

Annexe VI

Document d'orientation préliminaire sur l'évaluation de la bioaccumulation

(Présenté sans avoir fait l'objet d'une édition en bonne et due forme par le Secrétariat)

1. Généralités

Les critères relatifs à la bioaccumulation énoncés dans l'Annexe D de la Convention de Stockholm se lisent comme suit :

« c) *Bioaccumulation :*

- i) *Preuve que le facteur de bioconcentration ou le facteur de bioaccumulation correspondant à la substance chimique dans les espèces aquatiques est supérieur à 5 000 ou, en l'absence de données sur ces facteurs, que le log K_{ow} est supérieur à 5;*
- ii) *Preuve que la substance chimique donne d'autres motifs de préoccupation, comme une bioaccumulation élevée dans d'autres espèces ou une toxicité ou écotoxicité élevée; ou*
- iii) *Données provenant de la surveillance des biotes indiquant que le potentiel de bioaccumulation de la substance est suffisant pour en justifier l'examen dans le cadre de la présente Convention;*

De ces trois critères, c'est le critère quantitatif i) dont l'application soulève le moins d'incertitudes. Toutefois, pour ce qui est des critères ii) et iii) qui ne sont pas quantitatifs, on ne voit pas très bien comment les appliquer. En raison de ces incertitudes, notamment en ce qui concerne les produits chimiques qui ne satisfont pas au critère i), la question de la bioaccumulation a fait l'objet de débats approfondis qui n'ont toutefois pas permis de parvenir à une interprétation commune (voir appendice I : données sur la bioaccumulation des POP avérés et des POP candidats).

Dans le présent document, on examine la question de l'application des critères ii) et iii) relatifs à la bioaccumulation lorsque le critère i) n'est pas satisfait.

2. **Éléments de preuve attestant la bioaccumulation figurant dans les évaluations précédentes du Comité d'étude des POP et rassemblement des éléments de preuve**

1) **Éléments de preuve attestant la bioaccumulation figurant dans les évaluations précédentes du Comité d'étude des POP.**

A ce jour, on est parvenu à la conclusion que cinq produits chimiques satisfont aux critères de sélection en dépit de leur facteur de bioaccumulation peu élevé (< 5 000). Les éléments importants sur lesquels reposent les évaluations du Comité d'étude sont les suivants : (voir appendice 2-1 : preuves de bioaccumulation fournies lors des précédentes réunions du Comité d'étude; et appendice 2-2 : preuves de bioaccumulation de POP candidats au regard des critères de sélection ii) et iii))

SPFO :

- i) Facteurs de bioconcentration (matière en suspension) entre 240 et 1 300. Les facteurs de bioconcentration ne sont pas de bons indicateurs de la bioaccumulation
- ii) Très faible vitesse d'élimination et très peu d'effets sur le développement des mammifères à faibles concentrations (la valeur de la CSENO (concentration maximale sans effet nocif observé) est de 0,1 mg/kg de poids de corps/jour d'après une étude portant sur deux générations de rats) et
- iii) Bioamplification

Lindane :

- i) Les valeurs des facteurs de bioconcentration se situent entre 13 et 1 240 (critère d'hygiène de l'environnement de l'OMS), entre 327 et 893 (étude japonaise) et entre 43 et 4 240 (dans d'autres études)
- ii) Forte toxicité (pour des CSENO d'à peine 0,3 mg/kg de poids de corps/jour) et écotoxicité (concentration maximale sans effets observés (CSEO) inférieure à 1 µg/l) (références 5 et 6) enregistrées sur le terrain dans des vers de terre (0,3 mg/kg pour un sol contenant 80 µg/kg) données comparables à celles de la toxicité pour les mammifères.
- iii) Présence de lindane signalée dans les oiseaux de mer, les poissons et les mammifères de l'Arctique. Les concentrations dans les organismes des mammifères marins sont égales ou

supérieures à celles des PCB et du DDT rapportées pour les femmes Inuits allaitantes de l'Arctique et les mammifères marins.

Alpha hexachlorocyclohexane :

- i) Les valeurs du facteur de bioconcentration se situent entre 60 et 2 750 (poids sec de l'organisme entier) et entre 313 et 2 400 (poids humide) (références 8 et 9)
- ii) et iii) Les valeurs du facteur de bioamplification pour les différents niveaux trophiques (zooplanctons, vertébrés, poissons et mammifères) se situent entre 1 et 16. Il ressort des études des chaînes alimentaires marines de l'Arctique que l'alpha hexachlorocyclohexane s'accumule stéréosélectivement dans les organismes des espèces marines et peut donner lieu à une bioamplification supérieure à celle du gamma-hexachlorocyclohexane, pour lequel on a signalé des valeurs pouvant atteindre 4 220; décelé dans le sang et les tissus adipeux des humains. Décelé dans le lait et le tissu placentaire exposant ainsi les progénitures au cours des périodes cruciales de leur développement; d'après certaines informations, la bioaccumulation de l'alpha hexachlorocyclohexane dans la chaîne alimentaire est plus élevée que celle du lindane.

Bêta hexachlorocyclohexane :

- i) Les valeurs du facteur de bioconcentration se situent entre 250 et 1 500 (poids sec de la totalité de l'organisme)
- ii) et iii) Il ressort d'études des chaînes trophiques marines de l'Arctique que le bêta hexachlorocyclohexane peut s'accumuler aux niveaux trophiques élevés. Il semblerait que ce produit persiste dans les organismes des espèces étudiées. Les facteurs de bioamplification du bêta hexachlorocyclohexane dans les réseaux alimentaires marins se situent entre 1 et 18 la plupart du temps (avec une valeur maximale de 280). Dans les organismes d'oiseaux et de mammifères marins en particulier, le bêta hexachlorocyclohexane peut s'accumuler à des concentrations plus élevées que celles des autres isomères. Dans la chaîne alimentaire terrestre de l'Arctique, ce produit peut aussi faire l'objet d'une bioamplification dans les organismes des mammifères et il a été décelé dans les tissus adipeux et dans le lait des humains. Il a également été décelé dans le tissu placentaire exposant ainsi les progénitures au cours d'une période critique de leur développement. Des informations confirment le fait que le potentiel de bioaccumulation du bêta- hexachlorocyclohexane est plus élevé que celui du lindane.

L'octaBDE :

- i) Valeurs élevées des facteurs de bioconcentration des homologues dans les mélanges commerciaux
- ii) et iii) Des concentrations situées entre 220-270 ng/g de lipide dans les œufs des faucons pèlerins ont été enregistrées au nord de la Suède et au Groenland; dans les organismes humains, la demi-vie est estimée à 100 jours, tandis que pour la faune édaphique on a calculé que le facteur de bioaccumulation de l'octobromodiphényléther 197 est de 2.

2) Récapitulation des éléments de preuve des évaluations

La récapitulation des éléments de preuve présentés ci-dessus en matière de bioaccumulation est la suivante :

Facteurs de bioaccumulation sans objet :

SPFO

Longue demi-vie :

SPFO et octabromodiphényléther

Forte toxicité/forte écotoxicité :

SPFO et lindane

Bioamplification :

SPFO, alpha- hexachlorocyclohexane et bêta hexachlorocyclohexane

Décelés dans les biotes :

Lindane, alpha- et bêta hexachlorocyclohexane et octabromodiphényléther

Décelés dans les organismes humains (sang, lait, tissus adipeux) :

Lindane, alpha- et bêta hexachlorocyclohexane

Exposition au stade du développement :

Alpha- et bêta hexachlorocyclohexane

3. Existence de documents d'orientation en matière d'évaluation de la bioaccumulation

Il existe plusieurs documents d'orientation en matière d'évaluation de la bioaccumulation qui font état de vues qui ne sont pas prévues en i). Ainsi, un document d'orientation de l'Union européenne indique comment évaluer les preuves scientifiques correspondant au critère « B » (bioaccumulation) relatif aux substances persistantes (P), bioaccumulables (B) et toxiques (T) et aux substances très persistantes (VP) et à fort pouvoir de bioaccumulation (VB) (facteur de bioaccumulation de 2 000 et de 5 000 pour les substances PBT et vPvB, respectivement). La législation japonaise de réglementation des produits chimiques définit les critères pour déterminer le potentiel de bioaccumulation et indique comment traiter les cas où les facteurs de bioaccumulation sont inférieurs à 5 000 (voir appendice 3 : importance de la demi-vie biologique pour l'évaluation de la bioaccumulation; et appendice 4 : utilisation des données de surveillance pour l'évaluation de la bioaccumulation).

1) Document d'orientation de l'Union européenne (aux fins d'établissement d'une annexe XV au dossier sur l'identification des substances particulièrement préoccupantes)

- a) *Données relatives à l'absorption et au métabolisme provenant d'études de laboratoire sur d'autres espèces, notamment des mammifères*
- b) *Procédés autres que la répartition des graisses*
- c) *Utilisation des données de surveillance*

Les mesures réalisées sur les biotes indiquent clairement que la substance est absorbée par les organismes. Toutefois, le fait de détecter par l'analyse des substances présentes dans un 'organisme n'est pas en soi un indicateur en toute circonstance d'une importante bioconcentration ou bioaccumulation qui se serait produite ou serait en cours de nature à avoir des incidences sur les biotes.

A cet égard, les données correspondant aux différents niveaux trophiques d'une chaîne alimentaire unique donnée sont utiles car les différences de concentration entre les divers niveaux peuvent souvent fournir des informations utiles sur le potentiel de bioaccumulation.

La qualité des données de surveillance est un important facteur à prendre en compte. De nombreuses substances aux propriétés comparables à celles du polybutylène téréphtalate (PBT) sont difficiles à analyser à faibles concentrations et l'utilisation de données de mauvaise qualité peut aboutir à des conclusions erronées.

Il convient aussi lorsque l'on examine les données disponibles (provenant d'études de laboratoire et recueillies sur le terrain) de tenir également compte du fait que l'accumulation constatée dans une situation donnée peut dépendre dans une large mesure de la teneur en graisse des tissus des espèces considérées.

Lorsqu'il s'agit de déterminer si la substance a un potentiel de bioaccumulation correspondant au critère B, il convient d'adopter une approche consistant à privilégier les valeurs probantes des éléments de preuve en rassemblant les données disponibles. Cette évaluation pourrait en partie consister à prendre en compte la mesure dans laquelle la substance ne satisfait pas au vérifiable critère B ou vB lorsque l'on dispose de données sur les facteurs de bioaccumulation. Il conviendrait de souligner qu'en l'occurrence, la préoccupation procède du potentiel de bioaccumulation et pas seulement de la présence de la substance dans un biote.

2) Japon (critère de bioaccumulation permettant de déterminer les produits chimiques de la première catégorie à surveiller au titre de la législation sur la réglementation des produits chimiques)

- a) *Potentiel de bioaccumulation élevé*
La valeur du facteur de bioaccumulation est supérieure à 5 000
- b) *Le potentiel de bioaccumulation n'est pas élevé*
La valeur du facteur de bioaccumulation est inférieure à 1 000 et le coefficient de partage est inférieur à 3,5
Le coefficient de partage ne s'applique aux substances tensio-actives, aux mélanges présentant une distribution des masses moléculaires, aux composés métalliques organiques, aux échantillons d'une faible pureté (méthode CLHP) et aux composés inorganiques
- c) *Lorsque les valeurs du facteur de bioaccumulation se situent entre 1 000 et 5 000, il convient de prendre en considération le cas échéant les résultats des tests suivants pour déterminer le potentiel de bioaccumulation*
 - *Test d'élimination*
 - *Facteur de bioconcentration des parties comestibles des poissons*

4. Autres indicateurs

1) Facteur de bioconcentration et facteur de bioaccumulation

Examen des rapports entre le facteur de bioconcentration et le facteur de bioaccumulation. D'une façon générale, les POP ayant un facteur de bioconcentration élevé ont également un facteur de bioaccumulation élevé. Toutefois, la corrélation entre ces deux facteurs n'est pas claire (voir appendice 5 : rapport entre le facteur de bioconcentration et le facteur de bioaccumulation des POP avérés et des POP candidats).

En principe, les facteurs de bioaccumulation de grande qualité obtenus sur le terrain rendent mieux compte de la bioaccumulation dans l'environnement car ils correspondent à l'absorption par toutes les voies d'exposition et à toutes les influences des processus métaboliques. Les conditions dans lesquelles sont effectués les échantillonnages (pour le facteur de bioaccumulation) et les tests (pour les facteurs de bioconcentration) devraient être soigneusement déterminées pour pouvoir évaluer la qualité des données concernant les facteurs de bioaccumulation et de bioconcentration.

2) Koa

Le Koa est un indicateur du potentiel de bioaccumulation des substances dans les organismes des animaux terrestres. Toutefois, au stade actuel, on analyse seulement les valeurs du Koa d'un nombre limité de produits chimiques qui s'accumulent dans les organismes vivants; le rapport entre le Koa et la bioaccumulation dans les animaux terrestres n'est pas encore établi. Il conviendrait d'encourager d'autres recherches dans ce domaine (voir appendice 6 : données relatives à la demi-vie biologique des POP avérés et des POP candidats).

3) Métabolisme

Le métabolisme est un élément essentiel de l'évaluation de la bioaccumulation. D'une façon générale, le métabolisme tend à réduire le potentiel de bioaccumulation; toutefois, il conviendrait d'examiner la question des différences entre espèces.

Les métabolites peuvent s'accumuler dans les organismes. Le potentiel de bioaccumulation doit alors prendre en compte l'accumulation des métabolites des substances parentes et connexes (les facteurs de bioconcentration ou de bioaccumulation exprimant l'ensemble de l'accumulation).

Les produits chimiques qui ne présentent pas toutes les caractéristiques des POP peuvent être préoccupants en raison du métabolisme des biotes. Ainsi, un produit chimique pouvant se propager sur de longues distances qui dans un biote donné se transforme en métabolite bioaccumulable et toxique peut présenter un risque pour la santé et l'environnement en des lieux éloignés.

5. Débats fondés sur les documents d'orientation

En se fondant sur les documents d'orientation, il est possible d'analyser comme suit les éléments de preuve de bioaccumulation provenant des évaluations antérieures du Comité d'étude des POP :

Les facteurs de bioconcentration ne sont pas pertinents

Le document d'orientation de l'Union européenne fait état d'un mécanisme de bioaccumulation autre que celui de la répartition des graisses. Etant donné que la liaison des protéines est prise en compte en ce qui concerne le SPFO, l'explication mécaniste pourrait être utile pour déterminer le potentiel de bioaccumulation lorsque la substance ne satisfait pas au critère i).

Longue demi-vie

Le critère japonais prend en compte cette notion dont on estime qu'elle est également prise en compte par les notions d'absorption et de métabolisme dans le document de l'Union européenne. Les informations sur la demi-vie sont utiles pour déterminer le potentiel de bioaccumulation lorsque la substance ne satisfait pas au critère i). Il convient de noter que les deux documents d'orientation limitent les résultats des tests à examiner.

Toxicité/écotoxicité élevée

La réglementation REACH de l'Union européenne fait état du même degré de préoccupation en ce qui concerne les produits chimiques PBT et vPvB. Cela signifie que pour les produits chimiques persistants à toxicité et/ou écotoxicité élevée, un facteur de bioconcentration supérieur à 2 000 ou un potentiel de bioaccumulation de niveau équivalent devrait suffire pour susciter de fortes préoccupations.

Bioamplification

Le document d'orientation de l'Union européenne indique que la bioamplification traduit les différences de concentration entre les divers niveaux trophiques d'une même chaîne alimentaire mais ne fait état d'aucun critère quantitatif. La bioamplification est déterminée à partir des données de surveillance recueillies sur le terrain. Il convient de tenir compte de facteurs tels que la fiabilité des données et la teneur en lipides des espèces considérées. La prise en compte des différences de métabolisme entre les espèces marines et les mammifères terrestres peut également être nécessaire.

Détections dans les biotes et dans les organismes des êtres humains (sang, lait, tissus adipeux)

Il est indiqué dans le document d'orientation de l'Union européenne que le fait de détecter par des analyses la présence de substances dans des organismes ne constitue pas en soi et en toute circonstance l'indication d'une bioconcentration ou d'une bioaccumulation importante qui aurait eu lieu ou qui se produirait pouvant avoir des effets sur les biotes. C'est pourquoi les données de détections provenant de biotes ou d'organismes humains ne sont pas considérées comme des preuves directes de bioaccumulation. Toutefois, en particulier, lorsque des données de surveillance révèlent un accroissement de concentration en fonction de l'âge ou lorsque les substances ont été détectées dans diverses espèces, il convient d'examiner soigneusement les données.

Exposition au stade du développement

Les documents d'orientation n'en font pas état et les informations en la matière ne constituent pas des preuves directes de bioaccumulation comme la détection de substances dans les organismes humains (sang, lait et tissus adipeux). Toutefois, en cas d'exposition, des examens soigneux sont nécessaires.

6. Conclusions

L'examen de la précédente évaluation du Comité d'étude des POP et des documents d'orientation existants justifie l'approche ci-après :

1) Éléments de preuve importants

Aux fins de l'évaluation du potentiel de bioaccumulation des produits chimiques qui ne satisfont pas aux critères i), les informations ci-après sont considérées comme étant des éléments de preuve importants satisfaisant aux critères ii) ou iii). Toute proposition tendant à l'inscription de produits chimiques aux Annexes A, B et C devrait indiquer le critère auquel satisfont les données concernant les produits chimiques considérés.

Valeur du facteur de bioaccumulation

Un facteur de bioaccumulation d'une valeur de 1 000 ou 2 000 peut constituer une raison suffisante pour que l'on procède à un examen approfondi du potentiel de bioaccumulation d'un produit chimique donné qui ne satisfait pas au critère i).

Longue demi-vie, mécanisme unique de bioaccumulation

Une longue demi-vie et une explication mécaniste de la raison pour laquelle le critère i) n'est pas applicable peuvent constituer de bonnes raisons pour procéder à un examen attentif du potentiel de bioaccumulation d'un produit chimique donné qui ne satisfait pas au critère i).

Importante bioaccumulation dans d'autres espèces

Une importante bioaccumulation dans d'autres espèces peut indiquer qu'il existe de bonnes raisons pour procéder à un examen attentif d'un produit chimique lorsqu'il ne satisfait pas au critère i).

Augmentation des concentrations en fonction du niveau trophique (bioamplification)

L'augmentation des concentrations en fonction du niveau trophique dans une seule chaîne alimentaire constitue une information utile sur la bioamplification. Ce phénomène indique qu'il y a bioaccumulation tout au long de la chaîne alimentaire et peut constituer une bonne raison pour que l'on examine attentivement le potentiel de bioaccumulation d'un produit chimique donné qui ne satisfait pas au critère i). Des données provenant d'études différentes correspondant à différents niveaux trophiques en un même lieu et des fortes concentrations dans les organismes des prédateurs occupant le haut de la chaîne peuvent aussi justifier un examen attentif. Il convient de noter que la surveillance constitue la source des données de sorte qu'il peut être nécessaire d'examiner attentivement la fiabilité de ces données.

Forte toxicité/écotoxicité

Une forte toxicité/écotoxicité devrait déclencher un examen.

Détection dans les biotes

La détection de substances dans les biotes et leurs concentrations dans le milieu environnant peuvent justifier un examen attentif. Les données quantitatives recueillies dans les biotes indiquent clairement si la substance considérée est absorbée par les organismes. Toutefois, il conviendrait de prendre en considération le fait que la détection d'une substance dans les organismes ne constitue pas en soi et en toute circonstance une indication de bioaccumulation. La détection de concentrations relativement plus élevées et leur comparaison avec les concentrations détectées de POP avérés peuvent déclencher un examen attentif.

Comparaison des concentrations relevées dans les biotes avec les niveaux de toxicité

Il est souhaitable de comparer les concentrations décelées dans l'environnement avec le degré de toxicité/d'écotoxicité. Lorsque les niveaux sont proches, il peut être indiqué de procéder à un examen attentif. En revanche, en raison des nombreuses incertitudes qu'une telle comparaison suppose, les substances pour lesquelles les concentrations dans le milieu diffèrent des concentrations efficaces enregistrées dans les organismes des animaux expérimentaux devraient aussi être étudiées attentivement. A cette fin, l'étude de facteurs tels que la fiabilité des données de surveillance peut être nécessaire.

Autres sujets de préoccupation

Il y a également lieu d'être préoccupé par le fait qu'on a décelé des POP dans les organismes d'espèces menacées, de populations vulnérables et d'êtres humains (sang, lait, tissus adipeux) et que les organismes sont exposés au cours de leur développement.

2) Valeur probante des éléments de preuve

Il conviendrait de s'intéresser à la question de la valeur probante des éléments de preuve lorsque l'on rassemble toutes les informations disponibles.

Appendice 1

Données sur la bioaccumulation des POP avérés et des POP candidats

Nom du produit chimique	Espèces aquatiques		Autres espèces		Demi-vie biologique (j)	log K _{oa} ⁵⁾ (-)	Mécanisme
	Facteurs de bioconcentration		Facteur de bioaccumulation				
	Méthodes METI ¹⁾	Autres	(facteur BSAF)				
<i>Aldrine</i>	1 550 - 20 000	5 500 - 11 700 ²⁾					8,08
<i>Dieldrine</i>	4 860 - 14 500	8 910 - 9 770 ²⁾			100 - 592 ⁴⁾		8,90
<i>Endrine</i>	2 360 - 12 600	5 890 - 7 410 ²⁾			2 - 4 ⁴⁾		8,13
<i>Chlordane</i>	13,000 - 27 900	19 500 - 20 900 ²⁾			<1 - 140 ⁴⁾		8,92
<i>DDT</i>	5 100 - 25 900	2 880 - 91 200 ²⁾	4 680 - 4 170 000 ²⁾		0,2 - 428 ⁴⁾		9,82
<i>Hexachlorobenzène</i>	6 000 - 30 000	3 720 - 245 000 ²⁾	1 200 - 550 000 ²⁾		12 - 1 095 ⁴⁾		7,38
<i>Heptachlore</i>	2 020 - 17 300	8 710 - 10 000 ²⁾					7,64
<i>Mirex</i>		20 400 - 41 700 ²⁾	224 000 - 5 750 000 ²⁾		1,6 - 364 ⁴⁾		
<i>Toxaphène</i>					1 - 19,3 ⁴⁾		
<i>PCB</i>	600 - 21 900	2 690 - 933 000 ²⁾	11 000 - 32 400 000 ²⁾		0,3 - 1 020 ⁴⁾		
<i>PCDD</i>		36 300 - 38 900 ²⁾			<7 - 4 125 ⁴⁾		
<i>PCDF</i>		2 570 - 6 030 ²⁾			0,001 - 1 168 ⁴⁾		
<i>Pentabromodiphényléther</i>		17 700 ³⁾	1,8 ³⁾	BSAF = 11 - 34 ³⁾			
<i>SPFO</i>	200 - 1 500	240 - 3 100 ³⁾			13,6 - 1 428 ^{3),4)}		Lié à une protéine du sang
<i>Hexabromobenzène</i>	4 700 - 16 000	4 700 - 18 100 ³⁾			22 - 35 405 ^{3),4)}		
<i>Chlordécone</i>		2 - 60 200 ³⁾			8,5 - 165 ⁴⁾		
<i>Lindane</i>	327 - 893	3 - 20 000 ³⁾	10 - 12 600 ^{2),3)}		0,71 - 2 ^{3),4)}	7,85	Lente élimination par la respiration de l'air
<i>α-hexachlorocyclohexane</i>		60 - 13 000 ³⁾			1,6 - 6,9 ⁴⁾	7,61	Lente élimination par la respiration de l'air
<i>β-hexachlorocyclohexane</i>		250 - 1 500 ³⁾			2,5 - 154 ⁴⁾	8,88	Lente élimination par la respiration de l'air
<i>Octabromodiphényléther</i>		<10 - 36 ³⁾	Facteur BSAF= 1(hexa)-3(hepta) ³⁾ Facteur BSAF= 9,1±1,1(hexa)		100 ³⁾		Absorption de grosses molécules par l'ingestion d'aliments
<i>Paraffines chlorées à chaînes courtes (PCCC)</i>	500 - 11 000	<1 - 138 000 ³⁾	16 440 - 25 650 ³⁾	BSAF = 1,9 - 6,8 ³⁾	7,1 - 86,6 ³⁾		
<i>Pentachlorobenzène</i>		577 - 23 000 ³⁾	125 - 117 000 ^{2),3)}		53 ³⁾		

Références

1) Chemical Risk Information Platform (CHRIP, Japon); 2) Amot, JA et al (2006) Informations supplémentaires pour l'étude « A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms » (Analyse des évaluations des facteurs de bioconcentration et des facteurs de bioaccumulation des produits chimiques organiques dans les organismes aquatiques); 3) Evaluation des POP candidats à l'aide des critères de l'Annexe D et des descriptifs des risques y relatifs; 4) Hazardous Substances Data Bank (HSDB, U.S.) (Banque des données sur les substances dangereuses), 5) Shoeb, M. et al.(2002) Environ. Toxicol.Chem., 21, 5, 984-990.

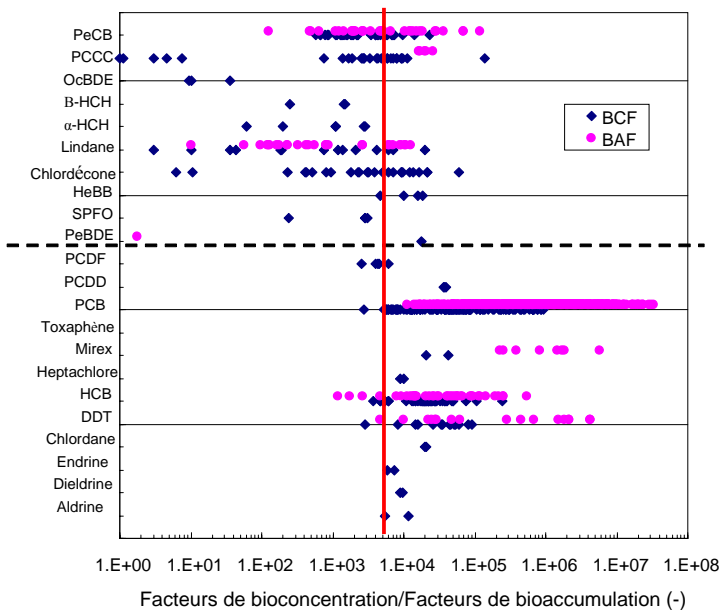


Figure 1. Rapport entre les données relatives aux facteurs de bioconcentration et les données relatives aux facteurs de bioaccumulation des POP avérés et des POP candidats

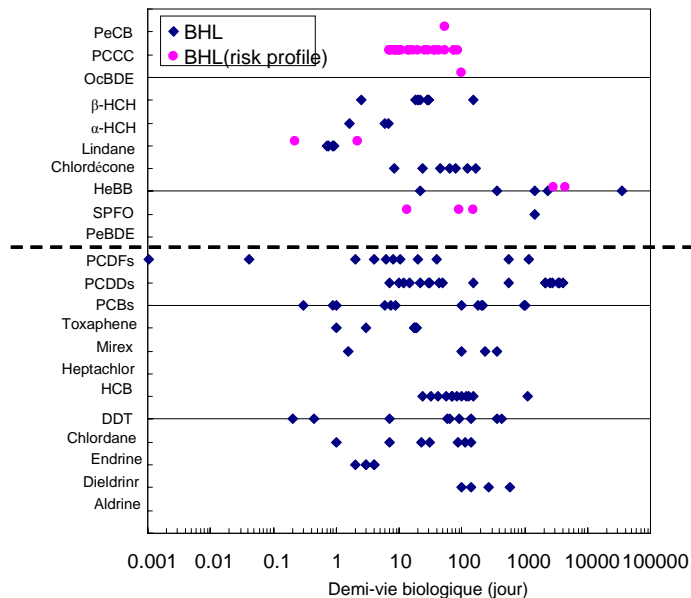


Figure 2. Données sur la demi-vie biologique des POP avérés et des POP candidats (j)

Appendice 2-1

Preuves de bioaccumulation fournies lors des précédentes réunions du Comité d'étude des POP (facteurs de bioaccumulation <5 000)

	SPFO	Lindane	Alpha hexachlorocyclohexane (alpha HCH)	Bêta hexachlorocyclohexane (bêta HCH)	Octabromodiphényléther (octaBDE)
i) Preuve que le facteur de bioconcentration ou de bioaccumulation du produit chimique considéré dans les organismes des espèces aquatiques est supérieur à 5 000 ou, en l'absence de ces données, que le log K _{oc} est supérieur à 5;	Les valeurs du facteur de bioconcentration du SPFO sont inférieures à celles fixées par les critères de sélection (de l'ordre de 240 à 1 300 dans des conditions d'équilibre et atteignent 2 796 lorsqu'on recourt aux estimations cinétiques) (réf. 1). Le SPFO est une substance tensio-active et de ce fait, les coefficients de partage n-ocanol/eau ne sont pas pertinents (réf. 2). Les valeurs du facteur de bioconcentration ne sont pas de bonnes valeurs prédictives de la bioaccumulation en ce qui concerne cette substance car il a été démontré que l'absorption d'aliments constitue une voie pertinente pour les organismes aquatiques (réf. 3). La bioaccumulation n'a aucun rapport avec la lipophilie et l'accumulation n'intervient pas au premier chef dans les tissus adipeux.	Les données provenant du no. 124 des Critères d'hygiène de l'environnement (réf. 5) indiquent que les facteurs de bioconcentration se situent entre 13 to 1 240 . Les valeurs du facteur de bioconcentration obtenues par le Japon et analysées par des pairs se situent entre 327 et 893, conformément aux directives de l'OCDE en matière de tests. D'autres références font état des facteurs de bioconcentration relevés sur les moules, daphnies et certaines espèces de poissons se situent entre 43 et 4 240 , les valeurs dépendant de la teneur en graisse des organismes considérés. S'agissant du facteur de bioaccumulation, la seule valeur fournie dans la proposition du Mexique était de 12 500 et peut avoir été établie à partir de données concernant les propriétés physico-chimiques et environnementales du lindane. Dans cette même proposition du Mexique, la valeur du log K _{oc} est de 3,5;	i) La proposition fait état d'un log K _{oc} de 3,8 (réf. 1). Les valeurs des facteurs de bioconcentration pour les invertébrés peuvent se situer entre 60 et 2 750 (poids sec d'organismes complets) (réf. 4). Les valeurs des facteurs de bioconcentration pour les poissons se situaient entre 313 et 2 400 (poids humide) (réfs. 8 et 9);	Le log K _{oc} indiqué dans la proposition est de 3,7. Pour les poissons, le facteur de bioconcentration enregistré était de 1 460 . D'autres valeurs signalées obtenues à partir de poissons entiers (poids humide) se situent entre 250 et 1 500 (réf. 5).	La valeur du log K _{oc} pour le produit commercialisé est de l'ordre de 6,29 (réf. 3). Les résultats expérimentaux figurant dans le rapport de l'Union européenne sur l'évaluation des risques indiquent que l'octa- et l'heptaBDE ont des facteurs de bioconcentration peu élevés (inférieurs à la fourchette 10-36); ces résultats ont été confirmés par les données présentées par le Gouvernement japonais et analysées par des pairs. Néanmoins, d'autres diphényles éther bromés présents dans les préparations commerciales d'octaBDE affichent des valeurs de facteurs de bioconcentration plus élevées situées entre 11 700 et 17 700 pour le pentaBDE (réf. 3) et entre 1 000 et 5 600 pour l'hexaBDE (réf.3).
ii) Preuve que la substance chimique donne d'autres motifs de préoccupation, comme une bioaccumulation élevée dans d'autres espèces ou une toxicité ou une écotoxicité élevée.	Les études toxicocinétiques sur des vertébrés aquatiques et terrestres montrent que les taux d'élimination sont très faibles (réfs. 1 et 4). En outre, il est avéré que le SPFO a des effets sur le développement des mammifères à de très faibles concentrations (concentrations maximales sans effets nocifs observés (CSENO) de l'ordre de 0,1 mg/kg de poids de corps, par jour chez les rats; l'étude a porté sur deux générations (réf. 1);	1) La bioaccumulation du lindane a été constatée pour la plupart des groupes taxonomiques, des plantes et algues aux vertébrés . Il conviendrait de se pencher sur la question des conséquences sur l'environnement de l'association de ce potentiel de bioaccumulation à une forte toxicité – (CSENO) à des concentrations aussi faibles que 0,3 mg/kg de poids de corps/jour et à une forte écotoxicité – concentration (maximale) sans effets observés (CSEO) dans les écosystèmes aquatiques à des concentrations inférieures à 1 µg/l (réfs. 5 et 6). Ainsi, lorsque l'on compare les concentrations enregistrées sur le terrain dans les vers de terre, (0,3 mg/kg de sol contenant 80 µg/kg) aux données sur la toxicité pour les mammifères (réf. 5) en utilisant un coefficient d'ingestion alimentaire réaliste de 0,63 (réf. 7), on constate qu'il existe une zone suscitant des préoccupations d'ordre écotoxicologique qu'il conviendrait d'étudier plus avant.	Les valeurs du facteur de bioamplification correspondant à l'alpha-HCH à différents niveaux trophiques (zooplancton, invertébrés, poissons et mammifères) se situent entre 1 et 16 (réfs. 10 et 11). Il ressort d'études réalisées sur les réseaux trophiques marins de l'Arctique que l'alpha-HCH fait l'objet d'une bioaccumulation stéréosélective dans les organismes des espèces marines et qu'il peut subir une bioamplification plus importante que le gamma-HCH pour lequel des valeurs pouvant atteindre 4 220 ont été signalées (réf. 12). L'alpha-HCH a été décelé dans le sang et les tissus adipeux des humains (réf. 13). Il a également été décelé dans le lait et le tissu placentaire de sorte que les progénitures sont exposées à des périodes critiques de leur développement (réfs. 14, 15 et 16). Il ressort des informations disponibles que la bioaccumulation de l'alpha-HCH dans la chaîne alimentaire est supérieure à celle du lindane (réf. 12);	Il ressort d'études sur les réseaux trophiques marins de l'Arctique que le bêta-HCH peut s'accumuler à des niveaux trophiques élevés (réf. 1). Il semblerait que le bêta-HCH persiste dans les organismes des espèces étudiées (réfs. 1, 6, et 7). Les valeurs du facteur de bioamplification correspondant au bêta-HCH dans les réseaux trophiques marins se situaient pour la plupart entre 1 et 18 (avec une valeur maximale de 280). L'accumulation du bêta-HCH dans les organismes des oiseaux et des mammifères marins en particulier peut être plus forte que celle d'autres isomères (réfs. 1, 6 et 8). La bioamplification du bêta-HCH peut également se produire dans la chaîne alimentaire des organismes terrestres de l'Arctique au niveau des mammifères . Dans le cas des loups, la modélisation des facteurs de bioamplification fait apparaître des valeurs se situant entre 9 et 109 en fonction de l'âge de l'animal (réf. 9). Le bêta hexachlorocyclohexane a été décelé dans les tissus adipeux (réf. 10) et dans le lait des femmes (réfs. 11, 12 et 13). Il a également été décelé dans le tissu placentaire de sorte que les progénitures sont exposées à des périodes critiques de leur développement (réf. 14). En outre, les informations disponibles confirment que le potentiel de bioaccumulation du bêta-HCH est plus élevé que celui du lindane (réf. 1).	Des données recueillies sur le terrain montrent que l'heptaBDE a un potentiel de bioaccumulation. On a signalé des concentrations se situant entre 220 et 270 nanogrammes par gramme de lipide dans les œufs du faucon pèlerin dans la partie septentrionale de la Suède et au Groenland (réfs. 4 et 5). Ces données montrent qu'en dépit de son important poids moléculaire, la molécule est présente dans les organismes des grands prédateurs à des concentrations semblables à celles du tétra- et du pentaBDE qui sont bioaccumulables. En outre la demi-vie estimée dans les organismes humains est de 100 jours (réf. 6), ce qui laisse supposer un potentiel de bioaccumulation. Le facteur de bioaccumulation de l'octaBDE 197 dans les organismes vivant dans le sol est de 2 d'après les calculs (réf. 2).
iii) Données provenant de la surveillance des biotes indiquant que le potentiel de bioaccumulation de la substance est suffisant pour en justifier l'examen dans le cadre de la Convention.	Les données de surveillance confirment la bioaccumulation et la bioamplification du SPFO dans les organismes des mammifères terrestres et marins (réf. 4);	ii) On a signalé la présence de lindane dans les oiseaux de mer, les poissons et les mammifères de l'Arctique (réf. 1). Les concentrations de lindane dans les organismes des mammifères marins sont égales voire supérieures à celles de contaminants plus hydrophobes tels que les biphényles polychlorés (PCB) et le DDT (réf. 1). En outre, on a signalé la présence de lindane dans le lait des femmes Inuits de l'Arctique et des mammifères marins (réf. 8);			

Appendice 2-2

Preuve de bioaccumulation de POP candidats au regard des critères de sélection c) ii) et iii)

Bioaccumulation dans d'autres espèces		PentaBDE	SPFO	Hexabromobenzène	Chlordécone	Lindane	Alpha HCH	Bêta HCH	OctaBDE	PCCC	Pentachlorobenzène
						La bioaccumulation du lindane a été constatée dans les organismes de la plupart de groupes taxonomiques depuis les plantes et les algues jusqu'aux vertébrés.		La modélisation des facteurs de bioamplification fait apparaître des valeurs se situant entre 9 et 109 pour les loups en fonction de l'âge.	D'après les calculs le facteur d'accumulation de l'octaBDE 197 est de 2 en ce qui concerne les organismes vivant dans les sols.		
Toxicité	Forte toxicité		Effets sur le développement des mammifères à faibles concentrations (CSENO = 0,1 mg/kg/jour pour des rats d'après une étude portant sur deux générations).		Demi-vie dans les excréments des mammifères de plusieurs mois.	Les conséquences sur l'environnement de l'association de ce potentiel de bioaccumulation et d'une forte toxicité (CSENO 0,3 mg/kg/jour) et écotoxicité de la substance (CSEO <1 µg/l) devraient être examinées.					
	Forte écotoxicité					<1 µg/l) devraient être examinées.					
	Toxicocinétique		Vitesse d'élimination très lente (études toxicocinétiques portant sur les vertébrés aquatiques et terrestres). (*)	Les données toxicocinétiques recueillies pour les mammifères et les données de surveillance des biotes confirment le potentiel de bioaccumulation.		Les mesures sur le terrain font apparaître dans les organismes des verres de terre une concentration de 0,3 µg/kg pour un sol contenant 80 µg/kg. Lorsque l'on compare cette concentration aux données sur la toxicité pour les mammifères en utilisant un coefficient d'ingestion de 0,68, on constate qu'il y a une zone suscitant des préoccupations d'ordre écotoxicologique qu'il conviendrait d'étudier plus avant.					Les données toxicocinétiques concernant les oiseaux domestiques indiquent qu'il y a accumulation au cours de l'ingestion des aliments et une demi-vie de 53 jours dans les tissus adipeux. (*)
Demi-vie biologique	Humain								La demi-vie dans les organismes humains est estimée à 100 jours.		
	Animal		Vitesse d'élimination très lente (études toxicocinétiques portant sur les vertébrés aquatiques et terrestres). (*)		Demi-vie dans les excréments des mammifères de plusieurs mois.						Données toxicocinétiques pour les oiseaux domestiques indiquent une accumulation au cours de l'ingestion d'aliments ainsi qu'une demi-vie dans les tissus adipeux de 53 jours. (*)

Bioaccumulation dans d'autres espèces		PentaBDE	SPFO	Hexabromobenzène	Chlordécone	Lindane	Alpha HCH	Bêta HCH	OctaBDE	PCCC	Pentachlorobenzène
Données de surveillance des biotes	Facteur de bioamplification ou transfert trophique	Il ressort des données rassemblées dans le monde entier que l'on assiste à un accroissement des concentrations des substances apparentées au pentaBDE avec l'élévation du niveau trophique. Des publications récentes confirment le transfert le long de la chaîne alimentaire dans l'Arctique. (*)	Les données de surveillance confirment qu'il y a bioaccumulation et bioamplification du SPFO dans les organismes des mammifères terrestres et marins.				Les valeurs du facteur de bioamplification de l'alpha HCH à différents niveaux trophiques (zooplancton, invertébrés, poissons et mammifères) se situent entre 1 et 16. Dans les réseaux alimentaires marins on a montré que l'alpha HCH faisait l'objet d'une bioaccumulation stéréosélective dans les organismes et les espèces marines et pouvait subir une bioamplification supérieure à celle du gamma HCH dont des valeurs atteignant 4 220 ont été signalées.	Les valeurs du facteur de bioamplification dans les chaînes alimentaires marines se situaient généralement dans une fourchette de 1 à 18.			
	Présence du produit à des niveaux trophiques élevés.		Des données de surveillance confirment le pouvoir de bioaccumulation et de bioamplification du SPFO dans les organismes des mammifères terrestres et marins. (*)		Fortes concentrations du produit décelées dans les poissons et les oiseaux.	Présence signalée dans les oiseaux de mer, les poissons et les mammifères de l'Arctique (*)		Il ressort des études sur les réseaux trophiques marins arctiques que les bêta HCH peut s'accumuler dans les organismes aux niveaux trophiques les plus élevés. (*) La bioamplification du produit peut également se produire dans les organismes des mammifères de la chaîne alimentaire terrestre de l'Arctique. (*)	Malgré son poids moléculaire élevé, la molécule est présente dans les prédateurs occupant le haut de la chaîne à des concentrations comparables à celles du tétra et du pentaBDE qui sont bioaccumulables. (*) On a signalé des concentrations allant de 220 à 270 ng/gde lipides dans les œufs du faucon pèlerin dans la partie septentrionale de la Suède et au Groenland (*)	Il a été fait état de concentrations des paraffines chlorées à chaînes courtes dans les organismes des mammifères marins dans diverses régions de l'Arctique, du Canada et du Groenland. (*)	
	Présence du produit dans d'autres espèces			Les données toxicocinétiques provenant des mammifères et les données de surveillance provenant des biotes confirment le potentiel de bioaccumulation. (*)				Le bêta HCH semble persister dans les espèces étudiées.	Les données de terrain fournissent la preuve que la bioaccumulation est une propriété de l'heptaBDE.	On a également la preuve que les paraffines chlorées à chaînes courtes s'accumulent dans les organismes des poissons dans le lac Ontario au Canada.	

UNEP/POPS/POPRC.3/20

Bioaccumulation dans d'autres espèces		PentaBDE	SPFO	Hexabromobenzène	Chlordécone	Lindane	Alpha HCH	Bêta HCH	OctaBDE	PCCC	Pentachlorobenzène
	Présence du produit dans des régions éloignées de l'Arctique	Des publications récentes confirment le transfert du produit le long des chaînes alimentaires dans l'Arctique. (*)				Présence du produit signalée dans les organismes des oiseaux de mer, les poissons et les mammifères de l'Arctique. (*)		Des études portant sur les réseaux alimentaires marins de l'Arctique ont montré que le bêta HCH peut s'accumuler dans les organismes aux niveaux trophiques supérieurs. (*) Il peut également y avoir bioamplification du produit dans les organismes des mammifères de la chaîne alimentaire terrestre de l'Arctique. (*)	Malgré son poids moléculaire élevé le produit est présent dans les organismes des prédateurs occupant le haut de la chaîne à des concentrations semblables à celles du tétra et du pentaBDE qui sont bioaccumulables. (*) Des concentrations allant de 220 à 270 ng/g de lipides ont été décelées dans les œufs du faucon pèlerin dans la partie septentrionale de la Suède et au Groenland. (*)	Il a été fait état de concentrations de paraffines chlorées à chaînes courtes dans les organismes des mammifères marins dans diverses régions de l'Arctique, du Canada et du Groenland. (*)	On dispose également d'une importante quantité de données de surveillance pour les mammifères, les oiseaux, les poissons et les sédiments lacustres de l'Arctique ainsi que pour les mousses des régions éloignées.
	Présence du produit dans le lait					Il est fait état de la présence du produit dans le lait des femmes Inuits de l'Arctique et des mammifères marins.	Le produit a été décelé dans le sang et les tissus adipeux des êtres humains. Ainsi que dans le lait et le tissu placentaire de sorte que les progénitures y sont exposées au cours des périodes critiques de leur développement.	Ainsi que dans le lait et le tissu placentaire de sorte que les progénitures y sont exposées au cours des périodes critiques de leur développement.		Les paraffines chlorées et à chaînes courtes ont été décelées dans le lait.	
	Comparaison avec les concentrations décelées d'autres POP					Les concentrations de lindane dans les organismes des mammifères marins sont équivalentes voire supérieures à celles de quelques contaminants aux propriétés hydrophobes plus importantes telles que les PCB et le DDT.		Dans les organismes des oiseaux et des mammifères marins l'accumulation du bêta HCH peut être plus élevée que celle d'autres isomères.			
Divers				Informations supplémentaires sur l'incident survenu dans le Michigan.	Cette bioaccumulation résulte de la lipophilie du produit chimique pour lequel le log K _{ow} se situe entre 4,50 et 6.		Il ressort des informations disponibles que la bioaccumulation de l'alpha HCH dans la chaîne alimentaire est plus importante que celle du lindane.	Les informations disponibles confirment que le potentiel de bioaccumulation du bêta HCH est plus élevé que celui du lindane.	Malgré son poids moléculaire élevé, le produit est présent dans les organismes des prédateurs occupant le haut de la chaîne à des concentrations semblables à celles du tétra- et du pentaBDE qui sont bioaccumulables. (*)		La présence de pentachlorobenzène a été décelée dans l'air de régions éloignées y compris dans l'Arctique où les concentrations se situent entre 0,017 et 0,138.

Les rubriques suivies d'un astérisque sont reprises plusieurs fois.

Appendice 3

Importance de la demi-vie biologique pour l'évaluation de la bioaccumulation

1. Données sur la demi-vie biologique

La demi-vie biologique est définie comme le temps nécessaire pour que la quantité d'une substance chimique donnée présente dans un système biologique soit réduite de moitié par le métabolisme et les excréctions de l'organisme.

A de rares exceptions près, les métabolites qui en résultent ont de plus grandes propriétés hydrophiles de sorte qu'ils sont éliminés plus rapidement que les substances parentes. En conséquence, la demi-vie est un paramètre important pour la réduction du potentiel de bioaccumulation.

2. Importance des données sur la demi-vie biologique

Premier exemple : Directive sur l'identification des substances particulièrement préoccupantes

L'Agence européenne des produits chimiques (2007) a publié une directive sur l'identification des substances particulièrement préoccupantes. S'agissant de la bioaccumulation, on recourt au facteur de bioconcentration des substances dans les organismes aquatiques pour déterminer le potentiel de bioaccumulation des substances considérées. On pourrait également recourir aux données sur la demi-vie pour démontrer ou appuyer l'existence d'un potentiel de bioaccumulation élevé suscitant le même type de préoccupation; il s'agirait de données concernant l'ingestion et le métabolisme provenant d'études réalisées en laboratoire sur d'autres espèces, y compris les mammifères.

Deuxième exemple : Evaluation de potentiel de bioaccumulation à l'aide du log K_{ow}

En ce qui concerne les substances lipophiles, on suppose qu'il existe des corrélations entre les valeurs du log K_{ow} et celles du facteur de bioconcentration. Toutefois, on constate qu'il y a d'importants écarts entre les valeurs des facteurs de bioconcentration mesurées et celles des facteurs de bioconcentration calculés qui vont s'accroissant avec l'accroissement du log K_{ow} (Nations Unies (2005)).

On attribue ces écarts à la moindre imprégnation cinétique des membranes, à la moindre solubilité des grosses molécules de lipides biologiques, aux artéfacts expérimentaux qui empêchent de parvenir à un équilibre et aux erreurs d'analyse.

Le métabolisme est également considéré comme l'une de ces raisons. Les poissons sont capables de métaboliser nombre de types différents de substances xénobiotiques et certaines des enzymes catalysant ces réactions ont été identifiées et leurs propriétés déterminées. Un métabolite, qui est le produit d'une transformation biologique, a des propriétés physiques et chimiques différentes de celles de la substance parente. Le potentiel de bioaccumulation peut être réduit par l'altération d'une substance et sa transformation en un dérivé aux propriétés hydrophiles plus prononcées.

Troisième exemple : Evaluation du potentiel de bioamplification

Se reporter à l'appendice 4 intitulée : Utilisation des données de surveillance pour l'évaluation de la bioaccumulation.

3. Facteurs influant sur les données concernant la demi-vie biologique

Dans les tests de bioconcentration effectués sur les poissons, il est possible d'estimer la demi-vie en se fondant sur la modification de la concentration chimique ou sur la modification de la teneur en substances chimiques (charge corporelle) par unité de temps. La différence entre les deux types de calcul provient d'un accroissement du poids corporel, c'est-à-dire de la dilution qui en résulte, au cours de l'étude. La croissance peut devenir un important facteur dans l'étude des produits chimiques persistants lorsque les concentrations sont suivies sur de longues périodes (Niimi, A.J. (1987)).

En outre, des données telles que les différences interspécifiques, l'intervalle de temps écoulé entre la fin de l'exposition à un produit chimique et le prélèvement du premier échantillon, l'utilisation de composés marqués par un élément radioactif et le recours à des équations cinétiques de premier ordre ou d'ordre multiple pourraient influencer sur les estimations de la demi-vie.

Dans les études toxicocinétiques, les données sur la demi-vie découlent habituellement des concentrations plasmatiques. Les excréations urinaires, biliaires ou fécales peuvent également être mesurées. Les produits chimiques lipophiles sont éliminés dans un premier temps dans les fèces de sorte que la demi-vie peut paraître courte. Toutefois, la quantité de substances absorbées par le corps peut demeurer longtemps dans les tissus adipeux de sorte que la demi-vie est bien plus longue.

Références

Agence européenne des produits chimiques (2007) Guidance for the preparation of an Annex XV dossier on the identification of substances of very high concern (Directive pour l'établissement d'une annexe XV au dossier sur l'identification des substances particulièrement préoccupantes).

Niimi, A.J. (1987) Biological half-lives of chemicals in fishes, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 99, 1-46.

Nations Unies (2005) Globally harmonized system of classification and labelling of chemicals (ghs), Annex 9 Guidance on hazards to the aquatic environment (Système mondial harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques, annexe 9, Directive concernant les risques pour l'environnement aquatique.

Appendice 4

Utilisations des données de surveillance pour l'évaluation de la bioaccumulation

1. Utilisations des données de surveillance

Il convient d'utiliser avec prudence les données de surveillance lorsque l'on évalue le potentiel de bioaccumulation. L'Agence européenne des produits chimiques (2007) a publié des directives concernant l'utilisation des données de surveillance provenant d'études sur le terrain.

« Les mesures effectuées sur les êtres vivants donnent de claires indications sur l'absorption d'une substance par un organisme. Toutefois, les analyses permettant de déceler la présence de substances dans les organismes ne permettent pas toujours de savoir s'il s'est produit ou s'il se produit une importante bioconcentration ou bioaccumulation qui pourrait avoir des conséquences sur les biotes.

L'interprétation de ces données pour déterminer les facteurs réels de bioaccumulation ou de bioamplification peut s'avérer particulièrement difficile lorsque les sources et niveaux d'exposition (par exemple l'eau ainsi que les aliments) ne sont pas connues ou ne peuvent faire l'objet d'estimations raisonnables.

2. Eléments à prendre en compte pour l'utilisation des données de surveillance aux fins d'évaluation de la bioaccumulation

a) Bioamplification résultant du transfert le long de la chaîne trophique

Bien qu'il existe diverses définitions de la bioamplification, le Comité d'étude des POP à sa première réunion (2005) l'a conçue comme suit :

« La bioamplification est le processus par lequel les concentrations d'une substance chimique sont normalement exprimées en concentrations normalisées dans les lipides. La bioamplification résulte du transfert d'une substance chimique, par l'ingestion d'aliments, d'un niveau trophique inférieur à un niveau trophique supérieur.

Etant donné la multiplicité des méthodes de calcul du facteur de bioamplification, le potentiel de bioamplification doit être utilisé de préférence au facteur de bioamplification aux fins de l'évaluation au regard des critères de bioaccumulation. Lorsqu'un potentiel de bioamplification a été identifié, il convient de le considérer comme un sujet de préoccupation spécifique lors de l'évaluation au regard des critères 1 c).

Les concentrations dans les lipides doivent être utilisées lorsque l'on compare les concentrations aux différents niveaux trophiques. Les valeurs du facteur de bioamplification établies pour le poids total de l'organisme considéré ont tendance à être inférieures au facteur de bioamplification obtenu à partir des lipides.

Le facteur de bioamplification est égal à la concentration dans les lipides d'un organisme du produit chimique/la concentration dans les lipides des aliments du produit chimique.

Schwarzenbach, R.P. (2003) signale des cas de concentrations spécifiques de composés organochlorés dans des organismes formant des chaînes ou des réseaux alimentaires simples. Lorsque le facteur de bioamplification est supérieur à 1, on considère qu'il y eu transfert du produit à un niveau supérieur dans l'organisme d'un prédateur. Cependant, le métabolisme et les vitesses d'élimination de microorganismes tels que le plancton sont élevés de sorte que les déséquilibres entre niveaux trophiques sont difficiles à établir.

Le facteur de bioamplification tend à augmenter avec l'accroissement de la liposolubilité du produit chimique. Cela est généralement dû à la lenteur du processus d'élimination. Dans le cas d'un produit chimique dont la liposolubilité est relativement faible, tel que l'hexachlorocyclohexane (K_{ow}=3,8), l'élimination est plus rapide de sorte que le potentiel de bioamplification décroît.

Le facteur de bioamplification peut être inférieur à 1 dans les organismes de prédateurs occupant le haut de la chaîne car ils sont capables de métaboliser les produits chimiques. Ainsi, l'hexachlorocyclohexane peut faire l'objet d'une biotransformation plus rapide dans le corps des oiseaux que dans celui de leur proie, de sorte que le facteur de bioamplification de cette substance dans les oiseaux de mer est de 0,3.

b) Evolution temporelle des données de surveillance

L'évolution temporelle des données peut également fournir des informations utiles permettant de dire si les concentrations de la substance augmentent avec le temps dans le milieu, même si, là encore, l'interprétation de ces données peut n'être pas toujours simple.

c) Comparaison avec les concentrations de POP avérés mesurées

La comparaison avec les concentrations mesurées de substances ayant un fort pouvoir de bioaccumulation telles que les POP avérés peut fournir des repères pour déterminer le potentiel de bioaccumulation.

d) Données provenant d'échantillons prélevés à des niveaux trophiques élevés

Bien que les composés organiques s'accumulent généralement dans le foie ou les tissus adipeux, les données provenant d'autres parties d'un organisme (tels que des protéines, du sang) peuvent aider à déterminer le processus d'accumulation spécifique d'une substance chimique et à interpréter le mécanisme de l'accumulation.

Alors que les facteurs de bioconcentration procèdent habituellement d'expériences menées sur des organismes aquatiques, les données provenant d'autres organismes occupant des niveaux trophiques élevés (tels que les organismes terrestres) peuvent aider à déterminer les organismes dans lesquels il peut y avoir bioaccumulation et à interpréter le mécanisme d'accumulation.

3. Evaluation de la qualité des données de surveillance

S'agissant des données de surveillance il est un facteur important dont il convient de tenir compte, à savoir leur qualité. Nombre de substances ayant les propriétés des POP sont difficiles à analyser à faibles concentrations et l'utilisation de données de mauvaise qualité peut conduire à des conclusions erronées. Le Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique (AMAP, 2001) a publié des recommandations concernant l'évaluation de la qualité des données de surveillance visant à permettre de déterminer des tendances spatio-temporelles et d'interpréter d'autres types de données. Compte tenu de considérations portant sur l'assurance/qualité des données, les quatre types de données ci-après sont proposés :

- a) Certification attestée ou documentée de l'assurance qualité à tous les stades de la collecte des données;
- b) Certains stades du processus visant à assurer la qualité/le contrôle des données peuvent être étayés par des documents (lorsqu'ils ne peuvent pas être exposés en détail dans des rapports publiés par exemple).
- c) En l'absence de données sur les procédures d'assurance/de contrôle de la qualité des données on veille à ce que les résultats soient conformes à ceux d'autres rapports concernant les mêmes types d'échantillons.
- d) Aucun élément n'atteste l'assurance qualité ou la compatibilité des données avec des flux de données certifiées.

Le programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique recommande que l'on ne retienne que les données des catégories a et b pour étudier les tendances spatio-temporelles ou procéder à d'autres types d'interprétation des données de base. Les données de la catégorie c peuvent être utilisées pour dégager les tendances relatives pour autant qu'il y ait cohérence interne des données. Les données de la catégorie d ne doivent pas être utilisées pour les évaluations.

4. Facteurs intervenant dans la variabilité des données de surveillance

De nombreux facteurs pourraient avoir des conséquences sur les données de surveillance dont certains entretiennent d'étroits rapports. Borga et al. (2004) ont fait état d'incidences de ces facteurs que l'on résume ci-dessous :

Lipides

La teneur en lipides d'un organisme varie en fonction de certaines données de l'environnement comme les variations saisonnières et les caractéristiques individuelles telles que l'âge, le sexe, la taille de l'organisme et le stade de la reproduction. Bien que les concentrations normalisées des lipides soient utilisées dans les études sur la bioaccumulation pour rendre compte des variations, l'influence de ces données devrait être prise en compte.

Les organismes vivant dans des climats froids, tels que celui de l'Arctique, ont tendance à accumuler de grandes quantités de graisses pour emmagasiner de l'énergie, ce phénomène constituant une stratégie de survie dans un climat froid. La plupart des POP sont fortement liposolubles et se répartissent en phase lipidique de sorte qu'ils sont décelés à des niveaux élevés dans les biotes arctiques.

Variations saisonnières

Dans l'Arctique, les variations saisonnières de l'intensité du rayonnement solaire influent sur l'accumulation des POP.

La formation et la fonte des glaces ou la modification de la teneur en matières organiques de l'eau résultant de l'accroissement ou de la diminution saisonnière de la production primaire influe sur la biodisponibilité des POP dans la colonne d'eau.

L'accroissement de la production primaire se traduit par une abondance d'aliments qui entraîne une augmentation du volume corporel et/ou de la teneur en lipides des organismes. L'accroissement de la quantité de liquides favorise un plus grand stockage des produits chimiques lipophiles.

Cycle de vie

L'augmentation de la taille du corps des organismes pélagiques en réduit la superficie relative et partant réduit l'élimination de substances aux travers de la surface corporelle.

Lorsque les organismes se développent, en particulier ceux des oiseaux et des mammifères, les concentrations apparentes de POP diminuent avec l'accroissement de la taille du corps (dilution résultant de la croissance).

Dans le cas des organismes parvenus à maturité, les concentrations de POP ont tendance à augmenter avec l'âge car nombre de ces substances sont difficilement dégradables et s'élimineront très lentement.

La modification du régime alimentaire avec l'âge ou de l'habitat peuvent altérer l'accumulation et/ou l'élimination de POP.

Les mammifères femelles au stade de la reproduction éliminent les POP accumulés dans leur corps par le biais du fœtus et du lait.

Habitat

Les caractéristiques des habitats varient tout comme la composition des systèmes aquatiques (hauteur de la colonne d'eau et sédiments) et la répartition des produits chimiques entre milieux de l'environnement.

Les POP sont retenus à la surface des particules par adsorption et déposent dans les sédiments; c'est pourquoi leurs concentrations sont les plus fortes dans les organismes benthiques que dans les organismes pélagiques occupant le même niveau trophique. Les poissons vivant dans les grands fonds dans les habitats où les interactions entre sédiments et eaux sont plus nombreuses accumulent davantage de POP que les poissons des eaux de surface.

Les organismes qui migrent sont exposés à différentes concentrations de POP au cours de leur vie qui varient en fonction des différences régionales.

Métabolisme (biotransformation)

C'est la vitesse du métabolisme plus que la consommation qui détermine le potentiel de bioaccumulation et de bioamplification d'un produit chimique.

Un facteur de bioaccumulation élevé ne correspond pas nécessairement à un potentiel de bioamplification élevé si le produit chimique peut être métabolisé.

La capacité d'un organisme à métaboliser un produit dépend dans une très large mesure du produit chimique considéré, diffère d'une espèce à l'autre et est fonction de l'âge, de la taille corporelle, du sexe, etc.

Il est possible que les métabolites soient plus persistants, qu'ils aient un pouvoir de bioaccumulation et/ou une toxicité supérieure à la substance parente.

Niveau trophique

Lorsqu'un prédateur consomme une proie, son organisme, qui occupe un niveau trophique plus élevé, ingère les produits chimiques accumulés par la proie.

Dans le cas des substances persistantes et susceptibles de bioaccumulation telles que les POP, du fait qu'à chaque niveau trophique les organismes éliminent lentement ces produits on assiste à leur concentration de plus en plus forte dans les organismes occupant le niveau supérieur.

Les facteurs de bioamplification ont tendance à augmenter avec l'élévation du niveau trophique mais la métabolisation des produits chimiques dans l'organisme des prédateurs se traduit par leur moindre concentration que dans l'organisme de leur proie (dilution trophique).

Références :

AMAP (2001) Guidelines for the AMAP Phase 2 Assessments. (Directives pour la phase 2 de l'évaluation du Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique) Rapport 2001: 1.

Borga, K., Fisk, A.T., Hoekster, P.F., et Muir, D.C.G. (2004) Biological and chemical factors of importance in the bioaccumulation and trophic transfer of persistent organochlorine contaminants in arctic marine food webs. Environ. Toxicol. Chem., 23, 10, 2367–2385.

Agence européenne des produits chimiques (2007) Directives pour l'établissement de l'Annexe XV au dossier sur l'identification des substances particulièrement préoccupantes.

Schwarzenbach, R.P., Gschwend, P.M., Imboden, D.M. (2003) Environmental Organic Chemistry second edition. Wiley-interscience.

PNUE (2005) Définitions de la bioconcentration, de la bioaccumulation et de la bioamplification, Comité d'étude des polluants organiques persistants, première réunion.

Appendice 5

Rapport entre le facteur de bioconcentration et le facteur de bioaccumulation

1) Facteurs de bioconcentration

- Mesuré dans le cadre d'expériences de laboratoire dans des conditions bien définies.
- Exposition uniquement dans l'eau – applicable seulement aux espèces aquatiques.
- Différence nette entre l'absorption via le système respiratoire (tel que les membranes des ouïes chez les poissons) et l'élimination naturelle par la respiration, l'élimination fécale, la biotransformation, etc.
- Il s'agit généralement du rapport entre la concentration des produits chimiques dans l'organisme et celle du produit dans l'eau en état d'équilibre. Lorsque l'on ne parvient pas à l'état d'équilibre, on utilise la méthode cinétique.

2) Facteurs de bioaccumulation

- Mesuré dans le cadre d'expériences de laboratoire (écosystème modélisé) ou dans le cadre d'études sur le terrain
- Exposition dans le milieu ambiant (atmosphère, eau, sédiments, sol) et par le biais de l'alimentation – également applicable aux espèces autres qu'aquatiques.
- Différence nette entre l'absorption via le système respiratoire et l'alimentation et l'élimination.
- Rapport entre la concentration du produit chimique dans l'organisme et sa concentration dans le milieu ambiant.
- Pour les organismes benthiques, le facteur de bioaccumulation est dit facteur d'accumulation biote-sédiment.
- Le rapport entre la concentration du produit chimique dans l'organisme consommateur et sa concentration dans l'aliment (proie) est appelé facteur de bioamplification.
- Les résultats des expériences de bioaccumulation alimentaire (études sur l'alimentation) sont exprimés en facteur de bioamplification.

3) Corrélation entre les valeurs du facteur de bioconcentration et celles du facteur de bioaccumulation

- Le facteur de bioaccumulation tend à être plus élevé que le facteur de bioconcentration dans le cas de nombreux produits chimiques, probablement en raison du plus grand nombre de voies d'exposition.
- Au tableau 1 figure un résumé des statistiques correspondant à cinq produits chimiques sélectionnés dans une étude de cas visant à comparer leur facteur de bioconcentration et leur facteur de bioaccumulation dans le cas de diverses espèces de poissons (Arnot, J.A. et al. (2006)). Pour les produits chimiques dont on sait qu'ils sont susceptibles de bioamplification le long des chaînes alimentaires, les facteurs de bioaccumulation enregistrés sur le terrain peuvent être environ cent fois plus élevés que les facteurs de bioconcentration obtenus au cours d'expérience de laboratoire. Cependant, d'après les observations, certains produits chimiques ont des facteurs de bioconcentration supérieurs aux facteurs de bioaccumulation.

Tableau 1. Comparaison de valeurs acceptables du facteur de bioconcentration et du facteur de bioaccumulation de cinq produits chimiques décelés dans des poissons figurant dans une étude de cas (Arnot, J.A. et al. (2006))

Produit chimique	Log K_{oe}	<i>n</i>	Fourchette des valeurs du log (ES)	Valeur du log médian	Valeur moyenne du log (ET)
Chlorobenzène (FBC)	2,84	2	1,13-1,34 (0,15)	1,24	1,24 (0,11)
Chlorobenzène (FBA)	2,84	3	1,81-2,88 (0,55)	2,09	2,26 (0,32)
Lindane (FBC)	3,72	33	2,16-3,32 (0,35)	2,84	2,80 (0,06)
Lindane (FBA)	3,72	4	3,43-3,97 (0,25)	3,90	3,80 (0,13)
Hexachlorobenzène (FBC)	5,73	21	3,57-4,70 (0,32)	4,26	4,12 (0,07)
Hexachlorobenzène (FBA)	5,73	26	3,91-5,74 (0,48)	4,75	4,74 (0,09)
<i>p,p'</i> -DDT (FBC)	6,91	5	4,17-4,72 (0,27)	4,65	4,48 (0,12)
<i>p,p'</i> -DDT (FBA)	6,91	7	5,84-6,62 (0,27)	6,33	6,31 (0,10)
Phtalate de di(éthyl-2hexyle) (FBC)	7,73	6	2,43-2,98 (0,18)	2,79	2,76 (0,07)
Phtalate de di(éthyl-2hexyle) (FBA)	7,73	2	1,86-2,83 (0,69)	2,36	2,35 (0,49)

Note : *n* = nombre d'observations; ES = écart standard; ET = erreur-type de la moyenne; *p,p'*-DDT = 1,1-(2,2,2-trichloroéthylidène)bis(4-chlorobenzène); DEHP, Ester disodécyclique de l'acide 1,2 – benzène dicarboxilique

4) Incertitudes entachant l'évaluation des facteurs de bioaccumulation sur le terrain

- Les concentrations de fonds antérieures sont inconnues.
- La biodisponibilité du produit chimique dépend des conditions propres aux sites (température, teneur en carbone organique...)
- Influence des facteurs spatiotemporels (variations saisonnières, caractéristiques géographiques, etc.)
- Variations entre espèces (régime alimentaire, niveau trophique, habitat, métabolisme, etc.)
- Variations liées aux caractéristiques de l'organisme considéré (âge, sexe, stade reproducteur, taille corporelle, teneur en lipides, etc.)
- Difficulté de mesurer le produit dans le milieu ambiant lorsque sa concentration est extrêmement faible (c'est-à-dire proche du seuil de détection).
- Influence des autres produits chimiques auxquels l'organisme est exposé.

Références :

Arnot, J.A. et Gobas, F.A.P.C. (2006) Review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms. Environ. Rev. 14:257-297.

Appendice 6

Coefficient de partage octanol/air et bioaccumulation

1. Introduction

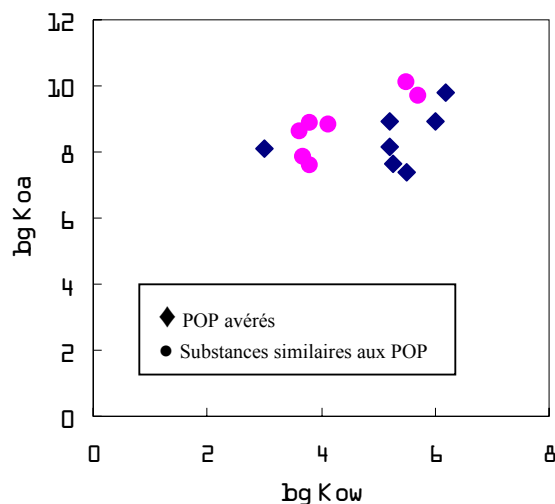
Etant donné que les substances semblables aux POP ont tendance à se répartir en phase lipidique plutôt qu'en phase aqueuse, les coefficients de partage octanol/eau (P_{oe}) ont été utilisés comme indicateurs de potentiel de bioaccumulation. On estime que les produits chimiques ayant un faible P_{oe} ont un faible potentiel de bioaccumulation dans les organismes aquatiques car ils sont aisément éliminés dans l'eau. Toutefois, on a fait état pour les organismes terrestres, qui respirent dans l'air et non dans l'eau, du fait que les produits chimiques ayant un K_{oa} élevé peuvent avoir un potentiel de bioaccumulation élevé en dépit d'un faible K_{oc} car ils ne sont pas facilement éliminés dans l'air.

2. Log K_{oa} et bioaccumulation

D'après Kelly et al. (2007), les substances ayant des K_{oc} peu élevés tels que l'hexachlorocyclohexane ($K_{oc}=10^{3,8}$), les tétrachlorobenzènes ($K_{oc}=10^{4,1}$) et l'endosulfan ($K_{oc}=10^{3,8}$), dont la bioamplification est inexistante dans la chaîne alimentaire aquatique, subissent une importante bioamplification dans la chaîne alimentaire terrestre ou dans les organismes constituant le réseau alimentaire des mammifères marins qui respirent de l'air. Il a été fait état de conclusions similaires en ce qui concerne les SPFO ($K_{oc}<10^5$). Cela peut être dû à un K_{oa} élevé ($\geq 10^6$), responsable d'une lente élimination par voie respiratoire associé à un K_{oc} qui lui n'est pas particulièrement faible ($>10^2$) ce qui entraîne une élimination peu importante par voie urinaire des déchets azotés chez les organismes respirant de l'air.

Les analyses de ces mêmes auteurs montrent que les facteurs de bioamplification des organismes respirant de l'air sont supérieurs à ceux des organismes respirant dans l'eau en raison de leur plus grande aptitude à absorber et digérer leurs aliments, phénomène qui résulte de différences dans la physiologie du tube digestif et de températures corporelles.

	Log K_{oc}	Log K_{oa}
<i>Aldrine</i>	3,01	8,08
<i>Dieldrine</i>	5,2	8,9
<i>Endrine</i>	5,2	8,13
<i>Chlordane</i>	6	8,92
<i>p,p'-DDT</i>	6,19	9,82
<i>Hexachlorobenzène</i>	5,5	7,38
<i>Heptachlore</i>	5,27	7,64
<i>Lindane</i>	3,7	7,85
<i>α-hexachlorocyclohexane</i>	3,81	7,61
<i>β-hexachlorocyclohexane</i>	3,8	8,88
<i>δ-hexachlorocyclohexane</i>	4,14	8,84
<i>Endosulfan</i>	3,62	8,64
<i>p,p'-DDE</i>	5,7	9,68
<i>p,p'-DDD</i>	5,5	10,1



Log K_{oc} et Log K_{oa} des POP avérés et des substances similaires aux POP

3. Mesures du K_{oa}

Shoeb et al. (2002) ont mesuré le K_{oa} de 19 pesticides organochlorés.

Le gaz azoté (débit : 200-300 ml/min) a été saturé avec de l'octanol par barbotage dans une colonne d'environ 20 cm de hauteur puis est parvenu à un piège à octanol en passant par un serpentin refroidisseur de façon à veiller à la condensation de l'excès d'octanol qu'il parvienne à la colonne d'extraction.

Le serpentin refroidisseur, le piège à octanol et la colonne d'extraction étaient immergés dans un bain d'eau contrôlé par thermostat ($\pm 0,1$ °C) qui est demeuré tout le temps à une température inférieure d'au moins 10 °C à celle de l'octanol utilisé pour saturer le flux gazeux.

La colonne d'extraction était constituée de billes de verre enduites de 300 μ l de la solution échantillon immergée à l'octanol. Les produits chimiques en phase gazeuse à l'équilibre étaient recueillis à la sortie de la colonne d'extraction par un piège adsorbant contenant environ 20 g de silice lié au C18.

Les vitesses d'écoulement des flux étaient mesurées à la sortie du piège adsorbant afin de déterminer la totalité des volumes des échantillons.

Les pièges ont été extraits avec une solution constituée à parts égales d'hexane et de dichlorométhane (v/v) de 15 ml puis leur volume a été réduit à environ 500 μ l à l'aide d'un flux doux d'azote. Les extraits concentrés ont été analysés à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse.

4. Autres informations sur le K_{oa}

Kelly et al. (2007) ont indiqué que le K_{oa} des hexachlorocyclohexanes varient grandement d'un isomère à l'autre. Les valeurs du log K_{oa} , par rapport à celles de l'alpha hexachlorocyclohexane (auquel a été attribuée la valeur 1), sont de 19, 1,7 et 22 respectivement pour les trois isomères suivants β -, γ - et δ - de l'hexachlorocyclohexane. On a également trouvé une relation logarithmique entre le K_{oa} et la réciproque de la température absolue.

Références

Kelly et al. (2007). Food-web specific biomagnification of persistent organic pollutants. *Science*, 317, 236-239.

Shoeib et al. (2002). Using measured octanol-air partition coefficients to explain environmental partitioning of organochlorine pesticides. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 21, No. 5, 984-990.
