adéquation des projets avec les usages humains et l'environnement, et permettent surtout de hiérarchiser les substances dans le cas de source multi-pollution, et les voies de transfert dans un souci de gestion et de mise en œuvre de mesures.

Divergences

Les indices de risque pour les EQRS sont comparés à des valeurs repères qui sont usuellement retenues au niveau mondial par les organismes ou agences en charge de la protection de la santé (1 pour les QD, 10⁻⁵ pour les ERI).

En EQRS, le risque est considéré uniquement pour l'Homme, au bout de la chaîne alimentaire.

L'incidence d'une pollution sur les végétaux potagers ou les animaux issus d'élevage par exemple sera seulement considérée *via* le prisme de la préservation de la santé humaine.

Pour l'éRé, l'indicateur de risque (le RCR) est comparé à la valeur de 1. Le calcul d'exposition conduit à identifier les transferts proies-prédateurs mais le calcul de risque s'applique ensuite à chaque niveau trophique : un risque identifié sur le premier niveau du réseau trophique (vers de terre, plante) a le même sens en termes de menace pour la biodiversité qu'un risque identifié sur le prédateur supérieur (renard).

⁴⁰ Masse moyenne d'un grand tétras : 2,95 kg (source TerraSys)

⁴¹ Masse moyenne d'un renard roux : 4,55 kg (source TerraSys)



IV Conclusions de la comparaison des démarches

La démarche d'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) s'appliquant à l'Homme et celle d'évaluation des Risques pour les écosystèmes (éRé) suivent une même structure méthodologique avec une phase d'identification des enjeux et des voies de transfert suivie de 4 étapes successives pour quantifier les risques : l'identification des dangers, l'identification des relations « dose-réponse », l'évaluation des expositions et la caractérisation des risques. Cependant, les deux démarches présentent des différences notables et pas seulement au niveau des objectifs de protection.

L'EQRS a pour but de préserver la santé des populations d'effets indésirables de polluants ayant des effets à seuil (effets systémiques tels que les effets sur la reproduction et les effets cancérigènes non génotoxiques) et sans seuil (effets cancérigènes génotoxiques), en identifiant les voies et les substances porteuses des risques pour assurer l'acceptabilité d'un projet d'aménagement, par exemple. L'éRé a, quant à elle, l'objectif de préserver la structure, le fonctionnement et la biodiversité d'un écosystème, dans sa globalité. Tandis que l'EQRS s'intéresse aux effets néfastes sur un individu liés à la présence de substances chimiques dans les milieux environnementaux, l'éRé considère les espèces présentes dans les milieux ainsi que leurs relations, notamment trophiques.

Ces deux démarches toutefois permettent d'adapter et de proportionner des mesures de gestion en identifiant les substances et les voies de transfert qui portent le risque.

Ces approches d'évaluation du risque sanitaire pour l'Homme et du risque pour les écosystèmes sont complémentaires pour appréhender l'impact des PCB et des PCDD/F sur l'Environnement. Ainsi peut être envisagée une exploitation mutuelle des données liées au contexte local, telles que les résultats de mesures dans les compartiments environnementaux (caractérisation physico-chimique des sols, de l'eau, etc.) mais aussi la confrontation des paramètres modélisés par les outils propres à chaque démarche (TerraSys pour l'éRé, MODUL'ERS pour les EQRS) dès lors que les concentrations dans les milieux d'exposition ne sont pas disponibles. Enfin, il est possible de passer d'une VTR (voie d'exposition alimentation) à la valeur seuil pour l'empoisonnement secondaire des vertébrés terrestres avec un ajustement allométriques puisqu'elles sont issues de mêmes type de résultats de bioessais (essais sur rats par exemple).



L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Écologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



TROPHÉ

LIVRABLE N°6 - Analyse croisée des démarches ERS et éRé dans le cadre des Sites et Sols Pollués

Résumé Les polychlorobiphényles (PCB) et les dioxines/furannes (PCDD/PCDF) présentent un potentiel important d'accumulation dans les sols, les sédiments et les graisses animales. Dans le domaine des Sites et Sols Pollués, il est apparu essentiel de confronter les démarches d'évaluation du risque pour l'homme (ERS) et pour les écosystèmes (éRé), la démarche ERS étant davantage déroulée. Le livrable 6 propose l'analyse croisée des deux démarches. Elles suivent une même structure méthodologique avec une phase d'identification des enjeux et des voies de transfert suivie de 4 étapes successives pour quantifier les risques. Cependant, l'ERS et l'éRé présentent des différences notables et pas seulement au niveau des objectifs de protection. L'ERS a pour but de préserver la santé des populations d'effets indésirables de polluants, en identifiant les voies et les substances porteuses des risques pour assurer l'acceptabilité d'un projet d'aménagement, par exemple. L'éRé a, quant à elle, l'objectif de préserver la structure, le fonctionnement et la biodiversité d'un écosystème, dans sa globalité. Tandis que l'ERS s'intéresse aux effets néfastes sur un individu liés à la présence de substances chimiques dans les milieux environnementaux, l'éRé considère les espèces présentes dans les milieux ainsi que les relations qui les relient, notamment trophiques.

Les deux démarches permettent d'adapter et de proportionner des mesures de gestion en identifiant les substances et les voies de transfert qui portent le risque.

Les deux approches restent complémentaires pour appréhender l'impact des PCB et des PCDD/F sur l'Environnement. Ainsi peut être envisagée une exploitation mutuelle des données liées au contexte local, telles que les résultats de mesures dans les compartiments environnementaux (caractérisation physico-chimique des sols, de l'eau, etc.) mais aussi la confrontation des paramètres modélisés par les outils propres à chaque démarche (TerraSys pour l'éRé, MODUL'ERS pour les EQRS) dès lors que les concentrations dans les milieux d'exposition ne sont pas disponibles. Enfin, il est possible de passer d'une VTR (voie d'exposition par ingestion) à la valeur seuil pour l'empoisonnement secondaire des vertébrés terrestres avec un ajustement allométrique.

Essentiel à retenir

Les approches d'évaluation du risque sanitaire pour l'Homme et du risque pour les écosystèmes sont complémentaires pour appréhender l'impact des PCB et des PCDD/F sur l'Environnement. Les études de sensibilité des paramètres restent essentielles pour appréhender leur influence sur l'évaluation des risques.

ADEMEAgence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energiewww.ademe.fr