

Conséquences sanitaires de la présence de lindane dans l'eau de distribution de la commune de Belgentier



**Ministère des Solidarités,
de la Santé et de la Famille**

Drass Provence - Alpes - Côte d'Azur
Cire Sud



INSTITUT DE
VEILLE SANITAIRE

Cette étude a été réalisée par :

Jean-Luc Lasalle - Cellule interrégionale d'épidémiologie Sud

Ont participé à la réalisation de cette étude :

- **Direction départementale des affaires sanitaires et sociales du Var**
Service santé-environnement
Michelle Caillaud
- **Institut de veille sanitaire - Département santé-environnement**
Cécile Campeis
Côme Daniau
Frédéric Dor
Pascal Empereur-Bissonnet
- **Cellule interrégionale d'épidémiologie Sud**
Karine Mantey – Programme de formation à l'épidémiologie de terrain

Sommaire

Liste des acronymes	4
Résumé.....	5
1 Introduction	7
1.1 Contexte.....	7
1.2 Utilité d'une étude de santé publique.....	7
1.3 Analyse du potentiel d'exposition	7
1.4 Pollution de l'eau.....	8
1.5 Objectifs	8
2 Méthode mise en œuvre.....	9
3 Identification des dangers.....	9
3.1 Source et propriétés du lindane.....	9
3.2 Effets sur la santé	9
3.2.1 Effets aigus.....	9
3.2.2 Effets subchroniques et chroniques	10
4 Relations doses-réponses	10
4.1 Effets aigus	10
4.2 Effets subchroniques	10
4.3 Effets chroniques	11
4.3.1 Effets non cancérogènes	11
4.3.2 Effets cancérogènes	12
5 Estimation des expositions.....	12
5.1 Scénarios d'exposition	12
5.2 Calcul des doses journalières d'exposition.....	13
6 Caractérisation du risque.....	13
6.1 Effets non cancérogènes	13
6.2 Effets cancérogènes	14
6.3 Discussion des résultats	14
6.3.1 Valeurs de qualité des milieux.....	14
6.3.2 Analyse des incertitudes.....	15
6.3.3 Conséquence sur l'impact sanitaire.....	16
7 Conclusion et recommandations	16
Bibliographie	18
Annexe 1	19
Annexe 2.....	20

Liste des acronymes

ADI	Acceptable daily intake. Il s'agit de la dose d'une substance que l'on prévoit être sans risque appréciable pour la santé humaine lorsque ceux-ci sont exposés quotidiennement durant la vie entière.
ATSDR	Agency for toxic substances and disease registry
Circ	Centre international de recherche sur le cancer (OMS)
Cire Sud	Cellule interrégionale d'épidémiologie Sud
CSHPF	Conseil supérieur d'hygiène publique de France
Ddass	Direction départementale des affaires sanitaires et sociales
DJE	Dose journalière d'exposition
DJT	Dose journalière tolérable. Il s'agit de la quantité d'une substance qui peut être ingérée quotidiennement sur une durée de vie entière sans risque appréciable.
Drass	Direction régionale des affaires sanitaires et sociales
Ecetoc	European centre for ecotoxicology and toxicology of chemicals
EQRS	Evaluation quantitative des risques sanitaires
ERI	Excès de risque individuel
ERS	Evaluation des risques sanitaires
ERU	Excès de risque unitaire
γ - HCH	gamma - hexachlorocyclohexane (ou lindane)
InVS	Institut de veille sanitaire
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
JMPR	Joint meeting on pesticide residues (WHO/FAO)
MRL	Minimum risk level. Il s'agit de la quantité d'une substance qui peut être ingérée quotidiennement sur une durée de vie entière sans risque appréciable (équivalent de la DJT).
OEHHA	Office of environmental health hazard assessment (California)
OMS	Organisation mondiale de la santé
Paca	Provence - Alpes - Côte d'Azur
PHG	Public health goal
QD	Quotient de danger
RfD	Reference dose. Il s'agit de la quantité d'une substance qui peut être ingérée quotidiennement sur une durée de vie entière sans risque appréciable (équivalent de la DJT).
RIVM	Institut national de la santé publique et de la protection de l'environnement (Pays-Bas)
Sf	Slope factor
TDI	Tolerable daily intake. Il s'agit de la quantité d'une substance qui peut être ingérée quotidiennement sur une durée de vie entière sans risque appréciable (équivalent de la DJT).
US-EPA	Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis
VTR	Valeur toxicologique de référence

Résumé

Des dépassements de la valeur limite de qualité des eaux souterraines fixée par la réglementation française ont été constatées pour une substance - le lindane - sur plusieurs prélèvements d'eau de la source de Gavaudan qui dessert la commune de Belgentier dans le département du Var. Afin de donner des indications à la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales du Var (Ddass) pour contribuer à l'aide à la gestion des risques sanitaires liés à la pollution de Belgentier, une analyse des conséquences sanitaires dues au lindane a été menée par la Cellule interrégionale d'épidémiologie Sud (Cire). Cette analyse s'est principalement appuyée sur la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires qui consiste à prédire les excès de risques encourus par une population exposée à un ou plusieurs polluants.

Evaluation des risques sanitaires

Le lindane présente des effets néfastes sur le foie et les reins ainsi que sur le système nerveux et le système immunitaire. Cette substance est classée dans le groupe des cancérrogènes possibles pour l'homme (classe 2B) par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ).

Des scénarios d'exposition aiguë, subchronique et chronique ont été construits pour des enfants et des adultes. Le choix de la concentration maximale de lindane dans l'eau du réseau d'adduction mesurée et sa persistance dans le réseau sur des périodes très longues (plusieurs années) sont les deux hypothèses très fortes de cette évaluation. Les quotients de danger (QD) dépassent la valeur repère de 1 pour les scénarios chronique et subchronique, en fonction des choix toxicologiques. La durée d'exposition nécessaire pour dépasser le seuil d'excès de risque cancérigène acceptable classiquement admis (10^{-5}) est d'environ 2 ans dans le pire des cas.

Discussion

La démarche d'évaluation des risques sanitaires fait appel à un certain nombre d'hypothèses. Les nombreuses incertitudes portent sur la concentration en lindane et sa persistance dans le temps, les choix toxicologiques, les voies d'exposition et les autres sources d'exposition. Il est difficile d'en apprécier l'influence sur les résultats. Cependant, l'influence majeure est liée à la concentration dans l'eau de lindane qui conduit à une surestimation élevée des doses d'exposition et donc des indicateurs de risque, liée à l'hypothèse faite de la persistance sur une période longue d'une concentration en lindane égale au maximum des concentrations mesurées alors que celle-ci évolue rapidement et de façon inconstante.

Conclusion et recommandations

Compte tenu des résultats de l'évaluation des risques sanitaires menée sur la commune de Belgentier, des mesures de gestion doivent être mises en place ou poursuivies afin de limiter l'exposition de la population : recherche de la cause de la pollution, mise en place d'un suivi de la qualité de la source, recherche d'un système de traitement de l'eau ou d'une ressource en eau de substitution, information de la population. En revanche, il n'est pas recommandé de mettre en œuvre des investigations notamment épidémiologiques dans la population.

1 Introduction

1.1 Contexte

La commune de Belgentier est une petite commune du département du Var située à environ 25 kilomètres au nord d'Hyères et de Toulon aux portes de la vallée du Gapeau.

Le 12 février 2004, un prélèvement a été réalisé sur la source de Gavaudan, desservant cette commune en eau de consommation humaine, en mélange avec la ressource de Font d'Ouvin. Le laboratoire d'analyses a alerté la Ddass du Var le 9 mars 2004, suite à la découverte d'une teneur en γ -HCH (lindane) de 5,5 $\mu\text{g/l}$; cette valeur dépassant la valeur limite de qualité pour les eaux souterraines fixée par la réglementation française [1] à 0,1 $\mu\text{g/l}$ et la valeur guide de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) qui s'élève à 0,3 $\mu\text{g/l}$ [2]. La dernière analyse dans laquelle figurait la mesure des phytosanitaires datait du 3 juin 2003 et ne montrait aucun dépassement.

Dès le 10 mars 2004, l'usage de la source polluée a été stoppée, la population étant desservie par la source de Font d'Ouvin. Cette ressource sera cependant insuffisante en période estivale, la demande en eau des restaurants et campings étant importante.

Une gestion de crise dans le cadre de la procédure recommandée par le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) a été mise en place par la Ddass afin de limiter l'usage de l'eau, de rechercher les causes de la pollution et de trouver un traitement correctif. Cet épisode a également fait l'objet d'une information en temps réel au ministère de la Santé, dans le cadre de la procédure expérimentale d'information par les Ddass et Drass mise en place en région Paca (message n° 2003-9 du 26 mars 2004).

Le 12 mars 2004, la Ddass a saisi la Cire Sud afin d'évaluer les risques sanitaires pour la population de la commune de Belgentier suite à la consommation de l'eau de distribution. L'attente de la Ddass est de disposer d'éléments scientifiques permettant de prendre les décisions adaptées et de contribuer à l'information de la population.

1.2 Utilité d'une étude de santé publique

Le dépassement du seuil réglementaire de la qualité de l'eau par le lindane est manifeste et a conduit immédiatement la Ddass à mettre en place la procédure de gestion de crise recommandée par le CSHPF. Cependant, ces premières mesures visent à réduire ou empêcher toute exposition de la population mais ne permettent pas d'appréhender une éventuelle prise en charge de celle-ci, au cas où des événements sanitaires viendraient à se manifester. Il est donc nécessaire de conduire une étude de santé publique afin d'apporter les éléments décisionnels nécessaires à la prise en charge sanitaire de la population.

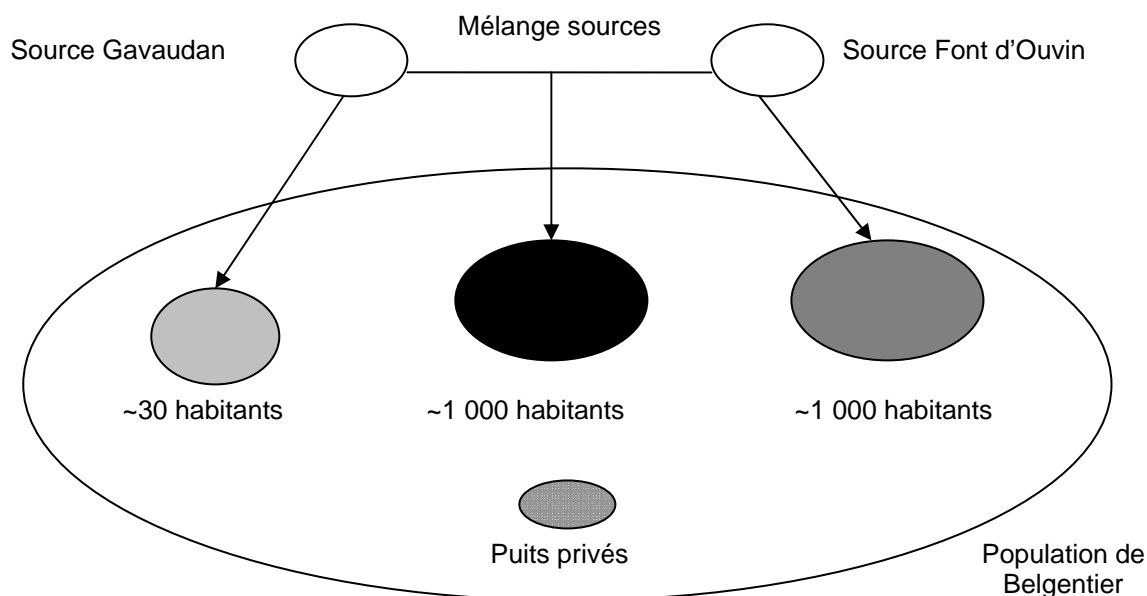
1.3 Analyse du potentiel d'exposition

Le réseau d'eau potable de la commune de Belgentier est constitué de trois unités de distribution à partir des sources de Gavaudan et de Font d'Ouvin. Un périmètre de protection autour de la source de Gavaudan a été mis en place (rapport de l'hydrogéologue agréé en juin 1989, arrêté de déclaration d'utilité publique en février 1992 et transcription aux hypothèques en mars 1992). Il est constitué d'un périmètre immédiat clôturé autour du captage et de périmètres rapprochés et éloignés (annexe 1).

Les données concernant la population ont été obtenues à partir du site Internet de l'Insee. Au recensement de 1999, la population sans double compte de la commune de Belgentier s'élevait à 1 724 habitants et se répartissait comme suit : 294 personnes âgées de moins de 14 ans et 1 429 de 15 ans et plus.

La population consomme l'eau provenant soit de la source de Gavaudan, soit de la source de Font d'Ouvin soit du mélange de ces deux sources. Une partie de la population consomme de l'eau provenant de puits privés. Les informations recueillies par la Ddass auprès de la SADE, relatives à la répartition de la population suivant les unités de distribution, montrent qu'environ la moitié de la commune est desservie par le mélange d'eau, l'autre moitié étant desservie par la source Font d'Ouvin (figure 1).

Figure 1 – Distribution de l'eau sur la commune de Belgentier



Le contact entre la population et l'eau du réseau s'effectue par ingestion lorsqu'elle est bue, par contact cutané et inhalation lors des bains et des douches, par ingestion encore lorsque cette eau sert à l'irrigation dans les potagers des particuliers et que les polluants dont le lindane, présent dans cette eau, passe dans les légumes et autres produits du jardin consommés par les personnes. Tous ces vecteurs et voies d'exposition contribuent à l'exposition de la population de Belgentier

1.4 Pollution de l'eau

Les teneurs en lindane mesurées lors des différents prélèvements réalisés par la Ddass du Var ou l'exploitant figurent dans le tableau 1. On notera que la pollution est détectée de manière périodique ; elle semble liée aux précipitations pluvieuses comme en témoignent les conditions du prélèvement du 6 mai 2004. Une surveillance adaptée est sûrement à envisager.

Tableau 1 – Concentrations en lindane mesurées dans l'eau de consommation de la commune de Belgentier (octobre 2001 – mai 2004)

Date du prélèvement	Point de prélèvement	Concentration en lindane
3 juin 2003	Source de Gavaudan *	< seuil détection
12 février 2004	Source de Gavaudan	5,5 µg/l
10 mars 2004	Source de Gavaudan	5,15 µg/l
16 mars 2004	Source de Gavaudan **	2,79 µg/l
18 mars 2004	Source de Gavaudan	< seuil détection
18 mars 2004	Réseau	0,03 µg/l
25 mars 2004	Source de Gavaudan	< seuil détection
6 mai 2004	Source de Gavaudan *	1,44 µg/l

* Ce prélèvement et l'analyse ont été réalisés par la SADE, exploitant la source.

** Cette analyse a été réalisée par le laboratoire de Valence, les autres par le laboratoire de Toulon.

1.5 Objectifs

Compte tenu de la difficulté d'appréhender le début de l'exposition, sa récurrence et le niveau d'exposition de la population, les objectifs à atteindre sont multiples :

- déterminer si des effets aigus peuvent être attendus ;
- évaluer les risques encourus sur une période de quelques mois ;
- évaluer les risques chroniques.

Ces différentes périodes d'exposition se justifient également en raison des rares données métrologiques dans l'eau de la source de Gavaudan. En effet, l'eau semble contaminée périodiquement comme en attestent les contrôles répétés réalisés depuis le 12 février 2004. Aussi, il est difficile de statuer sur le début de la pollution car les périodes des prélèvements antérieurs se situaient peut-être en dehors de toutes possibilités de révéler la pollution.

Ces différentes périodes d'exposition se justifient également pour cerner au mieux la nature des éventuelles actions de santé publique à proposer.

2 Méthode mise en œuvre

Devant la nécessité de disposer rapidement d'éléments scientifiques convaincants, et en raison de la complexité d'appréhender l'exposition dans toutes ses dimensions, le choix est fait de structurer l'étude sur les étapes de la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires (identification des dangers, et relations dose-réponse, estimation de l'exposition, caractérisation des risques). Cependant, tout en respectant les principes de transparence et de cohérence de cette démarche, il n'est pas possible de conduire des recherches approfondies d'informations toxicologiques ni de procéder à une estimation complète des niveaux d'exposition.

Ainsi, la recherche toxicologique (effet et valeur toxicologique de référence - VTR) a été restreinte aux bases de données étrangères reconnues et dans lesquelles la qualité des données mentionnées est généralement bonne, réduisant ainsi le temps accordé à cette analyse.

Concernant l'exposition, seule l'ingestion d'eau a été retenue pour estimer les doses d'exposition des personnes. En effet, l'exposition par voie cutanée n'a pas été considérée car l'absorption du lindane par cette voie est lente et limitée (environ 10 % du lindane est absorbé par voie cutanée) [3]. Par ailleurs, la réalisation d'une évaluation des risques sanitaires incluant une exposition par voie cutanée demande un temps important (difficulté à estimer la dose absorbée par voie cutanée), qui n'est pas en adéquation avec la nécessité de rendre un avis à la Ddass du Var dans des délais raisonnables. La modélisation par inhalation impose également un travail conséquent sur les modalités de transfert par volatilisation du lindane, incompatible avec le délai imparti à l'étude. De même pour ce qui concerne le passage des polluants dans les légumes et autres produits de consommation cultivés dans les jardins potagers des habitants de cette commune.

3 Identification des dangers

3.1 Source et propriétés du lindane

Le lindane (ou γ -HCH) est la forme la plus commune de la famille des hexachlorocyclohexanes (HCH). C'est un insecticide à large spectre dont l'utilisation a été interdite en France depuis 1998 pour les usages agricoles et assimilés. Le lindane est également utilisé dans des produits pharmaceutiques dans la lutte contre la gale et la pédiculose et dans des produits antiparasitaires vétérinaires.

Dans l'air, les HCH peuvent se présenter sous forme de vapeurs ou être fixés à des particules. Le lindane peut subsister plus de dix-sept semaines dans l'air et parcourir de longues distances. Dans les sols, les sédiments et l'eau, les HCH sont dégradés par les algues, les champignons et les bactéries en molécules moins toxiques.

La persistance du lindane est forte dans presque tous les sols, avec une demi-vie, issue d'études réalisées sur le terrain d'environ quinze mois [4] et entre trente et quarante ans dans des sols agricoles européens habituels [3]. Il peut avoir une certaine mobilité dans les sols dont la teneur en matière organique est particulièrement faible et peut ainsi constituer un danger de contamination des eaux souterraines [4]. Le lindane ne subsiste généralement pas plus de trente à cinquante jours dans l'eau suivant les conditions environnementales [3;5] mais sa demi-vie dans les eaux souterraines peut dépasser trois cent jours [5].

3.2 Effets sur la santé

3.2.1 Effets aigus

Chez l'homme, des cas d'intoxication aiguë ont été enregistrés conduisant parfois à la mort ou se manifestant par des nausées, vomissements, maux de tête, pertes d'équilibre, troubles de la coordination

des mouvements (ataxie) et tremblements. De tels symptômes ont été décrits chez des volontaires sains après l'ingestion de 15 à 17 mg/kg de poids corporel de lindane. L'administration de lindane pour traiter la gale a montré que les enfants sont plus sensibles que les adultes ; de rares cas d'anémies aplasiques ont été décrits. Par ailleurs, l'utilisation pharmaceutique de lindane montre que les expositions cutanées au lindane, aboutissant à des teneurs inférieures à 5 mg/kg de poids corporel et par jour, n'entraînent pas de symptômes neurotoxiques aigus [3].

3.2.2 Effets subchroniques et chroniques

Les effets sur la santé humaine sont très peu décrits chez l'homme et ne diffèrent pas en fonction de la durée d'exposition hormis les cas empoisonnements [3]. Par ailleurs, le RIVM [6] note qu'aucune étude chez l'homme n'a identifié d'effets chroniques.

La toxicité du lindane s'exprime sur le foie et les reins. Il a également des effets sur le système nerveux et le système immunitaire [5;6]. Le lindane pourrait agir comme un perturbateur endocrinien mais des investigations sont nécessaires pour établir une causalité [5]. Il n'a pas d'effet mutagène, tératogène ni d'effets sur la reproduction à des concentrations qui ne sont pas toxiques, à la fois pour le fœtus et la mère [6]. Les travailleurs exposés au lindane montrent des anomalies hématologiques, des cirrhoses et des hépatites chroniques [7]. L'analyse de la survenue des effets non cancérogènes montre une cohérence sur les atteintes hépatiques et immunitaires, mais une absence de cohérence sur d'autres altérations notamment rénales et hématologiques.

Le lindane, comme l'ensemble des hexachlorocyclohexanes, est classé dans le groupe des cancérogènes possibles pour l'homme (classe 2B) par le Circ [8]. Les données chez l'homme sont jugées insuffisantes ; les résultats restent équivoques pour les lymphomes non hodgkinien, les cancers de la prostate et ceux du sein. Chez l'animal, des cancers du foie ont pu être observés chez des rats après ingestion de lindane et une étude a montré une augmentation de l'incidence des cancers de la thyroïde également chez des rats exposés par voie orale. Au contraire de certains autres isomères, l'agence de protection de l'environnement des Etats-Unis (US-EPA) n'a pas encore classé le γ -HCH [9]. Les localisations tumorales différentes limitent la cohérence entre les observations animales et humaines.

4 Relations doses-réponses

4.1 Effets aigus

En 2003, l'ATSDR a construit une MRL égale à 0,003 mg/kg.j, à utiliser dans le cadre d'expositions aiguës, à partir d'une expérimentation animale sur des rats [5]. Les animaux étaient gavés d'huile contaminée par du lindane. Les dommages observés concernent des effets sur le développement et sur la reproduction chez une lignée mâle pendant la période de lactation. La MRL est dérivée à partir d'une LOAEL prenant en compte un facteur d'incertitude de 300, avec un facteur 10 pour l'utilisation d'une LOAEL plutôt qu'un NOAEL, un facteur 10 pour l'extrapolation de l'animal à l'homme et un facteur 3 pour la variabilité humaine car l'effet critique a été observé chez des populations sensibles (Dalsenter *et al.* 1997). Cette MRL est valable pour des expositions d'une durée comprise entre 1 et 14 jours.

4.2 Effets subchroniques

L'ATSDR a construit une VTR pour des expositions subchroniques, c'est-à-dire pour une durée d'exposition comprise entre quinze jours et un an [5].

La MRL de l'ATSDR, égale à 0,01 μ g/kg.j et concernant une exposition subchronique, est dérivée d'un LOAEL obtenu chez la souris pour des effets critiques immunologique et lymphoréticulaire de type réduction de l'activité folliculaire des lymphoïdes avec hypersensibilité différée du système immunitaire. Les souris étaient exposées pendant vingt-quatre semaines à des doses croissantes de 0,012, 0,12 et 1,2 mg/kg.j (Meera *et al.* 1992). Le facteur d'incertitude prend en compte l'utilisation d'une LOAEL plutôt qu'un NOAEL (facteur 10), l'extrapolation de l'animal à l'homme (facteur 10) et la variabilité humaine (facteur 10). Les effets survenus dans cette étude sont corroborés par d'autres expérimentations animales (rats exposés pendant cinq semaines à une dose égale à 6,25 mg/kg.j (Dewan *et al.* 1980) ; souris exposées pendant dix jours à une dose égale à 10 mg/kg.j (Hong et Boorman 1993) ; souris exposées pendant trois jours à une dose égale à 40 mg/kg.j ; rats exposés pendant huit semaines à une dose égale à 3,6 mg/kg.j (Koner *et al.* 1998)).

La construction de cette VTR rassemble les critères classiquement admis de validité. Elle peut donc être retenue.

4.3 Effets chroniques

4.3.1 Effets non cancérigènes

Les VTR construites par l'US-EPA, l'OMS, le RIVM et l'OEHHA concernent des expositions chroniques et la survenue d'effets non cancérigènes. Ces VTR par voie orale sont recensées dans le tableau 2.

Tableau 2 – Valeurs toxicologiques de référence chronique par voie orale pour le lindane

Source	VTR ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{j}$)	ERU ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{j}$) ⁻¹	Durée d'exposition	Effets sanitaires ou organe cible	Facteur d'incertitude	Etude	Année d'évaluation
US-EPA [9]	0,3		Chronique	Foie et reins	1 000	Zoecon Corp., 1983	1988
JMPR [10]	1		Chronique	Foie	500	Amyes, 1990	1997
RIVM* [6]	0,04		Chronique	Système immunitaire	300	Meera <i>et</i> <i>al.</i> 1992	2000
OEHHA [11]	0,01		Chronique	Système immunitaire	1 000	Meera <i>et</i> <i>al.</i> 1992	1999
OEHHA [11]		$1,1 \cdot 10^{-3}$	Chronique	Hépatocarcinome	-	Thrope <i>et</i> Walker (1973)	1999

L'US-EPA dérive une RfD de 0,3 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{j}$ à partir de la NOAEL (4 ppm) observée pour une étude sur des rats exposés à 0,2 ppm, 0,8 ppm, 4 ppm (0,29 $\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{j}$), 20 ppm ou 100 ppm de lindane dans la nourriture (99,85 %) pendant douze semaines (Zoecon Corporation 1983). Des hypertrophies du foie et des dégénération tubulaires des reins ont été observées. Le facteur d'incertitude de 1 000 prend en compte l'extrapolation d'un effet observé pour une exposition subchronique à une exposition chronique vie entière (facteur 10), la variation interspèce (facteur 10) et les populations sensibles (facteur 10). La confiance accordée par l'US-EPA à l'étude de la Zoecon Corporation et à la VTR qui en est dérivée, est moyenne. Pourtant, cette étude correspondait à l'une des premières sur le lindane pour laquelle le nombre d'animaux et de dosages était suffisant.

Le JMPR (Joint Meeting on Pesticide Residues : WHO/FAO) révisé en 1997 une ADI (Acceptable Daily Intake) et propose la valeur temporaire de 1 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{j}$ à partir d'une expérimentation de deux ans chez le rat et pour effet toxique sur le foie. La révision a porté sur le facteur d'incertitude porté à 500 plutôt que 100 (déterminé en 1990).

Le RIVM dérive sa TDI (Tolerable daily intake) égale à 0,04 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{j}$, à partir de l'étude de Meera (Meera *et al.* 1992). La LOAEL est égale à 0,012 $\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{j}$. Le facteur d'incertitude est de 300.

La construction des VTR dérivées à partir de l'étude de Meera indique une controverse en raison de l'impureté du lindane administré aux animaux de laboratoire, notamment de la part du JMPR (environ 97 %). De plus, les expérimentations animales exposant des rats et des souris au lindane dans les années 1970 et 1980 ont observés des effets sur le système immunitaire uniquement à des doses 10 à 100 fois plus élevées que le LOAEL observé dans l'étude de Meera.

L'OEHHA (Office of environmental health hazard assessment - California) construit des PHG (Public Health Goal) correspondant à des valeurs de qualité de milieu. Leur construction intègre des données toxicologiques et des variables humaines d'exposition. Dans le cas du lindane, le PHG est égal à $8,4 \cdot 10^{-2}$ $\mu\text{g}/\text{l}$. Il est établi à partir de l'étude expérimentale publiée par Meera (Meera *et al.* 1992). Les variables humaines d'exposition sont de 70 kg pour le poids corporel, et de 2 litres par jour pour la consommation d'eau ; l'absorption de lindane par ingestion d'eau est de 20 %. Les données toxicologiques conduisent à une valeur numérique de 0,01 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{j}$ après application d'un facteur d'incertitude de 1 000 au LOAEL de l'étude analysée comprenant un facteur 10 pour l'utilisation d'un LOAEL plutôt qu'un NOAEL, un facteur 10 pour la prise en compte de la variation interspèce et un facteur 10 pour la prise en compte de la variation intra-espèce.

Malgré les controverses, les différentes VTR respectent les critères d'analyse habituellement utilisés. Aussi, le choix est fait de retenir les VTR proposées par l'US-EPA et l'OEHHA, afin d'encadrer le risque pour deux effets délétères distincts : l'effet immunitaire et l'effet toxique sur le foie et les reins.

4.3.2 Effets cancérigènes

Pour les effets cancérigènes, seul l'OEHHA a construit un Oral Slope Factor à partir de données expérimentales sur la souris, à l'aide du modèle multi-étapes linéarisé (Thorpe et Walker 1973, DHS 1991). Sa valeur numérique est de $1,1 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$ pour un risque potentiel de cancer du foie. Cet ERU peut être retenu pour la suite de la démarche.

Il est à noter que l'OEHHA cite un travail conduit par l'US-EPA qui a évalué à partir de la même étude une Sf_0 égale à $1,33 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$. Cet ERU n'est cependant pas repris dans la base de données de l'US-EPA, elle n'est donc pas préconisée.

5 Estimation des expositions

5.1 Scénarios d'exposition

Des scénarios sont construits pour répondre aux conséquences sanitaires des différentes durées d'exposition. Les populations concernées sont des enfants de 0 à 14 ans et des adultes âgés de 15 ans et plus. Les paramètres importants permettant de calculer les doses d'exposition pour chacune des situations sont la quantité d'eau ingérée, la concentration de lindane dans l'eau, le poids corporel, la durée d'exposition, la fréquence d'exposition c'est-à-dire le nombre de jours dans la période concernée, pendant lequel les populations sont en contact avec le vecteur d'exposition. Le tableau 3 rassemble les différentes valeurs retenues dans chacun des scénarios pour les paramètres intervenants dans l'équation mathématique.

- Pour la consommation d'eau, les quantités retenues reprennent celles retenues par l'InVS [12], à partir de données nationales (étude INCA1). La consommation d'eau comprend l'eau consommée pour la boisson et la préparation des aliments.
- Les poids moyens sont issus de l'Exposure factors sourcebook for european populations [13]. Pour les 0/15 ans, la valeur proposée est calculée à partir des poids donnés par l'Ecetoc.
- La concentration en lindane dans le mélange a été calculée à partir de la concentration maximale connue en lindane, mesurée dans la source de Gavaudan (5,5 µg/l) en appliquant différents taux de mélange (de 25 % à 100 %) avec la source de Font d'Ouvin. Un prélèvement sur la source de Font d'Ouvin a montré l'absence de lindane dans cette source.

La concentration en lindane dans l'eau de distribution dépend du taux de mélange entre les deux sources. Cette information, obtenue auprès de la SADE par la Ddass du Var, est présentée en annexe 1. L'examen de ces données montre que le mélange entre les deux sources est très variable au cours de l'année ; la part de la source de Gavaudan variant de 0 à 100 %, les percentiles 25, 50 et 75 valant respectivement 51 %, 78 % et 91 %.

Tableau 3 – Scénarios et paramètres humains d'exposition

Scénario	Exposition aiguë		Exposition subchronique		Exposition chronique	
	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte
Population	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte
Consommation d'eau (l/j) - (moyenne / p95)*	1,5 / 2,1	2 / 2,9	1,5 / 2,1	2 / 2,9	1,5 / 2,1	2 / 2,9
Poids moyen (kg)	32	73	32	73	32	73
Fréquence d'exposition	Tous les jours de la période		Tous les jours de la période		Tous les jours de la période	
Période d'exposition	1 - 14 jours		15 jours à 1 an		Au moins 1 an	
Concentration de lindane*	5,5 µg/l		1,4 µg/l - 5,5 µg/l		1,4 µg/l - 5,5 µg/l	

* La valeur de 5,5 µg/l correspond à un taux de mélange de 100 % pour la source de Gavaudan ; la valeur de 1,4 µg/l correspond à un taux de mélange de 25 % pour la source de Gavaudan et de 75% pour la source de Font d'Ouvin

5.2 Calcul des doses journalières d'exposition

Le calcul des doses journalières d'exposition au lindane (DJE) est effectué pour les différents scénarios suivant la formule :

$$DJE = \frac{[\gamma - HCH] * Q_{\text{eau}}}{P}$$

où DJE est la dose journalière d'exposition au lindane (en µg/kg.j),
[γ-HCH] est la concentration en lindane dans l'eau de distribution (en µg/l),
Q_{eau} est le volume d'eau consommé (en l/j),
P est le poids corporel de l'individu (en kg).

Le tableau 4 présente les doses journalières d'exposition pour les différentes populations et les différents profils de consommateur d'eau suivant les hypothèses de mélange des sources d'eau.

Tableau 4 – Dose journalière d'exposition au lindane (en µg/kg.j) suivant le type de population, le profil de consommation d'eau et les hypothèses de mélange des sources

Scénario	Enfants		Adultes	
	DJE basse	DJE haute	DJE basse	DJE haute
Exposition aiguë	0,26	0,36	0,15	0,22
Exposition subchronique	0,07	0,36	0,04	0,22
Exposition chronique	0,07	0,36	0,04	0,22

Hypothèses retenues pour les calculs :

- *expositions aiguës : utilisation de la concentration maximum en lindane et du p95 de la consommation d'eau pour la DJE haute et utilisation de la concentration maximum en lindane et de la moyenne de la consommation d'eau pour la DJE basse ;*
- *expositions subchroniques et chroniques : utilisation de la concentration maximum en lindane et du p95 de la consommation d'eau pour la DJE haute et utilisation de la concentration en lindane correspondant au taux de mélange de 25 % et de la moyenne de la consommation d'eau pour la DJE basse.*

6 Caractérisation du risque

6.1 Effets non cancérigènes

Les quotients de danger QD pour les effets non cancérigènes sont calculés selon la formule ci-dessous :

$$QD = \frac{DJE}{DJT}$$

où DJE est la dose journalière d'exposition (en µg/kg.j),
DJT est la dose journalière tolérable (en µg/kg.j).

Le tableau 5 présente les quotients de danger pour les différentes populations et les différents scénarios d'exposition élaborés.

Tableau 5 – Quotients de danger suivant les différents scénarios d'exposition

Scénario	Enfants		Adultes	
	QD avec DJE basse	QD avec DJE haute	QD avec DJE basse	QD avec DJE haute
Exposition aiguë (ATSDR)	0,09	0,12	0,05	0,07
Exposition subchronique (ATSDR)	7	36	4	22
Exposition chronique				
- effet immunitaire (OEHHA)	7	36	4	22
- effet sur le foie et les reins (US-EPA)	0,23	1,2	0,13	0,73

Selon les hypothèses retenues pour cette évaluation des risques sanitaires, pour le scénario des expositions aiguës, il n'y a pas lieu de s'attendre à la survenue d'effets sanitaires puisque les quotients de danger sont largement inférieurs à 1, ce qui signifie que les doses d'exposition par ingestion de la population sont nettement inférieures à la VTR. En revanche, pour les expositions subchroniques, les quotients de danger sont largement supérieurs à 1. Cela signifie que les doses de lindane, absorbées par la population par ingestion d'eau, entre le 12 février 2004 et le 16 mars 2004, dépassent les valeurs toxicologiques de références retenues pour des effets immunomodulateurs.

Concernant les effets sur le foie et les reins liés à des expositions chroniques, le seuil de 1 du quotient de danger n'est dépassé que pour les enfants dont la consommation d'eau est élevée. En revanche, pour les effets immunomodulateurs, les valeurs de quotients de dangers sont logiquement retrouvées supérieures à 1.

6.2 Effets cancérigènes

Les excès de risque individuel (ERI) pour les effets cancérigènes sont calculés selon la formule ci-dessous :

$$\text{ERI} = \text{DJE} * \text{ERU} * \text{DE/TP}$$

où DJE est la dose journalière d'exposition (en $\mu\text{g}/\text{kg}.\text{j}$),
ERU est l'excès de risque unitaire (en $(\mu\text{g}/\text{kg}.\text{j})^{-1}$),
DE est la durée d'exposition de la population (en année),
TP est le temps de pondération pour la vie entière à savoir conventionnellement 70 ans.

Pour un an d'exposition, par ingestion d'eau, les ERI pour les enfants et les adultes vont respectivement de $1,1.10^{-6}$ à $5,6.10^{-6}$ et de $6,3.10^{-7}$ à $3,4.10^{-6}$. En effectuant un calcul inverse, il est possible de déterminer le nombre d'années d'exposition nécessaire pour atteindre le repère d'excès de risque de 10^{-5} , classiquement retenu comme seuil de décision. Pour les enfants, la durée d'exposition est comprise entre 1,8 et 9 ans tandis que pour les adultes, cette durée est comprise entre 2,9 et 16 ans.

6.3 Discussion des résultats

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude révèlent, dans l'absolu, des quotients de danger non négligeables et des excès de risque à ne pas négliger. Cependant, ces résultats ont été acquis après la formulation d'hypothèses nombreuses dont certaines ont une influence numérique forte. Dans tous les cas, la vraisemblance est également à discuter. Au final, c'est l'interprétation des résultats qui en sort éclairée, permettant ainsi d'asseoir les propositions de recommandations et d'expliquer celles qui ne peuvent être retenues.

6.3.1 Valeurs de qualité des milieux

Le seuil réglementaire de concentration des pesticides dans l'eau destinée à la consommation humaine est largement dépassé ; la recommandation préconisée par l'OMS également. Il n'est pas opportun de calculer le quotient de danger ou l'ERI inhérents à cette concentration en s'appuyant sur les choix toxicologiques opérés dans cette démarche d'EQRS. En effet, l'OMS a établi cette valeur à partir d'hypothèses différentes

qui ne peuvent être échangées. Le PHG de l'OEHHA est inférieur d'un facteur 4 à la recommandation de l'OMS.

Il est toujours difficile de s'appuyer sur les seules valeurs de qualité des milieux car elles sont fixées pour des conditions d'exposition qui veulent assurer une grande protection de l'ensemble de la population. Les hypothèses sont alors parfois les plus extrêmes. Dans des cas locaux, ces scénarios ne sont pas vraisemblables et il est nécessaire de calculer les risques pour la population concernée.

6.3.2 Analyse des incertitudes

De nombreuses hypothèses ont dû être formulées tout au long de la démarche, en raison des lacunes dans les connaissances. Ces lacunes sont responsables d'incertitudes sur les résultats de la quantification des risques. Il est donc nécessaire d'analyser les hypothèses et de discuter le sens de la conséquence sur l'estimation du risque en distinguant si nécessaire les différents scénarios.

- Les teneurs en lindane dans la source

Les seules mesures récentes existantes sont celles qui ont été réalisées en juin 2003 et depuis février 2004. Le début de la contamination de la source et l'évolution des concentrations en lindane entre cette date et le mois de février sont inconnus tout comme une éventuelle pollution de la nappe avant le mois de juin 2003. Quel que soit le scénario d'exposition, l'évaluation des risques a été réalisée à partir de la concentration maximale connue en lindane, sans pour autant que l'on sache si des teneurs plus élevées auraient pu être quantifiées à d'autres moments.

Pour une exposition aiguë, ne pas connaître une éventuelle teneur maximale est sans importance car, avec nos hypothèses, il aurait fallu que les teneurs soient environ 10 fois supérieures à cette teneur maximale pour que le seuil de toxicité soit atteint. Par ailleurs, l'US-EPA [14] estime qu'aucun effet nocif non cancérigène n'est attendu suite à une exposition d'un enfant de 10 kg consommant 1 litre d'eau par jour et contenant jusqu'à 1 mg/l en lindane sur une période de un à dix jours. Cette teneur est 200 fois supérieure à celle mesurée dans la source de Gavaudan.

Pour une exposition subchronique, l'important est de déterminer la persistance de la contamination de la source par le lindane. Or, les analyses disponibles indiquent une évolution rapide de cette contamination indiquant une grande inconstance. Il semble même que la contamination survienne après des périodes de précipitations, expliquant cette inconstance. Aussi, l'hypothèse sur une concentration de lindane dans l'eau égale à la valeur maximale mesurée n'est pas vraisemblable. Le calcul de risque réalisé ne peut donc être pris que comme un indicateur de ce qu'il adviendrait si cette contamination devenait persistante.

Ce raisonnement est encore plus important dans le cas d'une exposition chronique, car il faudrait une persistance de la pollution sur une durée nettement plus longue, ce qui ne peut être vraisemblable en l'état actuel des données disponibles.

- Les valeurs toxicologiques de référence

Les VTR recensées dans les bases de données classiquement consultées semblent appropriées pour être utilisées dans le contexte de cette étude, quel que soit le scénario d'exposition. Pour les effets chroniques non cancérigènes, la remarque majeure concerne le choix de l'effet critique. Les effets immunomodulateurs (réduction de l'activité lymphocytaire des follicules avec hypersensibilité retardée) surviennent avant les effets hépatiques et rénaux (dégénérescence des tubules rénaux, distensions tubulaires et néphrites interstitielles). Cependant, les premiers sont nettement moins sévères et préoccupants que les deuxièmes révélant la précaution des experts lors du choix. C'est pour cela qu'il a été décidé de retenir les deux valeurs afin d'encadrer le risque sur deux effets critiques différents.

Il est également important de remarquer que les VTR subchronique et chronique (OEHHA et RIVM) sont identiques, conduisant ainsi au même quotient de danger pour les deux scénarios d'exposition. Selon le RIVM, cette similitude pourrait être expliquée par les résultats des études expérimentales qui ne montrent pas de différence dans la survenue des effets en fonction de la durée d'exposition (RIVM 2000).

- Les facteurs humains d'exposition

- l'utilisation de l'Exposure Factors Sourcebook for European Populations en ce qui concerne les poids moyens permet de se rapprocher *a priori* des poids moyens de la population d'étude (en comparaison de l'utilisation de l'US-EPA Exposure Factors Handbook) ;
- la consommation en eau a été estimée selon l'hypothèse que la population de Belgentier ne consomme que l'eau du réseau de distribution sans tenir compte de l'eau embouteillée. Cette hypothèse surestime l'exposition au lindane et donc les risques sanitaires ;

- la quantité d'eau consommée quotidiennement, notamment en retenant le percentile 95 de la distribution, correspond à une surestimation de l'exposition car il ne peut être considéré que toute la population de Belgentier ait ce comportement. Il ne s'agit au plus que de quelques individus. Cependant, il est important de considérer des hypothèses de cette nature pour montrer les conséquences sur une population qui aurait un comportement moins courant.

- Les autres voies d'exposition

Seule l'ingestion d'eau a été considérée afin de pouvoir apporter des éléments scientifiques décisionnels dans un délai rapproché aux autorités locales. Or, les voies cutanée et d'inhalation ainsi que l'ingestion des produits du jardin arrosé par l'eau du réseau d'adduction contribuent à la dose d'exposition de la population de Belgentier. Il s'agit donc d'un facteur de sous-estimation.

- Autres sources d'exposition au lindane

Il a été fait l'hypothèse que la seule exposition au lindane était la consommation d'eau, en particulier compte tenu de l'interdiction d'utilisation en France depuis 1998 pour les usages agricoles et assimilés. Toutefois, l'OMS indiquait en 1993 [2] que seulement 1 % de la dose journalière tolérable pouvait être attribuée à l'eau de boisson en considérant l'usage du lindane en santé publique et le traitement du bois. La non prise en compte des autres sources ne peut donc avoir conduit qu'à une sous-estimation qui n'est pas quantifiable compte tenu des données disponibles.

6.3.3 Conséquence sur l'impact sanitaire

Les résultats de cette évaluation des risques montrent pour certains scénarios d'exposition et en fonction des choix toxicologiques, des dépassements de la valeur seuil de décision. S'ils sont préoccupants dans l'absolu, *a fortiori* parce que toutes les doses pour toutes les voies d'exposition n'ont pu être estimées, il ne faut pas oublier l'incertitude majeure sur la concentration de lindane dans l'eau du réseau ainsi que sa persistance.

Aussi, par exemple, dans le cas des expositions chroniques, la fourchette de valeurs calculées permet d'encadrer le risque pour deux effets délétères de gravité différentes : des effets immunitaires que l'on peut considérer peu sévères et les résultats nous indiquent qu'ils sont susceptibles de survenir dans la population exposée ; des effets toxiques sur le foie et les reins plus graves, dont l'apparition ne peut intervenir que chez les enfants particulièrement exposés à l'eau de la source de Gavaudan. Cependant, toute la population de la commune de Belgentier n'a pas été exposée aux mêmes quantités de lindane :

- quelques habitants sont desservis par des puits privés dont la qualité de l'eau n'est pas connue ;
- une trentaine d'habitants est concernée par l'hypothèse 4 (desservie totalement par la source polluée) ;
- une partie de la population (environ 1 000 habitants) n'a jamais été exposée car uniquement desservie par la source de Font d'Ouvin ;
- le reste de la population (environ 1 000 habitants) a consommé le mélange d'eau entre les deux sources. Si l'on considère une période d'exposition maximale de juin 2003 à mars 2004, le taux de mélange moyen se situe à 57 %, proche de l'hypothèse 2. Sur les mois de février et mars 2004, ce taux varie entre 22 et 52 % correspondant respectivement aux hypothèses 1 et 2.

Il en ressort que le nombre de personnes concernées est faible. Cet élément restreint les possibilités de conduire d'autres investigations épidémiologiques pour apprécier l'impact sanitaire d'une exposition au lindane présent dans l'eau de la source de Gavaudan.

7 Conclusion et recommandations

Le dépassement du seuil réglementaire de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine était déjà un argument fort pour mettre en œuvre des actions de gestion dans le cadre de la procédure de crise recommandée par le CSHPF. Les résultats de l'évaluation quantitative des risques sanitaires renforcent cette nécessité de conduire au plus vite les enquêtes nécessaires et de poursuivre les recommandations d'urgence déjà formulées. Il s'agit donc de :

- **Poursuivre l'interdiction de la distribution d'eau à partir de la source de Gavaudan** tant que la source de pollution au lindane n'aura pas été identifiée.

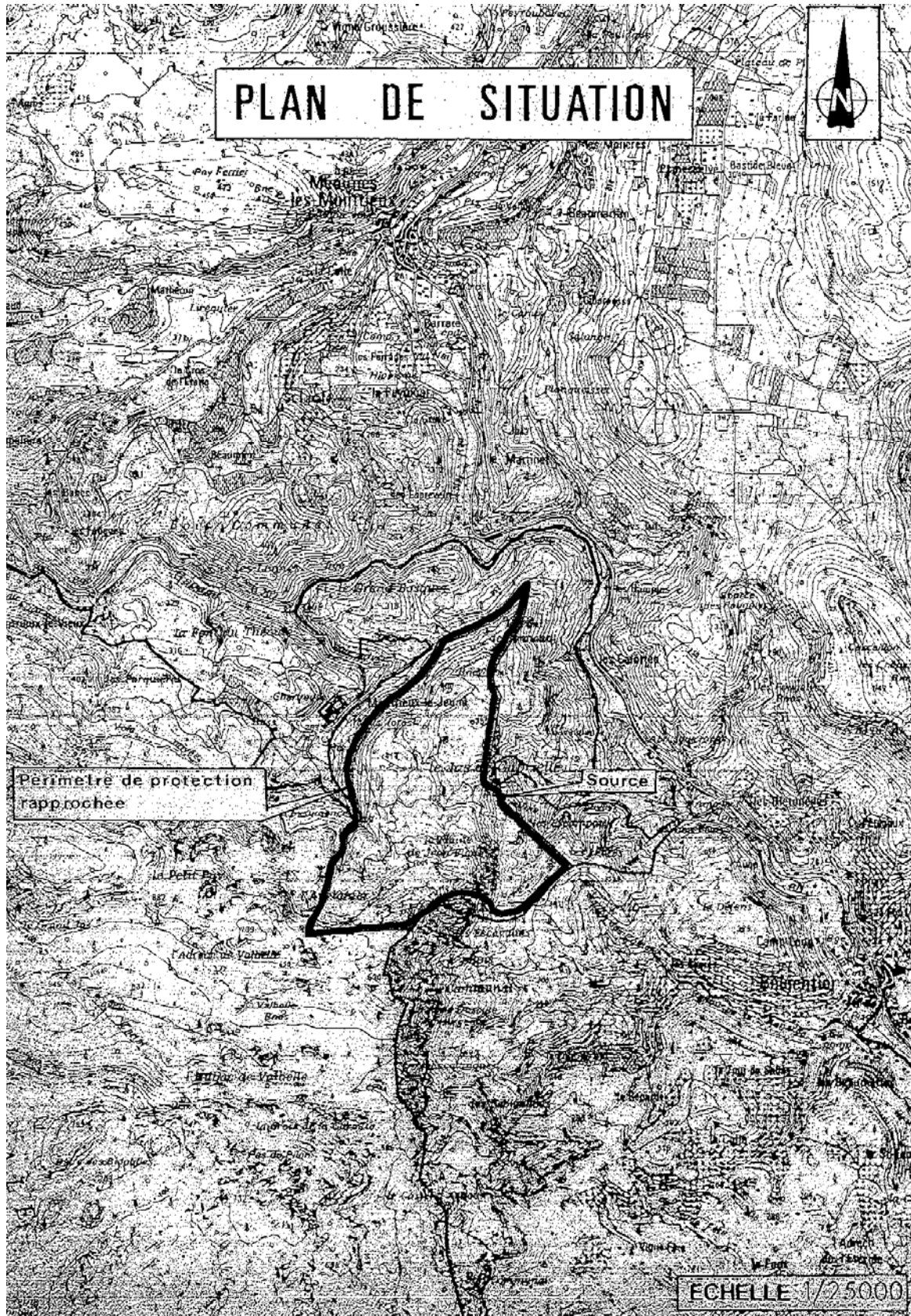
- **Rechercher la cause de la pollution** (fuite d'un stockage de fûts, usage frauduleux de lindane etc.) car celle-ci semble être amenée à se répéter comme le montrent les résultats du 6 mai 2004 alors que le lindane n'était plus mesurable dans la source de Gavaudan depuis le 18 mars 2004.
- **Mettre en place un suivi de la qualité de la source.** La fréquence des prélèvements pourra évoluer dans le temps avec une périodicité plus rapprochée pendant la période estivale du fait du nombre de personnes potentiellement exposées plus élevé (tourisme important) ou en fonction de la météorologie (épisodes pluvieux). Cette périodicité et la durée de ce suivi seront revues régulièrement entre les acteurs en fonction des résultats d'analyse.
- **Rechercher une ressource en eau de substitution** dans la mesure où la source de Font d'Ouvin ne suffit pas aux besoins estivaux en eau potable ou **rechercher un système de traitement de l'eau** pour la période estivale 2004, si aucune possibilité de distribution d'eau à la population n'est possible à court terme.
- **Mettre en place un recensement exhaustif des puits privés** utilisés sur la commune de Belgentier pour l'eau de consommation humaine **et une information de leurs propriétaires** sur la réglementation en vigueur et les risques sanitaires auxquels ils peuvent s'exposer alors qu'ils consomment une eau dont la qualité n'est pas connue tant du point de vue chimique que bactériologique.
- **Mettre en place une information de la population** qui comprendrait :
 - des informations sur l'épisode de pollution,
 - des informations toxicologiques relatives au lindane,
 - les résultats de l'évaluation des risques sanitaires,
 - les mesures prises par les services de l'Etat, la commune et l'exploitant pour limiter l'exposition de la population.
- En revanche, même si les résultats de l'évaluation quantitative des risques sanitaires font apparaître un dépassement de la valeur seuil jugée acceptable, l'incertitude sur la concentration de lindane dans l'eau consommée par les habitants et la taille réduite de la population ne permet pas en l'état actuel de **recommander d'effectuer une investigation sanitaire.**

Bibliographie

- [1] Décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles.
- [2] World health organization, guidelines for drinking-water quality, 2nd ed., vol 1 recommendations, 1993, p 85.
- [3] International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria n°124, Lindane, 1991.
- [4] Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Évaluation de la contamination des sols - Manuel de référence, annexe 3 – fiches techniques sur les pesticides, 2000.
- [5] Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Draft toxicological profile for alpha-, beta-, gamma-, and delta-Hexachlorocyclohexane, septembre 2003, 354 pages.
- [6] Institut national de la santé publique et de la protection de l'environnement (Pays-Bas), Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels, RIVM Rapport 711701025, 2001, pages 258-262.
- [7] Institut national de la recherche et de la sécurité, fiche toxicologique n°81, lindane, 1992.
- [8] International Agency on Research on Cancer, Hexachlorocyclohexanes, IARC Monographs Suppl. 7, 1987, p. 220.
- [9] United states environmental protection agency, Integrated risk information system, gamma-Hexachlorocyclohexane.
- [10] World Health Organization, Pesticide residues in food - 1997 evaluations. Part II - Toxicological and Environmental, WHO/PCS/98.6, 1998, Lindane n° 934 on INCHEM.
- [11] Office of environmental health hazard assessment - California environmental protection agency – Public Health Goal for lindane in drinking water. Pesticide and environmental toxicology section A.M. Fan, Deputy Director for scientific affairs G.V. Alexeeff. February 1999; 41 pages.
- [12] Institut de veille sanitaire, Exposition chronique à l'arsenic hydrique et risques pour la santé. Bilan des données épidémiologiques – Evaluation quantitative des risques sanitaires en Auvergne, 2002, 108 pages.
- [13] European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals, Exposure Factors Sourcebook for European Populations (with focus on UK data). Technical report n°79, 2001, 119 pages.
- [14] United states environmental protection agency, 2004 Edition of the drinking water standards and health advisories, EPA 822-R-04-005, 2004, 20 pages.

Annexe 1

Périmètre de protection de la source de Gavaudan



Annexe 2

Estimation de la part de la source de Gavaudan dans le mélange alimentant le réseau bas service Commune de Belgentier, janvier 2001 – mars 2004

	2004			2003			2002			2001		
	Alimentation du réseau en mélange m ³ /j	CAP gavaudan en m ³ /j	Part de gavaudan en %	Alimentation du réseau en mélange m ³ /mois	CAP gavaudan en m ³ /mois	Part de gavaudan en %	Alimentation du réseau en mélange m ³ /mois	CAP gavaudan en m ³ /mois	Part de gavaudan en %	Alimentation du réseau en mélange m ³ /mois	CAP gavaudan	Part de gavaudan en %
janvier	4363	3681	80,1	4006	3897	92,7	5839	1486	22,3	7760	152	0
février	4740	2646	51,9	3647	2165	54,3	5356	1400	22,7	6593	253	1,03
mars	4228	1103	21,7	4000	3757	89,3	3951	1900	43,4	7177	6682	90,5
avril				4683	4140	84,5	4277	1500	30,7	4286	5304	100
mai				5673	5241	89,1	3598	578	10,9	5021	4771	91,3
juin				6670	5242	75,8	4735	4450	90,1	5769	4351	72,2
juillet				7101	4520	61	4120	3503	80,5	7832	8444	100
août				7553	3997	50,5	3192	2953	86,7	8636	7575	85,6
septembre				5583	3622	61,6	3673	2561	64,7	7594	7642	98,2
octobre				4738	3071	60,9	4336	3556	77,7	6260	6681	100
novembre				4667	2433	48,2	3788	4693	100	6024	5923	95,3
décembre				4576	2843	58,1	4151	6795	100	6178	6195	100

Une proportion du débit de la source de Gavaudan est utilisée directement par une partie de la population (figure 1, page 7) et n'entre pas dans le mélange. Elle représente environ 185 m³/mois (estimation de la SADE).