

Origines des différences de résultats fournis par un modèle multimédia simple et le modèle CALTOX : cas de l'estimation des risques par ingestion liés aux émissions de dioxines des grandes installations de combustion

Roseline Bonnard

► To cite this version:

Roseline Bonnard. Origines des différences de résultats fournis par un modèle multimédia simple et le modèle CALTOX : cas de l'estimation des risques par ingestion liés aux émissions de dioxines des grandes installations de combustion. Environnement, Risques and Santé, John Libbey Eurotext, 2003, 2 (5), pp.284-290. ineris-00961884

HAL Id: ineris-00961884

<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00961884>

Submitted on 20 Mar 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ORIGINES DES DIFFERENCES DE RESULTATS FOURNIS PAR UN MODELE MULTIMEDIA SIMPLE ET LE MODELE CALTOX

Cas de l'estimation des risques par ingestion liés aux émissions de dioxines
des Grandes Installations de Combustion

Roseline BONNARD¹

RESUME

L'exposition par ingestion de 2,3,7,8 tétrachlorodibenzodioxine, due aux retombées au sol des rejets atmosphériques de grandes installations de combustion, a été calculée par un modèle constitué d'équations simples et majorantes, écrites sous EXCEL. Les résultats obtenus ont été comparés à ceux fournis par CALTOX, modèle reconnu et respectant le principe de conservation de la masse. L'origine des différences de résultats fournis par les deux modèles a été recherchée. Dans le cas étudié, l'uniformisation des valeurs de paramètres physico-chimiques et des caractéristiques des cibles d'exposition considérées, la modification d'une des hypothèses de transfert et une adaptation du mode de calcul de l'indice de risque par CALTOX ont permis de retrouver des résultats très proches avec les deux modèles.

¹Roseline BONNARD, INERIS, Parc Technologique ALATA, BP n° 2, 60550 - Verneuil-en-Halatte, roseline.bonnard@ineris.fr

Même lorsque les hypothèses de deux modèles paraissent globalement identiques quelques éléments particuliers peuvent conduire à l'obtention de résultats sensiblement différents, d'où la nécessité d'indiquer en détail les hypothèses de calcul prises en compte à travers le modèle employé. Utiliser un modèle simple, au moins dans un premier niveau d'étude, peut favoriser la transparence des études.

Mots-clefs : modèles multimédia, évaluation des expositions, dioxines, CALTOX.

ABSTRACT

The exposure by 2,3,7,8 tetrachlorodibenzodioxine ingestion, linked to the atmospheric fallouts of large combustion plants has been calculated by a model with simple and conservative equations, written in EXCEL's spreadsheets. The results have been compared to those given by CALTOX. The reasons of the differences of results have been analysed.

In the case studied, it has been possible to get very similar results with both models, owing to several changes to make the hypotheses of the models comparable (use of the same physico-chemical parameters' values, use of the same receptors, modification of one of the transfer hypothesis and adaptation of the hazard quotient calculation in CALTOX).

Even when the calculation hypotheses of two models seem globally the same, some elements can be sufficient to give quite different results. That is why it is necessary to precise the details of the hypotheses linked to the model used. Using a simple model, at least, in a first tier, can improve the transparency of studies.

Key words : multimedia models, exposure assessment, dioxins, CALTOX.

1. OBJET

Le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable anime différents groupes de travail, chargés de rédiger des guides sur la réalisation des études d'évaluation des risques sanitaires de différentes activités industrielles. Dans le cadre du groupe de travail « Grande Installation de Combustion » (GT-GIC), une étude quantitative d'évaluation des risques sanitaires, portant sur une installation moderne brûlant du charbon, a été effectuée, à titre d'exemple.

L'évaluation des expositions par ingestion, due aux retombées au sol des rejets atmosphériques a été réalisée par une méthode de calcul basée sur des équations simples, supposant l'accumulation des polluants dans le sol au cours du temps. Les résultats ainsi obtenus pour les dioxines sont plus élevés que ceux calculés dans d'autres études réalisées à l'aide du logiciel CALTOX [1,2,3,4] (logiciel conçu par CAL-EPA² et aujourd'hui très utilisé en France, dans les études d'impact dû à des émissions atmosphériques d'installations classées), pour des sources d'émission bien supérieures. Un travail a donc été effectué pour comparer les niveaux de risque calculés selon l'approche développée pour le GT-GIC avec ceux qui auraient été obtenus en employant CALTOX. L'origine des différences de résultats a été recherchée et est présentée dans cet article.

2. PRINCIPES DE CALCUL DES DEUX MODELES

2.1. MODELE CONSTRUIT POUR LE GROUPE DE TRAVAIL DES GRANDES INSTALLATIONS DE COMBUSTION

² CAL-EPA : branche californienne de l'agence américaine de protection de l'environnement

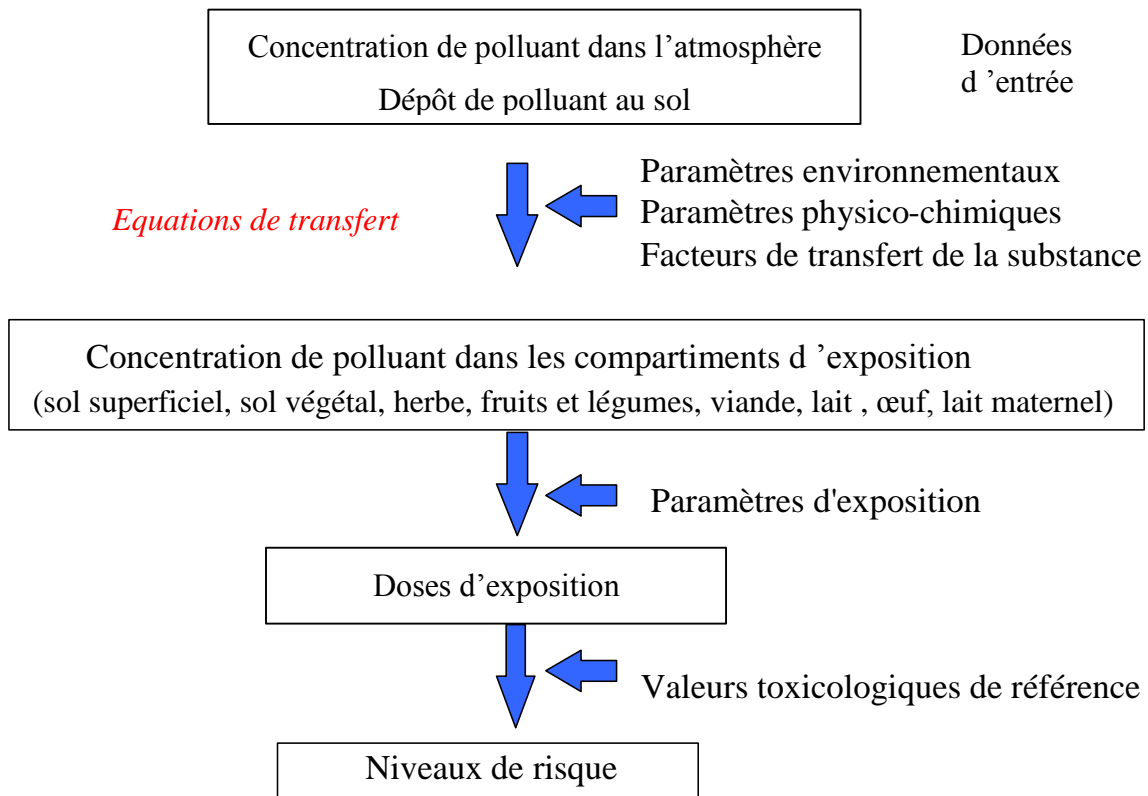
Le modèle construit pour l'étude de cas réalisée dans le cadre du groupe de travail des grandes installations de combustion reprend en partie les équations et paramètres présentés dans le document « Human Health Risk Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities » (HHRAP) [5]. Toutefois, quelques adaptations ont été réalisées, concernant le scénario d'exposition, les équations utilisées et la valeur des paramètres, en fonction des hypothèses d'exposition retenues par le groupe de travail. Le modèle a été construit sous Excel.

Les données d'entrée sont les concentrations atmosphériques et les retombées au sol de polluant dans la zone d'étude. Ces éléments d'entrée sont calculés par un logiciel de dispersion atmosphérique.

Dans l'approche utilisée pour le GT-GIC, les dépôts de polluant au sol sont supposés s'accumuler au cours du temps sans aucun phénomène d'atténuation (lixiviation, érosion, dégradation, ...) et la concentration de polluant dans le sol est obtenue par calcul de dilution de la quantité de polluant déposé dans la couche de sol considérée. La modélisation est ensuite simplement basée sur l'utilisation de coefficients de transferts. Le principe consiste à calculer la concentration de polluants dans le milieu aval ou récepteur à partir d'un coefficient de transfert et de la concentration dans le milieu amont ou source. A titre d'exemple, la concentration de polluant dans les végétaux est calculée à partir de la concentration dans le sol, de la concentration gazeuse de polluant dans l'air et du dépôt particulaire (structure du modèle schématisée en figure 1).

L'ensemble des hypothèses de calcul (phénomènes pris en compte, valeurs de paramètres, ...) employées pour le GT-GIC, sont disponibles dans le document [6].

Figure 1 : Schéma de principe du modèle du GT-GIC



2.2. CALTOX

CALTOX est un modèle développé sous Excel, pour le Department of Toxic Substances Control (DTSC) dans le but d'aider, initialement, à évaluer les risques pour la santé liés aux sols pollués. Il est toutefois possible d'évaluer les risques liés à d'autres sources de pollution, comme celles dues à une pollution atmosphérique.

Le modèle et la documentation sont disponibles sur internet à l'adresse : www.cwo.com/~herd1/ctox_dwn.htm.

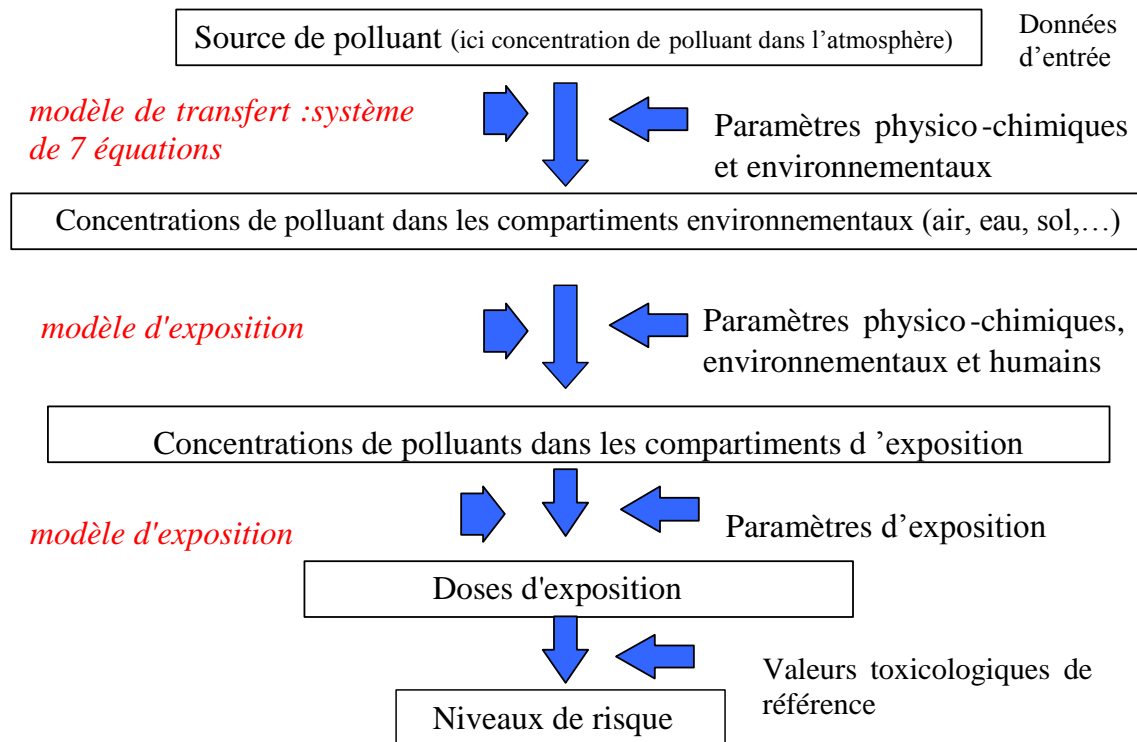
La version utilisée dans ce travail et décrite ci-dessous est la version 2.3.

Le modèle comporte deux parties principales : un modèle de transfert des polluants dans l'environnement, permettant de calculer les concentrations dans les compartiments environnementaux (sol superficiel, couche de sol cultivable, végétaux, air,...) et un modèle d'exposition, permettant de calculer les concentrations dans les compartiments d'exposition (fruits et légumes consommés, viande, œufs,...) et les doses d'exposition.

Le modèle de transfert est basé sur une représentation de l'environnement à partir de sept compartiments : une couche de sol superficiel, une couche de sol sous-jacent cultivable ou végétal, une couche de sol plus profond correspondant à la zone située entre la couche cultivable et la nappe, l'air, les eaux superficielles, les sédiments et les végétaux. Un système de sept équations représente les échanges diffusifs et convectifs de polluants entre ces compartiments. La variation de la masse de polluant dans la couche de sol végétal et la couche de sol la plus profonde au cours du temps est représentée grâce à deux équations différentielles du premier ordre. Les échanges entre les autres compartiments sont représentés par des équations linéaires, ces compartiments étant considérés dans un état quasi-stationnaire par rapport à la couche de sol cultivable et la couche de sol profond. Ce système d'équations permet d'assurer la prise en compte du principe de conservation de la masse du polluant.

Les concentrations de polluant dans les milieux d'exposition sont ensuite calculées par le module d'exposition à partir des concentrations dans les milieux environnementaux (structure du modèle schématisée en figure 2).

Figure 2 : Schéma de principe du modèle CALTOX



3. DESCRIPTION DES HYPOTHESES D'ENTREE DU CAS D'ETUDE ET DES CONDITIONS DE COMPARAISON DES DEUX MODELES

3.1. SUBSTANCE ETUDIEE ET TERMES SOURCES

La comparaison des deux modèles porte sur la modélisation des expositions liées aux rejets de dioxine d'une grande installation de combustion de charbon. La somme des congénères est traduite en une concentration équivalente de 2,3,7,8 tétrachlorodibenzodioxine, à partir des facteurs d'équivalence toxique et ce sont les paramètres physico-chimiques de cette substance qui sont utilisés dans les deux modèles étudiés.

Les termes sources utilisés dans les deux modèles d'exposition étudiés sont les suivants :

- Concentration totale de polluant dans l'air : $1,74 \cdot 10^{-17}$ g/m³ (donnée d'entrée utilisée par CALTOX et le modèle du GT-GIC),
- Dépôt gazeux : $5,38 \cdot 10^{-12}$ g/m²/an (donnée d'entrée utilisée uniquement par le modèle du GT-GIC, les dépôts étant calculés par CALTOX à partir de la concentration atmosphérique), calculé avec une vitesse de dépôt gazeux de 1 cm/s,
- Dépôt particulaire : $1,57 \cdot 10^{-13}$ g/m²/an (donnée d'entrée utilisée uniquement dans le modèle du GT-GIC), calculé avec une vitesse de dépôt particulaire de 2 cm/s.

Ces trois données reposent sur des mesures de débits de polluants émis à la cheminée, des données météorologiques pluriannuelles et l'utilisation d'un modèle de dispersion atmosphérique.

Pour l'estimation des niveaux de risque, les valeurs toxicologiques utilisées sont :

- pour les effets cancérigènes, la valeur d'excès de risque recommandée par l'US EPA dans le document provisoire d'évaluation des risques liés à la dioxine et datant de 2000 [7], soit $5 \cdot 10^{-3}$ (pg I-TEQ/kg/j)⁻¹,
- pour les effets non cancérigènes, la dose journalière admissible retenue par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, soit 1 pg I-TEQ/kg/j.

3.2. SCENARIO D'EXPOSITION

Les expositions sont évaluées pour des individus vivant au droit du site correspondant aux retombées au sol les plus importantes.

L'installation de combustion est supposée fonctionner pendant 30 ans et les populations sont considérées exposées pendant toute cette période. Les rejets atmosphériques et les retombées au sol sont supposés constants pendant toute la durée de fonctionnement.

Les voies d'exposition prises en compte sont les suivantes :

- Pour les nourrissons : ingestion de lait maternel.
- Pour les autres individus :
 - ingestion de sol,
 - ingestion de légumes et de fruits,
 - ingestion de viande,
 - ingestion de lait et produits laitiers,
 - ingestion d'œufs.

3.3. PARAMETRES D'EXPOSITION ET ENVIRONNEMENTAUX

La liste des paramètres utilisés par les deux modèles n'est pas strictement identique. Toutefois, les paramètres (à l'exclusion des paramètres physico-chimiques de la substance qui font l'objet d'un travail de comparaison) se trouvant dans les deux modèles sont renseignés avec les mêmes valeurs, à savoir celles utilisées pour l'étude de cas du GT-GIC. Cela concerne en particulier les quantités alimentaires consommées et issues du site, le poids des individus, les paramètres du sol, les durée et fréquence d'exposition.

4. COMPARAISON DES NIVEAUX DE RISQUE CHRONIQUE OBTENUS AVEC LE MODELE CALTOX ET LE MODELE DU GT-GIC

Les résultats fournis par les deux modèles, sont comparés, dans les conditions décrites ci-dessus et en utilisant pour chacun le jeu de paramètres physico-chimiques qui lui est propre.

Tableau 1 : Résultats fournis par le modèle du GT-GIC et par CALTOX dans les conditions définies au chapitre 3.

	Niveaux de risque	Pourcentages du risque représenté par les voies d'exposition principales
Modèle du GT-GIC	ERI ¹ =1,2.10 ⁻⁴	40 % : ingestion de viande 30 % : ingestion de lait maternel 29 % : ingestion de lait
	IR ² =2,1.10 ⁻¹	54 % : ingestion de lait 44 % : ingestion de viande
CALTOX	ERI =4,5.10 ⁻⁵	63 % : ingestion de viande 19 % : ingestion de lait maternel de 0 à 1 an
	IR =2,4.10 ⁻¹	100 % : ingestion de lait maternel

¹ : ERI : Excès de risque individuel

² : IR : Indice de risque

Le modèle du GT-GIC donne un niveau de risque pour les effets cancérigènes plus élevé que celui obtenu avec CALTOX. La différence est d'un facteur 2,7. Pour les effets non cancérigènes, les résultats obtenus sont similaires. Pourtant, la contribution différente des voies d'exposition au risque entre les deux modèles indiquent des divergences dans les modes de calcul. C'est pourquoi, l'influence des paramètres physico-chimiques et de différents facteurs liés à la structure des modèles a été investiguée.

5. EXPLICITATION DE L'ORIGINE DES DIFFERENCES DE RESULTATS ENTRE LES DEUX MODELES

5.1. INFLUENCE DES VALEURS DE PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES UTILISEES SUR LES NIVEAUX DE RISQUES CHRONIQUES

Les valeurs des paramètres physico-chimiques fournies par CALTOX ont été remplacées par celles utilisées dans le modèle du GT-GIC.

Tableau 2 : Résultats fournis par CALTOX selon les valeurs de paramètres physico-chimiques utilisées

	Niveaux de risque	Pourcentages du risque représenté par les voies d'exposition principales
CALTOX (paramètres physico-chimiques propres au modèle, avec prise en compte des phénomènes de dégradation)	ERI = $4,5 \cdot 10^{-5}$	63 % : ingestion de viande 19 % : ingestion de lait maternel de 0 à 1 an
	IR = $2,4 \cdot 10^{-1}$	100 % : ingestion de lait maternel
CALTOX (paramètres physico-chimiques propres au modèle, sans prise en compte des phénomènes de dégradation)	ERI = $7,2 \cdot 10^{-5}$	56 % : ingestion de viande 19 % : ingestion de lait maternel de 0 à 1 an 12 % : ingestion d'œuf 10 % : ingestion de fruits et légumes
	IR = $3,9 \cdot 10^{-1}$	100 % : ingestion de lait maternel
CALTOX (paramètres physico-chimiques définis pour l'étude de référence du GT-GIC, sans prise en compte des phénomènes de dégradation)	ERI = $3,9 \cdot 10^{-5}$	62 % : ingestion de lait maternel 18 % : ingestion de viande 12 % : ingestion de fruits et légumes
	IR = $8,8 \cdot 10^{-1}$	100 % : ingestion de lait maternel

Dans CALTOX, les différents phénomènes de dégradation sont pris en compte par le biais de paramètres de demi-vie définis pour chaque compartiment environnemental (par opposition au modèle utilisé pour le GT-GIC où tous les phénomènes d'atténuation sont négligés). Le fait de ne prendre en compte aucun phénomène de dégradation au cours du temps, en fixant artificiellement dans CALTOX, des durées de demi-vie très longues, augmente les niveaux de risque calculés à l'aide de ce modèle d'environ 60 %.

Par ailleurs, le remplacement des valeurs des paramètres physico-chimiques de CALTOX par les valeurs définies pour l'étude de cas du GT-GIC, induit une réduction de l'excès de risque individuel de 50 %, mais augmente l'indice de risque de 125 %.

Les paramètres physico-chimiques de CALTOX sont explicités dans un document [8] intitulé « Intermedia transfer for contaminants found at hazardous waste sites, 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin ». Les valeurs utilisées correspondent à la moyenne arithmétique des valeurs trouvées dans la littérature. En l'absence de données, des relations de type QSAR (Quantitative Structure Activity Relationship) ont été employées pour définir la valeur des paramètres de transfert.

Les paramètres définis pour le GT-GIC sont quant à eux issus d'une étude bibliographique critique portant sur des documents de synthèse et des publications originales. Si après analyse de celles-ci, plusieurs valeurs semblaient être utilisables, la moyenne géométrique des valeurs a été retenue. Les QSAR n'ont pas été utilisées. Une note expliquant précisément le mode de définition des valeurs sélectionnées est fournie dans le document [6].

La comparaison des deux listes de paramètres montre qu'à l'exception des paramètres de transfert du régime alimentaire de la vache au lait produit et du régime alimentaire de la femme allaitante vers le lait maternel, les autres paramètres présents dans CALTOX sont plus pénalisants en terme de risque que ceux utilisés dans le modèle du GT-GIC. Une différence de valeur importante, entre les deux modèles, pour le coefficient de biotransfert du régime alimentaire de la femme allaitante vers le lait maternel explique la forte augmentation de l'indice de risque reporté à la dernière ligne du tableau 2. La valeur issue du modèle du GT-GIC a été calculée à partir d'une étude où les concentrations dans le lait et dans l'alimentation des mères ont été mesurées. La valeur proposée dans la documentation associée à CALTOX est issue, quant à elle, d'une relation de type QSAR.

Finalement, en utilisant les mêmes paramètres physico-chimiques dans les deux modèles, le modèle du GT-GIC donne un excès de risque plus élevé que CALTOX, la différence étant d'un facteur 3 et un indice de risque plus faible d'un facteur 4 (cf. Tableau 1 et Tableau 2).

En fait, CALTOX et le modèle construit pour le GT-GIC présentent une structure et des fonctionnalités différentes. Dans la suite, l'impact de trois éléments propres à la construction de ces modèles est testé.

Remarque : Dans la suite de l'article, pour une meilleure visibilité, les simulations ont été réalisées avec le même jeu de paramètres physico-chimiques. Les paramètres utilisés sont ceux définis pour l'étude du GT-GIC. Aucun phénomène de dégradation des dioxines au cours du temps n'a été considéré.

5.2. INFLUENCE DE LA COUCHE DE SOL SERVANT DE SUPPORT A L'HERBE DE PATURAGE

Dans le modèle construit pour le GT-GIC, le calcul de la contamination de l'herbe broutée par les bovins est réalisé en considérant que les dépôts atmosphériques s'accumulent entièrement dans une couche de sol superficiel, de 1 cm d'épaisseur (hypothèse issue de la méthode HHRAP [5]), où se développent les racines de l'herbe. Cette hypothèse est simpliste et majorante. Elle ne tient pas compte des phénomènes de transfert de la pollution plus en profondeur. A l'inverse, dans CALTOX la contamination des végétaux, y compris l'herbe broutée par les bovins est reliée à la contamination d'une couche de sol cultivable, plus épaisse (prise ici égale à 20 cm) et située sous la couche de sol superficiel. La couche de sol cultivable, qui n'est pas directement exposée aux retombées atmosphériques, peut présenter une concentration de polluant moindre que celle où reposent réellement les racines de l'herbe de pâturage, d'où une éventuelle sous-estimation du risque.

Dans l'essai suivant, l'influence de ce facteur est testée, par une modification du code de calcul de CALTOX : la contamination de l'herbe broutée par les bovins par passage racinaire est reliée à la couche de sol superficiel de 1 cm d'épaisseur, et non plus à la contamination de la couche de sol cultivable.

Tableau 3 : Résultats fournis par CALTOX en fonction de la couche de sol servant de support à l'herbe de pâturage.

	Niveaux de risque	Pourcentages du risque représenté par les voies d'exposition principales
CALTOX	ERI = $3,9 \cdot 10^{-5}$	62 % : ingestion de lait maternel 18 % : ingestion de viande 12 % : ingestion de fruits et légumes
	IR = $8,8 \cdot 10^{-1}$	100 % : ingestion de lait maternel
CALTOX – modification de l'équation de contamination de l'herbe de pâturage	ERI = $1,6 \cdot 10^{-4}$	61 % : ingestion de lait maternel 27 % : ingestion de viande 8 % : ingestion de lait
	IR = 3,6	100 % : ingestion de lait maternel

Cette seule modification du code de calcul se traduit par la multiplication de l'excès de risque individuel et de l'indice de risque par un facteur 4.

5.3. INFLUENCE DES CIBLES PRISES EN COMPTE DANS LES MODELES

Dans le modèle du GT-GIC, 9 classes d'âge différentes ont été considérées pour une plus grande précision de l'estimation des expositions, cette estimation pouvant alors être basée sur des consommations alimentaires et un poids corporel différents selon les tranches d'âge. Pour les effets cancérigènes, l'exposition a alors été estimée de la naissance à 30 ans, en pondérant les expositions de chacune des classes d'âge par leur durée. Pour les effets non cancérigènes, l'exposition de chacune des classes d'âge a été estimée, afin de mettre en évidence et de calculer l'indice de risque à partir de la classe d'âge subissant l'exposition la plus élevée. Dans cette étude, il s'agissait des enfants âgés de 1 à 3 ans.

Dans CALTOX, seules deux classes d'âge sont différenciées :

- la première correspond au nourrisson âgé de 0 à 1 an, ne s'alimentant que de lait maternel,
- la seconde correspond à un adulte.

Les calculs des expositions pour la détermination des risques cancérigènes et des risques non cancérigènes sont basés sur les mêmes principes que ceux utilisés dans le modèle GT-GIC.

Dans cet essai, le modèle du GT-GIC a été modifié pour ne prendre en compte que les deux classes d'âge définies dans CALTOX. Les résultats sont les suivants :

Tableau 4 : Résultats fournis par le modèle du GT-GIC en fonction de la définition des cibles exposées

	Niveaux de risque	Pourcentages du risque représenté par les voies d'exposition principales
Modèle du GT-GIC – Prise en compte de 9 classes d'âge	ERI = $1,2 \cdot 10^{-4}$	40 % : ingestion de viande 30% : ingestion de lait maternel 38 % : ingestion de lait
	IR = $2,1 \cdot 10^{-1}$	52 % : ingestion de lait 46 % : ingestion de viande
Modèle du GT-GIC – Prise en compte des 2 classes d'âge de CALTOX	ERI = $1,2 \cdot 10^{-4}$	60 % : ingestion de lait maternel 28 % : ingestion de viande 11 % : ingestion de lait
	IR = 1,9	100 % : ingestion de lait maternel

Cette modification n'a pas d'effet sensible sur l'excès de risque calculé avec le modèle du GT-GIC. En revanche, l'indice de risque est multiplié par 9, car la classe d'âge la plus exposée devient alors celle du nourrisson, exposé via le lait maternel.

Après les modifications apportées à CALTOX au paragraphe 4.3 et au modèle du GT-GIC dans le présent paragraphe, il convient de noter que les excès de risque calculés par les deux modèles sont très proches et que la contribution des voies d'exposition au risque est similaire pour les deux modèles. En revanche, CALTOX fournit un indice de risque qui reste environ deux fois supérieur à celui calculé par le modèle du GT-GIC.

En fait, le mode de calcul de cet indice de risque par CALTOX est mal adapté dans le cas traité ici.

5.4. ADAPTATION DE L'INDICE DE RISQUE SOUS CALTOX

A titre d'exemple, si on considérait non plus 30 ans, mais 70 ans de rejets atmosphériques des dioxines, CALTOX fournirait toutes hypothèses égales par ailleurs, un indice de risque qui serait plus faible (IR = 3,0 pour 70 ans de rejets et IR= 3,6 pour 30 ans de rejets). L'indice de risque est calculé ici à partir de l'exposition du nourrisson via le lait maternel. La contamination du lait maternel dépend de la dose d'exposition de la mère, calculée, soit sur la vie entière (calcul pris en compte par CALTOX à 30 ans), soit au terme de la période de rejet (calcul pris en compte par CALTOX à 70 ans), en retenant le cas le plus défavorable.

Mais dans la plupart des cas, lorsque la contamination est d'origine atmosphérique, les indices de risque fournis à 30 ans et à 70 ans par CALTOX sont quasi-identiques, contrairement à ceux fournis par le modèle du GT-GIC, qui augmentent avec la durée du rejet.

En effet, lorsque la pollution est d'origine atmosphérique, l'exposition des cibles, d'après le modèle CALTOX, est principalement liée à la contamination de l'air et du sol superficiel. D'après les hypothèses d'entrée, la concentration de polluant dans l'air est constante durant la période de rejet. Quant au sol superficiel, sa contamination est liée pour l'essentiel à celle de l'air, de manière directe et indirecte. Il présente donc une concentration quasi-constante au cours du temps et par conséquent, la dose totale d'exposition suit le même comportement.

De manière contradictoire, CALTOX calcule, pour les mêmes cibles, des doses d'exposition au terme de la période de rejet (servant au calcul de l'indice de risque) qui sont égales au double des doses d'exposition moyenne calculées sur les mêmes périodes de rejet.

En effet, la dose d'exposition au terme de la période de rejet est calculée à l'aide d'une règle de trois faisant intervenir la concentration de polluant dans la couche de sol cultivable au terme de la période des rejets, la concentration moyenne de polluant dans la couche de sol cultivable pendant la durée d'exposition (identique dans notre cas à la période des rejets) et la dose d'exposition moyenne pendant cette même durée, selon l'équation suivante :

$$D_T = \frac{D_m}{C_m} \times C_T$$

avec D_T : dose d'exposition de la cible la plus exposée au terme de la période des rejets et servant au calcul de l'indice de risque,

C_T : Concentration de polluant dans la couche de sol cultivable au terme de la période d'exposition

C_m : concentration moyenne de polluant dans la couche de sol cultivable pendant la période d'exposition,

D_m : dose moyenne d'exposition pendant la période d'exposition

Or, d'après le système d'équations de CALTOX, la concentration de polluant dans la couche de sol cultivable augmente au cours du temps (lorsque la concentration est encore relativement éloignée de la concentration à l'état stationnaire : $C_T \approx 2 \times C_m$, d'où $D_T \approx 2 \times D_m$).

Si l'on calcule, à l'aide de CALTOX, l'indice de risque avec les concentrations de polluants dans les milieux environnementaux directement après 30 ans de rejets, sans utiliser la règle de 3 ci-dessus, et en considérant l'exposition de la mère au terme de la période de rejet, on obtient une dose d'exposition de $1,5 \cdot 10^{-9}$ mg/kg/j et un indice de risque de 1,5.

Cette fois, moyennant les modifications décrites ci-dessus pour rendre comparables certaines des hypothèses de calcul des deux modèles, l'indice de risque obtenu avec CALTOX est proche de celui calculé avec le modèle du GT-GIC (IR = 1,9).

6. CONCLUSION

Dans le cas étudié, pour retrouver des niveaux de risques semblables à partir de CALTOX et du modèle construit pour le GT-GIC, il a été nécessaire d'uniformiser la valeur des paramètres physico-chimiques utilisés et d'apporter quelques corrections au cœur des équations (modification de la couche de sol servant de support à l'herbe de pâturage, prise en compte des mêmes cibles d'exposition et correction du calcul de l'indice de risque par CALTOX).

Dans d'autres cas, les sources de divergences peuvent être plus nombreuses.

D'une manière générale, le paramétrage est important à considérer, notamment les valeurs des paramètres physico-chimiques. Mais au-delà du paramétrage, il est important de vérifier que ce sont bien les mêmes choses qui sont calculées dans les différents modèles. Comme démontré ici, il peut exister des différences concernant la définition des cibles exposées ou les hypothèses de transfert des polluants. Dans d'autres cas, les voies d'exposition prises en compte sont différentes, les risques ne sont pas calculés sur les mêmes périodes, etc...

Les lecteurs d'études de risques reprochent souvent, avec raison, le manque de cohérence qui peut exister entre les résultats d'études réalisées par des évaluateurs différents : certaines études présentant pour des sources de contamination faibles des risques plus élevés que les études portant sur des situations de pollution connues pour être importantes. Ce constat pose des problèmes en terme de communication des risques. Il peut être souvent à l'origine de la remise en cause des conclusions des études par les parties prenantes et peut conduire à la réalisation de diverses contre-expertises, qui rendent parfois encore plus difficile la conclusion.

Pour le simple lecteur d'une étude, il peut être difficile de savoir ce qui a été réellement pris en compte et calculé par le modèle utilisé, et cela d'autant plus qu'il s'agit d'outils de calcul « tout faits ». Force est de constater qu'il est généralement difficile de savoir exactement ce que contiennent les codes de calcul, au vu de la documentation fournie. Ainsi, malgré l'intérêt scientifique d'un modèle comme CALTOX, la réécriture d'équations simples sous un logiciel tel que EXCEL est l'occasion de poser à plat les hypothèses et les conditions de l'évaluation. La fourniture, par l'évaluateur de risque de l'ensemble des paramètres et équations utilisés permet d'accéder aux hypothèses de l'estimation des expositions et a le mérite de permettre une plus grande transparence dans la signification des résultats obtenus.

7. BIBLIOGRAPHIE

- [1] The University of California. CALTOX, a multimedia total exposure model for hazardous-waste sites : Executive summary. Berkeley : The department of Toxic Substances control (DTSC), 1993 : 31 pages
- [2] The University of California. CALTOX, a multimedia total exposure model for hazardous-waste sites : The dynamic multimedia transport and transformation model. Berkeley : The department of Toxic Substances control (DTSC), 1993 : 98 pages
- [3] The University of California. CALTOX, a multimedia total exposure model for hazardous-waste sites : The multiple pathway exposure model. Berkeley : The department of Toxic Substances control (DTSC), 1993 : 89 pages
- [4] The University of California. CALTOX version 2.3, Description of modifications and revisions. Berkeley : The department of Toxic Substances control (DTSC), 1997 : 42 pages
- [5] Environmental Protection Agency, HHRAP : Human Health Risk Assessment Protocol for hazardous waste combustion facilities, Peer review draft, Office of Solid Waste, 1998 : EPA/530/0-98/001A
- [6] Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, Evaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion, partie 2. Verneuil-en Halatte : INERIS, 2003 : 23 pages + annexes
- [7] USEPA, NCEA, Draft Exposure and Human Health Reassessment of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin (TCDD) and Related Compounds, EPA/600/P-00/001Bd, 2000, <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/part1and2.cfm?ActType=default>
- [8] The University of California. Intermedia transfer for contaminants found at hazardous waste sites, 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD), Final draft report. Davis :The department of Toxic Substances control (DTSC), 1994 : 31 pages.