

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

Dernière mise à jour : 06/03/2007

RESPONSABLE DU PROGRAMME

J.-M. BRIGNON : jean-marc.brignon@ineris.fr

EXPERTS AYANT PARTICIPE A LA REDACTION

A. GOUZY : aurelien.gouzy@ineris.fr

Veillez citer ce document de la manière suivante :

*INERIS, 2007. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France :
HEXACHLOROCYCLOHEXANE, 22p. (<http://rsde.ineris.fr/>)*

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

SOMMAIRE

1	Généralités	3
1.1	Définition et caractéristiques principales	3
1.2	Réglementation	4
1.3	Cas particulier du lindane	6
1.4	Classification	7
2	production et vente	8
2.1	Production et utilisations	8
2.2	Utilisations	10
3	rejets et présence dans l'environnement	12
3.1	Comportement dans l'environnement	12
3.2	Principales sources de rejet	14
3.3	Rejets lors de la production	14
3.4	Rejets liés à l'utilisation de la substance	14
3.5	Pollutions historiques	14
4	Possibilité de réduction des rejets	16
4.1	Produits de substitution	16
4.2	Réduction des émissions	17
5	aspects économiques	18
5.1	Place de la substance dans l'économie française	18
5.2	Impact économique des mesures de réduction	18
6	conclusions	19
7	references	19
7.1	Entreprises, organismes et experts interrogés	19
7.2	Sites internet consultés	20
7.3	Bibliographie	21

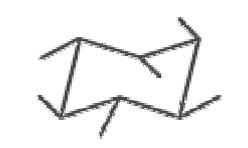
HEXACHLOROCYCLOHEXANE

1 GENERALITES

1.1 Définition et caractéristiques principales

Les principales caractéristiques de l'hexachlorocyclohexane et de ses principaux isomères sont présentées dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1. Caractéristiques de l'hexachlorocyclohexane et de ses principaux isomères (d'après Fabre et al., 2005).

Principaux isomères*	N° CAS	N° EINECS	Formule développée
α-HCH (67-70%)	319-84-6		
γ-HCH (13%) (lindane ; C₆H₆Cl₆)	58-89-9	602-043-00-6	
β-HCH (5-6%)	319-85-7		
δ-HCH (6%)	319-86-8		
HCH technique (mélange d'isomères)	640-19-7		

(*les pourcentages indiqués correspondent aux proportions des isomères lors de la synthèse de l'hexachlorocyclohexane par photochloration du benzène).

L'hexachlorocyclohexane ou HCH (C₆H₆Cl₆) est un composé chimique faisant partie de la famille des organochlorés. Il existe sept isomères de cette substance: l'alpha (α), le bêta (β),

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

le gamma (γ), le delta (δ), le lambda (λ), l'épsilon (ϵ) et le nu (ν) hexachlorocyclohexane. Les trois derniers sont obtenus à l'état de traces lors de la synthèse du lindane (c'est-à-dire le produit dans lequel l'isomère gamma du HCH représente au moins 99%). Le HCH se présente sous l'aspect d'un solide blanc cristallin qui se dégage dans l'air par des vapeurs incolores avec une légère odeur de moisissures (ATSDR, 2005a). Seul le lindane (γ -HCH) est utilisé pour ses propriétés insecticides, les autres isomères sont dits « inactifs ». En agriculture, le lindane est utilisé contre les organismes suceurs et rongeurs, il est également employé pour ses propriétés antiparasitaires dans les mesures d'hygiène humaine et vétérinaire (PARNA, 2006).

1.2 Réglementation

1.2.1 Convention internationale

L'hexachlorocyclohexane technique et le lindane sont considérés comme des « polluants organiques persistants » (POP) depuis le protocole d'Aarhus¹ signé le 24 juin 1998, approuvé par la France en 2002 (loi n°2002-285 du 28 février 2002 et décret de publication du 12 septembre 2002) et entré en vigueur en 2003. Ces molécules y figurent en tant que substances dont l'utilisation doit être restreinte. Le HCH technique peut être utilisé uniquement en tant que produit intermédiaire dans l'industrie chimique.

1.2.2 Directives européennes

La directive 84/491/CEE du Conseil des communautés européennes du 9 octobre 1984 (Journal Officiel L 274 du 17 octobre 1984) fixe des valeurs limites d'hexachlorocyclohexane dans les eaux soumises à des rejets :

- eaux continentales de surface affectées par les rejets : 100 ng.L⁻¹
- eaux d'estuaires et de mers territoriales : 20 ng.L⁻¹

¹ http://www.unece.org/env/lrtap/pops_h1.htm

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

Tableau 1.2. Directive 84/491/CE du 9 octobre 1984 donnant les valeurs limites à appliquer pour les rejets.

Établissements de production de HCH	Grammes de HCH par tonne de HCH produite	2
	Milligrammes de HCH par litre rejeté	2
Établissements pour l'extraction du lindane	Grammes de HCH par tonne de HCH traitée	4
	Milligrammes de HCH par litre rejeté	2
Établissement de production du HCH et d'extraction du lindane	Grammes de HCH par tonne de HCH produite	5
	Milligrammes de HCH par litre rejeté	2

D'après la directive 2002/371/CE de la Commission Européenne (Journal Officiel L 133 du 18 mai 2002), les fibres de laine ne doivent pas contenir plus de 0,5 ppm (parties par million) de HCH (somme des isomères) alors que la limite pour les fibres de coton est de 0,005 ppm.

Le règlement 850/2004 du Conseil et du Parlement Européen du 29 avril 2004 (Journal Officiel L 158 du 30 avril 2004) prévoit l'interdiction totale de la production du HCH, le lindane y compris, et la réduction maximale de son utilisation en vue de son élimination d'ici la fin de l'année 2007. Un échéancier visant à réduire leur utilisation stipule que par dérogation, les Etats membres peuvent autoriser les utilisations suivantes :

- Jusqu'au 01.09.2006
 - traitement curatif et industriel professionnel des bois de charpente et de construction et grumes ;
 - applications industrielles et résidentielles intérieures ;
- Jusqu'au 31.12.2007 :
 - utilisation du HCH comme intermédiaire dans la fabrication de substances chimiques ;
 - utilisation des produits contenant au moins 99 % d'isomère γ -HCH limitée à des applications de santé publique et en tant qu'insecticide vétérinaire topique.

Ce règlement reprend les différentes utilisations autorisées du lindane énumérées dans le protocole d'Aarhus de 1998.

Le HCH figure sur la liste des substances recensées pour une action prioritaire, dans l'annexe 2 de la stratégie de l'OSPAR (2006).

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

1.2.3 Textes français

La directive 84/491/CEE est reprise par l'arrêté du 2 février 1998 de la République Française² (Journal Officiel du 3 mars 1998). Ce texte donne des valeurs limites des normes d'émission du HCH pour les rejets provenant d'établissements industriels :

- Production de HCH : 2 mg.L⁻¹ et 2 g.t⁻¹ de HCH produite ;
- Extraction de lindane : 2 mg.L⁻¹ et 4 g.t⁻¹ de HCH traitée ;
- Production de HCH et extraction de lindane : 2 mg.L⁻¹ et 5 g.t⁻¹ de HCH produite.

L'arrêté du 24 décembre 2002 (Journal Officiel du 7 mars 2003) fixe le seuil d'émission dans l'air à 10 kg.an⁻¹ pour les installations classées soumises à autorisation.

1.3 Cas particulier du lindane

Le lindane est soumis à une réglementation très stricte pour son utilisation en tant qu'insecticide. Les principaux textes réglementaires repris ci dessous sont issus de la fiche toxicologique concernant le lindane³ rédigée par INERIS (2005).

Qualité des eaux de consommation

France : Décret n° 2001 - 1220 du 20 décembre 2001 (Journal Officiel du 22 décembre 2001) relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles.

Pour les pesticides (dont le lindane) : 0,1 µg.L⁻¹

OMS : Directives de qualité pour l'eau de boisson (1996).

Valeur seuil de 2 µg.L⁻¹

² Texte disponible sur le site Internet AIDA (http://aida.ineris.fr/cadre_rech.htm).

³ http://www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getDoc&id_doc_object=2382

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

Valeurs utilisées en milieu professionnel

VME (Valeur limite moyenne d'exposition) = 0,5 mg.m⁻³ (INRS, 2000)

Valeurs de référence pour les produits alimentaires

La directive 2002/66/CE (Journal Officiel L 192 du 20 juillet 2002) spécifie que la teneur maximale de lindane dans la viande de volaille ne doit pas dépasser 0,7 ppm et 0,1 ppm dans les œufs.⁴

Cette directive fixe aussi la norme maximale pour les céréales qui est de 0,01 ppm (somme des isomères).

En France, l'utilisation de HCH technique est interdite depuis 1988 tandis que le lindane est interdit sauf pour le traitement du bois et la formulation de produits antiparasitaires d'après le décret 92-1074 du 2 octobre 1992 (Journal Officiel du 4 octobre 1992)⁵.

Le lindane est aussi concerné par le registre REACH qui vise à revoir la mise sur le marché de substances chimiques (300 000 produits sont concernés) à cause de leur utilisation pour le traitement des poux ou du bois. Ce projet sera en place pour 2015. Néanmoins, le lindane ne nécessite pas d'être enregistré dans le registre REACH du fait des autres réglementations plus contraignantes s'appliquant déjà à ce type de substances.

Actuellement, dans le cadre de la Convention de Rotterdam, l'Union Européenne interdit l'importation de lindane pour usage phytopharmaceutique, mais certains pays dont la France autorisent son importation pour l'usage dans des biocides. Les pays de l'Union qui interdisent l'importation pour des biocides sont les suivants : Danemark, Finlande, Irlande, Pays-Bas, Suède.

1.4 Classification

Les principaux éléments de classification cités ci dessous sont issus de la fiche Lindane rédigée par INERIS (2005).

Symboles : T - N

⁴ ppm = mg.kg⁻¹

⁵ <http://aida.ineris.fr/textes/decrets/text0654.htm>

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

T : Toxique (substances qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent entraîner des risques graves, aigus ou chroniques et même la mort).

N : Dangereux pour l'environnement (substances et préparations qui présenteraient ou pourraient présenter un risque immédiat ou différé pour une ou plusieurs composantes de l'environnement).

Phrases de risques :

R 23/24/25 : toxique par inhalation, par contact avec la peau et en cas d'ingestion.

R 36/38 : Irritant pour les yeux et la peau.

R 50/53 : Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.

Conseils de prudence:

S 1/2 : Conserver sous clé et hors de la portée des enfants.

S 13 : Conserver à l'écart des aliments et des boissons, y compris ceux pour animaux.

S 45 : En cas d'accident ou de malaise, consulter immédiatement un médecin (si possible, lui montrer l'étiquette).

S 60 : Eliminer le produit et son récipient comme un déchet dangereux.

S 61 : Eviter le rejet dans l'environnement. Consulter les instructions spéciales / la fiche de donnée de sécurité.

Selon le CIRC (Centre international de recherche sur le cancer) cité par INERIS (2005) les composés de la famille HCH (mélange d'isomères alpha, bêta et gamma) sont classés en Groupe 2B : le mélange pourrait être cancérigène pour l'homme.

2 PRODUCTION ET VENTE

2.1 Production et utilisations

D'après Fabre *et al.* (2005), le HCH technique est obtenu par photochloration du benzène (irradiation avec un rayonnement UV). Plusieurs étapes de purification sont nécessaires pour

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

séparer les différents isomères du HCH et extraire le lindane. Un procédé de synthèse simplifié est présenté dans la figure 2.1.

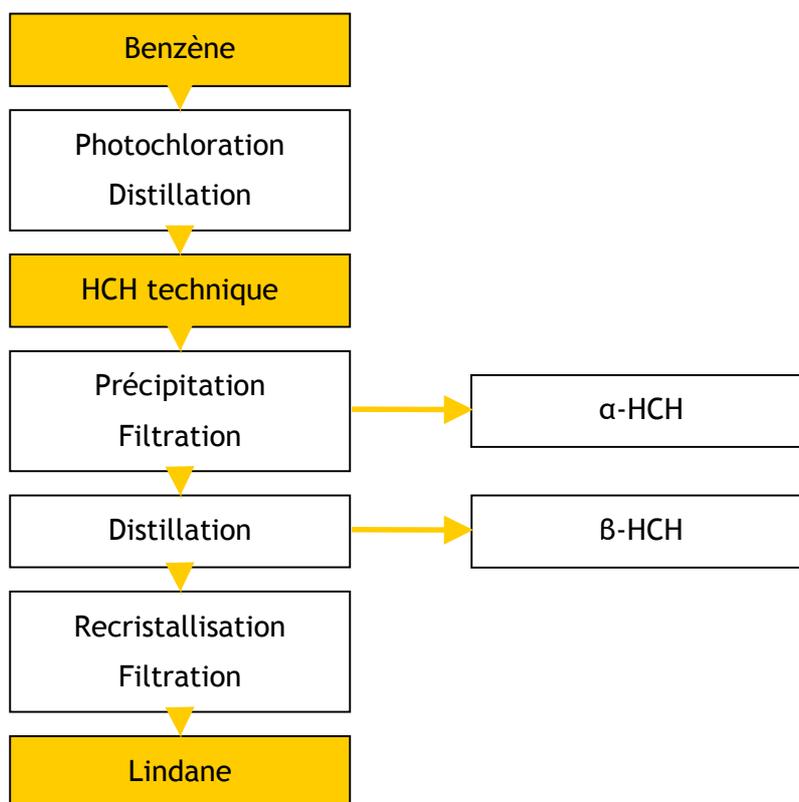


Figure 2.1. Synthèse du lindane (d'après Fabre et al., 2005).

Le processus de fabrication du lindane entraîne la production de 80 à 90 % d'isomères résiduels non désirables. Les isomères α et δ sont utilisés pour la fabrication de trichlorobenzène et d'acide chlorhydrique. Ces informations sont tirées de la fiche de Fabre *et al.* (2005) sur l'hexachlorocyclohexane et isomères qui renferme des renseignements plus détaillés.

Le lindane n'est plus produit en France ni dans l'UE (15) depuis environ une dizaine d'années. Toute production aurait cessé depuis 2001 au moins dans l'ensemble de la zone UNECE (Hauzenberger *et al.*, 2002). D'après le PARNA (2006), l'Inde et la Roumanie étaient les seuls pays à produire du lindane destiné au marché mondial en 2006. L'adhésion de la Roumanie à l'Union Européenne devrait mettre fin à la production de lindane dans ce pays.

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

D'après les affaires indiennes et du Nord canadien (1997) citées sur le site internet de la table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (Canada) à travers un document datant de 1999, l'emploi mondial annuel de lindane serait de 720 000 tonnes auxquelles s'ajoutent 55 000 tonnes de HCH technique. Cette estimation complète celle de Li (1999) citée par Fabre *et al.* (2005) qui fait état d'une production de HCH technique de 9 millions de tonnes entre 1948 et 1997 (on rappelle que le lindane représente environ 13 % des isomères contenus dans le HCH technique). Selon Li (1999), la France se place au quatrième rang mondial des pays historiquement utilisateurs de HCH avec une consommation de 520 000 tonnes entre 1948 et 1997.

Les chiffres publiés sur le site internet du commerce extérieur français (tableau 2.1.) sont agrégés à l'échelle européenne, néanmoins certains chiffres nationaux sont disponibles. Ces données montrent une augmentation des quantités de HCH importées entre 2004 et 2005 en Europe. Cette tendance est classique lors de l'annonce de restrictions d'usage sur un produit, les utilisateurs ayant tendance à augmenter leurs stocks. Aucune donnée n'est disponible pour la France.

Tableau 2.1. Importations de HCH en tonnes (site internet du commerce extérieur français).

	2004	2005
Italie	0	22
Roumanie	8	0
Europe	8	31

D'autre part, ce tableau montre également qu'en 2005, une forte majorité des importations étaient destinées à un pays frontalier de la France.

2.2 Utilisations

Le lindane est un insecticide à large spectre d'activité. Il est efficace sur certains insectes et parasites des hommes et des animaux. Les principales utilisations du lindane sont résumées dans le tableau 2.2. (d'après INERIS, 2005).

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

Tableau 2.2. Utilisations du lindane.

Utilisations	Exemples
traitement des sols	Culture du maïs, betteraves
traitement des semences	céréales, colza, lin
traitement foliaire	arboriculture, cultures maraîchères, ornementales et fourragères
protection des bois d'œuvre	grumes, charpentes, meubles
traitement antiparasitaire animal et humain	gales, tiques, puces, poux

Au niveau mondial, on retrouve encore le lindane dans la composition de plus de 500 produits commerciaux pour différents types d'utilisations (Fabre *et al.*, 2005) :

Produits antiparasitaires :

EPHTIRIA® (laboratoire Debat), SCABECID® (laboratoire Stiefel), ELENTOL® et ELENOL® (laboratoire Gerda) sont des produits utilisés en France pour traiter les pédiculoses corporelles et les cuirs chevelus. Ces produits contiennent entre 0,4 et 1% de lindane, ils sont commercialisés sous la forme de crèmes fluides ou de poudres (site internet du laboratoire de parasitologie de Lille).

Autres produits pharmaceutiques :

Produits utilisés aux USA, Angleterre, Allemagne, Suisse, Belgique. Aucun usage actuel de la sorte identifié en France dans le cadre de cette étude.

Produits agricoles :

Produits utilisés au Canada. Aucun usage actuel de la sorte n'a été identifié en France dans le cadre de cette étude.

Produits d'entretien des parcs :

Produits utilisés au Canada. Aucun usage actuel de la sorte n'a été identifié en France dans le cadre de cette étude.

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

3 REJETS ET PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT

3.1 Comportement dans l'environnement

3.1.1 Dans l'eau

Les isomères du HCH sont considérés comme peu solubles dans l'eau. Ils peuvent disparaître par adsorption sur les sédiments, biodégradation (anaérobie et rarement aérobie) ou absorption par la faune (site internet Extonet).

Sa présence dans les sédiments résulte néanmoins, majoritairement, d'une diffusion plutôt que d'une réelle fixation. La dégradation du lindane par photolyse dans l'eau est faible. Sa concentration dans les eaux de pluie peut atteindre 100 ng.L⁻¹ en France (Fabre *et al.*, 2005). La dégradation du lindane est essentiellement due à l'activité bactérienne et est largement favorisée par des conditions anaérobies (Sharom *et al.*, 1980, cités par Fabre *et al.*, 2005).

Les temps de demi-vie du lindane communément rapportés sont de l'ordre de 3 à 30 jours, de 30 à 300 jours et supérieures à 300 jours respectivement dans les eaux de rivières, les eaux de lacs et les eaux souterraines.

Son évaporation à partir de l'eau est un processus lent, mineur par rapport à la volatilisation à partir des sols (ATSDR, 2005b). Sa demi-vie par évaporation est estimée à 191 jours (Mackay et Leinonen, 1975, cités par INERIS, 2005).

Si la substance est rejetée dans l'océan, l'existence de courants marins peut la transporter à des milliers de kilomètres du lieu d'utilisation.

3.1.2 Dans les sols

Le lindane est considéré comme très peu mobile dans les sols. Étant donné son caractère lipophile, il est fortement adsorbé par les sols riches en matières organiques et ne sera lessivé qu'en présence de fortes précipitations. Il sera en revanche plus mobile dans les sols pauvres en matière organique. Une contamination des eaux souterraines ne pourra ainsi être exclue en présence de tels sols (site internet Extonet).

Après application du lindane sur un sol, une partie non négligeable peut s'évaporer : les taux de volatilisation fournis par la littérature sont très variables selon la nature et l'humidité des sols d'une part, cette dernière favorisant nettement le départ à l'atmosphère du lindane en surface, puis selon le mode (pulvérisation ou application d'une solution) et la température d'application d'autre part. La demi-vie s'échelonne de 24 heures à 25 jours (site internet HSBD ; site internet Extonet)

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

Actuellement, les niveaux de contaminations des sols agricoles français sont de l'ordre de 1 à 100g.kg⁻¹ (Fabre *et al.*, 2005).

La dégradation dans le sol provient de l'action de micro-organismes, capables de synthétiser des enzymes de dégradation. En condition anaérobie, c'est le gamma tétrachlorocyclohexène (γ -TCCH) qui est principalement formé. L'isomère β -HCH est le moins biodégradable. La dégradation dans les sols dépend de la présence d'oxygène, de l'humidité, du type de sol, des conditions physico-chimiques, et de la concentration appliquée (Fabre *et al.*, 2005).

3.1.3 Dans l'air

Tous les isomères de l'hexachlorocyclohexane sont volatils et d'après l'organisation mondiale de la santé (OMS, 1991, cité par Fabre *et al.*, 2005), la volatilisation constitue une des principales sources de dispersion du lindane. Les isomères α -HCH et γ -HCH sont les plus présents dans l'atmosphère.

Le lindane en phase gazeuse peut s'adsorber sur des particules solides et être à nouveau déposé. Il est présent également sous forme de vapeur mais ne se volatilise pas significativement lorsqu'il est émis dans les eaux. Les taux de disparition du lindane par précipitation et dépôt humide sont respectivement de 2,5 % et 3,3 % par semaine. Le temps de résidence moyen du lindane dans l'atmosphère a été ainsi estimé à 17 semaines (ATSDR, 2005b). Celui du α -HCH, est de 30% supérieur à celui du lindane.

Par ailleurs, le lindane peut se dégrader partiellement par réaction photochimique avec des radicaux hydroxyles pour donner des pentachlorocyclohexènes et tétrachlorocyclohexènes. Cependant, ce phénomène est considéré comme très peu significatif (ATSDR, 2005b). La demi-vie par photo-oxydation proposée par la littérature est de 270 jours.

Ainsi, le lindane est relativement stable dans l'atmosphère (site internet Spectrum Laboratories Inc.). Cette stabilité favorise son transport sur de longues distances dans l'atmosphère. L'isomère α -HCH est également stable dans l'atmosphère. En effet, le lindane et l' α -HCH se volatilisent dans les endroits chauds comme les pays tempérés et tropicaux. Puis, ils sont transportés par des courants atmosphériques vers le Nord et se condensent dans des milieux plus froids. De ce fait, de fortes concentrations de lindane et de α -HCH ont été observées en altitude dans les montagnes Rocheuses du Canada (Blais *et al.*, 1998, cités par Fabre *et al.*, 2005).

Au début des années 90, des isomères du HCH ont ainsi été détectés dans des régions, comme dans le Golfe d'Alaska, dans lesquelles ils ne sont ni utilisés, ni produits, ceux-ci résultent donc uniquement de leur transport (Iwata *et al.*, 1993, cités par Fabre *et al.*, 2005).

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

3.2 Principales sources de rejet

La présence du HCH dans l'environnement est uniquement d'origine anthropique.

En France, le HCH n'est plus émis sous forme de pesticide en agriculture, néanmoins, les nombreuses années d'utilisation en agriculture avant son interdiction ont une importance non négligeable sur sa présence dans les sols (Fabre *et al*, 2005). A ce jour les principales sources de rejets sont liées à sa fabrication (néanmoins, aucun site français de fabrication n'a été identifié dans le cadre de cette étude) ou à son stockage (des collectes de lindane étant ou ayant été organisées en France, l'existence de stocks passés ou actuels est suspectée).

Etant donnée l'utilisation en France de produits antiparasitaires à base de lindane, on peut s'attendre à de faibles rejets diffus sur l'ensemble du territoire.

En France, entre 2003 et 2005 des traces d'isomères gamma et alpha de l'hexachlorocyclohexane ont été retrouvées dans les eaux de rejet de certaines installations industrielles. La direction de la prévention des pollutions et des risques et la direction de l'eau (2006) a répertorié les installations et secteurs d'activité suivants : stations d'épuration urbaines, traitement de surface, chimie, parachimie, industrie pétrolière, traitement et stockage de déchets. Le HCH a été détecté à des teneurs très faibles, mais il ne s'agissait pas de cas isolés. Pour autant, ces secteurs ne sont pas directement concernés par l'utilisation du HCH, il s'agirait donc probablement de contaminations de l'eau qu'ils utilisent.

3.3 Rejets lors de la production

Aucun site de production français n'a été trouvé lors de cette étude.

3.4 Rejets liés à l'utilisation de la substance

Etant donnée l'utilisation en France de produits antiparasitaires à base de lindane, on peut s'attendre à de faibles rejets diffus sur l'ensemble du territoire. D'après nos recherches, il n'existerait plus d'usage agricole en France depuis 1998.

3.5 Pollutions historiques

Certains sites industriels répertoriés par le site internet BASOL sont identifiés comme présentant des résidus de HCH :

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

- L'ancienne entreprise SICO, Voreppe (Isère), près de Grenoble. Cette usine produisait du lindane et donc possédait un dépôt de résidus de fabrication. Les déchets ont été traités par incinération en 1986 mais il n'y a eu aucun suivi par la suite.
- L'ancien site de la société Progil (commune de Pont de Claix). Il contient un stock d'inertes de lindane recouvert de terre. Les terres polluées ont été enlevées suite au dégagement de mauvaises odeurs, en 1994. La pollution potentielle des nappes souterraines est surveillée.
- Le site Ecospace, Gouhenans (Franche Comté). Du lindane a été détecté dans l'aquifère superficiel suite à l'enfouissement de résidus du lindane dans le sol, en 1980. Pour améliorer l'étanchéité du stockage, un système de drainage des eaux ainsi que des parois en béton ont été installés. Néanmoins, en 1998 et 1999, du lindane a été quantifiée dans les eaux, à des taux supérieurs à la norme.

En Alsace, BASOL répertorie cinq dépôts de résidus de HCH, dont au moins quatre stockent les déchets de l'ancienne société PCUK (Huningue, Haut-Rhin) productrice de lindane :

- Le dépôt de Baggerloch, Héisingue (Haut Rhin). Cette ancienne gravière a été remblayée par des déchets de l'industrie chimique, contenant du lindane. Une étude réalisée en 2000 sur la pollution des nappes montre que le stockage « semble avoir un impact limité sur la nappe phréatique ».
- L'ancien dépôt « Eselsacker », Kingersheim (Haut-Rhin). Ce dépôt d'ordures industrielles et ménagères sauvage contient du lindane. En 1995, un premier diagnostic juge la pollution des nappes par le HCH modérée. Néanmoins, une surveillance est estimée nécessaire.
- La décharge SITAL, Hochfelden (Bas-Rhin). Il s'agit d'une décharge d'ordures ménagères et industrielles contenant entre autre du lindane. Celui-ci est contenu dans une capsule étanche datant de 1983-1984. La qualité des eaux environnantes est contrôlée.
- L'ancien site de PCUK, Huningue (Haut-Rhin). Un parking a été construit sur un ancien dépôt de résidus de HCH. L'étanchéité du parking a été améliorée, et la qualité des eaux en aval est contrôlée deux fois par an.
- L'ancien dépôt PCUK de Sierentz (Haut-Rhin). Il s'agit également d'une ancienne gravière remblayée par des déchets de lindane. Celui-ci est confiné dans une capsule étanche en 1987. Cependant, du lindane est détecté dans la nappe sous-jacente. En 2003, des fuites de la capsule ont été détectées.
- Ancienne décharge PCUK, Wintzenheim (Haut-Rhin). Il s'agit du même cas que la gravière précédente. Des traces de Lindane en quantité supérieure à la norme sont détectées ($1 \mu\text{g.L}^{-1}$) malgré le confinement dans une capsule d'argile depuis 1985. Des mesures urbaines, de non consommation de l'eau en aval, ont été mises en place, et en 2004, il a été décidé d'améliorer le confinement.

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

Parmi ces sites, seuls deux ont subi un traitement actif : un par désorption thermique et l'autre par incinération. Un certain nombre de sites a été confiné de manière à maîtriser la pollution, et la majorité est sous surveillance.

4 POSSIBILITE DE REDUCTION DES REJETS

4.1 Produits de substitution

4.1.1 Usages agricoles et vétérinaires

D'après le plan régional nord-américain (PARNA) relatif au lindane et au HCH (2006), le lindane peut être remplacé par des substances comme la perméthrine, l'imidaclopride ou le thiamétoxam⁶ pour le traitement des semences. Pour le traitement du bétail contre les poux, mouches de cornes, puces et acariens de la gale, des produits à base de malathion et de perméthrine sont principalement recommandés (PARNA, 2006). De nombreuses solutions de remplacement sont possibles pour traiter les plantes d'ornement, notamment l'utilisation d'huiles végétales insecticides (site internet d'un fournisseur).

4.1.2 Usages pharmaceutiques

D'après le site internet Vidal, en France, il n'y aurait pas de shampoing anti-poux contenant du lindane. De même, seule une crème Antiparasitaire externe (aoûtats, gales, tiques) l'Elenol du laboratoire Gerda contiendrait encore cette substance.

Toutefois, d'après PARNA (2006) et le site internet Vidal, les produits de substitution au lindane pour le traitement des poux de tête et de la gale contiennent essentiellement de la perméthrine, des préparations à base de soufre, du pipéronyl butoxyde, de la phénothrine et de la dépaléthrine. Pour le traitement des poux, il est également préconisé l'usage de substances moins toxiques : vinaigres et huiles minérales topiques, essence de citronnelle ou encore huile d'arbre à thé.

⁶ Substance non autorisée d'emploi en France dans le secteur agricole (site internet e-phy).

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

4.1.3 Caractéristiques de la perméthine

L'imidaclopride est un insecticide utilisé dans le traitement des semences et l'éradication des pucerons de certains arbres fruitiers (ACTA, 2007).

L'utilisation d'imidaclopride en France est controversée : cette substance est suspectée d'être un neurotoxique pour les populations d'abeilles, y causant ainsi une surmortalité. Le Gaucho® (produit commercial contenant de l'imidaclopride) a été homologué en 1992 pour son utilisation sur les semences de maïs et en 1993 sur les semences de tournesol (site internet du producteur). Le produit a été retiré par décision du Conseil d'Etat le 28 avril 2006 (site internet Actu environnement).

4.1.4 Méthodes de remplacement non chimiques du lindane

Le PARNA (2006) préconise des méthodes de remplacement pour le traitement des semences agricoles ne nécessitant pas l'usage de produits chimiques. Ces techniques agricoles permettent une réduction du nombre de parasites et des quantités de pesticides utilisés. Des solutions simples sont proposées comme la sélection et la surveillance des sites à risques, la mise en jachère, la rotation des cultures, le tassement des sols, le choix de la période d'ensemencement et la culture en superficie. Les techniques détaillées ainsi que les produits de substitution homologués pour le Canada, les Etats-Unis d'Amérique et le Mexique sont disponibles en annexe du PARNA (2006).

4.1.5 Retour d'expérience

D'après les informations recueillies auprès de la Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt du Languedoc-Roussillon, l'interdiction de l'usage de produits contenant du lindane pour des applications agricoles a été plutôt mal perçue par les agriculteurs. Comme à chaque interdiction d'un produit apprécié pour ses qualités et son prix, la dangerosité d'une substance est vécue comme un aspect secondaire.

Trois grandes mesures ont été mises en place pour accompagner les agriculteurs : consignation systématique des produits contenant du lindane, collecte annuelle par des organismes et orientation vers des centres éliminateurs spécialisés. La plupart des produits de substitution utilisés actuellement contiennent de la perméthrine et de l'imidaclopride.

4.2 Réduction des émissions

Bien que l'utilisation du HCH ait considérablement diminuée, il subsiste encore des possibilités d'émission de cette substance. Ces émissions peuvent être dues à la formulation et à l'usage de produits antiparasitaires contenant du lindane, mais principalement aux

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

conditions de stockage ou au transfert de substances polluées (Fabre *et al.*, 2005). Le HCH a un potentiel de transfert important entre les sols et l'eau, on préconise donc en premier lieu un confinement des sites pollués puis un traitement adapté.

Fabre *et al.* (2005) ont dressé une liste des techniques de traitements des sites pollués par le HCH :

Traitement des sols : incinération, désorption thermique, extraction (solvants), deshalogénéation, réduction, décomposition catalytique, bioremédiation et stabilisation (vitrification). Ces techniques sont efficaces à plus de 99 % pour la plupart, la dépollution d'une tonne de terre polluée peut coûter plusieurs centaines d'euros.

Traitement des eaux : bioremédiation in situ, barrières réactives, pompage et traitements (dégradation photocatalytique, traitements chimiques, adsorption sur charbon actif). Certains coûts font état de 18 000 € environ le kilo de polluant extrait ou de 8 € environ pour 1 000 litres d'eau traités.

5 ASPECTS ECONOMIQUES

5.1 Place de la substance dans l'économie française

Connaissant l'usage antiparasitaire actuel du lindane en France (voir § 2.2 Utilisations) on peut supposer que le HCH n'a pas une place importante dans les industries chimiques et pharmaceutiques. Etant données les dispositions prises pour la fin de l'année 2007 (règlement 850/2004 du Conseil et du Parlement Européen du 29 avril 2004), on peut supposer qu'aucun produit contenant du lindane ne sera disponible à partir de 2008.

Alors que l'utilisation du lindane diminue fortement au niveau mondial, quatre entreprises dont une française se sont regroupées au sein du CIEL, Centre International d'Etudes du Lindane (Fabre *et al.*, 2005). Ce consortium s'est donné comme but de réaliser des études scientifiques et des compilations bibliographiques afin de permettre une re-homologation du lindane en Europe et aux Etats Unis.

5.2 Impact économique des mesures de réduction

Il existe une différence significative entre le prix des produits contenant du lindane et celui de ses produits de substitution. Selon le site internet d'un producteur, l'Aurodil® (contenant de la perméthrine) coûte plus de six fois plus cher que l'Axadrine® pesticide contenant du lindane.

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

En 2006, les prix de produits à base d'imidaclopride commercialisés par un autre producteur semblaient également plusieurs fois supérieurs aux produits contenant du lindane qui furent disponibles sur le marché.

6 CONCLUSIONS

L'hexachlorocyclohexane est considéré comme un polluant organique persistant, c'est un composé très volatil et peu soluble dans l'eau.

Son utilisation massive des années 50 à la fin du 20^{ème} siècle dans le secteur agricole l'a fortement implanté sur le territoire. Selon nos informations, à partir de 2008, le HCH ne sera plus utilisé ni produit en France et en Europe. Des molécules de substitution existent, mais le surcoût lié à leur utilisation est important. De même, des techniques de dépollution des sols et des eaux sont disponibles mais présentent également un coût financier non négligeable.

Le taux de HCH dans l'air et dans les eaux de surface aura vraisemblablement baissé d'ici 2015. Néanmoins, sa présence dans les sols sera encore une réalité malgré les possibilités de décontamination et la surveillance de sites pollués. Avec une demi-vie supérieure à 300 jours, la présence de lindane est probable dans les eaux souterraines après 2015.

Enfin, on peut craindre certains apports par voie atmosphérique à cause de l'utilisation de lindane dans des pays hors des frontières de l'Union Européenne.

7 REFERENCES

7.1 Entreprises, organismes et experts interrogés

Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt du Languedoc-Roussillon

secteur des substituts agricoles

NOVERGIE (Montargis)

traitement et incinération de déchets ménagers

ARKEMA (Saint Auban)

synthèse de produits chimiques

Rhodia (Pont de Claix)

synthèse de produits chimiques

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

7.2 Sites internet consultés

Acard : produits phytosanitaires (2005)

<http://www.cafard.info/about9.html>

Actu Environnement : actualité professionnelle du secteur de l'environnement et du développement

<http://www.actu-environnement.com/ae/news/1697.php4>

AIDA : portail réglementaire informatique

<http://aida.ineris.fr/textes/arretes>

BASOL : base de données sur les sites et sols pollués

<http://basol.environnement.gouv.fr/>

Bayer Cropscience

<http://www.bayercropscience.fr/bayer/gaUCHO.html>

Commerce extérieur : base de données statistiques sur les chiffres du commerce extérieur français

<http://lekiosque.finances.gouv.fr/AppChiffre/reconnect.asp?TB=LEO&TF=&TD=>

e-phy : Le catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages des matières fertilisantes et des supports de culture homologués en France

<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>

Extonet : informations sur les pesticides

<http://extonet.orst.edu/pips/lindane.htm>

HSDB (Hazardous Substances Data Bank)

<http://www.toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/f?./temp/~ueAbX3:1>

KB produits d'entretien pour jardin

<http://www.kb-jardin.com/page.php?rub=3&idproduit=16>

Laboratoire de parasitologie de la faculté de pharmacie (Lille)

http://arachosia.univ-lille2.fr/labos/parasito/Internat/medicam/poux_med.html

Spectrum Laboratories Inc.

<http://www.speclab.com/compound/c58899.htm>

Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (Canada)

http://www.nrtee-trnee.ca/fre/programs/ArchivedPrograms/health/LINDANE_F.htm

UNECE (United Nation Economic Commission for Europe)

<http://www.unece.org>

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

VIDAL : informations sur les produits de santé
<http://www.vidal.fr>

7.3 Bibliographie

ACTA, Association de Coordination Technique Agricole, 2007. Index phytosanitaire, 43^{ème} édition, 832p.

Affaires indiennes et du Nord canadien, 1997. Rapport d'évaluation des contaminants dans l'Arctique canadien.

ATSDR, 2005a. Toxicological profile for alpha-, beta, gamma- and delta-hexachlorocyclohexane. (<http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaq.html>).

ATSDR, 2005b. Agency for toxic substances and disease registry, hexachlorocyclohexane, CAS 608-71-1. (<http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts43.pdf>).

Blais J.M., Schindler D.W., Muir D.C.G., Kimpe L.E., Donald D.B., Rosenberg B., 1998. Accumulation of persistent organochlorine compounds in mountains of western Canada. Nature, 395, 585-588.

Direction de la prévention des pollutions et des risques et la Direction de l'eau, 2006. Action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau par les installations classées et autres installations, années 2003 à 2005, 2^{ème} bilan. INERIS.

Fabre B., Heintz V., Roth E., 2005. Les isomères de l'hexachlorocyclohexane. Rapport bibliographique de l'ADEME. (http://www.ademe.fr/alsace/pdf/PDF_LINDANE.pdf).

Hauzenberger, I., Perthen-Palmisano, B., Herrmann, M., 2002. Lindane. Report presented at the Third Meeting of the POPs Expert Group in Geneva, Switzerland in June 2002.

INERIS, 2005. Fiche toxicologique du Lindane. (http://www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getDoc&id_doc_object=2382).

INRS, 2006. Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, édition INRS ED 984. ISBN 2-7389-1373-3. ([http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/ED%20984/\\$File/ed984.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/ED%20984/$File/ed984.pdf)).

HEXACHLOROCYCLOHEXANE

Iwata H., Tanabe S., Sakai N., Tatsukawa R., 1993. Distribution of persistent organochlorines in the oceanic air and surface seawater and the role of ocean on their global transport and fate. *Environmental Science Technology*, 27, 6, 1080-1098.

Li Y. F., 1999. Global technical hexachlorocyclohexane usage and its contamination consequences in environment : from 1948 to 1997. *The Science of the Total Environment*, 232, 123-160.

Mackay D. and Leinonen P.J., 1975. Rate of evaporation of low-solubility contaminants from water bodies to atmosphere. *Environ Sci Technol*, 9, 13, 1178-1180.

OMS, 1991. Environmental Health Criteria 124 Lindane : World Health Organization, Genève.

OMS, 1996. Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization, International Programme on chemical Safety, 2nd Ed.

OSPAR, 2006. Convention OSPAR pour la protection du milieu marin de l'atlantique nord-est. Liste des produits chimiques devant faire l'objet de mesures prioritaires, 2004-12. (http://www.ospar.org/documents/dbase/decrecs/agreements/04-12f_liste%20prioritaire%20de%20produits%20chimiques.doc).

PARNA, plan d'action régional nord-américain relatif au lindane et aux autres isomères de l'hexachlorocyclohexane (HCH), 2006. Commission de coopération environnementale. (http://www.cec.org/files/PDF/POLLUTANTS/LindaneNARAP-Nov06_fr.pdf).

Sharom M.S., Miles J. R. W., Harris C. R., McEwen F. L., 1980. Persistence of 12 insecticides in water. *Water Research*, 14 (1980) 1089-1093.